

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

КРАВЧУК ВАДИМ ВАСИЛЬОВИЧ

Допускається до захисту:
В.о. завідувача кафедри,
ботаніки та екології
канд. біол. наук, доцент
_____ Машталер О. В.
« ____ » _____ 2024 р.

**ЗМІНИ РОСТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕЯКИХ ВИДІВ ЛІКАРСЬКИХ
РОСЛИН ЗА УМОВ ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ LED ЛАЗЕРАМИ**

Спеціальність 091 Біологія та біохімія
Кваліфікаційна (магістерська) робота

Науковий керівник:

О.Г. Яворська, старший викладач
кафедри ботаніки та екології

Науковий консультант:

Вашеняк Ю.А., доцент кафедри
ботаніки та екології,
канд. біол. наук, доцент

Оцінка: _____ / _____ /

Голова ЕК: _____
(підпис)

Вінниця 2024

АНОТАЦІЯ

Кравчук В.В. Зміни ростових параметрів деяких видів лікарських рослин за умов опромінення насіння LED лазерами. Спеціальність 091 Біологія та біохімія, Освітня програма «Біологія». Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2024.

У кваліфікаційній (магістерській) роботі вивчено вплив лазерного опромінення на схожість, виживання, ростові параметри та вміст хлорофілу *a* і хлорофілу *b* Ехінацеї пурпурової (*Echinacea purpurea* L.) та буркуна лікарського (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.). В досліджах використовувались світлодіодні лазери з когерентним монохроматичним випромінюванням синього (405 нМ) та червоного (635 нМ) світла, потужністю 100 мВт.

Встановлено, що одноразове та дворазове опромінення синім та червоним світлом має вірогідний вплив на схожість, виживання, ростові показники та вміст хлорофілу *a* і хлорофілу *b*.

Аналізуючи кількість пророщеного насіння попередньо можна сказати, що лазерне опромінення переважно негативно впливає на схожість та виживання рослин.

Ключові слова: лікарські рослини, лазерне опромінення, ехінацея пурпурова, буркун лікарський. схожість, виживання, ростові показники, хлорофіл *a*, хлорофіл *b*.

____ с., ____ табл., ____ рис., ____ джерел.

ANNOTATION

Kravchuk V.V. Changes in the growth parameters of some types of medicinal plants under the conditions of seed irradiation with LED lasers. Specialty 091 «Biology and Biochemistry», Programme «Biology», Vasyl' Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2024.

The qualification (master's) thesis studied the effect of laser irradiation on germination, survival, growth parameters and the content of chlorophyll *a* and chlorophyll *b* of *Echinacea purpurea* (*Echinacea purpurea* L.) and medicinal burdock

(*Melilotus officinalis* (L.) Pall.). LED lasers with coherent monochromatic emission of blue (405 nm) and red (635 nm) light with a power of 100 mW were used in the experiments.

It has been established that single and double exposure to blue and red light has a probable effect on germination, survival, growth indicators and the content of chlorophyll a and chlorophyll b.

Analyzing the number of germinated seeds, it can be said that laser irradiation mainly has a negative effect on the germination and survival of plants.

Key words: medicinal plants, laser irradiation, *Echinacea purpurea*, burgun medicinal. germination, survival, growth rates, chlorophyll a, chlorophyll b.

___ pp, ___ table, ___ figure, ___ sources.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ.....	7
1.1 Регуляція росту рослин	7
1.2 Роль лазерного опромінення рослин	10
1.2.1 Вплив лазерного опромінення насіння на ростові процеси та вміст пігментів у проростках олійних культур.....	14
1.2.2 Вплив лазерного опромінення насіння на ростові показники та вміст хлорофілів у робінії звичайної за умов забруднення ґрунту сполуками сірки та фтору.....	14
1.2.3 Термічний вплив лазерного опромінення на насіння кукурудзи	15
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	17
2.1 Об'єкти дослідження.....	17
2.2 Методи досліджень	21
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	25
3.1 Вплив опромінення синім та червоним лазером на схожість та виживання лікарських рослин.....	25
3.1.1 Вплив опромінення на схожість та виживання ехінацеї	25
3.1.2 Вплив опромінення на схожість та виживання буркуну.....	27
3.1.3 Вплив опромінення на схожість та виживання буркуну, висадженого відразу в землю	30
3.2 Вплив опромінення синім та червоним лазером на ростові параметри лікарських рослин	32
3.2.1 Вплив опромінення на ростові параметри ехінацеї.....	32
3.2.2 Вплив опромінення на ростові параметри буркуну.....	35
3.2.3 Вплив опромінення на ростові параметри буркуну, висадженого відразу в землю	37
3.3 Вплив опромінення синім та червоним лазером на вміст хлорофілу ехінацеї.....	40
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

ВСТУП

Актуальність. Лікарські рослини використовуються у медичній практиці як засоби, що підвищують імунітет, зменшують запалення, мають седативний ефект і проявляють антивірусну активність. Та останнім часом культивування рослин в умовах України ускладняється через зміни клімату, а саме настання ранніх ґрунтових і повітряних засух, забруднення навколишнього середовища, зміни структури ґрунту [2, 12, 15]. Тому для збільшення врожайності в Україні, та й у всьому світі, застосовується хімізація сільського господарства. Використання надмірної кількості мінеральних добрив призводить до погіршення якості продукції через накопичення нітратів і нітритів.

Внаслідок цього виникла необхідність у пошуку інших методів збільшення врожайності. Вчені вивчають різні ростові і розвивальні стимулятори рослин, як хімічного, так і фізичного походження. Зокрема, особливий інтерес викликають фізичні фактори впливу на рослини: на їх насіння, бульби, цибулини, проростки або дорослі рослини на різних етапах розвитку [52].

Стимулювання розвитку рослин до настання періоду тривалих засух може бути одним зі способів зміни агротехніки. Одним із таких фізичних методів є опромінення насіння LED лазерами. Перевага такого методу полягає в тому, що за допомогою активації фоторецепторів можуть активуватись деякі процеси та пришвидшуватися ріст рослини, що допоможе краще перенести засуху і дати якісний та чистий врожай, що неможливо у випадку використання мінеральних добрив. В агротехніці вирощування ряду лікарських рослин, зокрема ехінацеї пурпурової, застосування фізичних методів для підвищення продуктивності рослин до цього часу не досліджувалося.

Мета. Мета роботи полягала в дослідженні впливу лазерного опромінення на схожість, проростання та ростові параметри насіння.

Завдання. Для досягнення мети вирішувалися такі завдання:

1. З'ясувати дію комбінованого лазерного опромінення з довжиною хвилі 405 та 635 нМ на схожість та виживання рослин.

2. З'ясувати дію комбінованого лазерного опромінення з довжиною хвилі 405 та 635 нМ на ростові параметри рослин.

3. З'ясувати дію комбінованого лазерного опромінення з довжиною хвилі 405 та 635 нМ на вміст хлорофілу ехінацеї пурпурової.

Об'єктами досліджень є фізіолого – біохімічні реакції рослин на комплексне опромінення насіння когерентним монохроматичним світлом з довжиною хвилі 405 та 635 нМ.

Предметом дослідження є ростові показники опромінених LED лазером рослин - ехінацеї пурпурової та буркуну лікарського.

Методи досліджень: біофізичні та фізіолого – біохімічні методи вивчення рослин.

Практичне значення роботи полягає у застосуванні енергозберігаючих лазерних систем синього та червоного світла на ростові процеси рослин та синтез пігментів в проростках лікарських культур, що може створити сприятливі умови для подальшого розвитку та формування врожаю рослин.

Апробація результатів дослідження. За темою магістерської роботи було опубліковано тези у збірнику Всеукраїнської науково-практичної конференції «КОЛЕСНИКОВСЬКІ ЧИТАННЯ», присвяченої пам'яті проф. О.І. Колеснікова.

Структура і обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, аналізу літератури, об'єктів та методів дослідження, експериментальної частини та висновків, викладених на 44 сторінках друкованого тексту. Список використаних джерел включає 52 найменування. Загальний обсяг роботи 51 сторінка. Робота містить 9 таблиць, 12 рисунків.

Дослідження проводились у 2023–2024 роках на кафедрі ботаніки та екології Донецького національного університету імені Василя Стуса.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Регуляція росту рослин

Нормальний ріст та розвиток рослин напряду залежать від взаємодії зовнішніх та внутрішніх факторів. До зовнішніх чинників належать: світло, тепло, вода, наявність поживних речовин, кисень та вуглекислий газ в атмосфері, – все це має значний вплив на ріст та розвиток рослин. Фітогормони, або рослинні гормони, мають значний вплив на регуляцію внутрішніх факторів росту рослин.

Під впливом сонячного світла відбуваються різноманітні реакції, які можна розділити на декілька типів:

- енергетичні реакції, в тому числі фотосинтез, де світло використовується для перетворення енергії сонячних променів у хімічну енергію,
- інформаційні реакції, такі як фотоморфогенез, фототропізм і фотоперіодизм, тут світло впливає на різні аспекти росту і розвитку рослин, такі як орієнтація стебла до світла, фотоперіодична регуляція цвітіння та інші фізіологічні процеси;
- біосинтетичні реакції, включаючи біосинтез хлорофілу і вітамінів, де світло стимулює формування цих важливих компонентів рослин;
- деструктивно-модифікувальні реакції, наприклад, фотосенсибілізація та фітореактивація, де світло може спричинити деградацію або активацію певних речовин в рослинах.

Рослини використовують світло для регулювання свого росту і розвитку. Світло грає ключову роль в процесах росту рослин, напрямку росту, а також розвитку фаз цвітіння, плодоутворення і перехід до стану спокою або старіння. Особливо помітна роль світла у рослин, які вирощуються у темряві. У таких рослин вкрай низький рівень хлорофілу, стебла мають блідий відтінок, листочки недорозвинені (етіольовані рослини). Навіть незначна кількість світла, що

потрапляє на такі паростки, викликає зміни в швидкості і напрямку росту листя і стебла, випрямляє вигин листової подушечки (плюмулуса), сприяє розвитку епідермальних волосків, змінам у пігментації листя і стебла, а також в деяких деталях внутрішньої анатомії проростка [18]. Процеси, які використовують вплив світла на форму рослин, називаються фотоморфогенезом. До фотоморфогенетичних реакцій відносяться проростання насіння, видовження стебла, формування листка і розвиток хлоропластів. У цих процесах основну роль відіграють специфічні фоторецептори, які дозволяють рослинам реагувати на світло. У рослин виявлено дві морфогенетичні фоторецепторні системи: фітохром (рецептор червоного світла) і криптохром (рецептор синього світла). Ці пігменти присутні в рослинах у дуже малих кількостях, тому потреба в енергії для фотоморфогенезу нижча, ніж для фотосинтезу. Фоторецептори впливають на проникність мембрани, функцію генів і активність ферментів, посилюючи ефекти кожного поглиненого фотона.

