

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Агрономічний факультет
Спеціальність 201 «Агрономія»
Освітньо-професійна програма «Агрономія»

«Допускається до захисту»
Завідувач кафедри рослинництва
д.с.-г.н., професор Олександр ЦИЛЮРИК

“ _____ ” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «Магістр» на тему:
**ВПЛИВ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА РІСТ І
ПРОДУКТИВНІСТЬ БАЗИЛІКУ У ГІДРОПОННИХ СИСТЕМАХ**

Здобувач _____ Віктор ШУЛЕШКО

Керівник кваліфікаційної роботи
доцент _____ Олександр ІЖБОЛДІН

Дніпро – 2024

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Агрономічний факультет
Кафедра рослинництва
Спеціальність 201 «Агрономія»
Освітньо-професійна програма «Агрономія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри рослинництва
д.с.-г.н., професор Олександр ЦІЛЮРИК

(підпис)

“ ____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи здобувачу
другого (магістерського) рівня вищої освіти

Шулешка Віктора Павловича

1. Тема роботи: Вплив штучного освітлення на ріст і продуктивність базиліку у гідропонних системах

2. Термін подачі здобувачем завершеної кваліфікаційної роботи на кафедру “ ____ ” _____ 2024 р.

3. Вихідні дані для роботи:

- с.-г. підприємство – Грін фьючер інжиніринг
- сільськогосподарська культура – базилік

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити) - провести аналіз літературних джерел щодо впливу штучного освітлення на ріст рослин, зокрема базиліку, у гідропонних системах; розробити методикау експериментальних досліджень, визначити параметри освітлення (інтенсивність, спектральний склад, тривалість світлового дня); виростити рослини базиліку в умовах гідропоніки з використанням різних режимів штучного освітлення; дослідити біометричні показники (висота рослин, кількість листків, площа листової поверхні, масу зеленої маси) базиліку за різних умов освітлення; проаналізувати вплив освітлення на якісні показники базиліку, такі як вміст ефірних олій, вітамінів та інших біологічно активних речовин; розробити рекомендації щодо оптимальних режимів штучного освітлення для вирощування базиліку у гідропонних системах.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

схеми розміщення гідропонних систем, схеми штучного освітлення

6. Дата видачі завдання: _____

Керівник

кваліфікаційної роботи

_____ Олександр ІЖБОЛДІН
(підпис)

Завдання прийняв

до виконання

_____ Віктор ШУЛЕШКО
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	06.10.2023	виконано
2	Огляд літератури	10.11.2023	виконано
3	Методика проведення	06.12.2023	виконано
4	Результати досліджень	09.03.2024	виконано
5	Економічна ефективність	10.09.2024	виконано
6	Охорона праці	05.10.2024	виконано
7	Висновки, рекомендації	20.11.2024	виконано

Здобувач

_____ Віктор ШУЛЕШКО
(підпис)

Керівник

кваліфікаційної роботи

_____ Олександр ІЖБОЛДІН
(підпис)

ЗМІСТ

	стр.
РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ ШТУЧНОГО СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ БАЗИЛІКУ У ГІДРОПОННИХ СИСТЕМАХ (огляд літератури)	11
РОЗДІЛ 2. УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	23
2.1. Схема та умови проведення досліджень	23
2.2. Методи і методика проведення досліджень	27
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
3.1. Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базиліку в гідропонній системі на висоту рослин	32
3.2. Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базиліку в гідропонній системі на кількість листків рослини	35
3.3. Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базиліку в гідропонній системі на площу листової поверхні рослин	37
3.4. Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базиліку в гідропонній системі на зелену масу рослин	40
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ БАЗИЛІКУ В ГІДРОПОННІЙ СИСТЕМІ	42
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	45
5.1. Дослідження стану охорони праці в господарстві	45
5.2. Аналіз виробничого травматизму в господарстві	45
5.3. Вимоги охорони праці під час вирощування базиліку в умовах штучного освітлення в гідропонній системі	47
5.4. Заходи з покращення стану охорони праці в господарстві	50
ВИСНОВКИ	53

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи. Вплив штучного освітлення на ріст і продуктивність базилика у гідропонних системах

Об'єкт вивчення. Процес впливу спектрального складу світлодіодного освітлення на ріст і розвиток базилика.

Предмет дослідження. Базилік сорту Маріан.

Методи дослідження. Методична частина експерименту базувалася на теорії багатofакторних дослідів, регресійному та дисперсійному аналізі. Статистична обробка даних експериментальних досліджень проведена з використанням програм «СТАТИСТИКА» та «Excel».

Наукова новизна досліджень. Уперше встановлено залежність спектрального складу світлодіодного освітлення в умовах вирощування гідропонним методом базилика сорту Маріан при низькому періоді освітлення. Встановлено, що високі показники сирової маси рослини (з кг з квадратного метру вирощування) отримуються при рівні освітлення в 300-450 мікромоль в секунду на метр квадратний і 12 годинному режимі освітлення на добу. Встановлено, що повний спектр освітлення є найбільш ефективним в процесі фотосинтезу для сорту базилика Маріан та сприяє збільшенню врожайності від 30%.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків і пропозицій виробництву, списку використаних літературних джерел. Загальний обсяг роботи 64 сторінок комп'ютерного тексту, включаючи 8 таблиць. Список використаних джерел складається з 73 найменувань.

Ключові слова: БАЗИЛІК, ВАСИЛЬКИ СПРАВЖНІ, ОСВІТЛЕННЯ, ВРОЖАЙНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність теми вирощування базилику в умовах штучного освітлення в гідропонних системах обумовлена кількома ключовими чинниками, зокрема зростанням інтересу до інноваційних агротехнологій, таких як гідропоніка, які дозволяють значно підвищити ефективність сільськогосподарського виробництва за умови обмежених земельних ресурсів. Гідропоніка є перспективною технологією, яка дозволяє вирощувати рослини без ґрунту, що відкриває нові можливості для організації виробництва в умовах урбанізованих територій, де немає доступу до традиційних земельних ресурсів.

Зростаюча потреба у здорових і екологічно чистих продуктах харчування робить вирощування пряних та ароматичних рослин, таких як базилік, все більш популярним серед споживачів. Базилік є не тільки цінною кулінарною рослиною, але й має лікувальні властивості, що додатково підвищує попит на його вирощування. Однак традиційні методи його вирощування на відкритих ґрунтах мають низку обмежень, зокрема, залежність від погодних умов, які можуть негативно впливати на якість і кількість врожаю.

Застосування штучного освітлення, зокрема LED-технологій, в гідропонії дозволяє вирішити проблему обмеженості природного освітлення та забезпечити оптимальні умови для росту рослин протягом усього року. LED-освітлення дозволяє точно контролювати спектр світла, що необхідний для фотосинтетичних процесів, і тим самим покращує продуктивність рослин. Це особливо важливо в умовах обмежених природних ресурсів та у разі вирощування рослин в приміщеннях, де природне освітлення є недостатнім або змінюється залежно від пори року.

Інтеграція гідропонії з LED-освітленням також є перспективною з точки зору енергоефективності. Використання новітніх технологій освітлення, таких як світлодіоди, дозволяє знизити енергоспоживання порівняно з традиційними

джерелами світла, що має важливе значення для зменшення витрат на виробництво. Такі системи є сталими і екологічно чистими, оскільки вони не залежать від застосування хімічних добрив та пестицидів, що робить їх придатними для органічного землеробства.

У зв'язку з цим актуальність дослідження полягає в необхідності розробки ефективних і екологічно чистих технологій для вирощування базиліку в гідропонних системах з використанням штучного освітлення, що дозволяє не тільки підвищити продуктивність, але й забезпечити сталість та екологічну безпеку агроробіт у майбутньому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Кваліфікаційна робота виконувалася за тематикою кафедри рослинництва Дніпровського державного аграрно-економічного університету: «Наукового забезпечення агропромислового виробництва Дніпропетровської області».

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є визначення ефективності вирощування базиліку в умовах штучного освітлення в гідропонних системах, а також аналіз впливу різних типів освітлення (біле, червоне, синє та повне спектральне) на розвиток рослин, їх врожайність та якісні показники продукції. У рамках цього дослідження також передбачається розгляд впливу інтенсивності освітлення на фотосинтетичні процеси, розвиток кореневої системи та загальний стан рослин.

Основними завданнями дослідження є:

Аналіз ефективності різних типів штучного освітлення для вирощування базиліку в гідропонії, зокрема порівняння впливу білого, червоного, синього та повного спектрального світла на ріст рослин.

Вивчення оптимальних параметрів освітлення для підвищення врожайності та якості базиліку, зокрема визначення найбільш ефективних спектрів та інтенсивності світла для забезпечення максимального фотосинтетичного потенціалу.

Оцінка впливу штучного освітлення на розвиток кореневої системи базиліку та їх здатність до поглинання поживних речовин в умовах гідропонії.

Оцінка економічної ефективності вирощування базиліку в гідропонії з використанням різних видів штучного освітлення, включаючи аналіз витрат на енергоспоживання, виробничі витрати та рентабельність виробництва.

Розробка рекомендацій щодо оптимізації технологічного процесу вирощування базиліку в гідропонії з використанням штучного освітлення, які можна застосувати в промисловому виробництві та у малих господарствах.

Об'єкт вивчення. Процес впливу спектрального складу світлодіодного освітлення на ріст і розвиток базиліка.

Предмет дослідження. Базилік сорту Маріан.

Методи дослідження. Методична частина експерименту базувалася на теорії багатofакторних дослідів, регресійному та дисперсійному аналізі. Статистична обробка даних експериментальних досліджень проведена з використанням програм «СТАТИСТИКА» та «Excel».

Наукова новизна досліджень. Уперше встановлено залежність спектрального складу світлодіодного освітлення в умовах вирощування гідропонним методом базиліку сорту Маріан при низькому періоді освітлення. Встановлено, що високі показники сирової маси рослини (з кг з квадратного метру вирощування) отримуються при рівні освітлення в 300-450 мікромоль в секунду на метр квадратний і 12 годинному режимі освітлення на добу. Встановлено, що повний спектр освітлення є найбільш ефективним в процесі фотосинтезу для сорту базиліка Маріан та сприяє збільшенню врожайності від 30%.

Практична цінність отриманих результатів. Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості впровадження ефективних технологій вирощування базиліку в умовах штучного освітлення в гідропонних системах для підвищення врожайності, якості продукції та економічної ефективності. Визначення оптимальних параметрів освітлення дозволяє значно покращити фотосинтетичні процеси в рослинах, що сприяє їх кращому росту та розвитку навіть в умовах обмеженого простору, як це характерно для гідропонних технологій.

Результати дослідження можуть бути корисними для аграріїв, підприємств і фермерських господарств, які займаються вирощуванням прямих трав, зокрема базиліку, як у традиційних, так і в інноваційних умовах, таких як вертикальні ферми та інтер'єрне озеленення. Встановлення ефективних параметрів освітлення дозволяє зменшити енергетичні витрати на освітлення, що особливо важливо для великих господарств та підприємств, які прагнуть знизити витрати на електроенергію.

Також отримані результати мають практичну цінність для розробки рекомендацій щодо оптимізації технологічних процесів у гідропонних системах, що забезпечить більш ефективне використання ресурсів і досягнення високих показників врожайності з мінімальними затратами. Впровадження результатів дослідження допоможе підвищити конкурентоспроможність виробників на ринку сільськогосподарської продукції, зокрема на ринку прянощів та зелені.

Окрім цього, практична цінність отриманих результатів полягає в можливості використання їх для вдосконалення методик у наукових дослідженнях, навчальних програмах агрономічних та біотехнологічних факультетів, а також в розвитку нових напрямів у галузі високопродуктивних сільськогосподарських технологій, що дозволяють знижувати вплив негативних кліматичних факторів та забезпечувати стабільні врожаї.

Особистий внесок. Автором кваліфікаційної роботи визначено мету та завдання експерименту, розроблено програму та методику досліджень, виконано польові та лабораторні дослідження, проведено статистичну та економічну обробку результатів, їх опис, підготовку кваліфікаційної роботи, публікацію результатів, висновки та рекомендації виробництва.

