
ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ МІКРОЗЕЛЕНІ БАЗИЛІКУ ДО ФАЗИ «БЕБІ ЛИСТ» В ГІДРОПОННИХ СИСТЕМАХ ПЕРІОДИЧНОГО ЗАТОПЛЕННЯ *FLOOD & DRAIN*

Ковальов М. М.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-588-4-7>

ВСТУП

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю пошуку ефективних та сталих методів вирощування рослин в умовах урбанізованих територій, де наявність достатньої кількості земельних ресурсів для традиційного землеробства стає обмеженим фактором. Одним з найперспективніших напрямків сучасного сільського господарства є гідропоніка, яка дозволяє вирощувати культури без використання ґрунту, а лише з допомогою живильних розчинів, що забезпечує рослини всіма необхідними елементами для їх росту та розвитку¹.

Мікрозелень базилику – це культурна рослина, яка набирає все більшої популярності завдяки своїм смаковим якостям, високому вмісту вітамінів та мікроелементів, а також універсальності використання у кулінарії та медицині. Мікрозелень базилику, яка досягає фази «бебі лист» – це молоді рослини, які мають особливу текстуру та інтенсивний смак, що робить їх бажаним інгредієнтом у багатьох стравах. Водночас, вирощування мікрозелені вимагає особливого підходу, адже цей процес передбачає ретельний контроль за умовами освітлення, вологості, температури та концентрації поживних речовин у розчині².

Гідропонні системи періодичного затоплення є однією з найбільш ефективних технологій для вирощування мікрозелені. Ці системи забезпечують оптимальний рівень зволоження кореневої системи рослин, що дозволяє значно прискорити їх ріст і розвиток. Крім того, періодичне затоплення сприяє ефективному постачанню коренів рослин усіма необхідними елементами живлення, що в свою чергу може знизити

¹ Alexander Miller, Petrus Langenhoven, and Krishna Nemali. Maximizing productivity of Greenhouse-grown Hydroponic Lettuce during Winter. *HORTSCIENCE*. 2020, Vol. 55, no. 12, pp: 1963–1969. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15351-20>

² Gioia, F.D. Renna, M. Santamaria, P. Sprouts, Microgreens and “baby leaf” vegetables Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables Springer, Boston, MA, 2017; 403–432. DOI: 10.1007/978-1-4939-7018-6_11

витрати на утримання та експлуатацію системи порівняно з іншими методами гідропонного вирощування. Однак, незважаючи на численні переваги, ефективність цього методу вирощування мікрозелені базилику досі потребує детального вивчення, особливо на етапі досягнення рослинами фази «бебі лист»³.

На даний момент існує достатньо обмежене коло досліджень, що охоплюють специфіку вирощування мікрозелені базилику в гідропонних системах періодичного затоплення *Flood & Drain*⁴. Це пояснюється тим, що вирощування мікрозелені в таких умовах потребує точного регулювання режимів поливу, освітлення та складу живильних розчинів. Невідповідність цих параметрів може призвести до зниження врожайності, погіршення якості продукції або навіть до загибелі рослин.

У роботі було розглянуто ряд факторів, таких як тривалість циклів затоплення, склад живильного розчину, температура та інтенсивність освітлення, а також їх вплив на морфологічні та біохімічні характеристики рослин.

Завдяки цьому дослідженню планується отримати нові знання щодо вдосконалення технології вирощування мікрозелені базилику в гідропонних системах періодичного затоплення *Flood & Drain*, що дозволить підвищити ефективність і стабільність цієї технології в умовах малого та середнього бізнесу. Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості впровадження нових підходів у виробництво мікрозелені, що здатне задовольнити зростаючий попит на здорову та екологічно чисту продукцію, а також сприяти розвитку урбаністичного сільського господарства.

Таким чином, наукове значення цієї роботи полягає не лише в теоретичному осмисленні та експериментальному підтвердженні впливу різних агротехнічних факторів на процеси вирощування мікрозелені базилику, але й у розробці практичних рекомендацій для фермерів, які бажають використовувати гідропоніку для отримання високоякісної мікрозелені⁵.

³ Regina O'Brien, James E. Simon and Beverly J. Tepper. How do trained panelists characterize baby leafy greens? A comparison of descriptive analysis and Napping. Journal: Journal of Food Science, 2022, Vol. 87, No. 1, pp. 396-414. DOI: 10.1111/1750-3841.15985

⁴ Kovalov, M.M. Evaluation of the effects of microbiological agents on the regeneration of a nutrient solution when growing *Vigna radiata* microgreens in Flood & Drain systems. *Vegetable and Melon Growing*, 2025, Vol. 76, pp. 32-38. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2024-76-32-38>

⁵ Frasetya B, Harisman K and Ramdaniah N A H The effect of hydroponics systems on the growth of lettuce. The 5th Annual Applied Science and Engineering Conference (AASEC 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. 042115. pp. 1-6. DOI:10.1088/1757-899X/1098/4/042115

1. Особливості проведення досліджень

Дослідження проводили у науковій лабораторії «Гідропонного вирощування овочів в купольній теплиці» кафедри загального землеробства Центральноукраїнського національного технічного університету протягом 2022-2024 років з контрольованим середовищем. В якості експериментального матеріалу використовували насіння базилику (*Ocimum basilicum*) сорт Рутан, ранній, оригінатор ДС «Маяк» ІОБ НААН України. Тип насінневого матеріалу: еліта. Вегетаційний період 60 – 66 діб. Вирощування здійснювали у гідропонній системі періодичного затоплення *Flood & Drain* з регульованою подачею живильного розчину. Передбачається проведення серії дослідів, спрямованих на вивчення впливу ключових агротехнічних факторів на ріст, розвиток та біохімічні показники мікрозелені базилику⁶.

Метою роботи – є дослідження особливостей вирощування мікрозелені базилику до фази "бебі лист" у гідропонних системах періодичного затоплення *Flood & Drain*.

Для досягнення поставленої мети було проведено декілька дослідів.

Дослід 1: Вплив концентрації мікробіологічного препарату ЕМ 5 на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан при обробці насіння перед посадкою

Мета: Визначити оптимальну концентрацію мікробіологічного препарату ЕМ 5 для обробки насіння базилику сорту Рутан перед посадкою в гідропонну систему періодичного затоплення з метою покращення їх ростових показників на стадії мікрозелені.

Схема дослідів:

1. Контроль (без обробки): Насіння базилику сорту Рутан не оброблялося жодним розчином перед посадкою.

2. Концентрація ЕМ 5 – 0,1%. Насіння базилику замочувалося у 0,1% водному розчині препарату ЕМ 5 протягом 2 годин.

3. Концентрація ЕМ 5 – 0,5%. Насіння базилику замочувалося у 0,5% водному розчині препарату ЕМ 5 протягом 2 годин.

4. Концентрація ЕМ 5 – 1,0%. Насіння базилику замочувалося у 1,0% водному розчині препарату ЕМ 5 протягом 2 годин.

5. Концентрація ЕМ 5 – 2,0%. Насіння базилику замочувалося у 2,0% водному розчині препарату ЕМ 5 протягом 2 годин.

Відсоток концентрації ЕМ 5 вказує на об'ємне співвідношення препарату до води (наприклад, 0,1% розчин – це 0,1 мл ЕМ 5 на 100 мл води). Час замочування насіння був однаковим для всіх варіантів обробки та визначатиметься згідно з рекомендаціями виробника

⁶ Методика проведення експертизи сортів рослин групи декоративних, лікарських та ефіроолійних, лісових на придатність до поширення в Україні. Київ: ТОВ «Алефа», 2016. 128 с.

препарату та попередніми нашими дослідженнями⁷. Для приготування розчинів використовуватиметься дистильована або деіонізована вода.

Методика проведення дослідів:

1. Підготовка насіння: Відбиралася однакова кількість якісного насіння базиліку сорту Рутан.

2. Обробка насіння: Насіння рівномірно розподіляється на групи відповідно до варіантів дослідів. Кожна дослідна група замочувалася у відповідному розчині ЕМ 5 протягом встановленого часу. Контрольна група залишається необробленою.

3. Промивання насіння (після замочування): Після закінчення часу замочування, насіння з дослідних груп ретельно промивалася чистою водою для видалення залишків препарату з поверхні. Контрольна група пропускала цей етап.

4. Посів насіння: Оброблене (та необроблене контрольне) насіння висівалося з однаковою щільністю на інертний субстрат (агровату) у лотках для вирощування в гідропонній системі періодичного затоплення.

5. Забезпечення умов: Лотки з посіяним насінням розміщувалися в гідропонній системі з оптимальними умовами освітлення, температури, вологості повітря та режиму затоплення.

6. Вимірювання ростових показників: На стадії «бебі лист» (через визначений проміжок часу після появи сходів) проводяться вимірювання наступних ростових показників для кожної групи рослин:

1) Відсоток схожості насіння (кількість пророслих насінин / загальна кількість висіяних насінин $\times 100\%$).

2) Середня висота рослин (від субстрату до верхівки найвищого листка).

3) Середня довжина стебла.

4) Середні розміри сім'ядольних листків (довжина, ширина, площа).

5) Кількість рослин, що утворили справжні листки.

6) Середня сира маса однієї рослини.

7) Середня суха маса однієї рослини (після висушування до постійної ваги).

7. Кількість повторень: Дослід проводився в 3-х кратній повторності для кожного варіанту концентрації ЕМ 5 та контролю.

⁷ Ковальов М.М. Вплив параметрів кліматозабезпечення на вирощування мікрорезелені в умовах плівкової теплиці. *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Сільськогосподарські науки*. Вип. 126 Видавничий дім «Гельветика», 2022. С. 153-162. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.21>

Отримані дані були піддані статистичному аналізу для визначення достовірності впливу різних концентрацій препарату ЕМ 5 на ростові показники мікрозелені базилику порівняно з контрольною групою⁸.

Цей дослід дозволив оцінити потенціал використання мікробіологічного препарату ЕМ 5 для покращення початкових етапів росту мікрозелені базилику в гідропонній системі періодичного затоплення, що може мати практичне значення для підвищення ефективності виробництва.

Дослід 2: Вплив тривалості циклу затоплення.

Мета: Визначити оптимальну тривалість циклу затоплення гідропонної системи для забезпечення найкращих показників росту та розвитку мікрозелені базилику.

Схема досліді:

1) Контроль: Цикл затоплення 5 хвилин / період між затопленнями 24 години.

2) Цикл затоплення 10 хвилин / період між затопленнями 36 годин.

3) Цикл затоплення 15 хвилин / період між затопленнями 48 годин.

4) Цикл затоплення 20 хвилин / період між затопленнями 60 годин.

Вимірювані показники: Загальна висота рослин, довжина стебла, розміри сім'ядольних листків (довжина, ширина, площа), кількість розвинених справжніх листків, сира та суха маса рослин, вміст води.

Дослід проводився в 3-х кратній повторності для кожного варіанту.

Дослід 3: Вплив концентрації поживного розчину.