Фотоперіодизм - це реакція рослин на тривалість дня. Вперше поняття фотоперіодизм було відкрито в 1920 році В. Гарнером і Н. Аллардом, виконуючи роботи з селекції рослин тютюну. Вони виявили, що багато видів тютюну цвіли навесні та восени в теплицях, але не влітку у відкритому ґрунті. Оскільки літні умови практично не відрізняються від тепличних, вважається, що довгі літні дні заважають цвітінню. Ця гіпотеза підтвердилася, коли вдалося виробляти квіти тютюну влітку зі штучно скороченим днем. Інші дослідження показали, що фотоперіодичні реакції характерні для рослин різних таксономічних груп і життєвих форм. Залежно від типу фотоперіодичної реакції рослини можна розділити на такі основні групи:

- рослини короткого дня: ці рослини потребують 12 годин або менше світла на день, щоб увійти у фазу цвітіння. Прикладами таких рослин є коноплі та тютюн;
- рослини довгого дня: цим рослинам потрібна тривалість дня більше 12 годин, щоб почати цвітіння. Картопля, пшениця та шпинат є прикладами рослин довгого дня;

- рослини проміжного типу: ця група рослин має фазу цвітіння, яка відбувається в межах певного діапазону фотоперіодів. Наприклад, гваюла
- рослини фотоперіодично нейтральні: ці рослини можуть цвісти в будь-який час доби. Помідори, кульбаби та інші рослини є прикладами рослин з нейтральним фотоперіодом.

Визначення реакції рослин на фотоперіод є важливим аспектом вирощування рослин, оскільки врахування оптимального фотоперіоду може мати великий вплив на їх ріст, розвиток і цвітіння. Основним рецептором фотоперіодичної активності рослин є лист, а не апекс пагону. Новорозвинуте листя є найбільш чутливим до фотоперіоду, і це відбувається в основному за допомогою фітохрому. Температура, як екологічний фактор, впливає на швидкість життєвих процесів у рослинах і може уповільнювати, або прискорювати їх ріст і розвиток.

Однак занадто високі або занадто низькі температури можуть призвести до загибелі рослини. Зв'язок між ростом і температурою представлений триточною кривою:

- точка мінімуму – найнижча температура, при якій починається ріст;
- оптимальна точка – найбільш сприятлива температура для росту;
- максимальний бал – це температура, при якій ріст припинився.

Ці три моменти визначають вплив температури на ріст і розвиток рослин. Ріст і розвиток рослин внутрішньо регулюються поживними речовинами та гормонами рослин. Вплив поживних речовин є найпростішим регуляторним механізмом. Наприклад, коли корінню не вистачає поживних речовин, ріст листя сповільнюється. Проте визначальним фактором регуляції росту і розвитку є вплив фітогормонів.

Фітогормони - це сполуки, які забезпечують взаємодію між клітинами, тканинами та органами рослин і необхідні для активації та регуляції фізіологічних і морфологічних процесів. Вони утворюються в клітинах на кінчиках коренів, стеблах і молодих листках і через провідну тканину досягають інших клітин, де і виявляється їх активність. Фітогормони мають

багатофункціональну дію, регулюючи багато біохімічних процесів у рослинах. Переміщуючись по рослині, гормон проникає в клітини тканин-мішеней, підвищуючи чутливість до гормону. Потрапляючи всередину клітини, гормон взаємодіє з рецепторними білками. Ця взаємодія гормону і рецептору викликає біохімічні реакції, які досягають фізіологічних ефектів цього гормону.

Відомі два типи рецепторів:

1. Внутрішньоклітинні рецептори для розчинних білків, які зв'язують фітогормони та переміщуються між цитоплазмою та ядром.
2. Мембранні білкові рецептори, які зв'язуються з фітогормонами в позаклітинному просторі.

Рецептори першого типу, будучи зв'язаними з гормонами, впливають на клітинний метаболізм шляхом зміни рівнів транскрипції відповідних генів у ДНК ядра та органел (експресія гена). Для ауксину, цитокініну та гібереліну знайдено розчинні зв'язувальні білки першого типу. Мембранні рецепторні білки другого типу, утворюючи комплекси з гормонами, швидко підвищують концентрацію проміжних метаболітів у клітині, забезпечуючи фізіологічну дію фітогормонів. Отже, основним механізмом дії фітогормонів у клітинах є активація специфічних генів, що відповідають за синтез необхідних ферментів. Фітогормони також впливають на структуру і функцію клітинних мембран, рибосом і ендоплазматичного ретикулуму, що призводить до змін клітинного метаболізму. Механізм дії розчинних і мембранно-зв'язаних білково-гормональних комплексів до кінця не вивчений. Сам біосинтез фітогормонів контролюється геномом рослини. Одні фітогормони стимулюють поділ і ріст клітин, а інші сповільнюють їх, регулюють проростання насіння, формування квіток, утворення плодів тощо.

1.2 Роль лазерного опромінення рослин

Світло, зокрема ультрафіолетове, червоне та синє має велике значення для формоутворення та регуляції росту рослин. Регуляція

життєвих процесів рослин, зокрема під впливом червоного світла, здійснюється за допомогою фоторецептора, відомого як фітохром [18]. Фітохромна система дозволяє рослинам реагувати на тривалість, якість та інтенсивність освітлення, і цей процес називається фотоморфогенезом, який впливає на формоутворюючі та ростові характеристики. Фотоморфогенез синхронізує ріст рослин, утворення бульб, цвітіння та інші процеси, пов'язані з сезонними змінами спектру сонячного світла. Фітохром сприймає зміни в співвідношенні дальнього червоного (ДЧ) та червоного (Ч) світла. Цей пігмент відіграє важливу роль в оптимізації структури рослин, забезпечуючи найефективніше використання світла під час фотосинтезу.

Лазерне опромінення використовується для обробки насіння сільськогосподарських та лікарських культур шляхом безперервного або імпульсного опромінення лазерним променем з певною довжиною хвилі, яка зазвичай коливається від 632 до 670 нм. Головна мета цього методу - збільшення врожайності зерна, зниження захворюваності та сприяння розвитку потужної кореневої системи рослин. Дослідження підтверджують, що обробка насіння лазерним опроміненням сприяє прискореному розвитку рослин та збільшенню плодоношення.

Дослідники виявили, що опромінення рослин синім спектром сприяє накопиченню більшої кількості біомаси, тоді як червоне світло стимулює високий рівень газообміну. Крім накопичення біомаси, синє світло також сприяє диференціюванню хлоропластів, розкриттю сім'ядоль та розпрямленню апексу пагону. Додатковий пігмент - птерин, що має спектральні властивості, дозволяє кріптохрому поглинати кванти не лише з синього спектру, а й з ближнього ультрафіолету (UV-A).

При опроміненні зеленим та оранжевим світлом фотосинтез та накопичення сухої речовини у рослин є мінімальними. Тільки червоні промені беруть участь у нагромадженні деяких первинних речовин та розкладанні вуглекислоти. Дослідники виявили, що червоне світло

забезпечує високий рівень газообміну, фотосинтетичну активність, вміст хлорофілу, каротину, антоціанів, сумарних вуглеводів та інших фізіологічно активних речовин [51].

Рослини, активовані фотоопроміненням, швидше розвиваються, збільшують свою розмірність, мають більшу асиміляційну поверхню та інтенсивний розвиток надземної та кореневої маси. Це, в свою чергу, підвищує їх врожайність, продуктивність та товарність. Таким чином, лазерне опромінення насіння має значний позитивний ефект, прискорюючи розвиток рослин і підвищуючи їх врожайність.

Хоча винахід лазера відбувся у 70-х роках минулого століття, дослідження впливу лазерного випромінювання на рослинні організми продовжуються й донині. Лазерне випромінювання, яке генерується спеціальними джерелами, підсилюється, контролюється та доставляється до місця застосування з метою терапії або вимірювання. Воно відіграє важливу роль у житті рослин, тварин та людини, регулюючи біохімічні механізми та процеси, включаючи експресію генів. У своїй роботі "Фотоніка" (2005 рік), німецький вчений Е. Герінг зазначає, що 21 століття стане століттям фотонів, а використання лазерних технологій є необхідним для поліпшення технологічних процесів у різних сферах діяльності нашого суспільства [50].

Одним з найактуальніших напрямків в оптичних технологіях є дослідження діагностичних властивостей та біологічної дії лазерного випромінювання. У 1970 році Л. Палега та Д. Аспіналл спостерігали стимулюючі ефекти, що виникають при впливі слабкоенергетичного лазерного випромінювання, і пов'язували їх з активацією фітохрому (Фч) та ініціюванням фоторегуляторної системи фотоморфогенезу [19].

Ефект лазерного опромінення є специфічним і може змінюватися залежно від того, який орган опромінюється, тривалості опромінення, довжини хвилі і потужності лазера. Метод лазерної фотоактивації має значні переваги порівняно з іншими фізичними і хімічними методами

передпосівної обробки насіння. Основні переваги цього методу включають:

- стійке підвищення врожайності сільськогосподарських культур незалежно від ґрунтово-кліматичних умов;
- покращення якості сільськогосподарської продукції шляхом збільшення вмісту цукрів, вітамінів, білка та клейковини;
- можливість зниження норм висіву на 10-30% за рахунок поліпшення схожості насіння та зміцнення ростових процесів (залежно від сорту, виду культур та частоти обробки);
- підвищення стійкості рослин до захворювань;
- нешкідливість для насіння та операторів, що проводять обробку.

Імпульсне лазерне випромінювання є найбільш ефективним способом відновлення якості насіння та стимуляції ростових процесів на початкових стадіях розвитку рослин. Лазерна обробка в режимі імпульсу забезпечує більшу фотореактивність цих рослин і краще сприяє активації механізмів пробудження насіння зі спокою, порівняно з неперервним випромінюванням. Однак, наряду з позитивними аспектами впливу лазерного опромінення на насіння, існують певні недоліки, які також потрібно враховувати.

Наприклад, ефект активації та його відтворюваність залежать від початкового стану насіння, яке піддається впливу, і цей стан може бути підданий впливу багатьох непередбачуваних факторів під час зберігання. Крім того, результати опромінення насіння оптимальними дозами можуть варіюватись, і в деяких випадках навіть виявляти депресивний ефект на активність рослин. Тому проблема тривалого збереження та однозначного відтворення ефекту стає ключовою при опроміненні насіння рослин.

Загалом, імпульсне лазерне опромінення насіння має багато переваг, проте необхідно звертати увагу на фактори, що впливають на результати обробки і розробляти методи збереження і використання насіння, що

гарантують стабільність та передбачуваність ефектів.

1.2.1 Вплив лазерного опромінення насіння на ростові процеси та вміст пігментів у проростках олійних культур

«Проаналізовано вплив лазерного опромінення на схожість та ростові показники трьох видів олійних культур. Визначено вплив лазерного опромінення насіння червоним та синім світлом на вміст хлорофілу а і хлорофілу б в паростках. В дослідях використовували світлодіодні лазери, які характеризуються когерентним монохроматичним випроміненням червоного (635 нМ) та синього (405 нМ) світла. Потужність опромінення становить 100 мВт. В дослідях використали насіння соняшнику звичайного (*Helianthus annuus*), гірчиці білої (*Sinapis alba* L.), ріпаку озимого (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metrg.). Показано, що вплив лазерного опромінення насіння на схожість та ранні ростові показники вірогідний за дворазового опромінення червоним та синім світлом. На вміст хлорофілу а і хлорофілу б вірогідно впливало комплексне (червоне і синє світло) лазерне опромінення насіння» [20].

