Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра загального землеробства

«Допущено до захисту»
Зав. кафедрою загального землеробства,
к.б.н., професор
_____ Микола Мостіпан
«___» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

Вдосконалення технології вирощування рослин базиліку в портативній гідропонній NFT установці

Виконав здобувач вищої освіти
ІІ курсу, групи АГ-24-М-1
ОПП «Агрономія»
спеціальності 201«Агрономія»
_____ Олексій Войчук
«___»_____2025 р.

Керівник, доцент, к.т.н.
_____ Катерина Васильковська
«___»_____2025 р.

Рецензент
_____ Наталія Скачко
«___»_____ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет
Кафедра загального землеробства
Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Галузь знань: 20 Аграрні науки та продовольство
Спеціальність: 201-Агрономія
Освітньо-професійна програма: Агрономія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри загального землеробства
_____
“____”_____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Войчука Олексія Костянтиновича

1. Тема роботи Вдосконалення технології вирощування рослин базиліку в портативній гідропонній NFT установці

2. Керівник роботи Васильковська К.В., кандидат технічних наук, доцент затверджений наказом ЦНТУ «22» вересня 2025 року №66-13

3. Строк подання роботи до захисту_____1 грудня 2025 р.__

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Вивчити вплив елементів технології вирощування базиліку в гідропонних установках на їх продуктивність.

Завдання:

- визначити вплив концентрації розчину ЕМ 5 при передпосівній обробці насіння базиліку, температуру повітря та поживного розчину, концентрацію поживного розчину на висоту рослин базиліку;
- дослідити час настання фази «Бебі лист» рослин базиліку;
- визначити вплив досліджуваних факторів на масу зелені рослин базиліку;

- дослідити вплив досліджуваних факторів на кількість листків;
- дати економічну оцінку результатів досліджень.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічне обґрунтування результатів досліджень	Малаховська В.О., викладач		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1. Огляд літератури Розділ 2. Охорона праці та довкілля	14.10.2025 р.	
2.	Розділ 2. Місце та умови проведення досліджень	21.10.2025 р.	
3.	Розділ 3. Спеціальна частина	17.11.2025 р.	
4.	Розділ 4. Економічне обґрунтування результатів досліджень	24.11.2025 р.	
5.	Висновки, список літератури, вступ	27.11.2025 р.	

Дата видачі завдання
«22» вересня 2025 р.

Підпис керівника
_____ Катерина Васильковська

Завдання прийнято до виконання
«22» вересня 2025 р.

Підпис здобувача
_____ Олексій Войчук

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП…….. 5

РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР В ГІДРОПОННИХ УСТАНОВКАХ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ) …….…….. 7

1.1. Оцінка технологічних рішень гідропонних установок для вирощування овочевих культур ……..... 7

1.2. Стан та перспективи вирощування овочевих культур в гідропонних установках 11

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ……. 14

2.1. Організаційно-економічні умови місця проведення досліджень ……. 14

2.2. Ґрунтово-кліматичні умови проведення досліджень та їх значення у формуванні врожайності базиліку ……. 16

РОЗДІЛ 3. ПОДУКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН БАЗИЛІКУ В ПОРТАТИВНІЙ ГІДРОПОННІЙ NFT УСТАНОВЦІ …….. 20

3.1. Методика проведення досліджень…… 20

3.2. Продуктивність вирощування рослин базиліку залежно від концентрації та температури поживного розчину …… 25

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .. 37

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ДОВКІЛЛЯ……..... 41

5.1. Техніка безпеки при роботі в теплицях ……..... 41

5.2. Охорона довкілля в зв’язку із запропонованими агрозаходами …….. 43

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ……..….. 45

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……..….. 47

ДОДАТКИ…….…… 51

ВСТУП

Актуальність теми. Продовольча безпека в Україні та Світі залежить від багатьох факторів, насамперед від можливості споживання необхідної добової енергетичної норми та забезпечення повноцінного раціону людини продуктами харчування. Загострення продовольчої кризи на тлі війни в Україні, лише посилює питання продовольчої безпеки.

В умовах ризикованого землеробства, притаманному останнім часом північній та центральній частині України, вирощування вимогливих до вологи овочевих культур є достатньо проблематичною задачею. Схожі проблеми притаманні також південним районам Європи, де в зв'язку із зміною кліматичних умов, фермери стикаються з проблемами в сільськогосподарському виробництві, а вертикальне сільське господарство відкриває можливості для вирішення проблеми нестачі землі.

В зонах ризикованого землеробства овочеві культури вирощуються в основному із використанням різних способів зрошення. Використання краплинного зрошення, ін'єкційного зрошення та елементів гідропоніки є головною складовою виконання технологічного процесу вирощування овочевих культур.

Крім того, збільшення міського населення та значної міграції його до великих міст, створює передумови вирощування овочевих культур в тепличних господарствах, які використовуватимуть гідропонні технології.

Нами проведено дослідження із вдосконалення технології вирощування рослин базиліку у портативній гідропонній NFT установці шляхом встановлення впливу чинників (концентрації ЕМ 5 при передпосівній обробці; температури повітря та поживного розчину; концентрації поживного розчину), отримання раціональних параметрів вдосконаленої портативної гідропонної NFT установки для забезпечення максимальної ефективності росту і розвитку рослин.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема магістерської роботи є складовою частиною наукових досліджень керівника.

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень – вивчити вплив елементів технології вирощування базиліку в гідропонних установках на їх продуктивність.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

– визначити вплив концентрації розчину ЕМ 5 при передпосівній обробці насіння базиліку, температуру повітря та поживного розчину, концентрацію поживного розчину на висоту рослин базиліку;

– дослідити час настання фази «Бебі лист» рослин базиліку;

– визначити вплив досліджуваних факторів на масу зелені рослин базиліку;

– дослідити вплив досліджуваних факторів на кількість листків;

– дати економічну оцінку результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів. Встановлено, що додавання мікробного препарату ЕМ 5 при передпосівній обробці насіння надає надійний старт насінню, а збільшення концентрації поживного розчину надає рослинам додаткового постійного живлення та покращує їх ростові характеристики. Також, оптимізація температурного режиму повітря та поживного розчину сприяє збільшенню продуктивності.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень можуть бути використанні в господарствах АПК, які займаються вирощуванням базиліку та інших культур в гідропонних установках.

Особистий внесок здобувача. Автор роботи приймав особисту активну участь в закладці досліду, проведенні обліку та спостереження та проведені лабораторних аналізів.

Публікації. Основні положення роботи викладено у матеріалах VI міжнародній конференції «Інновації: теорія і практика», 3 листопада – 5 грудня 2025 р., Академія Прикладних Наук м. Кропивницький.

РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР В ГІДРОПОННИХ УСТАНОВКАХ (огляд літератури)

1.1. Оцінка технологічних рішень гідропонних установок для вирощування овочевих культур

Гідропоніка – це прорив у сільськогосподарському виробництві, тому що вирощування рослин відбувається у поживному розчині воді, замість ґрунту. Гідропоніка має такі переваги, як отримання високої врожайності, ощадливе використання води та пристосованість до складних ґрунтових умов. Різні системи, такі як Nutrient Film Technique (NFT), Deep Water Culture (DWC), аеропоніка та вертикальне землеробство мають змогу вирощувати рослини, доставляючи поживні речовини та кисень безпосередньо до їх коріння [1, 2]

Крім того, перевагою гідропонних систем перед традиційним землеробством є їх урбаністична привабливість [3, 4]. Тому гідропонне землеробство із використанням смарт-технологій мають тенденцію до сталого розвитку сільського господарства, маючи при цьому низькі витрати на обслуговування та достатньо високу врожайність, що має неабиякий економічний ефект та є привабливим для приміських фермерських господарств та, навіть, для міських умов [5, 6].

Існують різні типи гідропонних систем, які мають особливості в залежності від вирощуваної культури, наявності достатньої площі для установок, складності використовуваного обладнання та загальних економічних витрат [7, 8]. До основних видів гідропонних систем слід віднести (табл. 1.1):

- Ґнотова (фитильна);
- Deep Water Culture (DWC);
- Періодичного затоплення;
- Nutrient Film Technique (NFT);
- Аеропоніка.

Ґнотова (фитильна) система – один із найдоступніших, оскільки не потрібує спеціального обладнання. Ґніт або шнур пропускають через дно горщика та занурюють у поживний розчин, який поступово надходить до кореневої системи рослин.

В системі DWC рослини розміщуються на плавучих матеріалах, таких як пінопласт або спеціальні плавучі сітки, коріння при цьому повністю занурені в поживний розчин. Кисень доставляється за допомогою повітряного насоса.

Метод періодичного затоплення передбачає використання приливно-відливної системи. У цій системі поживний розчин заливається у певний час, за таймером. Коли його подача припиняється, він під дією сили тяжіння зливається назад до резервуару через спеціальні отвори. Процес повторюється кілька разів на день.

В системі NFT рослини знаходяться в ємності з іригаційним каналом. Стікаючи по каналу тонким шаром, поживний розчин омиває коріння та повертається до резервуару. Розподіл розчину може здійснюватися циклічно чи безперервно. Циклічна подача забезпечує кращу аерацію коріння [9].

При використанні аеропоніки рослини вирощуються в повітряному середовищі, де їх коріння огортається туманом поживного розчину. Система забезпечує високу доступність кисню для коріння, таким чином вони краще поглинають поживні речовини, що прискорює зростання рослин [10].

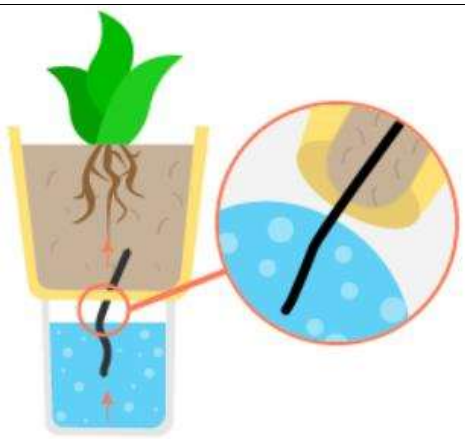
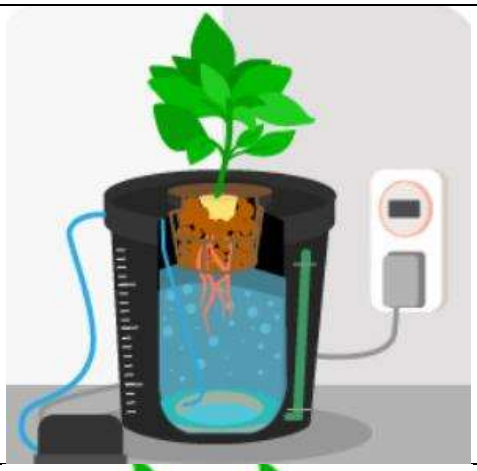
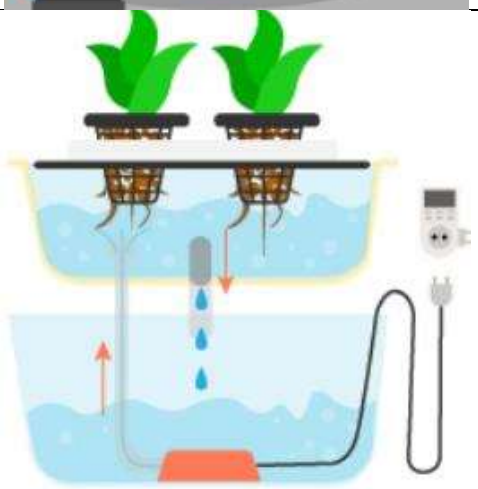
Проаналізуємо переваги та недоліки кожної системи (табл. 1.1).

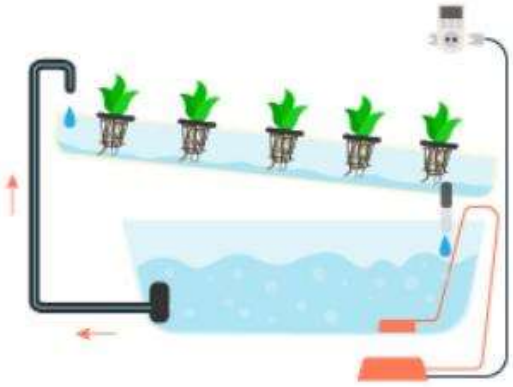
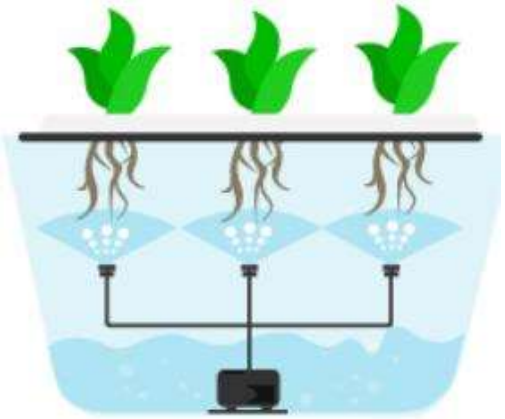
Як бачимо, всі системи використовуються в залежності від рослин, що вирощуються. Тому для обрання тієї чи іншої системи, необхідно чітко уявляти яке обладнання необхідне для безґрунтового вирощування тих чи інших рослин.

Однак, для вирощування в обмеженому просторі якнайкраще підходить гідропонна установка NFT. Крім того, економне споживання води в даній системі, є на сьогоднішній день, великою перевагою, так як в цій системі відбувається рециркуляція рідини. Крім того, постійний потік також на дає накопичуватись солям на корінні рослин.

Таблиця 1.1.