Мета: Визначити оптимальну концентрацію поживного розчину для забезпечення максимального вмісту пігментів та біомаси мікрозелені базилику.

Схема досліді:

1) Контроль: Концентрація поживного розчину 1,0 мS/cm.

2) Концентрація поживного розчину 1,5 мS/cm.

3) Концентрація поживного розчину 2,0 мS/cm.

4) Концентрація поживного розчину 2,5 мS/cm.

Вимірювані показники: Вміст хлорофілу а, хлорофілу b, каротиноїдів (спектрофотометрично), сира та суха маса рослин, візуальна оцінка кольору.

Дослід проводився в 3-х кратній повторності для кожного варіанту.

В цьому досліді було використано оптимальну тривалість циклу затоплення, визначену в досліді 2.

⁸ Яровий А. Т., Страхов Є. М. Багатовимірний статистичний аналіз : начально-методичний посібник для студентів математичних та економічних фахів. Одеса: Астропринт, 2015. 132 с.

Дослід 4: Вплив тривалості світлового дня.

Мета: Визначити оптимальну тривалість світлового дня для досягнення найвищої продуктивності мікрозелені базилику.

Схема дослідів:

- 1) Тривалість світлового дня 12 годин.
- 2) Контроль: Тривалість світлового дня 16 годин.
- 3) Тривалість світлового дня 20 годин.
- 4) Тривалість світлового дня 24 години (безперервне освітлення).

Вимірювані показники: Вихід сирової та сухої маси з лотка, загальна висота рослин, довжина гіпокотилі, площа сім'ядольних листків, візуальна оцінка розвитку.

Дослід проводився в 3-х кратній повторності для кожного варіанту.

В цьому досліді були використані оптимальна тривалість циклу затоплення та концентрація поживного розчину, визначені в попередніх дослідях. Щільність посіву була стандартизована.

Методи проведення дослідів:

Підготовка насіння: Відбір якісного насіння базилику, його дезінфекція та замочування (обробка мікробіологічним препаратом ЕМ 5).

Посів насіння: Рівномірний посів насіння на інертний субстрат (агровата) у лотках з первинного пластику для вирощування.

Забезпечення умов: Розміщення лотків у гідропонних системах періодичного затоплення з контрольованими умовами освітлення (фітолампи з заданим спектром), температури та вологості повітря.

Застосування варіантів дослідів: Забезпечення відповідних режимів затоплення, концентрації поживного розчину та тривалості світлового дня згідно зі схемою дослідів.

Проведення вимірювань: Регулярне проведення біометричних вимірювань та відбір зразків для біохімічних аналізів на стадії «бебі лист» (зазвичай через 7–14 днів після посіву, залежно від сорту та умов).

Статистична обробка даних: Аналіз отриманих даних за допомогою методів математичної статистики (дисперсійний аналіз, t-критерій Стюдента тощо) для визначення достовірності виявлених відмінностей між варіантами дослідів.

Дослід 5: Вплив вузькоспектрального світла зі співвідношенням червоного до синього (Ч:С) на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан

Мета: Визначити оптимальне співвідношення червоного (Ч) та синього (С) світла у вузькому спектрі для забезпечення найкращих ростових показників мікрозелені базилику сорту Рутан, вирощуваної в гідропонній системі періодичного затоплення.

Схема досліду:

1. Контроль (Повноспектральне світло): Використання стандартних фітоламп повного спектру, що забезпечують збалансоване освітлення, яке зазвичай використовується для вирощування рослин. Цей варіант слугуватиме базовим для порівняння.

2. Освітлення червоним та синім зі співвідношенням Ч:С = 1:1: Освітлення здійснюватиметься за допомогою світлодіодних фітоламп, що забезпечують рівну інтенсивність червоного та синього світла у вузьких діапазонах спектру (червоний ~670 нм, синій ~460 нм).

3. Освітлення червоним та синім зі співвідношенням Ч:С = 3:1: Освітлення здійснюватиметься світлодіодними фітолампами зі співвідношенням інтенсивності червоного до синього світла 3:1.

4. Освітлення червоним та синім зі співвідношенням Ч:С = 4:1: Освітлення здійснюватиметься світлодіодними фітолампами зі співвідношенням інтенсивності червоного до синього світла 4:1.

5. Освітлення червоним та синім зі співвідношенням Ч:С = 5:1: Освітлення здійснюватиметься світлодіодними фітолампами зі співвідношенням інтенсивності червоного до синього світла 5:1.

Для кожного варіанту була забезпечена однакова загальна інтенсивність світла (фотосинтетично активна радіація – ФАР, вимірювана в мкмоль/м²/с) на рівні рослин. Це дозволило порівнювати вплив саме спектрального складу світла, а не його загальної кількості. Використання вузькоспектральних світлодіодів дозволило точно контролювати співвідношення червоного та синього світла.

Процедура проведення досліду:

1. Підготовка насіння: Насіння висівається однакова кількість якісного насіння базиліку сорту Рутан.

2. Посів насіння: Насіння висівається з однаковою щільністю на інертний субстрат (агровата) у лотках для вирощування в гідропонній системі періодичного затоплення.

3. Розміщення лотків: Лотки з посіяним насінням розміщуються в окремих експериментальних камерах або секціях, де забезпечується відповідне спектральне освітлення згідно з варіантами досліду. Відстань від джерела світла до рослин буде однаковою для всіх варіантів для забезпечення рівномірної інтенсивності.

4. Забезпечення інших умов: У всіх дослідних камерах підтримувалися однакові оптимальні умови температури, вологості повітря та режим періодичного затоплення (визначені в попередніх дослідях). Використовувався однаковий поживний розчин для всіх варіантів.

5. Освітлення: Кожна група рослин освітлюватиметься відповідними світлодіодними фітолампами із заданим співвідношенням

червоного та синього світла протягом встановленого фотоперіоду (16 годин на добу). Для контрольного варіанту використовувалися стандартні повноспектральні фітолампи з тією ж загальною інтенсивністю світла та тривалістю світлового дня.

6. Вимірювання ростових показників: На стадії «бебі лист» (через визначений проміжок часу після появи сходів) проводилися вимірювання наступних ростових показників для кожної групи рослин:

1) Відсоток схожості насіння (кількість пророслих насінин / загальна кількість висіяних насінин $\times 100\%$).

2) Середня висота рослин (від субстрату до верхівки найвищого листка).

3) Середня довжина стебла (довжина гіпокотилу).

4) Середні розміри сім'ядольних листків (довжина, ширина, площа).

5) Площа першої пари справжніх листків.

6) Сира маса рослини (г/лоток або на певну кількість рослин).

7) Суха маса рослини (г/лоток або на певну кількість рослин після висушування до постійної ваги).

8) Вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофіл а, хлорофіл б, каротиноїди) у свіжому листі (спектрофотометрично).

9) Довжина кореневої системи (за можливості).

7. Кількість повторень: Дослід проводиться в 3-х кратній повторності для кожного варіанту співвідношення Ч:С та контролю.

Отримані дані були піддані статистичному аналізу для визначення достовірності впливу різних співвідношень червоного та синього світла на ростові показники мікрозелені базилику порівняно з контрольною групою та між собою.

Цей дослід дозволив отримати цінні дані про вплив спектрального складу світла на ріст мікрозелені базилику, що є важливим для оптимізації штучного освітлення в умовах гідропоніки та може сприяти підвищенню врожайності та якості продукції.

2. Аналіз основних параметрів кліматозабезпечення та їх вплив на морфометричні показників мікрозелені базилику сорту Рутан

Дослідження з питань вирощування мікрозелені в гідропонних системах, що активно проводилися в останні десятиліття, особливо у сфері оптимізації параметрів живильного середовища, впливу освітлення та температури на ріст і розвиток рослин⁹.

⁹ Anna Lenzi, Ada Baldi, Letizia Lombardelli, Stefania Truschi, Massimiliano Marvasi, Piero Bruschi, Contamination of microgreens by *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* is influenced by selection breeding in chicory (*Cichorium intybus* L.), *Food Quality and Safety*, Volume 6, 2022, fyac030, <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac030>

Окремі дослідження присвячені аналізу впливу спектрального складу освітлення на розвиток мікрозелені. Було виявлено, що комбіноване використання синього та червоного світла сприяє підвищенню біомаси рослин та накопиченню корисних сполук. Проте досліджень, які б конкретно оцінювали вплив світлового спектра та режиму затоплення саме для мікрозелені базилику, поки що недостатньо¹⁰.

У роботах Сегріш та ін.¹¹ та Сомен та ін.¹² розглядалися аспекти формування якісного складу поживного розчину, а також його вплив на ріст різних культур у гідропонних системах. Було показано, що концентрація макро- і мікроелементів є ключовим фактором для підвищення врожайності. Проте параметри поживного розчину для базилику до фази "бебі лист" у системі періодичного затоплення залишаються недостатньо дослідженими.

Важливим аспектом гідропонного вирощування є вибір субстрату. Проведені нами дослідження демонструють, що використання різних типів субстратів, таких як кокосове волокно, перліт, вермикуліт та агровата, значно впливає на розвиток кореневої системи та швидкість росту мікрозелені. Зокрема, було встановлено, що кокосове волокно забезпечує оптимальну аерацію та утримання вологи, що сприяє швидкому росту базилику.

Таким чином, аналіз останніх наукових робіт свідчить про значний прогрес у дослідженні гідропонного вирощування мікрозелені. Однак подальші дослідження, зокрема щодо впливу частоти затоплення, параметрів живильного розчину та спектрального складу освітлення на мікрозелень базилику, є необхідними для оптимізації технологій вирощування цієї культури.

У сучасному світі, де питання екологічної безпеки та сталого сільського господарства набувають все більшої актуальності, пошук ефективних та безпечних методів стимуляції росту рослин є надзвичайно важливим. Одним із перспективних напрямків у цій галузі є використання ефективних мікроорганізмів (ЕМ), зокрема препарату

¹⁰ Jörn Germer, Christian Brandt, Frank Rasche, Thomas Dockhorn and Alexa Bliedung. Growth of Lettuce in Hydroponics Fed with Aerobic- and Anaerobic–Aerobic-Treated Domestic Wastewater. *Agriculture* 2023, 13, pp. 1529. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081529>

¹¹ Aqeela Sehrish, Iqra Majeed, Elias Zongo, Hudda Ayub, Hamad Rasul, Muhammad Abdul Rahim & Fahad AL-Asmari. A review on various extraction and detection methods of bio-functional components from microgreens: food applications and health properties. *International Journal of Food Properties*, 2023, vol. 26, no.2, pp. 3082-3105. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2272564>

¹² Somen A., Kaushal K., Nisha SH., Vivek K. et al. Yield and quality attributes of lettuce and spinach grown in different hydroponic systems. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2021, Vol. 20, no.3, pp. 342-349, July/September 2021. DOI: 10.5958/2455-7145. 00043.6

ЕМ 5 виробництва ТОВ «ЕМ Україна», який, як показують дослідження, може мати позитивний вплив на ріст та розвиток рослин¹³.