1.2.2 Вплив лазерного опромінення насіння на ростові показники та вміст хлорофілів у робінії звичайної за умов забруднення ґрунту сполуками сірки та фтору

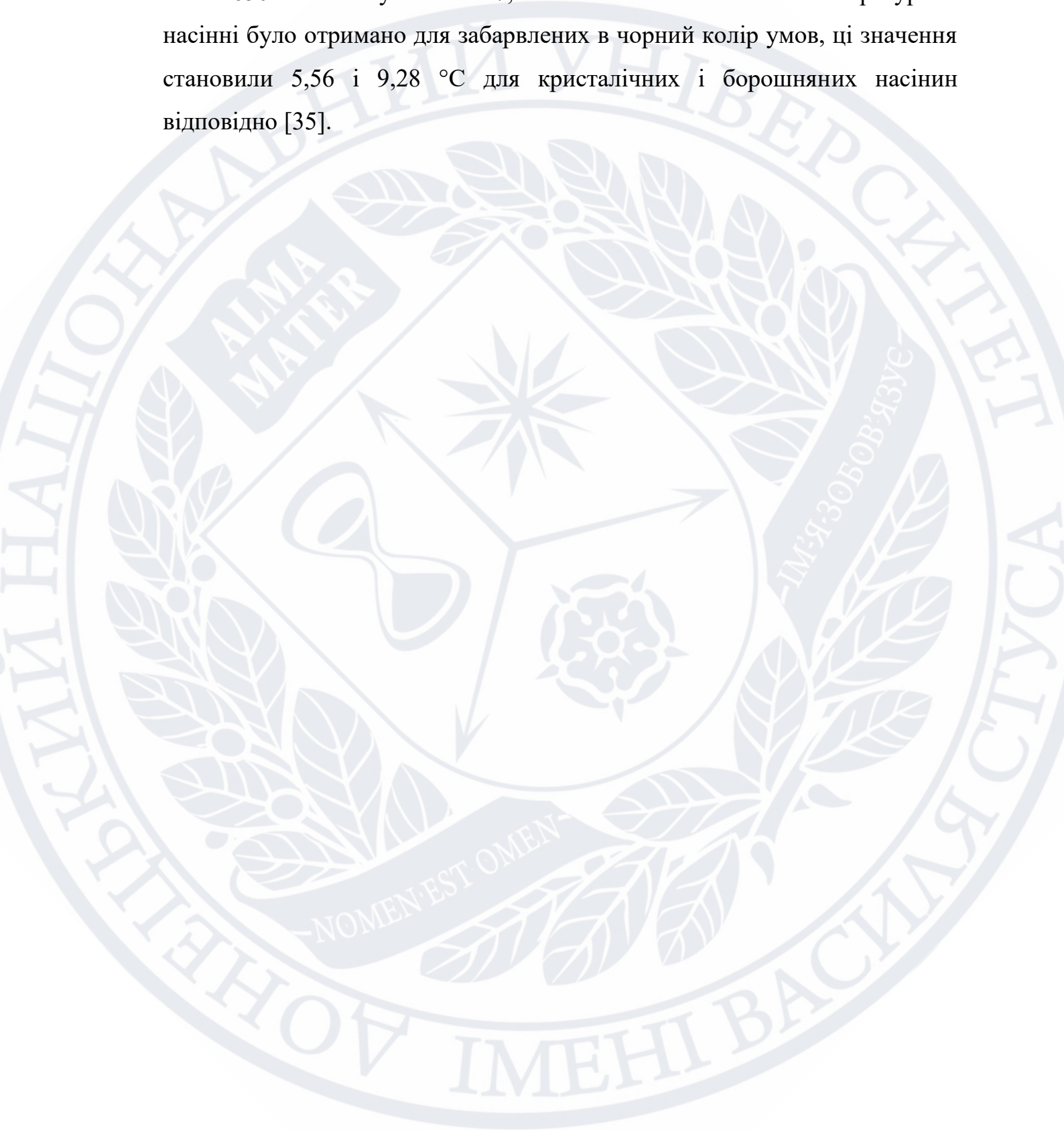
У результаті нераціонального застосування засобів хімізації сільського господарства, техногенних викидів промислових підприємств, викидів автотранспорту відбувається забруднення, ерозія і дефляція ґрунтів, що призводить до пригнічення життєдіяльності рослин. Зокрема, виробництво фосфатів та фосфорної кислоти супроводжується забрудненням ґрунту сполуками фтору та сірки, які є одними з найнебезпечніших для рослин. Тому, важливим і актуальним є пошук нових методів підвищення стійкості рослин до забруднювачів. Останнім часом, через свою ефективність і безпечність, значний інтерес викликає вплив лазерного опромінення на рослини. У зв'язку з цим, 16 метою дослідження було вивчення впливу передпосівного лазерного

опромінення насіння на ростові показники та пігментний склад Робінії звичайної за умов забруднення ґрунту сполуками фтору та сірки. З цією метою насіння Робінії звичайної опромінювали світлодіодним червоним лазером потужністю 100 мВт протягом 5 секунд одноразово або двічі з інтервалом 15 хвилин. Пророщене насіння висаджували у забруднений ґрунт згідно зі схемою повного трифакторного трирівневого експерименту. На тридцятий день вимірювали довжину пагону і кореня, та вміст хлорофілу а і хлорофілу b. Встановлено, що сполуки сірки та фтору мають вірогідний негативний вплив на ростові показники та пігментний склад Робінії звичайної. Разом з тим, передпосівна обробка насіння червоними лазерними променями дозволяє покращити ростові процеси рослин за умов забруднення ґрунту. Так, після впливу лазером довжина пагону збільшується на 10-100 % порівняно з неопроміненими рослинами, які ростуть за умов забруднення, довжина кореня збільшується на 2,5-85 %. Також у всіх варіантах спостерігається підвищення вмісту хлорофілу а та хлорофілу b на 30-90 % [21].

1.2.3 Термічний вплив лазерного опромінення на насіння кукурудзи

Важливо знати зміни температури в насінні, опромінених лазерним світлом, оскільки це може мати суттєве практичне і теоретичне значення. Таким чином, було вивчено тепловий вплив низько інтенсивного лазерного опромінення на насіння, що показує зміну температури, створюваної лазерним випромінюванням, що застосовуються протягом 60 с, для двох генотипів насіння кукурудзи, 'Toluqueño' і 'Cacahuazintle': кристалічного і мучного, відповідно, в двох різних умови: природний колір і пофарбований чорний, оцінка змін температури за допомогою тепловізора. Спектри оптичного поглинання і час безвипромінювальної релаксації насіння були отримані за допомогою фотоакустичної спектроскопії. Результати показують, що можливо робити зміни температури, виявлені інфрачервоною камерою, в кристалічних і

борошняних насінні при опроміненні їх лазерним променем з довжиною хвилі 650 нм і потужністю 27,4 мВт. Найбільша зміна температури в насінні було отримано для забарвлених в чорний колір умов, ці значення становили 5,56 і 9,28 °С для кристалічних і борошняних насінин відповідно [35].



РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження є фізіологічні реакції рослин на комплексне опромінення насіння когерентним монохроматичним світлом з довжиною хвилі 405 та 635 нМ. Дослідження проводились на лікарських рослинах родини айстрових (*Asteraceae*) та Бобових (*Fabaceae*), а саме на насінні ехінацеї пурпурової (*Echinacea purpurea* L) (рис. 2.1) та буркуну лікарського (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) (рис. 2.2) [14].



Рисунок 2.1 – Ехінацея пурпурова (*Echinacea purpurea* L)

Ехінацея пурпурова *Echinacea purpurea* L. — багаторічна трав'яниста рослина родини айстрових (*Asteraceae*). Відомо 9 видів роду, які поширені в природній флорі середньої та східної частин Північної Америки, а також приатлантичних регіонах Мексики. Культивується в Україні та інших країнах Європи, країнах Азії, Америки.

Кореневище в ехінацеї стрижневе, з численними бічними м'ясистими корінцями. Стебло пряме 50–150 см заввишки. Листки прості, шорсткі, овально- або лінійно-ланцетні, по краю зарубчасто-зубчасті; нижні — довгочерешкові, верхні — майже сидячі. Квітки у великих (діаметром до 10 см) кошиках, які розміщені поодинокі на кінцях стебел та гілок. Крайні квітки дрібні, довгоязичкові, стерильні, пурпурові, темно-червоні, рожеві або жовті, середні — трубчасті, двостатеві. Колір крайніх квіток залежить від виду ехінацеї. Плід — чотиригранна сім'янка з чашечкою у вигляді чубчика.

В Україні Ехінацея не є фармацевтичною рослиною, але в багатьох інших країнах світу існують ФС на траву та кореневище з коренями ехінацеї пурпурової, ехінацеї блідої та ехінацеї вузьколистої. Траву заготовляють у період цвітіння, зрізають верхівки 25–35 см завдовжки. Кореневище з коренями збирають восени. Звільняють від землі, миють, підв'ялюють та ріжуть на шматки. Сушать у добре провітрюваних приміщеннях або сушарках при температурі 40–45 С°.

Основними діючими речовинами ехінацеї є фенольні сполуки (цикорієва, ферулова, кумарова, кафтарова, кавова, хлорогенова, неохлорогенова кислоти, цинарин, ехінакозид), вуглеводи (інулін, фруктани, арабінорамногалактани, гетероксилани) й алкіламіди.

Хімічний склад ехінацеї представлений також флавоноїдами (рутин, кверцетин, кверцетин-7-галактозид, кверцетин-3-арабінозид, кверцетин-3-галактозид, кверцетин-3-ксилозид, апігенін, лютеолін, лютеолін-7-глюкозид, кемпферол, кемпферол-3-рутинозид, ізорамнетин, ізорамнетин-3-рутинозид); дубильними речовинами, сапонінами; жирна олія містить тригліцериди капронової, міристинової, пальмітинової, стеаринової, лінолевої, ліноленової, гондоїнової кислот; амінокислотами, серед яких є незамінні; бетаїном, ефірною олією; макро- та мікроелементами (Se, Co, Ag, Mo, Zn, Mg, K, Na, Fe та ін.).

Препарати ехінацеї виявляють імуностимулюючу, антиоксидантну, мембранно-стабілізуючу дію, сприяють загоєнню ран, опіків, виразок, застосовуються при інфекційних та вірусних захворюваннях, особливо ГРВ. Традиційно їх використовують при фурункульозі, септицемії (зараженні крові), піореї, тонзилітах, особливо для лікування фурункулів, карбункулів та абсцесів. Також препарати ехінацеї застосовують для підвищення фізичної та розумової працездатності, при стані психічної депресії. У гомеопатії траву трьох видів ехінацеї, зібрану під час цвітіння, використовують для виготовлення настойки, яку застосовують у відповідних розведеннях зовнішньо, внутрішньо, у вигляді ін'єкції при фурункулах, ранах, які погано гояться, гнійних та виразкових процесах, а також укусах комах та змії [8-11; 10, 11, 16, 26, 27].



Рисунок 2.2 – Буркун лікарський (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.)