Переваги та недоліки існуючих гідропонних систем

Назва системи	Загальний вигляд системи	Переваги	Недоліки
1	*2*	*3*	*4*
Гнотова (фитильна) система		Простота використання, мінімальні фінансові витрати, надійність, підходить для вирощування невеликих рослин з низьким споживанням води	Нестача кисню, уповільнений розвиток рослин, через пасивну подачу поживних речовин
Deep Water Culture (DWS)		Простота використання, мінімальні фінансові витрати, пришвидшений розвиток рослин, підходить для вирощування великих і швидкорослих рослин	При поганому очищенні можливі захворювання кореневої системи: цвіль та загнивання кореневої шийки
Система періодичного затоплення		Простота використання, повністю автоматизована система, що не вимагає використання дорогого обладнання, добре насичення поживними речовинами, частина яких затримується в субстраті	Вимкнення електроенергії унеможливлює роботу установки

1	*2*	*3*	*4*
Nutrient Film Technique (NFT)		Не використовується субстрат, це зменшує загальні витрати на нього при вирощуванні культур. Забезпечує постійне зволоження та аерацію коренів, що сприяє швидкому росту рослин	Пошкодження насосу або вимкнення електроенергії повністю унеможливлює роботу системи, коріння швидко висихає
Аеропоніка		Збагачення коріння рослин киснем, водою та поживними речовинами, що є рушійною силою пришвидшеного темпу росту рослин	Робота таймера, що регулює подачу води потребує уваги. Для розсіювання поживної речовини використовуються форсунки які частого засмічуються

Саме вертикальні гідропонні системи ефективно використовують простір та ощадливо використовують воду, що є перспективним напрямом для сталого розвитку сільського господарства в умовах кліматичних змін для тих країн, які знаходяться в зонах ризикованого землеробства [11-13].

Метою роботи є вибір оптимальних елементів технології вирощування рослин в портативній компактній та простій в обслуговуванні гідропонній NFT установці, в якій забезпечувалась би висока якість продукції і врожайність рослин за рахунок використання фітоматриць із випромінювальними елементами та використанням поживного розчину на основі біопрепаратів.

1.2. Стан та перспективи вирощування овочевих культур в гідропонних установках

В зв’язку із змінами кліматичних умов на в Україні та Світі, деградацією родючих земель України, а також через недостатню кількість опадів та надмірне використання пестицидів, гербіцидів і інсектицидів, моновирощування сільськогосподарських культур, споживання продукції рослинного походження значно ускладнилось.

Так, ще у 1100 році індійські племена Південної Америки і Мексики застосовували плоти, де переплетені стебла очерету і кукурудзи створювали плавучі «острівці» на озерах. Вмістом їх був багатий поживними речовинами мул із дна річок [7, 14]

У 1699 році Джон Вудвард провів перший експеримент, який доводив, що рослини отримують живлення з ґрунту за допомогою рідини. Вирощування рослин, які отримували поживні елементи за допомогою води із ґгрунту, який він додавав до води, було значно кращім ніж без додавання. Тобто мінерали та інші поживні речовини створювали поживний розчин для кращого росту і розвитку [7, 15].

Подальші досліді із додавання різних поживних речовин та елементів освітлення лише підтверджувало розвиток гідропоніки. Однак, саме зараз гідропоніка набула потужного розвитку в зв’язку із гострою продовольчою проблемою, змінами кліматичних умов та певними політичними питаннями [16].

Так, наприклад, в гідропонні ферми в Ізраїлі активно розвиваються як високотехнологічна галузь сільського господарства, спрямована на забезпечення продовольчої безпеки в умовах обмежених водних та земельних ресурсів. Це дозволяє ефективно використовувати воду та поживні речовини, що особливо важливо для посушливого клімату цієї країні, яка задає моду в даному питанні.

При вирощуванні рослин без ґрунту використовуються різні субстрати, агроперліти, вермікуліти, мінеральну вату [14]. При їх виборі слід враховувати, що при тривалій експлуатації субстрати піддаються фізико-хімічним змінам під дією як живильного розчину, а й кореневих виділень і різних мікроорганізмів.

Субстратом для гідропоніки можуть бути гранітний щебінь, подрібнений керамзит, спучений вермикуліт, перліт, кам'яновугільний шлак, поліхлорвініловий субстрат. Іноді застосовують органічні субстрати: мох, тирсу, торф [14,].

В природно-кліматичних умовах Північного Степу України, останнім часом, лімітуючим фактором сільськогосподарського виробництва є волога. Недостатня кількість опадів викликає необхідність застосування зрошувальних систем та заходів, що, у свою чергу, зумовлює великі економічні та енергетичні витрати. Особливо це стосується вирощування овочевих культур, які потребують більшу кількість вологи, ніж, наприклад, зернові чи технічні культури [17, 18].

На сьогоднішній день, вирощування овочевих культур у гідропонних установках – це одна з найбільш перспективних технологій сучасного сільського господарства. Технологія широко розвивається у світі й поступово набирає обертів в Україні [9].

Гідропоніка широко застосовується у Нідерландах, Ізраїлі, США, Японії та країнах Близького Сходу, де є обмеження з ґрунтами або водними ресурсами.

Найчастіше вирощуються томати, огірки, салати, перець, зелень (базилік, шпинат, рукола).

В умовах нашої країни, гідропоніка використовується переважно у тепличних господарствах (виробництво томатів, огірків, зелені) [20]. Крім того, останнім часом з’явились стартапи, які запускають вертикальні ферми у великих містах (Київ, Львів, Харків, Дніпро) [9, 20].

Сегмент «мікрозелені» активно розвивається завдяки відносно низьким стартовим витратам. Однак, є певні обмеження у розвитку, такі як: висока вартість обладнання (субстрати, системи подачі живильних розчинів, клімат-контроль). Крім того, просування даної технології обмежується недостатньою кількістю спеціалістів із гідропоніки в Україні. В умовах військових дій, певною перепоною є енергозалежність (особливо для зимового періоду).

Однак не дивлячись на перелічені перепони у розвитку технології, є і перспективи:

– зростання попиту на екологічні та локальні продукти. Споживачі все більше цінують якісні овочі без залишків пестицидів;

– вертикальні ферми у містах, що дають можливість розміщення у торгових центрах, ресторанах, навіть у підвалах або контейнерах;

– зменшення логістичних витрат і залежності від сезонності [21, 22].

Крім того, ця галузь може стати новим сегментом експортного потенціалу України. Вирощені в Україні овочі можуть конкурувати на ринках ЄС, особливо у зимовий період [4, 23].

Також, використання гідропоніки в поєднанні із відновлюваними джерелами енергії зменшить собівартість продукції.

Найперспективнішими культурами для випрошування у гідропонних системах в Україні є:

– салати;

– мікрозелень;

– томати та огірки преміум-сегменту;

– перець, полуниця, суниця ремонтантна [24, 25].

Тому, гідропоніка в Україні наразі перебуває на стадії активного становлення. Для виробників вони є тим шансом диверсифікувати бізнес і вийти на ринок преміум-продукції, а для міст – це спосіб забезпечити свіжі овочі незалежно від сезону.

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Організаційно-економічні умови місця проведення досліджень

Досліди проводились протягом 2024-2025 років в умовах наукової лабораторії «Гідропонного вирощування овочів в купольній теплиці» кафедри загального землеробства Центральноукраїнського національного технічного університету, що знадиться в місті Кропивницький Кіровоградської області (рис. 2.1).

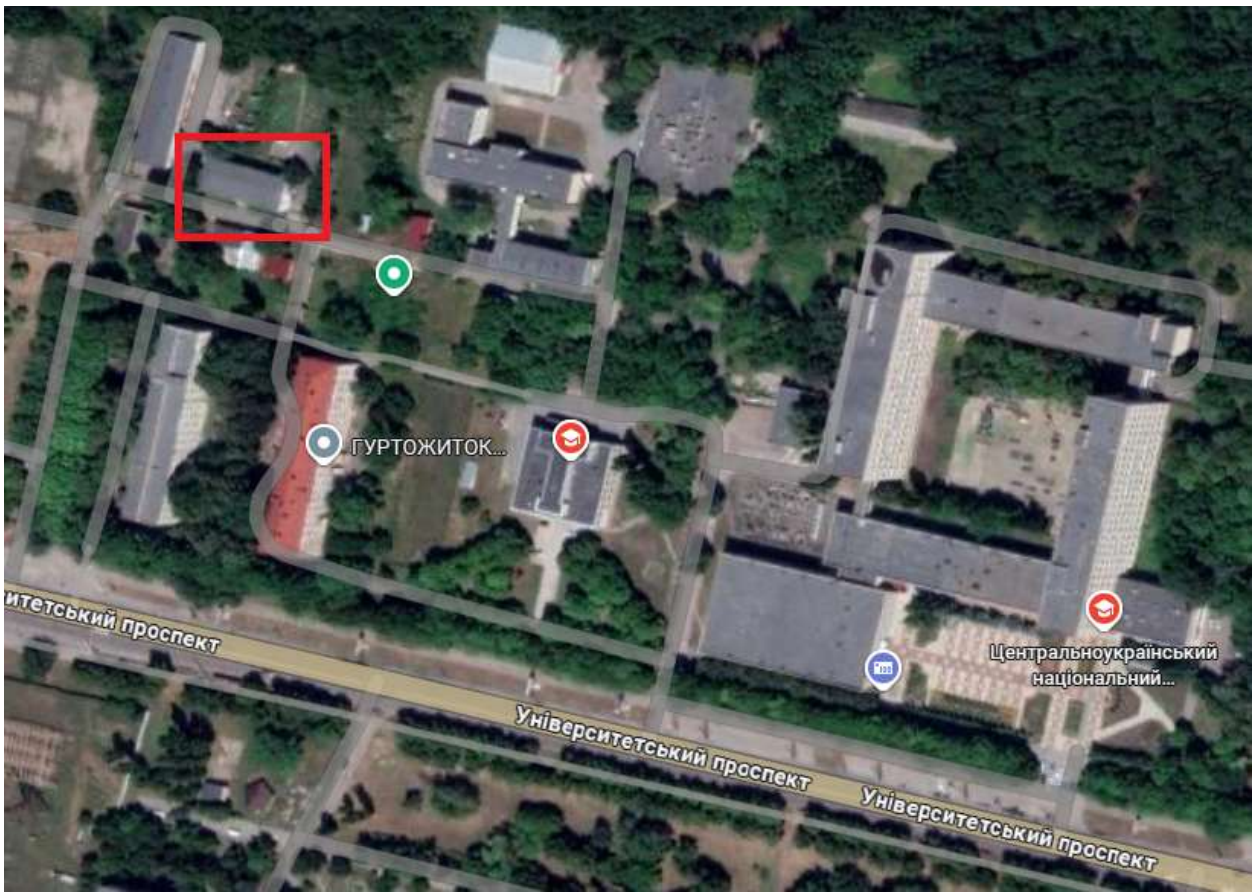


Рис. 2.1. Загальний вигляд розташування кафедри загального землеробства ЦНТУ

Кафедра загального землеробства ЦНТУ розташована в окремій будівлі на території університету, біля якої розташовано вегетаційний комплекс, помологічний сад та дослідне поле.

На території вегетаційного комплексу розташована купольна теплиця, яка має площу 36 м^2 (2.2).

Рис. 2.2. Загальний вигляд купольної теплиці кафедри загального землеробства ЦНТУ

Купольна (геодезична) теплиця – це споруда у формі багатогранника з каркасом з коротких дерев’яних стрижнів, які утворюють міцну просторову структуру. Завдяки своїй формі купольна теплиця достатньо добре витримує вітрові навантаження, а її простора площа всередині дозволяє достатньо комфортно працювати.

2.2. Ґрунтово-кліматичні умови проведення досліджень та їх значення у формуванні врожайності базиліку

Згідно з ґрунтово-географічним районуванням України, територія кафедри загального землеробства ЦНТУ належить до міста Кропивницького, Кіровоградської області та розташована в зоні Північного Степу.

Ґрунти вегетаційного комплексу кафедри загального землеробства ЦНТУ належать до чорноземів звичайних. Ґрунтовий покрив у північно степовому районі має гарні фізичні та фізико-механічні властивості. Ці ґрунти мають високу потенційну родючість.

Агрохімічна характеристика ґрунту вегетаційного комплексу представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Агрохімічна характеристика ґрунтів дослідного поля

Тип ґрунту	Горизонт ґрунту, см	Вміст гумусу, %	Вміст рухомих форм, мг/100 г ґрунту			Щільність ґрунту, г/см^3	pH
			N	P_2O^5	K_2O		
Чорнозем	0-40	3,6	2,5	11,9	10,0	1,0-1,1	6-7
	середня в сівозміні	3-5	2,4	10,3	9,6	1,1	6,9

Водно-фізичні та фізико-хімічні властивості ґрунтів вегетаційного комплексу кафедри є характерними для чорноземних ґрунтів Північного Степу України.

Кліматичні умови території вегетаційного комплексу кафедри загального землеробства характеризуються помірно-континентальним жарким літом та помірно-холодною зимою. В зв’язку із змінами клімату, територія Кіровоградської області все частіше не має взимку низьких температур.

Середня температура притаманна для січня -5,7°С, для липня +19,0°С. А середньорічна кількість опадів дорівнює 633 мм. Кіровоградська область розташована в умовах сухого і достатньо теплого клімату. Температурні

показники за 2024-2025 роки та кількість опадів за цей період наведено в табл. 2.2 та 2.3.

