

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

ШАЇВСЬКА ТЕТЯНА СЕРГІЇВНА

Допускається до захисту:
в.о. завідувача кафедри ботаніки та
екології,
кандидат біол. наук, доцент
_____ О.В. Машталер
« _____ » _____ 2023 р.

**РІСТ ТА РОЗВИТОК РОСЛИН РОДИНИ *ROSEAE* ПІД ДІЄЮ
ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ LED ЛАЗЕРАМИ**

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

Шаївська Т.С. Ріст та розвиток рослин родини *Poaceae* під дією опромінення насіння LED лазерами . Спеціальність 091 «Біологія». Освітня програма «Біологія». Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2023.

Дослідження у магістерській роботі спрямоване на ріст та розвиток рослин родини *Poaceae* під дією опромінення насіння LED лазерами. Основна увага акцентується на аналізі впливу світлодіодних лазерів, що характеризувалися когерентним монохроматичним випроміненням червоного (635 нм) та синього (405 нм) світла. Потужність випромінення становить 100 мВт. В дослідженнях використовували рослини родини Злакові (*Poaceae*) ,а саме ячмінь (*Hordeum vulgare* L.) і жито (*Secale cereale* L.). Використання світлодіодних лазерів у сполученні з рослинами *Poaceae*, як відомо, своєю економічно важливою родиною, може мати велике значення для аграрної сфери та сільського господарства. Результати цього дослідження можуть сприяти розвитку нових методів агротехніки та підвищенню продуктивності рослинництва.

Ключові слова: лазерне опромінення, рослинництво, родина злакові, хлорофіл а, хлорофіл b.

44 с., 7 табл., 4 рис., 41 джерел.

ANNOTATION

Shaivska T.S. Growth and development of the *Poaceae* family plants by irradiation of seeds with LED lasers. Specialty 091 "Biology". Educational program "Biology". Vasyl' Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2023.

The research in the master's thesis is aimed at the growth and development of plants of the *Poaceae* family under the influence of seed irradiation with LED lasers. The main focus is on analyzing the effect of LED lasers characterized by coherent

monochromatic red (635 nm) and blue (405 nm) light emission. The radiation power is 100 mW. Plants of the Poaceae family, namely barley (*Hordeum vulgare* L.) and rye (*Secale cereale* L.), were used in the study. The use of LED lasers in combination with Poaceae plants, known to be an economically important family, can be of great importance for the agricultural sector and agriculture. The results of this study can contribute to the development of new methods of agricultural technology and increase crop productivity.

Key words: laser irradiation, crop production, cereal family, chlorophyll a, chlorophyll b.

Tabl. 7, Fig. 4, Bibliography: 41 items.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1 Актуальність дослідження впливу лазерного опромінення на рослини родини Poaceae	8
1.2. Важливість та значення в житті сільськогосподарських рослин родини Poaceae	12
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ	17
2.1 Об'єкти досліджень.....	17
2.2. Матеріали та методи досліджень.....	22
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
3.1 Вплив опромінення лазером на ростові параметри жита посівного.....	26
3.2 Вплив опромінення лазером на ростові параметри ячменю посівного.....	29
3.3 Вплив опромінення лазером на сиру та суху масу жита.....	31
3.4 Вплив опромінення лазером на сиру та суху масу ячменю	34
3.5 Вплив опромінення лазером на пігментний склад жита	36
3.6 Вплив опромінення лазером на пігментний склад ячменю	38
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	41

ВСТУП

Актуальність. Обробка насіння та рослин лазерним опроміненням вважається найкращим методом в промисловості для збільшення природного виробництва [4].

Фотосинтез – найважливіший природний процес, якому належить основна роль у перетворенні енергії сонячного світла в енергію хімічних зв'язків органічних сполук (вуглеводів, білків, жирів) [1]. Основна роль у фотосинтезі належить хлорофілам. Як речовина хлорофіл був відкритий в 1817 році дослідниками Ф. Пелетьє і І. В. Каванту [18]. Фотосинтез являє собою складний комплекс фотофізичних, фотохімічних та ферментативних реакцій, які відбуваються у чіткій послідовності. Це визначає необхідність комплексного підходу до вивчення фотосинтетичного процесу з використанням фізико-хімічних, хімічних, біохімічних методів досліджень. Залежно від характеру процесів фотосинтезу, що вивчаються, використовують різні досить складні методи досліджень. Як правило, це різні методи спектрометрії, люмінесцентний аналіз, манометрія, інфрачервоний газоаналіз, диференційне центрифугування, ізотопний радіоактивний аналіз тощо [1].

Передпосівна обробка насіння використовується в сільському господарстві вже досить давно. Історичні записи та дослідження свідчать про те, що вже з давніх часів фермери застосовували різні методи обробки насіння для покращення врожайності та здоров'я рослин [29].

Зараз передпосівна обробка насіння широко застосовується у сучасному сільському господарстві. Залежно від регіону та культури, методи обробки можуть варіюватися. Багато фермерів і сільськогосподарських підприємств використовують передпосівну обробку насіння, оскільки вона допомагає забезпечити більшу життєздатність насіння, захистити його від шкідників та

захворювань, забезпечити кращий старт для рослин та підвищити врожайність.[30]

Магнітну обробку насіння досліджували в усьому світі через вплив на застосування відновлення насіння для певних видів рослин, коли насіння має низьку якість . Вплив магнітного поля на живі системи, переважно вплив на проростання насіння та розвиток рослин, було спрямовано на багато проектів . На схожість насіння також впливає передпосівна обробка лазерним опроміненням. Основною перевагою лазерної обробки насіння є відсутність ризику пошкодження таких органів, як листя, стебла чи коріння. Захворювання насіння можна контролювати за допомогою обробки насіння лазерним опроміненням. Одного разу було проведено лазерну обробку насіння, і тоді немає потреби в дорогих хімічних методах, таких як удобрення посівів, оскільки вони трудомісткі, менш ефективні та також токсичні для їжі [4].

В більшості країн світу спостерігається інтенсивне впровадження лазерного випромінювання в біологічних дослідженнях та у практичній медицині. Вплив низькоінтенсивних лазерів призводить до швидкого затухання гострих запальовальних явищ, стимулює репаративні (відновлювальні) процеси та оптимізує мікроциркуляцію тканин [5]. Досліджено ефекти взаємодії некогерентного та когерентного електромагнітного випромінювання у видимому діапазоні вже тривалий час є важливим напрямом досліджень. Вже показано, що під час дослідження виявляються різні позитивні і негативні ефекти, індукуються різні позитивні та негативні ефекти. З мікроскопічної та макроскопічної, морфологічної та гістологічної точок зору (та інших) їх можна і потрібно аналізувати. Проте, незважаючи на багато відомих ефектів, існує ще багато не зовсім зрозумілих процесів, які потребують вивчення [4].

Метою роботи було встановити вплив лазерного опромінення на ростові параметри та вміст хлорофілів жита посівного (*Secale cereale* L.) та ячменю посівного (*Hordeum vulgare* L.)

Завдання даного дослідження:

- 1) Дослідити ростові процеси корневих систем та надземної частини;
- 2) Дослідити вплив лазерного опромінення на масу у деяких сільськогосподарських рослин;
- 3) З'ясувати вплив лазерного опромінення на вміст хлорофілу a,b у деяких сільськогосподарських рослин.

Об'єкт дослідження: зміна росту та вмісту хлорофілів у рослин жита посівного (*Secale cereale* L.) та ячменю посівного (*Hordeum vulgare* L.) за умов лазерного опромінення насіння.

Предмет дослідження: ростові параметри та вміст хлорофілу жита посівного (*Secale cereale* L.) та ячменю посівного (*Hordeum vulgare* L.) за умов лазерного опромінення насіння.

Новизна: вперше було встановлено вплив лазерного опромінення на ростові параметри та вміст хлорофілів для жита посівного (*Secale cereale* L.) та ячменю посівного (*Hordeum vulgare* L.).

Теоретичне і практичне значення отриманих результатів: Жито посівне (*Secale cereale* L.) та ячмінь посівний (*Hordeum vulgare* L.) широко застосовують у сільському господарстві, тому доцільно встановити вплив лазерного опромінення на ростові параметри, вміст хлорофілів та масу.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Актуальність дослідження впливу лазерного опромінення на рослини родини Poaceae

Зернові продукти складають більше 18% від всієї експортованої продукції Україною. Обсяги українського експорту зернових та зернобобових культур та продуктів їх переробки у 2021 році становила 44,9 млн. тонн. Україна, як аграрна держава входить в п'ятірку провідних країн-експортерів зернової продукції. Перед відправкою зерно має пройти пильний контроль якості ще на території держави, а уже після доставлення зерно проходить перевірку в країні покупця. Через високі обсяги експорту зерно має бути високої якості, зустрічалось багато випадків невідповідності вимогам країн-покупців, тому, аби запобігти таким негативним випадкам, варто посилити вимоги до контролю експортованої продукції. Для того, щоб залишатись на гідному рівні на міжнародному ринку та залишатись конкурентоспроможною державою експортером потрібно підвищувати якість зерна [21].