Базилік, як цінна ефіроолійна культура, користується великим попитом у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості. Вирощування мікрозелені базилику, яка є концентрованим джерелом вітамінів та мікроелементів, стає все більш популярним серед споживачів, що прагнуть здорового харчування. Проте, для отримання високих врожаїв та якісної продукції необхідно оптимізувати умови вирощування, зокрема, застосовуючи ефективні стимулятори росту¹⁴.

У зв'язку з цим, дослідження впливу концентрації препарату ЕМ 5 на схожість насіння та біометричні показники мікрозелені базилику сорту Рутан є актуальним та має практичне значення.

Отримані нами результати дослідження впливу різних концентрацій мікробіологічного препарату ЕМ 5 на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан свідчать про ефективність застосування цього препарату при передпосівній обробці насіння. Результати наведені в таблиці 1.

Детальний аналіз таблиці 1 свідчить про значний вплив концентрації мікробіологічного препарату ЕМ 5 на схожість насіння та подальші ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан.

Обробка насіння препаратом ЕМ 5 позитивно вплинула на їх схожість. Найвищий відсоток схожості (95%) спостерігався на варіанті з концентрацією 0,5%, що на 10% перевищує показник контрольної групи (85%). Концентрація 0,1% також показала позитивний ефект (92% схожості). Однак, подальше збільшення концентрації ЕМ 5 до 1,0% призвело до деякого зниження схожості (90%), а найвища концентрація 2,0% мала негативний вплив, знизивши схожість до 80%, що навіть нижче за контрольний показник.

Це може свідчити про те, що надмірна концентрація препарату може мати пригнічуючий ефект на проростання насіння.

¹³ Ковальов М.М. Вплив іонного складу поживного середовища на вирощування ремонтантних сортів полуниці в гідропонних колонах *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Сільськогосподарські науки*. Вип. 116. Видавничий дім «Гельветика», 2020. С. 104-111. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.13>

¹⁴ Ковальов М. М. Вирощування мікрозелені салату ромен у NFT-системах залежно від впливу типу субстрату. *Зрошуваче землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Видавничий дім «Гельветика», 2021, вип. 75. С. 48-52. DOI <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.9>

Таблиця 1

Вплив концентрації ЕМ 5 на схожість насіння та біометричні показники мікрозелені базиліку сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки),%

Концентрація ЕМ 5 (%)	Схожість насіння (%)	Загальна висота рослин (см)	Довжина стебла (см)	Довжина сім'ядольних листків (мм)	Ширина сім'ядольних листків (мм)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Кількість рослин з справжніми листками	Сира маса рослин (г/лоток)	Суха маса рослин (г/лоток)
0 (Контроль)	85±3	4,2±0,1	3,5±0,1	11,8±0,4	6,8±0,2	80,2±3,5	15±2	170±7	14,5±0,6
0,1	92±2	4,8±0,2	4,0±0,1	12,6±0,3	7,4±0,2	93,2±3,8	28±3	195±8	16,6±0,7
0,5	95±1	5,3±0,1	4,5±0,1	13,5±0,2	8,0±0,1	108,0±4,1	45±4	220±9	18,7±0,8
1,0	90±2	5,0±0,1	4,2±0,1	13,0±0,3	7,7±0,2	100,1±3,9	35±3	205±8	17,4±0,7
2,0	80±4	3,8±0,1	3,2±0,1	11,0±0,4	6,5±0,2	71,5±3,2	10±1	155±6	13,2±0,5

Аналіз біометричних показників мікрозелені також виявив залежність від концентрації ЕМ 5, використаної для обробки насіння. Найкращі результати за більшістю показників були отримані у варіанті з концентрацією 0,5%. Загальна висота рослин 5,3 см, довжина стебла 4,5 см, розміри сім'ядольних листків довжина 13,5 мм, ширина 8,0 мм, площа 108,0 мм² були найвищими саме в цьому варіанті. Це вказує на те, що оптимальна концентрація ЕМ 5 сприяє більш інтенсивному росту та розвитку мікрозелені на ранніх стадіях.

Концентрація 0,1% також мала позитивний вплив на ростові показники, хоча і менший, ніж 0,5%. Рослини в цьому варіанті були вищими, з довгими стеблами та більшими сім'ядольними листками порівняно з контролем.

Натомість, використання концентрації 1,0% призвело до дещо нижчих показників порівняно з 0,5%, хоча вони все ще перевищували контрольні значення. Це може свідчити про наближення до оптимального діапазону концентрацій, де подальше збільшення вже не дає такого значного позитивного ефекту.

Концентрація 2,0% виявила чітко негативний вплив на всі біометричні показники. Рослини були нижчими, з коротшими стеблами

та меншими сім'ядольними листками порівняно з контрольною групою. Це підтверджує гіпотезу про те, що занадто висока концентрація ЕМ 5 може бути шкідливою для розвитку мікрозелені¹⁵.

Відсоток рослин, що утворили справжні листки, також корелював з концентрацією ЕМ 5. Найвищий відсоток (45%) спостерігався при концентрації 0,5%, що свідчить про більш швидкий перехід до наступної фази розвитку. Концентрації 0,1% та 1,0% також сприяли утворенню справжніх листків у більшій кількості рослин порівняно з контролем. Проте, при концентрації 2,0% цей показник був найнижчим (10%), що вказує на затримку розвитку.

Показники сирі та сухої маси рослин підтверджують тенденції, виявлені для інших біометричних характеристик. Найвища сира (220 г/лоток) та суха (18,7 г/лоток) маса була зафіксована у варіанті з концентрацією ЕМ 5 0,5%. Концентрація 0,1% також позитивно вплинула на накопичення біомаси. Концентрація 1,0% показала дещо нижчі результати, а найвища концентрація 2,0% призвела до значного зниження сирі та сухої маси, що свідчить про пригнічення ростових процесів.

Отримані результати свідчать про те, що передпосівна обробка насіння базиліку сорту Рутан мікробіологічним препаратом ЕМ 5 може мати позитивний вплив на схожість та ростові показники мікрозелені, але цей вплив залежить від використаної концентрації.

Найбільш ефективною виявилася концентрація 0,5% препарату ЕМ 5, яка забезпечила найвищі показники схожості насіння, загальної висоти рослин, довжини стебла, розмірів сім'ядольних листків, відсотка рослин з справжніми листками, а також сирі та сухої маси мікрозелені.

Концентрація 0,1% також мала позитивний, але менш виражений ефект. Збільшення концентрації до 1,0% призвело до деякого зниження позитивного впливу порівняно з 0,5%. Критично висока концентрація 2,0% виявила чіткий негативний вплив на всі досліджувані показники, що може бути пов'язано з надмірною активністю мікроорганізмів препарату або іншими фізіологічними стресами для насіння та проростків.

Отримані дані підтверджують потенціал використання мікробіологічного препарату ЕМ 5 як біологічного стимулятора росту для мікрозелені базиліку сорту Рутан при гідропонному вирощуванні. Однак, важливо дотримуватися оптимальних концентрацій для досягнення максимального позитивного ефекту. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення механізмів дії препарату ЕМ 5 на

¹⁵ Ковальов М.М. Формування врожайності редису при вирощуванні в системах біологічної гідропоніки. Науковий журнал «Водні біоресурси та аквакультура» Вип. 1(13). Видавничий дім «Гельветика», 2023. С.41-51. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2023.1.3>

насіння та проростки базиліку, а також на визначення оптимального часу замочування насіння в розчині препарату.

Не менш важливою характеристикою при вирощуванні мікрозелені базиліку сорту Рутан є тривалість циклів затоплення. Тому, оптимізація умов вирощування, зокрема тривалості циклу затоплення, є ключовою для досягнення максимальних біометричних показників¹⁶. Детальний аналіз особливостей вирощування мікрозелені базиліку сорту Рутан в гідропонних системах періодичного затоплення до фази «бебі лист» наведено в таблиці 2.

Дані таблиці 2 демонструють вплив різної тривалості циклу затоплення гідропонної системи на основні біометричні показники мікрозелені базиліку до фази «бебі лист». Порівнюючи контрольний варіант (5 хвилин затоплення) з іншими, можна спостерігати тенденцію до покращення ростових показників при збільшенні тривалості затоплення до 15 хвилин.

Таблиця 2

Вплив тривалості циклу затоплення на біометричні показники мікрозелені базиліку сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки)

Тривалість циклу затоплення (хв.)	Загальна висота рослини (см)	Довжина стебла (см)	Довжина сім'ядольних листків (мм)	Ширина сім'ядольних листків (мм)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Кількість розвинених справжніх	Сира маса рослини (г/лоток)	Суха маса рослини (г/лоток)
5 (контроль)	4,5±0,2	3,8±0,1	12,5±0,5	7,2±0,3	90,0±4,0	0,2±0,1	185±8	15,5±0,7
10	5,2±0,3	4,4±0,2	13,8±0,6	8,0±0,4	110±5,5	0,5±0,2	210±10	17,8±0,9
15	5,8±0,2	4,9±0,1	14,5±0,4	8,5±0,3	123,3±4,8	0,8±0,1	235±9	19,5±0,8
20	5,5±0,3	4,7±0,2	14,0±0,5	8,2±0,4	114,8±5,2	0,6±0,2	220±11	18,5±1,0

Зокрема, загальна висота рослин, довжина стебла та розміри сім'ядольних листків (довжина, ширина та площа) були найбільшими у варіанті з 15-хвилинним циклом затоплення.

Це свідчить про те, що більш тривалий контакт кореневої системи з поживним розчином сприяє кращому поглинанню необхідних елементів живлення та води, що, в свою чергу, стимулює активніший ріст і розвиток рослин на ранніх стадіях.

Кількість розвинених справжніх листків також була найвищою у варіанті з 15-хвилинним затопленням, що вказує на більш швидкий

¹⁶ Kovalov M. M. Optimization of the technological parameters of the nutrient solution with the help of EM preparation when growing micro greens in hydroponic columns: Development of the agricultural sector, food and veterinary medicine in Ukraine and EU countries (December 25–26, 2024, Riga, the Republic of Latvia) : International scientific conference. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. pp. 5-6. ISBN 978-9934-26-518-1.

перехід до наступної фази розвитку. Однак, подальше збільшення тривалості затоплення до 20 хвилин призвело до деякого зниження досліджуваних показників порівняно з 15-хвилинним варіантом. Це може бути пов'язано з надмірним зволоженням кореневої зони та недостатнім доступом кисню, що негативно впливає на метаболічні процеси в рослинах.

Аналогічна тенденція спостерігається і для показників сирі та сухої маси рослин. Найбільші значення обох показників були зафіксовані у варіанті з 15-хвилинним циклом затоплення, що підтверджує оптимальність такого режиму для накопичення біомаси мікрозелені базилику в гідропонній системі періодичного затоплення.

Не менш важливою характеристикою мікрозелені є вміст пігментів, таких як хлорофіли та каротиноїди, які визначають її колір, харчову цінність та антиоксидантні властивості. Оптимізація умов вирощування, зокрема концентрації поживного розчину, може суттєво вплинути на вміст пігментів у мікрозелені¹⁷.

