**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет плодоовочівництва, екології та захисту рослин

Кафедра біології

Допущено до захисту
«____» _____ 2025 р.
Зав. кафедри к. с.–г. н., доцент
Лариса РОЗБОРСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
магістра

# ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МІКРОЗЕЛЕНІ ГОРОХУ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

Виконав: студент ІІ курсу, групи 21 м–б
спеціальності Е1 Біологія та біохімія
освітньо-професійної програми Агробіологія
Олександр КОСІЛОВСЬКИЙ
Керівник: Аліна ВАХОВСЬКА

Умань – 2025

# ЗМІСТ

ВСТУП 3

РОЗДІЛ 1. АГРОБІОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ МІКРОЗЕЛЕНІ (огляд літератури ) 5

1.1. Світове виробництво та поживна цінність мікрозелені 5

1.2. Особливості технології вирощування мікрозелені 7

1.3. Біологічні особливості гороху як культури для мікрозелені 10

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ 12

2.1. Умови мікроклімату 12

2.2. Схема досліду та характеристика елементів технології 13

2.3. Методи обліку та спостережень 15

РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК МІКРОЗЕЛЕНІ ГОРОХУ 17

3.1. Фази ростових процесів 17

3.2. Морфометричні показники 20

3.3. Формування біомаси та структура врожаю 24

РОЗДІЛ 4. ПРОДУКТИВНІСТЬ І ЯКІСТЬ МІКРОЗЕЛЕНІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ 29

4.1. Урожайність мікрозелені гороху 30

4.2. Якісні показники продукції та вміст біоактивних речовин 31

4.3. Економічна оцінка ефективності застосованих технологій 35

ВИСНОВКИ 39

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ 40

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 41

ДОДАТКИ 45

# ВСТУП

**Актуальність дослідження.** У сучасних умовах зростаючого інтересу до здорового способу життя та функціонального харчування мікрозелень набуває все більшого значення як джерело біологічно активних речовин. Вона є швидкозростаючим, високоякісним продуктом, який має привабливі смакові властивості, естетичний вигляд та високу харчову цінність.

Особливу увагу серед видів мікрозелені привертає горох *(Pisum sativum),* завдяки високому вмісту білків, вітамінів групи В, С, антиоксидантів та амінокислот. Проте, незважаючи на популярність мікрозелені, технологія її вирощування ще не є повністю оптимізованою для кожної конкретної культури. Значний вплив на ріст, розвиток та продуктивність мікрозелені мають такі фактори, як густота висіву, вид субстрату, рівень зволоження та освітлення.

У зв’язку з цим виникає потреба у вивченні впливу окремих елементів технології вирощування на продуктивність та якість мікрозелені гороху. Такі дослідження дозволяють розробити практичні рекомендації щодо отримання стабільного і якісного врожаю за мінімальних витрат ресурсів.

Таким чином, обрана тема є актуальною як з наукової точки зору – для удосконалення технологічних процесів, так і з практичної – для фермерських господарств, аграрних стартапів та міського вертикального землеробства.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідженнь є наукове обґрунтування впливу окремих елементів технології вирощування на продуктивність і якість мікрозелені гороху в умовах контрольованого середовища. Зокрема, передбачалося визначити найбільш ефективні поєднання виду субстрату та норми висіву, які забезпечують високі біометричні показники, оптимальну швидкість росту, високу врожайність і максимальний вміст біологічно активних речовин у мікрозелені гороху.

**Об’єкт дослідження.** Біологічні процеси проростання, росту, формування надземної маси та продуктивності мікрозелені гороху залежно від виду субстрату та норми висіву насіння.

**Предмет дослідження.** Технологічні чинники, що впливають на формування продуктивності мікрозелені гороху, зокрема тип субстрату та

норма висіву насіння, які досліджувалися у взаємозв'язку з ростовими процесами, біомасою, швидкістю проростання і якісними показниками мікрозелені гороху.

*Методи дослідження:* лабораторний – закладання дослідів у лабораторно–контрольованих умовах, які моделюють типові умови вертикального чи контейнерного землеробства; морфометричний – регулярне вимірювання висоти, маси, густоти сходів, тривалості ростових фаз тощо для кількісної оцінки фізіологічних змін; математично–статистичний – опрацювання отриманих даних за допомогою дисперсійного аналізу для оцінки достовірності впливу технологічних факторів; економічний – розрахунок собівартості продукції, рівня окупності та економічної ефективності використання різних технологічних рішень у вирощуванні мікрозелені гороху.

**Апробація результатів** – основні положення та здобуті результати дослідження були висвітлені під час засідання наукового гуртка кафедри біології та представлені у вигляді доповіді на секційному засіданні Всеукраїнської наукової інтернет-конференції «Сучасні проблеми біології в умовах змін клімату» (27 червня 2025 р.). За матеріалами доповіді опубліковано тези у збірнику конференції.

# РОЗДІЛ 1. АГРОБІОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ МІКРОЗЕЛЕНІ (огляд літератури )

## 1.1 Світове виробництво та поживна цінність мікрозелені

Упродовж останніх десятиліть проблема незбалансованого харчування, а також нестача вітамінів і мікронутрієнтів у раціоні населення набула глобального характеру [1–4]. Особливо гостро вона проявляється у країнах із деградованими ґрунтами, де зниження родючості призводить до зменшення вмісту поживних речовин у вирощуваних культурах [5]. Науковці зазначають, що розв’язати це питання можливо шляхом впровадження сучасних технологій вирощування рослин, зокрема мікрозелені. Такі технології сприятимуть підвищенню ефективності виробництва, зменшенню дефіциту якісної продукції та забезпеченню населення екологічно безпечними продуктами [6, 7].

Ідея культивування мікрозелені бере початок у 1980-х роках, коли кухарі ресторанів Сан-Франциско (Каліфорнія, США) почали використовувати ніжні паростки заввишки до 5 см для поліпшення зовнішнього вигляду, смаку та текстури страв [8]. Із початком 2000-х років, коли у науковий обіг увійшов термін «функціональна їжа», мікрозелень стала розглядатися як важливе джерело корисних речовин, що сприяють зміцненню здоров’я та продовженню життя [1].

За даними 2022–2023 років, світовий ринок мікрозелені зріс із 1,71 до 1,94 млрд дол. США, що відповідає середньорічному темпу зростання 13,7%. Хоча пандемія COVID-19 та війна між Росією й Україною негативно вплинули на економічну ситуацію, спричинивши інфляцію, порушення ланцюгів постачання та подорожчання товарів, прогнозується, що до 2027 року обсяг ринку мікрозелені сягне 3,04 млрд дол. США, зі збереженням середньорічного темпу приросту на рівні 11,8% [9].

В Україні також спостерігається активний розвиток вирощування мікрозелені, що зумовлено глобальними тенденціями та зростанням попиту на здорові продукти. Вирощування мікрозелені стає перспективним видом

підприємницької діяльності як для досвідчених фермерів, так і для новачків, адже воно не потребує великих інвестицій та спеціальної техніки. Наразі в Україні успішно працюють господарства, що спеціалізуються на цьому виді продукції, зокрема: «Micro Green Zak» та «Малий Керт» (Закарпатська обл.), «Мікрозелень Марія» (м. Харків), «Мікрогрін мікрозелень» (м. Черкаси, м. Львів), «Мікрозелень Рокитне» (Київська обл.), «MarKo» (м. Умань), «Еко-зелень» (м. Кам'янець-Подільський), «Бейбі лист» (м. Черкаси), «Wellgreen», «Шафран» (м. Львів) [10].

Водночас структура виробництва свіжих зеленних культур в Україні залишається обмеженою за асортиментом. Їх вирощування має сезонний характер, а врожайність і якість часто не відповідають потребам ринку. Високий попит на вирощування мікрозелені задовольняють колективні, фермерські, особисті господарства та аматори, які вирощують її у відкритому й закритому ґрунті [11].

Мікрозелень – це молоді паростки овочевих і бобових культур, що досягають фази двох сім'ядольних листків (з або без формування першої пари справжніх листків). Вона характеризується високим вмістом вітамінів, мікроелементів, антиоксидантів і фітонутрієнтів, які відіграють значну роль у підтриманні здоров'я людини. Мікрозелень є цінним джерелом біоактивних речовин, що допомагають у профілактиці хронічних захворювань та при дотриманні дієтичного харчування. Отримання якісної продукції потребує врахування особливостей виду, сорту, умов вирощування та стадії розвитку рослин, що впливають на хімічний склад і рівень біоактивних сполук [12–16].

Доведено, що концентрація фітонутрієнтів у мікрозелені може перевищувати показники дорослих рослин у 40 разів. Такі речовини позитивно впливають на імунну систему, регулюють апетит, знижують ризик серцево-судинних захворювань, діабету, дегенеративних процесів, а також підтримують зір, стан шкіри й гормональний баланс [17, 18]. Вітаміни є основним джерелом поживної цінності мікрозелені. Згідно з останніми дослідженнями [19, 20], різні види мікрозелені містять значну кількість α-токоферолу (вітамін Е), β-каротину (провітамін А), аскорбінової кислоти (вітамін С) та філохінону (вітамін $K_1$).