Для представлення справді якісної та конкурентоспроможної продукції на зовнішньому ринку важливим завданням є відповідність світовим стандартам. Якщо продукція відповідає цим вимогам до якості, то має великі можливості на світовому ринку. Зерно – це осередок, в якому можуть паразитувати різноманітні шкідливі організми. До таких організмів можна віднести зернові шкідники та хвороби грибкового походження. Головною умовою безпечної агропродукції є відсутність карантинних бур'янів (амброзія), хвороб (грибкові захворювання) та шкідників (довгоносики, борошноїди та інші). Якість зерна – це комплекс таких ознак та властивостей, що характеризує придатність зернової продукції до використання у певних галузях. Показники якості зерна- це характеристика властивостей зерна, які формують його якість. Згідно аналізу літературних

джерел встановлена низка системних фундаментальних досліджень з визначення якості зерна пшениці та можливостей поліпшення його за використання сучасних передових технологій, що оперують відповідно на рівнях генної структури та функції, біосинтезу білків та ферментів, метаболічних реакцій, які беруть участь у реалізації конкретних ознак якості зерна. За останнє десятиріччя ми спостерігаємо значний прогрес в аспекті поліпшення харчової цінності зерна пшениці через введення в її геном генів від дикоростучих родичів, використання генно-інженерних технологій та гармонійне поєднання якості борошна інших злаків. Однак, попри вагомі успіхи сучасної світової генетики, біотехнології, селекції й технології вирощування і переробки зерна пшениці, невирішеною або не до кінця вирішеною залишається ще низка питань. На сьогодні проблемним питанням є недостатній рівень вітчизняної української селекції пшениці щодо якості зерна від провідних світових виробників (ЄС, США, Канада, Австралія). На жаль, якість зерна, вирощеного на території України, часто не відповідає світовим стандартам. А на внутрішньому ринку нині недостатньо якісного борошна для виготовлення хліба і хлібопродукті відповідної якості [3]. В аграрному виробництві України потенціал сортів реалізовується в середньому лише на 40 %, натомість у країнах ЄС він сягає 70-80%.

Реалізації генетичного потенціалу сорту на рівні 80 % можна досягти за умови використання всього комплексу агротехнічних прийомів вирощування. У країнах СНД за технологічними властивостями зерна розрізняють три групи пшениці м'якої: сильна, цінна і філлер. Селекціонери Західної Європи, а також, деякі вітчизняні виділяють ще одну групу пшениць – надсильна, або екстрасильна, що вирізняється підвищеними показниками якості.

Типовий склад пшениці визначають за даними про її форму (озима чи яра), вид (тверда чи м'яка) та колір зерна [21].

Складовою частиною агропромислового комплексу України є сільське господарство й головна його складова – рослинництво. В сільському господарстві не останнє місце займає малооб’ємне виробництво (тепличне рослинництво), яке цілий рік забезпечує населення овочами, фруктами і навіть красою життя – квітами. Однією з технологій тепличного способу вирощування рослин, яка має значні переваги у порівнянні із звичайними (грунтовими) гідропоніка. Для стимулювання росту і розвитку рослин, вирощуваних гідропонним способом, застосовують різні методи, одним з яких є лазерна обробка, яка в даний час отримала широкого розповсюдження. Однак для отримання позитивного ефекту від її застосування необхідний якісний теоретичний матеріал так, як проведення експериментальних досліджень в даній задачі унеможлиблюється розмірами об’єктів обробки, що і становить проблему [24].

Обробка насіння та рослин лазерним опроміненням вважається найкращим методом у сільськогосподарській фізиці для збільшення природного виробництва[23]. Лазерна стимуляція - це фізичне явище, яке полягає в здатності рослин поглинати та зберігати енергію випромінювання. Такі ж явища можна спостерігати і у випадку з насінням, вони спочатку поглинають енергію світла, а потім перетворюються в хімічну енергію і використовують її для подальшого росту. Досягнуті цілі при застосуванні лазерного опромінення рослинних організмів досі продовжують викликати науковий інтерес [31].

Для природних джерел землеробства застосування лазерної обробки використовувалося в численних дослідженнях насіння зернових або овочів перед посівом. Обробка рослин і насіння лазерним опроміненням вважається новою технологією в галузі сільського господарства. Вплив різних видів лазерного опромінення на рослини та насіння показав позитивні результати в їх проростанні та зростанні. Однак, коли проводилася лазерна обробка насіння,

необхідно перевірити такі параметри рослин, як висота рослини, довжина кореня, кількість рослин/листя та кількість днів, щоб рослина стала квіткою. Лазерне опромінення можна застосовувати до вологого та сухого насіння. Ми також можемо обробити насіння гібридів лазерним опроміненням, щоб спостерігати на них різні спецефекти. Зміни, внесені в параметри рослин і насіння, можуть збудити або стимулювати їх ріст і уникнути грибкової інфекції повністю залежить від форми лазерного випромінювання, його довжини хвилі та інтенсивності. Більш ранні дослідження показали, що діодний лазер мав позитивний і надійний вплив на проростання насіння, ріст і метаболізм. Біохімічна обробка сільськогосподарських культур, наприклад удобрення, викликає проблеми зі здоров'ям через токсичність їжі. Тому необхідно використовувати фізичні методи для отримання великої кількості їжі найкращої якості [39].

Антиоксидант - це молекула, яка пригнічує окислення інших молекул. Окислення – це хімічна реакція, яка може призвести до утворення вільних радикалів, що призводить до ланцюгових реакцій, які можуть пошкодити клітини. Антиоксиданти, такі як пероксидаза (POD), супероксиддисмутаза (SOD) і каталаза (CAT), припиняють ланцюгові реакції. Щоб збалансувати окислювальний стан, рослини підтримують складні системи перекриваючих антиоксидантів, таких як ферменти, що виробляються внутрішньо, отримані шляхом ковання. Антиоксиданти захищають клітинну мембрану, покращують цілісність клітин і зменшують загибель клітин під час екзогенного стресу, а також ендогенного стресу. Однак, незважаючи на дані про вплив лазерів на рослини, які були отримані, мало відомо про те, чи викликає попередня обробка насіння напівпровідниковим лазером зміну внутрішньої енергії насіння, стимулюючи діяльність ферментів [39].

Сприятливий вплив передпосівної лазерної біостимуляції насіння на проростання, початковий розвиток і врожайність вже доведено численними дослідженнями на деяких зернових, коренеплодах та овочах. В роботах опубліковані авторами, свідчать про те, що на розвиток і врожайність деяких бобових, зернових культур також сприятливо впливає така обробка як в строго контрольованих умовах, так і в польових дослідах. Однак, вплив лазерного випромінювання ще не повністю визнаний і оскільки існують лише фрагментарні дослідження або гіпотези, які можуть допомогти пояснити цей вплив [35].

1.2. Важливість та значення в житті сільськогосподарських рослин родини Poaceae

Із зростанням обізнаності про користь для здоров'я люди споживають більше свіжих трав або приймають дієтичні трав'яні добавки.[29] Дієти зі свіжими або обробленими травами позитивно пов'язані з профілактикою серцево-судинних захворювань, хронічних захворювань і деяких видів раку завдяки високим концентраціям фітонутрієнтів, таких як ефірні олії, фенольні сполуки, флавоноїди та каротиноїди [41]. Фітонутрієнти, або біоактивні вторинні метаболіти, — це органічні сполуки, які не беруть безпосередньої участі в первинних метаболічних процесах росту, розвитку або розмноження рослин. Фітонутрієнти відіграють важливу роль у захисті рослин від комах і патогенів, діють як аттрактанти для запилювачів і розсіювачі насіння в репродуктивних процесах, а деякі можуть створювати конкурентні переваги як отрути для конкуруючих видів [29]. Фітонутрієнти використовуються в різних галузях промисловості, таких як ліки, ароматизатори, барвники, волокна, клеї, олії, віск і парфуми [7].