Апробація результатів дипломної роботи. Основні положення кваліфікаційної роботи доповідалися на конференції Міжнародній науковій конференції «Еколого-біологічні основи сучасного землеробства в умовах природно-техногенних комплексів степової зони України» (Дніпро, 2024) та

розглядались і затверджувались на засіданнях кафедри рослинництва Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Дипломна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків і пропозицій виробництву, списку використаних літературних джерел. Загальний обсяг роботи 61 сторінок комп'ютерного тексту, включаючи 8 таблиць. Список використаних джерел складається з 73 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ВПЛИВ СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ ШТУЧНОГО СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ БАЗИЛІКУ У ГІДРОПОННИХ СИСТЕМАХ (огляд літератури)

Базилік (*Ocimum basilicum* L.) є однією з найбільш популярних і широко вживаних спецій у світі. Відомий завдяки своїм ароматним листям, базилік використовується як кулінарна добавка та має численні лікувальні властивості. Ця рослина належить до родини ясноткових (*Lamiaceae*) і вирощується в різних кліматичних умовах. Його біологічні властивості визначаються особливостями морфології, фізіології, а також складом метаболітів, що мають значний вплив на здоров'я людини [12, 25, 72].

Базилік є однорічною рослиною з потужною кореневою системою, що дозволяє йому ефективно поглинати поживні речовини з ґрунту. Рослина має прямостоячий або розгалужений стебло, яке може досягати висоти від 30 см до 1 м залежно від умов вирощування. Листя овальної або овально-ланцетної форми, зеленого або пурпурного кольору, покриті тонким восковим шаром. Квітки базиліку дрібні, зібрані в суцвіття, які мають білий, рожевий або фіолетовий колір, залежно від сорту. Рослина є світлолюбною і теплолюбною, що обумовлює її вимоги до умов вирощування [19].

Фізіологічно базилік є гідрофітною рослиною, яка добре росте в умовах достатньої вологості. Однак при вирощуванні в умовах гідропоніки або в системах з обмеженою кількістю води він здатний швидко адаптуватися до таких умов, проявляючи високу ефективність поглинання вологи з водного розчину. Це дає змогу використовувати гідропонні технології для вирощування базиліку навіть у районах із нестабільним кліматом або обмеженим доступом до ґрунтової води. Водночас рослина потребує добре аерації кореневої системи для нормального розвитку [22].

У біохімічному складі базиліку виявлено багато біологічно активних сполук, серед яких виділяються ефірні олії, флавоноїди, фенольні сполуки,

органічні кислоти, вітаміни та мінерали. Основним компонентом ефірної олії є ліналоол, який надає рослині характерний запах. Також у складі олії присутні інші важливі сполуки, такі як евгенол, метилхавікол, терпіни, що обумовлюють його антисептичні та антибактеріальні властивості. Це робить базилік не тільки смачним інгредієнтом, а й цінним лікарським засобом, який широко використовується в народній медицині для лікування різноманітних захворювань [31].

Крім того, базилік містить значну кількість вітамінів, зокрема вітамінів А, С, К, а також вітаміни групи В, що підтримують нормальне функціонування організму. Ці вітаміни сприяють зміцненню імунної системи, покращенню стану шкіри, а також беруть участь у метаболізмі. Мінерали, такі як кальцій, магній, калій та залізо, є важливими для підтримки здоров'я кісток, нервової системи та серцево-судинної системи [14].

Фотосинтетичні властивості базиліку також є предметом досліджень. Рослина має високу фотосинтетичну активність, що дозволяє їй швидко зростати та забезпечувати великий урожай за умови оптимальних умов освітлення і температури. Зокрема, дослідження показали, що використання різних спектрів світла (наприклад, синього, червоного, фіолетового) в умовах штучного освітлення може значно покращити фотосинтетичні процеси в рослині і вплинути на її врожайність та вміст біологічно активних речовин [15].

Особливості росту та розвитку базиліку, його здатність адаптуватися до різних умов вирощування, зокрема в гідропонних системах з використанням штучного освітлення, роблять його перспективним кандидатом для інтенсивного землеробства. Цей факт стає все більш актуальним у зв'язку з розвитком вертикального землеробства і необхідністю вирощування рослин у умовах, що обмежують використання традиційних земельних ресурсів [36].

Таким чином, базилік є не лише важливою культурою для сільського господарства, а й перспективною рослиною для сучасних агрономічних досліджень, зокрема в контексті використання новітніх технологій

вирощування, таких як гідропоніка та штучне освітлення. Це дозволяє розширити можливості для підвищення ефективності та якості продукції, що відповідає вимогам сучасного ринку та забезпечує стабільне виробництво цієї рослини [10, 29, 71].

Вирощування базиліку в гідропонних системах є перспективним методом, що дозволяє отримувати високі врожаї при мінімальному використанні ґрунтових ресурсів. Гідропоніка – це технологія вирощування рослин без ґрунту, де всі необхідні для росту елементи постачаються через розчини поживних речовин. Цей метод особливо ефективний у умовах обмеженого простору, таких як теплиці або закриті приміщення, що дозволяє знизити ризики, пов'язані з хворобами рослин та шкідниками, характерними для традиційного землеробства [11, 20, 69].

Гідропонні системи для вирощування базиліку включають кілька основних типів, зокрема систему з гравітаційним потоком, аеропоніку, систему крапельного поливу, а також систему з циркуляцією розчинів (система з живильним розчином). Вибір конкретної системи залежить від потреб господарства та технічних умов, однак найбільш поширеними є системи з циркуляцією розчинів і крапельного поливу, оскільки вони забезпечують оптимальне постачання води та поживних речовин, необхідних для рослин [9, 21, 70].

Базилік вимагає теплого і сонячного клімату, тому для його вирощування в гідропоніці необхідно створити стабільні умови з правильним освітленням, температурним режимом і вологістю повітря. Оптимальна температура для його росту в межах 22-28°C, з мінімальною нічною температурою не нижче 18°C. Важливим фактором є і рівень вологості повітря, який для базиліку повинен бути в межах 60-70%. Для цих умов в гідропонних системах застосовують різні види освітлення, такі як LED-світильники, що дозволяють забезпечити рослини необхідною кількістю світла для фотосинтезу, особливо в умовах недостатньої природної освітленості [8, 21, 70].

Поживні розчини для бази́ліку в гідропонних системах повинні містити основні елементи живлення: азот, фосфор, калій, кальцій, магній, сірку, а також мікроелементи, такі як залізо, марганець, бор, мідь, цинк і молібден. Концентрація цих елементів повинна бути підібрана відповідно до стадії розвитку рослини, оскільки потреби в них можуть змінюватися на різних етапах росту. Наприклад, на початкових етапах розвитку бази́лік потребує великої кількості азоту, який стимулює ріст листя, а на стадії цвітіння – більше калію і фосфору для підтримки розвитку кореневої системи і покращення якості листя [2, 5, 22].

Один із головних переваг вирощування бази́ліку в гідропонних системах – це можливість точно контролювати водний і поживний режим, що дозволяє мінімізувати витрати води і добрив. Завдяки цьому можна досягти високої врожайності з мінімальними втратами ресурсів. Водночас важливими аспектами є постійне моніторинг рН та електропровідності розчину, оскільки ці параметри мають прямий вплив на засвоєння рослинами поживних елементів [12, 35, 72].

Завдяки використанню гідропоніки можна значно зменшити час, необхідний для вирощування бази́ліку, порівняно з традиційним землеробством. Бази́лік, вирощений в гідропонних системах, має тенденцію до швидшого росту завдяки оптимальним умовам живлення та водопостачання. Відмінною рисою гідропоніки є також те, що вона дозволяє вирощувати бази́лік у будь-який час року, незалежно від погодних умов і клімату, що робить цю технологію особливо актуальною для регіонів з холодними зимами або нестабільним кліматом [10, 22, 68].

Однак, щоб досягти максимальних результатів, необхідно враховувати ряд факторів, які можуть вплинути на ефективність вирощування. Серед них – правильне управління освітленням і температурою, збалансоване забезпечення рослин поживними речовинами, а також належний контроль за санітарними умовами в приміщенні, де знаходяться рослини. Важливо також дотримуватись належних умов для запобігання розвитку грибкових і

бактеріальних інфекцій, оскільки в умовах гідропоніки будь-яка несправність в системі може швидко призвести до втрат урожаю [9, 16, 65].

Гідропоніка дозволяє не лише вирощувати базилік з високою ефективністю, але й може бути використана для вирощування базиліку в умовах міського землеробства, де земля для традиційного землеробства є обмеженим ресурсом. У поєднанні з новітніми технологіями освітлення та автоматизованими системами управління це дозволяє забезпечити сталість виробництва при мінімальних витратах [12, 35, 62].

Таким чином, вирощування базиліку в гідропонних системах є перспективною та ефективною технологією, яка дозволяє отримувати високоякісні врожаї, знижувати витрати на воду і добрива, а також забезпечувати постійну доступність цієї культури в умовах сучасного

Вибір субстрату для вирощування базиліку в гідропонних системах має суттєвий вплив на ріст, розвиток рослин та ефективність зростання. Субстрат виконує кілька важливих функцій: забезпечує механічну підтримку для кореневої системи, утримує воду і поживні речовини, а також забезпечує необхідну аерацію коренів. Враховуючи, що у гідропонних системах корені рослин не ростуть в звичайному ґрунті, вибір субстрату має бути обґрунтованим і ретельно продуманим, оскільки це впливає на всі етапи вирощування базиліку [19].

Одним з найбільш популярних субстратів для гідропонних систем є кокосове волокно. Воно здобуло популярність завдяки своїм відмінним властивостям, таким як здатність до збереження води, а також хороша аерація кореневої системи. Кокосове волокно має природну здатність до утримання води, що робить його ідеальним для підтримки рівня вологості в гідропонних системах. Це також дозволяє уникати перезволоження кореневої системи, що може призвести до розвитку корневих гнилей [42]. Крім того, кокосове волокно є екологічно чистим і відновлюваним матеріалом, що робить його вибором, сприятливим для сталого сільського господарства. Однак перед

використанням його слід ретельно промити, щоб уникнути накопичення солей і надлишкової кислотності, які можуть мати негативний вплив на рослини [53].

Перліт є ще одним популярним субстратом у гідропоніці, що використовується для вирощування базиліку. Він має високу пористість, що дозволяє забезпечити оптимальну аерацію кореневої системи, сприяючи хорошему розвитку коренів [42]. Перліт також має здатність до збереження води, хоча і не утримує поживні речовини так ефективно, як кокосове волокно. Однак його поєднання з іншими матеріалами, такими як вермикуліт чи кокосове волокно, дозволяє забезпечити хороший баланс між утриманням вологи і поживних елементів. Крім того, перліт має невелику вагу, що робить його зручним для використання в різних типах гідропонних систем [59].

Вермикуліт, який є ще одним субстратом для гідропонії, володіє високою здатністю до утримання води, що забезпечує стабільність вологості в системі. Цей матеріал також зберігає багато поживних елементів, що робить його корисним для вирощування рослин, зокрема базиліку. Вермикуліт має вищу здатність утримувати вологу порівняно з перлітом, однак він більш важкий, що може бути недоліком в деяких системах. У гідропонії вермикуліт часто використовують в комбінації з іншими матеріалами, щоб досягти оптимального балансу між аерацією і утриманням вологи [61].

Іншими субстратами, які використовуються в гідропонних системах, є перфорований поліетилен, кам'яна вата та різноманітні синтетичні матеріали. Кам'яна вата має відмінну здатність до утримання води та повітря, що дозволяє забезпечити хороші умови для розвитку кореневої системи. Однак її використання потребує уваги до контролю рівня рН, оскільки вона може змінювати кислотність водного середовища, що вимагає налаштування системи живлення [70]. Поліетилен, в свою чергу, використовується в гідропонних системах як матеріал для утримання субстратів, який надає додаткову стабільність і допомагає зменшити ризик забруднення середовища.

Вибір субстрату залежить від типу гідропонної системи, умов вирощування та економічних аспектів. Зокрема, для вертикальних

гідропонних систем, де простір обмежений, вибір легких і пористих матеріалів, таких як перліт або кокосове волокно, є оптимальним. Важливою умовою є також відповідність субстрату вимогам до стійкості до хімічних та механічних навантажень, оскільки це безпосередньо впливає на довговічність системи та стабільність виробничого процесу [38].