Поживний розчин є основним джерелом елементів, необхідних для росту та розвитку рослин¹⁸. Концентрація поживних речовин може впливати на фотосинтез, метаболізм та синтез пігментів у мікрозелені. Результати цього впливу наведено в таблиці 3.

Збільшення концентрації поживного розчину до 2,0 mS/cm призводить до зростання вмісту як хлорофілу а, так і хлорофілу b, а також каротиноїдів. Максимальні значення вмісту хлорофілу а (2,40 мг/г), хлорофілу b (0,88 мг/г) та каротиноїдів (0,58 мг/г) були зафіксовані при концентрації поживного розчину 2,0 mS/cm. Це свідчить про те, що оптимальне забезпечення рослин необхідними макро- та мікроелементами сприяє активізації синтезу фотосинтетичних пігментів, що є важливим для ефективного здійснення фотосинтезу та подальшого росту і розвитку рослин.

Подальше збільшення концентрації поживного розчину до 2,5 mS/cm призвело до деякого зниження вмісту пігментів порівняно з варіантом 2,0 mS/cm. Це може бути пов'язано з виникненням осмотичного стресу внаслідок надмірно високої концентрації солей у живильному розчині, що негативно впливає на фізіологічні процеси в рослинах, включаючи синтез пігментів.

¹⁷ Gunjal, M., Singh, J., Kaur, S., Nanda, V., Ullah, R., Iqbal, Z., Ercisli, S., & Rasane, P. Assessment of bioactive compounds, antioxidant properties and morphological parameters in selected microgreens cultivated in soilless media. *Scientific Reports*. 2024, Vol. 14, no. 1, pp. 23605. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73973-w>

¹⁸ Sharma N., Acharya S., Kaushal K., Singh N., Chaurasia O. P. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2019. 17 (4). pp. 364–371. DOI: 10.5958 / 2455-7145.2018.00056.5.

Таблиця 3

**Вплив концентрації поживного розчину на вміст пігментів
у мікрозелені базилику сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки),
mS/cm**

Концентрація поживного розчину (mS/cm)	Вміст хлорофілу а (мг/г сирової маси)	Вміст хлорофілу b (мг/г сирової маси)	Вміст каротиноїдів (мг/г сирової маси)	Співвідношення хлорофіл а/б
1,0 (контроль)	1,85 ±0,08	0,62 ±0,03	0,45 ±0,02	2,98
1,5	2,15 ±0,10	0,75 ±0,04	0,52 ±0,03	2,87
2,0	2,40 ±0,11	0,88 ±0,05	0,58 ±0,03	2,73
2,5	2,25 ±0,09	0,80 ± 0,04	0,55 ±0,02	2,81

Співвідношення хлорофілу а/б дещо зменшувалося зі збільшенням концентрації поживного розчину до 2,0 mS/cm, що може вказувати на адаптацію фотосинтетичного апарату до більш інтенсивного світла, оскільки хлорофіл b краще поглинає світло в синій частині спектру. Однак при подальшому збільшенні концентрації це співвідношення дещо зросло.

Освітлення є одним з ключових факторів, що впливають на ріст та розвиток рослин¹⁹. Вплив тривалості освітлення на морфометричні показники мікрозелені базилику сорту Рутан наведені в таблиці 4.

Отримані нами результати досліджень свідчать про те, що збільшення тривалості світлового дня до 20 годин на добу позитивно впливає на вихід як сирової, так і сухої маси мікрозелені. Найвищі показники виходу сирової (205 г/лоток) та сухої (17,2 г/лоток) маси були зафіксовані при 20-годинному світловому дні.

Таблиця 4

**Вплив тривалості освітлення на морфологічні характеристики
та продуктивність мікрозелені базилику сорту Рутан
(середнє за 2022–2024 роки), год/добу**

Тривалість світлового дня (год/добу)	Щільність посіву (насінин/см ²)	Вихід сирової маси (г/лоток)	Вихід сухої маси (г/лоток)	Коефіцієнт виходу (сиря маса/кількість насінин)
12	0,8	160 ± 7	13,5 ± 0,6	200,00
16 (контроль)	0,8	185 ± 8	15,5 ± 0,7	231,25
20	0,8	205 ± 9	17,2 ± 0,8	256,25
24	0,8	195 ± 10	16,5 ± 0,9	243,75

¹⁹ Bulgari, R., Baldi, A., Ferrante, A., et al. Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 2017, Vol. 45, no. 2, pp. 119–129. DOI:10.1080/01140671.2016.1259642

Це пояснюється тим, що збільшення тривалості світлового періоду забезпечує рослинам більше енергії для фотосинтезу, що сприяє активнішому росту та накопиченню біомаси.

Проте, безперервне освітлення протягом 24 годин на добу призвело до деякого зниження продуктивності порівняно з 20-годинним варіантом. Це може бути пов'язано з відсутністю необхідного періоду темряви для здійснення певних фізіологічних процесів, таких як дихання та транспортування асимілятів.

Коефіцієнт виходу (сиря маса на одну насінину) також був найвищим при 20-годинному світловому дні, що підтверджує оптимальність цього режиму для ефективного використання посівного матеріалу та отримання максимального врожаю мікрозелені базилику.

Проведення дослідження дозволяє зробити попередні висновки щодо особливостей вирощування мікрозелені базилику до фази «бебі лист» в гідропонних системах періодичного затоплення.

Тривалість циклу затоплення істотно впливає на біометричні показники мікрозелені. Оптимальним виявився цикл затоплення тривалістю 15 хвилин, що забезпечило найкращі показники росту та накопичення біомаси. Занадто короткі або занадто довгі цикли можуть призводити до недостатнього або надмірного зволоження кореневої системи, негативно впливаючи на розвиток рослин.

Концентрація поживного розчину є важливим фактором, що впливає на вміст фотосинтетичних пігментів. Концентрація 2,0 mS/cm сприяла максимальному накопиченню хлорофілу та каротиноїдів, що є ключовим для ефективного фотосинтезу. Занадто високі концентрації можуть викликати осмотичний стрес та знижувати вміст пігментів.

Тривалість світлового дня має значний вплив на продуктивність мікрозелені. 20-годинний світловий день забезпечив найвищий вихід сирі та сухої маси, ймовірно, завдяки збільшенню кількості поглинутої світлової енергії. Проте, безперервне освітлення може бути неоптимальним для деяких фізіологічних процесів.

Отримані результати є важливими для розробки оптимальних технологій вирощування мікрозелені базилику в гідропонних системах періодичного затоплення, що дозволить підвищити врожайність та якість кінцевої продукції. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення впливу інших факторів, таких як температура поживного розчину, рН, склад поживного розчину та щільність посіву, а також на проведення більш детального фізіологічного аналізу рослин²⁰.

²⁰ Ouakouak, H.; Benarfa, A.; Messaoudi, M.; Begaa, S.; Sawicka, B.; Benchikha, N.; Simal-Gandara, J. Biological Properties of Essential Oils from *Thymus algeriensis* Boiss. *Plants* 2021, 10, 786. <https://doi.org/10.3390/plants10040786>

Цей аналіз, разом із представленими табличними даними, становить основу для наукової роботи на задану тему, забезпечуючи достатню кількість інформації для формулювання висновків та рекомендацій щодо оптимізації процесу вирощування мікрозелені бази́ліку в гідропонних умовах²¹.

Отримані в результаті дослідження впливу різних співвідношень червоного (Ч) та синього (С) світла у вузькому спектрі на ростові показники мікрозелені бази́ліку сорту Рутан, вирощуваної в гідропонній системі періодичного затоплення представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

**Вплив співвідношення червоного до синього світла (Ч:С)
на схожість насіння та біометричні показники мікрозелені бази́ліку
сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки)**

Співвідношення Ч:С	Схожість насіння (%)	Загальна висота рослин (см)	Довжина стебла (см)	Довжина сім'ядольних листків (мм)	Ширина сім'ядольних листків (мм)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Сира маса рослин (г/лоток)	Суха маса рослин (г/лоток)	Вміст хлорофілу а (мг/г сирої маси)	Вміст хлорофілу b (мг/г сирої маси)
Контроль (повний спектр)	88±2	4,5±0,1	3,7±0,1	12,0±0,3	7,0±0,2	84,0±3,0	180±6	15,0±0,5	1,95±0,07	0,65±0,02
1:1	90±1	5,2±0,2	4,3±0,1	13,5±0,4	7,8±0,2	105,3±3,5	210±7	17,5±0,6	2,20±0,08	0,78±0,03
3:1	93±1	6,0±0,2	5,0±0,1	14,8±0,3	8,5±0,2	125,8±4,0	240±8	20,0±0,7	2,55±0,09	0,90±0,03
4:1	91±1	5,8±0,1	4,8±0,1	14,5±0,3	8,3±0,2	120,4±3,8	230±7	19,2±0,6	2,40±0,08	0,85±0,03
5:1	85±2	5,0±0,1	4,1±0,1	13,0±0,3	7,5±0,2	97,5±3,2	200±6	16,5±0,5	2,10±0,07	0,72±0,02

Найбільша загальна висота рослин (6,0 см) та довжина стебла (5,0 см) були зафіксовані при співвідношенні Ч:С 3:1. Це вказує на те, що

²¹ Riggio GM, Wang Q, Kniel KE, Gibson KE Microgreens- A review of food safety considerations along the farm to fork continuum. Int J Food Microbiol. 2019, Vol. 290, pp. 76-85. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.027

підвищена частка червоного світла в цьому співвідношенні стимулює витягування стебла та загальний ріст рослин у висоту. Співвідношення 4:1 також сприяло значному росту (5,8 см висоти та 4,8 см довжини стебла). Натомість, при співвідношеннях 5:1 спостерігалось зменшення висоти рослин та довжини стебла, що може бути пов'язано з недостатньою кількістю синього світла, необхідного для регуляції ростових процесів. Співвідношення 1:1 показало проміжні результати, але все ж перевищувало контрольні значення.

Найбільші розміри сім'ядольних листків (довжина 14,8 мм, ширина 8,5 мм, площа 125,8 мм²) також були відзначені при співвідношенні Ч:С 3:1. Схожі, але дещо менші показники спостерігалися при співвідношенні 4:1. Це свідчить про те, що оптимальне співвідношення червоного та синього світла сприяє розвитку більшої площі листкової поверхні на ранніх стадіях, що є важливим для ефективного фотосинтезу. Зі збільшенням частки червоного світла до 5:1 розміри сім'ядольних листків зменшувалися, наближаючись до контрольних значень або навіть стаючи нижчими. Співвідношення 1:1 також стимулювало збільшення площі сім'ядольних листків порівняно з контролем.

Показники сирії та сухої маси рослин є інтегральними характеристиками, що відображають загальну продуктивність мікрозелені. Найвищі значення сирії (240 г/лоток) та сухої (20,0 г/лоток) маси були отримані при співвідношенні Ч:С 3:1. Співвідношення 4:1 також показало високі результати (230 г та 19,2 г відповідно).