Очікується, що до 2050 року населення світу досягне дев'яти мільярдної позначки, з яких 66% житимуть у містах. Це зростання чисельності населення означає, що для того, щоб прогнати зростаюче населення світу, необхідно

збільшити виробництво їжі на 70–100. Одним із варіантів збільшення виробництва продуктів харчування є міське сільське господарство. Цей тип сільського господарства може також зменшити тиск на сільське господарство та компенсувати втрату землі. У країнах, що розвиваються, міське сільське господарство постачає до 90% овочів, які споживаються в містах, і близько 100 мільйонів міських фермерів у всьому світі забезпечують міста свіжими продуктами садівництва [38].

Домашнє землеробство стало популярною формою міського сільського господарства як альтернативний підхід до виробництва продуктів харчування. Штучне джерело світла є критично важливим компонентом для внутрішнього землеробства, оскільки світло є одним із найважливіших факторів навколишнього середовища, що впливає на ріст і морфологію рослин. Флуоресцентні трубки (FT) і газорозрядні лампи високої інтенсивності (HID) (наприклад, натрієві високого тиску) є найбільш часто використовуваними джерелами штучного світла для дослідження рослин і тепличного садівництва. Однак FT не мають здатності підтримувати фотосинтетичний потік фотонів (PPF), необхідної для високої продуктивності сільськогосподарських культур. Швидкий прогрес у технологіях освітлення тепер пропонує кілька додаткових варіантів освітлення для внутрішнього землеробства. Світлодіоди (LED) позначають принципово іншу технологію, яка має переваги перед традиційними системами освітлення, які зараз використовуються в теплицях. Світлодіоди довговічні, мають тривалий термін служби, високу ефективність випромінювання та відносно вузький спектр випромінювання. Світлодіоди для садівництва також пропонують варіанти вибору певної довжини хвилі для цільової реакції рослин. Ця притаманна перевага світлодіодних ламп робить їх важливим джерелом світла для росту рослин, однак дослідження впливу спектральної якості на ріст і розвиток рослин обмежені [38].

Світлодіоди (світлодіоди) володіють унікальними властивостями, які дуже підходять для кількох операцій у харчовій промисловості. Такі властивості включають низьке випромінювання тепла; висока емісія монохроматичного світла; електрична, світлова та фотонна ефективність; тривалий термін служби, гнучкість і механічна міцність. Таким чином, вони зменшують термічні пошкодження та деградацію сільськогосподарських культур і харчових продуктів і придатні для застосування в холодильних камерах. Контроль за спектральним складом випромінюваного світла призводить до підвищення врожайності та поживності садової чи сільськогосподарської продукції. Нещодавно було показано, що світлодіоди зберігають або покращують поживну якість харчових продуктів на етапі після збору врожаю, а також маніпулюють дозріванням плодів і зменшують грибкові інфекції. Світлодіоди можна використовувати разом з фотосенсибілізаторами або фотокаталізаторами для інактивації патогенних бактерій у харчових продуктах. УФ-світлодіоди, які швидко розробляються, також можуть ефективно інактивувати патогени та зберігати їжу на стадіях після збору врожаю. Таким чином, світлодіоди забезпечують нетеплові засоби збереження їжі в безпеці без використання хімічних дезінфікуючих засобів або добавок і не прискорюють стійкість бактерій [31].

При вирощуванні рослин у вертикальних фермах вартість електроенергії може бути досить високою через багатогодинну роботу системи опромінення, що може бути стримуючим фактором для розвитку технологій і рентабельності ферми. Одним із шляхів зниження витрат електроенергії на опромінення рослин є використання джерел випромінювання з імпульсним режимом, що дозволяє економити до 12% електроенергії порівняно з постійним режимом без зниження продуктивності рослин за рахунок варіювання тривалості робочих циклів і співвідношення світлових і темних (l/d) періодів у кожному циклі [37].

Якість світла має певний вплив на різні реакції рослин, такі як фотосинтез, фототропізм, фотоморфогенез і фотонастія. Кілька досліджень показали вплив спектральної якості на фотосинтетичну активність рослин у рослинах та *in vitro*. Швидкість фотосинтезу в проростках *Withania somnifera* зростала зі збільшенням щільності потоку фотонів до $60 \text{ мк моль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. У салаті швидкість фотосинтезу зростає зі зменшенням співвідношення червоного до синього (R/B) до 1 [38].

Явище лазерного випромінювання ще мало вивчено; існують лише фрагментарні дослідження або гіпотези, які намагалися пояснити, як лазерне світло взаємодіє з насінням [27]. На даний час широко вивчається технологія лазерного опромінення як екологічний метод обробки насіння. Теоретичну концепцію такого явища у 1917 році вперше запропонував Альберт Ейнштейн в роботі «Про квантову теорію випромінювання», а експериментально вимушене випромінювання було вперше підтвержене в 1947 році американцем Віллісом Лембом при дослідженні спектрів водню. Через три роки француз Альфред Кастлер, котрий досліджував вплив випромінювання на поведінку атомів, запропонував метод т. зв. «оптичної накачки» середовища для виведення її зі стану термодинамічної рівноваги, який йому вдалось реалізувати на практиці у 1952-у. У 1953 році Чарльз Таунс з колегами з Колумбійського університету в Нью-Йорку створив перший реально працюючий квантовий генератор — джерело вимушеного електромагнітного випромінювання. Названий ним мазером (microwave amplification by stimulated emission of radiation), пристрій працював на молекулах аміаку при наднизьких температурах і генерував сигнал у мікрохвильовому діапазоні. Успіху Теодор Мейман досягнув 16 травня 1960 року, а 7 липня на спеціально скликаній у Нью-Йорку компанією «Х'юз Еркрафт» прес-конференції він повідомив світ про створення

першого у світі лазера, що працював в імпульсному режимі на довжині хвилі 694,3 нм [1-4].

Проводилось дослідження при якому використовувалися три різні монохроматичні світлодіодні лампи, щоб пояснити вплив якості світла на ріст саджанців артишоку. Артишок, який переважно вирощується в Каліфорнії, є однією з важливих овочевих культур у США, вартість якого оцінюється в 73 мільйони доларів. Більше половини артишоків, вироблених у Каліфорнії, вирощують як багаторічні рослини, але вирощування артишоків як однорічних рослин набуває все більшого інтересу, оскільки їх виробництво може бути приурочене до дозрівання в різні пори року, щоб заповнити ринкові ніші. Артишоки, вирощені як однорічники, вирощують розсадою в теплицях, а потім пересаджують на сільськогосподарські поля. Деякі переваги вирощування артишоків як пересадки полягають у уникненні проблем з бур'янами та хворобами і пересадці в районах з більш холодним кліматом. Щорічна посадка артишоків вимагає яровизації, щоб ініціювати утворення їстівних квіткових бруньок. Цю холодну обробку можна легко здійснити в закритих сільськогосподарських приміщеннях, що робить ці приміщення дуже придатними для виробництва пересаджених артишоків. Посилення росту розсади в закритих фермах підтримує інтерес до щорічних посадок артишоків для міжсезонного виробництва. Таким чином, це дослідження мало на меті визначити, які монохроматичні світлодіодні ліхтарі найбільше впливають на ріст саджанців артишоку для виробництва пересадок у закритих сільськогосподарських приміщеннях [38].

Проаналізовано вплив лазерного опромінення в донецькому університеті імені Василя Стуса під керівництвом доктора наук та доцента Приседським Ю.Г. на схожість та ростові показники трьох видів олійних культур. Визначено вплив лазерного опромінення насіння. В дослідах використали насіння

соняшнику звичайного (*Helianthus annuus*), гірчиці білої (*Sinapis alba* L.), ріпаку озимого (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metrg.). Результати досліджень свідчать про позитивний ефект лазерного опромінення на початкові етапи розвитку рослин, який принесе великий внесок в сільськогосподарське життя [3].

Все частіше вчені звертають увагу на використання штучних джерел світла для забезпечення рослин енергією. Це добре, тому що режим виробництва заводів не обмежений обробленими землями, вони можуть виробляти те, що потрібно людям.[40] З розвитком технології світлодіодів (LED) суспільний інтерес до використання світлодіодного освітлення на заводах зріс через його спектр, подібний до спектрів поглинання рослин, і високу ефективність фотоелектричного перетворення. Багато вчених провели поглиблені дослідження технології освітлення і досягли значного прогресу [23].

За результатами досліджень багатьох авторів лазерна передпосівна обробка насіння може сприяти схожості, прискорювати проростання насіння, початкові етапи росту і подальший розвиток рослин та підвищувати стійкість рослин до захворювань, що позитивно впливає на їхню продуктивність [24; 30].

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1 Об'єкти досліджень

Об'єктом дослідження був вплив комплексного опромінення насіння ячмінь (*Hordeum vulgare L.*) та жито (*Secale cereale L.*) когерентним монохроматичним світлом з довжиною хвилі 635 та 405 нм. на ростові параметри.

