

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

ХАРЬКОВА ВІКТОРІЯ СЕРГІЇВНА

Допускається до захисту:  
В.о. завідувача кафедри,  
ботаніки та екології  
канд. біол. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Машталер О. В.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ НА РОСТОВІ  
ПАРАМЕТРИ РОСЛИН МІКРОЗЕЛЕНІ**

Спеціальність 091 Біологія

Кваліфікаційна (магістерська) робота

Науковий керівник:  
Ю. Г. Приседський,  
професор кафедри  
ботаніки та екології,  
д-р біол. наук, доцент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Оцінка: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

\_\_\_\_\_  
(бали/за шкалою ЄКТС/за національною шкалою)

Голова ЕК: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вінниця 2023

## АНОТАЦІЯ

**Харькова В.С.** Вплив лазерного опромінення насіння на ростові параметри рослин мікрозелені. Спеціальність 091 «Біологія». Освітня програма «Біологія». Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2023.

У кваліфікаційній роботі досліджено вплив лазерного опромінення на ростові параметри та вміст вітаміну С рослин мікрозелені. В експерименті застосовано світлодіодні лазери, що характеризувалися когерентним монохроматичним випроміненням червоного (635 нм) та синього (405 нм) світла. Потужність випромінення становить 100 мВт/см<sup>2</sup>. В дослідженнях використовували мікрозелені моркви (*Daucus carota* L.) і цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum* L.). Встановлено, що вплив комплексного (червоне та синє світло) лазерного опромінення частково впливає на ростові параметри, також позитивно впливає синє світло лазерного опромінення на вміст вітаміну С вивчених рослин.

Ключові слова: лазерне опромінення, стимуляція, мікрозелень, ростові параметри, аскорбінова кислота.

50 с., 8 табл., рис.8, 44 джерел.

## ANNOTATION

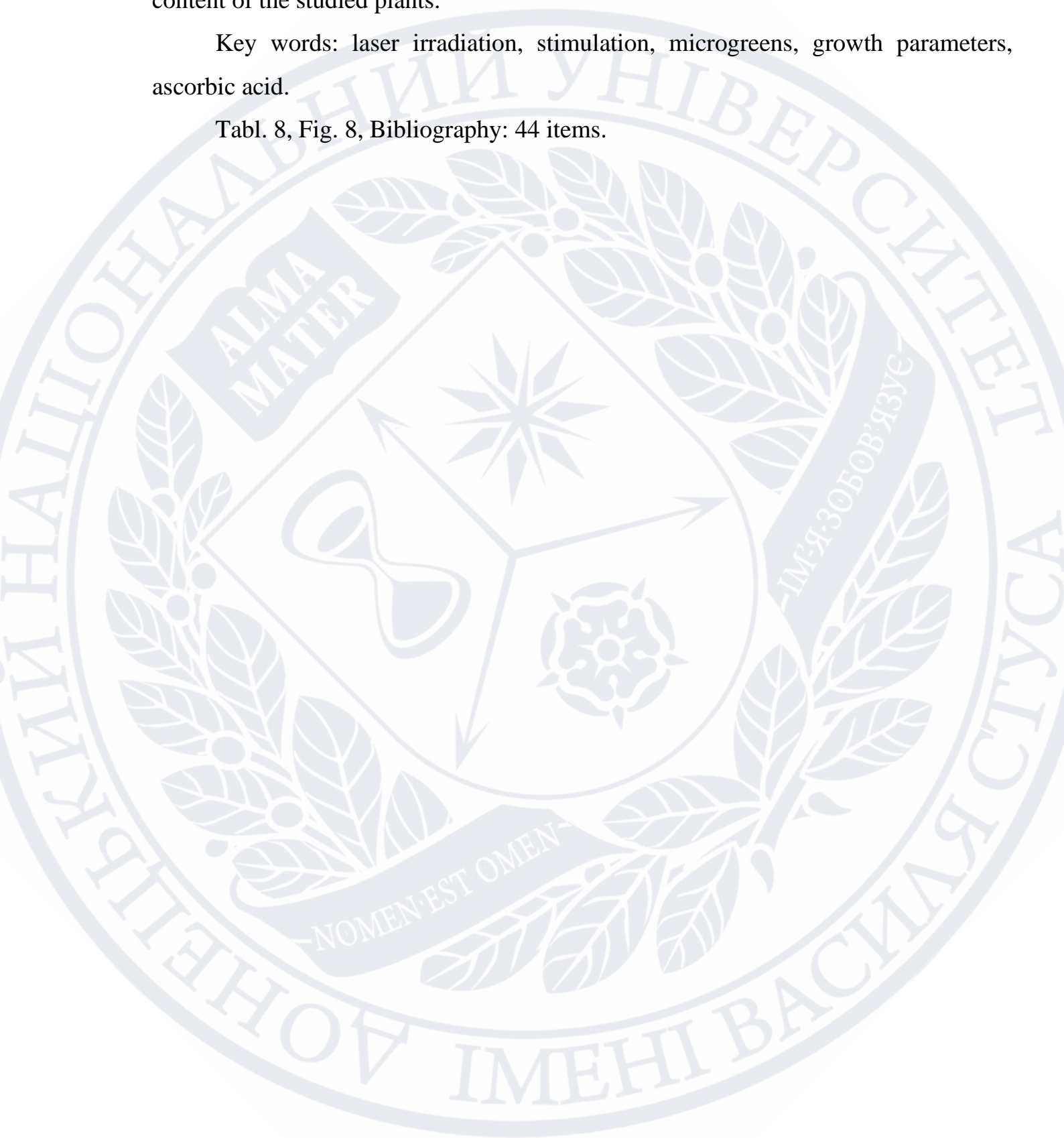
**Kharkova V.S.** Influence of laser irradiation of seeds on growth parameters of microgreens. Specialty 091 "Biology". Educational program "Biology". Vasyl' Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2023.

The master's thesis investigated the effect of laser irradiation on growth parameters and vitamin C content of microgreens. The experiment used LED lasers characterized by coherent monochromatic emission of red (635 nm) and blue (405 nm) light. The radiation power is 100 mW/cm<sup>2</sup>. Microgreens of carrots (*Daucus carota* L.) and chives (*Allium schoenoprasum* L.) were used in the study. It was found that exposure to complex (red and blue light) laser irradiation partially affects growth

parameters, and blue light of laser irradiation has a positive effect on the vitamin C content of the studied plants.

Key words: laser irradiation, stimulation, microgreens, growth parameters, ascorbic acid.

Tabl. 8, Fig. 8, Bibliography: 44 items.





## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1 Користь мікрозелені, та проблема вирощування у сучасному світі .....	8
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ .....	20
2.1 Об'єкт дослідження .....	20
2.1.1 Біологічна характеристика мікрозелені цибулі-шніт ( <i>Allium schoenoprasum</i> L.) .....	20
2.1.2 Біологічна характеристика мікрозелені моркви ( <i>Daucus carota</i> ).....	23
2.2 Методи дослідження.....	25
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	29
3.1 Обговорення результатів.....	29
3.2 Вплив опромінення лазером на ріст та розвиток мікрозелені цибулі шніт	31
3.3 Вплив опромінення лазером на ріст і розвиток моркви.....	36
3.4 Вплив опромінення лазером на вміст аскорбінової кислоти в мікрозелені цибулі шніт і моркви.....	40
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ .....	46

## ВСТУП

Проблема забезпечення населення продуктами харчування з кожним роком набуває характеру глобального масштабу, особливо сьогодні, в умовах пандемії коронавірусу, все більше зростають вимоги до задоволення людства вітамінною продукцією. В пошуку шляхів успішного вирішення цієї проблеми все більше уваги звертається на надзвичайно цінні сільськогосподарські культури – зелені овочеві культури, які мають дієтичні та лікувальні властивості, а також містять у великій кількості вітаміни, мінеральні речовини, ферменти, фітонциди, мікроелементи та антиоксиданти, що нейтралізують дію активних форм кисню і продуктів їх взаємодії з органічними молекулами та оксидами азоту.

Беручи до уваги загальне самопочуття людства, мікрозелень стала потенційною терапевтичною функціональною їжею для покращення загального стану здоров'я за допомогою дієтичних добавок. Зростаючий інтерес до мікрозелені зумовлений не лише її поживною цінністю, але й чудовими органолептичними властивостями. Багато факторів, як-от швидке скорочення земельних ресурсів, зміна способу життя, звички здорового харчування, функціональна важливість їжі тощо призвели до підвищення інтересу до мікромасштабного виробництва овочів для ринку готових до вживання овочів [41].

Водночас досі в Україні відзначається вкрай недостатній асортимент і сортимент високовітамінної зеленої продукції, а питання високої врожайності та широке різноманіття видів рослин є надзвичайно актуальним. В Україні цей продукт відноситься до третьою групи з валовим виробництвом до 100 тис. ц. Щоб посилити врожайність даної культури, потрібно вивчати й досліджувати усі можливі високоефективні методи стимуляції, без шкоди довкіллю та менш затратним у фінансах. В запитах щодо високої врожайності входить ще залучення програм селекції та ефективних технологій після збирання врожаю для сприяння економічно ефективного виробництва та майбутніх стратегій для

підтримки терміну зберігання та якості мікрозелені. Але актуальним методом наразі цікавляться обробкою насіння LED лазерними системами.

**Актуальність.** Актуальним є пошук екологічних методів збільшення врожайності без шкоди на довкілля. LED лазерна обробка насіння може бути використана для підвищення ефективності сільського господарства та зменшення використання пестицидів.

**Предметом дослідження** є показники ростових процесів та вмісту вітаміну С опромінених лазером рослин мікрозелені цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum L.*) та моркви (*Dracus carota ssp. Sativus*).

**Об'єктами досліджень** були процеси росту та розвитку рослин, що відбувалися під впливом комплексного лазерного опромінення насіння когерентним монохроматичним світлом з довжиною хвилі 635 та 405 нм.

**Мета дослідження.** Мета роботи полягає в дослідженні впливу лазерного опромінення насіння мікрозелені цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum L.*) та моркви (*Dracus carota ssp. Sativus*) на ростові показники.

**Завдання.** Для досягнення поставленої в магістерській кваліфікаційній роботі мети необхідно виконати такі завдання:

1. З'ясувати вплив лазерного опромінення на проростання мікрозелені цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum L.*) та моркви (*Dracus carota ssp. Sativus*) на деяких субстратах.
2. Визначити вплив лазерного опромінення на ріст мікрозелені цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum L.*) та моркви (*Dracus carota ssp. Sativus*).
3. Дослідити вплив лазерного опромінення з довжиною хвилі 635 та 405 нм на вміст аскорбінової кислоти (вітаміну С).

**Методи дослідження** – біофізичні та фізіолого-біохімічні методи вивчення рослин мікрозелені цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum L.*) та моркви (*Dracus carota ssp. Sativus*).

**Наукова новизна.** Нами вперше досліджений вплив лазерного опромінення насіння мікрозелені цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum L.*) та моркви (*Dracus carota ssp. sativus*) на ростові процеси та вмісту вітаміну С.