Таким чином, правильний вибір субстрату для вирощування базиліку в гідропонії забезпечує здоровий ріст рослин, високий урожай та ефективне використання ресурсів. Врахування всіх особливостей кожного матеріалу допомагає створити оптимальні умови для рослин, що призводить до зростання їх продуктивності і якісних показників.

Смакові та поживні якості базиліку роблять його важливим компонентом в кулінарії та традиційній медицині. Базилік має характерний аромат і смак, що варіюється від солодкуватого до пекучого, з присутністю ноток анісу, гвоздики та перцю, що робить його популярним інгредієнтом у багатьох кухнях світу. Основною складовою, що визначає його смакові властивості, є ефірне масло, яке містить різноманітні хімічні сполуки, зокрема, евгенол, метилхавікол, ліналоол, мірцен та інші. Ці сполуки надають базиліку його унікальний аромат і смак. Завдяки цим властивостям базилік широко використовується в кулінарії для приготування соусів, супів, маринадів, страв з овочів, а також у приготуванні чаю та інших напоїв [51].

Базилік також має важливі поживні властивості. Він є джерелом вітамінів та мінералів, зокрема вітамінів А, С, К, а також вітамінів групи В, таких як фолієва кислота та рибофлавін. Вітамін С сприяє зміцненню імунної системи, вітамін А підтримує здоров'я шкіри та зір, а вітамін К є важливим для нормального згортання крові та здоров'я кісток [52]. Крім того, базилік багатий на калій, магній, кальцій та залізо, що робить його корисним для підтримки серцево-судинної системи, обміну речовин і кровотворення [53].

Завдяки наявності антиоксидантів, таких як флавоноїди та поліфеноли, базилік має потужні протизапальні та антимікробні властивості. Він також здатен знижувати рівень стресу, покращувати травлення, а його ефірні олії

виявляють заспокійливу дію на нервову систему. Крім того, базилік має певні антиканцерогенні властивості завдяки здатності нейтралізувати вільні радикали в організмі [64].

Ці властивості роблять базилік не лише корисним у дієтичному харчуванні, а й популярним засобом народної медицини, який застосовується для лікування респіраторних захворювань, зниження рівня цукру в крові та полегшення симптомів стресу та тривоги. Для отримання максимальних поживних та корисних властивостей базилік рекомендується використовувати в свіжому вигляді, адже термічна обробка може знижувати концентрацію вітамінів і ефірних олій [65].

Таким чином, базилік має не тільки відмінні смакові якості, що додають стравам аромату та глибини, але й значну поживну цінність завдяки вітамінам, мінералам та антиоксидантам, що сприяють загальному зміцненню організму.

Розвиток досліджень у сфері вирощування базиліку в гідропонних системах при використанні різних спектрів освітлення є надзвичайно важливим для забезпечення продовольчої безпеки держави. З огляду на глобальні виклики, пов'язані зі зміною клімату, зменшенням площ сільськогосподарських земель, а також збільшенням потреби в сталому виробництві продуктів харчування, пошук нових, ефективних методів вирощування культур стає пріоритетом для багатьох країн, включаючи Україну [12, 25, 72].

Гідропонні системи, що не потребують ґрунту, дають можливість значно скоротити витрати води, оптимізувати використання добрив та інших ресурсів, що дозволяє підвищити ефективність вирощування сільськогосподарських культур навіть в умовах обмежених земельних площ та ресурсів. Враховуючи специфіку кліматичних умов в Україні, зокрема несприятливі погодні умови, тепличне виробництво та використання гідропонних технологій можуть стати потужним інструментом для збільшення продуктивності сільськогосподарських культур, таких як базилік, в умовах, де традиційні методи вирощування малоефективні або взагалі неможливі.

Одним із важливих аспектів є також використання різних спектрів освітлення, що здатне оптимізувати фотосинтетичні процеси, покращити якість і кількість врожаю. Дослідження в цій галузі дозволяють не лише підвищити урожайність, але й значно поліпшити поживні та смакові якості продуктів, що є важливим фактором у контексті продовольчої безпеки. Враховуючи попит на здорові та органічні продукти, вирощування базилика за допомогою таких технологій сприяє розвитку нових ніш на ринку сільськогосподарської продукції, що є важливим для продовольчої стабільності країни [10, 25, 72].

Крім того, гідропонні технології та використання штучного освітлення можуть стати основою для розвитку урбаністичного сільського господарства. В умовах зростання населення та урбанізації, коли традиційне сільське господарство стикається з проблемами недостатньої кількості земель, гідропонні ферми можуть бути розміщені в міських зонах, зменшуючи транспортні витрати та залежність від імпортованої продукції. Це дасть змогу покращити доступ до свіжих та здорових продуктів для мешканців міст, а також зменшити негативний вплив на навколишнє середовище через зниження використання хімічних добрив і пестицидів [12, 25, 72].

З огляду на зростаючі вимоги до сталого розвитку сільського господарства, дослідження в цій галузі можуть також призвести до значного зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема зменшення витрат води, енергії та використання хімічних речовин, що важливо для довгострокової продовольчої безпеки. Інтеграція таких технологій у сільське господарство дозволить не лише забезпечити країну продуктами високої якості, але й вивести на новий рівень ефективність та екологічну безпеку виробництва [12, 25, 70].

Таким чином, розвиток цього напрямку досліджень має величезне значення для продовольчої безпеки, оскільки сприяє підвищенню ефективності та сталості сільськогосподарського виробництва, знижує

залежність від природних умов та імпорту, а також відповідає сучасним вимогам щодо екологічної безпеки та сталого розвитку.

Світова та вітчизняна практики вирощування базиліку в гідропонних системах із використанням різних спектрів освітлення стають важливими компонентами в розвитку сучасного сільського господарства, зокрема в контексті пошуку нових шляхів підвищення урожайності, якості продукції та економічної ефективності. В умовах глобальних викликів, таких як зміна клімату, скорочення земельних площ для сільськогосподарського виробництва та зростання потреби в сталому харчуванні, ці методи здобувають все більшу популярність [11, 22, 70].

На світовому рівні багато країн активно застосовують гідропонні технології для вирощування різних культур, зокрема базиліку. Висока ефективність таких систем дозволяє вирощувати рослини в умовах обмеженого простору та використання ресурсів, що є важливим для забезпечення продовольчої безпеки. У країнах з обмеженими природними умовами, таких як Японія, Катар та ОАЕ, гідропонне вирощування набирає популярності через дефіцит придатних для сільського господарства земель та потребу в економії води. У цих країнах активно застосовуються технології з використанням LED-освітлення різних спектрів для оптимізації фотосинтетичних процесів і підвищення врожайності, що дозволяє отримувати стабільні врожаї круглий рік, незалежно від зовнішніх кліматичних умов [11, 25, 70].

Особливо велике значення має застосування штучного освітлення для росту базиліку в гідропонії. Відомо, що правильне освітлення може значно підвищити якість і кількість врожаю, а також поліпшити смакові та поживні характеристики продукту. У світовій практиці використовуються різні спектри LED-освітлення для регулювання фотосинтетичних процесів. Наприклад, червоне та синє освітлення активно застосовуються для стимуляції росту і розвитку рослин, оскільки ці спектри мають найбільший вплив на

процеси фотосинтезу, тоді як зелене та жовте світло використовуються для покращення смакових якостей і аромату базилику [9, 25, 72].

У США та Європі гідропонне вирощування набуває популярності в умовах міського сільського господарства. Створення вертикальних ферм, де базилик та інші культури вирощуються на багатоярусних конструкціях з використанням гідропоніки та освітлення різних спектрів, стало важливою частиною урбаністичних аграрних проєктів. Такі ферми дають можливість вирощувати свіжу зелень у міських умовах, що зменшує витрати на транспортування та забезпечує стабільний доступ до продуктів харчування.

В Україні гідропонні технології також починають використовуватися в аграрному секторі. З огляду на високий попит на екологічно чисті продукти, вирощування базилику в таких системах може стати перспективним напрямком для розвитку сільськогосподарського виробництва. В Україні в останні роки спостерігається поступовий перехід до новітніх аграрних технологій, включаючи гідропоніку, що дає можливість забезпечити стійке вирощування овочів і трав на обмежених площах. Однак, на відміну від розвинених країн, гідропонне виробництво в Україні ще перебуває на етапі розвитку, зокрема через високі початкові витрати на обладнання та необхідність спеціальних знань для ефективного управління такими системами [8, 25, 65].

На практиці вітчизняні підприємства, що займаються вирощуванням зелені, вже почали впроваджувати різні види освітлення для стимуляції росту рослин, зокрема, використання LED-освітлення, що дозволяє оптимізувати споживання енергії і підвищити ефективність фотосинтетичних процесів. Технології гідропоніки з застосуванням штучного освітлення дають можливість значно підвищити урожайність, що особливо важливо в умовах обмеженого аграрного простору та нестабільних кліматичних умов [25, 72].

Таким чином, світова практика демонструє великий потенціал гідропонного вирощування базилику з використанням різних спектрів освітлення, а вітчизняні аграрії поступово долучаються до цих інновацій. У

перспективі це може стати важливим інструментом для забезпечення продовольчої безпеки в Україні та створення умов для стабільного розвитку сільського господарства в умовах урбанізації та змін клімату.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даному розділі розглянуто підбір і підготовка матеріалів, вибір субстрату, складання поживного розчину, налаштування системи освітлення, параметри температурного та вологісного режиму, а також методи контролю і моніторингу розвитку рослин. Також описано використовувані методи аналізу та інструменти, застосовані для оцінки ефективності технології та впливу різних умов на ріст і продуктивність базилика. Надана детальна методологічна основа, яка забезпечує повторюваність і надійність результатів дослідження.

2.1. Схема та умови проведення досліджень

Дослідження проводилися в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Грін фьючер інжиніринг».

Базилік сорту Маріан від компанії Enza Zaden відзначається високою врожайністю та стійкістю до шкідників. Цей сорт має сильний ріст, досягаючи висоти 30-35 см. Листя темно-зеленого кольору, глянцево, з характерним базиликовим запахом. Маріан має високу збіжність і стабільність урожаю, може вирощуватися як на відкритому ґрунті, так і в теплицях. Врожайність становить 2-2.5 т/га, що робить його економічно вигідним для комерційного вирощування. Споживча якість висока, базилік має сильний, чистий, стійкий аромат і смак. Квітки білі, діаметром 1-1.5 см, плоди мають довжину 2-3 мм і вагу одного плоду близько 0.5 г. Сорт Маріан добре переносить перевізні стреси та зберігає якість при транспортуванні на відстані до 10 днів. Рекомендується посів на грубій ґрунтовій сміттєвій масі або на пластикових плетенках. Поливка повинна бути регулярною, щоб забезпечити постійну вологість ґрунту, особливо в період розвитку розеток. Додавання органічних добрив допомагає підтримувати здоровий ріст рослин. Сорт Маріан має високу стійкість до основних біологічних хвороб базилику, що дозволяє зменшити витрати на хімічний захист рослин. Цей сорт може вирощуватися

протягом всього року, що робить його універсальним для різних кліматичних умов. Завдяки високій продуктивності та стійкості до стресів, базилік сорту Маріан є відмінним вибором для професійних фермерів та агрономів. Окрім цього, Маріан характеризується високим вмістом ефірних олій, що робить його ідеальним для виробництва натуральних ароматизаторів і лікарських засобів. Рослини сорту Маріан мають густу розетку, з великою кількістю бокових пагонів, що сприяє збільшенню загальної біомаси рослини. Це дозволяє отримувати великі врожаї з одного гектару. Також цей сорт показує високу адаптивність до різних типів ґрунтів і умов вирощування, включаючи гідропонні системи, що дозволяє використовувати його для комерційного вирощування у різних регіонах з різними кліматичними умовами. Сорт Маріан має короткий період вегетації, що дозволяє отримувати кілька врожаїв на рік, що значно підвищує його економічну ефективність. У результаті багаторічних досліджень і випробувань компанії Enza Zaden, цей сорт зарекомендував себе як один з найкращих для комерційного вирощування базиліку завдяки своїм високим врожайним показникам, стійкості до хвороб і шкідників, а також відмінним споживчим якостям, що робить його популярним серед фермерів і виробників по всьому світу.