Царство: Рослини (*Plantae*)

Порядок: Тонконогоцвіті (*Poales*)

Родина: Злакові (*Poaceae*)

Підродина: Мітлицевидні (*Pooideae*)

Рід: Жито (*Secale*)

Вид: Жито посівне (*Secale cereale L.*)

Жито відзначається добре розвиненою кореневою системою, яка проникає у ґрунт на глибину до 2 м легко засвоює з ґрунту поживні речовини з важкорозчинних сполук, завдяки високій фізіологічній активності.

Вузол кущіння у жита формується на глибині від поверхні ґрунту (1,7–2 см). Коли насіння загортається глибоко, жито закладає два вузли кущіння: перший — глибоко, а пізніше другий — близько до поверхні ґрунту, який стає головним. Інтенсивність кущіння у жита досить висока — кожна рослина утворює 4–8 пагонів, а за сприятливих умов — до 50–90.

Стебло — порожниста соломина, гнучке, вкрите восковим нальотом, утворює 5–7 міжвузлів. Верхівка останнього міжвузля опушена. Висота стебла залежно від умов вирощування та сорту коливається від 70 до 180–200 см (у середньому 80–100 см).

Листки шорсткі, покриті восковим нальотом. Довжина листкової пластинки — 15–30, ширина — 1,5–2,5 см. В основі пластинки міститься короткий язичок і короткі голі або слабоопушені вушка.

Колос у жита остистий, незакінченого типу — на верхівці стрижня немає кінцевого верхівкового колоска. Стрижень колоса сплюснутий, опушений, членики опушені. Колоски в основному двоквіткові, рідко три-, чотирьоквіткові. У колосі міститься 30–40 колосків (рис.2.1.1).



Рисунок 2.1.1 – Жито посівне (*Secale cereale L.*)

Зерно жита різне за розміром, формою, забарвленням. Довжина його — 5–10 мм, ширина — 1,5–3,5, товщина — 1,5–3 мм. Маса 1000 зерен у диплоїдного жита — 20–35, тетраплоїдного — 35–50 г. Форма зерен видовжена (з відношенням довжини до ширини більш як 3,3) або овальна (з відношенням довжини до ширини 3,3 і менше) з помітною поперечною зморшкуватістю на

поверхні. За забарвленням розрізняють зерно біле, зеленувате, сіре, жовте, темно-коричневе [19, 12].

На рівні вузла кушення жито витримує морози до мінус 25°C, а добре загартовані посіви - навіть мінус 35°C. При наявності вологи в ґрунті жито може проростати при температурі 1 - 2 ° С , а дружні сходи з'являються при температурі 8-12°C. У період вегетації сприятливою для жита є температура 18-20°C [10, 11].

Жито, завдяки добре розвиненій кореневій системі з підвищеною поглинаючою здатністю, відносно менш вимогливе до ґрунтів. Витримує підвищену кислотність ґрунту (рН 5,5) і невелику засоленість. На утворення 1 ц зерна виносить з ґрунту 3 кг азоту, 1, 2 - 1, 5 кг фосфору, 2-2,5 кг калію.

Жито є однією з важливих продовольчих і кормових культур. У зерні міститься 9- 15% білка, близько 81% вуглеводів і вітаміни груп А, В, Е, РР. Житнє борошно використовується для випічки різних сортів хліба. Випікають також хліб із суміші житнього і пшеничного борошна. Житнє зерно, висівки, борошно - цінний концентрований корм. Зелена маса за кормовими якостями не поступається багаторічним травам. У зеленій масі жита більше білка (14%) ніж у озимої пшениці і кукурудзи. Житню солому і половину використовують як грубий корм. Зерно жита переробляється на спирт, крохмаль, патоку, також соломи виготовляють целюлозу, лігнін та ін.

Жито є дуже вразливим до грибів роду ріжки, зокрема ріжків пурпурових. Ураження цими грибами викликає хворобу з однойменною назвою. Завдяки сучасним методам культивування можливий вплив хвороби на здоров'я людей зведено до мінімуму.

Агротехнічне значення жита полягає в здатності пригнічувати бур'яни внаслідок великої кущистості і швидкого росту. Озиме жито на зелений корм є

добрим попередником для озимої пшениці, а на зерно для просапних і ярих культур.

Царство: Рослини (*Plantae*)

Порядок: Тонконогоцвіті (*Poales*)

Родина: Злакові (*Poaceae*)

Підродина: Мітлицевидні (*Pooideae*)

Рід: Ячмінь (*Hordeum*)

Вид: Ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare*)

Ячмінь посівний — однорічна рослина висотою 30-60 см, у культурних сортів — до 90 см з листям до 30 см завдовжки і 2-3 см шириною. В жита- колос довжиною близько 10 см. Кожен колосок — одноцвіт, плід — зернівка (рис.2.1.2). Стрижень колоса складається з члеників, які мають в горі виступи, на яких сидять колоски. На кожному виступі стрижня є три колоски.



Рисунок 2.1.2 – Ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare*)

Корнева система в жита - мичкувата. Зерно проростає зародковими корінцями, яких буває від 4 до 7. Сходи ячменю сизувато-зелені. Стебло - порожниста циліндрична соломина, заввишки 50-135 см, завтовшки 2,5-4 мм, складається з 5-7 міжвузлів, покрите восковим нальотом, схильне до вилягання. Листки значно ширші ніж у пшениці. Язичок короткий, без зубчиків. Вушка досить великі, охоплюють соломину і заходять одно за одне. За вушками і язичками ячмінь на початку вегетації легко відрізнити від пшениці та вівса. Листкові пластинки завдовжки 12-25 см, завширшки 8-25 мм.

Суцвіття - дворядний або багаторядний колос незакінченого типу. На кожному виступі членика розміщується три одноквіткових колоски. Колоски за будовою різні: у дворядного ячменю середні плодоносні, бічні - безплідні; у багаторядного - всі плодоносні. Плодоносні колоски в обох підвидів мають дві вузькі колоскові луски та дві широкі квіткові, які у плівчастих сортів зростаються із зернівкою, у голозерних - охоплюють зернівку без зростання.

Ячмінь посівний самозапильна рослина. Цвітіння відбувається перед колосінням. У спекотну погоду ячмінь цвіте після колосіння, тому можливе перехресне запилення. Зерно ячменю зростається з квітковими лусками або голе, досить широке і стиснуте від спинки.

Ячмінь - невимоглива до тепла рослина. Мінімальна температура проростання насіння 1-2°C, оптимальна- 15-20°C. Сходи витримують приморозки -3-4°C, а іноді й до -6°C. Біологічний мінімум для з'явлення сходів 4-5°C. Мінімальна температура для формування генеративних органів 10- 12°C. Для швидкого розвитку кореневої системи, куціння і формування колоса (від з'явлення сходів до виходу в трубку) необхідна помірна температура в межах 12-20°C. Оптимальна температура для росту і розвитку рослин у період вегетації 18°C [6,7].

Ячмінь характеризується найвищою, серед ярих зернових першої групи, стійкістю проти високої температури (запалу), легко витримуючи підвищення її до 38-40°C. За такої температури прорости ячменю не паралізуються впродовж 25-35 год., тоді як вівса - навіть через 5 год., настає їх параліч. Саме тому посіви ярого ячменю поширені у південних регіонах України. Ячмінь серед хлібів першої групи найбільш посухостійкий і відзначається високопродуктивною витратою вологи на створення одиниці органічної речовини. Проте на початку вегетації в ячменю недостатньо розвинена коренева система і рослини погано переносять весняні посухи [33].

Урожайність ячменю різко знижується на заболочених ґрунтах, недостатньо розпушених, з близьким заляганням ґрунтових вод. Разом з тим погано росте на легких піщаних ґрунтах, дуже пригнічується на кислих торфовищах (при рН < 6), а в умовах надмірно кислої реакції ґрунтового розчину (рН 3,5) сходи не з'являються. При рН < 4,5 частина рослин гине після сходів. На кислих ґрунтах навіть за високого рівня удобрення рослина не здатна засвоїти елементи живлення з ґрунту. Оптимальне рН ґрунту для ячменю - 6,0-7,3 [15].

З ячменю виробляють перлову й ячневу крупи, з яких варять відповідні перлову й ячну каші. Згідно з нещодавніми дослідженнями, вживання цілих зерен ячменю може регулювати рівень цукру в крові (наприклад, обмежити підвищення вмісту глюкози в крові у відповідь на вживання їжі протягом 10 годин після споживання [17].