Буркун лікарський (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) – дворічна трав'яниста рослина родини бобових (Fabaceae). В Україні росте 8 видів рослин роду Буркун. Ареал охоплює всю європейську частину, окрім Північних і Північно-Східних районів, на Кавказі, і Центральній Азії. Росте по всій території України на лісових галявинах, узліссях, схилах балок, біля доріг та канав, як бур'ян у садах.

Дворічна трав'яниста рослина з прямостоячим, розгалуженим голим або вгорі розсіяно-волосистим стеблом 30-100 см заввишки. Листки дрібні, чергові,

трійчасті, по краях пилкоподібні. Листочки трійчасті, дрібнозубчасті, верхні – видовженоланцетні, нижні – оберненояйцеподібні, прилистки шиловидні, цілісні. Квітки двостатеві, жовті, у багатоквіткових пазушних китицях. Плоди – дрібні (3-4 мм завдовжки, 2 мм завширшки, до 1,5 мм завтовшки) боби, поперечно зморшкуваті, з 1-2 насінинами. Насіння овальне, жовте, гладке або дрібногорбкувате. Цвіте з травня по вересень, дозріває в липні–вересні.

Буркун лікарський є офіційною сировиною. Траву збирають під час цвітіння рослини. Зрізають верхівки і бічні пагони.

Трава буркуну лікарського містить 0,4-0,9% кумаринів (дикумарол, мелілотин, мелілонізид), фенолкарбонові кислоти (кумаринова, О-гідроксикорична, мелілотова), птерокарпіни (медикарпін), флавоноїди (робінозид), аскорбінову кислоту, цукри, похідні пурину, білки, ефірну олію, слиз, азотні сполуки. Насіння містить жирну олію, до складу якої входять кислоти: пальмітинова – 4,6%, стеаринова – 3,36%, олеїнова – 12,69%, лінолева – 63,26%, ліноленова – 14,68%, арахісова – 1,3%.

Рослина має седативні, беззаспокійливі, вітрогінні властивості, поліпшує зменшення набряків й усунення запальних процесів. Допомогає при лікуванні бронхіту, туберкульозу легень, болю у шлунку, набряках та ревматизмі. Настій трави використовують як відхаркувальний, пом'якшувальний та антикоагулянтний засіб. Дикумарин має здатність гальмувати згортання крові. Входить до складу кардіопротекторного лікарського препарату Кардіофіту.

У нетрадиційній медицині травою буркуну лікують кашель, мігрені, безсоння, гіпертонію, клімактеричні розлади, хвороби яєчників, також використовують і для пришвидшення лактації. Буркун лікарський широко використовують зовнішньо: припарки або компреси для розм'якшення та розсмоктування ороговілої шкіри, абсцесів, недозрілих фурункулів, набряків. На його основі виготовляють мазь для розтирань після простуди і при порізах.

У гомеопатії використовують свіжі верхівки трави при тромбофлебітах, застійних явищах у легенях, яєчниках, при головному болю [8, 9, 10, 22, 28].

Буркун лікарський являється відмінним медоносом, одним із найкращих серед бобових. У деяких країнах використовують також як харчову рослину. Можна використовувати для фарбування тканин у жовтий колір, також і в парфумерній та косметичній промисловості.

2.2 Методи досліджень

Досліджувався вплив опромінення насіння когерентними монохроматичними променями синього (405 нМ) та червоного (635 нМ) спектру, які отримувалися за допомогою світлодіодних лазерів: синій BRP-3010-5 - 405 нМ (фірма BOBLASER Co. China) та червоний BRP-3010-5 – 635 нМ (рис. 2.3), на схожість, виживання та ростові показники.



Рисунок 2.3 – Установа для опромінення монохроматичним світлом за допомогою LED лазерів

Була використана схема досліду, розроблена у працях Ю. Приседського та інших [43-45]. Контролем слугували проростки, вирощені з неопроміненого насіння. У дослідженнях використані наступні варіанти: контроль – 1) без опромінення лазером, 2) опромінення протягом 5 секунд, 3) опромінення протягом 10 секунд. Комплексне лазерне опромінення вели за 9 варіантами (табл. 2.1). Потужність опромінення становила 100 мВт/см^2 .

Таблиця 2.1 – варіанти опромінення насіння

№ досліджу	Синій лазер (405 нМ)		Червоний лазер (635 нМ)	
	Термін опромінення, сек.	Енергії отримано, мJ/см ²	Термін опромінення, сек.	Енергії отримано, мJ/см ²
1	-	0	-	0
2	-	0	5	25,05
3	-	0	10	51,10
4	5	25,05	-	0
5	5	25,05	5	25,05
6	5	25,05	10	51,10
7	10	51,10	-	0
8	10	51,10	5	25,05
9	10	51,10	10	51,10

Досліди проводились у строки, які не відповідали фенологічному циклу розвитку досліджуваних видів, тому релевантні результати впливу опромінення можливо було оцінити лише для ранніх стадій онтогенезу.

Вирощування рослин проводили спочатку у чашках Петрі на зволоженому фільтрувальному папері із ватною подушкою під ним, для кращого збереження вологи, за температури $24 \pm 1^\circ\text{C}$. У досліді з ехінацеєю в кожену чашку Петрі поміщали по 14 насінин, по 3 чашки в кожному варіанті (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 Фото: Вирощування ехінацеї у чашках Петрі

З буркуном було проведено два дослідження, що стосувались методу пророщування. В першому досліді була дотримана загальна методика й використовувалось по 30 насінин на одну чашку Петрі, по три в кожному варіанті. В другому – насіння одразу після опромінення висаджувалось в ґрунт при цьому використовувалось по 20 насінин в кожному горщику й по три горщики на варіант (рис 2.5).



Рисунок 2.5 Ріст буркуну в пластикових контейнерах

Комплексне лазерне опромінення вели за різними варіантами (табл. 2.1). Вміст пігментів хлорофілу визначали (рис. 2.6) за допомогою спектрофотометричного методу [17,18].



Рисунок 2.6 Фото: Проведення дослідів на визначення вмісту хлорофілу

Отримані результати обробляли статистично за методом дисперсійного аналізу. Середні порівнювали за методом Даннета [17-19]. Роботи з опромінення

насіння проводилися в лабораторії біологічного факультету Донецького національного університету імені Василя Стуса.



РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Дослідження проводилися протягом серпня, вересня та жовтня 2024 року. Посів і догляд за рослинами здійснювалися відповідно до агротехнічних правил. Всі рослини контрольних і дослідних груп росли й розвивалися в однаковому ґрунті, а також при однаковій температурі і вологості повітря, піддавалися однаковим агротехнічним заходам. Так як завданням дослідження було порівняння опромінених і контрольних груп рослин за різними показниками, то ніякого підживлення рослин не проводилося.

Із проведених досліджень можна зробити висновок, що вплив передпосівного лазерного опромінення в багатьох варіантах позитивно впливає на сходження та виживання рослин та вміст хлорофілу, але переважно негативно впливає на ростові показники.

3.1 Вплив опромінення синім та червоним лазером на схожість та виживання лікарських рослин

3.1.1 Вплив опромінення на схожість та виживання ехінацеї

Висадка в чашки Петрі відбувалась 14 серпня, на другий день після опромінення насіння рослин лазером. На один підваріант використовувалось 14 насінин, всього 42. Догляд за ними відбувався кожен день, окрім вихідних. Для збереження вологи через сильну спеку та сухість повітря, було прийнято рішення підкласти під фільтрувальний папір медичної нестерильної вати, для кращого збереження вологи, щоб запобігти пересиханню рослин.

Перші сходи з'явилися на 3 день після посадки в чашки Петрі, (рис. 3.1) по одній рослині в 8, 9 варіанті, дві рослини в 4 варіанті і три рослини в 5 варіанті. Варто зазначити, що у всіх варіантах, окрім 4, опромінення було комбіноване.



Рисунок 3.1 Фото перших сходів ехінацеї пурпурової

Наступне спостереження щодо схожості було проведено на 9 день після висадки ехінацеї. Воно показало, що майже всі варіанти відносно контролю сходять добре (рис. 3.2). На 9 день продовжується позитивна динаміка сходження, особливо добре сходять рослини в 6 варіанті, де опромінення проводилось: 10 секунд червоним лазером та 5 секунд синім, там зійшло 33 рослини. Найслабше відносно контролю показує себе 9 варіант, де опромінення проводилось по 10 секунд синім та червоним лазером. У 2 варіанті зійшло 22 рослини, на 3 менше, ніж у контролю, там насіння опромінювалось 5 секунд червоним лазером. Кількість пророслого насіння в 3 та 5 варіантах така сама, як і в другому, також на 3 рослини менше в порівнянні з контролем, там опромінення проводилось 10 секунд червоним лазером та по 5 секунд червоним і синім лазером відповідно. У 4 варіанті, де опромінювалось насіння 5 секунд синім лазером, кількість рослин в порівнянні з контролем більша на 1, тобто 26 рослин. 7 варіант, де насіння піддавалось 10 секундному опроміненню синім лазером, показав на 3 рослини більше відносно контролю. У варіанті 8 кількість рослин зростає на 1 в порівнянні із варіантом 7, тут воно опромінювалось 5 секунд червоним та 10 секунд синім світлом.

Також на 9 день після висадки було прийнято рішення висаджувати рослини в ґрунт.

Спостереження щодо виживання рослин велись на останній день експерименту, а саме на 62 день, 15 жовтня. У другому варіанті загинуло 12

рослин, тоді як в контрольному всього лише 5. В третьому варіанті загинуло 7 рослин, це на 5 менше порівняно з другим варіантом та на 10 в порівнянні з контролем. У 4 та 5 варіантах загинуло 12 і 13 рослин відповідно. Найбільше рослин загинуло у 6 варіанті – 16. У сьомому варіанті загинуло 7 рослин. у 8 кількість рослин зменшилась на 9. Найменше рослин загинуло у 9 варіанті, там їх кількість скоротилась лише на 4 екземпляри. Але кількість живих рослин порівняно з контролем залишається меншою на 5 рослин.

Порівняння даних схожості та виживання ехінацеї пурпурової показані на рисунку 3.2. Лазерне опромінення в деяких випадках позитивно впливає на схожість ехінацеї, але виживання рослини погіршується в усіх варіантах, окрім 7 та 8: кількість живих рослин менша, ніж в контролі.