Встановлена дія синього (405 нм) та червоного (635 нм) лазерів на вміст вітаміну С. Показана дія лазерного опромінення червоного (635 нм) та синього (405 нм) лазерів на синтез вітаміну С.

**Практичне завдання** роботи полягає у дослідженні впливу енергозберігаючих лазерних систем червоного та синього світла для стимуляції росту рослин та вмісту вітаміну С у рослин мікрозелені цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum L.*) та моркви (*Dracus carota ssp. Sativus*), що може призвести до підвищення продуктивності та якості врожаю рослин.

**Структура та обсяг магістерської роботи** становить сторінок. Робота складається з анотації українською та англійською мовами, змісту, вступу, трьох розділів, висновку та огляду літератури. Також входять матеріали та методи дослідження, й аналіз результатів дослідження.

Ця робота містить таблиць, рисунків і найменувань у списку літератури. Дане дослідження проводилось у 2023 році на кафедрі ботаніки та екології Донецького національного університету імені Василя Стуса.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1 Користь мікрозелені, та проблема вирощування у сучасному світі

Сучасні тенденції формування здорового раціону харчування диктують необхідність створення нових продуктів із підвищеною біологічною та фізіологічною цінністю. Важливу роль в цьому відіграє можливість використання традиційної сільськогосподарської сировини, яка вирощується у безпосередній близькості від місць її переробки, і дозволяє розширити асортимент продуктів харчування. Поліпшення харчування населення можливе завдяки використанню в рецептурі харчових продуктів натуральної рослинної сировини, традиційно вирощеної, зібраної, підготовленої в Україні, що має високу біологічну цінність [2].

Зелені овочі доступні на продовольчих ринках, у магазинах та супермаркетах, а торгівля зеленню здійснюється лише двома способами, а саме оптовим та роздрібним. Найсвіжішу зелень можна знайти на продовольчому ринку через більший товарообіг. Однак з огляду на темп життя міського населення їм зручніше після виходу з роботи зайти до супермаркету чи магазину біля свого будинку, щоби придбати потрібну їм зелень.

Проблема у споживанні зелені в тому, що в супермаркетах санітарних умов рідко де не дотримуються, а в дрібних магазинах біля дому спостерігається малий асортимент зелені, а там, що є, не завжди першої свіжості. Крім того, протягом року населення забезпечується зеленню овочевою продукцією дуже нерівномірно. Так, у літньо-осінній період основну кількість овочів вирощують у відкритому ґрунті. В зимово-весняний період їх надходження значно зменшується. Наприклад, у липні-вересні вирощується близько 95,2%, а у квітні-травні – 4,8% загальної кількості зеленних овочів, тому останнім часом в Україні набуває популярності вирощування мікрозелені як альтернативи забезпечення мікроелементами у несезонний період [7]. До її переваг можна віднести особливо ніжний смак і той факт, що рослини можуть рости без добрив, тобто лише завдяки власним запасам у насінні. За останні



роки попит в Україні на мікрогрін значно зріс, перш за все через корисні властивості, адже у паростках рослин міститься багато поживних речовин, вітамінів та мінералів [13].

Досліджуючи джерела про використання мікрозелені у продуктах харчування дозволяє зробити висновок, що наразі ця сировина є перспективною та належить до інноваційних продуктів харчування. Використання мікрозелені в раціоні харчування дозволяє наповнити організм людини поживними органічними речовинами, такими як білки, вітаміни С, В, К, Е, каротиноїди, мінерали та інші корисні елементи (калій, кальцій, фосфор, магній, залізо, йод, сірка), а також ефірні олії [10]. Використання корисних властивостей мікрозелені в дієтичному харчуванні пов'язане з терапевтичним ефектом, а саме наявність у його складі вітамінів, амінокислот, які мають широкий спектр біологічної активності з антибактеріальною, протівірусною дією [1].

Овочі з родини Brassicaceae є найпоширенішими овочами у світі, оскільки вони сприяють зниженню захворюваності на рак, серцево-судинні захворювання та інші дегенеративні хвороби [27]. Внесок овочів Brassicaceae у покращення здоров'я можна пояснити їхньою антиоксидантною здатністю, оскільки вони зазвичай накопичують високий рівень антиоксидантних фітохімічних речовин, таких як аскорбінова кислота, каротиноїди, токоферолі та фенольні сполуки, а також глюкозинолати [18]. Аскорбінова кислота є водорозчинним антиоксидантом, який може окислюватися до дегідроаскорбінової кислоти, коли рослина піддається фізичному або фізіологічному стресу. Однак, як відновлена, так і окислена форми аскорбінової кислоти є фізіологічно важливими для здоров'я людини [44].

Каротиноїди - це група жиророзчинних пігментів, які природним чином присутні в багатьох фруктах і овочах. Деякі каротиноїди є попередниками вітаміну А (наприклад,  $\beta$ -каротин) і діють як антиоксиданти, які здатні поглинати вільні радикали і гасити синглетний кисень. Крім того, токоферолі є ще однією важливою категорією жиророзчинних антиоксидантів, а  $\alpha$ -токоферол

вважається найбільш важливим з точки зору дієтичної цінності, демонструючи найвищу біологічну активність вітаміну Е [37].

Так само останні десятиріччя в більшості країн світу теж простежується тенденція вирощування екологічно якісної овочевої продукції, яка б відповідала сучасним вимогам якості життя людей. Мікрогрін часто позиціонується як свіжий органічний продукт, вирощений без використання агрохімії, який, відповідно, є кориснішим і безпечнішим. До того ж його застосовують як приправу або декоративний елемент, як правило, у ресторанній кухні, а таке призначення продукту також додає йому вартості.

Так, наприклад, вперше мікрозелень у США з'явилась на початку 80-х рр., тоді як перше задокументоване використання слова «Microgreens» було зареєстровано в 1998 році [39]. Поступово інтерес до цього продукту зростав, і ринкові можливості розширялись, було відкрито низку спеціалізованих продуктових магазинів елітних продуктів та магазинів здорового харчування [43]. А у Південній Каліфорнії, мікрозелень почали вирощувати приблизно з середини 1990-х років. На початку використання мікрозелені, як продукту харчування з високим вмістом органічних сполук використовували не багато їх різновидів. В основному для цих цілей використовували такі культури, як рукола, базилік, буряк, капуста, кінза та суміш під назвою Rainbow Mix. На сьогоднішній день мікрозелень вирощують у багатьох регіонах США і з кожним роком різноманітність її видів збільшується (рис.1.1.1) [31].

Крім того, на ринку також спостерігається тенденція здорового способу життя, яка включає здорове харчування, в раціон якого входить щоденне вживання овочів, фруктів, зелені та мікрозелені. Варто зазначити, що заклади харчування, особливо ресторани та кафе, також сприйняли напрям цієї дієтичної тенденції «здорова їжа, дієтичне харчування» і наполегливо працюють над розширенням різноманітних страв, включаючи все більше різних видів зелені та використання мікрогрину. А основною перевагою застосування мікрозелені у харчовій індустрії є те, що вона швидко зростає.





Рисунок 1.1.1 Мікрозелень на полицях іноземного супермаркету

Насіння мікрозелені - це спеціально обрані насіння рослин, які вирощуються з метою збору молодих і ніжних рослинних росточків на стадії, коли вони ще дуже малі, але вже мають високу концентрацію вітамінів, мінералів та антиоксидантів, або іншими словами, це спеціальне насіння для швидкого пророщування молодих паростків. Основними родинами є Asteraceae, Brassicaceae, Lamiaceae, Fabaceae, Amaranthaceae, Apiaceae і Solanaceae (рис.1.1.2). Найбільш перспективні мікрозелені культури належать до родини амарантових (Amaranthaceae) [29].

Мікрозелень — це новий інноваційний клас спеціальних салатних культур, які особливо цінуються за багатий вміст фітонутрієнтів [25]. Мікрозелень характеризується різноманітністю смаків, яскравих кольорів, зовнішнього вигляду та текстури, що дозволяє використовувати її в салатах, супах, бутербродах та/або як їстівні гарніри для прикраси різноманітних інших страв [44].



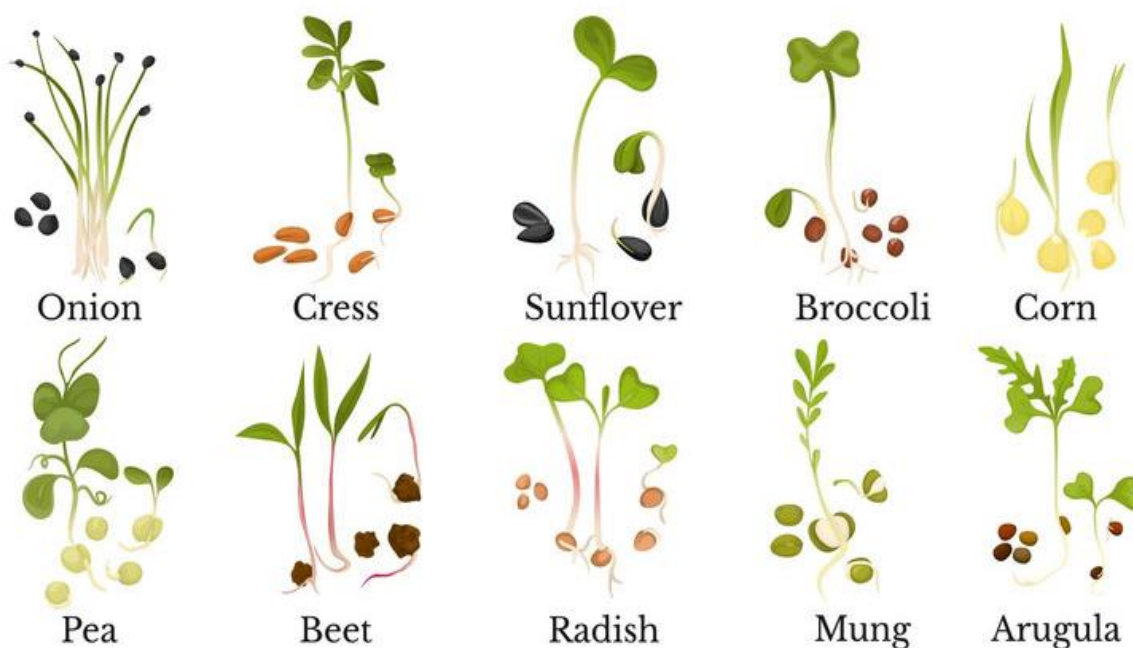


Рисунок 1.1.2 Представники-види мікрозеленів сімейств *Amaranthaceae*, *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Apiaceae*

Мікрозелень відрізняється від паростків тим, що паростки - це пророщене насіння, яке вживається разом із зародковим корінцем і насінням. А від бєбі зелені мікрозелень відрізняється своїм розміром, і вона набагато менша, ніж бєбі-зелень. Мікрозелень зазвичай складається з коренів, центрального стебла, двох сім'ядольних листків і, як правило, першої пари дуже молодих справжніх листків [26].