Ячмінь є важливим кормовим зерном у багатьох районах світу, які не підходять для виробництва кукурудзи за кліматом, особливо в північних країнах, наприклад, у північній та східній Європі. Ячмінь є основним кормовим зерном у Канаді, Європі та на півночі США.

2.2. Матеріали та методи досліджень

Для лазерного опромінення рослин родини Злакові, використовували пристрій, який був сконструйований співробітниками кафедри ботаніки та екології ДонНУ імені Василя Стуса, а саме в.о. завідувача кафедри Приседським Ю.Г., ст. викладачем кафедри Решетник К.С. та лаборантом кафедри Юськовим Д.С. самостійно [18].

Пристрій складається з 8-гранної дзеркальної призми, що сприймає промінь LED лазерів: BRP-3010-5, з випромінюванням червоного спектра з довжиною хвилі 635 нм; BVP-3010-5 з випромінюванням синього спектра з довжиною хвилі 405 нм та BGP-3010-5 з випромінюванням зеленого спектра з довжиною хвилі 532 нм (виробник лазерів BOB LASER Co., Китай). Потужність кожного лазера становить 100 мВт. Пристрій має два електродвигуни, що відповідають за рух дзеркальної призми та транспортерної стрічки. Керування пристроєм здійснюється за допомогою панелі управління, оснащеної кнопками для регулювання часу опромінення та вибору необхідного лазера з відповідною довжиною хвилі світла [26] (Рис. 2.2.1)

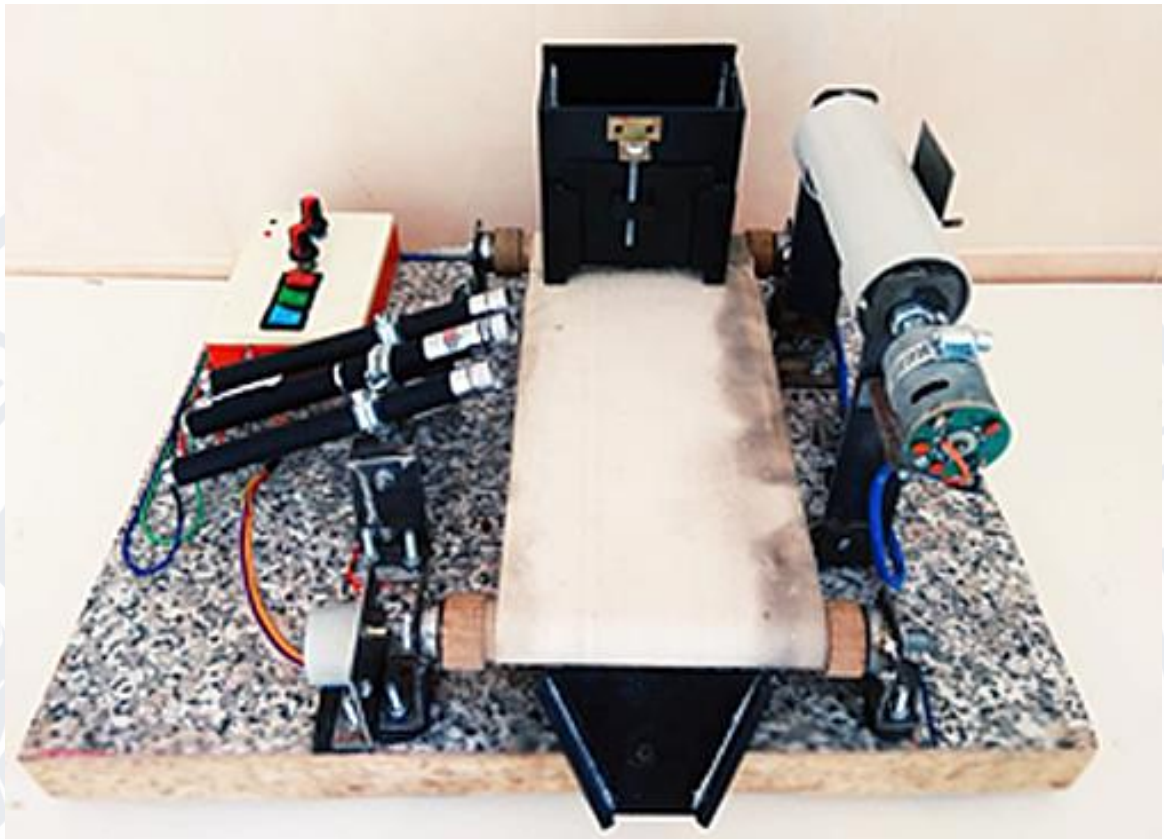


Рисунок 2.2.1 - Система установки LED лазерів

Опромінення проводилося протягом 5 сек. та 10 сек., що відповідало енергії опромінення 25,05 мДж/см² та 51,1 мДж/см² 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.

Потужність опромінення становила 100 мВт/см² [16]. Вирощування проводили при температурі 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 ґрунт. Вирощування продовжувалося протягом 23 днів за температури 24-27°C природного освітлення і 70-75 % вологоємності. Після досягнення рослинами 23-

ти денного періоду вирощування у рослин вимірювали довжину пагону та кореня. Після досліджували масу рослин до та після сушіння в сушильній шафі. Також повторно було здійсненне опромінення насіння по 10 опромінених насінин – по 3 ємкості для дослідження пігментів.

Таблиця 2.2.1 Схема опромінення насіння квасолі LED лазерами

Варіант досліджу	Термін опромінення, с.	
	Червоний лазер (635 нм)	Синій лазер (405 нм)
1	-	-
2	5	-
3	10	-
4	-	5
5	5	5
6	10	5
7	-	10
8	5	10
9	10	10

Вміст пігментного комплексу рослин визначали після вимірювань, за методом кількісного визначення зелених пігментів спектрофотометричним методом:

Беруть наважку (0,025-1г) свіжого рослинного матеріалу і ретельно розтирають її у фарфоровій ступці з невеликою кількістю розчинника(2-3 мл) та крейди (CaCO_3) або вуглекислого магнію (MgCO_3). Ступку закривають кришкою чашки Петрі зі скла, або пластинку і вміст настоюють протягом 2-3 хв. Гомогенат переносять на скляний фільтр Шотта №3 або №4 (діаметр пор 40 або 16 мкм), який встановлюють в колбу Бунзена, з'єднану з вакуумним насосом, і фільтрують. Екстракцію повторюють декілька разів до повного знебарвлення рослинного матеріалу.

Фільтрат кількісно переносять у мірну пробірку і об'єм фільтрату доводять до 10 мл розчинником. Отримана витяжка містить суміш зелених та жовтих

пігментів. Далі визначають оптичну густина розчину пігментів, встановлюючи довжини хвиль залежно від використаного розчинника.

Значення довжин хвиль для вимірювання вмісту пігментів та формули розрахунку концентрацій залежно від використаного для екстракції пігментів розчинника.

Пігмент(хлорофіл a), довжина хвилі – 665 нм,

$$C_{Chl a} = 13.70 \cdot D_{665} - 5.76 \cdot D_{649}$$

Пігмент(хлорофіл b), довжина хвилі – 649 нм,

$$C_{Chl b} = 25.80 \cdot D_{649} - 7.60 \cdot D_{665}$$

Вміст хлорофілів в рослинному матеріалі обчислюють за формулою:

$$A = \frac{C \cdot V}{n \cdot 1000}$$

де:

A – вміст пігментів в рослинній тканині, мг/г сирової ваги;

C – концентрація пігментів у витяжці, мг/л;

V – об'єм, витяжки пігментів мл;

n – наважка рослинного матеріалу, г.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Вплив опромінення лазером на ростові параметри жита посівного

Для дослідження у кожний окремий горщик, для кожного варіанту по 3, було висаджено 10 насінин кожного досліджуваного виду рослин. Було виміряно довжину коренів та стебел проростків жита посівного, ячменю посівного (рис.3.1.1).



Рис. 3.1.1 - Зразок рослин усіх варіантів перед дослідженням

Для порівняння результатів проводили обрахунки за методом Даннета. Контроль, тобто 1 варіант, має масу 20,5 г, це 100%. Так у жита посівного (*Secale cereale L.*) опромінення надземної частини у 2 варіанті з обробкою насіння 5 секунд лазером червоного кольору, встановлено масу 21,8 г, що на 106% більше ніж у контрольному варіанті 100%. У 3 варіанті опромінення насіння 10 секунд лазером червоного кольору, встановили масу 21,5 або 105% порівняно з контролем. У 4 варіанті, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд синім лазером, встановило масу 21,1 г, або 103 %, порівняно з контролем. У варіанті 5, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та синім лазером, встановило

масу 23,8 г, або 116 %, порівняно з контролем. У варіанті 6, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами, встановлено масу 20,8 г, що на 101 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 7, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд синім лазером, встановило масу 24,4 г, або 119 %, порівняно з контролем. У варіанті 8, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та 10 синім лазерами, встановило масу 19,6 г, або 95 %, порівняно з контролем. У варіанті 9, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним та синім лазерами, встановило масу 21,9 г, або 106 %, порівняно з контролем.