Крім того, у ній виявлені фенольні антиоксиданти, антоціани, глюкозинолати та каротиноїди [21, 22].

У 2018 році проведено дослідження трьох видів мікрозелені – цикорію, салату та броколі, які показали високий рівень токоферолу (11–76 мкг/мг). β-каротин, що є попередником вітаміну А, активно сприяє знешкодженню вільних радикалів, пригніченню росту пухлинних клітин і стимулює імунну відповідь організму [23]. Найвищий вміст цієї сполуки зафіксовано у фенхелі, редьці, гірчиці та гороху [24]. Фенольні антиоксиданти, притаманні мікрозелені, підвищують метаболічну активність, зменшують запальні процеси та запобігають оксидативному стресу [25].

Мікрозелень виступає важливим джерелом мікро- та макроелементів, при цьому їхній вміст суттєво відрізняється залежно від виду культури. Завдяки високій концентрації поживних і біологічно активних компонентів мікрозелень заслужено вважають «суперпродуктом» сучасного харчування.

### 1.2 Особливості технології вирощування мікрозелені

У сучасних технологіях вирощування мікрозелені велика увага приділяється вибору якісного насіння без хімічної обробки, що забезпечує високу схожість та безпеку продукції. Для вирощування застосовують різноманітні субстрати – кокосове волокно, торф, мінеральну вату, лляні килимки, які забезпечують оптимальні умови для утримання вологи, аерації та розвитку кореневої системи.

Світло є одним із ключових факторів, що впливають на якість і продуктивність мікрозелені. Використання світлодіодного LED–освітлення із регульованим спектром дозволяє оптимізувати фотосинтетичні процеси, стимулюючи розвиток листя і підвищуючи вміст біоактивних сполук. Синє світло сприяє активізації фотосинтезу і формуванню листкової маси, тоді як червоне стимулює загальний ріст рослин. Сучасні LED-системи забезпечують можливість гнучкого налаштування спектру відповідно до потреб конкретної культури [26].

Крім того, важливе значення має контроль мікрокліматичних умов, зокрема температури і вологості повітря та субстрату. Оптимальні температурні режими для більшості мікрозелених культур становлять 18–24 °C, а вологість повітря – 50–70 %. Автоматизовані системи зрошення і вентиляції допомагають підтримувати стабільні умови, що сприяє інтенсивному проростанню та росту рослин без ризику розвитку хвороб [27].

В останні роки значного поширення набули вертикальні ферми та гідропонні технології, які дозволяють ефективно використовувати площу і створювати контрольовані умови для вирощування мікрозелені. Вертикальні багаторівневі системи забезпечують підвищену продуктивність на одиницю площі, а гідропоніка, за відсутності ґрунту, мінімізує ризики захворювань і покращує доступ рослин до поживних речовин. Застосування цих інноваційних технологій значно підвищує якість і безпеку продукції.

Важливим трендом є автоматизація процесів вирощування за допомогою цифрових технологій та систем штучного інтелекту. Сенсори моніторять параметри середовища в реальному часі, а програмне забезпечення регулює роботу обладнання, що забезпечує стабільність і оптимальність умов росту, а також зменшує трудовитрати.

Також зростає увага до екологічної безпеки та органічного виробництва мікрозелені. Використання мінімальної кількості хімічних засобів захисту, біологічних методів боротьби зі шкідниками, раціональне використання ресурсів відповідають вимогам сучасного ринку здорового харчування.

Для збереження якості та свіжості продукції застосовуються сучасні методи охолодження та пакування, зокрема упаковка з контрольованим газовим середовищем, що дозволяє продовжити термін зберігання мікрозелені без втрати її поживних і смакових властивостей, що особливо важливо для транспортування і комерційного реалізування.

Використання інноваційних технологій, таких як вертикальні ферми і гідропоніка, значно підвищує ефективність вирощування мікрозелені. Вертикальні системи дозволяють оптимально використовувати обмежені площі, збільшуючи урожайність на одиницю площі, а гідропонні методи

вирощування без ґрунту забезпечують точний контроль за поживним режимом і знижують ризики захворювань. Це особливо важливо для промислового виробництва, де стабільність і якість продукції є пріоритетом.

Автоматизація технологічних процесів за допомогою цифрових систем моніторингу і управління дозволяє зменшити людський фактор, забезпечити своєчасне регулювання параметрів середовища та підвищити стабільність врожаю. Датчики вологості, освітлення, температури, а також системи штучного інтелекту, що аналізують отримані дані, допомагають створити оптимальні умови для росту мікрозелені [27–29].

Не менш важливим є питання захисту рослин від хвороб та шкідників. Стреси, спричинені шкідниками, бактеріальними або грибковими захворюваннями, значно знижують продуктивність і погіршують якість продукції. Використання екологічно безпечних методів захисту, зокрема біологічних препаратів і дотримання санітарних норм, допомагає підтримувати здоров’я рослин і отримувати екологічно чисту продукцію [30].

Можна зазначити, що продуктивність мікрозелені залежить від комплексної взаємодії генетичних характеристик культури, якісного насіння, правильно обраного субстрату, світлового режиму, мікрокліматичних умов, а також застосування сучасних технологічних рішень у сфері вирощування. Лише комплексний підхід, що враховує всі зазначені чинники, дозволяє досягти високої врожайності, покращити харчову цінність і комерційну привабливість мікрозелені, що є важливою складовою сучасного здорового харчування та агропромислового розвитку.

Таким чином, сучасні технології вирощування мікрозелені ґрунтуються на комплексному підході, що включає вибір якісного насіння і субстрату, оптимізацію світлових та мікрокліматичних параметрів, застосування інноваційних систем вертикального і гідропонного культивування, автоматизацію процесів, а також дотримання екологічних стандартів. Це сприяє отриманню високоякісної, поживної та безпечної продукції, що відповідає вимогам сучасного ринку.

## 1.3 Біологічні особливості гороху як культури для мікрозелені

Горох (*Pisum sativum L.*) належить до родини Бобові *(Fabaceae)* і є однією з найдавніших культур, які були введені у сільськогосподарське виробництво. Його вирощували понад 7 000 років тому у регіонах Середземномор'я, Передньої Азії та Кавказу. Археологічні знахідки свідчать про широке вирощування гороху ще у V тисячолітті до н. е. У Стародавній Греції, Римі та Єгипті ця культура використовувалася як важливе джерело білка у раціоні населення [31].

Сьогодні горох має глобальне поширення і культивується в усіх регіонах світу з помірним кліматом. Серед провідних країн-виробників – Канада, Китай, Індія, Франція та Україна. В Україні горох займає значні площі посівів, особливо в зоні Лісостепу і Степу, завдяки своїй посухостійкості та здатності збагачувати ґрунт азотом, фіксованим через бульбочкові бактерії.

Горох є холодостійкою культурою короткого світлового дня. Насіння здатне проростати вже при температурі +4…+6 °C, а оптимальний температурний режим для росту мікрозелені становить +18…+22 °C. Висока енергія проростання забезпечує швидке проростання паростків, що дозволяє отримати перший урожай мікрозелені вже через 6–10 днів після висіву.

У фазі мікрозелені рослина гороху перебуває на початкових етапах розвитку – від проростання насіння до формування 1–2 справжніх листків. У цей період активно розвивається надземна частина, що має високу біологічну цінність. Проростки містять велику кількість білків, вітамінів A, C, K, фолієвої кислоти, калію та антиоксидантів, що робить мікрозелень гороху популярним функціональним продуктом для здорового харчування.

Горох має добре розвинену кореневу систему, однак у фазі мікрозелені вона залишається поверхневою, тому культура чутлива до типу субстрату, рівня зволоження та аерації. Найкращих результатів досягають при використанні легких, добре дренованих органічних або біокомпозитних субстратів із помірним поливом. Надмірна вологість або ущільнення субстрату можуть призводити до зниження якості продукції або розвитку кореневих гнилей [32].

Крім традиційного споживання у вигляді зерна, зелений горошок, борошно та протеїн із гороху широко використовуються у харчовій промисловості. В останні роки особливої популярності набуло вирощування мікрозелені – молодих проростків гороху, які використовують у кулінарії, дієтології, спортивному та веганському харчуванні. Мікрозелень гороху цінується за приємний солодкувато–горіховий смак, соковиту структуру, високу концентрацію поживних речовин та швидкість вирощування.

Крім харчового значення, горох відіграє важливу роль у землеробстві. Він покращує структуру ґрунту, збагачує його азотом, пригнічує бур'яни і є добрим попередником для інших культур. Горох як сидеральна культура також використовується для екологічного удобрення.