Коли мікрозелень досягає висоти близько 10-12 см і показує пару справжніх листків, вона готова до збору врожаю. Як правило, від сходів до збору врожаю проходить 7-21 днів, залежно від культури. Деякі культури, такі як солодка кукурудза, зелений амарант, морква, горох потребують більше часу для вирощування, тоді як люцерна, редька, шпинат і т.д. ростуть швидше [34]. Домашнє виробництво в невеликих лотках зазвичай збирають за допомогою ножиць.

Мікрозелень можна вирощувати протягом усього року, оскільки на молодих стадіях, як правило, саджанці не потребують особливих погодних

умов. Оптимальна температура для росту залежить від сорту, але сприятливою є температура від 18 до 24°C при відносно високій вологості від 40 до 60%. Для підвищення фотосинтетичної активності та фітохімічного складу овочів необхідна оптимальна інтенсивність світла. Однак слід уникати надмірного опромінення, яке може призвести до фотопошкодження нижніх саджанців рослин, що в кінцевому підсумку вплине на якість продукції [26].

Для кращого росту і розвитку слід підтримувати належну циркуляцію повітря. Полив слід здійснювати належним чином, використовуючи розпилувачі, які зазвичай рекомендуються на початкових етапах, щоб уникнути зміщення насіння. Душові насадки можна використовувати на пізніх стадіях росту розсади, щоб задовольнити підвищену потребу у воді. Мікрозелень можна вирощувати в контейнерах для дрібномасштабного вирощування, однак для великомасштабного промислового вирощування можна використовувати стени з живильним середовищем або систему зрошення [28]. Також мікрозелень можна вирощувати у безгрунтовій матриці, у гідропонній системі або в аквапонічній системі. Грунтові альтернативи для вирощування мікрозелені з використанням середовища для вирощування включають такі субстрати, як кора дерев, рисове лущиння, тирса, деревна стружка, кокосова койра, шерсть, виноградні вичавки, волокна цукрової тростини, торф, коноплі, джут, перліт, скловата, глина, гравій, пісок, кам'яна вата, цеоліт, вермикуліт [40].

Також особливістю вживання мікрозелені є її лікувальна дія на організм. При регулярному вживанні мікрозелені можна поліпшити функціонування серцево-судинної, травної, нервової, репродуктивної та ендокринної систем. Крім того, мікрозелень продовжує молодість, покращують стан шкіри, нігтів та волосся, а також є дієтичною їжею з мінімальним вмістом калорій [2].

На смак мікрозелень різних культур відрізняється. Зелені паростки за смаковими якостями нагадують плоди дорослої рослини, але є ніжнішими та ароматнішими. Для любителів пікантності підійдуть гірчиця, цибуля, кінза та



редиска, а для любителів солодкої їжі, варто звернути свою увагу на соняшник, кукурудзу, амарант та горошок.

В цілому вчені визнають, що найбільшу кількість корисних поживних речовин міститься у свіжій мікрозелені. При зберіганні їх кількість знижується. Зрізана мікрозелень більш схильна до дії зовнішніх факторів і гнильних мікроорганізмів, які можуть проникати з її поверхні в більш глибокі шари, викликаючи їх розкладання. А недоліком мікрозелені є те, що вона має короткий термін зберігання. Найкраще адаптована гречана мікрозелень до зберігання та транспортування. Вченими розроблено спосіб зберігання мікрозелені з гречки зі збереженням її якості упродовж більш ніж 14 днів, що є ваговим результатом. Оскільки найчастіше для зберігання та транспортування в комерційних цілях застосовуються пластикові контейнери із кришкою, які не забезпечують правильний баланс кисню та вуглекислого газу для дихання будь-якої живої зелені [34].

Представники Університету Барі Альдо Моро вважають, що для підвищення ефективності використання мікрозелені важливо застосовувати різноманітні методи обробки, як до, так і після збору врожаю. Ці методи включають зміну умов росту, передзбиральну обробку, правильний збір врожаю, зміну атмосфери зберігання та умов транспортування, а також додавання вартості шляхом додавання нових смаків, текстур або поживних речовин [32].

Такі фактори, як світло, температура, полив і поживні речовини, є найважливішими параметрами, які впливають на виробництво, склад, термін придатності та кінцеву економічність культур [20]. Для вирішення питання збільшення врожайності та розширення різноманітних видів мікрозелені можуть стати екологічні методи обробки рослин. Лазерне випромінювання є найвигіднішим засобом у фотоактивації ростових процесів на початкових етапах онтогенезу. Вчені вважають, що лазерне опромінення може мати позитивний вплив на ріст і розвиток мікрозелені, покращувати її якість і збільшувати термін зберігання.



Однак, для того щоб лазерне опромінення могло бути ефективно використано для вирощування мікрозелені, необхідно провести додаткові дослідження, які будуть спрямовані на визначення оптимальних параметрів опромінення. Найбільш чітко ця позиція була сформульована в дослідженнях, проведених в Японії, Німеччині та Ізраїлі. Вчені цих країн дійшли висновку, що лазерне опромінення може бути ефективно використано для підвищення продуктивності вирощування мікрозелені, але для цього необхідно провести додаткові дослідження.

Таким чином, можна зробити висновок, що мікрозелень є перспективним продуктом харчування, який має ряд корисних властивостей. Для повного розуміння її потенціалу, необхідно провести додаткові дослідження, спрямовані на вивчення хімічного складу мікрозелені, впливу умов вирощування на її якість та розробку ефективних методів зберігання та транспортування.

## **1.2 Технологія лазеру, та біостимуляція насіння лазерними системами**

Фотосинтез становить основу продукційного процесу рослин, тому дослідження структури фотосинтетичного апарату та механізмів його функціонування і регуляції важливі для пошуку шляхів підвищення продуктивності сільськогосподарських культур [11].

Для реагування на сигнали навколишнього середовища рослини мають кілька типів фоторецепторів - світлочутливих пігментів, здатних активуватися під дією фотонів певної довжини хвилі і, в свою чергу, активувати шляхи трансляції сигналу, забезпечуючи здатність реагувати на світлові стимули. До таких фоторецепторів відносяться наступні: фітохроми - фоторецептори червоного (600-700 нм) і далекого червоного (700-800 нм) світла; криптохроми - фоторецептори синього (400-500 нм) і ультрафіолетового А (320-400 нм) світла [19].

На даний час широко вивчається технологія лазерного опромінення як екологічний метод обробки насіння. Перший лазер був винайдений теоретиком

з фізики Чарльзом Таунсендом та інженером Артуром Шоуловом у 1958 році в Американському компанії "Bell Labs". Їхні дослідження були продовженням роботи Ейнштейна і піонерської роботи інших фізиків в галузі квантової механіки. Винахід був опублікований у науковому журналі "Physical Review" і спочатку не викликав великого інтересу. Однак, згодом лазер став одним з найважливіших технологічних винаходів 20 століття і знайшов широке застосування в медицині, науці, промисловості та інших галузях [14].

Найбільш розвинуті країни в галузі лазерного опромінення рослин - Японія, Китай, США, Німеччина та Ізраїль. Ці країни є лідерами в дослідженнях та розробках лазерних технологій для рослинництва. Однак, у останні роки, інші країни починають активно застосовувати лазерне опромінення рослин у своїх галузях сільського господарства, наприклад, Індія, Корея, Тайвань та Канада.

Інтерес до використання лазерів у сільському господарстві існує вже давно, але в останні роки ця технологія переживає справжній ренесанс, адже для декого вона є єдиним правильним способом виробництва здорової, високоякісної їжі.

Основним елементом лазера є резонатор, що складається з двох дзеркал. У середині резонатора розміщується активна середовище, яке стимулює випромінювання світла (рис.1.1.2). Під дією стимулюючої енергії атоми у середовищі переходять на більш високі енергетичні рівні, а потім випромінюють світло у вигляді спектрально чистої монохроматичної хвилі.

Різні довжини хвиль світла мають різні спектральні характеристики та можуть викликати різні фізіологічні відповіді у рослин.

Червоне світло (з довжиною хвилі більше 600 нм) зазвичай використовується для стимулювання фотосинтезу та проростання рослин, так як воно є найбільш ефективним для активації фотосинтетичних пігментів. Лазерне опромінення червоним світлом може допомогти збільшити врожайність, прискорити ріст та покращити якість рослин.



# LASER CUTTING

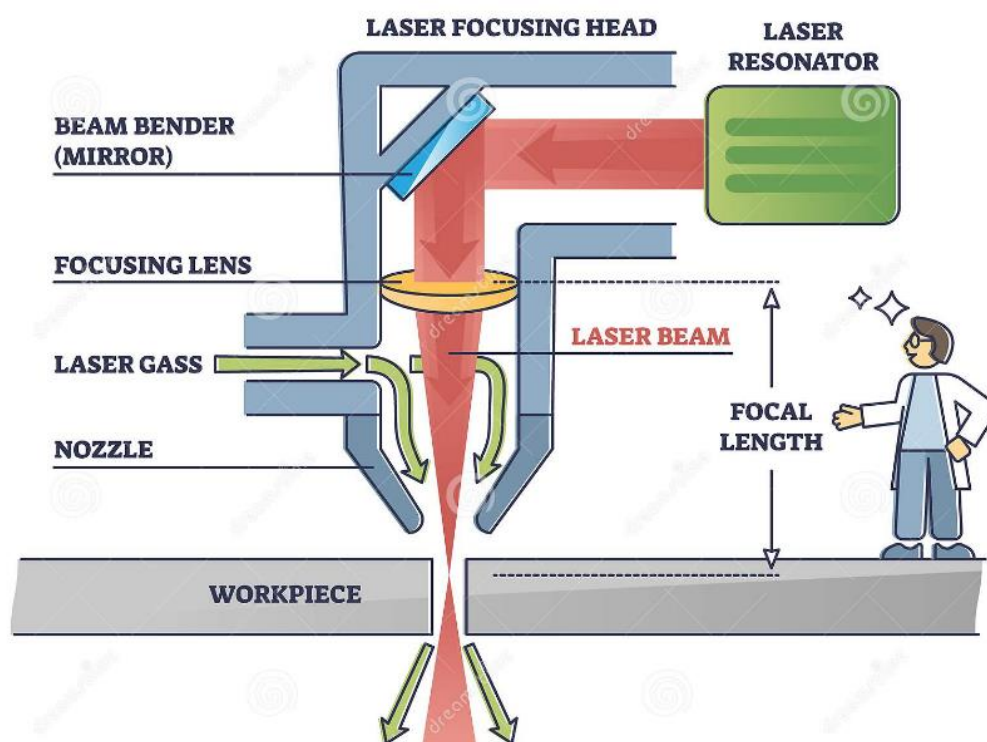


Рисунок 1.1.2 Будова лазера

Синє світло (з довжиною хвилі близько 450-490 нм) зазвичай використовується для регулювання морфогенезу рослин, так як воно може стимулювати проростання стебел та розгалуження, а також сприяти утворенню квітів та плодів.

Зелене світло (з довжиною хвилі близько 510-530 нм) зазвичай використовується для зменшення стресу в рослинах та підвищення їх життєздатності, оскільки воно може сприяти зменшенню рівня окислювального стресу та впливати на фотосинтетичну активність [22].