Отримавши дані та аналізуючи їх, можемо ствердити, що найкращими результатами є варіанти 5 з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та синім лазером та 7 варіант, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд синім лазером, а з найменшим позитивним показником – варіант 8, з опроміненням тривалістю 5 секунд червоним лазером та 10 секунд синім лазером (табл. 3.1.1).

Таблиця 3.1. Вплив опромінення лазером на ростові параметри жита посівного.

№ варіанту	Висота надземної частини				Довжина кореня			
	M±m	D	D ^D	%	M±m	D	D ^D	%
1	20,56±1,15	-	-	100	12,57±0,62	-	-	100
2	21,84±1,01	1,27	3,29	106	12,96±0,82	0,39	2,87	103
3	21,51±0,72	0,94	3,29	105	15,16±0,89	2,59	2,87	121
4	21,12±1,38	0,56	3,29	103	15,81±1,11	3,24	2,87	126
5	23,80±0,52	3,24	3,29	116	14,49±0,75	1,92	2,87	115
6	20,83±0,66	0,26	3,29	101	13,73±0,81	1,15	2,87	109
7	24,49±0,71	3,92	3,29	119	10,98±0,56	-1,59	2,87	87
8	19,64±0,79	-0,92	3,29	95	12,11±0,41	-0,46	2,87	96
9	21,90±0,73	1,33	3,29	106	14,22±0,88	1,65	2,87	113

Якщо $D > D^D$, то різниця між середніми існує, а отже і вплив є достовірним. В даному випадку з таблиці видно, що у всіх випадках, крім 7 варіанту, $D < D^D$, тобто впливу на виживаність не спостерігається.

Також досліджувались ростові параметри кореня жита посівного, так 2 варіанті з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним лазером, маса кореня становила 12,9 г, що на 103% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 3, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним лазером, маса становила 15,1 г, що на 121% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 4, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд синім лазером, маса кореня становила 15,8 г, що на 126% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 5, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та синім лазером, маса становила 14,4 г, що на 115% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 6, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами, встановлено масу 13,7 г, що на 109 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 7, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд синім лазером, встановило масу 10,9 г, або 87 %, порівняно з контролем.

Примітка: в таблицях M – середнє значення; m - помилка репрезентативності; D – різниця між середнім значенням; D^D - мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

У варіанті 8, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та 10 синім лазерами, встановило масу 12,1 г, або 96 %, порівняно з контролем. У варіанті 9, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним та синім лазерами, встановило масу 14,2 г, або 113%, порівняно з контролем.

Отже, найкращий ростовий показник, ми спостерігали у варіанті 3 варіанті, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоного лазера та 4, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд синього лазера. Найменш позитивним показником є варіант 7 з опроміненням насіння 10 секунд лазером синього

кольору. Ці варіанти є не вірогідними за результатами обрахунку методом Даннета, окрім варіанту 4, де спостерігається $D > D^D$.

3.2 Вплив опромінення лазером на ростові параметри ячменю посівного

Дія LED лазерного опромінення на ростові показники ячменю посівного показали позитивний вплив. Висота надземної частини у 2 варіанті, з обробкою 5 секунд червоним лазером, порівняно з контролем, становить 22,1 г або 112%. У 3 варіанті маса надземної частини рослини, з обробкою 10 секунд червоним лазером становить 21,2 г, або 107%, порівняно з контролем. У 4 варіанті, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд синім лазером, маса становить 25,3 г або 128%, порівняно з контролем. У 5 варіанті, з обробкою 5 секунд червоним та 5 секунд синім лазером, встановили масу 20,4 г, або 103%. У варіанті 6 з обробкою 10 секунд червоним лазером встановили масу 22,4, тобто 113%, порівняно з контролем. У варіанті 7 з обробкою 10 секунд синім лазером, маса 23,4 або 118% порівняно з контролем. У варіанті 8, з обробкою насіння 5 секунд червоним лазером та 10 секунд синім лазером, маса 20,5 або 104%. У 9 варіанті з опроміненням насіння 10 секунд червоним та 10 секунд синім лазером, маса 21,6 або 109%.

Найкращі показники в варіанті 4, з обробкою насіння 5 секунд синього лазера, де маса становить 25,3 тобто 128%. Найменш позитивний показник в варіанті 5, де опромінення здійснювалось 5 секунд червоного та синього лазера.

Якщо $D > D^D$, то різниця між середніми існує, а отже і вплив є достовірним. В даному випадку з таблиці 3.2.1 видно, що у 4 варіанті, 7 варіанті, $D > D^D$, тобто вплив на виживаність є.

Таблиця 3.2 Вплив опромінення лазером на ростові параметри ячменю посівного

№ варіанту	Висота надземної частини				Довжина кореня			
	M±m	D	D ^D	%	M±m	D	D ^D	%
1	19,81±0,97	-	-	100	13.47±0.86	-	-	100
2	22,17±0,65	2,36	2,84	112	12.91±0.52	-0.49	2,62	96
3	21,26±1,12	1,45	2,84	107	14.43±0.83	0.96	2,62	107
4	25,35±0,65	5,54	2,84	128	13.75±0.66	0.28	2,62	102
5	20,40±0,73	0,59	2,84	103	13.95±0.89	0.48	2,62	104
6	22,46±0,91	2,65	2,84	113	16.06±0.62	2.59	2,62	119
7	23,42±1,01	3,61	2,84	118	12.62±0.83	-0.85	2,62	93
8	20,57±0,56	0,76	2,84	104	13.58±0.46	0.11	2,62	101
9	21,67±0,89	1,86	2,84	109	14.21±0.52	0.74	2,62	106

Також досліджувались ростові параметри кореня ячменю, так 2 варіанти з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним лазером, маса кореня становила 12,9 г, що менше 96%, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 3, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним лазером, маса становила 14,4 г, що на 107% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 4, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд синім лазером, маса кореня становила 13,7 г, що на 102% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 5, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та синім лазером, маса становила 13,9 г, що на 104 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 6, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами, встановлено масу 16,1 г, що на 119 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 7, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд синім лазером, встановило масу 12,6 г, або 93 %, порівняно з контролем. У варіанті 8, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та 10 синім лазерами, встановило масу 13,5 г, або 101 %, порівняно з контролем. У

варіанті 9, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним та синім лазерами, встановило масу 14,2 г, або 106%, порівняно з контролем.

Отже, найкращий ростовий показник, ми спостерігали варіанті 6, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами, встановлено масу 16,1 г, що на 119 % більше, ніж у контрольному варіанті. Найменш позитивним показником є варіант 7 з опроміненням насіння 10 секунд лазером синього кольору. Якщо $D^D > D^D$, то різниця між середніми існує, а отже і вплив є достовірним. В даному випадку з таблиці видно, що у всіх випадках, $D^D < D^D$, тобто впливу на заглиблення корневих систем немає.

Отриманні 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 [9].

3.3 Вплив опромінення лазером на сирю та суху масу жита.

Лазерне опромінення когерентними променями 635 та 405 нм позитивно вплинуло на фізіологічні процеси жита. Контрольний варіант, який не піддавався опроміненню лазером, мав масу 4,44 г до сушіння. Це відповідає 100%.

Сира маса - це маса жита до того, як його висушили. Вона вказує, скільки важило зерно в початковому стані. Суха маса - це маса жита після того, як його висушили. Вона вказує, скільки важило зерно після того, як з нього випарувалася волога. Як видно з таблиці 1, маса жита після сушіння завжди менша за масу до сушіння. Це пояснюється тим, що при сушінні з зерна випаровується волога, яка має масу.

У варіанті 2, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним лазером, встановило масу 7,627 г, що на 171 % більше, ніж у контрольному варіанті. У

варіанті 3, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним лазером, встановило масу 12,393 г, або 279 %, порівняно з контролем. У варіанті 4, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд синім лазером, встановило масу 9,1 г, або 205 %, порівняно з контролем. У варіанті 5, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та синім лазером, встановило масу 8,44 г, або 190 %, порівняно з контролем. Ці варіанти є не вірогідними за результатами обрахунку методом Даннета.