Для території Кіровоградської області притаманні навесні (квітень-травень) повернення прохолодної погоди, навіть заморозків. Влітку в цьому регіоні переважає погода, що формується Азорським антициклоном та має значну кількість ясних сонячних днів. Останніми роками, це спричиняє суховії. Жарке літо продовжується майже до кінця серпня, потім температура поступово спадає. Вересень, зазвичай, є достатньо теплим. Наприкінці жовтня – на початку листопада посилюється діяльність південно-західних циклонів та збільшується кількість опадів.

Таблиця 2.2.

Метеорологічні умови у 2024 році

(за даними метеостанції м. Кропивницький)

Місяць	Кількість опадів, мм			Температура повітря, °С		
	середня добова	середня багато-річна	відхилення від середньої багаторічної	середня добова	середня багато-річна	відхилення від середньої багаторічної
Січень	46,3	47,0	-0,7	-1,6	-5,7	4,1
Лютий	24,3	44,0	-19,7	3,5	-4,2	7,7
Березень	53,7	39,0	14,7	4,7	0,4	4,3
Квітень	52,1	48,0	4,1	14,4	8,5	5,9
Травень	5,8	55,0	-49,2	16,2	14,6	1,6
Червень	17,2	87,0	-69,8	22,7	17,6	5,1
Липень	3,1	87,0	-83,9	26,1	19,0	7,1
Серпень	12,0	59,0	-47,0	24,3	18,2	6,1
Вересень	8,3	43,0	-34,7	20,9	13,6	7,3
Жовтень	96,7	33,0	63,7	11,9	7,6	4,3
Листопад	30,7	43,0	-12,3	3,2	2,1	1,1
Грудень	39,8	48,0	-8,2	0,8	-2,4	3,2
За рік	390,0	633,0	-243,0	12,3	7,4	4,8

2024 рік за температурним режимом не схожим на середні багаторічні показники. Характерним для цього року став дефіцит вологи влітку. Середня добова температура повітря становила 12,3°С, що на 4,8°С більше середньо-

багаторічні значення цього показника. Дуже посушливе літо із збільшеною середньою температурою мало негативний вплив на ріст та розвиток рослин цьогоріч.

Слід зазначити, що в 2024 році у травні-серпні випало всього 38,1 мм опадів, що дуже негативно сказалось на формуванні врожаю. В цілому за рік випало 390 мм опадів, що на 243 мм менше за середньо-багаторічні значення.

Таблиця 2.5.

Метеорологічні умови у 2025 році
(за даними метеостанції м. Кропивницький)

Місяць	Кількість опадів, мм			Температура повітря, °С		
	середня добова	середня багато-річна	відхилення від середньої багаторічної	середня добова	середня багато-річна	відхилення від середньої багаторічної
Січень	9,9	47,0	-37,1	2,5	-5,7	8,2
Лютий	25,7	44,0	-18,3	-4,4	-4,2	-0,2
Березень	17,9	39,0	-21,1	7,3	0,4	6,9
Квітень	29,4	48,0	-18,6	11,0	8,5	2,5
Травень	82,2	55,0	27,2	14,6	14,6	0,0
Червень	19,9	87,0	-67,1	20,2	17,6	2,6
Липень	31,3	87,0	-55,7	24,4	19,0	5,4
Серпень	18,9	59,0	-40,1	21,4	18,2	3,2
Вересень	24,5	43,0	-18,5	16,7	13,6	3,1
Жовтень	77,7	33,0	44,7	9,3	7,6	1,7
За рік	337,4	633,0	-204,6	12,3	7,4	3,3

2023 рік за температурним режимом був доволі схожим до середніх багаторічних показників, а найголовніше, він був менш посушливим за попередній рік.

Середня добова температура повітря складає 12,3°С, що на 3,3°С перевищує середньо-багаторічне значення показника. Однак, слід врахувати, що це показники за 10 місяців року.

Слід зазначити, що в 2025 році у травні-серпні випало 152,3 мм опадів, що більше ніж у 2024 році. В цілому за цей рік випало вже 333,7 мм опадів.

Таким чином, ґрунтово-кліматичні умови вегетаційного комплексу є достатньо сприятливими для вирощування більшості сільськогосподарських культур.

РОЗДІЛ 3. ПОДУКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН БАЗИЛІКУ В ПОРТАТИВНІЙ ГІДРОПОННІЙ NFT УСТАНОВЦІ

3.1. Методика проведення досліджень

Дослідження із впливу поживного розчину, освітлення та температурного режиму на продуктивність рослин базиліку проводились протягом 2024-2025 років в умовах наукової лабораторії «Гідропонного вирощування овочів в купольній теплиці» кафедри загального землеробства Центральноукраїнського національного технічного університету, що знадиться в місті Кропивницький Кіровоградської області.

З метою підвищення ефективності вирощування овочевих та ягідних культур в лабораторії «Гідропонного вирощування овочів в купольній теплиці» кафедри загального землеробства ЦНТУ розроблено дослідну портативну гідропонну NFT установку для вирощування овочевих та ягідних культур із використанням фітоматриць [9].

Портативна вертикальна гідропонна установка побудована за принципом NFT. Установка складається із вертикальної конструкції у формі колони, яка забезпечує компактність та дозволяє розміщувати задану кількість рослин у обмеженому просторі (рис. 3.1, рис. 3.2).

Гідропонна колона 8 представляє собою трубу, всередині якої розташовано трубопровід подачі 7 поживного розчину, що подається із резервуару 9, до якого за допомогою насосної системи та водяної помпи 11 до верхньої частини колони подається поживний розчин. Всередині резервуару знаходиться датчик мінімального рівня наповнення резервуару поживним розчином 10.

В верхній частині колони 8 знаходиться повітряний клапан 1, вузол розподілу поживного розчину 2 та вузол кріплення фітоматриць 3 із випромінювальними елементами, під якими знаходиться вузол подачі поживного розчину 4, до якого прикріплено фітоматриці 5, які розширюються донизу. На рівних відстанях по периметру колони зроблено отвори під гідропонні кошики 6, до яких подається поживний розчин.

Конструкція гідропонної установки кріпиться до роликової системи 12, що надає можливість переміщувати її за потреби.

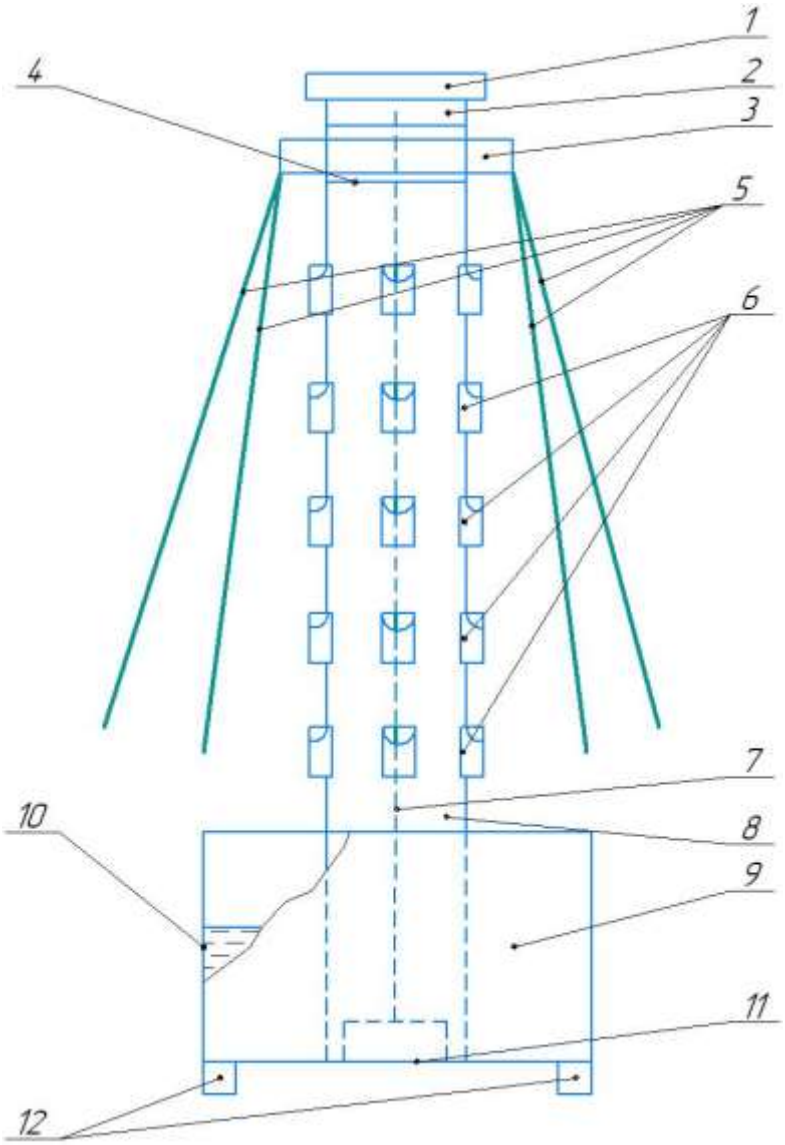


Рис. 3. 1. Схема портативної гідропонної NFT установки:

1 – повітряний клапан; 2 – вузол розподілу поживного розчину; 3 – вузол кріплення фітоматриць; 4 – вузол подачі поживного розчину; 5 – фітоматриці із випромінювальними елементами; 6 – гідропонні кошики; 7 – трубопровід подачі поживного розчину; 8 – вертикальна гідропонна колона; 9 – резервуар; 10 - датчик мінімального рівня поживного розчину у резервуару; 11 – насосна система із водяною помпою; 12 – роликова система.

Поживний розчин із резервуара 9 за допомогою насосної системи і водяної помпи 11 подається трубопроводами подачі поживного розчину 7 до гідропонних кошиків 6, де рослини отримують поживний розчин тонким шаром. В гідропонній установці для додаткового освітлення використано фітоматриці 5

із випромінювальними елементами червоних та синіх світлодіодів у співвідношенні 4:1. Це надає можливість використання червоного світла із довжиною хвилі від 650 до 700 Нм, яке є критично важливим для фотосинтезу, оскільки стимулює процеси росту, цвітіння та формування плодів та синього світла із довжиною хвилі від 400 до 500 Нм, яке є важливим на ранніх стадіях розвитку рослин для формування міцної кореневої системи, укріплення стебла та розвитку листя. Висока частка червоного світла сприяє прискоренню фотосинтезу та підвищенню врожайності, тоді як синє світло забезпечує якісний розвиток структурних частин рослини, що в такому поєднанні підходить для вирощування різних видів культур, такі як: овочі, зелень та інші.

Рис. 3.2. Загальний вигляд портативної гідропонної NFT установки

В якості експериментального матеріалу використовували насіння базиліку (Ocimum basilicum) сорту Рутан, ранній, оригінатором якого є Дослідна Станція

«Маяк» ІОБ НААН України. Тип насіннєвого матеріалу: еліта. Вегетаційний період (60-66 діб) [28].

Основні параметри дослідження включали позивний розчин, освітлення та температурний режим (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

Основні параметри дослідження

1	Поживний розчин	використовували стандартний гідропонний розчин для листових культур з концентрацією мікро- та макро-елементів у діапазоні, рекомендованому для базиліку. Для цього було використано препарат ЕМ-5, що складається з корисних мікроорганізмів, які сприяють підвищенню активності кореневої системи, покращенню фізіологічних процесів та підвищенню врожайності рослин [29]
2	Освітлення	використовували фітоматриці із випромінювальними елементами червоних та синіх світлодіодів у співвідношенні 4:1 [9, 30]
3	Температурний режим	підтримували в діапазоні 20-24°С з відносною вологістю 60-70%

Метою даної серії дослідів була реалізація матриці центрального композиційного плану 2^3, в результаті чого встановлено вплив чинників концентрації препарату ЕМ 5; температури повітря та поживного розчину; концентрації поживного розчину та отримані раціональні параметри та режими роботи гідропонної установки для забезпечення максимальної ефективності вирощування овочевих культур.

Побудовано матрицю планування експерименту (табл. 3.2) [31, 32]

Таблиця 3.2.

Матриця планування експерименту 2^3

Номер досліду	Концентрація ЕМ 5,%	Температура повітря та поживного розчину, °С	Концентрація поживного розчину, мС/см
	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

Концентрацію препарату ЕМ 5 вибрано на основі рекомендацій досліджень проведених раніше [33], відповідно до яких концентрацію препарату для обробки насіння обрано 0,0% та 2,0%.

Температуру повітря та поживного розчину вибрано на основі рекомендацій досліджень [9] та результатів попередніх досліджень [34], відповідно до яких температура повітря та температура поживного розчину вибрана 18,0°С та 26,0°С.

Концентрацію поживного розчину вибрано на основі рекомендацій досліджень [9] та результатів попередніх досліджень [33], відповідно до яких концентрацію поживного розчину обрано 0,5 мС/см та 2,5 мС/см.

Виходячи з вище приведених умов, критеріями оптимізації для процесу вирощування овочевих культур у вдосконаленій в портативній гідропонній NFT установці є:

1. Висота рослин, см;
2. Час настання фази «Бебі лист», дн.;
3. Маса зелені, г;
4. Кількість листків, шт.

3.2. Продуктивність вирощування рослин базиліку залежно від концентрації та температури поживного розчину

Метою даної серії дослідів була реалізація матриці центрального композиційного плану 2^3, в результаті чого встановлено вплив чинників (концентрації ЕМ 5; температури повітря та поживного розчину; концентрації поживного розчину), отримані раціональні параметри та режими роботи вдосконаленої портативної гідропонної NFT установки для забезпечення максимальної ефективності росту і розвитку рослин.

Отримано результати реалізації матриці планування експерименту (табл. 3.1.).

Таблиця 3.1.