Результати досліджень базувалися на експериментальних даних одержаних в двофакторному досліді згідно представленої схеми.

Таблиця 1

Схема двофакторного досліді

Фактор А (Тип спектрального освітлення)	Фактор Б (Інтенсивність освітлення)			
	Низька 150 μmol/m ² /с	Середня 300 μmol/m ² /с	Висока 450 μmol/m ² /с	Дуже висока 600 μmol/m ² /с
Біле світло (контроль)	1	2	3	4
Червоне світло	5	6	7	8
Синє світло	9	10	11	12
Повне спектральне світло	13	14	15	16

Фактор А у нашому дослідженні стосується типів спектрального освітлення, які впливають на ріст і продуктивність бази́ліку. Розглянемо три варіанти спектрального освітлення детальніше:

Контрольний варіант передбачає використання білого світла, яке найповніше імітує природний сонячний спектр. Біле світло забезпечує широкий діапазон хвиль, включаючи синій, зелений і червоний спектри, що створює умови, максимально наближені до природних. У досліді біле світло виконує роль базового варіанту, з яким порівнюються всі інші спектральні режими освітлення, такі як червоне, синє та комбіноване світло. Це дозволяє оцінити, наскільки зміна спектрального складу впливає на ріст, розвиток та продуктивність бази́ліку. Джерелом освітлення є світлодіодні лампи з білим спектром із колірною температурою 4000–5000 К, що забезпечує нейтральне біле світло. Інтенсивність освітлення складає 200–400 мкмоль/м²/с, що відповідає рівню фотосинтетично активної радіації, необхідної для оптимального росту. Світловий режим становить 16 годин світло та 8 годин темрява, що забезпечує ефективний фотоперіод для бази́ліку. Контрольний варіант є еталонним для визначення базових параметрів росту, таких як висота рослин, кількість та площа листків, а також загальна біомаса. Біле світло допомагає виявити, чи мають спеціалізовані спектральні режими освітлення переваги у стимулюванні росту і продуктивності рослин у гідропонних умовах.

Червоне світло має довжину хвилі приблизно 620-750 нм і є важливим для процесу фотосинтезу та стимулювання росту рослин. Воно сприяє подовженню стебел і загальному розтягуванню рослин. Червоне світло також впливає на цвітіння, оскільки регулює фоторецептори, що контролюють процес цвітіння. Для бази́ліку це може означати більш швидке досягнення зрілості та потенційно збільшення врожайності.

Синє світло має довжину хвилі приблизно 450-495 нм і відіграє критичну роль у формуванні структурних і морфологічних характеристик рослин. Синє світло стимулює ріст листя та утворення хлорофілу, що є ключовим для

ефективного фотосинтезу. Це світло також сприяє розвитку міцних і коротких стебел, що може бути вигідним для підвищення стійкості рослин та зменшення необхідності у підтримці. Для базиліку синє світло може покращити якість листя, що є основною частиною рослини, яка споживається.

Повне спектральне світло: Повне спектральне світло включає всі довжини хвиль, необхідні для повного розвитку рослин, і імітує природне сонячне світло. Це освітлення забезпечує баланс між червоним, синім та іншими кольорами спектру, що дозволяє рослинам отримувати всі необхідні світлові елементи для оптимального росту. Повне спектральне світло сприяє гармонійному розвитку рослин, забезпечуючи їм всі необхідні умови для фотосинтезу, цвітіння та плодоношення. Для базиліку це може означати як підвищення якості листя, так і загальне покращення врожайності.

Ці три варіанти спектрального освітлення дозволяють всебічно оцінити вплив різних світлових умов на ріст і продуктивність базиліку, що є важливим для оптимізації умов вирощування у гідропонних системах.

Фактор В у нашому дослідженні охоплює різні рівні інтенсивності освітлення, що впливають на ріст і продуктивність базиліку у гідропонних системах. Ось детальний опис кожного рівня інтенсивності:

Низька інтенсивність ($150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$): Цей рівень інтенсивності світла забезпечує мінімальне освітлення, достатнє для підтримки основних процесів фотосинтезу, але може бути недостатнім для максимального росту та продуктивності рослин. При низькій інтенсивності світла рослини можуть мати уповільнений ріст, менш густе листя та зменшену загальну біомасу. Низький рівень освітлення підходить для первинних досліджень фізіологічної реакції рослин на обмежене освітлення.

Середня інтенсивність ($300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$): Середній рівень інтенсивності світла забезпечує оптимальні умови для фотосинтезу та розвитку рослин. При цій інтенсивності рослини базиліку зазвичай демонструють збалансований ріст, з хорошим розвитком листя і стебел. Середня інтенсивність світла є загальною рекомендацією для комерційного вирощування базиліку, оскільки

вона забезпечує ефективне використання енергії та високу продуктивність. Рослини отримують достатню кількість світлової енергії для максимального фотосинтезу і зростання.

Висока інтенсивність ($450 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$): Високий рівень інтенсивності світла забезпечує максимальну освітленість, що стимулює інтенсивний ріст і підвищену продуктивність рослин. При високій інтенсивності світла рослини можуть мати більшу кількість листя, вищу загальну біомасу і підвищену врожайність. Проте надмірне освітлення також може призвести до стресу рослин, що негативно вплине на їх здоров'я та якість листя. Висока інтенсивність є ідеальною для досліджень, орієнтованих на максимізацію продуктивності рослин.

Дуже висока інтенсивність ($600 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$): Дуже висока інтенсивність світла забезпечує екстремально високу освітленість, яка може призвести до найвищого можливого росту і продуктивності рослин у короткий період часу. При такому рівні інтенсивності базилік може демонструвати ще більшу кількість листя, посилену біомасу і максимальну врожайність. Однак, такий рівень освітлення також підвищує ризик теплового стресу і може вимагати додаткового охолодження та управління умовами середовища для запобігання перегріву рослин. Це підходить для досліджень, спрямованих на виявлення максимально можливого потенціалу росту базиліку при оптимальних умовах освітлення.

Ці чотири рівні інтенсивності світла дозволяють оцінити, як різні інтенсивності освітлення впливають на ріст і продуктивність базиліку, що є важливим для оптимізації умов вирощування у гідропонних системах і досягнення максимальної врожайності.

2.2. Методи і методика проведення досліджень

Технологія вирощування базиліку. Вирощування базиліка на штучному освітленні у гідропонних системах включає кілька ключових етапів. Спочатку важливо вибрати правильний субстрат, наприклад, кокосові волокна або

мінеральна вата, які забезпечують хороший дренаж і аерацію коріння. Потім потрібно налаштувати систему зрошення, щоб базилік отримує необхідну кількість води без перезволоження. Це можна зробити за допомогою автоматичних систем зрошення, які контролюють рівень вологості субстрату.

Поживний розчин готували шляхом додавання гідропонних добрив до води. Рекомендована концентрація добрив для базиліка на стадії росту становить близько 200-400 ppm. Наприклад, на 1 літр води можна додати 2-4 міліграма NPK добрив. Рівень pH розчину має бути в межах 5,5-6,5 для забезпечення оптимального поглинання поживних речовин. Для контролю pH можна використовувати спеціальні pH-коректори.

Насіння базиліка сіють рівномірно на поверхню субстрату, потім легенько присипають його. Після посіву субстрат з насінням накривають для створення ефекту теплиці, підтримуючи високу вологість до проростання.

Після проростання базиліку необхідне інтенсивне освітлення. Використовували LED лампи зі спектром, який максимально наближений до природного сонячного світла. Рослинам потрібно забезпечити 14-16 годин світла на добу. Відстань між лампами та рослинами має бути приблизно 20-30 сантиметрів.

Температура повітря повинна підтримувалася на рівні 20-25°C, а відносна вологість - 40-60%. Важливо уникати різких коливань температури, що можуть стресувати рослини. Система зрошення забезпечувала постійне зволоження субстрату без застою води. Використовуйте крапельний полив або інші методи рівномірного розподілу води. Розчин добрив оновлюється кожні 1-2 тижні, щоб уникнути накопичення солей та інших небажаних речовин.

Регулярно перевіряли рівень pH, концентрацію добрив і стан рослин. Використовували pH-метр та TDS-метр для точного контролю параметрів розчину. Також перевіряли стан кореневої системи і вчасно видаляли хворі або пошкоджені рослини.

Базилік можна збирати через 4-6 тижнів після посіву. Збирали лише верхні листки, щоб стимулювати подальший ріст рослин.

Для вивчення технології вирощування базилика на штучному освітленні у гідропонних системах використовували методи та методики.

Експериментальні дослідження: Виконуються в лабораторних умовах для визначення оптимальних параметрів освітлення, температури, вологості ґрунту та інших факторів.

Спектрофотометричні методи: Використовуються для аналізу спектрального випромінювання рослин, що допомагає визначити ефективність фотосинтезу під різними умовами освітлення.

Методи аналізу рослинного матеріалу: Включають аналіз хімічного складу, фізіологічних параметрів та біомаси рослин для оцінки їхнього розвитку та продуктивності. Моделювання та симуляція: Використовуються для прогнозування розвитку рослин та оптимізації умов вирощування на основі математичних моделей. Ці методи допомагають зрозуміти, як різні фактори впливають на розвиток базилика та як їх можна оптимізувати для отримання найкращих результатів.

Вирощування базилика при різних спектрах освітлення в гідропонних системах є важливою складовою для досягнення високої врожайності та якості продукту. Оскільки базилік є рослиною, що потребує оптимальних умов освітлення для ефективного фотосинтезу, вибір спектра освітлення має значний вплив на його ріст, розвиток, ароматичні властивості та врожайність.

В умовах гідропоніки вирощування базилика під штучним освітленням є необхідністю, оскільки в закритих приміщеннях або теплицях може бути недостатньо природного світла для досягнення оптимальних результатів. Для цього найчастіше використовуються LED-світильники, які можуть забезпечити різні спектри освітлення і регулювати їх інтенсивність відповідно до фаз росту рослин. Спектр світла для базилика може включати різні пропорції червоного, синього, зеленого, жовтого та фіолетового світла, що впливає на біологічні процеси рослин.

Червоний спектр світла є найбільш важливим для стимуляції росту і розвитку рослин, оскільки він активно сприяє фотосинтезу, підвищує

швидкість клітинного ділення і сприяє формуванню листя та пагонів. Червоний спектр стимулює загальний ріст рослин і є важливим для стадії вегетативного розвитку базилику. Також, червоне світло покращує продукцію фітонцидів і ефірних масел, що надає базилику характерний аромат і смак. Для базилику оптимальним є використання червоного світла в діапазоні 620-750 нм [1].

Синій спектр (450-495 нм) також має важливе значення для рослин, оскільки він впливає на фотосинтетичну активність, стимулює утворення хлорофілу і сприяє здоровому росту рослин, збільшуючи їх стійкість до хвороб. Синє світло також підтримує компактний ріст базилику, запобігаючи його надмірному витягуванню, що особливо важливо при вирощуванні в обмежених умовах гідропоніки. Додатково, синій спектр сприяє розвитку кореневої системи та підвищує ефективність засвоєння води і поживних речовин [2].

Фіолетовий і ультрафіолетовий спектри мають антимікробні властивості та допомагають запобігти розвитку грибкових і бактеріальних захворювань у рослин. Фіолетовий спектр (380-450 нм) активує вироблення антоціанів у рослинах, що може поліпшити їх стійкість до стресових умов, зокрема до змін температури і вологості [3].

Дослідження показали, що оптимізація спектрів освітлення значно підвищує урожайність базилику, а також поліпшує його якість. Наприклад, в одному з експериментів, де використовували різні комбінації червоного і синього світла, було виявлено, що співвідношення червоного до синього світла 3:1 сприяє найкращому росту і розвитку рослин базилику, що призводить до збільшення врожайності та покращення смакових характеристик [4].

Зелений спектр (500-570 нм), хоча і менше задіяний в процесах фотосинтезу, також відіграє свою роль у формуванні загального стану рослини. Дослідження показують, що зелений колір може допомогти покращити рівномірність росту рослин та їх адаптацію до інших спектрів

світла. Однак, зазвичай він застосовується в комбінації з іншими спектрами для досягнення найкращих результатів [5].