Таблиця 3.3 Вплив опромінення лазером на сиру та суху масу жита

№ варіанту	Сира маса				Суха маса			
	M±m	D	D ^D	%	M±m	D	D ^D	%
1	4,44±0,79	-	-	100	0,79±0,13	-	-	100
2	7,62±2,62	3,18	5,31	171	2,58±1,22	1,79	1,84	326
3	12,39±2,90	7,95	5,31	279	2,65±0,72	1,86	1,84	335
4	9,11±1,48	4,66	5,31	205	1,81±0,46	1,02	1,84	229
5	8,44±1,28	4,00	5,31	190	1,49±0,31	0,70	1,84	189
6	11,77±0,95	7,33	5,31	265	1,70±0,85	0,91	1,84	215
7	6,01±1,58	1,57	5,31	135	0,99±0,14	0,20	1,84	125
8	16,11±1,14	11,67	5,31	363	4,88±0,18	4,09	1,84	616
9	10,88±2,29	6,44	5,31	245	2,24±0,66	1,44	1,84	282

У варіанті 6, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами, встановлено масу 11,777 г, що на 265 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 7, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд синім лазером, встановило масу 6,01 г, або 135 %, порівняно з контролем. У варіанті 8, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та 10 синім лазерами, встановило масу 16,117 г, або 363 %, порівняно з контролем. У варіанті

9, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним та синім лазерами, встановило масу 10,88 г, або 245 %, порівняно з контролем (табл.3.3.1). Перераховані варіанти у цьому абзаці є вірогідними за результатами дослідження. Аналізуючи дані про масу жита до сушіння, найкращими результатами є варіанти 3 та 8 з опроміненням тривалістю 10 секунд червоним лазером та 5 секунд червоним і 10 синім лазером відповідно. А з найменшим позитивним показником – варіант 7, з опроміненням тривалістю 10 секунд синім лазером.

Після виконання нами досліду висушування рослинної наважки, було встановлено та виміряно суху масу. Для порівняння результатів проводили обрахунки за методом Даннета. Більшість варіантів мають невірогідні результати дослідження. Контрольний варіант має масу 0,793 г після сушіння, або 100 % для порівняння з іншими варіантами, які були опромінені лазером.

Так, у варіанті 2, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним лазером, маса після сушіння становила 2,583 г, що на 325% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 3, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним лазером, суха маса становила 2,657 г, що на 335% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 4, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд синім лазером, суха маса становила 1,813 г, що на 228% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 5, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та синім лазером, суха маса становила 1,497 г, що на 188% більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 6, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами, встановлено масу 1,703 г, що на 214 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 7, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд синім лазером, встановило масу 0,993 г, або 125 %, порівняно з контролем. Ці варіанти мають вірогідність у результатах.

У варіанті 8, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та 10 синім лазерами, встановило масу 4,887 г, або 616 %, порівняно з контролем. У варіанті 9, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним та синім лазерами, встановило масу 2,240 г, або 282 %, порівняно з контролем.

Таким чином, найвищий приріст сухої маси жита спостерігався у варіанті 8, з опроміненням тривалістю 5 секунд червоним і 10 синім лазером. Цей варіант також є єдиним, у якому приріст маси перевищив 600%. А найменшим позитивним результатом – варіант 7, з опроміненням тривалістю 10 секунд синім лазером (табл.3.3.1).

3.4 Вплив опромінення лазером на сиру та суху масу ячменю

У рослин ячменю, які були опромінені лазером, спостерігалось більш активне зростання стебла (чи кореня).

Таблиця 3.4. Вплив лазерного опромінення на суху та сиру масу ячменю

№ варіанту	До сушіння				Після сушіння			
	M±m	D	D ^D	%	M±m	D	D ^D	%
1	2,47±0,37	-	-	100	0,19±0,02	-	-	100
2	4,04±1,81	1,56	3,51	163	0,56±0,25	0,37	0,83	295
3	4,59±0,96	2,11	3,51	185	0,63±0,11	0,44	0,83	332
4	3,51±1,07	1,03	3,51	141	0,58±0,13	0,39	0,83	309
5	4,71±0,63	2,23	3,51	190	0,48±0,24	0,29	0,83	256
6	4,38±1,22	1,90	3,51	177	0,39±0,32	0,20	0,83	207
7	2,60±1,10	0,13	3,51	105	0,94±0,59	0,75	0,83	496
8	6,81±1,52	4,34	3,51	275	1,07±0,27	0,88	0,83	565
9	4,01±1,44	1,54	3,51	162	0,86±0,22	0,67	0,83	454

Як видно з таблиці 3.4.1, суха маса ячменю завжди менша за сиру масу. Це пояснюється тим, що при сушінні з зерна випаровується волога, яка має масу.

Чим вища початкова вологість ячменю, тим більша різниця між масою сирої та сухої наважки. Це пояснюється тим, що з зерна з більшою вологістю випаровується більше вологи. Якщо $D > D^D$, то різниця між середніми існує, а отже і вплив є достовірним. В даному випадку з таблиці 1 видно, що у майже всіх випадках в ячменю, $D > D^D$, тобто вплив на масу є, окрім варіанта 7.

Отже, за результатами таблиці 1 зафіксовано найкращий вплив лазерного опромінення на висоту стебла у варіанті 8 з опроміненням тривалістю 5 секунд червоним та 10 секунд синім лазерами. А найслабший вплив лазерного опромінення спостерігався у варіанті 7 з опроміненням тривалістю 10 секунд синім лазером відповідно до вказаних варіантів. Контрольний варіант зафіксовано з сирою масою 2,477 г, або 100%.

Так, у варіанті 2, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним лазером, сира маса становила 4,043 г, що на 163 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 3, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним лазером, сира маса становила 4,593 г, що на 185 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 4, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд синім лазером, сира маса становила 3,513 г, що на 142 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 5, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та синім лазером, сира маса становила 4,710 г, що на 190 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 6, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами, встановлено масу 4,380 г, що на 177 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 7, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд синім лазером, встановило масу 2,607 г, або 105 %, порівняно з контролем.

У варіанті 8, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та 10 синім лазерами, встановило масу 6,817 г, або 275 %, порівняно з контролем. У варіанті 9, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним та синім лазерами, встановило масу 4,0 г, або 162 %, порівняно з контролем.

За даними результатами сухої маси ячменю, найкращий показник спостерігався так само у варіанті 8, а найгірший – у варіанті 7. Контрольний варіант сухої маси ячменю зафіксовано – 0.190 г, або 100 %.

Відповідно, у варіанті 2, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним лазером, сира маса становила 0,560 г, що на 295 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 3, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним лазером, сира маса становила 0,630 г, що на 331 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 4, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд синім лазером, сира маса становила 0,587 г, що на 309 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 5, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та синім лазером, сира маса становила 0,487 г, що на 256 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 6, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами, встановлено масу 0,393 г, що на 207 % більше, ніж у контрольному варіанті. У варіанті 7, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд синім лазером, встановило масу 0,943 г, або 496 %, порівняно з контролем. Ці варіанти мають вірогідність у результатах.

У варіанті 8, з обробкою насіння тривалістю 5 секунд червоним та 10 синім лазерами, встановило масу 1,073 г, або 566 %, порівняно з контролем. У варіанті 9, з обробкою насіння тривалістю 10 секунд червоним та синім лазерами, встановило масу 0,863 г, або 454 %, порівняно з контролем.

3.5 Вплив опромінення лазером на пігментний склад жита

Оскільки вміст хлорофілу є важливим показником здоров'я рослин, за даними таблиці 3.4.1 встановлено наступні висновки стосовно впливу лазерного опромінення на вміст а і b-хлорофіл:

Дані показують, що вплив лазерного опромінення на вміст а та b-хлорофілу в житі є неоднозначним. У випадку з хлорофілом а, дані показують, що вміст

хлорофілу а може збільшуватися або зменшуватися після лазерного опромінення. Так, у варіантах 5 (опромінення тривалістю 5 секунд червоним та синім лазерами), 6 (опромінення тривалістю 10 секунд червоним та 5 секунд синім лазерами) та 8 (опромінення тривалістю 5 секунд червоним та 10 синім лазерами) спостерігається зменшення вмісту хлорофілу а порівняно з контрольним варіантом. У той же час, у варіантах 2 (опромінення тривалістю 5 секунд червоним лазером) та 7 (опромінення тривалістю 10 секунд синім лазером) спостерігається збільшення вмісту хлорофілу а порівняно з контрольним варіантом.

У випадку з хлорофілом b, дані показують, що вміст хлорофілу b майже у всіх варіантах зменшується після лазерного опромінення. Так, окрім 3 варіанту експерименту з опроміненням тривалістю 10 секунд червоним лазером, у сімох варіантах вміст хлорофілу b був нижчим, ніж у контрольному варіанті.