Результати реалізації матриці планування експерименту 2^3

Номер досліду	Фактори			Критерії			
	Концентрація ЕМ 5, %	Температура повітря та поживного розчину, °С	Концентрація поживного розчину, мС/см	Висота рослин, см	Час настання фази «Бебі лист», дн.	Маса зелені, г	Кількість листків, шт.
	x_1	x_2	x_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	0	18	0,5	2,4	18	0,6	3
2	2	18	0,5	2,8	17	0,7	3
3	0	26	0,5	3,0	16	0,8	4
4	2	26	0,5	3,3	15	0,9	5
5	0	18	2,5	3,6	14	1,0	6
6	2	18	2,5	4,0	13	1,1	7
7	0	26	2,5	4,2	12	1,2	8
8	2	26	2,5	4,4	11	1,3	9

Для обробки експериментальних даних застосовували пакет прикладних програм *STATISTICA 12* [32], в результаті чого проведено побудову статистичної математичної моделі для Y_1 (висоти рослин), Y_2 (часу настання фази «Бебі лист»), Y_3 (маси зелені), Y_4 (кількості листків).

Отримано наступні рівняння регресії:

$$Y_1 = 3,46 + 0,16x_1 + 0,26x_2 + 0,66x_3 + 0,01x_1x_2 - 0,01x_1x_3 + 0,01x_2x_3 + 0,01x_1x_2x_3 \quad (3.1)$$

$$Y_2 = 14,5 - 0,5x_1 - 1,0x_2 - 2,0x_3 \quad (3.2)$$

$$Y_3 = 0,95 + 0,05x_1 + 0,1x_2 + 0,2x_3 \quad (3.3)$$

$$Y_4 = 5,625 + 0,375x_1 + 0,875x_2 + 1,875x_3 + 0,125x_1x_2 + 0,125x_1x_3 + 0,125x_2x_3 + 0,125x_1x_2x_3 \quad (3.4)$$

Значущість отриманих коефіцієнтів в рівняннях перевіряли за допомогою критерію Ст'юдента, табличне значення якого для рівня надійності $P_H = 0,95$ і числа степенів свободи $f = 7$ складає $t = 2,365$ [31, 32].

Після перевірки, спрощене рівняння для Y_1:

$$Y_1 = 3,46 + 0,16x_1 + 0,26x_2 + 0,66x_3 \quad (3.4)$$

Для Y_2 всі коефіцієнти значущі:

$$Y_2 = 14,5 - 0,5x_2 - 1,0x_2 - 2,0x_3 \quad (3.5)$$

Спрощене рівняння для Y_3:

$$Y_3 = 0,95 + 0,1x_2 + 0,2x_3 \quad (3.6)$$

Для Y_4 всі коефіцієнти значущі:

$$Y_4 = 5,625 + 0,375x_1 + 0,875x_2 + 1,875x_3 + 0,125x_1x_2 + 0,125x_1x_3 + 0,125x_2x_3 + 0,125x_1x_2x_3 \quad (3.7)$$

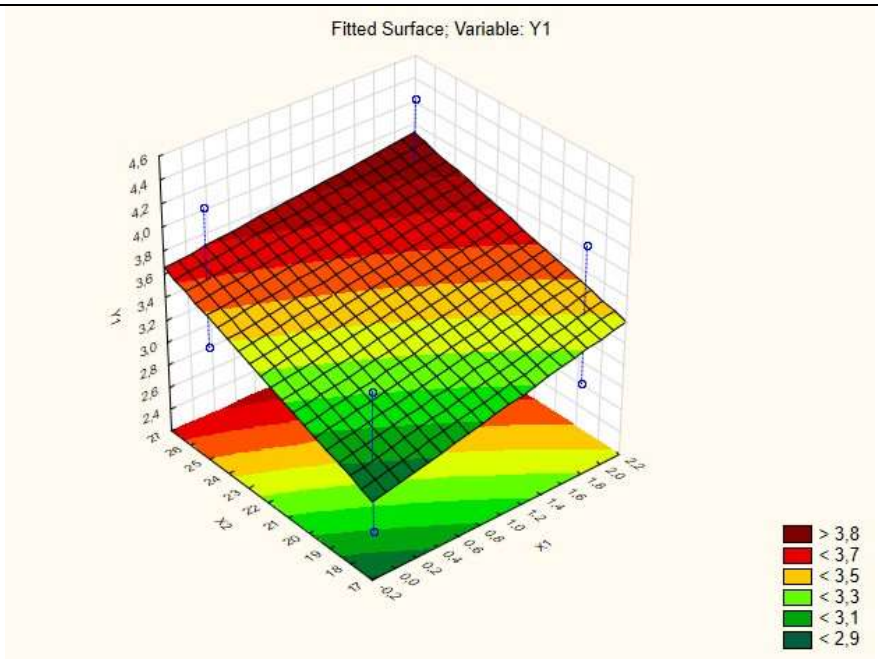
Статистична оцінка отриманих результатів дозволяє зробити висновки, що досліди коректні та відтворюванні, оскільки розрахункове значення критерію

Кохрена G^P для параметрів оптимізації Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 становить $G_1^P = 0,483$, $G_2^P = 0,488$, $G_3^P = 0,499$ $G_4^P = 0,5$ і є меншими за табличне значення $G^T = 0,516$ [32].

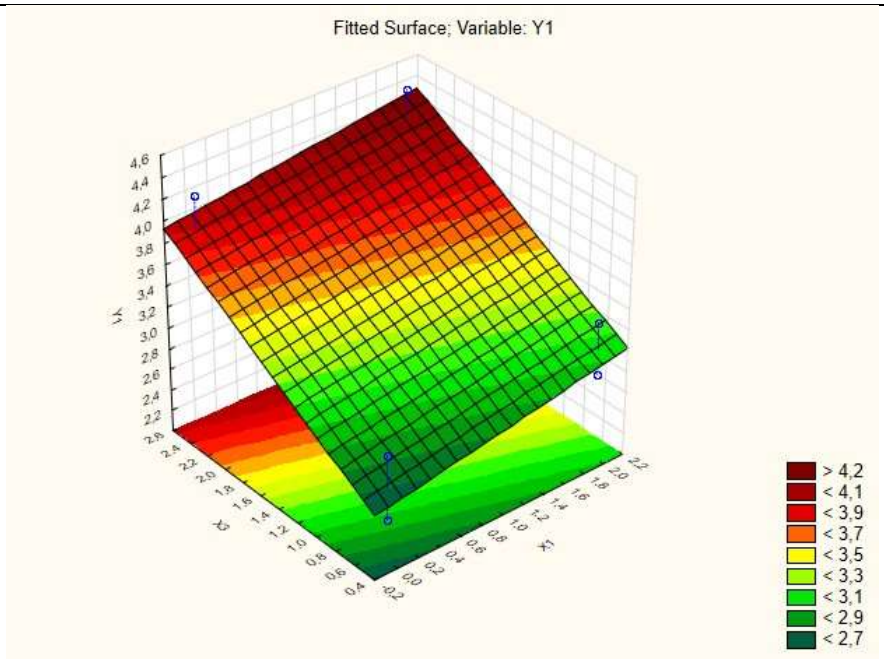
Адекватність рівнянь перевіряли за допомогою критерію Фішера, табличне значення якого для рівня надійності $P_H = 0,95$ і числа степенів свободи $f = 8$ становить $F^T = 4,15$ [32]. Розрахункове значення $F_1 = 0,54$, $F_2 = 0,0$ $F_3 = 0$ $F_1 = 1,87$ не перевищують табличне, що підтверджує адекватність усіх моделей.

Побудовано поверхні відгуку та Парето карти для висоти рослин, часу настання фази «Бебі лист», маси зелені, кількості листків (рис. 3.3-3.6 та додатки А, Б, В, Ґ).

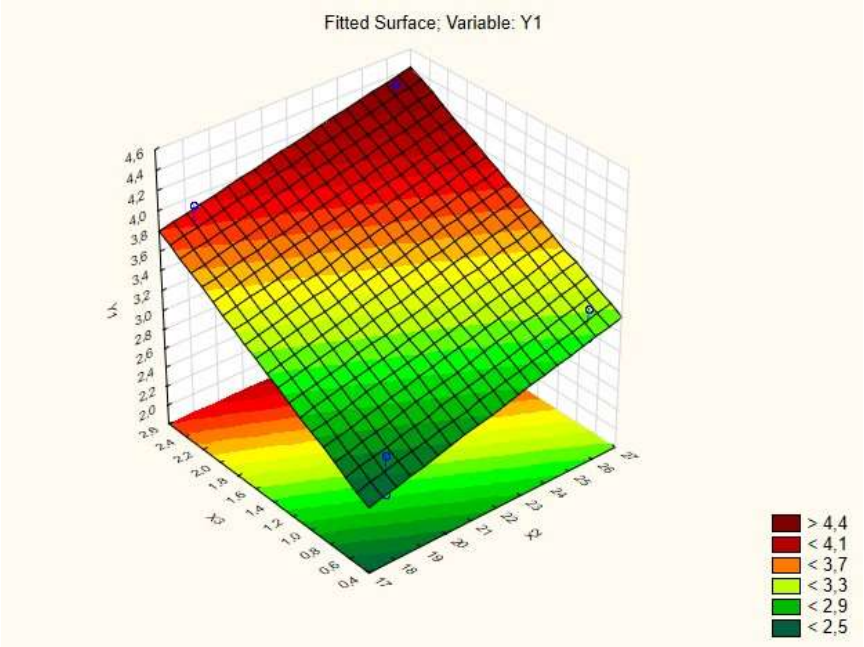
Для висоти рослин поверхня відгуку має наступний вигляд (3.3).



а



b



c

Рис. 3.3. Поверхня відгуку для висоти рослин:

a – $Y_1=f(x_1, x_2)$; b – $Y_1=f(x_1, x_3)$; c – $Y_1=f(x_2, x_3)$

Аналіз поверхонь відгуку для оптимального значення висоти рослин (3,8…4,4 см), дає можливість визначити раціональні значення досліджуваних факторів, а саме:

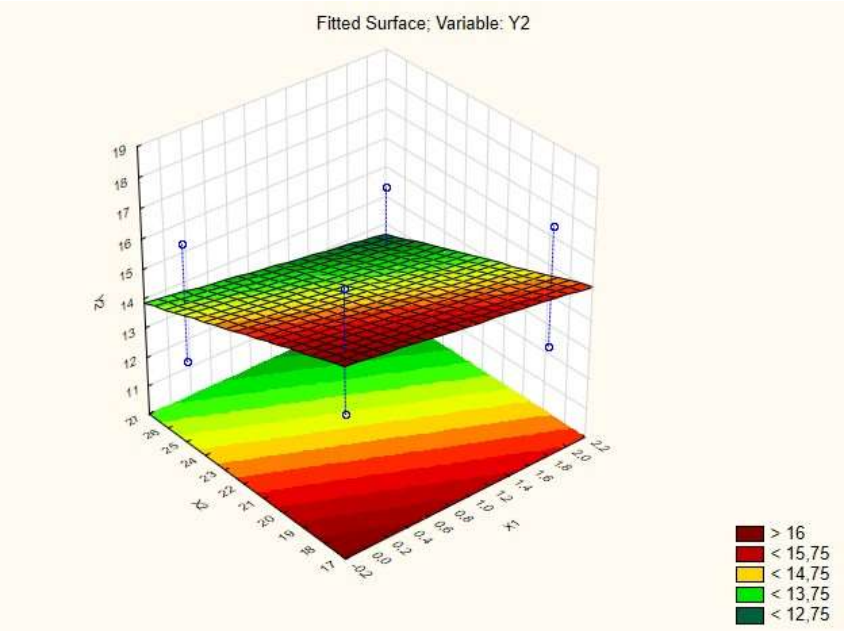
– Концентрація препарату ЕМ 5 для передпосівної обробки насіння знаходиться в межах від 1,8% до 2,0%;

– Температура повітря та поживного розчину знаходиться в межах від 24°С до 26°С;

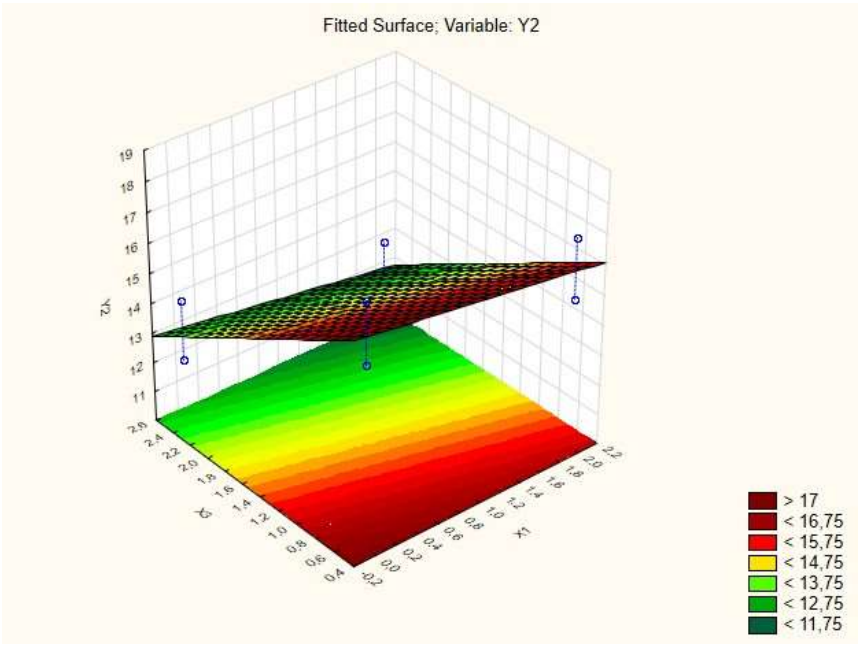
– Концентрація поживного розчину знаходиться в межах від 2,3 мС/см до 2,5 мС/см.