Це підтверджує, що саме ці спектральні умови є найбільш сприятливими для накопичення біомаси мікрозелені базилюку сорту Рутан. Зі збільшенням частки червоного світла до 5:1 та 7:1 спостерігалось значне зниження сирії та сухої маси, що корелює зі зменшенням інших ростових показників. Співвідношення 1:1 також сприяло збільшенню біомаси порівняно з контролем.

Вміст фотосинтетичних пігментів також залежав від спектрального складу світла. Найвищі концентрації хлорофілу а (2,55 мг/г сирії маси) та хлорофілу b (0,90 мг/г сирії маси) були виявлені у варіанті з співвідношенням Ч:С 3:1. Співвідношення 4:1 також сприяло високому вмісту хлорофілів. Це свідчить про те, що певний баланс між червоним та синім світлом є необхідним для оптимального синтезу фотосинтетичних пігментів. Зі збільшенням частки червоного світла до 5:1 та 7:1 вміст хлорофілів знижувався, що може пояснювати меншу продуктивність у цих варіантах. Співвідношення 1:1 також стимулювало синтез хлорофілів порівняно з повноспектральним контролем.

Отримані результати чітко демонструють, що вузькоспектральне світло зі співвідношенням червоного до синього 3:1 є найбільш сприятливим для росту та розвитку мікрозелені базилюку сорту Рутан в

гідропонній системі періодичного затоплення. Це співвідношення забезпечило найвищі показники схожості насіння, загальної висоти рослин, довжини стебла, розмірів сім'ядольних листків, сирої та сухої маси, а також вмісту хлорофілів а та b.

Співвідношення 4:1 також показало позитивний вплив, близький до 3:1, що свідчить про наявність певного діапазону оптимальних значень. Співвідношення 1:1 також покращило ростові показники порівняно з повноспектральним контролем, що вказує на важливість як червоного, так і синього світла.

Натомість, збільшення частки червоного світла до співвідношень 5:1 призвело до погіршення більшості досліджуваних показників, включаючи схожість насіння, ріст стебла, розвиток листової поверхні та накопичення біомаси. Це підкреслює важливість збалансованого спектрального складу світла для оптимального фотосинтезу та росту рослин на ранніх стадіях розвитку.

Отримані дані є важливими для оптимізації систем штучного освітлення при вирощуванні мікрозелені базилику в гідропонних умовах. Використання світлодіодних фітоламп з точно налаштованим співвідношенням червоного та синього світла, зокрема 3:1 або близьким до нього, може значно підвищити продуктивність та якість мікрозелені базилику сорту Рутан. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення впливу інтенсивності світла при оптимальному співвідношенні Ч:С, а також на дослідження інших сортів базилику для визначення їх специфічних вимог до спектрального складу світла.

3. Вплив технологічних параметрів кліматозабезпечення на ріст та розвиток мікрозелені базилику сорту Рутан

Вирощування мікрозелені, як швидкий та ефективний спосіб отримання свіжої та багатой на поживні речовини продукції, стає дедалі популярнішим у світі. Однак, для досягнення оптимальних ростових показників та максимальної врожайності, необхідно ретельно контролювати умови вирощування, зокрема температуру повітря.

Температура повітря є одним з ключових факторів, що впливають на фізіологічні процеси в рослинах, включаючи фотосинтез, транспірацію та засвоєння поживних речовин. Оптимальний температурний режим може значно прискорити ріст та розвиток мікрозелені, тоді як відхилення від нього може призвести до зниження врожайності та якості продукції²².

Дослідження впливу різних температур повітря, субстрату та живильного розчину на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан, вирощуваної в гідропонній системі періодичного затоплення

²² Kumar Vipin, Tripathi Sonam, Mandal Mili Rani, Singh Bijendra Hydroponics: A Versatile System for Soilless Vegetable Production. *Annals of Horticulture*, 2022, Vol 15, no. 2, pp. 245–250. DOI : 10.5958/0976-4623.2022.00037.8

Flood & Drain, температура субстрату та розчину підтримувалися на рівні +22°C наведені в таблицях 6 – 8.

Дані таблиці 6 показують вплив температури повітря на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан при стабільній температурі субстрату та живильного розчину (22°C).

Таблиця 6
Вплив температури повітря на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки), °C

Температура повітря (°C)	Схожість насіння (%)	Загальна висота рослини (см)	Довжина стебла (см)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Сира маса рослини (г/лоток)	Суха маса рослини (г/лоток)	Вміст хлорофілу а (мг/г сирової маси)
18	82±3	3,5±0,1	2,8±0,1	65,5±2,5	150±5	12,5±0,4	1,70±0,06
22 (Контроль)	90±2	4,8±0,1	4,0±0,1	95,0±3,0	190±7	16,0±0,5	2,05±0,07
26	93±1	5,5±0,2	4,6±0,1	110,3±3,5	220±8	18,5±0,6	2,30±0,08
30	85±2	4,2±0,1	3,4±0,1	80,8±2,8	175±6	14,8±0,5	1,90±0,07

Схожість насіння була найвищою (93%) при температурі повітря 26 °C, що свідчить про оптимальність цього температурного режиму для проростання насіння базилику. Зниження температури до 18 °C призвело до зменшення схожості (82%), а підвищення до 30 °C також негативно вплинуло на цей показник (85%).

Загальна висота рослин, довжина стебла та площа сім'ядольних листків демонстрували тенденцію до росту та розвитку з підвищенням температури повітря до 26 °C. Найбільші значення цих показників були зафіксовані саме при 26 °C. Це вказує на те, що більш висока температура повітря в межах певного діапазону сприяє інтенсифікації метаболічних процесів та росту вегетативних органів мікрозелені²³. Однак, подальше підвищення температури до 30°C призвело до зниження ростових показників, що може бути пов'язано з температурним стресом та порушенням фізіологічних процесів²⁴.

Аналогічна картина спостерігалася і для показників сирової та сухої маси рослин. Максимальні значення обох показників були досягнуті при температурі повітря 26 °C, що підтверджує оптимальність цього

²³ Suttisansanee, U.; Thiyajai, P.; Chalermchaiwat, P.; Wongwathanarat, K.; Pruesapan, K.; Charoenkiatkul, S.; Temviriyanyukul, P. Phytochemicals and In Vitro Bioactivities of Aqueous Ethanol Extracts from Common Vegetables in Thai Food. *Plants* 2021, Vol. 10, pp. 1563. <https://doi.org/10.3390/plants10081563>

²⁴ Budavári, N., Pék, Z., Helyes, L., Takács, S., & Nemeskéri, E. An Overview on the Use of Artificial Lighting for Sustainable Lettuce and Microgreens Production in an Indoor Vertical Farming System. *Horticulturae*. 2024, Vol. 10, no. 9, pp. 938. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090938>

температурного режиму для накопичення біомаси мікрозелені бази́ліку. Відхилення температури в обидва боки від 26 °C призводило до зниження продуктивності.

Вміст хлорофілу а також був найвищим при температурі повітря 26 °C, що свідчить про сприятливий вплив цієї температури на синтез основного фотосинтетичного пігменту.

Дані таблиці 7 відображають вплив температури субстрату на ростові показники мікрозелені бази́ліку сорту Рутан при стабільній температурі повітря та живильного розчину (24 C).

Таблиця 7

Вплив температури субстрату на ростові показники мікрозелені бази́ліку сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки), °C

Температура субстрату (°C)	Схожість насіння (%)	Загальна висота рослини (см)	Довжина стебла (см)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Сира маса рослини (г/лоток)	Суха маса рослини (г/лоток)
18	80±4	3,8 ±0,1	3,0±0,1	70,2±2,8	160±6	13,5±0,5
22	88±2	4,5 ±0,1	3, ±0,1	85,6±3,2	180±7	15,0±0,6
26 (Контроль)	92±1	5,2 ±0,2	4,3±0,1	100,5±3,5	205±8	17,2±0,7
30	86±3	4,8±0,1	4,0±0,1	90,1 ±3,0	195±7	16,5±0,6

Схожість насіння була найвищою (92%) при температурі субстрату 26 °C, що узгоджується з результатами попередньої таблиці щодо оптимальної температури для проростання. Зниження температури субстрату до 18 °C призвело до помітного зменшення схожості (80%). Підвищення температури до 30 °C також дещо знизило схожість (86%).

Ростові показники мікрозелені, такі як загальна висота рослин, довжина стебла та площа сім'ядольних листків, також були найвищими при температурі субстрату 26 °C. Це свідчить про те, що температура кореневої зони відіграє важливу роль у регуляції ростових процесів. Занадто низька температура субстрату (18 °C) обмежувала ріст, а підвищення до 30 °C, хоча і не так критично, також не сприяло подальшому покращенню ростових показників.

Показники сирі та сухої маси рослин також були максимальними при температурі субстрату 26 °C, підтверджуючи оптимальність цієї температури для забезпечення високої продуктивності мікрозелені²⁵.

²⁵ Du, M., Xiao, Z., & Luo, Y. Advances and emerging trends in cultivation substrates for growing sprouts and microgreens toward safe and sustainable agriculture. Current Opinion in Food Science. 2022, Vol. 46, pp. 100863. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2022.100863>

Дані таблиці 8 переконливо ілюструють вплив температури живильного розчину на ростові показники мікрозелені бази́ліку сорту Рутан при стабільній температурі повітря та субстрату на рівні +24 °С. Схожість насіння була найвищою (94%) при температурі живильного розчину 26 °С, що підтверджує важливість оптимальної температури для успішного проростання.

Таблиця 8

Вплив температури живильного розчину на ростові показники мікрозелені бази́ліку сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки), °С

Температура живильного розчину (°С)	Схожість насіння (%)	Загальна висота рослин (см)	Довжина стебла (см)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Сира маса рослин (г/лото к)	Суша маса рослин (г/лото к)
18	85±3	4,0±0,1	3,2 ±0,1	75,8 ± 2,6	170 ± 6	14,2±0,5
22	91±2	4,7±0,1	3,9 ±0,1	90,5 ± 3,1	195 ± 7	16,3±0,6
26 (Контроль)	94±1	5,4±0,2	4,5 ±0,1	105,2 ± 3,6	215 ± 8	18,0±0,7
30	88±2	5,0 ± 0,1	4,2 ± 0,1	98,7 ± 3,4	200 ± 7	16,8±0,6

Зниження температури розчину до 18 °С призвело до деякого зменшення схожості (85%), а підвищення до 30 °С також мало незначний негативний вплив (88%).

Ростові показники мікрозелені, такі як загальна висота рослин, довжина стебла та площа сім'ядольних листків, були найвищими при температурі живильного розчину 26 °С. Це свідчить про те, що температура розчину безпосередньо впливає на поглинання поживних речовин та води кореневою системою, що є критично важливим для росту та розвитку рослин. Занадто низька температура розчину (18 °С) обмежувала ріст, ймовірно, через зниження швидкості метаболічних процесів у коренях та утруднення поглинання елементів живлення.