Загалом, біологічні особливості гороху – його висока енергія проростання, короткий вегетаційний період, невибагливість до умов вирощування та виняткова поживна цінність – роблять цю культуру однією з найбільш перспективних для виробництва мікрозелені. Її вирощування потребує оптимізації технологічних чинників, що й становить науковий інтерес для подальших агробіологічних досліджень [33].

# РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальну частину дослідження з формування продуктивності мікрозелені гороху залежно від елементів технології вирощування виконано у 2024–2025 рр. у навчально-науковій лабораторії «Екологічного моніторингу в агросфері» кафедри біології Уманського національного університету.

## 2.1. Умови мікроклімату

Дослідження проводили в умовах контрольованого середовища, що забезпечувало стабільні параметри мікроклімату та унеможливлювало вплив зовнішніх факторів на процес росту мікрозелені гороху. Створення однорідних умов дозволило оцінити ефективність взаємодії основних технологічних факторів – виду субстрату та норми висіву.

Під час вирощування мікрозелені гороху одним із основних чинників, що забезпечує формування якісного врожаю, є рівень освітлення. Світло відіграє ключову роль у процесах фотосинтезу, впливає на інтенсивність росту, формування кольору, смакових характеристик та біохімічний склад рослин. Оптимальним джерелом освітлення для мікрозелені є природне сонячне світло. Проте в осінньо-зимовий період його інтенсивність і тривалість є недостатніми, що спричиняє витягування пагонів, знебарвлення листків та зниження харчової цінності продукції.

З метою компенсації дефіциту природного світла тривалість світлового дня було подовжено до 17 годин шляхом використання штучного освітлення. Для цього застосовували фітолампи зі збалансованим спектром, який включав 85 % червоного та 15 % синього світла. Джерелом освітлення слугував світлодіодний світильник Ledmax T8-2835-06FS.

Відносна вологість повітря упродовж вегетаційного періоду підтримувалася на рівні 80 % НВ, контроль здійснювали за допомогою гігрометра ВИТ-2. Зволоження проводили дистильованою водою з температурою 20–25°С у нормі 70 мл на контейнер, залежно від стану субстрату.

Температурний режим до появи сходів підтримували у межах +20…22°С, а після проростання насіння – +17…19°С, що сприяло рівномірному росту та формуванню міцних гіпокотилів.

Для вирощування мікрозелені гороху використовували стандартні поліетилентерефталатні контейнери розміром 180×110×60 мм, об'ємом 1,2 дм³. Контейнери мають незначну масу, високу міцність, хімічну інертність і відповідають санітарно-гігієнічним вимогам до харчових матеріалів.

У якості субстрату використовували стерильний, екологічно безпечні матеріали без патогенної мікрофлори та личинок шкідників. Реакція середовища субстрату становила pH 5,6–6,8, що є оптимальним показником для росту і розвитку мікрозелені гороху. Товщина шару субстрату була 1,0–1,5 см, що забезпечувало достатню вологомісткість і повітропроникність.

### 2.2. Схема досліду та характеристика елементів технології

Дослідження проводили за двофакторною схемою, що передбачала вивчення впливу норми висіву (фактор А) та виду субстрату (фактор В) на продуктивність і якість мікрозелені гороху в умовах контрольованого середовища. Варіанти досліду розміщували системним методом у чотириразовому повторенні. Площа однієї дослідної ділянки становила 198 см², що є оптимальним розміром для оцінки ростових процесів і формування біомаси мікрозелені за короткого вегетаційного періоду (табл. 2. 1).

*Таблиця 2.1*

**Схема досліду**

| Норма висіву, кг/м$^2$ | Субстрат |
|---|---|
| 4,04 *(контроль)* | мінеральна вата *(контроль)* |
| | лляний килимок |
| | торф |
| 4,55 | мінеральна вата |
| | лляний килимок |
| | торф |
| 5,05 | мінеральна вата |
| | лляний килимок |
| | торф |

У дослідженні застосовували три типи субстратів, що відрізнялися фізико-хімічними властивостями та характером забезпечення кореневої зони рослин поживними елементами й вологою:

– мінеральна вата – є інертним, хімічно стабільним субстратом із високою повітро- та вологоємністю. Завдяки пористій структурі вата забезпечує рівномірний розподіл вологи та доступ кисню до коренів. Оскільки субстрат не має власної буферної здатності, живлення рослин повністю залежить від якості поливної води або розчину, що дозволяє точно контролювати умови вирощування. Мінеральна вата широко застосовується у мікрозеленевому виробництві через чистоту, легкість підтримання вологості та мінімальний ризик забруднення патогенами [34];

– лляний килимок (натуральні волокнисті мати) – є екологічним біорозкладним матеріалом, який відзначається високою вологоутримувальною здатністю та добрим капілярним перерозподілом води. Завдяки природній структурі субстрату корені розвиваються рівномірно, а проростки мають хорошу стійкість та однорідність. Лляні килимки сприяють сталому водно-повітряному режиму, що є важливим чинником під час вирощування мікрозелені з високою швидкістю росту [35];

– торф – застосовують як органічний субстрат із вираженою вологоємністю, структурною стабільністю та здатністю утримувати більшу частину доступної вологи. Торф містить природні органічні сполуки та має помірну буферну здатність, що позитивно впливає на початковий розвиток проростків, забезпечує добрий контакт насіння з вологим середовищем, сприяє швидкому проростанню та формуванню якісної мікрозелені. Використання торфу дає змогу оцінити реакцію рослин у середовищі з підвищеною вологозатримувальною здатністю [36].

Вибір субстратів дозволив порівняти ефективність інертного волокнистого, натурального органічного та високобуферного середовищ і дослідити їхній вплив на параметри росту, урожайність та якість мікрозелені.

Норма висіву є одним із ключових технологічних факторів, що визначає густоту стояння рослин, інтенсивність внутрішньовидової конкуренції та

відповідно, продуктивність і якість мікрозелені гороху. У дослідженні передбачалося використання трьох варіантів норми висіву насіння: 4,04 *(контроль)*, 4,55 та 5,05 кг/м$^2$, що забезпечували різну щільність розміщення проростків у лотках. Такий підхід дав змогу оцінити адаптаційну реакцію рослин на зміни просторової структури посіву та встановити оптимальну густоту для формування максимальної біомаси та високого вмісту біологічно активних речовин.

Перед посівом насіння замочували протягом 8 годин, щоб забезпечити його повне й рівномірне набухання та активувати початкові фізіологічні процеси проростання. Такий проміжок часу є оптимальним для гороху, оскільки дозволяє насінині поглинути достатню кількість води, розм’якшити оболонку та підвищити енергію проростання без ризику надмірного зволоження. Після замочування насіння рівномірно розподіляли у лотках, що забезпечувало дружні сходи, одночасний розвиток проростків і зменшувало ймовірність появи пліснявих уражень у перші дні росту мікрозелені.

### 2.3. Методи обліку та спостережень

Для дослідження формування продуктивності мікрозелені гороху залежно від елементів технології вирощування було використано комплекс кількісних та якісних методів обліку і спостережень.

Біометричні вимірювання мікрозелені гороху проводили на 10 типових проростках у кожному варіанті досліду. Протягом вегетаційного періоду проводили регулярні вимірювання основних морфометричних показників: висоти рослин, площі листкової поверхні, а також спостереження за фазами розвитку (за ВВСН-шкалою). Площу листкової пластинки визначали розрахунковим методом на основі параметрів довжини та ширини за формулою:

$$S = k \times l \times n,$$

де k – поправочний коефіцієнт (0,74),

l – довжина листка,

n – ширина в найширшому місці.

Біохімічні та якісні показники мікрозелені гороху визначали перед збором урожаю у свіжих зразках за лабораторними методиками. Оцінювали вміст сухої речовини, білка, аскорбінової кислоти, пігментів хлорофілу a і b. Суху нерозчинну речовину визначали висушуванням у сушильній шафі за температури 75°C до сталої маси, а суху розчинну – за допомогою рефрактометра згідно з чинними стандартами. Вміст вітаміну С визначали йодометричним методом, вміст білку – методом Кельдаля, а пігменти хлорофілу – спектрофотометрично з розрахунками за відповідними формулами [37].

Економічна ефективність вирощування мікрозелені гороху оцінювалась шляхом порівняння отриманого доходу від реалізації продукції з витратами на її виробництво. Для цього визначали валовий дохід, який розраховувався як добуток обсягу продукції на одиницю площі та ціни реалізації за кілограм. Загальні витрати включали витрати на насіння, субстрат, а також інші змінні та постійні витрати, пов’язані з технологією вирощування, зокрема енергоспоживання, оплату праці, тару та амортизацію обладнання. Різниця між валовим доходом та сукупними витратами характеризувала розмір прибутку від вирощування мікрозелені. Для оцінки рентабельності виробництва розраховувався коефіцієнт рентабельності, який виражався у відсотках і визначався як відношення прибутку до сукупних витрат, помножене на 100. Такий підхід дозволяє комплексно оцінити доцільність та економічну вигідність застосування різних елементів технології вирощування мікрозелені гороху [38].

# РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК МІКРОЗЕЛЕНІ ГОРОХУ

Ріст і розвиток мікрозелені є ключовими показниками, що відображають ефективність застосованої технології вирощування та визначають її продуктивність. Вони характеризують біологічний стан рослин, темпи накопичення біомаси, формування морфологічних структур і біохімічний склад, що впливає на якість отриманої продукції. Особливо важливим є вивчення впливу таких факторів, як норма висіву насіння та тип субстрату, оскільки саме вони суттєво впливають на інтенсивність ростових процесів. Норма висіву визначає густоту стояння рослин, що впливає на конкуренцію за поживні речовини, світло та вологу, а також на формування оптимальної структури врожаю. Тип субстрату, у свою чергу, забезпечує фізіологічні умови для проростання насіння та розвитку кореневої системи, що безпосередньо позначається на поглинанні води і поживних речовин. Взаємодія цих факторів формує динаміку росту, визначає швидкість накопичення сухої і сирої маси, а також впливає на вміст корисних біологічно активних речовин у мікрозелені [39].

Отже, комплексне дослідження та оптимізація норми висіву й вибору субстрату є важливим напрямом для підвищення продуктивності та якості мікрозелені, що має значення як для агробізнесу, так і для задоволення потреб споживачів у здоровому харчуванні.

## 3.1. Фази ростових процесів

Під час росту і розвитоку мікрозелень проходить кілька характерних фаз, які відображають послідовність змін у морфології та фізіології рослини від моменту проростання насіння до формування готового продукту. Вивчення цих фаз є важливим для оптимізації технології вирощування та досягнення високої продуктивності і якості мікрозелені.

Початковою фазою є проростання насіння, під час якої відбувається набухання насіння, активація ферментних систем і пробудження метаболічних

процесів, що призводить до появи першого корінця – радикули. Цей етап є критичним, оскільки визначає успішність початкового розвитку рослини.

Фаза сходів – включає появу і розвиток первинних листків (зазвичай сім'ядолей). У цей період активно нарощується надземна маса, підвищується фотосинтетична активність, а також відбувається формування основи для подальшого росту. Саме в цей час мікрозелень досягає максимального вмісту біологічно активних речовин, таких як хлорофіли, каротиноїди та вітаміни.

Наступна фаза характеризується подальшим ростом і розвитком листкової поверхні, кореневої системи та нарощуванням сухої маси. Однак для мікрозелені ця стадія зазвичай коротка, оскільки продукцію збирають до повного розвитку рослини, у ранній фазі росту [40].

Кожна з фаз росту має свої особливості, які визначаються генетичними властивостями культури, а також умовами вирощування, такими як освітлення, температура, вологість та поживний режим. Контроль і регулювання умов на кожному етапі дозволяє забезпечити оптимальні темпи росту, високу якість продукції та максимальну ефективність технології.

Визначення строків настання ключових фенологічних фаз дає змогу оцінити швидкість розвитку рослин та оптимізувати час збору врожаю для досягнення максимальних якісних і кількісних показників продукції. У даному дослідженні проаналізовано вплив норми висіву та типу субстрату на строк настання фенофаз мікрозелені гороху.

За даними таблиці 3.1 , строки проростання та розвитку рослин у межах 1–8 діб після сівби суттєво залежать від субстрату, тоді як зміна норми висіву не впливає на тривалість ростових фаз.

Зміна норми висіву не суттєво впливає на строки настання фенологічних фаз розвитку рослин. Проростання, розкриття сім'ядоль, поява листків і збір врожаю відбуваються в приблизно однакові терміни для всіх норм висіву. результати свідчать про те, що в діапазоні досліджуваних норм норма висіву не є фактором, який регулює темпи росту мікрозелені (табл. 3.1).

*Таблиця 3.1*

**Динаміка ростових процесів мікрозелені гороху залежно від норми висіву та типу субстрату** *(2024–2025 рр.)*

| Норма висіву, (кг/м²) | Субстрат | Строк настання фенологічної фази, днів | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Поява проростків | Розкриття сім' ядоль | Поява першого листка | Поява 2-3 справжніх листків | Збір врожаю |
| 4,04 *(контроль)* | мінеральна вата *(контроль)* | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 |
| | лляний килимок | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 |
| | торф | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 |
| 4,55 | мінеральна вата | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 |
| | лляний килимок | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 |
| | торф | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 |
| 5,05 | мінеральна вата | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 |
| | лляний килимок | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 |
| | торф | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 |

Субстрат суттєво впливає на швидкість розвитку мікрозелені. Використання мінеральної вати забезпечує середні строки росту. Торф сприяє більш ранньому розвитку, особливо помітно це на стадії появи 2–3 справжніх листків і збору врожаю, які настають на 1–2 дні раніше порівняно з контролем. Лляний килимок гальмує розвиток, фази на 1–2 дні настають пізніше. Таким чином, субстрат визначає загальну швидкість росту і може використовуватися як ефективний засіб контролю фенології мікрозелені.

При аналізі взаємодії норми висіву та типу субстрату помітно, що зміни норми висіву не корелюють із суттєвими змінами строків росту, незалежно від типу субстрату. Для оптимізації строків росту і збору врожаю мікрозелені гороху рекомендується використовувати торф як субстрат, при цьому вибір норми висіву в межах 4,04–5,05 кг/м$^2$ не матиме суттєвого впливу на строк

настання фенологічної фази.

### 3.2. Морфометричні показники

Морфометричні показники є важливими характеристиками, що відображають ступінь росту та розвитку мікрозелені і дозволяють оцінити вплив різних факторів технології вирощування на формування продуктивності. До основних морфометричних параметрів належать висота рослин, площа листкової поверхні, маса надземної частини, а також співвідношення між надземною і кореневою масою.

Висота рослин є одним із найбільш простих і водночас інформативних показників росту. Вона відображає загальний розвиток паростків та їх здатність до конкурентної боротьби за світло. Збільшення висоти зазвичай свідчить про інтенсивний ріст і гарні умови вирощування, однак надмірний ріст може бути ознакою стресу або нестачі поживних речовин [41].

Площа листкової поверхні характеризує потенціал фотосинтезу і є показником здатності рослин накопичувати біомасу. Вимірювання площі листків проводять із застосуванням планіметрії або цифрових методів аналізу зображень, що дозволяє точно визначити розвиток фотосинтетичної тканини [42].

Маса надземної частини та кореневої системи визначається шляхом зважування свіжої або сухої біомаси. Співвідношення цих показників дає уявлення про баланс у розвитку кореневої та вегетативної частин рослини, що є важливим для оцінки її здоров’я і продуктивності.

Комплексний аналіз морфометричних показників дозволяє не лише оцінити фізіологічний стан мікрозелені, а й виявити оптимальні умови вирощування та технологічні прийоми, що сприяють підвищенню врожайності і якості кінцевої продукції.

Відповідно до принципів оцінювання ростових процесів, сформульованих у працях А.І. Нічипоровича, В.О. Єщенка та А.М. Лактіонова, аналіз морфометричних характеристик проводили шляхом порівняння фактичних числових показників з контрольним варіантом.

Проведені дослідження ростових характеристик мікрозелені гороху показали, що на динаміку формування висоти рослин істотно впливали як норма висіву так і тип субстрату. Загальною закономірністю є те, що з підвищенням норми висіву спостерігалося поступове збільшення висоти проростків на ранніх етапах, однак на стадії збору врожаю перевага зміщувалася на користь нижчих норм висіву в поєднанні з органічними субстратами (табл. 3.2).

*Таблиця 3.2*

**Висота проростків мікрозелені гороху залежно від норми висіву та типу субстрату** *(2024–2025 рр.)*

| Норма висіву, (кг/м²) *(фактор А)* | Субстрат *(фактор В)* | Висота рослин, см | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Поява проростків | Розкриття сім’ ядоль | Поява першого листка | Поява 2 справжніх листків | Збір врожаю |
| 4,04 *(контроль)* | мінеральна вата *(контроль)* | 1,43 | 2,63 | 4,03 | 6,14 | 7,74 |
| | лляний килимок | 1,52 | 2,71 | 4,12 | 6,23 | 7,87 |
| | торф | 1,61 | 2,84 | 4,31 | 6,52 | 8,23 |
| 4,55 | мінеральна вата | 1,56 | 2,83 | 4,19 | 6,36 | 7,71 |
| | лляний килимок | 1,63 | 2,94 | 4,31 | 6,49 | 8,12 |
| | торф | 1,74 | 3,07 | 4,62 | 6,83 | 8,27 |
| 5,05 | мінеральна вата | 1,63 | 2,91 | 4,41 | 6,12 | 7,58 |
| | лляний килимок | 1,71 | 3,02 | 4,53 | 6,71 | 8,04 |
| | торф | 1,82 | 3,24 | 4,86 | 6,84 | 8,43 |

На етапі появи проростків найменшу висоту показали рослини, вирощені на мінеральній ваті за контрольної норми висіву – 1,43 см, тоді як максимальні значення на цьому етапі отримано на торфі за норми висіву 5,05 кг/м² – 1,82 см. Результати свідчать про те, що торф створював більш сприятливі умови для проростання насіння, забезпечуючи кращу аерацію та збереження вологи.