Аналіз Парето карти дає змогу говорити про те, що найбільший вплив на висоту рослини має концентрація розчину для обробки насіння, а також температура повітря та поживного розчину (Додаток А).

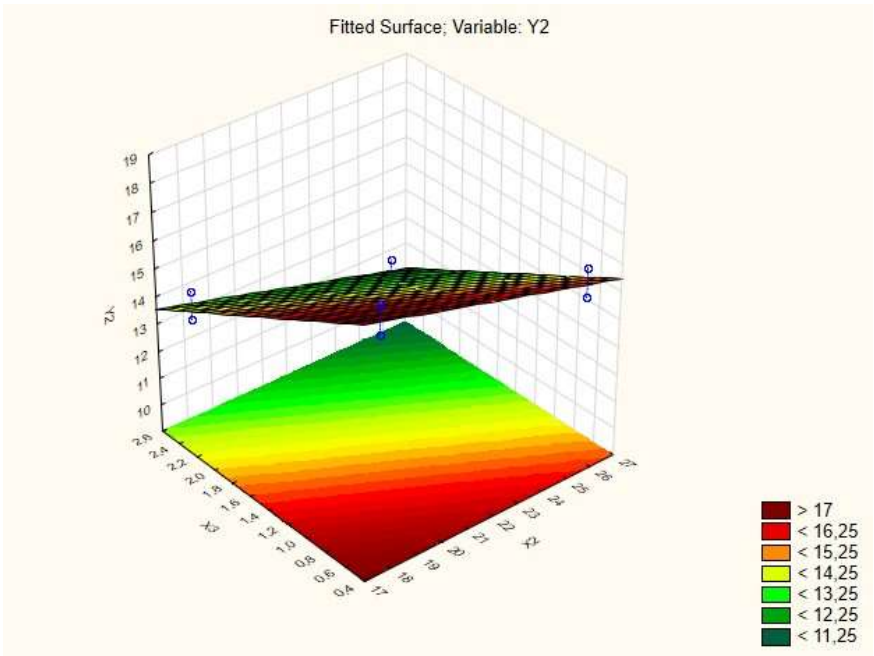
Для часу досягнення стадії «Бебі лист» поверхня відгуку виглядає наступним чином (рис. 3.4).



а



b



c

Рис. 3.4. Поверхня відгуку для часу досягнення стадії «Бебі лист»:

a – $Y_2=f(x_1, x_2)$; b – $Y_2=f(x_1, x_3)$; c – $Y_2=f(x_2, x_3)$

Аналіз поверхонь відгуку для оптимального значення часу досягнення фази «Бебі лист» (13…11 днів), дає можливість визначити раціональні значення досліджуваних факторів, а саме:

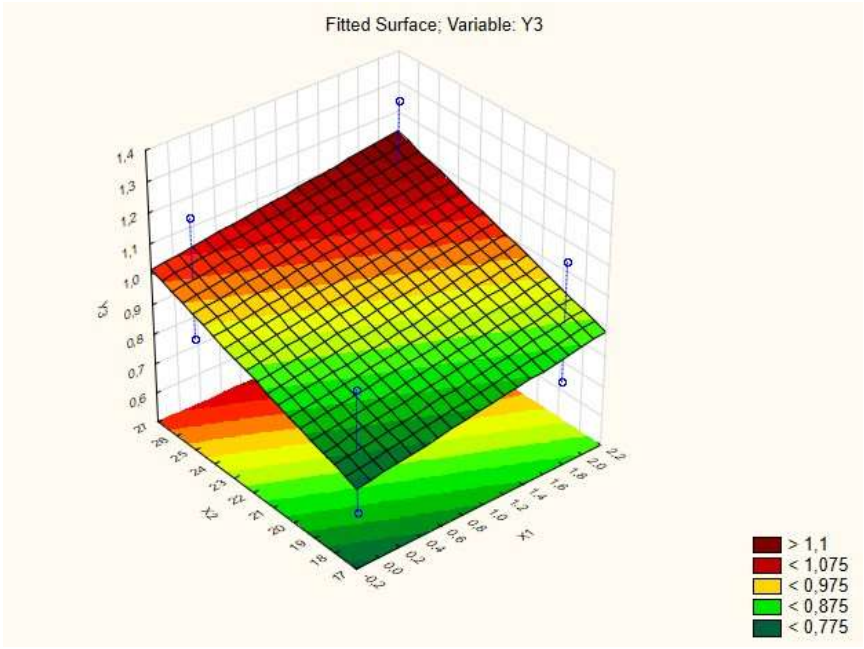
– Концентрація препарату ЕМ 5 для передпосівної обробки насіння знаходиться в межах від 1,9% до 2,1%;

– Температура повітря та поживного розчину знаходиться в межах від 24°C до 26°C;

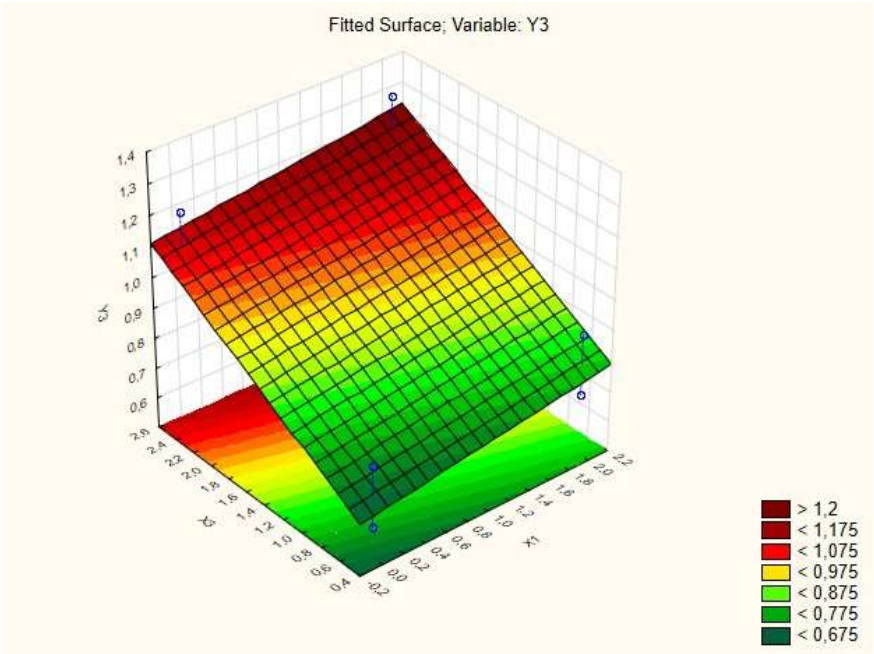
– Концентрація поживного розчину знаходиться в межах від 2,4 мС/см до 2,5 мС/см.

Всі фактори скорочують час настання фази «Бебі лист», причому найбільший вплив має взаємодія факторів.

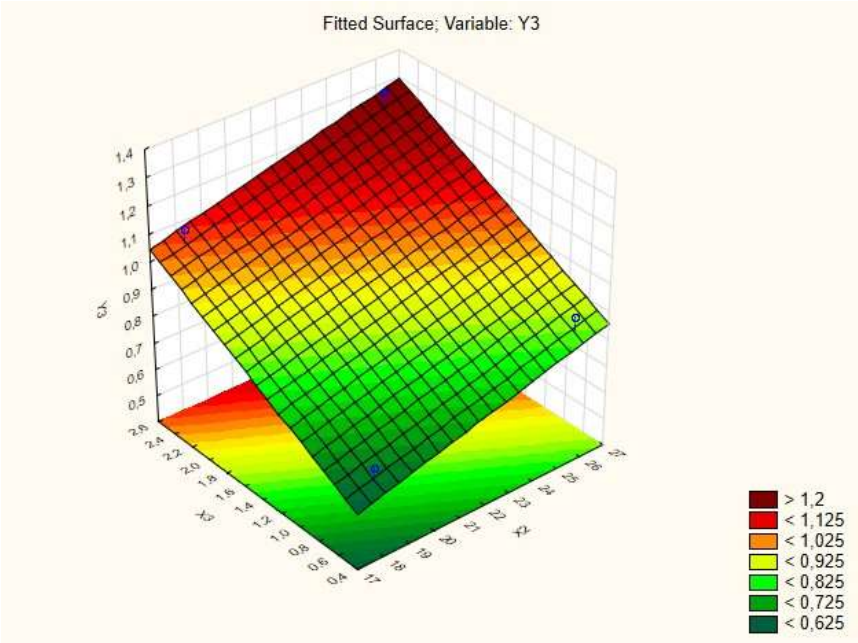
Для маси зелені поверхня відгуку має наступний вигляд (рис. 3.5).



a



b



c

Рис. 3.5. Поверхня відгуку для маси зелені:

a – $Y_3=f(x_1, x_2)$; b – $Y_3=f(x_1, x_3)$; c – $Y_3=f(x_2, x_3)$

Аналіз поверхонь відгуку для оптимального значення маси зелені (1,1…1,3 г), дає можливість визначити раціональні значення досліджуваних факторів, а саме:

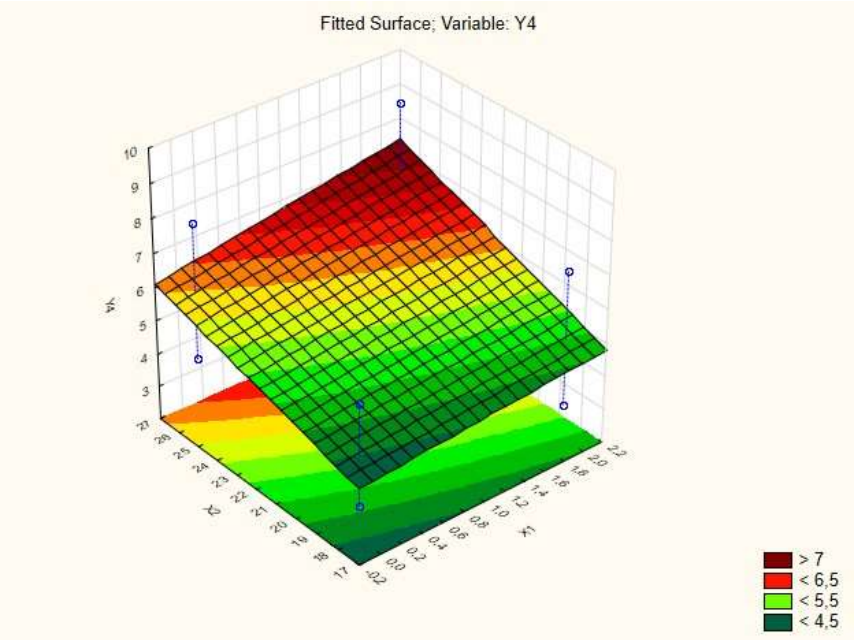
– Концентрація препарату ЕМ 5 для передпосівної обробки насіння знаходиться в межах від 1,9% до 2,1%;

– Температура повітря та поживного розчину знаходиться в межах від 25°С до 27°С;

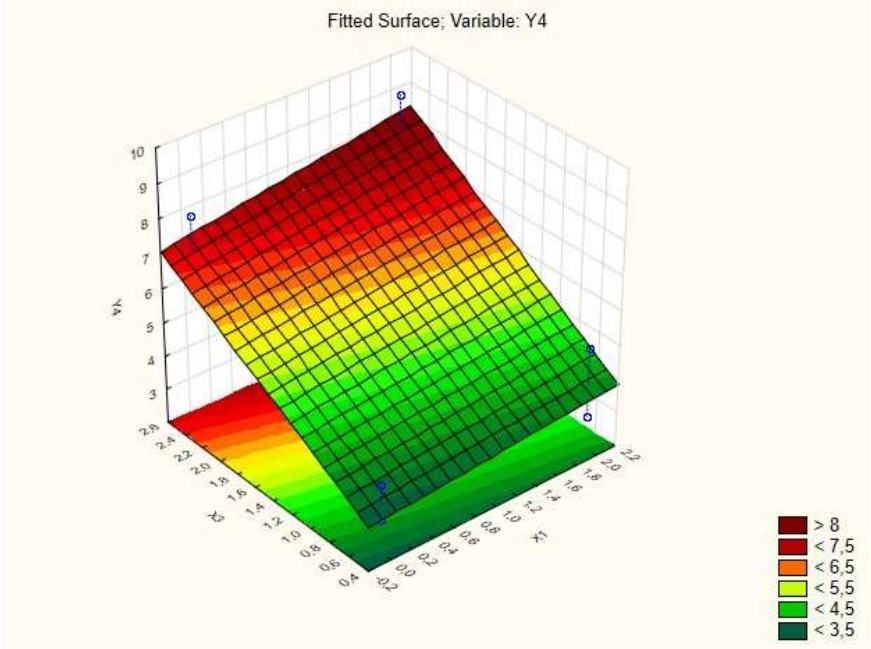
– Концентрація поживного розчину знаходиться в межах від 2,4 мС/см до 2,5 мС/см.

На масу зелені має вплив взаємодія факторів.