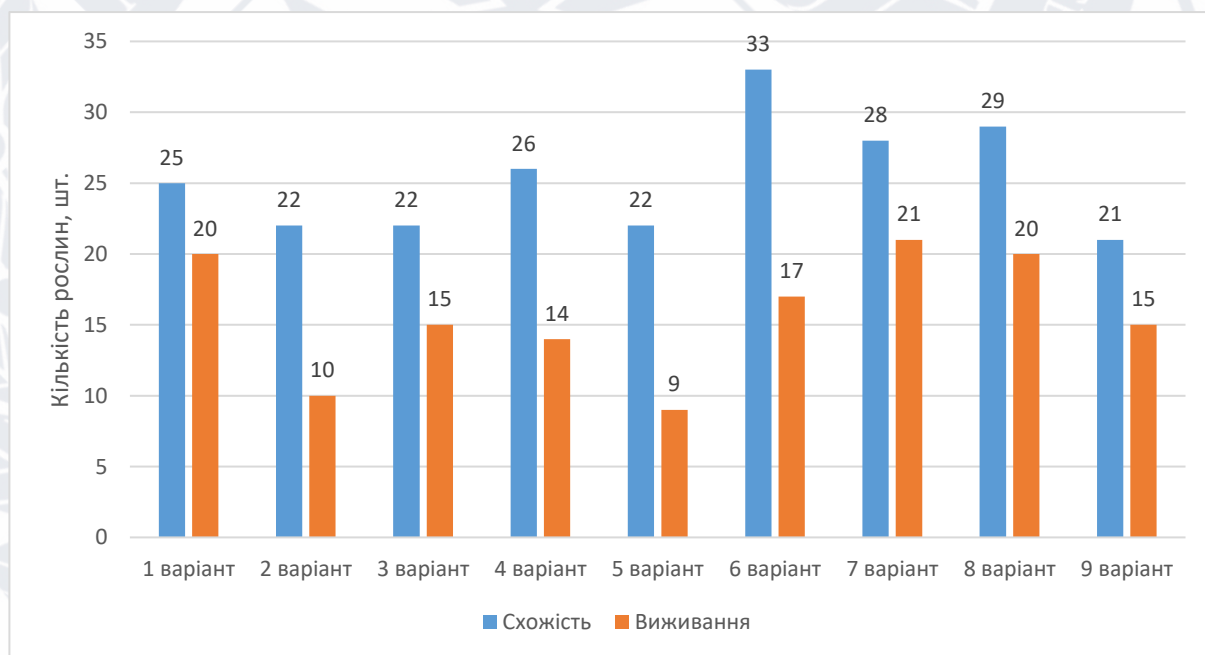


Рисунок 3.2 Діаграма схожості та виживання ехінацеї пурпурової

3.1.2 Вплив опромінення на схожість та виживання буркуну

Опромінення насіння рослин лазером та висадка в чашки Петрі відбувалась 23 серпня. На один підваріант використовувалось 30 насінин.

Догляд за ними відбувався кожен день, окрім вихідних. Для збереження вологості через сильну спеку та сухість повітря, було прийнято рішення підкласти

під фільтрувальний папір медичної нестерильної вати, для кращого збереження вологи, щоб запобігти пересиханню рослин.

Перші сходи з'явилися майже у всіх варіантах через 4 години (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Фото перших сходів буркуну лікарського в чашці Петрі

Заміри сходження були проведені на 5 день. Всі варіанти відносно контролю показали покращення сходження рослин. У 2 варіанті зійшло 43 рослини, на 13 більше ніж у контролю, де рослин зійшло 30 одиниць, там насіння опромінювалось 5 секунд червоним лазером. Кількість пророслого насіння в 3 варіанті на 5 більше, ніж в контролю, тобто 35 рослин. Опромінення в цьому варіанті проводилось 10 секунд червоним лазером. У 4 варіанті, де опромінювалось насіння 5 секунд синім лазером, кількість рослин в порівнянні з контролем більша на 1, тобто 26 рослин. У 5 варіанті, де насіння опромінювалось 5 секунд червоним та синім світлом, кількість рослин у порівнянні з контролем зросла на 12. Шостий варіант, де було опромінення 10 секунд червоним та 5 синім світлом, кількість рослин зросла на 6 порівняно із неопроміненим насінням. 7 варіант, де насіння піддавалось 10 секундному опроміненню синім лазером, показав на 4 рослини більше відносно контролю. У варіанті 8 кількість рослин зросла на 10 в порівнянні із контролем, тут вони опромінювались 5 секунд червоним та 10 секунд синім світлом. Найкращою для сходження виявилась

комбінація опромінення по 10 секунд синім та червоним лазерами, тут кількість рослин зросла до 49.

На 46 день після висадки буркуну лікарського були зняті показники виживання рослин, загальна тенденція усіх зразків була негативна, дуже багато рослин гинуло, але навіть у такому випадку опромінення допомогло зберегти більшу кількість рослин в порівнянні з неопроміненим зразком.

В контрольному зразку із 30 рослин загинула 21 рослина. У другому варіанті загинуло 35 рослин, варто зазначити що тут найгірший показник виживання. В третьому варіанті загинуло 31 рослина, це на 4 менше порівняно з другим варіантом. У 4 та 5 варіантах, загинуло 18 і 27 рослин відповідно. У 6 варіанті – 13. У сьомому варіанті загинуло 18 рослин. У 8 кількість рослин зменшилась на 24. Найкраще на схожість та виживання впливає опромінення 10 секундами червоним і синім лазером як у 9 варіанті. Кількість рослин скоротилась на 27, але кількість живих рослин порівняно з усіма іншими варіантами залишається найбільшою, а саме 22, в порівнянні з контролем це на 13 рослин більше.

Порівняння результатів сходження і виживання буркуну лікарського при початковому пророщуванні насіння в чашках Петрі, показані в діаграмі на рисунку 3.4.

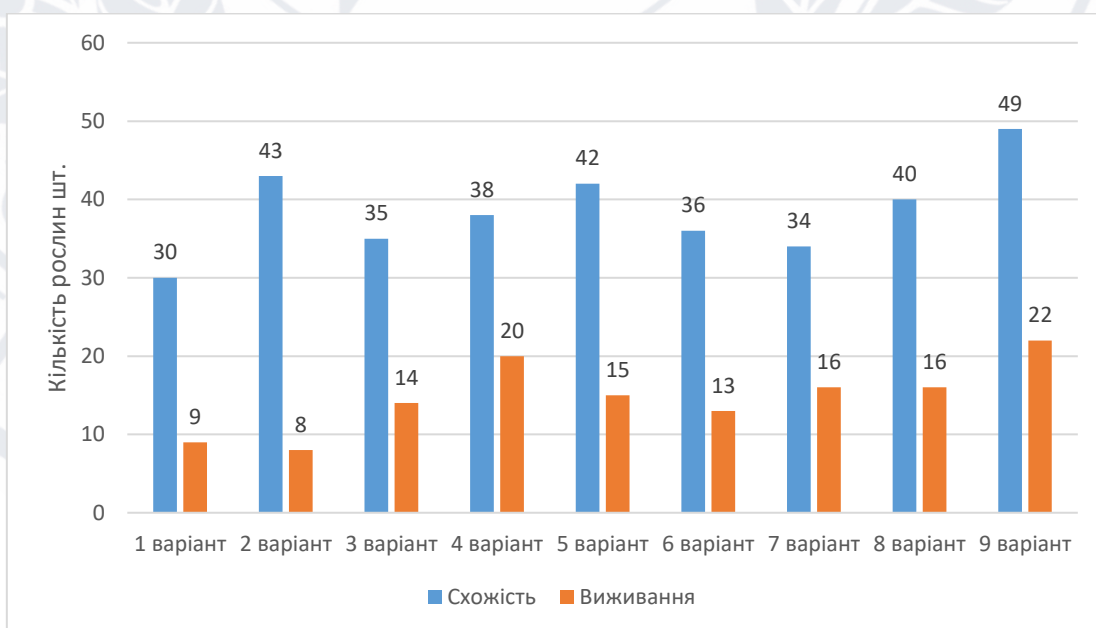


Рисунок 3.4 – Діаграма схожості та виживання буркуну лікарського

3.1.3 Вплив опромінення на схожість та виживання буркуну, висадженого відразу в землю

Через велику кількість загибелі буркуну лікарського було вирішено змінити агротехнологію пророщування насіння. 20 вересня, відразу після опромінення, насіння було висаджено в пластикові горщики з вологим просіяним ґрунтом (рис 3.5). На один підваріант використовувалось 20 насінин, по 60 насінин на варіант.



Рисунок 3.5 – Фото буркуну лікарського, висадженого одразу в ґрунт

Перші сходження із землі були на 4 день після висадки. Спостереження кількості рослин проводилось на 5 день після висадження. Майже всі варіанти відносно контролю показали покращення сходження рослин.

У 2 варіанті зійшло 17 рослин, на 3 більше ніж у контролі, де рослин зійшло 14, там насіння опромінювалось 5 секунд червоним лазером. Кількість пророслого насіння буркуну в 3 варіанті на 1 менше ніж в контролі, тобто 13 рослин. Опромінення в цьому варіанті проводилось 10 секунд червоним лазером. У 4 варіанті де опромінювалось насіння 5 секунд синім лазером кількість рослин в порівнянні з контролем більша на 5, тобто 19 рослин. У 5 варіанті, де насіння опромінювалось 5 секунд червоним та синім світлом, кількість рослин у порівнянні з контролем зменшилась на 3. Шостий варіант опромінювався 10 секунд червоним та 5 синім світлом, кількість рослин зросла на 5 порівняно із неопроміненим насінням. 7 варіант, де насіння піддавалось 10 секундному опроміненню синім лазером, показав на 7 рослин більше відносно контролю. У варіанті 8 кількість рослин зросла на 4 в порівнянні із контролем, тут воно

опромінювалось 5 секунд червоним та 10 секунд синім світлом. Не такою вдалою як в першому досліді вирощування буркуна для сходження виявилась комбінація опромінення 10 секундами синім та червоним лазерами, тут кількість рослин зменшилась на 1.

На 15 день після висадки буркуна лікарського були зняті показники виживання рослин, загальна тенденція усіх зразків була позитивна окрім двох варіантів. У деяких варіантів ще з'явилися нові сходження.

В контрольному зразку із 14 рослин загинуло 4 рослини. У другому варіанті загинуло 5 рослин. В третьому варіанті загинуло 5 рослин, це на 4 менше порівняно з другим варіантом. Варто зазначити що динаміка негативного впливу досі тримається тому можна сказати, що десяти секундне опромінення червоним лазером пригнічує ріст буркуна. У 4 зійшла ще одна рослина а в 5 кількість рослин залишилась незмінна. У 6 варіанті загинуло 6 рослин. У сьомому лише 3 одиниці. У 8 кількість рослин збільшилась на 4. Найгіршим варіантом став дев'ятий, там загинуло 8 рослин. В порівнянні із кількістю рослин в контролі тут залишилось на 5 рослин менше

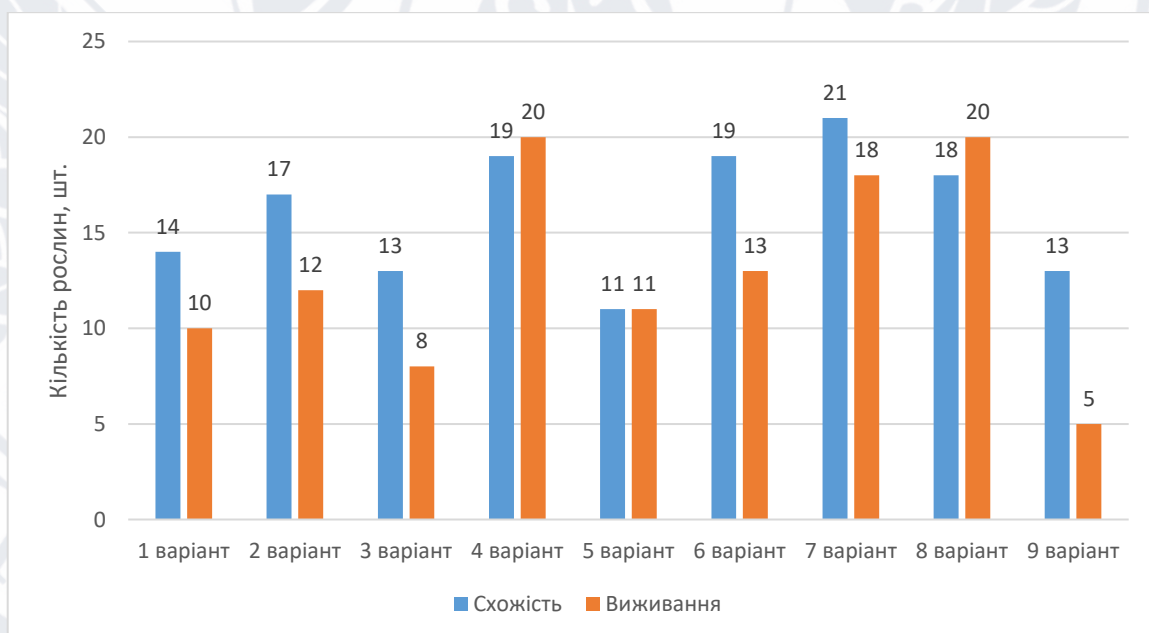


Рисунок 3.6 – Діаграма схожості та виживання буркуна лікарського із зміненою агротехнологією пророщування.