Технологія, відома як лазерна біостимуляція, використовується для збільшення врожайності, поліпшення якості плодів та овочів, збільшення вмісту хлорофілу в листках рослин та зменшення впливу абіотичних стресорів, таких як посуха чи холод [37].



Під час лазерної біостимуляції насіння спричинюється збільшенням кількості енергії в клітинах насіння. Дослідження показали, що лазерна біостимуляція може підвищити ріст насіння, зокрема у різних культурах, таких як пшениця, горох, соя та інші. Крім того, лазерна біостимуляція може підвищити життєздатність насіння та зменшити час проростання насіння.

Також технологію лазерного опромінення рослин використовується в багатьох галузях, пов'язаних з рослинним виробництвом і агрокультурами [26].

Наприклад, лазерні технології використовують для:

1. захисту рослин від шкідників та хвороб, зниження використання хімічних препаратів;
2. підвищення стійкості рослин до негативних факторів зовнішнього середовища, наприклад, до посухи, заморозків та інших стресових умов;
3. відновлення лісів та лісонасаджень, оскільки лазер може допомогти прискорити проростання насіння та збільшити виживаність молодих рослин;
4. збільшення терміну зберігання продуктів, таких як фрукти та овочі, завдяки зниженню швидкості розкладу їх тканин.

Крім того, лазерні технології використовують в наукових дослідженнях для вивчення ростових процесів рослин та їх взаємодії з оточуючим середовищем [42].

На основі проведеного аналізу джерел можна зробити висновок, що питання впливу лазерного опромінення на мікрозелень є недостатньо вивченим. Дослідження, проведені в різних країнах, показують, що лазерне опромінення може мати позитивний вплив на ріст і розвиток мікрозелені, але точні параметри опромінення, які забезпечать максимальний ефект, ще не визначені.

Одним з недостатньо вивчених питань є вплив довжини хвилі лазерного світла на мікрозелень. Дослідження показали, що червоне світло найбільш ефективно стимулює фотосинтез і ріст мікрозелені, але синьо-зелене світло може також мати позитивний вплив на якість мікрозелені.

Лазерне опромінення вважається новою технологією в сільському господарстві, проте успіх опромінення залежить від вибору точних параметрів

джерела світла та експозиції. Представники Японії, Китаю, США, Німеччини та Ізраїлю, які є лідерами в дослідженнях та розробках лазерних технологій для рослинництва, вважають, що лазерне опромінення може бути ефективним для стимулювання фотосинтезу та проростання рослин, а також для регулювання морфогенезу рослин.

В Україні дослідження впливу лазерного опромінення на мікрозелень ще тільки починаються. Однак, дослідники вважають, що лазерні технології можуть бути перспективними для тепличного господарства України, яке характеризується переважанням плівкових теплиць фермерського та присадибного типу. В Україні є можливість створення лазерних систем у так званих тепличних господарствах, де вирощують мікрозелень [12]. В той же час як в більшість країн провідних світових постачальників овочевої продукції перевага надається великим тепличним комплексам з високим рівнем механізації та автоматизації всіх виробничих процесів. На якість вирощування мікрозелені овочевих культур в плівкових теплицях значно впливають фактори кліматозабезпечення, одним з яких є освітлення [5]. За низького рівня або невідповідності спектральної характеристики освітленості мікрозелень витягується, стебла стоншуються, а листи стають дрібними. Тому метою цієї роботи є дослідження впливу лазерного опромінення на насіння мікрозелені, щоб дійсно зрозуміти чи є місце лазерним технологіям у тепличних господарствах.



## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

#### 2.1 Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження був вплив комплексного опромінення насіння мікрозелені «цибулі-шніт» (*Allium schoenoprasum* L.) та «моркви» (*Dracus carota* ssp. *sativus*) когерентним монохроматичним світлом з довжиною хвилі 635 та 405 нм. на ростові параметри.

##### 2.1.1 Біологічна характеристика мікрозелені цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum* L.)

Цибуля-шніт (*Allium schoenoprasum* L.) належить до класу однодольних рослин (*Liliopsida*), родини цибулевих (*Alliaceae*), роду цибуля (*Allium*).

Мікрозелень цибулі-шніт походять від цибулі шніт (*Allium schoenoprasum*). Цибуля-шніт є багаторічною рослиною і відома своїми тонкими, цибулькоподібними стеблами та зеленими листками, які мають приємний цибульний смак і аромат (рис. 2.1.1). Ця рослина є важливою частиною багатьох кулінарних страв, особливо в східноазіатській і південноазіатській кухні [16].

Насіння цибулі має темний колір, а пагін росте з насінневою оболонкою. Мікрозелень цибулі на смак дуже схожа на дорослу цибулину, але м'якша [17].

Вирощують на різних субстратах, в основному на ґрунті, який багатий на поживні речовини. Коли мікрозелень заповнює приблизно 80% просіяної площі, настає час, коли потрібно мікрозелень перенести із темряви в місце зі світлом і вільним потоком повітря. Головне правило, це світло, від якого залежить більша частина ростового процесу – світло має бути м'яким, воно посилює ріст у висхідній траєкторії та має вплив на смак. Прямі сонячні промені можуть мати негативний вплив на самі паростки [21].



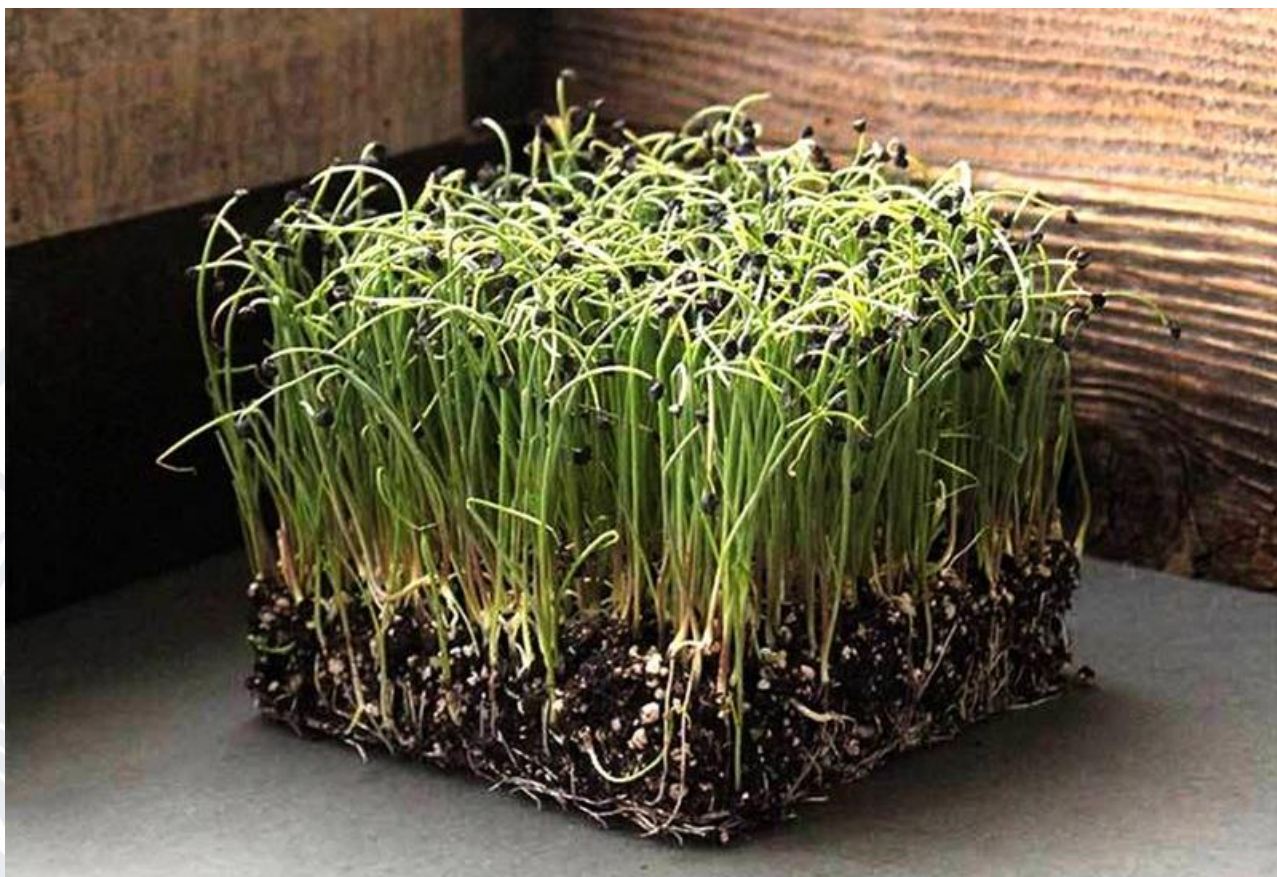


Рисунок 2.1.1 Мікрозелень цибуля-шніт на їстівній стадії

Також мікрозелені властива цвіль, тому важливим є полив. Одним із способів швидкого розвитку цвілі є те, що мікрозелень залишається вологою на стеблах і листках. Мікрозелень цибулі виростає за 10-12 днів. Як тільки стебла починають падати, це знак до збору врожаю [21].

Цибуля шніт - це універсальна рослина, яка має широкий спектр застосування. Вона є смачним і корисним інгредієнтом, який можна використовувати в кулінарії, а також для декоративних цілей.

Цибуля шніт (*Allium schoenoprasum*) - це багаторічна трав'яниста рослина, яка є одним з найдавніших культурних рослин. Вона походить з північних регіонів Євразії та Північної Америки. Цибуля шніт була відома ще стародавнім грекам та римлянам. У Стародавній Греції її використовували як приправу до страв, а також як лікарську рослину. У Стародавньому Римі цибулю шніт також використовували в кулінарії, а також у парфумерії.

У середньовічній Європі цибуля шніт була широко поширена. Її використовували в кулінарії, а також як лікарську рослину. У цей період цибулю шніт також почали вирощувати в садах і городах. У XVIII столітті цибуля шніт стала популярною в Європі як декоративна рослина. Її вирощували в садах і парках для прикраси клумб і бордюрів. У XIX столітті цибуля шніт була завезена до Америки. Вона швидко поширилася по всій країні і стала популярним інгредієнтом у кулінарії.

Сьогодні цибуля шніт є популярною рослиною в усьому світі. Її вирощують як для використання в кулінарії, так і для декоративних цілей. У молодих паростках містяться вітаміни А, В, С, Е, мінерали та багато іншого. Вони корисні для здоров'я шкіри, очей, кісток, сприяють відновленню та розвитку тіла, правильній роботі різних функцій організму та багато іншого. У цибулі містяться ефірні олії, які мають протівірусну дію [6].