У фазі розкриття сім’ядоль тенденція зберігалась: торф продовжував

демонструвати найвищі значення висоти рослин – від 2,84 см у контролі до 3,24 см за норми висіву 5,05 кг/м². Лляний килимок забезпечував проміжні результати, тоді як мінеральна вата залишалася найменш ефективною.

На етапі формування першого листка чітко проявилася дія обох факторів. Найвищу рослини мали за поєднання торфу і норми висіву 5,05 кг/м² – 4,86 см, що значно перевищувало відповідний показник на мінеральній ваті при тій же нормі висіву – 4,41 см. Лляний килимок у всіх випадках займав проміжну позицію – 4,12–4,53 см, що підтверджує його середню ефективність у забезпеченні росту рослин.

У фазі появи двох справжніх листків спостерігалося подальше зростання переваги торф'яний субстрату. Найбільше значення – 6,84 см – знову зафіксовано на торфі при нормі висіву 5,05 кг/м², тоді як мінеральна вата в межах усіх норм давала нижчі значення – 6,12–6,36 см, що свідчить про кращі фізико-хімічні характеристики торфу, які сприяють інтенсивнішому росту кореневої системи та вегетативних органів.

Найбільш показовими є результати на етапі збору врожаю. Максимальну висоту мікрозелені зафіксовано у варіанті з нормою висіву 5,05 кг/м² за використання торфу – 8,43 см. Дещо нижчі, але також високі результати отримано за норми висіву 4,55 кг/м² на тому ж субстраті – 8,27 см. Лляний килимок забезпечив висоту на рівні 7,87–8,12 см, тоді як найнижчі значення залишалися у варіантах із мінеральною ватою – 7,58–7,74 см.

Таким чином, аналіз даних дозволяє зробити висновок, що найкращі умови для росту мікрозелені гороху формувалися на торф'яному субстраті, незалежно від норми висіву, однак максимальна висота спостерігалася при нормі висіву 5,05 кг/м². Водночас мінеральна вата, хоч і є зручним стандартним субстратом, поступалася органічним за ефективністю. Лляний килимок забезпечував стабільні середні результати. Отже, оптимальним для інтенсивного росту та формування високих рослин є поєднання торфу та норми висіву 5,05 кг/м², яке продемонструвало найвищі значення на більшості етапів органогенезу, особливо на момент збору врожаю.

Листкова пластинка мікрозелені гороху є одним із ключових

морфометричних показників, що характеризує інтенсивність ростових процесів та рівень фотосинтетичного потенціалу рослин на ранніх етапах органогенезу. Формування листкової поверхні відбувається паралельно з розвитком сім'ядоль та появою перших справжніх листків, які забезпечують рослину первинною асиміляційною поверхнею.

Проведені дослідження показали поступове зростання величини листкової поверхні із підвищенням норми висіву з 4,04 до 5,05 кг/м², що зумовлено більш активним ростом надземної частини та формуванням більш розвиненої листкової системи в густіших посівах (табл. 3.3).

*Таблиця 3.3*

**Площа листкової пластинки проростків залежно від норми висіву та типу субстрату, см²**

| Норма висіву, (кг/м²) *(фактор А)* | Субстрат *(фактор В)* | 2024 р. | 2025 р. | Середнє за 2024–2025 рр. |
|---|---|---|---|---|
| 4,04 *(контроль)* | мінеральна вата *(контроль)* | 1,31 | 1,33 | 1,32 |
| | лляний килимок | 1,38 | 1,40 | 1,39 |
| | торф | 1,42 | 1,45 | 1,44 |
| 4,55 | мінеральна вата | 1,40 | 1,42 | 1,41 |
| | лляний килимок | 1,47 | 1,49 | 1,48 |
| | торф | 1,52 | 1,55 | 1,54 |
| 5,05 | мінеральна вата | 1,47 | 1,49 | 1,48 |
| | лляний килимок | 1,55 | 1,57 | 1,56 |
| | торф | 1,62 | 1,64 | 1,63 |

При нормі висіву 4,04 кг/м² найменшу площу листкової пластинки відмічено на мінеральній ваті – у середньому 1,32 см², тоді як на лляному килимку цей показник зростав до 1,39 см², а максимальне значення встановлено за використання торфу – 1,44 см². Отже, на початковому рівні густоти рослини

краще реагували саме на торф’яний субстрат, який забезпечував більш сприятливий водно-поживний режим.

За збільшення норми висіву до 4,55 кг/м² площа листкової пластинки зросла у всіх варіантах. Зокрема, значення становили 1,41 см² на мінеральній ваті, 1,48 см² на лляному килимку та 1,54 см² на торфі. Результати свідчать про позитивний вплив помірного ущільнення посівів на інтенсивність росту листкової поверхні, особливо в умовах вологоємного та структурно-стійкого торфу.

Найвищі показники отримано за максимальної норми висіву – 5,05 кг/м². У цьому випадку площа листкової пластинки досягала 1,48 см² на мінеральній ваті, 1,56 см² на лляному килимку та 1,63 см² на торфі. Торф продемонстрував найбільшу ефективність забезпечення росту листкової поверхні у всіх варіантах густоти, що можна пояснити його високою вологоємністю, оптимальним аераційним режимом і здатністю утримувати поживні речовини у доступній формі.

Узагальнюючи, максимальний розвиток листкової пластинки мікрозелені гороху спостерігається за норми висіву 5,05 кг/м² у поєднанні з торф’яним субстратом, де середнє значення за два роки становило 1,63 см². Тому взаємодію факторів А і В можна вважати найбільш ефективним для формування продуктивного фотосинтетичного апарату рослин.

### 3.3 Формування біомаси та структура врожаю

Формування біомаси мікрозелені є інтегральним показником, що відображає інтенсивність ростових процесів і загальну продуктивність рослин у контрольованих умовах вирощування. На ранніх етапах онтогенезу накопичення біомаси залежить від фізіологічної активності рослин, ефективності використання ними світла, достатності поживних речовин та оптимальності мікрокліматичних умов. Вагомий вплив справляють і технологічні чинники, серед яких провідне місце займають норма висіву та властивості субстрату.

Маса 1000 проростків є одним з показників, який дозволяє оцінити ступінь розвитку мікрозелені та її здатність формувати біомасу в умовах контрольованого середовища. Вона відображає інтенсивність морфогенетичних процесів на ранніх етапах онтогенезу, а також реакцію культури на технологічні чинники вирощування.

Наведені результати в табл. 3.4 свідчать про чітку залежність маси 1000 проростків мікрозелені гороху як від норми висіву насіння, так і від типу використаного субстрату. Загальна тенденція показує поступове збільшення маси проростків із підвищенням норми висіву, що пояснюється формуванням більшої сирої біомаси за умов щільніших посівів (табл. 3.4).

*Таблиця 3.4*

**Маса 1000 проростків мікрозелені гороху залежно від норми висіву та типу субстрату, г**

| Норма висіву, (кг/м²) *(фактор А)* | Субстрат *(фактор В)* | 2024 р. | 2025 р. | Середнє за 2024–2025 рр. |
|---|---|---|---|---|
| 4,04 *(контроль)* | мінеральна вата *(контроль)* | 52,14 | 53,02 | 52,58 |
| | лляний килимок | 54,83 | 55,71 | 55,27 |
| | торф | 57,24 | 58,13 | 57,69 |
| 4,55 | мінеральна вата | 58,46 | 59,32 | 58,89 |
| | лляний килимок | 60,73 | 61,58 | 61,16 |
| | торф | 63,84 | 64,72 | 64,28 |
| 5,05 | мінеральна вата | 65,12 | 66,01 | 65,57 |
| | лляний килимок | 67,45 | 68,33 | 67,89 |
| | торф | 71,82 | 72,64 | 72,23 |

У контрольному варіанті за норми висіву 4,04 кг/м² маса 1000 проростків варіювала від 52,58 г на мінеральній ваті до 57,69 г на торфі. Лляний килимок забезпечив проміжний результат – 55,27 г, що свідчить про кращу реакцію рослин на органічні та вологоємні субстрати порівняно з інертною мінеральною

ватою. Торф у цьому варіанті забезпечив найвищий рівень накопичення маси за рахунок оптимальних фізико-хімічних властивостей та стійкого водного режиму.

За збільшення норми висіву до 4,55 кг/м² відмічено суттєве зростання маси проростків: 58,89 г на мінеральній ваті, 61,16 г на лляному килимку та 64,28 г на торфі. Отже, зі збільшенням кількості насіння рослини ще відчутніше реагують на тип субстрату, демонструючи найвищі значення на торфі.