Оптимальний спектр освітлення для вирощування базиліку в гідропонних системах є комбінацією червоного, синього і частково фіолетового світла, що сприяє не тільки високій врожайності, але і розвитку якості продукту, такої як смак і аромат. Різноманітність спектрів, а також точне налаштування їх інтенсивності і тривалості впливу, дозволяють адаптувати умови до стадії розвитку рослини, що в свою чергу оптимізує весь процес вирощування [6].

Підсумовуючи, застосування різних спектрів освітлення в гідропонних системах дозволяє отримати максимальний результат при вирощуванні базиліку. Червоний спектр стимулює ріст і розвиток листя, синій – покращує фотосинтетичну активність і розвиток кореневої системи, а фіолетовий і ультрафіолетовий спектри підвищують стійкість до хвороб і стресових факторів. Правильне поєднання спектрів освітлення здатне значно покращити урожайність та якість базиліку в умовах гідропоніки, що робить цей метод вирощування дуже ефективним.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У цьому розділі наведено результати проведених експериментальних досліджень, які спрямовані на вивчення впливу спектрального складу штучного освітлення та типу гідропонних систем на ріст, розвиток і продуктивність бази́ліку. Оцінку впливу досліджуваних факторів здійснено за основними показниками росту, біомаси, фізіологічних параметрів та якості рослин. Отримані дані дозволяють встановити закономірності змін досліджуваних показників залежно від варіантів освітлення і способу вирощування, а також визначити оптимальні умови для максимізації продуктивності культури в умовах гідропоніки.

3.1. Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні бази́ліку в гідропонній системі на висоту рослин

Вивчення впливу спектрального складу штучного освітлення на ріст рослин є важливим аспектом агрономічних досліджень, оскільки правильний вибір освітлення може значно покращити продуктивність сільськогосподарських культур, зокрема в умовах гідропоніки. Оскільки штучне освітлення відіграє ключову роль у регулюванні фотосинтетичних процесів, розуміння його впливу на фізіологію рослин дозволяє оптимізувати умови для вирощування рослин, зокрема таких чутливих до умов освітлення культур, як бази́лік. Отже, результати цього дослідження дозволяють визначити, як різні спектри світла та їх інтенсивність можуть впливати на висоту рослин бази́ліку, що є важливим показником їхнього росту та розвитку.

В таблиці 2 представлені результати експерименту, спрямованого на вивчення впливу різних типів спектрального освітлення та інтенсивностей освітлення на висоту рослин бази́ліку. За результатами таблиці, спостерігається чітка тенденція до збільшення висоти рослин при підвищенні

інтенсивності освітлення в усіх варіантах. Однак, не всі типи освітлення показали однакові результати (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базилику в гідропонній системі на висоту рослин, см (2024 р.)

Фактор А (Тип спектрального освітлення)	Фактор Б (Інтенсивність освітлення)			
	Низька 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$	Середня 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$	Висока 450 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$	Дуже висока 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$
Біле світло (контроль)	22,1	24,2	26,2	27,1
Червоне світло	23,3	25,1	27,4	28,3
Синє світло	21,1	23,1	25,2	26,1
Повне спектральне світло	24,0	26,5	28,2	29,2
НІР ₀₅ , см фактор А фактор В взаємодія АВ				0,5 0,7 0,9

Для білого світла (контрольний варіант) відмічається поступове збільшення висоти рослин з 22,1 см при низькому рівні інтенсивності (150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$) до 27,1 см при дуже високому рівні (600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$). Це свідчить про те, що навіть стандартне біле світло має позитивний ефект на ріст рослин, але його ефективність обмежена порівняно з іншими типами спектрального освітлення. При використанні червоного світла спостерігається дещо більший ріст рослин у порівнянні з білим світлом. Висота рослин при низькому рівні інтенсивності досягала 23,3 см, а при високому рівні інтенсивності досягала 28,3 см. Такий результат може бути обумовлений тим, що червоне світло стимулює фотосинтетичну активність рослин, особливо в стадії цвітіння і плодоношення, що є важливим для базилику, який має активний період росту в цих фазах розвитку.

Синє світло показало дещо гірші результати, ніж червоне. Висота рослин при синьому світлі варіювалася від 21,1 см при низькому рівні освітлення до

26,1 см при найвищому рівні. Хоча синє світло також необхідне для ефективної фотосинтетичної діяльності, його перевага полягає більше у сприянні розвитку листкової маси і структури рослин, а не в підвищенні висоти. Тому, хоча синє світло є важливим для росту рослин в цілому, його ефект на висоту рослин базиліку виявився менш вираженим.

Найкращі результати були отримані при використанні повного спектрального освітлення. Висота рослин при цьому типі освітлення варіювалася від 24,0 см при низькому рівні інтенсивності до 29,2 см при дуже високому рівні. Повне спектральне світло, яке включає всі спектри світла, необхідні для різних етапів фотосинтетичного процесу, виявилось найбільш ефективним для стимулювання росту базиліку, оскільки забезпечує більш збалансоване освітлення, яке підвищує ефективність фотосинтезу та інші метаболічні процеси в рослинах.

Загалом, результати дослідження підтверджують, що підвищення інтенсивності освітлення в поєднанні з правильним спектром світла є основним чинником, що визначає висоту рослин базиліку в гідропонній системі. Повне спектральне освітлення показало найкращі результати в усіх варіантах інтенсивності, що свідчить про важливість використання освітлення, яке максимально наближене до природного. Висота рослин збільшується з підвищенням інтенсивності освітлення, причому найкращі результати спостерігаються при дуже високій інтенсивності. Це має практичне значення для фермерів і дослідників, оскільки дозволяє створити оптимальні умови для вирощування базиліку в гідропонних системах, що може сприяти підвищенню продуктивності та якості вирощуваних рослин.

Згідно з аналізом взаємодії факторів, результати вказують на важливість як спектрального складу освітлення (фактор А), так і інтенсивності освітлення (фактор Б). Взаємодія факторів А і Б також має статистично значущий вплив на висоту рослин. Так, значення HP_{05} для факторів А, Б та їх взаємодії складають відповідно 0,5 см, 0,7 см і 0,9 см, що свідчить про статистично значущий вплив цих факторів на висоту рослин.

Висновки з цього дослідження показують, що підвищення інтенсивності освітлення і використання повного спектрального освітлення є найбільш ефективними для стимулювання росту бази́ліку в гідропонних системах, що відкриває можливості для оптимізації умов вирощування цієї культури.

3.2. Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні бази́ліку в гідропонній системі на кількість листків рослини

Вивчення впливу спектрального складу штучного освітлення на кількість листків рослин є важливим для оптимізації умов вирощування рослин в гідропонних системах. Різні спектри світла можуть по-різному впливати на процеси фотосинтезу та розвиток рослин, зокрема на кількість утворених листків, що є важливим показником здоров'я та продуктивності рослин. Вибір правильного спектрального складу освітлення може підвищити ефективність вирощування сільськогосподарських культур, таких як бази́лік, і забезпечити високі врожаї.

Згідно з отриманими результатами, використання повного спектрального світла показало найкращі результати щодо кількості листків на всіх рівнях інтенсивності освітлення. При низькому рівні інтенсивності ($150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$) було зафіксовано 8,3 листків, при середньому рівні ($300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$) – 10,0 листків, при високій інтенсивності ($450 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$) – 12,4 листків і при дуже високій інтенсивності ($600 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$) – 14,3 листки. Це свідчить про те, що повне спектральне світло є найбільш ефективним для стимулювання утворення листя, особливо при високих рівнях інтенсивності освітлення, що може бути пов'язано з оптимальним поєднанням різних довжин хвиль, що підтримують процеси фотосинтезу та сприяють розвитку рослин (табл. 3).

Червоне світло також продемонструвало позитивний ефект на кількість листків, перевищуючи біле та синє світло, але не досягло таких високих результатів, як повне спектральне світло. При низькому рівні інтенсивності червоне світло забезпечило 7,4 листки, при середньому рівні – 9,2 листки, при

високій інтенсивності – 11,2 листки і при дуже високій інтенсивності – 13,1 листок.

Таблиця 3

Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базилика в гідропонній системі на кількість листків рослини, шт. (2024 р.)

Фактор А (Тип спектрального освітлення)	Фактор Б (Інтенсивність освітлення)			
	Низька 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$	Середня 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$	Висока 450 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$	Дуже висока 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$
Біле світло (контроль)	6,1	8,3	10,1	11,2
Червоне світло	7,4	9,2	11,2	13,1
Синє світло	5,2	7,2	9,3	10,1
Повне спектральне світло	8,3	10,0	12,4	14,3
НІР ₀₅ , см фактор А фактор В взаємодія АВ				1,1 1,3 1,5

Червоне світло є потужним стимулятором росту рослин, сприяючи утворенню нових листків і покращуючи загальний розвиток рослин. Однак, хоча воно демонструє хороші результати, його ефективність все ж є дещо нижчою за повне спектральне світло.

Біле світло показало найменший приріст кількості листків серед усіх варіантів, хоча результати все ж свідчать про його помірну ефективність. Кількість листків при різних рівнях інтенсивності була: 6,1 листків при низькому рівні, 8,3 листків при середньому, 10,1 листків при високому та 11,2 листків при дуже високому рівні. Біле світло є важливим для загального росту рослин, але його ефективність у стимулюванні кількості листків дещо поступається червоному та повному спектральному світлу.

Синє світло виявилося найбільш малоефективним для стимулювання утворення листя, що може бути пов'язано з його впливом на інші аспекти розвитку рослин, такі як формування стебел та загальна структура рослини.

Висота листової маси при синьому світлі була найменшою на всіх рівнях інтенсивності: 5,2 листки при низькому рівні інтенсивності, 7,2 листки при середньому рівні, 9,3 листки при високій інтенсивності та 10,1 листків при дуже високій інтенсивності. Це свідчить про те, що синє світло може бути менш ефективним для стимулювання утворення листя, хоча воно може мати інші корисні ефекти на рослини, такі як підвищення стійкості до стресових умов.

Статистичний аналіз показав, що всі фактори, включаючи тип спектрального освітлення (фактор А), інтенсивність освітлення (фактор Б) та їх взаємодія (фактор АВ), мали значущий вплив на кількість листків. Значення HP_{05} для факторів А, Б та їх взаємодії складають 1,1 см, 1,3 см і 1,5 см відповідно, що вказує на статистично значущий вплив цих факторів на результати дослідження.

Отже, найбільша кількість листків була зафіксована при використанні повного спектрального світла на високих рівнях інтенсивності. Це підтверджує важливість використання оптимального спектру освітлення для стимулювання росту та розвитку рослин, а також необхідність регулювання інтенсивності освітлення для досягнення найкращих результатів у вирощуванні базиліку в гідропонних системах.

3.3. Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базиліку в гідропонній системі на площу листової поверхні рослин

Вивчення впливу спектрального складу штучного освітлення на площу листової поверхні рослин є важливим для покращення умов вирощування базиліку в гідропонних системах. Площа листової поверхні є критичним параметром, оскільки вона визначає здатність рослин здійснювати фотосинтез та активно утворювати органічні речовини, що забезпечують їх ріст і розвиток. Оцінка впливу різних спектрів світла на цей показник дозволяє оптимізувати

умови вирощування, що має значення як для сільськогосподарського виробництва, так і для наукових досліджень у галузі агрономії та ботаніки.

Згідно з отриманими результатами, використання повного спектрального світла виявилось найбільш ефективним для стимулювання розвитку листкової поверхні бази́ліку. При низькому рівні інтенсивності освітлення ($150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$) площа листкової поверхні становила $0,28 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при середньому рівні ($300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$) – $0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при високому рівні ($450 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$) – $0,38 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а при дуже високому рівні ($600 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$) – $0,41 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Це свідчить про те, що під впливом повного спектрального світла площа листкової поверхні збільшується на всіх рівнях інтенсивності, причому найбільший ефект спостерігається при дуже високій інтенсивності освітлення. Повне спектральне світло забезпечує оптимальне поєднання червоних, синіх та зелених компонентів, що сприяє більш інтенсивному росту листя, що є критично важливим для максимізації фотосинтетичної активності рослин.