У рисунку 3.6 показано порівняння результатів сходження і виживання буркуна лікарського при початковому пророщуванні насіння в чашках Петрі.

У обох дослідях з буркуном лікарським, можна зробити висновок що передпосівне лазерне опромінення насіння, переважно позитивно впливає на схожість та виживання рослин.

3.2 Вплив опромінення синім та червоним лазером на ростові параметри лікарських рослин

3.2.1 Вплив опромінення на ростові параметри ехінацеї

Дослідження по визначенню ростових параметрів проводилось на 62 день росту ехінацеї пурпурової. Лазерне опромінення негативно вплинуло на ростові показники стебла *Echinacea purpurea* L (таблиця 3.1) Висота стебла зменшилась в середньому на 15% порівняно з контролем. Середня висота стебла у другому варіанті становить 3,39 см, що на 13% менше ніж у контрольного, де середня висота стебла була в межах 3,88 см. Тобто можна сказати що 5 секундне опромінення червоним лазером має негативний вплив на ростові параметри ехінацеї. У 3 варіанті середня висота стебла становить 3,56 см і це на 8% менше відносно контролю. З цього випливає, що опромінення 10 секундами червоним лазером менше пригнічує ріст стебла в порівнянні з 2 варіантом. Схожа ситуація із 4 та 5 варіантом там висота стебла зменшилась на 9% та 7% відповідно, у порівнянні із контролем. Тобто опромінення лише 5 секундами синім та комбінацією з 5 секунд синього та 10 червоного світла також несуть незначний негативний вплив. Середня висота стебла в 6 варіанті 3,15 см і це на 19% менше ніж контроль. Опромінення велось 10 секунд червоним та 5 секунд синім лазером. Середня висота стебла рослин сьомого варіанту становила 2,96 см., це на 24% гірше порівняно із контролем. Тут насіння було опромінене лише 10 секунд синім лазером, тому можна сказати що довше опромінення синім лазером несе ще більш негативний вплив на ріст стебла. Середня висота стебла у 8 варіанті 3,18 см., що на 18% гірше ніж у контролі. Тут опромінення було 5 секунд

червоним та 10 синім. Найгірший показник висоти стебла спостерігається у 9 варіанті, де середня висота становить 2,66 см, що на 31% гірше в порівнянні з контролем. Опромінення у цьому варіанті проводилось по 10 секунд синім та червоним лазерами.

Згідно результатів можна стверджувати, що передпосівне опромінення насіння ехінацеї несе негативний вплив на висоту стебла рослини. Найгірший показник висоти у 9 варіанті.

Таблиця 3.1 – Вплив опромінення на висоту стебла ехінацеї пурпурової

Номер варіанту	Висота стебла, %			
	$M \pm m$	D	D ^D	% до контролю
1	3,88±0,39	-	-	100
2	3,39±0,46	-0.49	1.38	87
3	3,56±0,44	-0.31	1.24	92
4	3,53±0,65	-0.35	1.53	91
5	3,59±0,72	-0.29	1.59	93
6	3,15±0,33	-0.73	1.25	81
7	2,96±0,31	-0.92	1.35	76
8	3,18±0,39	-0.71	1.31	82
9	2,66±0,34	-1.22	1.35	69

Відповідно до даних які вказані в таблиці 3.2, можна також зазначити що лазерне опромінення негативно впливає на довжину кореня. При 5 секундному опроміненні насіння червоним лазером в другому варіанті середня довжина кореня становить 3,36 см. в той час як контроль має 4,39 см., у відсотках це на 23% нижче. Третій варіант було опромінено червоним лазером протягом 10 секунд, тут середня довжина становить 3,74 см. і це на 15% нижче в порівнянні з контролем. Якщо порівняти це з попереднім варіантом то можна сказати що збільшення часу опромінення ще на 5 секунд менше пригнічує ріст кореня, а саме на 8%. У 4 варіанті, при опроміненні 5 секундами синім лазером, помітний

найменш негативний вплив, тут середня довжина кореня рослини становила 4,14 см., що всього лише на 6% менше у порівнянні з контролем.

Таблиця 3.2 Вплив опромінення на довжину кореня ехінацеї пурпурової

Номер варіанту	Довжина кореня, см			
	$M \pm m$	D	D ^D	% до контролю
1	4,39±0,62	-	-	100
2	3,36±0,52	-0.49	1.38	77
3	3,74±0,57	-0.31	1.24	85
4	4,14±1,09	-0.35	1.53	94
5	3,34±0,85	-0.29	1.59	76
6	2,66±0,41	-0.73	1.25	61
7	3,17±0,49	-0.92	1.35	72
8	2,90±0,43	-0.71	1.31	66
9	2,01±0,35	-1.22	1.35	46

Опромінення протягом 5 секунд червоним та синім лазерами пригнічує ріс кореня на 24%, тут середня довжина становить 3,34 см. тоді як у контрольного варіанту 4,39 см. Шостий варіант був опромінений двома лазерами, синім протягом 5 секунд та червоним протягом 10 секунд. Тут середня довжина кореня становить 2,66, і це на 39% нижче в порівнянні з контролем. У 7 варіанті опромінення проводилось синім лазером протягом 10 секунд. Середня довжина кореня ехінацеї становить 3,17 см, на 28% менше, ніж у контрольного варіанту. У 8 варіанті середня довжина була 2,90 см. тобто на 34% нижче ніж у контролю. Тут опромінення проводилось 5 секундами червоним та 10 – синім лазером. Найгіршим варіантом опромінення для росту кореня виявився 9 варіант, у ньому середня довжина становить 2,01 см. коли у контролю 4,39 см., У відсотках це 54% нижче. Варто зауважити, що тут опромінення насіння проводилось двома лазерами протягом 10 секунд. З цього можна сказати, що лазерне опромінення негативно впливало на ріст кореня ехінацеї, особливо комбіноване, а саме 5, 6, 8, 9 варіанти.

3.2.2 Вплив опромінення на ростові параметри буркуна

Контрольний замір ростових параметрів буркуна лікарського, який спочатку пророщувався у чашках Петрі проводився на 46 день після висадки. Всі результати вимірів висоти рослини по кожному варіанту наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вплив опромінення на висоту стебла буркуна лікарського

Номер варіанту	Висота стебла, см.			
	$M \pm m$	D	D ^D	% до контролю
1	8,72±1,08	-	-	100
2	8,80±0,71	0,08	2,93	101
3	8,60±0,68	-0,12	3,05	99
4	8,36±1,26	-0,36	3,55	96
5	7,10±0,64	-1,62	3,08	81
6	7,15±0,47	-1,56	3,05	82
7	6,93±0,68	-1,79	3,12	79
8	8,43±1,22	-0,29	3,17	97
9	6,70±0,35	-2,02	2,89	77

У другому варіанті насіння опромінювалось протягом 5 секунд синім світлом. Середня висота стебла становила 8,80 см. в порівнянні з контролем де висота стебла становить 8,72 см., ростові параметри стебла покращились лише на 1%. Насіння 3 варіанту було опромінено червоним лазером протягом 10 секунд. Таке опромінення також має незначний вплив на ріст рослини, адже тут середнє значення становить 8,60 см., тобто на 1% менше відносно контролю. Більш негативно але не суттєво погіршило ріст опромінення у 4 варіанті, а саме 5 секундами синім лазером. Середня висота стебла у цьому варіанті становила 8,36 см. В порівнянні з контролем це на 4% нижче. У 5 варіанті середня висота рослини була 7,10 см., це на 19% нижче відносно контролю. Варто зауважити що тут насіння опромінювалось по 5 секунд червоним та синім лазерами. Висота стебла у 6 варіанті в середньому становила 7,15 см. це на 1,56 см. нижче в порівнянні з контролем. У відсотковому значенні зниження висоти стебла у

цьому варіанті порівняно з контролем становить 18%. Тут також застосовувалось комбіноване опромінення 10 секундами червоним та 5 синім лазерами. Середня висота стебла у 7 варіанті дорівнювала 6,93 см., на 21% менше ніж в контролі. Тут насіння опромінювалось 10 секунд синім лазером. У 8 варіанті насіння опромінювалось 10 секунд синім та 5 секунд червоним світлом лазера. Тут середня висота стебла була на 3% нижче ніж в контролі, а саме 8,43. Найгіршою комбінацією для зміни ростових параметрів стебла виявилось 10 секундне опромінення синім та червоним лазером. Середня висота стебла у 9 варіанті становила 6,70 см., на 23% нижче ніж у контрольного зразка.

Таблиця 3.4 показує як когерентне монохроматичне лазерне опромінення впливало на початкові стадії росту кореня у буркуна лікарського. У другому варіанті насіння опромінювалось лише 5 секунд червоним лазером й середні показники показали зниження довжини на 18%, тобто довжина кореня у цьому варіанті була 1,81 см. тоді як в контрольному 2,21 см.