Цибуля шніт має ряд корисних властивостей:

- Покращує травлення;
- Зміцнює імунітет;
- Знижує ризик розвитку серцево-судинних захворювань;
- Має протизапальні та антиоксидантні властивості.
- Є цінним джерелом вітамінів і мінералів
- Вітамін А необхідний для зору, імунної системи та здоров'я шкіри.
- Вітамін С є потужним антиоксидантом, який допомагає захистити організм від пошкоджень.
- Вітамін К необхідний для згортання крові та здоров'я кісток.
- Фолієва кислота необхідна для здоров'я вагітних жінок та розвитку плода.
- Залізо необхідний для транспортування кисню в організмі.
- Калій необхідний для регуляції кров'яного тиску та серцевого ритму.



Підсумовуючи інформацію про цибулю шніт, можна сказати, що це корисна і універсальна рослина, яка має широкий спектр застосування. Вона є смачним і ароматним інгредієнтом, який можна використовувати в кулінарії, а також має ряд корисних властивостей, таких як покращення травлення, зміцнення імунітету, зниження ризику розвитку серцево-судинних захворювань, протизапальні та антиоксидантні властивості.

### 2.1.2 Біологічна характеристика мікрозелені моркви (*Daucus carota*)

**Морква (*Daucus carota*)** належить до класу дводольних рослин (Magnoliopsida), родини окружкові (Apiaceae), роду морква (*Daucus*).

Мікрозелень моркви - це молоді росточки моркви, які вирощуються з насіння цієї рослини. Вони відрізняються від дорослих морквяних коренів тим, що збираються на стадії, коли рослини мають всього кілька сантиметрів заввишки та мають ніжні, зелені листочки. Молоді росточки моркви мають зелений колір листочків, і вони можуть мати легкий оранжевий або фіолетовий відтінок на кінчиках. Форма мікрозелені моркви подібна до листя рослини, і вони мають ніжні стебла та листя (рис. 2.1.2).



Рисунок 2.1.2 Мікрозелень морквам на їстівній стадії



Насіння моркви розсівають на підготовлену підкладку або в контейнер, і росточки виростають протягом 10-14 днів. Вони потребують світла, вологи та оптимальної температури для росту.

Морква (*Daucus carota*) є однією з найбільш відомих і вживаних овочевих культур у світі. Вона є частиною сімейства Umbelliferae (Apiaceae) і є нащадком дикорослої моркви, яка походить з південної Європи та південно-західної Азії. Дикорослу моркву вже вирощували в Середньому Сході і регіонах, що оточують Середземномор'я близько 3000 років тому.

Морква почала вирощуватися для споживання в їжу на великому рівні та з появою спеціальних сортів і гібридів лише у середині 19-го століття. До цього моменту моркву вирощували в основному як лікарську рослину і для корму тваринам.

У 2020 році найбільшими виробниками моркви в Європі були Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії (799 715 тонн) і Польща (689 100 тонн). В Азії основними виробниками були Індонезія (675 760 тонн) і Японія (601 016 тонн) [24].

Щодо насіння мікрозелені моркви, то це є відносно новий тренд в галузі кулінарії та садівництва, і точна історія виникнення цього підходу менш документована. Він став популярним у 21 столітті, коли вирощування мікрозелені різних рослин стало популярним як спосіб отримання смачних, харчово цінних листочків для використання в кулінарії. Насіння мікрозелені моркви, ймовірно, виникло як частина цього більшого тренду, і воно вирощується для отримання молодих, смачних листочків, які додають смак і декоративність різним стравам [23].

Морква має високий вміст  $\beta$ -каротину, провітаміну А та вітаміну С. Це сприяє оздоровчим ефектами, включаючи регуляцію метаболічних параметрів (рівень глюкози, ліпідний профіль і артеріальний тиск), антиоксидантний потенціал, пребіотична функція та протиракові властивості [24]. Кількість каротиноїдів у моркві, в тому числі лютеїну і лікопіну, і їх взаємне

співвідношення визначає колір стиглого овоча. Чим більше їх вміст, тим інтенсивніше колір.

Якщо розглядати більш глибоко на оздоровчий вплив моркви, то вона в свою чергу впливає на роботу шлунково-кишкового тракту та систему жіночих статевих органів (на зір не впливає, є лише джерелом корисних компонентів) [24].

Отже, морква це відносно новий тренд в галузі кулінарії та садівництва, але він швидко набирає популярності. Вона теж має корисні властивості, зокрема є цінним джерелом  $\beta$ -каротину, провітаміну А та вітаміну С.

## **2.2 Методи дослідження**

Нами досліджувався вплив опромінення насіння когерентними монохроматичними променями червоного (довжина хвилі 635 нм) та синього (405 нм) спектру на ростові показники. Експеримент проводився в лабораторії кафедри ботаніки та екології Донецького національного університету імені Василя Стуса.

Опромінення проводили за допомогою системи LED лазерів (Рис. 2.2.1) потужністю 100 мВт/см<sup>2</sup>, режим опромінення передбачав опромінення насіння як окремими лазерами так і комплексну дію.

Опромінення проводилося протягом 5 сек. та 10 сек., що відповідало енергії опромінення 25,05 мДж/см<sup>2</sup> та 51,1 мДж/см<sup>2</sup> відповідно. Опромінення проводилось за схемою повного факторного експерименту (Табл. 2.2.1). Контролем слугували рослини, вирощені з насіння, які не піддавалися опроміненню (Контроль), але в таких самих умовах як і інші дослідні рослини.





Рисунок 2.2.1 Система установки LED лазерів

Таблиця 2.2.1 – Схема опромінення насіння квасолі LED лазерами

Варіант дослідю	Термін опромінення, с.	
	Червоний лазер (635 нм)	Синій лазер (405 нм)
Контроль	—	—
1	5	—
2	10	—
3	—	5
4	5	5
5	10	5

Продовження таблиці 2.2.1

6	-	10
7	5	10
8	10	10

Потужність опромінення становила 100 мВт/см<sup>2</sup>. Вирощування проводили за температурою 23-27°C. Для визначення в одній ємкості з субстратом розміщували по 10 опромінених насінин - для кожного варіанту по 3 ємкості (всього у варіанті було 30 насінин).

Для визначення ростових показників проросле насіння висаджувалось у субстрат. Були використані три варіанта субстратів для посадки:

1. лляні килимки
2. ґрунт
3. кокосове волокно (з додаванням целюлозного волокна).

Вирощування продовжувалося протягом 27 днів за температури 23-26°C природного освітлення і 70-75 % вологості. Після досягнення рослинами 27-ти денного періоду вирощування у рослин вимірювали довжину пагону та кореня. Вміст вітаміну С визначали після вимірювань, за методом кількісного визначення вмісту вітаміну С за Тільмансом:

1. Зважити 1 г рослинного матеріалу, ретельно розтерти його в фарфоровій ступці зі скляним піском.
2. До розтертої маси додати 9 мл 2% розчину соляної кислоти та відстояти. Через 10 хв вміст перемішати та відфільтрувати.
3. Для кількісного визначення взяти 3 мл фільтрату, помістити його в конічну колбу та титрувати розчином натрієвої солі 2,6-дихлорфеноліндофенолу до появи рожевого забарвлення, що не зникає впродовж 30 с 1 мл 0,0005 моль/л розчину натрієвої солі 2,6-дихлорфеноліндофенолу відповідає 0,088 мг аскорбінової кислоти.



4. Масову частку аскорбінової кислоти  $x$  (С) (у %) розрахувати за формулою:

$$x = \frac{E \cdot V \cdot V_0}{V_1 \cdot n},$$

де:

$x$  – вміст аскорбінової кислоти, %;

$E$  – маса аскорбінової кислоти (0,088 мг), яка еквівалентна 1 мл 0,0005 моль/л розчину натрієвої солі 2,6-дихлорфеноліндофенолу;

$V$  – об'єм 0,0005 моль/л розчину натрієвої солі 2,6-дихлорфеноліндофенолу, витраченого на титрування, мл;

$V_0$  – загальний об'єм екстракту, мл;

$V_1$  – об'єм екстракту, взятого для титрування, мл;

$n$  – маса рослинної наважки, мг.

З отриманими результатами була проведена статистична обробка за методом двофакторного дисперсійного аналізу. Порівняння середніх значень здійснювалося за методами множинних порівнянь з контролем (метод Данетта). Статистична обробка проводилася за допомогою пакетів статистичних програм, створених на кафедрі фізіології та біохімії рослин Донецького національного університету імені Василя Стуса.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Обговорення результатів

Згідно з результатами дослідження, застосування лазерного опромінення сприятливо вплинуло на дозрівання і розвиток шніт-цибулі та моркви, а опрацьована методика показала як позитивні, так і негативні результати. Для досліду ми відбирали 3 ємкості, в яких було по 30 насінин цибулі-шніт і моркви. Після чого опрацьовували методику щодо визначення вмісту вітаміну С за Тільмансом.

У дослідженні було використано три різні субстрати для вирощування мікрозелені цибулі шніт і моркви:

1. Ляні килимки - популярний субстрат, який використовують на масштабному виробництві і в домашніх умовах.
2. Грунт з рН 7.
3. Кокосовий і целюлозний волокна (рис.3.1.1).



Рис.3.1.1 Варіанти субстратів (зліва на фото – лляний килимок, посередині – грунт, справа на фото – кокосовий і целюлозний волокна)



Ляні килимки були використані першими. Однак, у цьому варіанті дослідження не вдалося отримати результати, оскільки насіння не проросло. Це може бути пов'язано з тим, що ляні килимки мають низьку повітропроникність і водопроникність, що може негативно впливати на проростання насіння.

Ґрунт був використаний другим. У цьому варіанті дослідження вдалося отримати результати, які показали, що опромінення лазером сприяє росту і розвитку мікрозелені цибулі шніт і моркви.

Насіння було висаджене 31 травня, тому перше проростання відмітилось у насінні цибулі – 5 червня, а насіння моркви – 7 червня. Після досягнення максимального росту у всіх рослин вимірювали довжину пагону та кореня (рис. 3.1.2).



Рисунок 3.1.2 Зразок рослин усіх варіантів перед дослідженням

Також в період вирощування мікрозелені проводили фенологічні спостереження: відмічались дати проростання насіння та кількість пророслих насінин на 3, 5, 7 та 8 день після.

Кокосовий субстрат був використаний третім. У цьому варіанті дослідження не вдалося отримати результати, оскільки насіння проросло, але потім зупинилося в рості і загинуло. Це може бути пов'язано з різними факторами, такими як невідповідність рН субстрату, недостатня вологість або температура, а також наявність шкідників або хвороб.

Можна зробити наступне припущення, що для вирощування мікрозелені цибулі шніт і моркви найбільш ефективним субстратом є ґрунт. Кокосовий субстрат та лляні килимки можуть бути використані для вирощування мікрозелені, але необхідно враховувати всі фактори, які можуть впливати на ріст і розвиток рослин. З огляду на інші дослідження, кокосовий субстрат є ефективнішим субстратом для вирощування, оскільки він має хороший баланс поживних речовин і вологи. [15]

Одним з можливих пояснень невдалого проростання мікрозелені на кокосовому субстраті може бути невідповідність рН субстрату. Кокосовий субстрат має рН 5,5-6,5, що є нижчим за оптимальний рН для вирощування мікрозелені цибулі шніт і моркви (рН 6,5-7,5).