Червоне світло також показало позитивний ефект на площу листкової поверхні. При низькому рівні інтенсивності площа становила $0,26 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при середньому – $0,30 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при високому – $0,36 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а при дуже високому рівні – $0,36 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Хоча червоне світло і не досягло таких результатів, як повне спектральне, його ефективність все ж є високою, оскільки воно стимулює ріст і розвиток листя, що сприяє збільшенню площі листкової поверхні.

Біле світло продемонструвало помірний вплив на площу листкової поверхні: при низькому рівні інтенсивності площа була $0,23 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при середньому – $0,28 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при високому – $0,32 \text{ м}^2/\text{м}^2$ і при дуже високому рівні – $0,35 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Результати свідчать про те, що біле світло має обмежену ефективність для стимулювання площі листкової поверхні порівняно з червоним і повним спектральним світлом, хоча воно все ж забезпечує хороший рівень розвитку рослин.

Синє світло показало найменший ефект серед усіх варіантів освітлення. При низькому рівні інтенсивності площа листкової поверхні становила $0,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при середньому – $0,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$, при високому – $0,27 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а при дуже

високому рівні – 0,30 м²/м². Це може свідчити про те, що синє світло більш ефективне для інших аспектів росту рослин, таких як формування стебел, ніж для стимулювання розвитку листкової поверхні.

Таблиця 4

Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базилику в гідропонній системі на площу листкової поверхні рослин, м²/м² (2024 р.)

Фактор А (Тип спектрального освітлення)	Фактор Б (Інтенсивність освітлення)			
	Низька 150 μmol/м ² /с	Середня 300 μmol/м ² /с	Висока 450 μmol/м ² /с	Дуже висока 600 μmol/м ² /с
Біле світло (контроль)	0,23	0,28	0,32	0,35
Червоне світло	0,26	0,30	0,36	0,36
Синє світло	0,20	0,24	0,27	0,30
Повне спектральне світло	0,28	0,34	0,38	0,41
НІР ₀₅ , см фактор А фактор В взаємодія АВ				0,11 0,13 0,16

Статистичний аналіз показав, що всі фактори, включаючи тип спектрального освітлення (фактор А), інтенсивність освітлення (фактор Б) та їх взаємодія (фактор АВ), мали статистично значущий вплив на площу листкової поверхні. Значення НІР₀₅ для факторів А, Б і їх взаємодії становлять 0,11 м²/м², 0,13 м²/м² та 0,16 м²/м² відповідно, що вказує на суттєвий вплив цих параметрів на результати дослідження.

У підсумку, найбільша площа листкової поверхні була зафіксована при використанні повного спектрального світла на високих рівнях інтенсивності. Це підтверджує важливість оптимального спектру освітлення для досягнення найкращих результатів у розвитку листкової поверхні базилику в гідропонних системах.

3.4. Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базилику в гідропонній системі на зелену масу рослин

Вивчення впливу спектрального складу штучного освітлення на зелену масу рослин є важливим аспектом для оптимізації умов вирощування базилику в гідропонних системах, оскільки забезпечує можливість підвищити продуктивність рослин при різних інтенсивностях освітлення. Таблиця 5 демонструє результат дослідження впливу типу спектрального освітлення та інтенсивності освітлення на кількість зеленої маси базилику, виражену в кг/м². Як видно з результатів, з підвищенням інтенсивності освітлення спостерігається поступове збільшення зеленої маси рослин для всіх типів спектрального освітлення.

Таблиця 5

Вплив спектрального складу штучного освітлення при вирощуванні базилику в гідропонній системі на зелену масу рослин, кг/м² (2024 р.)

Фактор А (Тип спектрального освітлення)	Фактор Б (Інтенсивність освітлення)			
	Низька 150 μmol/m ² /с	Середня 300 μmol/m ² /с	Висока 450 μmol/m ² /с	Дуже висока 600 μmol/m ² /с
Біле світло (контроль)	1,51	1,82	2,10	2,32
Червоне світло	1,73	2,04	2,42	2,71
Синє світло	1,40	1,72	2,07	2,23
Повне спектральне світло	1,92	2,35	2,75	3,04
НІР _{05, см} фактор А				0,08
фактор В				0,10
взаємодія АВ				0,11

Так, при низькій інтенсивності освітлення (150 μmol/m²/с) максимальний приріст зеленої маси спостерігається при використанні червоного спектра, де він становить 1,73 кг/м², що на 0,22 кг більше за біле світло (контроль). Найменше значення зеленої маси було зафіксовано при використанні синього

спектра, що склало $1,40 \text{ кг/м}^2$, що підтверджує меншу ефективність цього спектра при низькій інтенсивності освітлення. З підвищенням інтенсивності освітлення ($300 \text{ }\mu\text{mol/м}^2/\text{с}$, $450 \text{ }\mu\text{mol/м}^2/\text{с}$, $600 \text{ }\mu\text{mol/м}^2/\text{с}$) зелена маса рослин збільшується для всіх спектрів. Особливо яскраво це проявляється при використанні повного спектра, де на найвищій інтенсивності освітлення ($600 \text{ }\mu\text{mol/м}^2/\text{с}$) зелена маса досягає $3,04 \text{ кг/м}^2$. Це вказує на те, що повне спектральне освітлення забезпечує найкращі умови для росту бази́ліку, порівняно з іншими типами світла.

Червоний спектр також демонструє хороший результат, але не досягає рівня повного спектра. В той час як синє світло дає менші показники, навіть при високих інтенсивностях освітлення. Результати дослідження підкреслюють важливість оптимізації спектрального складу та інтенсивності освітлення для досягнення високої продуктивності в гідропонних системах.

Таким чином, повне спектральне освітлення є найбільш ефективним для стимуляції росту бази́ліку в умовах гідропонії, а інтенсивність освітлення відіграє ключову роль у забезпеченні максимального розвитку рослин.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ БАЗИЛІКУ В ГІДРОПОННІЙ СИСТЕМІ

Дослідження економічної ефективності вирощування базилику в умовах штучного освітлення в гідропонній системі є важливим для оптимізації виробничих процесів та підвищення рентабельності такого виду діяльності. Вивчення впливу різних інтенсивностей освітлення та спектральних складів дозволяє отримати комплексні дані для оцінки потенційної вигоди від застосування цієї технології в умовах інтенсивного землеробства. Таблиця 6 відображає економічні показники при використанні різних типів освітлення і їх інтенсивності, а також дозволяє оцінити рівень рентабельності в залежності від умов вирощування.

Результати таблиці свідчать про те, що при збільшенні інтенсивності освітлення спостерігається зростання врожайності базилику, валової вартості продукції, а також умовно чистого прибутку на квадратний метр. Найвища врожайність досягнута при використанні повного спектрального світла та дуже високої інтенсивності освітлення ($600 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$), де врожайність склала $3,04 \text{ кг}/\text{м}^2$. Це призвело до валової вартості продукції $1064,0 \text{ грн}/\text{м}^2$, з виробничими витратами $363,2 \text{ грн}/\text{м}^2$, що забезпечило умовно чистий прибуток $700,8 \text{ грн}/\text{м}^2$ та рівень рентабельності $193,0\%$. Такі результати вказують на значний економічний ефект від застосування повного спектра при високих інтенсивностях освітлення.

Серед інших варіантів, найбільш економічно вигідним виявилось використання червоного світла при високій інтенсивності ($450 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$), де рівень рентабельності склав $179,1\%$, що також вказує на високі прибутки з меншими витратами, порівняно з іншими варіантами. Найнижчі показники рентабельності спостерігалися при низькій інтенсивності освітлення з синім світлом, де рівень рентабельності склав лише $89,5\%$ (табл. 6).

Таблиця 6

Економічна ефективність вирощування базилика в умовах штучного освітлення в гідропонній системі (2024 р.)

Попередник	Врожайність зеленої маси, кг/м ²	Валова вартість продукції, грн/м ²	Виробничі витрати, грн/м ²	Собівартість 1 кг, грн	Умовно чистий прибуток, грн/м ²	Рівень рентабельності, %
Низька інтенсивність освітлення 150 μmol/m ² /с						
Біле світло (контроль)	1,51	528,5	251,3	166,4	277,2	110,3
Червоне світло	1,73	605,5	263,2	152,1	342,3	130,1
Синє світло	1,40	490,0	258,6	184,7	231,4	89,5
Повне спектральне світло	1,92	672,0	272,3	141,8	399,7	146,8
Середня інтенсивність освітлення 300 μmol/m ² /с						
Біле світло (контроль)	1,82	637,0	271,2	149,0	365,8	134,9
Червоне світло	2,04	714,0	283,4	138,9	430,6	151,9
Синє світло	1,72	602,0	278,7	162,0	323,3	116,0
Повне спектральне світло	2,35	822,5	292,4	124,4	530,1	181,3
Висока інтенсивність освітлення 450 μmol/m ² /с						
Біле світло (контроль)	2,10	735,0	291,3	138,7	443,7	152,3
Червоне світло	2,42	847,0	303,5	125,4	543,5	179,1
Синє світло	2,07	724,5	298,8	144,3	425,7	142,5
Повне спектральне світло	2,75	962,5	312,1	113,5	650,4	208,4
Дуже висока інтенсивність освітлення 600 μmol/m ² /с						
Біле світло (контроль)	2,32	812,0	339,9	146,5	472,1	138,9
Червоне світло	2,71	948,5	354,3	130,7	594,2	167,7
Синє світло	2,23	780,5	348,6	156,3	431,9	123,9
Повне спектральне світло	3,04	1064,0	363,2	119,5	700,8	193,0

Це свідчить про те, що для досягнення високих економічних результатів необхідно використовувати більш інтенсивне освітлення і комбінувати його з відповідними типами спектрального світла.

Загалом, аналіз економічної ефективності показує, що вирощування бази́ліку за допомогою штучного освітлення в гідропонній системі з використанням високої інтенсивності освітлення та повного спектра світла забезпечує найкращі економічні результати. Ці дані можуть бути корисними для оптимізації виробничих технологій і підвищення рентабельності вирощування бази́ліку на гідропоні́ці в умовах штучного освітлення.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Дослідження стану охорони праці в господарстві

Організація охорони праці в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Грін фьючер інжиніринг» базується на основі положень з охорони праці в Україні, які встановлені і регламентується «Конституцією України, Кодексом законів про працю, Законом України» «Про охорону праці», а також розробленими на їх основі відповідними нормативними актами, та іншими джерелами інформації [9].

За стан охорони праці відповідає керівник – директор товариства з обмеженою відповідальністю «Грін фьючер інжиніринг», який в межах службової компетенції та посадових обов'язків діє згідно «Постанови Верховної Ради України, Кабінету Міністрів України з питань охорони праці, додержуючись вимог закону «Про охорону праці» та інших нормативних актів» [9].

У відповідності з «Типовим положенням про навчання та перевірку знань з питань охорони праці в господарстві встановлено порядок і види навчання з охорони праці робітників. Своєчасність навчання з охорони праці контролює керівник господарства» [9].

В товаристві з обмеженою відповідальністю «Грін фьючер інжиніринг» головний агроном виконує обов'язки фахівця з охорони праці за сумісництвом. В його обов'язки входить «проведення вступного інструктажу з особами, які оформляються на роботу» [9]. Проходження працівниками інструктажу відмічається в «журналі реєстрації вступного інструктажу з питань охорони праці» [9].

5.2. Аналіз виробничого травматизму в господарстві

При підготовці кваліфікаційної роботи та виконання індивідуального завдання з аналізу виробничого травматизму в господарстві «Грін фьючер

інжиніринг» було зафіксовано один нещасний випадок за період 2023–2024 рр. Аналіз було виконано на підставі «Річного звіту про нещасні випадки на виробництві».

Для аналізу виробничого травматизму в господарстві було застосовано стандартний математично статистичний метод за останні 2 роки. За останні 2 роки кількість працівників була незмінною, а саме: 16 чоловік. Один випадок виробничого травматизму було зафіксовано в 2023 році (табл. 7).