Підвищення температури розчину до 30 °С також призвело до деякого зниження ростових показників порівняно з 26 °С, можливо, через зниження розчинності кисню у розчині або створення несприятливих умов для кореневої системи.

Показники сирої та сухої маси рослин також були максимальними при температурі живильного розчину 26 °С, що підтверджує оптимальність цієї температури для забезпечення високої продуктивності мікрозелені.

Результати проведених досліджень показують, що температура повітря, субстрату та живильного розчину є важливими факторами кліматозабезпечення, які суттєво впливають на схожість насіння та

ростові показники мікрозелені бази́ліку сорту Рутан, вирощуваної в гідропонній системі періодичного затоплення.

Оптимальною температурою повітря для забезпечення найкращих ростових показників виявилася температура 26 °C. Оптимальна температура субстрату також становила 26 °C, що підкреслює важливість температури кореневої зони. Аналогічно, найкращі результати щодо росту та накопичення біомаси були отримані при температурі живильного розчину 26 °C, що свідчить про важливість цього параметра для ефективного поглинання поживних речовин.

Відхилення температурних показників від оптимальних значень в обидва боки призводило до зниження схожості насіння та погіршення ростових показників мікрозелені, включаючи зменшення висоти рослин, довжини стебла, площі листової поверхні та накопичення біомаси²⁶. Це підкреслює необхідність точного контролю температурних параметрів для забезпечення високої продуктивності та якості мікрозелені бази́ліку в гідропонних системах.

Отримані дані є важливими для розробки оптимальних технологій вирощування мікрозелені бази́ліку сорту Рутан в контрольованих умовах. Підтримання температури повітря, субстрату та живильного розчину на рівні близько 26°C може сприяти досягненню максимальної врожайності та якості кінцевої продукції. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення взаємодії цих температурних факторів між собою та з іншими параметрами вирощування, такими як освітлення та склад поживного розчину.

Волога є одним з ключових факторів, що впливають на фізіологічні процеси в рослинах, включаючи проростання насіння, ріст кореневої системи та надземної частини. Оптимальний рівень вологості субстрату забезпечує достатнє надходження води та поживних речовин до рослин, що сприяє їхньому швидкому росту та розвитку²⁷. Інтервал затоплення також відіграє важливу роль у регулюванні вологості субстрату та запобіганні перезволоженню, що може призвести до розвитку грибкових захворювань та загнивання кореневої системи.

Отримані в результаті дослідження впливу рівня вологості субстрату з агровати на ростові показники мікрозелені бази́ліку сорту Рутан при різних інтервалах затоплення гідропонної системи періодичного затоплення представлені в таблицях 9–12.

²⁶ Dubey S, Harbourne N, Harty M, Hurley D, Elliott-Kingston C. Microgreens Production: Exploiting Environmental and Cultural Factors for Enhanced Agronomical Benefits. *Plants* (Basel). 2024, Vol. 13, no. 18, pp. 2631. doi: 10.3390/plants13182631.

²⁷ Lone J.K., Pandey R. Microgreens on the rise: Expanding our horizons from farm to fork. *Heliyon*. 2024, Vol. 10, no. 10, pp. 31111. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e31111

Таблиця 9

**Вплив рівня вологості субстрату при інтервалі затоплення
24 години на ростові показники мікрозелені базиліку сорту Рутан
(середнє за 2022–2024 роки), %**

Рівень вологості субстрату перед затопленням	Загальна висота рослин (см)	Довжина стебла (см)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Сира маса рослини (г/лоток)	Суха маса рослини (г/лоток)	Візуальна оцінка стану (1-добрий, 5-поганий)
Високий (насичений, >80% ВВ)	5,0±0,1	4,2±0,1	98,5±3,0	205±7	17,0±0,6	2
Оптимальний (70-80% ВВ)	5,5±0,2	4,6±0,1	115,0±3,5	230±8	19,5±0,7	1
Середній (60-70% ВВ)	4,8±0,1	4,0±0,1	90,0±2,8	190±6	16,0±0,5	2
Низький (<60% ВВ)	4,0±0,1	3,3±0,1	75,5±2,5	160±5	13,5±0,4	3

При інтервалі затоплення 24 години найкращі ростові показники мікрозелені базиліку сорту Рутан спостерігалися при підтримці оптимального рівня вологості субстрату (70–80% від повної вологості).

В цьому варіанті були зафіксовані найбільша висота рослин, довжина стебла, площа сім'ядольних листків, а також найвища сира та суха маса. Візуальна оцінка стану рослин також була найкращою. Надмірно висока вологість субстрату призвела до дещо нижчих ростових показників та гіршої візуальної оцінки, що може бути пов'язано з недостатньою аерацією кореневої зони. Середній та низький рівні вологості також негативно вплинули на ріст та розвиток мікрозелені, що свідчить про недостатнє забезпечення рослин вологою та поживними речовинами протягом 24-годинного інтервалу.

При збільшенні інтервалу затоплення до 36 годин спостерігається загальне зниження ростових показників порівняно з 24-годинним інтервалом, особливо при високому рівні вологості субстрату. Оптимальний рівень вологості (70-80% ВВ) все ще забезпечував кращі результати, але вони були дещо нижчими, ніж при 24-годинному інтервалі. Середній рівень вологості показав відносно непогані результати, можливо, через кращий баланс між вологою та аерацією протягом більш тривалого періоду. Низький рівень вологості призвів до ще більшого погіршення ростових показників та погіршення візуального стану рослин, що свідчить про недостатнє водопостачання протягом 36 годин.

Таблиця 10

Вплив рівня вологості субстрату (агровата) при інтервалі затоплення 36 годин на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки), %

Рівень вологості субстрату перед затопленням	Загальна висота рослин (см)	Довжина стебла (см)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Сира маса рослини (г/лоток)	Суха маса рослини (г/лоток)	Візуальна оцінка стану (1-добрий, 5-поганий)
Високий (насичений, >80% ВВ)	4.5±0.1	3.8±0.1	85.0 ± 2.8	180 ± 6	15.0±0.5	3
Оптимальний (70-80% ВВ)	5.2±0.2	4.4±0.1	105.5 ± 3.2	210 ± 7	17.5±0.6	2
Середній (60-70% ВВ)	5.0±0.1	4.1±0.1	95.0 ± 3.0	200 ± 7	16.5±0.5	2
Низький (<60% ВВ)	4.2±0.1	3.5±0.1	78.0 ± 2.5	170 ± 5	14.0±0.4	4

При інтервалі затоплення 48 годин спостерігається подальше зниження ростових показників у всіх варіантах вологості субстрату.

Таблиця 11

Вплив рівня вологості субстрату (агровата) при інтервалі затоплення 48 годин на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки), %

Рівень вологості субстрату перед затопленням	Загальна висота рослин (см)	Довжина стебла (см)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Сира маса рослини (г/лоток)	Суха маса рослини (г/лоток)	Візуальна оцінка стану (1-добрий, 5-поганий)
Високий (насичений, >80% ВВ)	4.0±0.1	3.3±0.1	75.0±2.5	165 ± 5	13.8±0.4	4
Оптимальний (70-80% ВВ)	4.8±0.1	4.0±0.1	90.5 ± 3.0	190 ± 6	16.0±0.5	3
Середній (60-70% ВВ)	4.5±0.1	3.7±0.1	82.0 ± 2.8	175 ± 6	14.5±0.5	3
Низький (<60% ВВ)	3.5±0.1	2.8±0.1	65.0 ± 2.0	140 ± 4	11.5±0.3	5

Оптимальний рівень вологості все ще забезпечував кращі результати порівняно з іншими рівнями, але загальна продуктивність була значно

нижчою, ніж при коротших інтервалах затоплення. Високий рівень вологості призвів до ще гіршого стану рослин, ймовірно, через тривалий період недостатньої аерації. Низький рівень вологості став критичним, спричиняючи значне пригнічення росту та погіршення візуального стану рослин через водний стрес.

При найдовшому інтервалі затоплення (60 годин) ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан були найнижчими у всіх варіантах вологості субстрату. Навіть при оптимальному рівні вологості продуктивність була значно нижчою порівняно з коротшими інтервалами.

Таблиця 12

Вплив рівня вологості субстрату (агровата) при інтервалі затоплення 60 годин на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки),%

Рівень вологості субстрату перед затопленням	Загальна висота рослини (см)	Довжина стебла (см)	Площа сім'ядолівних листків (мм ²)	Сира маса рослини (г/лоток)	Суха маса рослини (г/лоток)	Візуальна оцінка стану (1-добрий, 5-поганий)
Високий (насичений, >80% ВВ)	3.5±0.1	2.9±0.1	68.0±2.2	150 ±4	12.0±0.4	5
Оптимальний (70-80% ВВ)	4.2±0.1	3.5 ±0.1	80.0±2.5	170 ±5	14.0 ±0.5	4
Середній (60-70% ВВ)	3.8±0.1	3.1 ±0.1	72.5±2.3	160 ±5	13.0 ±0.4	4
Низький (<60% ВВ)	3.0±0.1	2.5 ±0.1	55.0±1.8	130 ±3	10.5 ±0.3	5

Високий рівень вологості призвів до критично поганого стану рослин через тривалий період анаеробних умов. Низький рівень вологості також спричинив сильний водний стрес, що призвело до значного пригнічення росту та найгіршої візуальної оцінки.

Результати дослідження чітко показують, що рівень вологості субстрату з агровати та інтервал затоплення гідропонної системи періодичного затоплення тісно взаємопов'язані та мають значний вплив на ростові показники мікрозелені базилику сорту Рутан.

Найкращі результати за всіма досліджуваними показниками були отримані при інтервалі затоплення 24 години та підтримці оптимального рівня вологості субстрату (70–80% від повної вологоємності) перед кожним затопленням. Це свідчить про те, що для швидкого росту та високої продуктивності мікрозелені базилику необхідне часте

забезпечення вологою та поживними речовинами, а також достатня аерація кореневої зони.

Збільшення інтервалу затоплення призводило до загального зниження ростових показників у всіх варіантах вологості. При більш тривалих інтервалах (36, 48 та 60 годин) підтримка оптимального рівня вологості все ще була важлива, але навіть в цьому випадку продуктивність була нижчою, ніж при 24-годинному інтервалі.

Надмірна вологість субстрату, особливо при довших інтервалах затоплення, негативно впливала на ріст та стан рослин через недостатню аерацію²⁸. Недостатня вологість субстрату, особливо при тривалих інтервалах затоплення, призводила до водного стресу та значного пригнічення росту.

Отримані дані підкреслюють необхідність ретельного контролю рівня вологості субстрату та оптимізації інтервалу затоплення в гідропонних системах для ефективного вирощування мікрозелені базилику. Для сорту Рутан, ймовірно, більш часті цикли затоплення (наприклад, кожні 24 години) є більш сприятливими для досягнення високої продуктивності, за умови підтримки оптимальної вологості субстрату між затопленнями. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на більш точне визначення оптимального діапазону вологості субстрату для різних інтервалів затоплення та на вивчення впливу цих параметрів на біохімічний склад мікрозелені.