Іншим можливим поясненням може бути недостатня вологість субстрату. Кокосовий субстрат має високу водопроникність, тому він може швидко пересихати. Для вирощування мікрозелені необхідно підтримувати вологість субстрату на рівні 70-80%.

### **3.2 Вплив опромінення лазером на ріст та розвиток мікрозелені цибулі шніт**

За фенологічними спостереженнями, на 3 день проростання насіння цибулі шніт не спостерігалось. На 5 день почали проростати перші насінини у всіх варіантах та у контролі.

Дослідження впливу лазерного опромінення на час проростання насіння цибулі шніт показало, що опромінення не впливає на цей показник. Кількість пророслих насінин у контрольній групі та в варіантах з опроміненням лазером була приблизно однаковою.

Найбільшу схожість на 5 день продемонстрував контрольний варіант (33% схожості), а на 7 день - 3-й варіант, 60 % схожості (5 секунд синім світлом) (табл.3.2.1).



Таблиця 3.2.1 – Вплив лазерного опромінення на проростання насінин цибулі шніт

№ варіанту	Дні проростання		
	3-й день	5-й день	7-й день
Контроль	-	10	16
1	-	4	14
2	-	4	9
3	-	4	18
4	-	4	11
5	-	6	10
6	-	3	13
7	-	3	10
8	-	9	14

Загальна схожість насінин становить 72 %. Дані показники з проростання насінин свідчать про те, що синій колір лазерного світла може сприяти більш ранньому проростанню насіння цибулі шніт. Однак, для підтвердження цього висновку необхідні додаткові дослідження.

Опромінення лазером позитивно вплинуло на ріст і розвиток цибулі шніт. У рослин, які були опромінені лазером, спостерігалось більш активне зростання надземної частини. Таким чином результатами вимірювання для цибулі-шніт були наступними:

На підвищення стебла найкраще вплинуло опромінення 5 секундами червоним лазером на 1,04 см або на 110% (варіант 1) порівняно з контролем (100%). Опромінення 5 секундами синім лазером підвищило висоту стебла на 1,08 см або на 111% (варіант 3) порівняно з контролем. Опромінення 10 секундами червоним і 5 секундами синім лазерами підвищило висоту стебла на

1,07 см або на 110% (варіант 5) порівняно з контролем (100%). Опромінення 10 секундами синім лазером підвищило висоту стебла на 0,69 см або на 106% (варіант 6) порівняно з контролем. Опромінення 5 секундами червоним і 10 секундами синім лазерами підвищило висоту стебла на 0,67 см або на 106% (варіант 7) порівняно з контролем (100%). Опромінення 10 секундами червоним і синім лазерами підвищило висоту стебла на 1,77 см або на 118% (варіант 8) порівняно з контролем (табл.3.2.2).

Таблиця 3.2.2 – Вплив лазерного опромінення насіння цибулі-шніт на довжину надземної частини

№ варіанту	Надземна частина, см			
	$M \pm m$	D	$D^D$	% до контролю
Контроль	9,88±1,04	-	-	100
1	10,92±0,92	1,04	2,34	110
2	9,25±0,91	-0,63	2,54	94
3	10,96±0,98	1,08	2,37	111
4	8,66±1,22	-1,21	2,71	88
5	10,95±0,97	1,07	2,58	110
6	10,57±0,80	0,69	2,50	106
7	10,55±0,82	0,66	2,54	107
8	11,65±1,10	1,77	2,50	118

У статистиці для визначення того, чи існує статистично значуща різниця між середніми значеннями двох груп, використовують критерій різниці D. Якщо значення D більше критичного значення  $D^D$ , то можна вважати, що різниця між середніми значеннями існує. За даними таблиці 3.2.2, у всіх випадках  $D < D^D$ , тому впливу на виживаність не спостерігається.



Дослідження впливу лазерного опромінення на довжину кореня моркви показало, що лазерне опромінення може сприяти росту кореня. У контрольному варіанті, в якому насіння моркви не опромінювалося, довжина кореня становила 2,73 см. У всіх інших варіантах, в яких насіння моркви опромінювалося лазером, довжина кореня була більшою і відповідно меншою, ніж у контрольному варіанті.

Найбільший позитивний вплив на довжину кореня моркви мало варіант 7 з опроміненням 5 секундами червоним і 10 синім лазерами. У цьому варіанті довжина кореня становила 3,36 см, що на 0,63 см або на 123% більше, ніж у контрольному варіанті. Опромінення 10 секундами червоним лазером збільшило довжину кореня на 0,46 см або на 116% (варіант 2) порівняно з контролем. Опромінення 5 секундами синім лазером (варіант 3) теж мало позитивний вплив на довжину кореня. У цьому варіанті довжина кореня становила 2,93 см, що на 0,2 см більше або на 107 % порівняно з контролем. Опромінення 5 секундами червоним і синім лазерами одночасно збільшило довжину кореня на 0,45 см або на 116% (варіант 4) порівняно з контролем. Опромінення 10 секундами червоним і синім лазерами збільшило довжину кореня на 0,21 см або на 107% (варіант 8) порівняно з контролем (табл. 3.2.3).

Таблиця 3.2.3 – Вплив лазерного опромінення насіння цибулі-шніт на довжину кореня

№ варіанту	Довжина кореня, см			
	$M \pm m$	D	D <sup>D</sup>	% до контролю
Контроль	2,73±0,33	-	-	100
1	3,07±0,45	0,33	0,71	112
2	3,19±0,44	0,45	0,77	116
3	2,93±0,19	0,19	0,72	107

Продовження таблиці 3.2.3

4	3,18±0,44	0,44	0,82	116
5	2,67±0,06	-0,06	0,78	98
6	2,54±0,19	-0,19	0,76	93
7	3,36±0,62	0,62	0,77	123
8	2,94±0,20	0,20	0,76	107

Мінімальна довжина кореня, яка була отримана в результаті лазерного опромінення, становила 2,54 см (варіант 6). Це означає, що довший час опромінення синім лазером може призвести до зменшення довжини кореня. Максимальна довжина кореня, яка була отримана в результаті лазерного опромінення, становила 3,36 см (варіант 7). Це означає, що комплексне опромінення червоним та синім лазерами можуть призвести до найбільшого збільшення довжини кореня. За підрахунками різниці між середніми значеннями, дана таблиця 3.2.3 демонструє, що  $D < D^D$ , а отже результати є не вірогідними.

Аналізуючи дані дослідження, найкращі результати щодо росту надземної частини показують варіанти 8 (опромінення 10 секундами червоним і синім лазерами) та кореню 7 варіант (опромінення 5 секундами червоним і 10 секундами синім лазерами). Найгірші результати встановлено у 4 варіанті (опромінення 5 секундами червоним і синім лазерами) з показником меншим на 1,22 см порівняно з контролем.

Щодо довжини кореню, то 6 варіант встановив найгірший результат (опромінення 10 секундами синім лазером) з показником меншим на 0,19 см порівняно з контролем.

Ці результати узгоджуються з результатами інших досліджень, які показали, що лазерне опромінення може стимулювати ріст рослин. У дослідженні, проведеному на кафедрі ботаніки та екології ДонНУ ім. В. Стуса,



було встановлено, що комплексна дія лазерів синього та червоного кольорів найкраще впливає на ростові показники рослин [4].

### 3.3 Вплив опромінення лазером на ріст і розвиток моркви

У ході фенологічних спостережень за проростанням насіння моркви було встановлено, що на 3 і 5 день після посіву насіння не проросло. На 7 день у всіх варіантах були вже перші проростки.

Результати фенологічних спостережень свідчать про те, що опромінення лазером не впливає на час проростання насіння моркви. У всіх варіантах насіння проросло на 7 день після посіву. Однак, кількість пророслих насінин у контрольній групі була вищою, ніж у варіантах з опроміненням лазером. Зокрема, у контрольній групі проросло 13 насінин, а в варіантах з опроміненням лазером - від 4 до 10 насінин (табл.3.3.1). Слід зазначити, що морква у порівнянні з цибулею шніт проростає пізніше за своєю специфікою. Якщо говорити про 9-й день проростання, то відсоток схожості збільшився, але результати стосовно загальної кількості пророслих насінин у порівнянні з контрольним варіантом не змінилось. Якщо у контролі проросло 25 насінин, то у всіх варіантах – вже від 10 до 23 насінин (з-поміж цих варіантів лідирував 2 варіант з опроміненням 10 секунд червоним лазером).

Таблиця 3.3.1 – Вплив лазерного опромінення на проростання насінин моркви

№ варіанту	Дні проростання		
	3-й день	5-й день	7-й день
Контроль	-	-	13
1	-	-	8
2	-	-	10
3	-	-	9

Продовження таблиці 3.3.1

4	-	-	8
5	-	-	6
6	-	-	4
7	-	-	7
8	-	-	4

Аналізуючи ці дані, можна сказати, що відсоток схожості на 7-й день проростання коливався в межах від 13% до 43%, а загальний показник схожості становив 60%. Це свідчить про те, що опромінення лазером може негативно впливати на схожість насіння моркви.

У ході експерименту було встановлено, що опромінення моркви лазером впливає на висоту її стебла. У контрольному варіанті висота стебла становила 7,53 см. Найкращі результати продемонстрував варіант 1, в якому насіння моркви опромінювалось червоним лазером протягом 5 секунд, висоту стебла підвищило на 1,9 см, що на 125% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 3, в якому насіння моркви опромінювалось синім лазером протягом 5 секунд, висота стебла збільшилась на 1,32 см, що на 117% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 4, в якому насіння моркви опромінювалось червоним та синім лазерами протягом 5 секунд, висота стебла збільшилась на 0,1 см, що на 101% більше, ніж у контрольному варіанті (табл.3.3.2).

Таблиця 3.3.2 - Вплив лазерного опромінення насіння моркви на довжину надземної частини

№ варіанту	Надземна частина, см			
	$M \pm m$	D	D <sup>D</sup>	% до контролю
Контроль	7,53±0,75	-	-	100
1	9,43±1,07	1,89	1,96	125



Продовження таблиці 3.3.2

2	6,84±0,68	-0,68	1,77	91
3	8,85±0,88	1,32	2,10	117
4	7,63±0,76	0,10	1,81	101
5	7,38±0,74	-0,14	1,89	98
6	7,32±0,73	-0,20	2,16	97
7	7,59±0,76	0,06	1,93	101
8	6,57±0,66	-0,96	1,93	87

Таким чином, опромінення моркви лазером призвело до значного збільшення висоти її стебла. Якщо  $D > D^D$ , то різниця між середніми існує, а отже і вплив є вірогідним. За даною таблицею 3.3.2 ці результати є не вірогідними.

Дослідження впливу лазерного опромінення на довжину кореня моркви показало, що опромінення має негативний вплив на розвиток кореневої системи рослини. У контрольному варіанті, в якому насіння моркви не опромінювалося, довжина кореня становила 5,71 см. У всіх інших варіантах, в яких насіння моркви опромінювалося лазером, довжина кореня була меншою, ніж у контрольному варіанті.