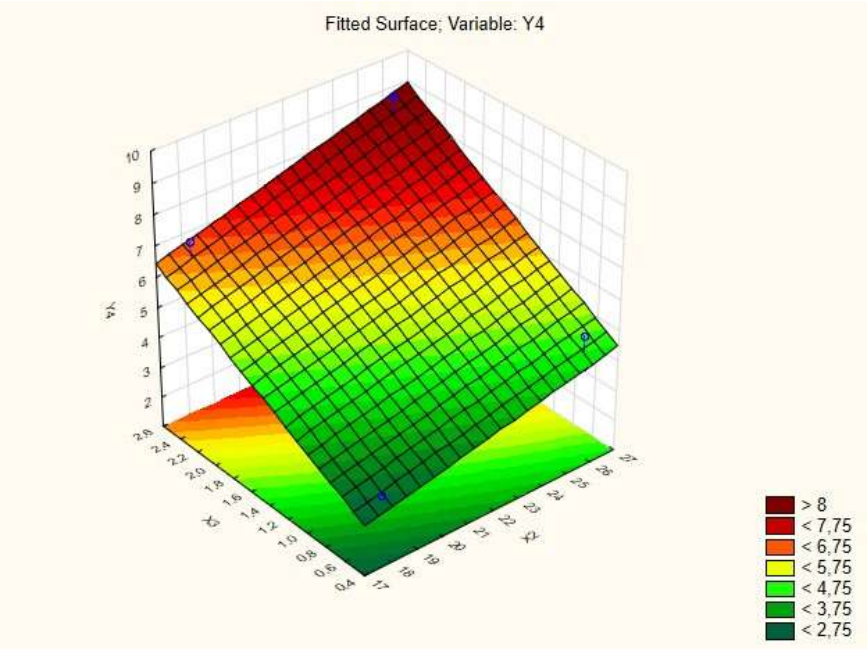
Для показника кількості листків поверхня відгуку має наступний вигляд (рис. 3.6).


Fitted Surface; Variable: Y4
> 7
< 6,5
< 5,5
< 4,5

a


Fitted Surface; Variable: Y4
> 8
< 7,5
< 6,5
< 5,5
< 4,5
< 3,5

b



c

Рис. 3.6. Поверхня відгуку для показника кількості листків:

a – $Y_4=f(x_1, x_2)$; b – $Y_4=f(x_1, x_3)$; c – $Y_4=f(x_2, x_3)$

Аналіз поверхонь відгуку для оптимального значення кількості листків, дає можливість визначити раціональні значення досліджуваних факторів, а саме:

– Концентрація препарату ЕМ 5 для передпосівної обробки насіння знаходиться в межах від 1,9% до 2,1%;

– Температура повітря та поживного розчину знаходиться в межах від 25°С до 27°С;

– Концентрація поживного розчину знаходиться в межах від 2,4 мС/см до 2,5 мС/см.

На кількість листків найбільший вплив має концентрація поживного розчину, що підтверджується Парето картою (Додаток Б).

Побудовано графіки розсіювання із гістограмами, що характеризують вплив факторів на висоту рослин, час настання фази «Бебі лист», масу зелені, кількість листків (рис. 3.7).

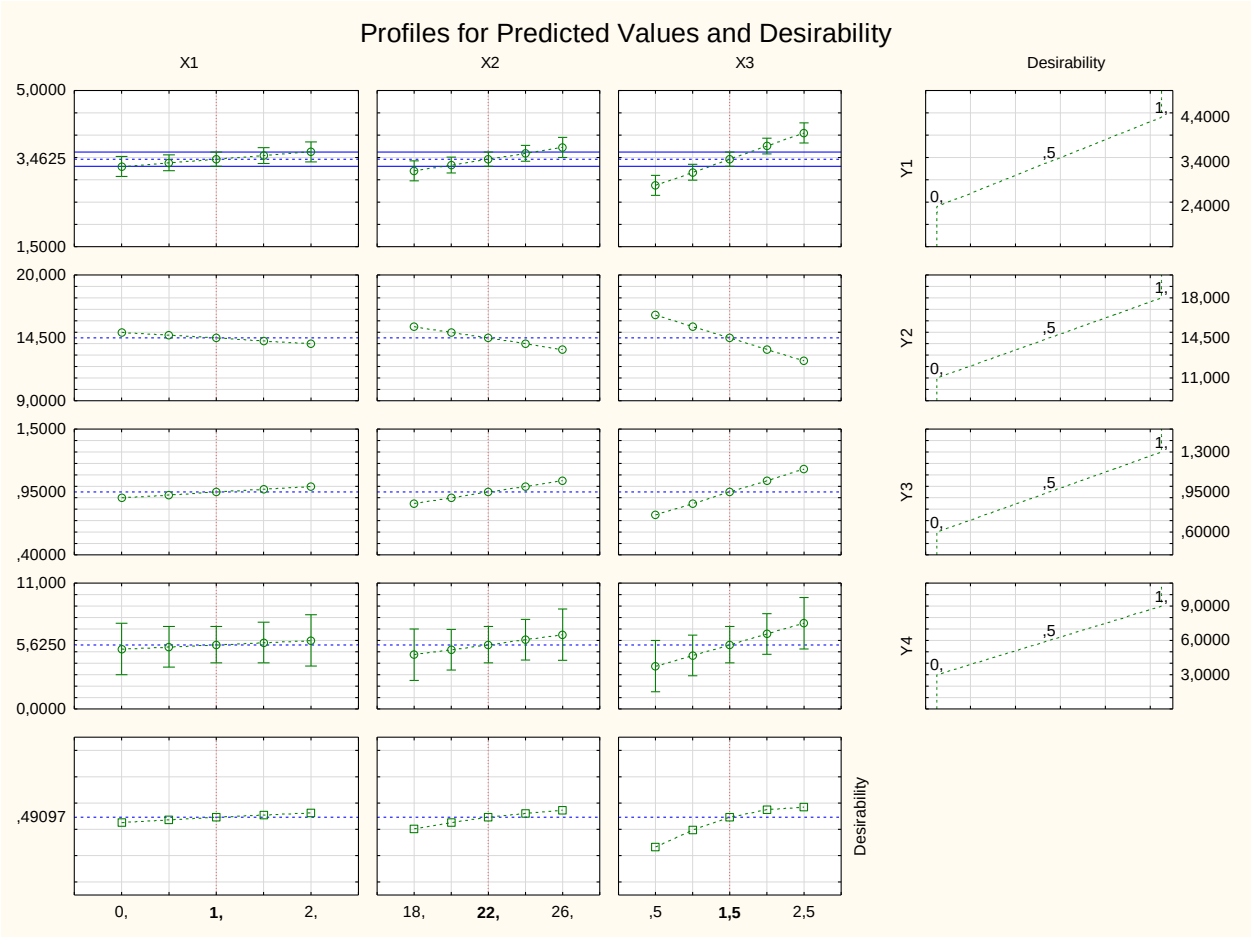


Рис 3.7. Графіки розсіювання з гістограмами, що характеризують вплив факторів на висоту рослин, час настання фази «Бебі лист», масу зелені, кількість листків

Для аналізу впливу факторів на критерії оптимізації використовувались експериментальні графіки розсіювання з гістограмами (рис. 3.7), які дозволяють графічно визначити раціональні значення кожного показника та оцінити реальні значення висота рослин, часу настання фази «Бебі лист», масу зелені, кількості листків.

Таким чином, запропоновані технологічні рішення в удосконаленій портативні гідропонній NFT установці та використання мікробного препарату ЕМ 5 надає можливість при передпосівній обробці насіння надати йому надійний старт для кращого проростання та набору росту, зменшення часу дозрівання, набору маси рослин та кількості листків. Оптимізація температурного режиму повітря та поживного розчину також сприяє збільшенню досліджуваних

показників та покращенню їх якісних характеристик. А збільшення концентрації поживного розчину надає рослинам додаткового постійного живлення та покращує їх ростові характеристики.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Економічна ефективність агропромислового виробництва є ключовим критерієм його життєздатності та конкурентоспроможності. Ключовими індикаторами, які підлягають кількісному дослідженню, є собівартість одиниці продукції, рівень рентабельності запропонованих технологічних варіантів та залежність цих показників від маси отриманої зелені. Метою нашого аналізу є не лише встановлення фактичної собівартості, а й ідентифікація ключових економічних показників, які матимуть вплив на кінцеву рентабельність проєкту [35].

Аналіз калькуляційної моделі виробництва мікрозелені (табл. 4.1) дає змогу побачити що, в собівартості продукції домінують постійні (фіксовані) витрати у загальній структурі собівартості. Ця фінансова архітектура є типовою для інтенсивного сільськогосподарського виробництва в умовах закритого ґрунту (сіті-фермерства) і визначає високий ступінь операційного важеля підприємства [10].

Таблиця 4.1.

Калькуляція витрат на вирощування мікрозелені

Статті витрат	Варіанти							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Насіння (грн)	10	10	10	10	10	10	10	10
Паперові рушники	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Поживні розчини	0	3	0	3	0	3	0	3
Електроенергія	21	21	21	21	21	21	21	21
Лоток	2	2	2	2	2	2	2	2
Вода	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75
Оплата праці	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75
Разом	58,63	61,63	58,63	61,63	58,63	61,63	58,63	61,63

Детальний розгляд структури витрат дає розуміння, що основні статті, які мають вплив на кінцевий фінансовий результат, мають дискретний характер і не залежать від обсягу отриманого врожаю (маси зелені) в межах однієї виробничої одиниці (лотка). Найбільш вагомими компонентами постійних (фіксованих) витрат є електроенергія (21 грн). та оплата праці (18,75 грн.). Сукупна частка цих двох статей становить 67,8% від базових постійних (фіксованих) витрат (58,63 грн.), що підкреслює високу енерго- та трудомісткість технологічного процесу. Інші постійні елементи, такі як насіння (10 грн.), лоток (2 грн.), паперові рушники (3,1 грн). та вода (3,75 грн.), також є обов'язковими для забезпечення виробничого циклу і включаються до постійних (фіксованих) витрат.

На противагу значним постійним (фіксованим) витратам, змінні витрати представлені лише однією статтею – поживними розчинами, які додають до загальних витрат 3 грн. Ця сума є мінімальною і становить лише близько 4,8% від загальних витрат у варіантах із застосуванням розчинів (61,63 грн.). Таке співвідношення витрат – висока концентрація у постійних (фіксованих) витратах та мізерна частка змінних витрат – створює пряму економічну залежність: оскільки витрати залишаються майже незмінними, мінімізація собівартості одиниці продукції може бути досягнута виключно шляхом збільшенням маси зелені.

Цей механізм також пояснює економічну доцільність інвестиції на поживні розчини. Незважаючи на номінальне зростання загальних витрат, розчини сприяють збільшенню маси зелені, що дозволяє ефективно розподілити високі постійні (фіксовані) витрати на більший обсяг продукту. Таким чином, фінансова стійкість і висока рентабельність підприємства залежать не від контролю над змінними витратами, а від ефективного управління постійними (фіксованими) витратами шляхом досягнення максимальної маси зелені. Домінування постійних (фіксованих) витрат є ключовою перевагою бізнес-моделі при високій масі зелені, але й основним економічним ризиком при низьких показниках урожаю.

Аналіз таблиці 4.2 є ключовим для кількісного обґрунтування рентабельності проєкту та виявлення факторів, що впливають на кінцевий прибуток. Динаміка цих показників у восьми варіантах чітко підтверджує, що в умовах високої частки постійних витрат врожайність є домінуючим чинником формування фінансового результату [35].

Таблиця 4.2.

Економічна ефективність вирощування мікрозелені

Варіанти дослідження	Маса зелені, г	Собівартість, грн.	Рентабельність, %
1	0,6	97,71	153,5
2	0,7	88,04	170,4
3	0,8	73,28	204,7
4	0,9	68,47	219,1
5	1	58,63	255,9
6	1,1	56,02	267,7
7	1,2	48,85	307,0
8	1,3	47,40	316,4

Між масою зелені та показником собівартості одиниці продукції (грн/г) простежується чітка зворотна, нелінійна залежність. Ця динаміка є прямим наслідком розподілу значних постійних (фіксованих) витрат, які не змінюються, на різний обсяг отриманої продукції. Так, у варіанті 1, при мінімальній масі зелені (0,6 г), собівартість є найвищою і становить 97,71 грн, оскільки постійні витрати розподіляються на мінімальну базу. Проте, у варіанті 8, при максимальній масі зелені (1,3 г), той самий обсяг постійних витрат розподіляється на більшу масу, знижуючи собівартість майже вдвічі, до 47,40 грн. Таке різке падіння собівартості підтверджує, що головний економічний важіль контролю над нею полягає виключно у збільшенні обсягу врожаю.

Паралельно цьому, між масою зелені та рентабельністю (%) встановлено пряму та сильну кореляцію. Рентабельність зростає пропорційно збільшенню

масі зелені, оскільки менша собівартість продукції прямо підвищує граничний прибуток. Мінімальний коефіцієнт рентабельності зафіксовано у варіанті 1 (153,5%), тоді як максимальний показник досягає 316,4% у варіанті 8. Це зростання більш ніж удвічі свідчить про високу чутливість прибутковості до маси зелені. Варіант 8 (1,3 г) виступає як еталон економічної ефективності, демонструючи найвищу віддачу від інвестованих коштів (понад 3 гривні прибутку на кожну інвестовану гривню), що є ключовим показником інвестиційної привабливості.

Для оцінки доцільності використання змінних витрат (поживних розчинів) було проведено порівняння середніх показників двох груп варіантів. Порівняння показало, що інвестиція на поживні розчини є економічно обґрунтованою, оскільки вона забезпечує зростання середньої маси зелені (з 0,9 г до 1,0 г), що призводить до зниження середньої собівартості на 4,64 грн./г та зростання середньої рентабельності на 13,12 відсоткових пунктів. Таким чином, позитивний ефект від зростання масі зелені повністю перекриває номінальне збільшення загальних витрат.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ДОВКІЛЛЯ

5.1. Техніка безпеки при роботі в теплицях

Працювати в тепличному господарстві дозволяється лише особам старше 18 років, які пройшли медичний огляд, не мають протипоказань, пройшли інструктаж з охорони праці, навчання та перевірку знань [34, 35].