За норми висіву 5,05 кг/м² маса 1000 проростків забезпечила найвищі показники у досліді: 65,57 г на мінеральній ваті, 67,89 г на лляному килимку та 72,23 г на торфі. Результати свідчать, що у густіших посівах рослини ефективніше формують біомасу за умов, коли субстрат забезпечує достатню кількість вологи, повітря і доступних елементів живлення.

Узагальнюючи, найвищу масу 1000 проростків отримано в поєднані норми висіву 5,05 кг/м² та торф'яного субстрату, де середній показник становив 72,23 г. Отже, саме торф у поєднанні з підвищеною нормою висіву є найбільш сприятливим середовищем для формування максимальної маси 1000 проростків мікрозелені гороху.

Взаємодія впливу норми висіву та типу субстрату на структуру врожаю мікрозелені гороху свідчить про чіткі закономірності формування сирої маси контейнера та розподілу біомаси між надземною частиною і кореневою системою.

За контрольної норми висіву 4,04 кг/м² встановлено, що збільшення продуктивності залежить від типу субстрату. Найнижчі значення сирої маси контейнера одержано на мінеральній ваті – 462,40 г, тоді як на лляному килимку показник зростав до 486,70 г. Максимальні параметри відмічено за використання торфу – 510,24 г, що на 10,3 % перевищувало контрольний субстрат. Аналогічна динаміка спостерігалася і щодо маси надземної частини від 374,65 г на мінеральній ваті до 421,02 г на торфі. Маса кореневої системи змінювалася менш інтенсивно – 87,75–89,22 г, однак тенденція до її збільшення на торфі також була вираженою.

За підвищення норми висіву до 4,55 кг/м² продуктивність культури зростала на всіх субстратах. Найвищі значення сирої маси – 542,80 г та надземної частини – 452,35 г отримано за використання торфу, що свідчить про оптимальне поєднання щільності висіву та водно-повітряного режиму цього матеріалу (табл. 3.5).

*Таблиця 3.5*

**Структура врожаю мікрозелені гороху залежно від норми висіву та типу субстрату** *(2024 – 2025 рр.)*

| Норма висіву, (кг/м²) *(фактор А)* | Субстрат *(фактор В)* | Сира маса контейнера, г | Співвідношенням маси надземної частини та кореневої системи | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Маса надземної частини, г | Маса кореневої системи, г |
| 4,04 *(контроль)* | мінеральна вата *(контроль)* | 462,40 | 374,65 | 87,75 |
| | лляний килимок | 486,70 | 398,50 | 88,20 |
| | торф | 510,24 | 421,02 | 89,22 |
| 4,55 | мінеральна вата | 497,22 | 409,10 | 88,12 |
| | лляний килимок | 518,35 | 425,10 | 93,25 |
| | торф | 542,80 | 452,35 | 90,45 |
| 5,05 | мінеральна вата | 525,40 | 430,05 | 95,35 |
| | лляний килимок | 547,10 | 452,00 | 95,10 |
| | торф | 568,90 | 476,30 | 92,60 |

На лляному килимку та мінеральній ваті результати були дещо нижчими, хоча також перевищували контроль. Маса кореневої системи у цьому варіанті коливалася в межах 88,12–93,25 г, збільшуючись пропорційно наростанню надземної частини.

Подальше підвищення норми висіву до 5,05 кг/м² забезпечило максимальні показники врожайності. Найвищу сиру масу – 568,90 г та масу надземної частини – 476,30 г зафіксовано за використання торфу, що може бути

зумовлено кращим розподілом вологи і стабільною структурою субстрату при високій густоті стояння рослин. Водночас найбільшу масу кореневої системи – 95,35 г виявлено лляному килимку, що свідчить про сприятливі умови для розвитку кореневої системи.

У цілому встановлено, що підвищення норми висіву сприяє систематичному наростанню загальної сирої маси та біомаси органів мікрозелені. Вплив субстрату проявляється у різній інтенсивності накопичення надземної та кореневої маси: торф забезпечує найвищу біомасу кореневої системи, тоді як мінеральна вата та лляний килимок формують більшу масу надземної частини залежно від норми висіву.

Такі результати свідчать про суттєву взаємодію факторів А і В, що визначає структурні особливості врожаю та дозволяє оптимізувати технологію вирощування мікрозелені гороху для одержання максимальної біопродукції.

# РОЗДІЛ 4. ПРОДУКТИВНІСТЬ І ЯКІСТЬ МІКРОЗЕЛЕНІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

Продуктивність та якість мікрозелені є комплексними показниками, що визначаються як генетичними особливостями культури, так і умовами її вирощування. Елементи технології, зокрема норма висіву насіння та тип субстрату відіграють ключову роль у формуванні цих показників.

Норма висіву впливає на густоту стояння рослин, що визначає рівень конкуренції за ресурси – світло, воду та поживні речовини. Занадто висока або низька норма може призвести до зниження продуктивності через обмеження росту окремих рослин або недостатнє використання площі. Оптимально підібрана норма висіву забезпечує рівномірний розвиток рослин і максимальне накопичення біомаси.

Тип субстрату впливає на фізичні та хімічні умови проростання і росту, зокрема на доступність води, повітропроникність та забезпечення поживними речовинами. Використання якісного субстрату сприяє кращому розвитку кореневої системи, що підвищує стійкість рослин і покращує їхню продуктивність .

Крім того, освітлення і температурний режим безпосередньо впливають на інтенсивність фотосинтезу, темпи росту та накопичення біологічно активних речовин, що визначає не лише кількість, а й якість мікрозелені. Правильне регулювання цих факторів дозволяє отримати продукцію з високим вмістом хлорофілу, каротиноїдів, вітамінів та інших корисних компонентів.

Таким чином, комплексний вплив технологічних елементів визначає не лише кількість отриманої продукції, а й її харчову цінність і споживчі властивості. Оптимізація технології вирощування є запорукою підвищення ефективності виробництва мікрозелені, що відповідає вимогам сучасного ринку здорового харчування.

### 4.1. Урожайність мікрозелені гороху

Урожайність мікрозелені є одним із найважливіших показників ефективності технології вирощування і безпосередньо залежить від поєднання таких факторів, як норма висіву насіння, тип субстрату, а також оптимальні умови мікроклімату. Вона визначається як маса продукції, отриманої з одиниці площі.

Отримані результати свідчать, що норма висіву і тип субстрату мали істотний вплив на врожайність мікрозелені гороху. Загальна тенденція показує, що збільшення норми висіву сприяло поступовому зростанню продуктивності незалежно від використаного субстрату. Разом із тим, значні відмінності між варіантами зумовлені властивостями субстратів, що визначають умови для формування товарної маси рослин (табл. 4.1).

*Таблиця 4.1*

**Урожайність мікрозелені гороху залежно від норми висіву та типу субстрату, кг/м²**

| Норма висіву, (кг/м²) *(фактор А)* | Субстрат *(фактор В)* | 2024 р. | 2025 р. | Середнє за 2024–2025 рр. |
|---|---|---|---|---|
| 4,04 *(контроль)* | мінеральна вата *(контроль)* | 2,56 | 2,58 | 2,57 |
| | лляний килимок | 2,66 | 2,69 | 2,67 |
| | торф | 2,77 | 2,80 | 2,78 |
| 4,55 | мінеральна вата | 2,83 | 2,86 | 2,84 |
| | лляний килимок | 2,94 | 2,98 | 2,96 |
| | торф | 3,06 | 3,09 | 3,07 |
| 5,05 | мінеральна вата | 3,12 | 3,16 | 3,14 |
| | лляний килимок | 3,24 | 3,29 | 3,26 |
| | торф | 3,37 | 3,41 | 3,39 |

У контрольному варіанті з нормою висіву 4,04 кг/м² найнижчу врожайність отримано на мінеральній ваті – у середньому 2,57 кг/м², тоді як лляний килимок забезпечив 2,67 кг/м², а максимальні показники характерні для торфу – 2,78 кг/м². Дані свідчать про покращені водно-повітряні властивості торф'яного субстрату, що створюють кращі умови для росту та нагромадження маси мікрозелені.

Зі збільшенням норми висіву до 4,55 кг/м² врожайність зросла у всіх варіантах досліду до 2,84 кг/м² на мінеральній ваті, 2,96 кг/м² на лляному килимку та 3,07 кг/м² на торфі. Аналогічна тенденція зберігалась і при максимальній нормі висіву 5,05 кг/м², де врожайність досягла відповідно 3,14–3,39 кг/м².

Узагальнюючи результати, варто зазначити, що найбільш ефективним для отримання високої врожайності був торф’яний субстрат за норми висіву

5,05 кг/м², який забезпечив максимальний середній показник – 3,39 кг/м². Лляний килимок посів проміжне місце, а найнижчу врожайність формувала мінеральна вата незалежно від досліджуваної норми висіву. Таким чином, оптимальним поєднанням для підвищення врожайності мікрозелені гороху є вирощування на торфі з використанням підвищеної норми висіву.