Найбільший вплив на довжину кореня моркви, порівнюючи з усіма іншими варіантами, мало опромінення червоним лазером протягом 5 секунд (варіант 1). У цьому варіанті довжина кореня становила лише 4,08 см, що на 1,63 см менше, ніж у контрольному варіанті. Опромінення синім лазером також мало негативний вплив на довжину кореня моркви. У варіанті 3 з опроміненням синім лазером протягом 5 секунд довжина кореня становила 3,21 см, що на 2,5 см менше, ніж у контрольному варіанті. Опромінення червоним і синім лазерами одночасно також мало негативний вплив на довжину кореня моркви. У варіанті 4 з опроміненням червоним і синім лазерами протягом 5 секунд довжина кореня становила 3,86 см, що на 1,85 см менше, ніж у контрольному

варіанті. Найгірший показник встановлено у варіанті 8, в якому насіння опромінювалось 10 секундами червоним і синім лазерами, а довжина кореня становила 2,73 см, що на 2,98 см менше, ніж у контрольному варіанті.

Розглядаючи результати довжини кореню у моркви, опромінення дає негативний вплив (табл. 3.3.3), що за методом порівняння Даннета усі результати є вірогідними.

Таблиця 3.3.3 – Вплив лазерного опромінення насіння моркви на довжину кореня

№ варіанту	Довжина кореня, см			
	M±m	D	D <sup>D</sup>	% до контролю
Контроль	5,71±0,97	-	-	100
1	4,08±0,88	-1,62	0,97	71
2	3,31±0,77	-2,39	0,88	58
3	3,21±0,74	-2,49	1,04	56
4	3,86±0,86	-1,84	0,90	68
5	3,36±0,77	-2,35	0,94	59
6	3,28±0,75	-2,42	1,07	57
7	3,17±0,73	-2,54	0,96	56
8	2,73±0,70	-2,97	0,96	48

Отримані результати свідчать про те, що лазерне опромінення може негативно впливати на розвиток кореневої системи моркви. Однак, для отримання більш достовірних результатів необхідні додаткові дослідження з використанням більшої кількості рослин.

Підсумовуючи усі результати ростових параметрів, найкращі результати щодо росту надземної частини показують варіанти 1 (опромінення 5 секундами червоним лазером) і 3 (опромінення 5 секундами синім лазером).



Найгірші результати щодо росту надземної частини дають наступні варіанти:

- 2 варіант (опромінення 10 секундами червоним лазером), де показник висоти стебла складає на 0,69 см менше за контроль.
- 5 варіант (опромінення 10 секундами червоним і 5 секундами синім лазерами) з показником меншим на 0,15 см порівняно з контролем.
- 6 варіант (опромінення 10 секундами синім лазером) з показником менше на 0,21 см порівняно з контролем.

Анти лідером у рості кореню виступає 8 варіант (опромінення 10 секундами червоним і синім лазерами) з показником менше на 0,96 см порівняно з контролем.

Отже, висота стебла моркви, у варіантах які були опромінені лазером, була на 25-125% вищою, ніж у контрольній групі. А на корінь опромінення лазером негативно вплинуло на ріст. Довжина кореня моркви, які були опромінені лазером, була на 10-21% меншою, ніж у контрольній групі.

#### **3.4 Вплив опромінення лазером на вміст аскорбінової кислоти в мікрозелені цибулі шніт і моркви**

Лазерне світло може впливати на вміст аскорбінової кислоти в рослинах різними способами. Одним із можливих механізмів є те, що лазерне світло може активувати ферменти, які беруть участь у синтезі аскорбінової кислоти. Іншим можливим механізмом є те, що лазерне світло може захистити аскорбінову кислоту від руйнування.

Вміст аскорбінової кислоти визначали за методом Тільманса. Цей метод полягає у окисненні аскорбінової кислоти 2,6-дихлорфеноліндофенолом. З кожного варіанту брали 1г рослинної наважки для досліджу.

Дослідження впливу лазерного опромінення на вміст вітаміну С у моркви та цибулі-шніт показало, що лазерне опромінення може мати як позитивний, так і негативний вплив на цей показник.

У моркви лазерне опромінення в цілому мало позитивний вплив на вміст вітаміну С. У контрольному варіанті, в якому насіння не опромінювалося, вміст вітаміну С становив 0,080%. У всіх варіантах з опроміненням вміст вітаміну С був вищим, ніж у контрольному варіанті. Найбільший позитивний вплив на вміст вітаміну С мало опромінення 10 секунд червоним і 10 секунд синім лазерами (варіант 8). У цьому варіанті вміст вітаміну С становив 0,195%, що на 11% більше, ніж у контрольному варіанті. Далі, у варіанті 5, з опроміненням насіння 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами становило 0,148 % вмісту вітаміну С, що на 7 % більше за контрольний варіант. У варіанті 7, з опроміненням насіння 5 секунд червоним і 10 секунд синім лазерами становило 0,170 % вмісту вітаміну С, що на 9 % більше за контрольний варіант (табл.3.4.1).

Таблиця 3.4.1 – Вплив лазерного опромінення насіння цибулі-шніт та моркви на вміст вітаміну С

№ варіанту	Вміст вітаміну С, %	
	Цибуля шніт ( <i>Allium schoenoprasum</i> L.)	Морква ( <i>Dracus carota</i> ssp. <i>Sativus</i> )
Контроль	0,073	0,080
1	0,080	0,134
2	0,053	0,085
3	0,120	0,095
4	0,125	0,140
5	0,041	0,148
6	0,062	0,093
7	0,082	0,170
8	0,081	0,195



Усі інші варіанти показали позитивні результати, але не найкращі, порівнюючи з контролем. Так, у варіанті 1, з опроміненням насіння 5 секунд червоним лазером становило 0,134 % вмісту вітаміну С, що на 5% більше за контрольний варіант. У варіанті 2, з опроміненням насіння 10 секунд червоним лазером становило 0,085 % вмісту вітаміну С, що на 0,5 % більше за контрольний варіант. У варіанті 3, з опроміненням насіння 5 секунд синім лазером становило 0,095 % вмісту вітаміну С, що на 1 % більше за контрольний варіант. У варіанті 4, з опроміненням 5 секунд червоним та синім лазерами становило 0,140 % вмісту вітаміну С, що на 6 % більше за контрольний варіант. У варіанті 6, з опроміненням насіння 10 секунд синім лазером становило 0,093 % вмісту вітаміну С, що на 1 % більше за контрольний варіант.

Щодо цибулі-шніт, були виявлені як позитивні, так і негативні результати. До варіантів з позитивним впливом на вміст вітаміну С у цибулі-шніт відносяться: 2 варіант, з опромінення насіння 10 секунд червоним лазером, що встановило 0,053 % вмісту вітаміну С, це на 2 % менше за контрольний варіант (вміст вітаміну С у контрольному варіанті становило 0,073 %). У варіанті 5, з опроміненням насіння 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами становило 0,041 % вмісту вітаміну С, що на 3 % менше за контрольний варіант. У варіанті 6, з опроміненням 10 секунд синім лазером становило 0,062 %, що на 1 % менше за контрольний варіант.

Позитивний вплив лазерного опромінення насіння встановлено у варіанті 1, з обробкою тривалістю 5 секунд червоним лазером, з вмістом вітаміну С на 0,080 %, що на 1 % більше за контрольний варіант. У варіанті 3, з опроміненням насіння 5 секунд синім лазером становило 0,120 % вмісту вітаміну С, що на 5 % більше за контрольний варіант. У варіанті 4, з опроміненням насіння 5 секунд червоним та синім лазерами становило 0,125 % вмісту вітаміну С, що на 5 % більше за контрольний варіант. У варіанті 7, з опроміненням насіння 5 секунд червоним та 10 секунд синім лазерами становило 0,082 % вмісту вітаміну С, що на 1 % більше за контрольний варіант. У варіанті 8, з опроміненням насіння 10

секунд червоним та синім лазерами становило 0,081 % вмісту вітаміну С, що на 1 % більше за контрольний варіант.

Цибуля шніт - позитивно лазерне опромінення вплинуло на вміст вітаміну С у варіантах 3 (опромінення 5 секундами синім лазером) і 4 (опромінення 5 секундами червоним і синім лазерами). У цих варіантах вміст аскорбінової кислоти був на 5 % вищим, ніж у контрольній групі. У моркви позитивний вплив опромінення лазером виявлено у варіантах 5 (опромінення 10 секундами червоним і 5 секундами синім лазерами), 7 (опромінення 10 секундами червоним і синім лазерами) і 8 (опромінення 10 секундами червоним і синім лазерами). У цих варіантах вміст аскорбінової кислоти був на 9-11% вищим, ніж у контрольній групі.

На основі досліджень, проведених на цибулі-шніт і моркви, можна зробити висновок, що комплексна дія червоного (635 нм) та синього (405 нм) лазерів є більш ефективним для підвищення вмісту аскорбінової кислоти, ніж окрема обробка червоним чи синім лазерним світло. Це може бути пов'язано з тим, що синє світло лазера може більш ефективно захищати аскорбінову кислоту від руйнування, а червоне світло лазера може стимулювати синтез вітаміну С у рослинах. Як відомо, червоне світло поглинається хлорофілом, який є основним пігментом, відповідальним за фотосинтез. Фотосинтез є процесом, у якому рослини використовують світло для виробництва енергії та органічних речовин, таких як цукор і вітамін С.

Однак необхідні додаткові дослідження, щоб чітко зрозуміти, як саме лазерне світло впливає на вміст аскорбінової кислоти в рослинах. Також враховуючи отримані результати можна рекомендувати використовувати лазерне опромінення для підвищення вмісту вітаміну С у цибулі-шніт і моркви, але з врахуванням на те, що опромінення лазером може негативно впливати на ріст і розвиток.



## ВИСНОВКИ

Проведені дослідження щодо лазерного опромінення насіння мікрозелені цибулі-шніт (*Allium schoenoprasum* L.) та моркви (*Dracus carota* ssp. *sativus*) дозволяють зробити наступні висновки:

1. Опромінення лазером є ефективним методом для підвищення продуктивності та якості мікрозелені цибулі шніт. Опромінення лазером позитивно вплинуло на ріст і розвиток надземної частини рослин, а також на вміст аскорбінової кислоти. Опромінення лазером може також бути використано для підвищення якості моркви, але для цього необхідно оптимізувати режим опромінення.

2. Для максимально простого виконання посадки та пророщення насінин потрібно провести додаткові дослідження щодо субстратів, таких як лляні килимки та кокосовий субстрат, оскільки посадка насінин у ґрунт надала можливість провести дослідження та висновки.

3. З усіх результатів найкращий вплив демонструє комплексна дія лазерів (синього і червоного) на ростові параметри та вмісту вітаміну С, але негативно демонструє дворазове (10 с) лазерне опромінення окремо червоного і синього лазерів.

4. У моркви лазерне опромінення дало негативний результат на довжину кореню в усіх варіантах, тому слід надалі вивчати і досліджувати вплив лазерів щодо росту коренів, а також досліджувати найкращі умови для вирощування мікрозелені.