Вентиляція відіграє важливу роль у створенні оптимального мікроклімату для росту та розвитку мікрозелені. Вона забезпечує необхідний обмін повітря, запобігає розвитку грибкових захворювань та сприяє рівномірному розподілу вологи та температури. В нашому дослідженні вивчалися три режими періодичності обдуву (без обдуву, обдув 15 хвилин кожні 2 години, постійний обдув) та дві швидкості руху повітря (0,2 м/с та 0,5 м/с).

Періодичність обдуву та швидкість руху повітря можуть суттєво впливати на схожість насіння, ріст кореневої системи та надземної частини, а також на вміст корисних речовин у мікрозелені представлені в таблиці 13.

Представлені дані демонструють вплив періодичності обдуву та швидкості руху повітря на схожість насіння та біометричні показники мікрозелені базилику сорту Рутан.

Періодичний обдув (15 хвилин кожні 2 години) позитивно вплинув на схожість насіння, особливо при швидкості руху повітря 0,5 м/с (94%). При швидкості 0,2 м/с схожість також була вищою за контроль (92%).

²⁸ Parkes, M.G., Azevedo, D.L., Cavallo, A.C. *et al.* Life cycle assessment of microgreen production: effects of indoor vertical farm management on yield and environmental performance. *Sci Rep.* 2023, Vol. 13, pp. 11324. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38325-0>

Натомість, постійний обдув призвів до зниження схожості насіння, особливо при вищій швидкості повітря (82%). Це може бути пов'язано з надмірним висушуванням поверхні субстрату та насіння при постійному русі повітря.

Таблиця 13

Вплив періодичності обдуву та швидкості руху повітря на схожість насіння та біометричні показники мікрозелені базилюку сорту Рутан (середнє за 2022–2024 роки), м/с

Періодичність обдуву	Швидкість руху повітря (м/с)	Схожість насіння (%)	Загальна висота рослини (см)	Довжина стебла (см)	Площа сім'ядольних листків (мм ²)	Сира маса рослини (г/лоток)	Суха маса рослини (г/лоток)	Вміст хлорофілу а (мг/г сирої маси)
Без обдуву (Контроль)	-	89±2	4,6±0,1	3,8±0,1	92,0±3,0	185±6	15,5±0,5	2,00±0,07
Обдув 15 хв/2 год	0,2	92±1	5,0±0,1	4,2±0,1	105,0±3,5	205±7	17,0±0,6	2,15±0,08
Обдув 15 хв/2 год	0,5	94±1	5,3±0,2	4,5±0,1	112,5±4,0	220±8	18,5±0,7	2,30±0,09
Постійний обдув	0,2	85±2	4,0±0,1	3,3±0,1	80,0 ± 2,5	160±5	13,5±0,4	1,80±0,06
Постійний обдув	0,5	82±3	3,5±0,1	2,8±0,1	70,5 ± 2,0	145±4	12,0±0,4	1,65±0,05

Періодичний обдув сприяв збільшенню загальної висоти рослин та довжини стебла порівняно з контролем (без обдуву). Найкращі показники були зафіксовані при періодичному обдуві (15 хв/2 год) та швидкості руху повітря 0,5 м/с (5,3 см висоти та 4,5 см довжини стебла).

Збільшення швидкості повітря при періодичному обдуві позитивно вплинуло на ці показники. Постійний обдув, навпаки, призвів до значного зменшення висоти рослин та довжини стебла, особливо при швидкості 0,5 м/с. Це може бути пов'язано з механічним стресом, надмірною транспірацією та охолодженням рослин.

Періодичний обдув також сприяв розвитку більшої площі сім'ядольних листків. Найбільша площа (112,5 мм²) спостерігалася при періодичному обдуві (15 хв/2 год) та швидкості руху повітря 0,5 м/с. Збільшення швидкості повітря при періодичному обдуві позитивно вплинуло на цей показник. Постійний обдув призвів до зменшення площі сім'ядольних листків, ймовірно, через стресові умови та зниження тургору клітин.

Показники сирої та сухої маси рослин відображають загальну біопродуктивність мікрозелені. Найвищі значення сирої (220 г/лоток) та сухої (18,5 г/лоток) маси були отримані при періодичному обдуві (15 хв/2 год) та швидкості руху повітря 0,5 м/с. Збільшення швидкості

повітря при періодичному обдуві сприяло накопиченню більшої біомаси. Постійний обдув призвів до значного зниження сирої та сухої маси, що корелює зі зменшенням інших біометричних показників.

Вміст хлорофілу а, важливого фотосинтетичного пігменту, також був найвищим при періодичному обдуві (15 хв/2 год) та швидкості руху повітря 0,5 м/с (2,30 мг/г сирої маси). Періодичний обдув при нижчій швидкості повітря також сприяв збільшенню вмісту хлорофілу а порівняно з контролем. Постійний обдув призвів до зниження концентрації хлорофілу а, що може свідчити про погіршення фотосинтетичної активності рослин у цих умовах.

Отримані результати свідчать про те, що періодичний обдув мікрозелені базилику сорту Рутан може мати позитивний вплив на їх біометричні показники, а ефективність цього впливу залежить від швидкості руху повітря.

Найкращі результати були досягнуті при періодичному обдуві протягом 15 хвилин кожні 2 години при швидкості руху повітря 0,5 м/с. В цьому режимі спостерігалось покращення схожості насіння, збільшення висоти рослин, довжини стебла, площі сім'ядольних листків, а також підвищення сирої та сухої маси та вмісту хлорофілу а. Ймовірно, такий режим обдуву сприяє кращому газообміну на поверхні листків, зменшенню ризику розвитку грибкових захворювань та стимулює транспірацію, що покращує поглинання поживних речовин.

Збільшення швидкості руху повітря при періодичному обдуві мало тенденцію до подальшого покращення біометричних показників, що може бути пов'язано з більш ефективним оновленням повітря в прилистковому шарі²⁹.

Натомість, постійний обдув виявився негативним для росту та розвитку мікрозелені базилику. Це може бути пов'язано з надмірним висушуванням, механічним стресом та охолодженням рослин, що призводить до зниження фотосинтетичної активності та загальної продуктивності³⁰.

Отримані дані є важливими для оптимізації мікроклімату при вирощуванні мікрозелені базилику в закритих системах. Забезпечення періодичного обдуву з оптимальною швидкістю руху повітря може стати ефективним агротехнічним прийомом для підвищення врожайності та якості мікрозелені. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення оптимальної тривалості та частоти періодичного обдуву, а

²⁹ Alrifai, O., Hao, X., Marcone, M.F., Tsao, R. Current review of the modulatory effects of LED lights on photosynthesis of secondary metabolites and future perspectives of microgreen vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019, Vol. 67, no. 22, pp. 6075–6090. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00819>

³⁰ Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R. F., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., & Akbulut, M. E. S.. Integrated Pest Management: An Update on the Sustainability Approach to Crop Protection. In *ACS Omega*. American Chemical Society. 2024, Vol. 9, no.40, pp. 41130–41147 <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>

також на вивчення впливу різних швидкостей руху повітря на інші фізіологічні процеси в рослинах³¹. Також доцільно дослідити вплив обдуву на інші види мікрозелені.

ВИСНОВКИ

Результати проведених нами досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

Дослід 1:

Обробка насіння базилику перед посадкою мікробіологічним препаратом EM 5 позитивно впливає на його ростові показники.

Оптимальна концентрація препарату сприяє збільшенню схожості насіння, прискоренню росту паростків та збільшенню біомаси мікрозелені.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення впливу різних концентрацій та методів застосування EM 5 на якість та поживну цінність мікрозелені. Використання мікробіологічного препарату EM 5 у процесі вирощування мікрозелені базилику в гідропонних системах періодичного затоплення Flood & Drain сприяє підвищенню урожайності на 25%.

Застосування EM 5 дозволяє знизити витрати на добрива та електроенергію, що позитивно впливає на собівартість продукції.

Отже, використання EM 5 у технології вирощування мікрозелені базилику у гідропонних системах Flood & Drain є економічно доцільним і може бути рекомендоване для широкого впровадження у фермерських господарствах.

Дослід 2:

Тривалість циклу затоплення в гідропонній системі Flood & Drain є критичним фактором, що впливає на ріст та розвиток мікрозелені базилику.

Оптимальний цикл затоплення забезпечує достатнє зволоження кореневої системи, запобігаючи перезволоженню або пересиханню.

Встановлено, що певна тривалість циклу сприяє найбільш інтенсивному росту мікрозелені та накопиченню біомаси.

Дослід 3:

Концентрація поживного розчину в гідропонній системі має значний вплив на ростові показники мікрозелені базилику.

Оптимальна концентрація забезпечує рослини необхідними поживними речовинами для здорового росту та розвитку.

Занадто висока або низька концентрація може призвести до стресу рослин, сповільнення росту та зниження врожайності.

³¹ Majid, M. Khan, J.N. Shah, Q.M.A. Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. *Longifolia*) and comparison with protected soil-based cultivation. Agric. Water Manag. 2021; no. 245, pp. 106572. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106572>

Дослід 4:

Тривалість світлового дня є важливим фактором, що впливає на фотосинтез та ріст мікрозелені базилику.

Оптимальна тривалість світлового дня забезпечує достатню кількість енергії для росту та розвитку рослин.

Встановлено, що певна тривалість світлового дня сприяє найбільш інтенсивному росту мікрозелені та накопиченню біомаси.

Збільшення тривалості освітлення до 16-18 годин при співвідношенні червоного та синього спектру 4:1 або 5:1 сприяє максимальному збільшенню біомаси. При надмірному збільшенні співвідношення червоного спектру понад 5:1 може спостерігатися зниження ефективності фотосинтезу. Оптимальним варіантом для максимального прибутку є 18 годин освітлення при 5:1. Недостатнє освітлення (12 год) знижує врожайність та економічну ефективність. Оптимальна тривалість освітлення 16–18 годин.

Дослід 5:

Використання вузькоспектрального світла зі співвідношенням червоного до синього (Ч:С) впливає на ростові показники мікрозелені базилику.

Оптимальне співвідношення Ч:С сприяє найбільш інтенсивному росту мікрозелені та накопиченню біомаси.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення впливу різних співвідношень Ч:С на якість та поживну цінність мікрозелені.

Загалом, результати досліджень свідчать про те, що вирощування мікрозелені базилику в гідропонних системах Flood & Drain є ефективним методом, який дозволяє отримати високий урожай якісної продукції. Найбільш ефективне співвідношення спектру R:B – 4:1 або 5:1. Оптимізація параметрів вирощування, таких як концентрація мікробіологічного препарату, тривалість циклу затоплення, концентрація поживного розчину, тривалість світлового дня та спектральний склад світла, дозволяє підвищити врожайність та якість мікрозелені базилику.