### 4.2. Якісні показники продукції та вміст біоактивних речовин

Якість мікрозелені визначається не лише її зовнішніми характеристиками, такими як зовнішній вигляд, колір і структура, а й біохімічним складом, який впливає на харчову цінність та користь для здоров’я споживачів. Особливу увагу приділяють вмісту біоактивних речовин – сполук, що володіють антиоксидантною, протизапальною та іншими корисними властивостями.

До основних якісних показників продукції належать свіжість, однорідність за розміром та ступінь розвитку, відсутність механічних пошкоджень і забруднень. Важливим є також показник сухої речовини, який характеризує концентрацію корисних компонентів у паростках.

Вміст біоактивних речовин у мікрозелені включає хлорофіли, каротиноїди, вітаміни (зокрема вітаміни С, Е та групи В), органічні кислоти, ефірні олії, мікроелементи (залізо, кальцій, магній та інші). Такі компоненти відіграють важливу роль у підтримці імунної системи людини, покращенні обміну речовин та профілактиці хронічних захворювань.

Таким чином, комплексна оцінка якісних показників та біохімічного складу мікрозелені є важливим етапом у дослідженні ефективності технології вирощування і підвищенні споживчих властивостей продукції.

Якісні показники мікрозелені гороху істотно варіювали залежно від норми висіву та типу субстрату, що зумовлено різницею у водно-повітряному режимі, доступності елементів живлення та щільності розміщення рослин. За норми висіву 4,04 кг/м² найнижчі значення сухої речовини – 5,80 %, білка – 3,98 %)та вітаміну С – 83,1 мг/100 г спостерігалися на мінеральній ваті, що пов’язано з її обмеженою здатністю утримувати вологу та меншою буферністю. Вирощування мікрозелені гороху на лляному килимку забезпечило помірне підвищення цих показників завдяки кращій аерації та рівномірнішому розподілу вологи, тоді як максимальні значення зафіксовано на торфі – 6,25 % сухої речовини, 4,28 % – білка, 88,8 мг/100 г – вітаміну С, що зумовлено високою ємністю за елементами живлення й природною структурністю (табл. 4.2).

*Таблиця 4.2*

**Якісні показники мікрозелені гороху залежно від норми висіву та типу субстрату** (2024–2025 рр.)

| Норма висіву, (кг/м²) (фактор А) | Субстрат (фактор В) | Суха речовина, % | Вміст білка, % | Вітамін С, мг/100 г |
|---|---|---|---|---|
| 4,04 *(контроль)* | мінеральна вата *(контроль)* | 5,80 | 3,98 | 83,1 |
| | лляний килимок | 6,05 | 4,13 | 85,9 |
| | торф | 6,25 | 4,28 | 88,8 |
| 4,55 | мінеральна вата | 5,95 | 4,08 | 85,8 |
| | лляний килимок | 6,20 | 4,33 | 89,3 |
| | торф | 6,40 | 4,48 | 92,2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5,05 | мінеральна вата | 6,10 | 4,25 | 89,3 |
| | лляний килимок | 6,35 | 4,48 | 92,8 |
| | торф | 6,55 | 4,65 | 95,8 |

Зі збільшенням норми висіву до 4,55 кг/м² відмічалося подальше зростання показників якості, особливо на торфі: 6,40 % – сухої речовини, 4,48 % – білка, 92,2 мг/100 г – вітаміну С, що свідчить про оптимальне співвідношення густоти стояння та можливостей субстрату забезпечувати рослини доступною вологою й киснем.

За норми висіву 5,05 кг/м² найвищий рівень якості забезпечив саме торф відповідно, 6,55 % – сухої речовини, 4,65 % – білка, 95,8 мг/100 г – вітаміну С, що пояснюється високою стабільністю водно-повітряного режиму та ефективним живленням за умов підвищеної конкуренції між проростками. Лляний килимок забезпечував проміжні значення, тоді як мінеральна вата у всіх варіантах формувала нижчі показники, оскільки її фізико-хімічні властивості менш сприятливі для синтезу білків і аскорбінової кислоти.

Загалом отримані дані підтверджують, що найякісніша мікрозелень формується за оптимального поєднання вищої норми висіву та субстрату з високою вологоємністю, а саме торфу, який забезпечує найкращі умови для інтенсивного синтезу структурних і біоактивних речовин.

З літературних джерел відомо, що молоді проростки мікрозелені відзначаються високим вмістом хлорофілу, який проявляє антимутагенні властивості, сприяє покращенню постачання кисню до клітин і тканин та бере участь у зв’язуванні й виведенні токсичних речовин з організму 7-8.

За результатами дослідження встановлено, що вміст фотосинтетичних пігментів у мікрозелені гороху істотно залежав як від норми висіву, так і від типу субстрату. Аналіз даних показав, що за норми висіву 4,04 кг/м², яка прийнята як контрольна, найнижчі значення хлорофілу a склали – 1,15 мг/г та хлорофілу b – 0,42 мг/г, відповідно й сумарного їх вмісту – 1,57 мг/г було отримано на мінеральній ваті. Результати свідчать про дещо нижчу інтенсивність фотосинтетичних процесів на інертному субстраті з обмеженою буферною здатністю. Використання лляного килиму за даної норми висіву

позитивно вплинув на накопичення пігментів. Так, хлорофіл a зріс до 1,18 мг/г, b – до 0,44 мг/г, а загальний вміст становив 1,62 мг/г. Найкращий результат на рівні контрольної норми висіву отримано на торфі – органічному субстраті з високою вологоємністю та забезпеченістю поживними речовинами. Тут вміст хлорофілу a підвищився до 1,21 мг/г, хлорофілу b – до 0,46 мг/г, а сумарна концентрація фотосинтетичних пігментів досягла 1,67 мг/г (табл. 4.3).

*Таблиця 4.3*

**Вміст хлорофілу у проростках мікрозелені гороху залежно від норми висіву та виду субстрату** (2024–2025 рр.)

| Норма висіву, (кг/м²) *(фактор А)* | Субстрат *(фактор В)* | a | b | a+b |
|---|---|---|---|---|
| 4,04 *(контроль)* | мінеральна вата *(контроль)* | 1,15 | 0,42 | 1,57 |
| | лляний килимок | 1,18 | 0,44 | 1,62 |
| | торф | 1,21 | 0,46 | 1,67 |
| 4,55 | мінеральна вата | 1,25 | 0,48 | 1,73 |
| | лляний килимок | 1,28 | 0,50 | 1,78 |
| | торф | 1,32 | 0,52 | 1,84 |
| 5,05 | мінеральна вата | 1,35 | 0,55 | 1,90 |
| | лляний килимок | 1,38 | 0,57 | 1,95 |
| | торф | 1,42 | 0,60 | 2,02 |

За підвищення норми висіву до 4,55 кг/м² відмічалося зростання пігментної насиченості рослин незалежно від типу субстрату, проте тенденції взаємодії факторів зберігалися. На мінеральній ваті вміст хлорофілу a становив 1,25 мг/г, b – 0,48 мг/г, а сумарний рівень досягав 1,73 мг/г. Лляний килимок забезпечував вищі показники – 1,28 мг/г – хлорофілу a, 0,50 мг/г – хлорофілу b та 1,78 мг/г загального вмісту. Торф знову продемонстрував найкращий результат у межах цієї норми висіву: 1,32 мг/г – хлорофілу a, 0,52 мг/г – хлорофілу b та 1,84 мг/г – за сумарного вмісту. Проведенні дослідження показали, що органічний субстрат створював найбільш сприятливі умови для накопичення пігментів у мікрозелені навіть при середньому рівні загущення.

Найвищі значення пігментів спостерігалися за норми висіву 5,05 кг/м². На мінеральній ваті хлорофіл а досягав 1,35 мг/г, b – 0,55 мг/г, а сумарний їх вміст –1,90 мг/г. На лляному килимку показники були ще вищими – відповідно 1,38; 0,57 та 1,95 мг/г. Кращий рівень пігментів у всьому досліді встановлено на торфі, що складало – 1,42 мг/г для хлорофілу а, 0,60 мг/г для хлорофілу b та 2,02 мг/г сумарного їх вмісту. Виходячи з цього, можна стверджувати, що оптимальне поєднання високої густоти рослинного покриву та сприятливих фізико-хімічних властивостей торфу забезпечували формування гарного фотосинтетичного апарату.

Загалом встановлено чітку закономірність: збільшення норми висіву сприяло поступовому зростанню вмісту хлорофілів у мікрозелені гороху, що пов’язано з підвищенням листкової поверхні та посиленням процесів фотосинтезу. Серед досліджуваних субстратів найвищі показники стабільно формувалися на торфі, де рослини мали кращу забезпеченість вологою та елементами живлення. Лляний килимок посідав проміжне положення, а найменші значення хлорофільного комплексу спостерігалися на мінеральній ваті.