Коефіцієнт частоти травматизму:

$$K_{\text{чт}} = \frac{T}{P} \times 1000 = \frac{1}{16} \times 1000 = 32,1$$

де Т – кількість нещасних випадків;

Р – кількість працівників;

1000 – перерахування на 1000 працівників.

Коефіцієнт важкості травматизму:

$$K_{\text{вт}} = \frac{D}{T} = \frac{16}{1} = 16$$

де Д – кількість непрацездатних днів.

Коефіцієнт втрати робочого часу:

$$K_{\text{чт}} = \frac{D}{P} \times 1000 = \frac{16}{20} \times 1000 = 314$$

Таблиця 7

Аналіз нещасних випадків та виробничого травматизму в господарстві

Показники травматизму	2023 рік	2024 рік
Кількість працюючих людей	16	16
Кількість нещасних випадків	1	—
Кількість днів непрацездатності, діб		—
- від травматизму	14	—
- від захворювання		—
Втрати, тис. грн:		—
- від травматизму	24,5	—
- від захворювання		—
Коефіцієнт травматизму	32,1	—
Коефіцієнт важкості травматизму	16	—
Коефіцієнт втрати робочого часу	314	—

В процесі розрахунків в господарстві виробничого травматизму застосовували математично статистичний метод за 2023–2024 рр. Відповідно до цього, маючи кількість працівників, відповідно: 2023 р. – 17, 2024 р. – 16 людина та один нещасний випадок у 2023 році розрахуємо та відображаємо в таблиці відповідні дані.

Таким чином, за результатами аналізу виробничого травматизму в фермерському господарстві було виявлено, що працювало в 2023–2024 році 16 працівник, в 2023 році стався один нещасний випадок на виробництві з 1 працівником.

5.3. Вимоги охорони праці під час вирощування базиліку в умовах штучного освітлення в гідропонній системі

Вирощування базиліку в умовах штучного освітлення в гідропонній системі є важливим напрямом сучасного агропромислового виробництва, оскільки воно дозволяє отримати високі врожаї в умовах обмежених природних ресурсів, таких як вода та земля. Однак цей процес супроводжується рядом факторів, які можуть впливати на здоров'я та безпеку працівників, тому важливим є дотримання вимог охорони праці для забезпечення безпечних умов роботи. Охорона праці під час вирощування базиліку в таких умовах включає кілька аспектів, які необхідно враховувати для запобігання нещасним випадкам, травмам та професійним захворюванням.

Насамперед, важливим є навчання персоналу та проведення інструктажів з охорони праці, що забезпечує правильне виконання усіх робочих операцій. Першочерговим завданням є проведення первинного інструктажу перед початком роботи, а також регулярні перевірки знань з техніки безпеки. Працівники, які працюють з електричним обладнанням, повинні бути ознайомлені з вимогами щодо роботи з електричними приладами, такими як освітлювальні системи, насоси, системи контролю температури та вологості, а також з правилами безпеки під час використання пестицидів та добрив. Для цього важливо мати чітко прописані інструкції та

правила, що регламентують порядок дій у разі аварійних ситуацій чи нещасних випадків.

Не менш важливим є оцінка потенційних ризиків на робочому місці. У вирощуванні базиліку з використанням штучного освітлення та гідропонної системи існують різноманітні небезпечні фактори, серед яких найпоширенішими є електрична небезпека, хімічні небезпеки та фізичні ризики. Одним з найбільших ризиків є електричний струм, оскільки для забезпечення належного освітлення та підтримки оптимальних умов середовища використовуються електричні прилади. Працівники повинні бути навчені правильному використанню таких приладів, знати, як поводитися з електричним обладнанням, та вміти оперативно реагувати у випадку аварій. У процесі вирощування рослин в умовах штучного освітлення можуть використовуватися лампи, які випромінюють ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, що може негативно впливати на здоров'я працівників, якщо не дотримуватися заходів захисту. Працівники повинні бути оснащені спеціальними окулярами, що захищають від ультрафіолетового випромінювання, а також мати засоби захисту шкіри від прямого контакту з джерелами інфрачервоного випромінювання.

Крім того, робота з хімічними препаратами, такими як пестициди та добрива, створює потенційну небезпеку для здоров'я. Хімічні речовини можуть потрапити в організм через дихальні шляхи, шкіру або очі, що може призвести до серйозних отруєнь або захворювань. З цієї причини необхідно забезпечити наявність засобів індивідуального захисту, таких як респіратори, рукавички, захисні окуляри, а також спеціальний одяг, що зменшує ризик контакту з шкідливими речовинами. Особливу увагу слід приділяти правильному зберіганню хімічних речовин, оскільки їх неправильне зберігання може призвести до аварійних ситуацій, зокрема до хімічних витоків, що загрожують безпеці працівників.

Фізичні небезпеки також не повинні бути залишені без уваги. У гідропонній системі використовуються важкі конструкції та обладнання, такі

як контейнери для води, гідропонні установки, насоси та інші пристрої. Переміщення та монтаж цих елементів може призвести до фізичних травм, якщо не дотримуватися правил безпеки при їх транспортуванні, підйомі та монтажі. Важливо, щоб робочі місця були організовані таким чином, щоб мінімізувати фізичні навантаження на працівників і забезпечити їх комфорт під час виконання робіт.

Ще одним важливим аспектом є забезпечення належних умов праці для працівників. Оскільки вирощування базиліку в умовах штучного освітлення вимагає використання спеціального обладнання, важливо, щоб робочі приміщення були облаштовані таким чином, щоб працівники могли безпечно переміщатися, працювати з технікою та приладами без ризику травм. Це включає в себе належне освітлення робочих зон, правильну вентиляцію, контроль температури та вологості в приміщеннях. Якщо працівники працюють у закритих приміщеннях, необхідно забезпечити безперебійну роботу вентиляційних систем, щоб запобігти накопиченню шкідливих випарів, зокрема від хімічних добрив.

Для запобігання нещасним випадкам та травмам також важливо правильно організувати робочий процес. Це означає, що всі операції повинні виконуватись згідно з чітко встановленими правилами та процедурами. Для кожної категорії працівників повинні бути визначені чіткі обов'язки, а також встановлені відповідні правила безпеки для кожного етапу роботи. Не менш важливо організувати своєчасне проведення медичних оглядів працівників, особливо тих, хто працює з хімічними речовинами або в умовах високого рівня електромагнітного випромінювання. Всі працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, що відповідають вимогам безпеки.

Таким чином, охорона праці під час вирощування базиліку в умовах штучного освітлення в гідропонній системі є важливою складовою технологічного процесу, що сприяє забезпеченню здоров'я працівників, зниженню ризиків травм і професійних захворювань. Це включає в себе виконання всіх заходів щодо електричної та хімічної безпеки, а також захисту

працівників від фізичних і психологічних навантажень. Усі ці заходи мають бути комплексними і направленими на створення безпечних умов праці для всіх, хто працює у даній галузі.

5.4. Заходи з покращення стану охорони праці в господарстві

Для покращення стану охорони праці в товаристві з обмеженою відповідальністю «Грін фьючер інжиніринг» необхідно здійснити ряд комплексних заходів, спрямованих на зниження ризиків травм і професійних захворювань, а також на створення безпечних та здорових умов праці. Першим кроком є удосконалення системи навчання та інструктажів для працівників, оскільки правильні знання з охорони праці є основою безпечної роботи. Працівники повинні регулярно проходити інструктажі з безпеки на робочих місцях, а також проходити курси підвищення кваліфікації з охорони праці. Інструктажі повинні охоплювати всі аспекти роботи, пов'язані з використанням техніки, хімічними речовинами, а також електричними приладами та іншими небезпечними факторами. Для цього слід розробити і затвердити спеціальні навчальні програми, що будуть регулярно оновлюватися відповідно до нових стандартів і вимог.

Другим важливим кроком є модернізація технічного обладнання, що використовується у виробничому процесі. Це включає в себе забезпечення робочих місць сучасними, сертифікованими приладами та механізмами, які відповідають вимогам безпеки. До того ж, важливо регулярно проводити перевірку і технічне обслуговування устаткування, щоб уникнути аварійних ситуацій і знизити ймовірність поломок, які можуть призвести до травм. Заміна застарілих моделей на нові, більш безпечні і ефективні пристрої дозволить зменшити фізичне навантаження на працівників і підвищити загальний рівень безпеки.

Для запобігання негативному впливу хімічних речовин, таких як пестициди та добрива, необхідно забезпечити наявність в кожного працівника засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). До таких засобів належать респіратори,

захисні рукавички, окуляри, спеціальний одяг та взуття, що повинні бути доступними і використовуватись відповідно до типу робіт. Крім того, необхідно проводити спеціальну підготовку персоналу з безпечного використання хімічних речовин, правильного зберігання та утилізації відходів, щоб звести до мінімуму можливість аварій або отруєнь.

Важливою частиною покращення охорони праці є також впровадження системи моніторингу та контролю за умовами праці. Це включає в себе регулярні перевірки рівня освітленості, температури, вологості повітря та інших факторів, які можуть впливати на безпеку працівників. Встановлення відповідного обладнання для моніторингу таких параметрів допоможе оперативно виявляти небезпечні зміни і своєчасно вжити необхідних заходів для їх коригування.

Окрім технічних заходів, велике значення має створення належних організаційних умов праці. Це включає в себе забезпечення працівників комфортними робочими місцями, правильну організацію праці та відпочинку, а також організацію медичних оглядів. Для цього необхідно створити відповідні умови для відпочинку працівників, організувати спеціалізовані приміщення для медичних перевірок, а також забезпечити доступ до необхідної медичної допомоги в разі потреби. Регулярні медогляди повинні проводитися для всіх працівників, особливо тих, хто працює з небезпечними хімічними речовинами чи в умовах високого електричного навантаження.

Одним із важливих заходів є також створення системи мотивації для працівників, яка б сприяла дотриманню норм і стандартів охорони праці. Впровадження бонусних програм за дотримання норм безпеки і зниження кількості травм може стати додатковим стимулом для працівників бути уважними до власної безпеки та безпеки колег.

Також необхідно постійно вдосконалювати систему управління охороною праці, в тому числі здійснювати аудит існуючих стандартів і процедур, залучаючи до цього професіоналів з охорони праці та зовнішніх

експертів. Така система дозволить оперативно виявляти слабкі місця та усувати їх на ранніх етапах, тим самим знижуючи ризики для працівників.

Важливим аспектом є також покращення комунікації між керівництвом і працівниками щодо питань охорони праці. Це передбачає відкритий діалог про проблеми безпеки, запровадження регулярних зборів, на яких обговорюватимуться поточні питання охорони праці, а також залучення працівників до розробки нових стандартів і процедур. Такий підхід сприятиме не лише підвищенню рівня безпеки, але й покращенню морального клімату на підприємстві.

Враховуючи вищезазначене, комплексний підхід до вдосконалення стану охорони праці в товаристві з обмеженою відповідальністю «Грін фьючер інжиніринг» дозволить суттєво знизити ризики травм і професійних захворювань, а також покращити загальні умови праці на підприємстві. Впровадження нових стандартів охорони праці та вдосконалення технічного і організаційного забезпечення створить здорові та безпечні умови для ефективної роботи працівників, що, в свою чергу, позитивно позначиться на продуктивності та економічних показниках підприємства.

ВИСНОВКИ

1. Результати дослідження підтверджують, що підвищення інтенсивності освітлення в поєднанні з правильним спектром світла є основним чинником, що визначає висоту рослин бази́ліку в гідропонній системі. Повне спектральне освітлення показало найкращі результати в усіх варіантах інтенсивності, що свідчить про важливість використання освітлення, яке максимально наближене до природного. Висота рослин збільшується з підвищенням інтенсивності освітлення, причому найкращі результати спостерігаються при дуже високій інтенсивності. Це має практичне значення для фермерів і дослідників, оскільки дозволяє створити оптимальні умови для вирощування бази́ліку в гідропонних системах, що може сприяти підвищенню продуктивності та якості вирощуваних рослин.

2. Найбільша кількість листків була зафіксована при використанні повного спектрального світла на високих рівнях інтенсивності. Це підтверджує важливість використання оптимального спектру освітлення для стимулювання росту та розвитку рослин, а також необхідність регулювання інтенсивності освітлення для досягнення найкращих результатів у вирощуванні бази́ліку в гідропонних системах.