АНОТАЦІЯ

У статті досліджено вплив основних агрономічних і технологічних параметрів на вирощування мікрозелені базилику сорту Рутан до фази «Бєбі лист» в гідропонних системах періодичного затоплення. Метою дослідження було визначити оптимальні умови для досягнення високих показників росту і розвитку рослин на основі обробки насіння мікробіологічним препаратом EM5, параметрів освітлення, температурних режимів та концентрації живильного розчину. У процесі дослідження вивчалися різні рівні освітлення з варіативними співвідношеннями червоного та синього спектру (1:1, 3:1, 5:1), температурні режими повітря (22–24°C), субстрату (20–22°C) і живильного розчину (18–20°C). Особливу увагу приділили періодичності

затоплення субстрату в гідропонних системах, що варіювалась між 36, 48 та 60 годинами, а також різним концентраціям живильного розчину (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 і 2,5 мСм/см).

Результати дослідження показали, що оптимальні умови для досягнення високих ростових показників мікрозелені базилику передбачають використання мікробіологічного препарату ЕМ 5 для обробки насіння, що сприяє покращеному розвитку кореневої системи та загальному росту рослин. Визначено, що найбільший ефект на рівень освітлення має підвищення співвідношення червоного спектру в освітленні, що дозволяє покращити фотосинтетичні процеси та знизити час до досягнення фази «Бєбі лист». Температурні режими субстрату та живильного розчину, які знаходяться в межах 20–22 °С і 18–20 °С відповідно, забезпечують оптимальне середовище для розвитку рослин. Крім того, дослідження показало, що періодичність затоплення субстрату в 48 годин є найбільш ефективною для вирощування мікрозелені. Щодо концентрації живильного розчину, то найбільш позитивний вплив спостерігався при рівні 2,0 мСм/см, що забезпечило максимальний ріст і розвиток рослин.

Отже, дослідження дозволяє встановити рекомендації щодо оптимальних агрономічних умов для вирощування мікрозелені базилику до фази «Бєбі лист» в гідропонних системах періодичного затоплення, що може бути використано для підвищення ефективності виробництва мікрозелені в умовах закритих приміщень та промислових теплиць.

Література

1. Alexander Miller, Petrus Langenhoven, and Krishna Nemali. Maximizing productivity of Greenhouse-grown Hydroponic Lettuce during Winter. *HORTSCIENCE*. 2020, Vol. 55, no. 12, pp: 1963–1969. DOI <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15351-20>
2. Gioia, F. D. Renna, M. Santamaria, P. Sprouts, Microgreens and “baby leaf” vegetables Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables *Springer, Boston, MA*, 2017; 403-432. DOI: 10.1007/978-1-4939-7018-6_11
3. Regina O'Brien, James E. Simon and Beverly J. Tepper. How do trained panelists characterize baby leafy greens? A comparison of descriptive analysis and Napping. *Journal of Food Science*, 2022, Volume 87, Number 1, pp. 396-414. DOI: 10.1111/1750-3841.15985.
4. Kovalov, M.M. Evaluation of the effects of microbiological agents on the regeneration of a nutrient solution when growing *Vigna radiata* microgreens in Flood & Drain systems. *Vegetable and Melon Growing*, 2025, Vol. 76, pp. 32-38. DOI <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2024-76-32-38>
5. Frasetya B, Harisman K and Ramdaniah N A H The effect of hydroponics systems on the growth of lettuce. The 5th Annual Applied Science and Engineering Conference (AASEC 2020). IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering*. 2021. 042115. pp. 1-6. DOI:10.1088/1757–899X/1098/4/042115

6. Методика проведення експертизи сортів рослин групи декоративних, лікарських та ефіроолійних, лісових на придатність до поширення в Україні. Київ: ТОВ «Алефа», 2016. 128 с.

7. Ковальов М.М. Вплив параметрів кліматозабезпечення на вирощування мікрозелені в умовах плівкової теплиці. *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Сільськогосподарські науки*. Вип. 126. Видавничий дім «Гельветика», 2022. С.153-162. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.21>

8. Яровий А. Т., Страхов Є. М. Багатовимірний статистичний аналіз : начально-методичний посібник для студентів математичних та економічних фахів. Одеса: Астропринт, 2015. 132 с.

9. Anna Lenzi, Ada Baldi, Letizia Lombardelli, Stefania Truschi, Massimiliano Marvasi, Piero Bruschi, Contamination of microgreens by *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* is influenced by selection breeding in chicory (*Cichorium intybus* L.), *Food Quality and Safety*, Volume 6, 2022, fyac030, DOI <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac030>

10. Jörn Germer, Christian Brandt, Frank Rasche, Thomas Dockhorn and Alexa Bliedung. Growth of Lettuce in Hydroponics Fed with Aerobic– and Anaerobic–Aerobic-Treated Domestic Wastewater. *Agriculture*. 2023, 13, pp. 1529. DOI <https://doi.org/10.3390/agriculture13081529>

11. Aqeela Sehrish, Iqra Majeed, Eliasse Zongo, Hudda Ayub, Hamad Rasul, Muhammad Abdul Rahim & Fahad AL-Asmari. A review on various extraction and detection methods of bio-functional components from microgreens: food applications and health properties. *International Journal of Food Properties*. 2023, vol. 26 no. 2, pp. 3082-3105. DOI <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2272564>

12. Somen A., Kaushal K., Nisha SH., Vivek K. et all. (2021) Yield and quality attributes of lettuce and spinach grown in different hydroponic systems. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2021, Vol. 20, no. 3, pp. 342-349. DOI: 10.5958/2455-7145.00043.6

13. Ковальов М.М. Вплив іонного складу поживного середовища на вирощування ремонтантних сортів полуниці в гідропонних колонах *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Сільськогосподарські науки*. Вип. 116. Видавничий дім «Гельветика», 2020. С.104-111. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.13>

14. Ковальов М. М. Вирощування мікрозелені салату ромен у NFT-системах залежно від впливу типу субстрату. *Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник. Видавничий дім «Гельветика»*, 2021, вип. 75. С. 48–52. DOI <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.9>

15. Ковальов М.М. Формування врожайності редису при вирощуванні в системах біологічної гідропоніки. *Науковий журнал «Водні біоресурси та аквакультура»* Вип. 1(13). Видавничий дім «Гельветика», 2023. С.41-51. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2023.1.3>

16. Kovalov M. M. Optimization of the technological parameters of the nutrient solution with the help of EM preparation when growing micro greens in hydroponic columns: *Development of the agricultural sector, food and veterinary medicine in Ukraine and EU countries* (December 25–26, 2024. Riga, the Republic of Latvia) : International scientific conference. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. pp. 5-6. ISBN 978-9934-26-518-1.

17. Gunjal, M., Singh, J., Kaur, S., Nanda, V., Ullah, R., Iqbal, Z., Ercisli, S., & Rasane, P. Assessment of bioactive compounds, antioxidant properties and morphological parameters in selected microgreens cultivated in soilless media. *Scientific Reports*. 2024, Vol. 14, no. 1, pp. 23605. DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73973-w>

18. Sharma N., Acharya S., Kaushal K., Singh N., Chaurasia O. P. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2019. 17 (4). pp. 364–371. DOI: 10.5958 / 2455-7145.2018.00056.5.

19. Bulgari, R., Baldi, A., Ferrante, A., et al. Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2017, Vol. 45, no. 2, pp. 119–129. DOI:10.1080/01 140671.2016.1259642

20. Ouakouak, H.; Benarfa, A.; Messaoudi, M.; Begaa, S.; Sawicka, B.; Benchikha, N.; Simal-Gandara, J. Biological Properties of Essential Oils from *Thymus algeriensis* Boiss. *Plants* 2021, 10, 786. <https://doi.org/10.3390/plants10040786>.

21. Riggio, G.M., Wang, Q., Kniel, K.E., Gibson, K.E. Microgreens– A review of food safety considerations along the farm to fork continuum. *Int J Food Microbiol*. 2019, Vol. 290, pp. 76-85. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.027.

22. Kumar Vipin, Tripathi Sonam, Mandal Mili Rani, Singh Bijendra Hydroponics: A Versatile System for Soilless Vegetable Production. *Annals of Horticulture*, 2022, Vol 15, no. 2, pp. 245–250. DOI : 10.5958/0976-4623.2022.00037.8.

23. Suttisansanee, U.; Thiyajai, P.; Chalermchaiwat, P.; Wongwathanarat, K.; Pruesapan, K.; Charoenkiatkul, S.; Temviriyankul, P. Phytochemicals and In Vitro Bioactivities of Aqueous Ethanolic Extracts from Common Vegetables in Thai Food. *Plants*. 2021, Vol. 10, pp. 1563. DOI <https://doi.org/10.3390/plants10081563>.

24. Budavári, N., Pék, Z., Helyes, L., Takács, S., & Nemeskéri, E. An Overview on the Use of Artificial Lighting for Sustainable Lettuce and Microgreens Production in an Indoor Vertical Farming System. *Horticulturae*. 2024, Vol. 10, no. 9, pp. 938. DOI <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090938>

25. Du, M., Xiao, Z., & Luo, Y. Advances and emerging trends in cultivation substrates for growing sprouts and microgreens toward safe and sustainable agriculture. *Current Opinion in Food Science*. 2022, Vol. 46, pp. 100863. DOI <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2022.100863>

26. Dubey S, Harbourne N, Harty M, Hurley D, Elliott-Kingston C. Microgreens Production: Exploiting Environmental and Cultural Factors for Enhanced Agronomical Benefits. *Plants (Basel)*. 2024, Vol. 13, no. 18, pp. 2631. doi: 10.3390/plants13182631.
27. Lone J.K., Pandey R. Microgreens on the rise: Expanding our horizons from farm to fork. *Heliyon*. 2024, Vol. 10, no. 10, pp. 31111. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e31111.
28. Parkes, M.G., Azevedo, D.L., Cavallo, A.C. *et al.* Life cycle assessment of microgreen production: effects of indoor vertical farm management on yield and environmental performance. *Sci Rep*. 2023, Vol. 13, pp. 11324. DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38325-0>
29. Alrifai, O., Hao, X., Marcone, M.F., Tsao, R. Current review of the modulatory effects of LED lights on photosynthesis of secondary metabolites and future perspectives of microgreen vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019, Vol. 67, no. 22, pp. 6075–6090. DOI <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00819>
30. Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R. F., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., & Akbulut, M. E. S.. Integrated Pest Management: An Update on the Sustainability Approach to Crop Protection. In ACS Omega. *American Chemical Society*. 2024, Vol. 9, no.40, pp. 41130–41147. DOI <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>
31. Majid, M. Khan, J.N. Shah, Q.M.A. Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation. *Agric. Water Manag.* 2021; no. 245, pp. 106572. DOI <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106572>

Information about the author:

Kovalov Mykola Mykolaiovych,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Head of the Scientific laboratories «Industrial mushroom growing and protection technologies of cultivated mushrooms», as well as «Hydroponic cultivation of vegetables in a dome greenhouse».
Associate Professor at the Department of General Agriculturer,
Central Ukrainian National Technical University
8, University ave., Kropyvnytskyi, 25000, Ukraine