Таблиця 3.4 – Вплив опромінення на довжину кореня буркуна лікарського

Номер варіанту	Довжина кореня, см			
	$M \pm m$	D	D ^D	% до контролю
1	2,21±0,41	-	-	100
2	1,81±0,17	-0,41	0,91	82
3	1,55±0,17	-0,65	0,94	70
4	1,95±0,56	-0,26	1,09	88
5	1,34±0,23	-0,87	0,95	61
6	1,53±0,22	-0,68	0,94	69
7	1,78±0,29	-0,43	0,96	81
8	1,82±0,37	-0,39	0,98	82
9	1,21±0,15	-1,01	0,86	55

У третьому варіанті зниження довжини кореня становило 30%, а саме 1,55 см. Тут насіння опромінювалось 10 секунд червоним лазером. У четвертому варіанті де вплив був лише 5 секунд синім лазером, середня довжина стебла

сягала 1,95 см, що у відсотковому значенні в порівнянні з контролем нижче на 12%. П'ятий варіант опромінювався по 5 секунд синім та червоним лазером, там середня довжина кореня в порівнянні із контролем знизилась на 39%. Насіння шостого варіанту опромінювалось 10 секунд червоним та 5 секунд синім лазером. Зниження довжини кореня становить 31%. У сьомому варіанті середня довжина кореня становить 1,78 см., це на 19% нижче за контроль. Тут насіння опромінювалось лише 10 секунд синім світлом. Схожа ситуація і з восьмим варіантом, тут середня довжина сягнула 1,82 см., що у порівнянні з контролем нижче на 18%. Варто зауважити, що тут опромінення проводилось протягом 10 секунд синім та 5 секунд червоним лазерами. Найгірша ситуація у дев'ятому варіанті тут середня довжина кореня в порівнянні з контролем знизилась на 45%. Опромінення проводилось по 10 секунд червоним та синім лазерами.

3.2.3 Вплив опромінення на ростові параметри буркуну, висадженого відразу в землю

Контрольний замір ростових параметрів буркуну лікарського, який відразу після опромінення був висаджений у землю, проводився на 15 день після висадки. Всі результати вимірів висоти рослини по кожному варіанту наведені в таблиці 3.3.

Середня висота стебла у другому варіанті становить 4,55 см, що на 2% більше, ніж у контрольного, де середня висота стебла була в межах 4,46 см. Тобто можна сказати, що 5 секундне опромінення червоним лазером має незначний, але позитивний вплив на ростові параметри буркуну. У 3 варіанті середня висота стебла становить 5,75 см і це на 29% краще відносно контролю. З цього випливає, що опромінення 10 секундами червоним лазером покращує ріст стебла в порівнянні з контролем. У 4 варіанті середня висота стебла становить 4,67 см., що у відсотковому порівнянні з контролем краще на 5%. В цьому варіанті насіння опромінювалось 5 секунд синім лазером. Найгірші показники спостерігались у 5 варіанті, де насіння опромінювалось по 5 секунд синім та червоним лазерами, середня висота стебла 4,21 см., це на 6% гірше порівняно з

контрольним варіантом. Середня висота стебла в 6 варіанті 4,87 см і це на 9% більше, ніж контроль. Опромінення велось 10 секунд червоним та 5 секунд синім лазером. Середня висота стебла рослин сьомого варіанту становила 5,25 см., це на 18% краще порівняно із контролем. Тут насіння було опромінене лише 10 секунд синім лазером. Середня висота стебла у 8 варіанті 4,91 см., що на 10% краще ніж у контролі. Тут опромінення було 5 секунд червоним та 10 синім. У 9 варіанті, де середня висота становить 4,36 см, що на 2% гірше в порівнянні з контролем. Опромінення у цьому варіанті проводилось по 10 секунд синім та червоним лазерами.

Варто зазначити що зміна агротехнології допомогла покращити результати ростових параметрів, також в цьому випадку позитивно вплинуло й опромінення, окрім 5 та 9 варіантів, але там відхилення були незначні.

Таблиця 3.5 – Вплив опромінення на висоту стебла буркуна лікарського, після зміни агротехнології

Номер варіанту	Висота стебла, см			
	$M \pm m$	D	D ^D	% до контролю
1	4,46±0,74	-	-	100
2	4,55±0,52	0,09	2,17	102
3	5,75±0,42	1,29	2,21	129
4	4,67±0,73	0,21	2,40	105
5	4,21±0,63	-0,25	2,45	94
6	4,87±0,45	0,41	2,172	109
7	5,25±0,61	0,79	2,66	118
8	4,91±0,47	0,45	2,13	110
9	4,36±1,05	-0,10	3,07	98

В таблиці 3.6 наведені всі результати змін ростових параметрів буркуну лікарського під впливом лазерного опромінення.

Таблиця 3.6 – Вплив опромінення на довжину кореня буркуна лікарського, після зміни агротехнології

Номер варіанту	Довжина кореня, см			
	$M \pm m$	D	D ^D	% до контролю
1	1,76±0,28	-	-	100
2	2,52±0,37	0,76	1,31	143
3	3,14±0,40	1,38	1,33	178
4	2,76±0,41	0,99	1,45	157
5	1,69±0,23	-0,06	1,48	96
6	2,60±0,30	0,84	1,31	148
7	1,05±0,29	-0,71	1,61	60
8	2,24±0,20	0,48	1,28	127
9	0,94±0,19	-0,82	1,86	53

При 5 секундному опроміненні насіння червоним лазером в другому варіанті середня довжина кореня становить 2,52 см. в той час як в контрольному варіанті він сягає 1,76 см., у відсотках це на 43% вище. Третій варіант було опромінено червоним лазером протягом 10 секунд, тут середня довжина становить 3,14 см. і це на 78% довше в порівнянні з контролем. У 4 варіанті, при опроміненні 5 секундами синім лазером середня довжина кореня рослини становила 2,76 см., що на 57% більше у порівнянні з контролем. Опромінення протягом 5 секунд червоним та синім лазерами пригнічує ріст кореня на 4%, середня довжина становить 1,69 см., тоді як у контрольного варіанту 1,76 см. Шостий варіант був опромінений двома лазерами, синім протягом 5 секунд та червоним протягом 10 секунд. Тут середня довжина кореня становить 2,60 см., і це на 48% краще аніж в порівнянні з контролем. У 7 варіанті опромінення проводилось синім лазером протягом 10 секунд. Середня довжина кореня ехінацеї становить 1,05 см., на 40% менше ніж у контрольного варіанту. У 8 варіанті середня довжина була 2,24 см, тобто на 27% довше, ніж у контролю. Тут опромінення проводилось 5 секундами червоним та 10 – синім лазером.

Найгіршим варіантом опромінення для росту кореня виявився 9 варіант, у ньому середня довжина становить 0,94 см., коли у контролю 1,76 см., У відсотках це на 47% нижче. Варто зауважити, що тут опромінення насіння проводилось двома лазерами протягом 10 секунд.

Якщо порівняти дві різних агротехнології пророщування буркуну жовтого, то може здатись, що при висаджуванні одразу в землю показники довжини кореня стали гірші, але варто зазначити, що в даному випадку система бічних коренів була розвинута краще.

3.3 Вплив опромінення синім та червоним лазером на вміст хлорофілу ехінацеї

Експеримент з визначення хлорофілу в ехінацеї пурпурової відбувався на 62 день. Лазерне опромінення впливає на вміст хлорофілу у рослині. Кількість хлорофілу *a* значно виросла порівняно з контролем а хлорофілу *b* відносно знизилась порівняно із не опроміненими рослинами. Всі результати досліджень показані у таблицях 3.7 та 3.8. У другому варіанті насіння опромінювалось протягом 5 секунд синім світлом. Кількість хлорофілу *a* зросла на 76%, кількість хлорофілу *b* зросла на 12% відносно з контрольним варіантом. Співвідношення *a/b* зросло на 57%. Насіння 3 варіанту було опромінено червоним лазером протягом 10 секунд. Таке опромінення також має позитивний вплив, вміст хлорофілу *a* – 176%, хлорофілу *b* – 89%, співвідношення *a/b* – 164%. У 4 варіанті, де опромінення проводилось 5 секундами синім лазером. Тут вміст хлорофілу *a* – 130%, хлорофілу *b* – 90%, співвідношення *a/b* – 144%. У 5 варіанті вміст хлорофілу *a* – 139%, хлорофілу *b* – 91%, співвідношення *a/b* – 153%. Варто зауважити що тут насіння опромінювалось по 5 секунд червоним та синім лазерами. У 6 варіанті вміст хлорофілу *a* – 124%, хлорофілу *b* – 87%, співвідношення *a/b* – 143%. Тут також застосовувалось комбіноване опромінення 10 секундами червоним та 5 синім лазерами. У 7 варіанті насіння опромінювалось 10 секунд синім лазером, вміст хлорофілу *a* – 97%, хлорофілу *b* – 85%, співвідношення *a/b* – 114%.

Таблиця 3.7 Результати впливу лазерного опромінення на вміст хлорофілу в ехінацеї.

№	Вміст хлорофілу мг/100г						
	Хлорофіл <i>a</i>			Хлорофіл <i>b</i>			<i>a/b</i>
	$M \pm m$	D	D ^D	$M \pm m$	D	D ^D	M
1	0,94±0,02	-	-	0,93±0,04	-	-	1,01
2	1,65±0,09	-0,49	1,37	1,04±0,04	0,10	0,14	1,59
3	1,37±0,08	-0,32	1,24	0,83±0,03	-0,11	0,14	1,65
4	1,22±0,09	-0,35	1,53	0,84±0,03	-0,09	0,14	1,45
5	1,31±0,09	-0,29	1,58	0,85±0,01	-0,09	0,14	1,54
6	1,17±0,05	-0,73	1,25	0,81±0,03	-0,13	0,14	1,44
7	0,91±0,11	-0,92	1,35	0,79±0,06	-0,15	0,14	1,15
8	1,45±0,11	-0,70	1,30	0,92±0,05	-0,01	0,14	1,58
9	0,98±0,0	-1,22	1,35	0,86±0,02	-0,08	0,14	1,14

Ця комбінація є найменш сприятливою для збільшення хлорофілу. У 8 варіанті насіння опромінювалось 10 секунд синім та 5 секунд червоним світлом лазера.

Таблиця 3.8 – Вміст хлорофілу в ехінацеї (виражено у відсотках)

№	Вміст хлорофілу мг/100г та %				
	Хлорофіл <i>a</i>		Хлорофіл <i>b</i>		<i>a/b</i>
	$M \pm m$	% до контролю	$M \pm m$	% до контролю	% до контролю
1	0,94±0,02	100	0,93±0,04	100	100
2	1,65±0,09	176	1,04±0,04	112	157
3	1,37±0,08	146	0,83±0,03	89	164
4	1,22±0,09	130	0,84±0,03	90	144
5	1,31±0,09	139	0,85±0,01	91	153
6	1,17±0,05	124	0,81±0,03	87	143
7	0,91±0,11	97	0,79±0,06	85	114
8	1,45±0,11	154	0,92±0,05	99	156
9	0,98±0,0	104	0,86±0,02	92	113

Тут вміст хлорофілу a – 154%, хлорофілу b – 99%, співвідношення a/b – 156%. Найгіршою комбінацією по відношенню до співвідношення хлорофілу a/b є 9 варіант де опромінення проводилось по 10 секунд синім і червоним лазером. В цьому варіанті вміст хлорофілу a – 104%, хлорофілу b – 92%, співвідношення a/b – 113%.

Найкраще зростання співвідношення a/b у варіанті 2 та 3, а саме 157% та 164% відповідно. Якщо співвідношення a/b зменшується, то це означає що хлорофіл b розвивався більше. Це призводить до зниження чутливості на яскраве світло та значного зниження інтенсивності фотосинтезу і як результат сповільнення метаболізму та погіршення росту.