5. Загальний показник для цибулі-шніт щодо процесу росту прискорюється на 105%, а для моркви – на 102%.

6. З отриманих результатів вмісту вітаміну С для цибулі шніт лазерне опромінення підвищує показник на 166%, а для моркви – на 109%. У цибулі-шніт показує значно ефективніший вплив лазерів на вміст вітаміну С, ніж у моркви. Найкращі результати встановлені під впливом комплексної дії синього та червоного світла лазерів.

Узагальнюючи вище перераховані тези, на цибулю-шніт опромінення когерентними монохроматичними променями діє позитивніше, ніж на моркву, що є підставою для подальшого вивчення та дослідження цього впливу, оскільки результати є вірогідними, та не дають 100% висновку.

Для отримання більш чітких висновків про вплив лазерного опромінення на ріст і розвиток мікрозелені необхідно провести додаткові дослідження, в яких будуть порівняні результати цього дослідження з результатами інших досліджень, а також будуть досліджені інші якості та параметри рослин.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Горач О.О. Аналіз споживчих властивостей мікрозелені та переваги застосування у харчуванні. Таврійський науковий вісник № 5. С 10-15.
2. Горач О.О., Резвих Н.І. Споживчі властивості мікрозелені та особливості застосування у харчовій промисловості. Вісник Хмельницького національного університету: №5, 2021 (301). С 14-15.
3. Клочанюк В.В., Приседський Ю. Г. Вплив LED лазерного опромінення на проростання насіння деяких видів лікарських рослин. The Ist International scientific and practical conference «Topical aspects of modern science and practice» Frankfurt am Main, 2020. pp 51–56.
4. Карпінська О. С., Приседський Ю. Г. Вплив лазерного опромінення насіння на ріст сої (glucine max). Матеріали VI Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених – Вінниця, 2020. С. 93.
5. Ковальов М.М. Вплив параметрів кліматозабезпечення на вирощування мікрозелені в умовах плівкової теплиці // Таврійський науковий вісник № 126. С 155.
6. Культура цибуля шніт (особливості вирощування та зберігання) [Електронний ресурс] URL: <https://agrarii-razom.com.ua/culture/cibulya-shnit>
7. Кучер В. В., Шаповалова А. І., Пісаренко В. І. Овочівництво. Навчальний посібник. – Київ: НУБіП України, 2019. С 256.
8. Приседський Ю. Г. Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів: Навчальний посібник. Донецьк: ДонНУ, 2005. С 75.
9. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів: Навчальний посібник. Донецьк: Кассіопея, 1999. С 210.
10. Рудь В.П. Ринок зеленних овочевих культур в Україні. Інтелект XXI № 4' 2021. С 24.
11. Стасик О.О., Кірізій Д.А., Прядкіна Г.О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. Фізіологія рослин і генетика. 2021. 53, № 2. С 160-184.

12. Українські перспективи тепличного господарства. Економічний гектар, 2019. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/13846-ukrainski-perspektyvy-teplychnoho-hospodarstva.html>
13. Улянич О.І., Ваховська А.В. Мікрозелень, як перспективний напрямок овочівництва / МАТЕРІАЛИ V Міжнародної науково-практичної конференції (у рамках VI наукового форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2021», 11 березня 2021 р., с. Крути, Чернігівська обл.), Крути – 2021. Том 4 – С 147-148.
14. Alzahrani A.M., Rady M.A., Belal A.A. Laser irradiation effects at different wavelengths on phenology and yield components of pretreated maize seed. Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 3, P. 1189.
15. Bulgari Roberta , Marco Negri, Piero Santoro and Antonio Ferrante. Quality Evaluation of Indoor-Grown Microgreens Cultivated on Three Different Substrates. Horticulturae 2021, 7, 96. doi:10.3390/horticulturae7050096
16. Burns Jennifer and Burns Gil. Growing Onion Microgreens and Leeks Too // Home Microgreens, 2023. pp 11-20.
17. Buy Agricultural, Kitchen Garden Seeds Online in India @Best Price | Urja Seeds. [Електронний ресурс] URL: <https://urjaseeds.com/products/onion-microgreens#:~:text=Onion%20seeds%20are%20dark%20in,weeks%20until%20you%20can%20harvest.>
18. Domínguez-Perles, Mena, Garcia-Viguera, & Moreno. Brassica Foods as a Dietary Source of Vitamin C: A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition Volume 54, 2014 - Issue 8. Pages 1076-1091. DOI:10.1080/10408398.2011.626873
19. Foschi, M.L.; Juan, M.; Pascual, B.; Pascual-Seva, N. Influence of Lighting and Laser Irradiation on the Germination of Caper Seeds. Agriculture 2022, 12, 1612. Pp 2-3. DOI:10.3390/plants12122379
20. Harakotr Bhornchai, Bhalang Suriharn, Ratchada Tangwongchai, Marvin Paul Scott, Kamol Lertrat. Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes



in purple waxy corn as affected by traditional cooking. Food Chemistry Volume 164, 1 December 2014. Pages 510-517. Doi:10.1016/j.foodchem201405069

21. How to grow Onion Microgreens (perfectly). [Электронный ресурс] URL: <https://www.greenguru.com/how-to-grow-onion-microgreens/>

22. Jin, D.; Su, X.; Li, Y.; Shi, M.; Yang, B.; Wan, W.; Wen, X.; Yang, S.; Ding, X.; Zou, J. Effect of Red and Blue Light on Cucumber Seedlings Grown in a Plant Factory. Horticulturae 2023, 9, 124. Doi:10.3390/horticulturae9020124

23. Khan F.A., S. A. Bhat, Imtiyaz Murtaza, Fouzia shafi. Microgreens and their potential health benefits. Sher-e-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology of Kashmir, Shalimar (Srinagar), J&K.

24. Knez Eliza, Kadac-Czapska Kornelia, Dmochowska-Slęzak Kamila and Grembecka Małgorzata. Root Vegetables—Composition, Health Effects, and Contaminants. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 15531. pp. 2-3. DOI:10.3390/ijerph192315531

25. Kyriacou Marios C., Stefania De Pascale, Angelos Kyrtzis and Youssef Rouphael. Microgreens as a Component of Space Life Support Systems: A Cornucopia of Functional Food. OPINION article Front. Plant Sci., 12 September 2017 Sec. Plant Breeding Volume 8 – 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01587

26. Lalu Prasad Yadav, Tanmay Kumar Koley. MICROGREENS:A New Generation Nutri-Rich Organic Functional Food. Article, October 2019.

27. Manchali Shivapriya, Kotamballi N. Chidambara Murthy. Crucial facts about health benefits of popular cruciferous vegetables. Journal of Functional Foods Volume 4, Issue 1, January 2012. Pages 94-106. Doi:10.1016/j.jfff201108004

28. Massimiliano Renna and Vito Michele Paradiso. Ongoing Research on Microgreens: Nutritional Properties, Shelf-Life, Sustainable Production, Innovative Growing and Processing Approaches. Foods 2020, 9, 826 p. doi:10.3390/foods9060826

29. Murphy E., Taylor L. Microgreens: A Guide to Growing and Using Them. – Storey Publishing, 2016. 160 p.

30. Norihiko Misawa. 1.20 – Carotenoids. *Comprehensive Natural Products II Chemistry and Biology Volume 1*, 2010, Pages 733-753.
31. Okla, M.K.; El-Tayeb, M.A.; Qahtan, A.A.; Abdel-Maksoud, M.A.; Elbadawi, Y.B.; Alaskary, M.K.; Balkhyour, M.A.; Hassan, A.H.A.; AbdElgawad, H. Laser Light Treatment of Seeds for Improving the Biomass Photosynthesis, Chemical Composition and Biological Activities of Lemongrass Sprouts. *Agronomy* 2021, 11, 478.
32. Paradiso Vito Michele, Maria Castellino, Massimiliano Renna. Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens. *Food Funct.*, 2018, 9, pp 5629–5640. DOI: 10.1039/C8FO01182F
33. Paradiso Vito Michele, Maria Castellino, Massimiliano Renna. Setup of an Extraction Method for the Analysis of Carotenoids in Microgreens. *Foods* 2020, 9, 459. pp. 1-2. Doi:/10.3390/foods9040459
34. Pritismita Nayak, Subhrajyoti Chatterjee, Sumit Acharya. Microgreens - A potential game changer for achieving nutritional security (In: *Recent Advances in Agricultural Sciences and Technology*). June 2023 *Recent Advances in Agricultural Sciences and Technology*. pp.247-257.
35. Podsedek, A. (2007) Natural Antioxidants and Antioxidant Capacity of Brassica Vegetables: A Review. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 1-11. Doi:10.1016/j.lwt.200507023
36. Poudel P, Di Gioia F, Lambert JD and Connolly EL. Zinc biofortification through seed nutri-priming using alternative zinc sources and concentration levels in pea and sunflower microgreens. *Front. Plant Sci.*, 17 April 2023. Doi:10.3389/fpls.2023.1177844
37. Rashida Perveen, Yasir Jamil. He-Ne Laser-Induced Improvement in Biochemical, Physiological, Growth and Yield Characteristics in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) / *Photochemistry and Photobiology*, 2011, 87, 1453–1463. doi: 10.1111/j.1751-1097.2011.00974.x.
38. Renna M., Di Gioia F., Leoni B., Mininni C., Santamaria P. Culinary assessment of self-produced microgreens as basic ingredients in sweet and savory



dishes. J. Culin. Sci. Technol. 2017;15. pp. 126–142.  
DOI:10.1080/15428052.2016.1225534

39. Rosalie Marion Bliss. Specialty Greens Pack a Nutritional Punch. Agricultural Research, January 23, 2014.

40. Rusu, T., Moraru, P. I., & Mintas, O. S. (2021). Influence of environmental and nutritional factors on the development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) microgreens grown in a hydroponic system: A Review. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(3), 12427. DOI:10.15835/nbha49312427

41. Shweta Sharma, Bharti Shree, Deepika Sharma, Satish Kumar. Vegetable microgreens: The gleam of next generation super foods, their genetic enhancement, health benefits and processing approaches. *Food Research International* Volume 155. May 2022, 111038. Doi:10.1016/j.foodres.2022.111038

42. Sorin Anghel, Constantin S. Stanescu, Dana Giosanu, Monica Flenacu, Ion Iorga-Siman, "Laser effects on the growth and photosynthesis process in mustard plants (*Sinapis Alba*)," *Proc. SPIE 4430, ROMOPTO 2000: Sixth Conference on Optics*, (29 June 2001). pp 667-673. DOI:10.1117/12.432906

43. Xiao S., Ouzounidou N., Papachristou N. Microgreens: A Review of the Literature. *Agriculture*. – 2018. – Vol. 8, No. 6, P. 1-13.

44. Zhenlei Xiao, Steven R. Rausch, Yaguang Luo. Microgreens of Brassicaceae: Genetic diversity of phytochemical concentrations and antioxidant capacity. *LWT* Volume 101, March 2019. Pages 731-737. Doi:10.1016/j.lwt.2018.10.076