Не можна приступати до роботи у стані алкогольного, наркотичного чи медикаментозного сп’яніння, в хворобливому або надзвичайно втомленому стані.

Перед початком роботи працівник повинен одягнути спецодяг і засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), перевірити їх стан.

Робоча зона теплиці повинна бути чітко визначена; сторонні особи не повинні перебувати у ній без дозволу.

Необхідно переконатися у справності інструментів, обладнання, електропроводів, кабелів, ізоляції, заземлення в разі застосування електроінструменту.

Перевірка і своєчасне усунення пошкоджень конструкцій теплиці, проходів, вентиляційних систем.

Залежно від виду робіт може видаватися: бавовняний халат, фартух, комбінезон з кислотозахисною просочкою, рукавиці комбіновані/гумові, черевики/чоботи, головний убір, окуляри захисні, респіратор тощо [34].

Перед початком роботи перевірити інструмент, кабелі, освітлення, стан вентиляції, прилад вимірювання вмісту CO_2, якщо він використовується.

При натягуванні шпалерного дроту чи інших підв’язках слід перебувати на безпечній відстані, уникати стояння у міжряддях, використовувати підставки.

Роботи по догляду проводити при вимкненій системі досвічування рослин (якщо така є) та за умов належної вентиляції [35].

При приготуванні розчинів та обробці дозволяється працювати лише з відповідним ЗІЗ: комбінезон, рукавиці, окуляри, респіратор, гумові чоботи.

Заборонено працювати при високій концентрації супутніх газів (наприклад CO_2) без належної вентиляції чи вимірювання.

Після використання агрохімікатів слід дотримуватися встановлених термінів, виконувати дезінфекцію приміщень.

Роботи на висоті слід виконувати лише з перевіреним підмащуванням або драбинами, без спирань на скло чи нестійкі опори.

При склінні або ремонті скла обов'язково слід використовувати рукавички, фартух, окуляри, установка ящиків зі склом строго вертикально, не носити його в горизонтальному.

При обслуговуванні електрообладнання або обладнання під тиском слід переконатись у справному заземлені, ізоляції, кабелях, не працювати під час грози чи дощу.

Роботи з подачею пари, стерилізацією ґрунту має виконуватись із допуском лише із здійсненим контролем тиску, справність манометрів, запобіжних клапанів.

В теплицях із генераторами вуглекислого газу / системами вентиляції треба стежити за показниками газу, забезпечити провітрювання.

Експлуатація газового чи теплового обладнання передбачає дотримання правил пожежної безпеки, наявність сигналізації.

Усі роботи повинні проводитися з дотриманням норм пожежної безпеки: проходи не мають бути заблоковані, повинна бути можливість швидкої евакуації.

Слід проводити регулярні інструктажі, перевірки стану вогнегасників, засобів протипожежного захисту [34, 35].

Після закінчення роботи очистіть робоче місце: прибрати інструмент, обладнання, провітрити теплицю, вимити руки з милом, якщо були хімічні речовини слід прийняти душ за можливості.

Обов'язково слід повідомити керівника про всі виявлені недоліки, пошкодження обладнання або засобів захисту.

У місці відпочинку має бути доступ до питної води, мила, рушників; працівники повинні мати змогу нормально відпочити, скористатися аптечкою.

Не вживати їжу та напої у забрудненому середовищі, не курити та не палити біля місць зберігання агрохімікатів чи на робочому майданчику.

У разі нещасного випадку чи погіршення самопочуття обов’язково слід зупинити роботу, повідомити керівника, при необхідності викликати медичну допомогу.

Дотримання техніки безпеки при роботі в теплицях то є не просто формальність, а ключ до збереження здоров’я працівників, запобігання аварійних ситуацій. Правильно організована підготовка, використання засобів захисту, контроль за обладнанням та середовищем дозволяє створювати нормальні умови безпечної праці [34, 36].

5.2. Охорона довкілля в зв’язку із запропонованими агрозаходами

Слід підтримувати параметри поживного розчину (pH, EC, температура) у межах, що рекомендовані для культури; це зменшує потребу у заміні розчинів і зменшує обсяг відходів. Регулярний моніторинг якості води при роботі в гідропонних установках є запорукою уникнення зайвих скидів.

Крім того, важливою умовою використання поживного розчину у гідропонній установці є переважно впровадження замкнутої системи рециркуляції (recirculating systems) з фільтрацією та дозованою підміною води, щоб мінімізувати скиди.

Концентровані залишки та відпрацьовані розчини зберігати в маркованих ємностях і передавати на утилізацію відповідно до місцевих правил; не скидати в ґрунт чи стічні канави без очищення.

Розроблення внутрішньої процедури нейтралізації (за потреби) і збору відходів, включно з журналом обліку виливів/утилізацій.

Використовання енергоефективних насосів, LED-освітлення для росту рослин з контролем спектра та інтенсивності; планувати роботу так, щоб уникати марних витрат енергії. Слід віддавати перевагу системам із автоматизацією для точного контролю.

Крім того, важливим є впровадження санітарних бар’єрів: працювати в чистому одязі, дезінфікувати інструменти, контролювати доступ сторонніх осіб і відвідувачів.

Ведення журналу фітосанітарного стану, маркування блоків з інфікованими рослинами та проводити локалізовані лікувальні заходи, щоб уникнути поширення.

Встановлення регулярних перевірок: щоденний візуальний огляд, щотижневий контроль параметрів (pH/EC/temp), щомісячний технічний огляд насосів та фільтрів.

Мати посадові інструкції та інструкції з охорони праці для кожної ролі.

Вести журнали інструктажів, обліку відходів, реєстр приладів вимірювання (датчики CO_2, pH-метри), технічних оглядів.

Обов’язкове маркування хімікатів згідно SDS (Safety Data Sheet) та інструкцій виробника; інструкції з екстреної нейтралізації.

Поєднання технічних заходів (захищена електрика, фільтри, датчики) й організаційних (інструктажі, журнали, аварійні плани) значно знижує виробничі ризики.

Контроль якості води (pH, EC) та впровадження систем рециркуляції це основні кроки для зменшення екологічного сліду гідропоніки.

Регулярні перевірки, своєчасна утилізація відходів та використання етикеток агрохімікатів забезпечують як безпеку працівників, так і захист навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Оптимальне значення висоти рослин дорівнює 3,8…4,4 см, при цьому раціональні значення концентрації препарату ЕМ 5 для передпосівної обробки насіння знаходиться в межах від 1,8% до 2,0%, температура повітря та поживного розчину знаходиться в межах від 24°С до 26°С, концентрація поживного розчину знаходиться в межах від 2,3 мС/см до 2,5 мС/см.

Аналіз Парето карти показує, що найбільший вплив на висоту рослини має концентрація поживного розчину в гідропонній установці.

2. Оптимальне значення часу досягнення фази «Бебі лист» становить 13…11 днів, при цьому раціональні значення концентрація препарату ЕМ 5 для передпосівної обробки насіння знаходиться в межах від 1,9% до 2,1%, температура повітря та поживного розчину знаходиться в межах від 24°С до 26°С, концентрація поживного розчину знаходиться в межах від 2,4 мС/см до 2,5 мС/см.

Всі фактори скорочують час настання фази «Бебі лист», причому найбільший вплив має взаємодія факторів.

3. Оптимальне значення маси зелені знаходиться в межах 1,1…1,3 г, при цьому раціональні значення концентрація препарату ЕМ 5 для передпосівної обробки насіння знаходиться в межах від 1,9% до 2,1%, температура повітря та поживного розчину знаходиться в межах від 25°С до 27°С, концентрація поживного розчину знаходиться в межах від 2,4 мС/см до 2,5 мС/см.

На масу зелені має вплив взаємодія факторів.

4. Оптимальне значення кількості листків дорівнює 8-9 шт., при цьому раціональні значення концентрації препарату ЕМ 5 для передпосівної обробки насіння знаходиться в межах від 1,9% до 2,1%, температура повітря та поживного розчину знаходиться в межах від 25°С до 27°С, концентрація поживного розчину знаходиться в межах від 2,4 мС/см до 2,5 мС/см.

Збільшенню кількості листків найбільше сприяє концентрація поживного розчину.

5. Максимальний показник рентабельності складає 316,4% у варіанті із концентрація ЕМ 5 – 2%, температурою повітря та поживного розчину - 26°С та концентрація поживного розчину – 2,5 мС/см. У цьому варіанті маса зелені зростає на 1,3 г, що є найбільш економічно ефективно, із найвищою віддачою від інвестованих коштів (понад 3 гривні прибутку на кожну інвестовану гривню), що є ключовим показником інвестиційної привабливості.

Таким чином, інвестиція в поживні розцини є економічно обґрунтованою, оскільки вона забезпечує зростання середньої маси зелені (з 0,9 г до 1,0 г), що призводить до зниження середньої собівартості на 4,64 грн./г та зростання середньої рентабельності на 13,12 відсоткових пунктів. Таким чином, позитивний ефект від зростання масі зелені повністю перекриває номінальне збільшення загальних витрат.

Сільськогосподарським підприємствам, які спеціалізуються на вирощування зелені та овочів в тепличних установках портативного типу використовувати мікробний препарат ЕМ 5, який при передпосівній обробці надає насінню надійний старт для кращого проростання та набору росту, зменшення часу дозрівання, набору маси рослин та кількості листків. Оптимізація температурного режиму повітря та поживного розчину сприятиме збільшенню набору маси рослинами та покращенню їх якісних характеристик. А збільшення концентрації поживного розчину надає рослинам додаткового постійного живлення та покращує їх ростові характеристики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Patel K., Chauhan D., Mishra P., Rath J.J., Saxena K.K., Prasad K.S.R. & Bandhu D., 2024: Design and development of a modular hydroponic tower with topology optimization. Int J Interact Des Manuf. DOI: https://doi.org/10.1007/s12008-024-02052-1
2. Sharma N., Acharya S., Kumar K., Singh N., Chaurasia O.P., 2018: Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. Journal of Soil and Water Conservation, 17(4). p. 364. DOI: https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5
3. Бурлака С., Луц П., Купчук І. Оцінка продуктивності та енерговитрат у гідропоніці. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2024, Вип. 339(4). С. 290-295. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-339-4-46
4. Купчук І., Мельник О. Математичне моделювання впливу опромінення на продуктивність процесу вирощування рослинної продукції в гідропонній установці. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2024; Вип. 331(1):. С. 83-88. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-14
5. Azhari, Simanjuntak D., Hakim L., Sabar, 2022: Design and control system of temperature and water level in hydroponic plants. Journal of Physics: Conference Series, 2193, 012018. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012018
6. Christofi A., Margariti G., Salapatas A., Papageorgiou G., Zervas P., Karampiperis P., Koukourikos A., Tarantilis P.A., Kaparakou E.H., Misiakos K., et al., 2023: Determining the Nutrient Content of Hydroponically-Cultivated Microgreens with Immersible Silicon Photonic Sensors. A Preliminary Feasibility Study. Sensors, 23, 5937. DOI: https://doi.org/10.3390/s23135937
7. Литвиненко Р., Міхєєнко В. Перспективи використання гідропоніки в Україні для вирощування салатів та овочів. Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (20-21 травня 2021 р., м. Київ), Розділ 1. Загальна екологія. – 2021. С. 58-63. DOI: https://doi.org/10.20535/EHS.2021.232888
8. Пат. 142316 U Україна, МПК (2006) A01B 79/00. Холодний спосіб підготовки солом’яних субстратів за допомогою ЕМ-препаратів / Ковальов М.М.; Васильковська К.В.; Резніченко В.П.; Мостіпан М.І.; заявник і патентотримач Центральноукраїнський національний технічний університет – № u201912213; заявл. 24.12.2019; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10.