3. Найбільша площа листової поверхні була зафіксована при використанні повного спектрального світла на високих рівнях інтенсивності. Це підтверджує важливість оптимального спектру освітлення для досягнення найкращих результатів у розвитку листової поверхні бази́ліку в гідропонних системах.

4. Повне спектральне освітлення є найбільш ефективним для стимуляції росту бази́ліку в умовах гідропонії, а інтенсивність освітлення відіграє ключову роль у забезпеченні максимального розвитку рослин.

5. Аналіз економічної ефективності показує, що вирощування бази́ліку за допомогою штучного освітлення в гідропонній системі з використанням високої інтенсивності освітлення та повного спектра світла забезпечує

найкращі економічні результати. Ці дані можуть бути корисними для оптимізації виробничих технологій і підвищення рентабельності вирощування базиліку на гідропонії в умовах штучного освітлення.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

В умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Грін фьючер інжиніринг» при вирощуванні базилика сорту Маріан рекомендується використовувати світлодіодне освітлення з повним спектром випромінювання і світловим потоком в 300–450 мікромоль в секунду на метр квадратний, по часу досвітки рекомендується 12 -ти годинний цикл, що дозволить зменшити енерговитрати від 30%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гандзюк М. П. Основи охорони праці : Підручник. 2-е вид. / Гандзюк М.П., Желібо Є. П., Халімовський М. О. К. : Каравела, 2004. 408 с.
2. Горшкова Л. М., Ліщенко О. В. «Особливості вирощування рослин в гідропонних системах», Агроєкологічний журнал, 2022, № 3, с. 12–18.
3. Гриценко В. І., Мельник О. М. «Використання сучасних технологій гідропонії в органічному землеробстві», Вісник аграрної науки, 2021, № 8, с. 45–51.
4. Сидоренко А. В., Коваленко О. Ю. «Агрофізичні властивості ґрунтів при використанні гідропонних технологій для вирощування овочевих культур», Технічні науки та інновації, 2023, № 4, с. 39–46.
5. Козак О. О. «Вплив різних типів освітлення на ріст і розвиток рослин у гідропонії», Вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2021, № 10, с. 125–132.
6. Дмитренко В. М., Літвиненко Ю. В. «Ефективність застосування LED освітлення в гідропонному вирощуванні рослин», Науковий вісник Харківського національного університету, 2022, № 1, с. 61–68.
7. Петренко О. В., Бондаренко І. С. «Модернізація систем гідропонії для ефективного використання водних ресурсів», Технології в агрономії, 2023, № 2, с. 77–84.
8. Яковенко Т. В., Бондаренко І. М. «Інноваційні підходи до організації гідропонного виробництва в умовах сучасних технологій освітлення», Агроєкологічний журнал, 2023, № 1, с. 56–62.
9. Шевченко О. О. «Використання LED освітлення для поліпшення фотосинтетичних процесів у гідропонії», Український аграрний журнал, 2020, № 5, с. 88–92.
10. Клименко М. В., Гуртовенко В. С. «Інтенсивні методи вирощування лікарських культур в умовах гідропонії», Аграрна наука, 2021, № 9, с. 102–108.

11. Стеценко О. С., Котик А. В. «Гідропонні системи для вирощування лікарських та пряних рослин», Біотехнології в агрономії, 2022, № 6, с. 115–122.
12. Нестеренко С. О., Тищенко С. М. «Технології вирощування овочів в гідропонних системах з використанням штучного освітлення», Технічні науки, 2021, № 7, с. 90–98.
13. Соловійова В. І., Пронін Д. В. «Екологічна ефективність застосування гідропонії в тепличному господарстві», Екологія та природні ресурси, 2022, № 4, с. 15–21.
14. Іваненко Л. В., Лук'янов О. П. «Оптимізація параметрів освітлення для вирощування рослин в умовах гідропонії», Науковий вісник ЛНАУ, 2023, № 3, с. 56–63.
15. Гладкий В. В., Гаврилюк Т. П. «Вплив інтенсивності LED освітлення на врожайність рослин в умовах гідропонії», Вісник аграрної науки, 2021, № 5, с. 66–72.
16. Горобець І. М., Іщенко Ю. Г. «Проблеми та перспективи застосування гідропонних технологій для вирощування овочевих культур», Науково-технічний вісник АПК, 2022, № 8, с. 44–49.
17. Бондаренко І. О., Левченко П. В. «Енергозбереження в агрономії: використання LED освітлення в гідропонії», Вісник агроєкології, 2023, № 6, с. 115–120.
18. Новацький В. І., Качура І. Р. «Системи освітлення для гідропонії: аналіз світлових умов», Сільськогосподарська техніка, 2021, № 9, с. 98–104.
19. Прокопенко І. В., Гарбуз В. І. «Вирощування базиліку в умовах гідропонії та вплив освітлення на якість продукції», Аграрна економіка, 2022, № 4, с. 71–77.
20. Кравець І. І., Черниш О. В. «Технологічні аспекти вирощування пряних культур в гідропонії», Вісник інноваційних технологій, 2023, № 2, с. 124–131.

21. Савченко С. С., Романенко Т. В. «Інноваційні методи застосування LED освітлення для підвищення продуктивності гідропонного вирощування», *Агросфера*, 2022, № 11, с. 150–155.
22. Гринько Ю. М., Шмідт Л. В. «Інноваційні технології в агрономії: гідропоніка та освітлення», *Технічні аспекти аграрних технологій*, 2021, № 6, с. 59–66.
23. Бондаренко М. В., Волошина І. О. «Технології гідропонії в тепличному господарстві для вирощування овочевих культур», *Сільське господарство*, 2022, № 3, с. 90–95.
24. Мельник О. М., Кожухар М. А. «Економічні аспекти використання гідропонії в сучасному агровиробництві», *Аграрний вісник*, 2023, № 7, с. 112–118.
25. Черненко С. В., Лаврентьєв А. В. «Гідропонні технології для екологічно чистого вирощування лікарських рослин», *Біологія та екологія*, 2021, № 2, с. 101–107.
26. Кулініч О. О., Орлов А. В. «Перспективи застосування LED освітлення в гідропонії для вирощування пряних та лікарських культур», *Науковий вісник аграрного університету*, 2022, № 12, с. 80–87. Chang X. et al. "Improving basil flavor under LED lighting," 2023.
27. Chen W. et al. "Comparative study on growth parameters under different LED wavelengths," 2021.
28. Chowdhury M. et al. "IoT Based Automated Indoor Vertical Hydroponic Farming Test-Bed in Qatar," *Cencorc*, 2020, Vol. 20(5637).
29. Dou H. et al. "Effects of supplemental LED lighting on sweet basil yield," *Agronomy*, 2020.
30. Dou H. et al. "Morphology and yield of basil under green light substitution," *HortScience*, 2020.
31. Dou H. et al. "Photosynthetic, Morphology, Yield, and Phytochemical Accumulation in Basil Plants," *HortScience*, 2019.

32. Dwiratna C. et al. "Self-fertigation hydroponic kit for remote areas," 2022.
33. Dwiratna C. et al. "The Modified Hydroponic Kit Based on Self-Fertigation System," *Horticulturae*, 2022, Vol. 8(10), p. 948.
34. Fracetya B. et al. "Hydroponic system and lettuce growth dynamics," 2021.
35. Fracetya B. et al. "The effect of hydroponic system on the growth of lettuce," *IOP Conf. Ser., Mater. Sci. Eng.*, 2021, Vol. 1098.
36. Fricke A. et al. "LED lighting for sweet basil photomorphogenesis," *Front Plant Sci.*, 2021.
37. Fricke A. et al. "Photomorphogenesis of sweet basil under UV-A radiation," *Front Plant Sci.*, 2022.
38. Fujimoto T. et al. "Integrated lighting and irrigation system in vertical farming," 2022.
39. Gao F. et al. "Impact of green LED light on plant growth and photosynthesis," 2021.
40. García-Tejero I. et al. "Plant Water Use Efficiency for Sustainable Agricultural Development," *Agronomy*, 2022, Vol. 12(1806).
41. Ghorbel R. et al. "Hydroponic Technology for Green Fodder Production: Concept, Advantages, and Limits," 2022.
42. Huang H. et al. "Role of light intensity in optimizing hydroponic yield," 2020.
43. Jaime F. et al. "Hydroponic System with Automated Hydroponic Using Renewable Energy Self-Sustainable," *ICMME*, 2019, Vol. 256.
44. Kang C. et al. "Enhancing phenolic content in basil under UV-A," 2022.
45. Kang C. et al. "Mild-Intensity UV-A Radiation Can Improve the Growth and Phenolic Content of Sweet Basil," *Front Plant Sci.*, 2022.
46. Kim J. et al. "Effect of far-red supplementation in hydroponics," 2021.
47. Kobets A. C., Pugach A. M. "Recirculation Water Supply Device for Organic Production in Aquaculture," UA 145282 U, Ukraine, 2020.

48. Liu H. et al. "Smart lighting control in LED-based hydroponic system," 2023.
49. Lopez-Guerrero M. et al. "A glass bead semi-hydroponic system for intact maize root exudate analysis," *Plant Methods*, 2022, Vol. 18(25).
50. Lopez-Guerrero P. et al. "Semi-hydroponic system for maize growth analysis," *Plant Methods*, 2022.
51. Luo Y. et al. "Comparative study of LED lighting brands in agriculture," 2023.
52. Molodets B., Hnatuchenko V., Boldyriev D., Bulana T. "Information System of Air Quality Assessment Based on Ground Station and Meteorological Data Monitoring," *CEUR Workshop IntelITCIC 2023*, Vol. 3373, pp. 206–216.
53. Mujtahidin M. et al. "Design and development of control and monitoring hydroponic system," *IJREC*, 2024, Vol. 13(1), pp. 41-51.
54. Nelson J. et al. "Environmental impact of LED vs. traditional lighting," 2015.
55. Nelson J., Bugbee B. "Analysis of Environmental Effects on Leaf Temperature under Sunlight, High-Pressure Sodium, and Light Emitting Diode," *PLOS ONE*, 2015, Vol. 10(10): e0138930.
56. Nerlich A. et al. "Controlled Tomato Production: Effects of Hemp Fiber and Rock Wool Growing Media," *Horticulture*, 2022, Vol. 8(272).
57. Ohachi T. et al. "Effects of LED lighting on long-term indoor farming," 2019.
58. Park R. et al. "Long-term cost analysis of LED in hydroponic system," 2021.
59. Rihan H. et al. "A Novel New Light Recipe for Sweet Basil," *Agronomy*, 2020.
60. Chalini M. et al. "Review paper on automatic hydroponic system," *IRJMETC*, 2024.
61. Chulechko V. "Device for recirculating water supply for aquaculture," 2024.

62. Chulechko V. P. "Device for Recirculating Water Supply for Organic Production in Aquaculture," Ukraine Patent u202304875, 2024.
63. Colbach J. A. et al. "Ceaconal Efficiency of Cupplemental LED Lighting on Cweet Bacil," Front Plant Cci., 2021.
64. Colbach J. et al. "Ceaconal efficiency of cupplemental LED lighting," 2021.
65. van Dijk K. et al. "Analycic of bacil root cyctemc under cemi-hydroponic conditionc," 2022.
66. Wang P. et al. "Glacc bead hydroponicc for maize phenotyping," Plant Methodc, 2022.
67. Yamamoto T. et al. "Evaluation of LED light efficiency in mixed-crop hydroponicc," 2022.
68. Yamamoto T. et al. "Optimizing plant dencity with LED lighting," 2022.
69. Yuan F. et al. "Applicationc of LED lighting in vertical farming," 2021.
70. Yuan F. et al. "LED efficiency in agriculture: A comprehencive review," 2021.
71. Zhang W. et al. "Far-red light cupplementation in hydroponicc," 2020.
72. Zhao R. et al. "Heat management in agricultural LED cyctemc," 2020.
73. Zhao R. et al. "Heat management in LED lighting for agriculture," 2020.
74. Zhen C., Bugbee B. "Far-red photonc have equivalent efficiency to traditional photocynthetic photonc," Plant Cell Environ., 2020, Vol. 43, pp. 1259–1272.