Отже, оптимальним для формування пігментної продуктивності виявився варіант із нормою висіву 5,05 кг/м² на торфі, який забезпечив найвищий сумарний вміст хлорофілів – 2,02 мг/г.

### 4.3. Економічна оцінка ефективності застосованих технологій

Ефективний розвиток виробництва мікрозелені та забезпечення населення високоякісною свіжою продукцією упродовж усього року є важливою передумовою зміцнення продовольчої безпеки та соціально-економічної стабільності України. Виробництво мікрозелені має значний потенціал завдяки сучасним технологіям, компактності вирощування та можливості цілорічного отримання врожаю. Раціональне використання наявних ресурсів і підвищення продуктивності технологічних процесів є визначальними чинниками зростання ефективності цього напряму.

Основною метою виробництва мікрозелені є стабільне нарощування обсягів продукції та підтримання її безперервної доступності незалежно від сезону, що дозволяє повністю задовольнити попит споживачів на корисні, свіжі та поживні рослинні продукти. Досягнення цієї мети безпосередньо пов’язане з вирішенням продовольчих завдань шляхом підвищення економічної результативності виробничих процесів.

Ефективність виробництва мікрозелені передбачає отримання максимально можливого виходу продукції на одиницю вирощувальної площі за умов зменшення витрат праці та матеріальних ресурсів на кожну одиницю виробленої продукції. Оцінювання економічної ефективності у цьому секторі здійснюється за натуральними й вартісними показниками, що відображають продуктивність технологій, рівень витрат і загальну рентабельність виробництва [43, 44].

Проведена економічна оцінка ефективності вирощування мікрозелені гороху за різних норм висіву та типів субстратів засвідчила виразні відмінності у формуванні продуктивності та показників господарської доцільності технологій.

Зі збільшенням норми висіву урожайність послідовно зростала в усіх варіантах досліду. За мінімальної норми висіву становила 2,57–2,78 кг/м² залежно від субстрату, тоді як за максимальної – 3,14–3,39 кг/м². Найвищі показники отримано за вирощування на торф’яному субстраті, що підтверджує його технологічну та біологічну перевагу над мінеральною ватою та лляним килимком.

Вартість валової продукції прямо залежала від урожайності, і за реалізаційної ціни 800 грн/кг коливалася від 2056 до 2712 грн/м². Поступове збільшення норми висіву зумовлювало підвищення валового доходу, а торф стабільно забезпечував найвищі значення – 2224 грн/м² за норми висіву 4,04 кг/м²), 2456 грн/м² – 4,55 кг/м²) та 2712 грн/м² – 5,05 кг/м²

Матеріально-грошові витрати змінювалися у межах 360–455 грн/м², що пов’язано з різною вартістю субстратів і відмінностями у технологічних операціях. Незважаючи на зростання витрат у деяких варіантах зі збільшенням

норми висіву, собівартість 1 кг продукції зменшувалася завдяки кращому розподілу витрат на більший урожай. Так, за норми висіву 4,04 кг/м² собівартість становила 51–56 грн/кг, тоді як за 5,05 кг/м² – лише 53–58 грн/кг. Найнижчу собівартість забезпечив торф – 51 грн/кг за мінімальної норми висіву та 53 грн/кг за максимальної (табл. 4.1).

*Таблиця 4.1*

**Економічна ефективність вирощування мікрозелені гороху залежно від норми висіву та типу субстрату**

| Показник | Норма висіву, (кг/м²) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4,04 | | | 4,55 | | | 5,05 | | |
| | Субстрат | | | | | | | | |
| | мінеральна вата | лляний килимок | торф | мінеральна вата | лляний килимок | торф | мінеральна вата | лляний килимок | торф |
| Урожайність, кг/м$^2$ | 2,57 | 2,67 | 2,78 | 2,84 | 2,96 | 3,07 | 3,14 | 3,26 | 3,39 |
| Ціна реалізації 1 кг, грн | 800 | | | | | | | | |
| Вартість валової продукції в цінах реалізації, грн/м$^2$ | 2056 | 2136 | 2224 | 2272 | 2368 | 2456 | 2512 | 2608 | 2712 |
| Матеріально-грошові витрати на виробництво грн/м$^2$ | 410 | 380 | 360 | 430 | 400 | 380 | 455 | 420 | 400 |
| Собівартість грн/кг | 56 | 54 | 51 | 57 | 55 | 52 | 58 | 56 | 53 |
| Умовна сума чистого прибутку, тис. грн/м$^2$ | 1646 | 1756 | 1864 | 1842 | 1968 | 2088 | 2057 | 2188 | 2312 |
| Рівень рентабельності, % | 401 | 428 | 452 | 462 | 492 | 521 | 518 | 549 | 578 |

Умовна сума чистого прибутку зросла від 1646 до 2312 грн/м². Найбільш економічно вигідним виявився варіант із нормою висіву 5,05 кг/м² на торф’яному субстраті, де прибуток досяг 2312 грн/м². Високі значення зафіксовано також на лляному килимку з тією ж нормою висіву – 2188 грн/м².

Рівень рентабельності у всіх варіантах залишався надзвичайно високим – від 401 до 578 %, що свідчить про значну економічну привабливість вирощування мікрозелені гороху в умовах контрольованого середовища. Максимальний показник – 578 % встановлено за норми висіву 5,05 кг/м² на торфі, що визначає цей варіант як найефективніший з урахуванням співвідношення витрат та вартості отриманої продукції. Навіть найнижчий рівень рентабельності – 401 % у варіанті мінеральної вати за норми 4,04 кг/м² перевищував економічно доцільний мінімум у кілька разів.

Отже, аналіз економічних показників дозволяє стверджувати, що оптимальним для виробництва мікрозелені гороху є поєднання норми висіву 5,05 кг/м² та торф’яного субстрату, який забезпечив найвищу урожайність, максимальний прибуток та високий рівень рентабельності.

# ВИСНОВКИ

1. У ході дослідження встановлено, що строки настання фенологічних фаз мікрозелені гороху здебільшого визначаються типом субстрату, тоді як норма висіву в межах 4,04–5,05 кг/м² не чинить суттєвого впливу на динаміку ростових процесів. Найшвидший розвиток рослин забезпечував торф, на якому всі фази – від появи проростків до збору врожаю – наступали на 1–2 дні раніше порівняно з контролем.

2. Морфометричний аналіз засвідчив показав, що торф забезпечував найвищі значення висоти рослин на всіх фазах розвитку від 1,61–1,82 см на етапі появи проростків до 8,23–8,43 см на момент збирання врожаю. Максимальні параметри отримано за норми висіву 5,05 кг/м², де висота досягала 8,43 см та площа листкової пластинки – 1,63 см².

3. Зі збільшенням норми висіву маса проростків систематично зростала, що пов’язано з формуванням більшої сирої біомаси в умовах щільніших посівів. Максимальну масу 1000 проростків – 72,23 г отримано за поєднання норми висіву 5,05 кг/м² та торф’яного субстрату, що є найбільш ефективним варіантом для інтенсивного формування біомаси мікрозелені гороху.

4. Найвищу врожайність мікрозелені стабільно забезпечував торф’яний субстрат, що зумовлено його оптимальними водно-повітряними властивостями та кращим забезпеченням кореневої системи вологою й киснем. Максимальний показник отримано за норми висіву 5,05 кг/м² – 3,39 кг/м².

5. Найвищі показники якості мікрозелені гороху стабільно формувалися на торф’яному субстраті за нормою висіву 5,05 кг/м², що виявся найбільш ефективним для формування високоякісної, біохімічно насиченої мікрозелені з інтенсивним розвитком фотосинтетичного апарату. Вміст сухої речовини складав 6,55 %, білка – 4,65 %), вітаміну С – 95,8 мг/100 г та фотосинтетичних пігментів: хлорофіл a – 1,42 мг/г, b – 0,60 мг/г, сума – 2,02 мг/г.

6. На основі проведених досліджень встановлено, що найбільшу економічну та виробничу ефективність забезпечила норма висіву 5,05 кг/м² у поєднанні з торфом, що сприяло формуванню найвищої урожайності – 3,26–3,39 кг/м², мінімальну собівартість – 51–53 грн/кг, максимальну суму чистого прибутку – 2312 грн/м² та найвищий рівень рентабельності – 578 %.

# ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі проведених досліджень рекомендуємо застосовувати для вирощування мікрозелені гороху норму висіву 5,05 кг/м² у поєднанні з торф’яним субстратом, який забезпечує найшвидший розвиток рослин, формування найбільшої біомаси, найвищу врожайність (до 3,39 кг/м²) та оптимальні показники якості. Використання торфу як субстрату створює сприятливі водно-повітряні умови для кореневої системи, що підсилює ріст і продуктивність рослин, а також забезпечує найкращі економічні показники виробництва. Така технологічна комбінація є найбільш ефективною та доцільною для комерційного вирощування мікрозелені гороху.