ВИСНОВКИ

1. Вплив передпосівного лазерного опромінення в більшості варіантів обох видів рослин позитивно впливає на швидкість проростання, сходження та виживання рослин, але пригнічує ростові показники ехінацеї пурпурової та буркуна лікарського.
2. Проростання та ріст в буркуна краще при висаджуванні насіння відразу в ґрунт, аніж при попередньому пророщуванні його в чашках Петрі.
3. Опромінення позитивно впливає на вміст хлорофілу в ехінацеї пурпурової та співвідношення хлорофілу a/b , що в свою чергу впливає на покращення фотосинтезу, і, як результат, покращення росту рослини.
4. Проростання та ріст рослин також залежить від агротехнології вирощування, фенологічних циклів, температури навколишнього середовища, освітленості, вологості повітря й ґрунту та якості насіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авксентьєва О.О. і Батуєва Є.Д. "Вплив червоного світла (660 нм) на проліферативну активність та ростові реакції у проростків рослин з контрастною фотоперіодичною реакцією." *Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна. Серія «Біологія»* 34 (2020): 120-130.
2. Адаменко Т. (2019). Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам?
3. Коваленко В.С. Лазерне випромінювання. Енциклопедія Сучасної України: електронна версія /за ред.: І.М. Дзюба, А.І. Жуковський, М.Г. Железняк та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2016. URL: https://esu.com.ua/search_articles.php?id=53023
4. Волоотовский И.Д. (1992). *Фитохром-регуляторный фоторецептор растений*. Наука і техніка.
5. Квітко Г.П., Мазур В.А., Корнійчук О.В. "Біоенергетична оцінка технологій вирощування буркуну білого на корм в умовах правобережного Лісостепу України." Відповідальний редактор: ВФ Петриченко 2008: 133 с.
6. Ковка Н. С., Недашківський В.М. (2019). Тривалість та період цвітіння основних нектаропилконосів в умовах Лісостепу Правобережного.
7. Куценко Н.П., Агаєва Х. Е., Куценко Н.П., Агаєва К.Э. (2021). Рослинні імуностимулятори для профілактики і лікування ГРВІ. Фітопрепарати на основі сировини ехінацеї пурпурової (Doctoral dissertation, Громадська організація «Південна фундація медицини»).
8. Лікарські рослини / Відп. ред. А.М. Гродзинський. — К., 1992.;
9. Бензель Л.В. (2001). Лікарські рослини у повсякденному харчуванні. Луганськ: Лугань.
10. Лікарські рослини: Енциклопедія довідник / Л-56 Відп. Ред. А.М. Гродзинський. - К.: Голов. ред. УРЕ, 1989. - с. 177
11. Макуха О.В. "Echinacea—цінна лікарська рослина північноамериканської флори." Рекомендовано до друку Науково-технічною радою Дослідної станції «Маяк» Інституту овочівництва і баштанництва НААН,

протокол № 2 від 21 лютого 2022 р. Відповідальний за випуск: Позняк ОВ (2022): 159.

12. Манушкіна Т.М., Манушкина Т.Н. (2018). Перспективи вирощування ефіроолійних рослин в умовах зміни клімату у зоні Південного Степу України.

13. Місевич О.В., Влашук А.М. "Особливості технології вирощування буркуна білого однорічного в умовах півдня Ураїни." *Зрошуване землеробство* 66 (2016): 122-124.

14. Доброчаева Д.Н., Котов М.И., Прокудин Ю.Н. (1987). Определитель высших растений Украины.

15. Писаренко В.М., Писаренко П.В., Писаренко В.В. (2019). Напрями адаптування землеробства до змін клімату. Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти, 10–12 квітня 2019 року, 9-22.

16. Поспелов С.В., Здор В.М., Слюсар О.О. "Представники Echinacea Moench. як види багатогалузевого використання." Перспективні напрямки наукових досліджень лікарських та ефіроолійних культур: мате (2020): 241.

17. Приседський Ю.Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. посіб. Донецьк : Юго-Восток, 1999. 65 с.

18. Приседський Ю.Г. Фотосинтез. Методичний посібник з виконання лабораторних робіт та самостійної роботи / Ю.Г. Приседський. // – Вінниця: ДонНУ, 2016. – С. 68.

19. Приседський Ю.Г. Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів. Навчальний посібник. Донецьк: ДонНУ, 2005. С. 75.

20. Приседський Ю.Г., Гутянська С.С. Вплив лазерного опромінення насіння на ростові процеси та вміст пігментів у проростках олійних культур. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2017. № 2(66). URL: <https://doi.org/10.31548/dopovid2017.02.001> (дата звернення: 08.11.2024).

21. Приседський Ю.Г., Ніщенко Л.В. (2017). Вплив лазерного опромінення насіння на ростові показники та вміст хлорофілів у робінії звичайної за умов забруднення ґрунту сполуками сірки та фтору. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України, (1).
22. Приседський Ю.Г., Лихолат Ю.В. "Адаптація рослин до антропогенних чинників." (2017).
23. Косуба Р.Б., Ткачук О.Ю. (2009). Стан і перспективи використання буркуну лікарського в медицині та фармації (огляд літератури). Фітотерапія, (2), 53-56.
24. Романенко О.І., Червінський Л.С. (2015). Перспективи застосування оптичних методів передпосівної обробки насіння.
25. Скварко К.О. (1994). Лазерна фотоактивація насіння. Перспективи, рекомендації. Львів: Вид-во Львів. ун-ту.
26. Скварко К.О., Скрипа І.Д., Кальмук О.П. (2009). Проростання насіння лікарських рослин в умовах лазерної фотоактивації. Науковий вісник НЛТУ України, 19(12), 34-39.
27. Скидан Є.А. (2021). Проект виробництва йогурту з імуномодулюючими властивостями, збагаченого екстрактом ехінацеї пурпурової.
28. Фармацевтична ботаніка: базовий підруч. для студ. вищ. фарм. навч. закл. освіти та фарм. ф-тів вищ. мед. закл. освіти III—IV р. акр. (затв. МОЗУ ЦМК від 21.03.2014 р. № 10) / А. Г. Сербін, Л. М. Сіра, Т. О. Слободянюк ; за ред. Л. М. Сірої. — Вінниця: Нова книга, 2015. — 488 с.
29. Лановенко О.Г., Остапішина О.О. (2013). Словник-довідник з екології: навчально-методичний посібник. Херсон: ПП Вишемирський ВС, 226, 40.
30. Шевчук О.А., Кравчук Г.І., Вергеліс В.І. (2019). Якісні характеристики насіння бобів кормових залежно від передпосівної обробки

регуляторами росту рослин. Сільське господарство та лісівництво.-2018.-№ 10.- С. 66-73.

31. Энциклопедический словарь лекарственных растений и продуктов животного происхождения / Под ред. Г.П. Яковлева, К.Ф. Блиновой. — СПб, 2002.

32. Ярський Ю.В. (2020). Вплив гомеопатичних чаїв на основі ехінацеї пурпурової на організм школярів.

33. Bertolotti M. (2004). The history of the laser. CRC press.

34. Abou-Dahab A.D.M., Mohammed T.A., Heikal A.A., Taha L.S., Gabr A.M., Metwally S.A., Ali A.I. (2019). In vitro laser radiation induces mutation and growth in *Eustoma grandiflorum* plant. Bulletin of the National Research Centre, 43, 1-13.

35. Hernandez Aguilar, C., Dominguez Pacheco, F. A., Cruz Orea, A., & Ivanov Tsonchev, R. (2015). Thermal effects of laser irradiation on maize seeds. International Agrophysics, 29(2).

36. Behzadi H.R., Qaryan M., Shahi S. (2012). The Influence of LED Light on Basil Seeds Before Sowing and its Effects on Growing and Germination. International Journal of Plant Research, 2 (4): 108–110.

37. Chen H., & Han R. (2014). He-Ne laser treatment improves the photosynthetic efficiency of wheat exposed to enhanced UV-B radiation. Laser Physics, 24(10), 105602.

38. Cruz-Orea A., Podlesna A., żenia i Gleboznawstw I. U. N., Tsonchev R. I., & Carballo, A. C. (2016). Laser biostimulation in seeds and plants. Gayana Bot, 73, 1.

39. Darwish Saleh, Darwish & Abo-Hegazy, Samir & Khater, Mohamed. (2013). Effects of Laser Irradiation on Two Lentil Cultivars. Egyptian Journal of Plant Breeding. No 17. P. 29-39. DOI: <https://doi.org/10.12816/0004026>.

40. De Souza A., García D., Sueiro L., Gilart F. (2014). Improvement of the seed germination, growth and yield of onion plants by extremely low frequency non-uniform magnetic fields. Scientia Horticulturae, 176, 63-69.

41. Grigoreva O. Sposobyi podgotovki semyan k posevu / O. Grigoreva // LesProm . – 2014. – #6 (104). – S. 176-177.
42. Liu,F., Chen, H.,Han,R. (2015).The Effects of He-Ne Laser and Enhanced Ultraviolet-B Radiation on Proliferating-Cell Nuclear Antigen in Wheat 47 Seedlings. American Journal of Plant Sciences, 6: 1206–1214.
<http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.68124>
43. Prytskyi Y., & Kozlov, M. (2021). Effect of Laser Irradiation of Seeds on Growth Parameters Of *Dracocephalum moldavica* L.
44. Prytskyi Y., & Mashtaler O. (2021). Growth parameters of herbaceous plants on phosphogypsum dumps with using soil coverings based on sewage sludge.
45. Prytskyi Y., & Pendelia Y. (2021). Plant growth parameters of *Cucumis sativus* L. cv Cornish Paris changes under the conditions of seeds irradiation with LED lasers.
46. Bilchuk V.S., Shupranova L.V. Species-dependent changes of activity and isoenzymatic composition of peroxidase in compositae plants under unfavourable conditions
47. Zhang, H., Gao Z., Li, Z., Du, H., Lin, B., Cui, M., Yin,Yo., Lei, F., Yu, Ch., Meng, Ch. (2017). Laser Radiation Induces Growth and Lipid Accumulation in the Seawater Microalga *Chlorella pacifica*. *Energies*, 10 (1671);
www.mdpi.com/journal/energies
48. Zhang, H., Gao, Z., Li, Z., Du, H., Lin, B., Cui, M., Yin, Y., Lei, F., Yu, C., & Meng, C. (2017). Laser Radiation Induces Growth and Lipid Accumulation in the Seawater Microalga *Chlorella pacifica*. *Energies*, 10(10), 1671.
<https://doi.org/10.3390/en10101671>
49. Zhuk, V. V., A. N. Mikheev, and L. G. Ovsyannikova. "Вплив хронічного опромінення ультрафіолетом у на рослини гороху." *Faktori eksperimental'noi evolucii organizmiv* 30 (2022): 67-72.
50. Hering E. Photonik / E. Hering, R. Martin // Springer Grundlagen, Technologie and Anwendung.- 2006.-523 p.

51. Charles Darwin, The power of movement in plants. – Cambridge University Press – 2010. 592 p. ISBN 9780511693670.

52. Yarbaşı, Z. & Karabulut, B. & Karabulut, Abdulhalik. (2011). An EPR study of gamma irradiated medicinal plants: Cress seeds and mistletoe. Gazi University Journal of Science. 24. 203-207.