9. Vasylkovska K., Kovalov M., Vasylkovskyi O., Michailova D. (2025). Determining optimal cultivation parameters for a portable hydroponic system using the nutrient film technique. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 22(3). Pp. 185-197. DOI: https://doi.org/10.36922/AJWEP025170132
10. GROWSPEC, 2021: What are the six types of hydroponic systems, June, 2021. Available at: https://www.growspecdevice.com/info/what-are-the-six-types-of-hydroponic-systems-58434700.html (дата звернення: 08.08.2025)
11. Ковальов М.М., Васильковська К.В. Вплив солевого складу поживного розчину за вирощування різних сортів салату ромен в гідропонних колонах. Матеріали ІІ міжнародної інтернет-конференції «Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика», Тернопіль: ЗНУ. 2020. С. 83-86. URL: http://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/39222
12. Martin, M. & Molin, E. (2019). Environmental Assessment of an Urban Vertical Hydroponic Farming System in Sweden. Sustainability, MDPI, 11(15), pp. 1-14.
13. Olle, M., Alsina, I. (2019). Influence of wavelength of light on growth, yield and nutritional quality of greenhouse vegetables. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences, vol. 73(1), pp.1-9.
14. Мельник О.С. Обґрунтування раціональних конструктивних параметрів та режимів роботи гідропонної установки: дис. … наук.. ст. доктора філософії зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування. – Вінниця: ВНАУ. 2025. 200 с.
15. Васильковська К.В., Ковальов М.М., Андрієнко О.О. Технічне забезпечення ін'єкційного зрошення овочевих культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 51. 2021. С. 14-20. DOI: https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.14-20
16. Васильковська К.В, Ковальов М.М., Андрієнко О.О., Корнічєва Г.І. Технічне забезпечення гідропоніки, як прогресивного виду вирощування овочевих культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 52. 2022. С. 81-86. DOI: https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.81-86
17. Баглюк У.П., Кубінець Н.С. Перспективи вирощування овочевих культур на гідропоніці в умовах Півдня України. Матеріали міжнародної науково-практичної онлайн-конференції «Сучасні підходи до вирощування, переробки і зберігання плодоовочевої продукції». Миколаїв: МНАУ. – 2023. С. 21-23.
18. Історія гідропоніки. URL: https://ua.waykun.com/articles/istorija-gidroponiki-gidroponika-etc.php (дата звернення: 18.08.2025)

19. Марченко Н. Салати на гідропоніці. Agrotimes, 2021. URL: https://agrotimes.ua/interview/salaty-na-gidroponiczi/ (дата звернення 28.08.2025)
20. Ковальов М.М., Звєздун О.М. Вирощування найпоширеніших сортів салату ромен на різних типах субстратів в NFT системах. Водні біоресурси та аквакультура. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», Вип. 9 (1), 2021. С. 27-36. DOI: https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.3
21. Ковальов М.М., Васильковська К.В. Перспективи розвитку тепличного господарства в Україні. Аграрні науки та продовольство в сучасній системі освіти: взаємини та протидії: матеріали науково-педагогічного підвищення кваліфікації у галузі аграрних наук та продовольства. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2021. С. 33-37.
22. Гіль Л.С., Пашковський А.І., Суліма Л.Т. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Ч. 1. Закритий ґрунт: навч. посіб. Вінниця: Нова книга, 2008. 368 с.
23. Howard M. R. (2013). Hydroponic food production. NW. Taylor & Francis Group. P. 155
24. Садовська Н.П., Попович Г.Б., Симочко В.В., Шейдик К.А. Сучасні технології вирощування овочевих культур у відкритому та закритому ґрунті: методичні рекомендації до лабораторних робіт та самостійної роботи. – Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2023. 124 с.
25. Біолого-екологічні особливості овочевих культур: навчальний посібник / Нікончук Н.В., Ткачова Є.С., Дробітько А.В., Кузьома В.В., Біліченко О.С. – Миколаїв: МНАУ, 2020. 407 с
26. Український гідрометеорологічний центр. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/agrometeorology/
27. Реєстр сортів України на 2001 рік. Частина 2 (технічні, кормові, картопля, овочеві, баштанні, пряно-ароматичні та ефіроолійні, гриби). Київ, 2000. – 26 с.
28. Бондаренко Г.Л,. Яковенко К.І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків: Основа, 2001. 369 с.
29. Пат. 142316 U Україна, МПК (2006) A01B 79/00. Холодний спосіб підготовки солом’яних субстратів за допомогою ЕМ-препаратів / Ковальов М.М.; Васильковська К.В.; Резніченко В.П.; Мостіпан М.І.; заявник і патентотримач Центральноукраїнський національний технічний університет – № u201912213; заявл. 24.12.2019; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10.
30. Budavári N., Pé, Z., Helyes L., Takács S., Nemeskéri E., 2024: An Overview on the Use of Artificial Lighting for Sustainable Lettuce and Microgreens Production in an

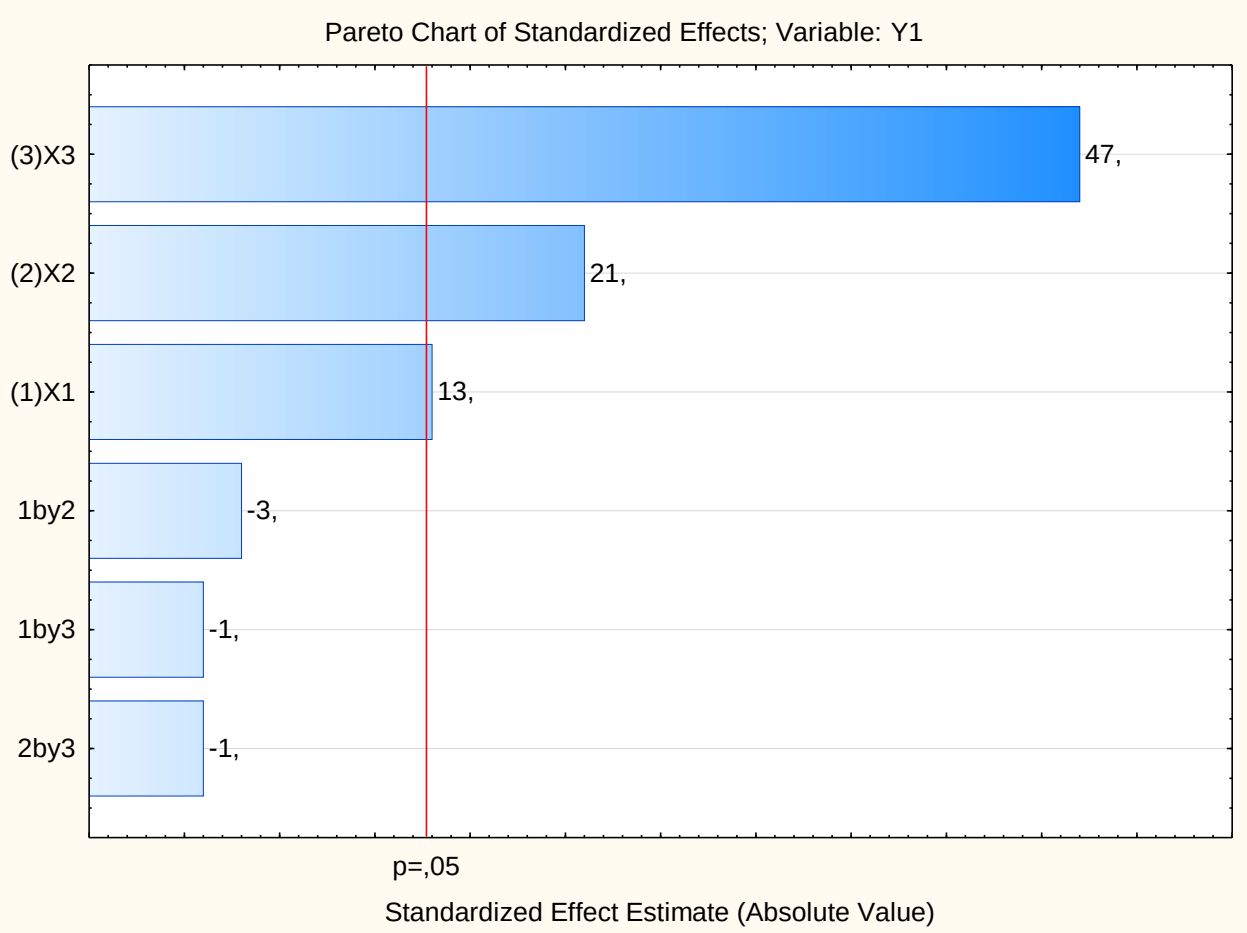
Indoor Vertical Farming System. Horticulturae, 10(9), pp. 938. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae10090938

31. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії: Підручник. За ред. В.О. Єщенка. – К.: Дія. – 2005. – 288 с.
32. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Підручник дослідника: Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. – Харків: Мачулін, 2016. – 204 с.
33. Ковальов М.М. Вирощування мікрозелені салату ромен у NFT-системах залежно від впливу типу субстрату. Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник, Вип. 75. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика». 2021. С. 48–52.
34. Ковальов М.М. Вирощування огірка Козіма F1 на різних типах субстратів у гідропонних купольних теплицях. Таврійський науковий вісник: Сільськогосподарські науки, Вип. 117. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2021. С. 80–89.
35. Методичні поради щодо визначення економічної ефективності наукових досліджень в агрономії : для студ. спец. 201 - Агрономія / [уклад. : М. І. Мостіпан, О. О. Андрієнко, К. В. Васильковська, В. О. Малаховська] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. загального землеробства. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. - 44 с.
36. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» Відомості Верховної Ради. – 2003. – № 39. – С. 350.
37. Новий навчально-методичний комплекс «Зелений пакет» URL: http://cd.greenpack.in.ua
38. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. – К.: Каравела, 2004. – 408 с.

ДОДАТКИ

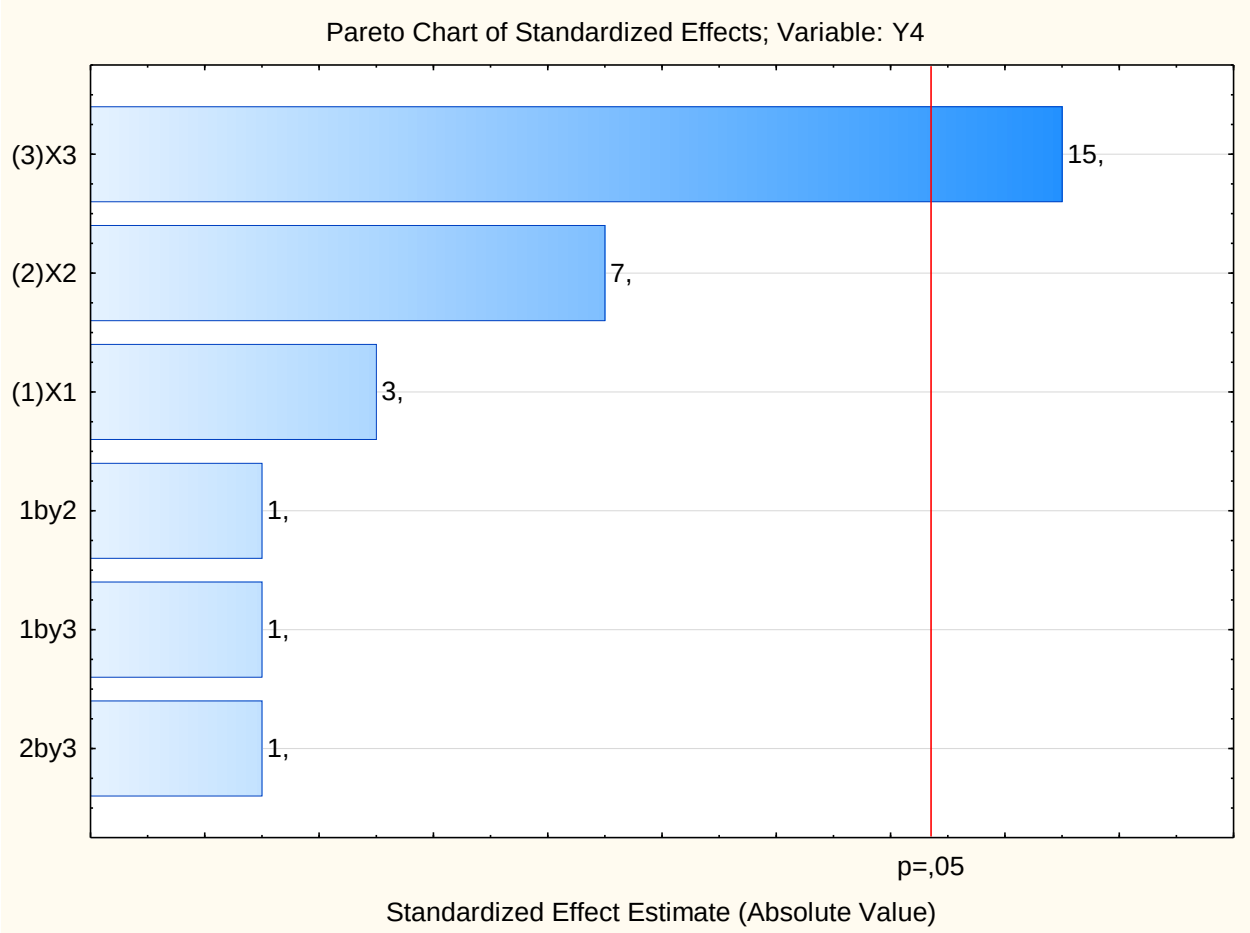
Додаток А

Парето карта для висота рослин



Додаток Б

Парето карта для кількості листків



Технологічна таблиця вирощування базиліку на гідропоніці

Етап технології	Опис	Оптимальні параметри	Обсяг	Терміни
1. Підготовка розсади (висів насіння в субстрат)	Вибір інертного субстрату та посів насіння для проростання.	Субстрат: паперові рушники Температура: ~24°C	~10–40 рослин/м²	7–14 днів
2. Вирощування розсади в оптимальних умовах	Забезпечення сприятливого мікроклімату для росту молодих рослин після проростання.	Температура: 15-25°C Вологість: 50-60%	Постійно	1–2 тижні
3. Висаджування у гідропонну систему з циркуляцією води та поживного розчину	Перенесення розсади до основної гідропонної системи DWC	Система: DWC	~10-40 рослин/м²	Одноразово
4. Забезпечення освітлення та добрив	Постійне живлення рослин світлом та збалансованими поживними речовинами.	Світло: 14–16 год/добу (LED, повний спектр) EC: 1,0–1,6 мС/см	Постійно	Постійно
5. Регулярний контроль pH розчину	Систематичний моніторинг параметрів розчину.	pH: 5,5–6,8	Щотижня	Постійно
6. Обрізка (прищипування)	Прищипування верхівки та обрізка стебел для стимуляції росту бічних пагонів, запобігання цвітінню та збільшення кущистості.	Метод: обрізати над вузлом, залишаючи 2-3 пари листя. Не зрізати більше 1/3 рослини за раз.	~1,5-1,8 кг/м² за цикл	Перша обрізка: коли рослина досягне 15–20 см. Наступні: кожні 1–2 тижні.
7. Збір врожаю	Зрізання листя, яке також сприяє подальшому росту.	Метод: зрізати над вузлом, залишаючи 1/3 рослини. Час: найкраще зранку.	~1,5-1,8 кг/м² за цикл	Перший збір: через 3-4 тижні після висадки. Наступні: регулярно.