Таблиця 3.5 Вміст хлорофілу жита після опромінення насіння

№ варіанту	а-хлорофіл				b-хлорофіл			
	M±m	D	D ^D	%	M±m	D	D ^D	%
1	2,14±0,06	-	-	100	0,75±0,07	-	-	100
2	0,64±0,02	-0,99	0,13	30	0,27±0,02	-0,99	0,13	36
3	0,43±0,01	-1,11	0,13	20	0,15±0,02	-1,11	0,13	20
4	1,15±0,01	-1,50	0,13	54	0,03±0,09	-1,50	0,13	5
5	0,66±0,09	-1,48	0,13	31	0,23±0,04	-1,48	0,13	31
6	1,16±0,08	-1,23	0,13	54	0,18±0,02	-1,23	0,13	24
7	1,03±0,02	-1,70	0,13	48	0,05±0,01	-1,70	0,13	8
8	0,91±0,00	-0,97	0,13	43	0,39±0,01	-0,97	0,13	53
9	0,45±0,01	-1,69	0,13	21	0,16±0,05	-1,69	0,13	22

Зменшення вмісту хлорофілу b після лазерного опромінення можна пояснити тим, що лазерне випромінювання може пошкоджувати хлоропласти, в яких відбувається синтез хлорофілу. Хлоропласти є органелами рослинних клітин, які містять хлорофіл. Збільшення вмісту хлорофілу a після лазерного опромінення можна пояснити тим, що лазерне випромінювання може стимулювати синтез хлорофілу a. Хлорофіл a є більш ефективним у поглинанні сонячної енергії, ніж хлорофіл b. У випадку з хлорофілом a, можливі як позитивні, так і негативні ефекти. У випадку з хлорофілом b, завжди спостерігається негативний ефект.

3.6 Вплив опромінення лазером на пігментний склад ячменю

Встановлено результати експерименту, в якому вимірювали вміст хлорофілу a і b-хлорофілу в ячмені після опромінення насіння лазером. Експеримент проводився з восьми варіантами, які відрізнялися рівнем опромінення.

Хлорофіл - це зелений пігмент, який міститься в рослинах і відповідає за поглинання світла. Він є важливим для фотосинтезу, процесу, за допомогою якого рослини виробляють енергію.

Як видно з таблиці 3.6.1, вміст хлорофілу a і b-хлорофілу в ячмені після опромінення лазером зменшується. Це пояснюється тим, що лазерне опромінення пошкоджує хлоропласти, органели, в яких виробляється хлорофіл.

Табл. 3.6 Вміст хлорофілу a і b ячменю після опромінення насіння

№ варіанту	a- хлорофіл				b- хлорофіл			
	M±m	D	D ^D	%	M±m	D	D ^D	%
1	2,14±0,06	-	-	100	0,75±0,07	-	-	100
2	0,64±0,02	-0,99	0,13	30	0,27±0,02	-0,99	0,13	36
3	0,43±0,01	-1,11	0,13	20	0,15±0,02	-1,11	0,13	20
4	1,15±0,01	-1,50	0,13	54	0,03±0,09	-1,50	0,13	5

5	0,66±0,09	-1,48	0,13	31	0,23±0,04	-1,48	0,13	31
6	1,16±0,08	-1,23	0,13	54	0,18±0,02	-1,23	0,13	24
7	1,03±0,02	-1,70	0,13	48	0,05±0,01	-1,70	0,13	8
8	0,91±0,07	-0,97	0,13	43	0,39±0,01	-0,97	0,13	53
9	0,45±0,02	-1,69	0,13	21	0,16±0,06	-1,69	0,13	22

Чим вищий рівень опромінення, тим більший спад вмісту хлорофілу а і b-хлорофілу. Це пояснюється тим, що при більш високому рівні опромінення пошкоджується більше хлоропластів.

За даними таблиці, контрольний варіант вмісту хлорофілу а зафіксовано 2,145 г, або 100 %. Всі результати мають негативні показники. Але зазначимо найкращий показник вмісту хлорофілу а має варіант 6, з опроміненням 10 секунд червоним і 5 секунд синім лазерами, але вміст становить 1,168 г, що на 54 % менший за контроль.

Найгірший показний вмісту хлорофілу а встановлено у варіанті 3, з опроміненням 10 секунд червоним лазером. Щодо вмісту хлорофілу-b, то результати також мають негативні показники у порівнянні з контрольним варіантом. Але тут слід зазначити, що найкращий показник з усіх досліджених варіантів є варіант 8, з опроміненням 5 секунд червоним та 10 синім лазерами. А найгіршим – варіант 3, з опроміненням 5 секунд синім лазером.

Експеримент показав, що лазерне опромінення пошкоджує хлоропласти в ячмені, що призводить до зменшення вмісту а і b-хлорофілу.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні загальні висновки:

- 1) Встановлено, що лазерне опромінення червоним та синім лазером вірогідно підвищує енергію проростання насіння видів, яких ми досліджували;
- 2) Встановлено вплив лазерного опромінення на загальну масу рослин. Вимірявши масу до та після сушіння жита посівного (*Secale cereale L.*) та ячменю посівного (*Hordeum vulgare L.*), можемо з точністю ствердити, що опромінення рослин лазером червоного та синього кольору має більший ефект порівняно з рослинами не опроміненими, завдяки чому загальна маса збільшується в 2, а то й в 6 разів.
- 3) У дослідних видів злакових рослин нами встановлений негативний вплив опромінення на вміст хлорофілу а і хлорофілу b.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ВІДКРИТТЯ І ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРІВ //URL: https://library.udpu.edu.ua/library_files/stud_konferenzia/2022/1/46.pdf
2. Вісник НТУУ “КПІ”. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2015. – Вип. 49(1)(153ст.)
3. ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ НА РОСТОВІ ПРОЦЕСИ ТА ВМІСТ ПІГМЕНТІВ У ПРОРОСТКАХ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР//URL:<https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/2555/1/%d0%9f%d1%80%d0%b8%d1%81%d0%b5%d0%b4%d1%81%d1%8c%d0%ba%d0%b8%d0%b95.pdf>
4. Володимир Лук'янюк.Перший лазерю Освіта, наука і техніка. //URL: <https://www.jnsm.com.ua/h/0707P/>
5. Вплив лазерного опромінення на накопичення біомаси та екзополісахаридів гриба *Schizophyllum commune* Fr.
6. Воронков М.Ф., Гопцій Т.І., Проскурнін М.В., Булах О.О. Селекція і насінництво польових культур. Методичні вказівки до виконання курсової роботи, для студентів агрономічного факультету спеціальності „Агрономія”. Харків – 2008. – 18 с.
7. Гудзовський А.О., Дем'яненко І.В. Вплив магнітного поля на пророщування насіння та ріст рослини пшениці твердої *Triticum Durum*// II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція (Бердянськ, 2021) – БДПУ, 2021 – с. 6-7.
8. Гудзовський А.О., Дем'яненко І.В. Дослідження короткотривалого впливу постійного магнітного поля на пророщування насіння та ріст рослини пшениці твердої *Triticum durum*//XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Біотехнологія XXI століття» (Київ, 2022) – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С.136.

9. 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.
10. Каталог вихідного матеріалу зернових, зернобобових культур та соняшнику для селекції на стійкість до основних хвороб і шкідників в умовах Лісостепу України / за ред. В. П. Петренкової, В. К. Рябчуна. – Х. : Магда LTD, 2006. – 92 с.
11. Кириченко В. В., Петренкова В. П., Черняєва І. М. Основи селекції польових культур на стійкість до шкідливих організмів – Х., 2012. – 319 с.
12. Клочанюк В.В., Приседський Ю. Г. Вплив LED лазерного опромінення на проростання насіння деяких видів лікарських рослин. The 1st International scientific and practical conference «Topical aspects of modern science and practice» Frankfurt am Main, 2020. pp 51–56.
13. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. (Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. – Львів: НВФ «Українські технології», 2006.
14. Макрушин, М. М. Фізіологія рослин / М. М. Макрушин, Є. М. Макрушина, Н. В. Петерсон, М. М. Мельников. – В.: Нова Книга, 2006. – 416 с.
15. Максимович В. О. Зернові колосові культури. Технологія вирощування та захисту., 2012. -65с.
16. О.М. Дідух, Н.В. Карпенко, О.М. Кочетова, О.В. Гаврилюк, О.В. Мельник, О.В. Шевчук, О.В. Гунько, О.В. Гнатюк, О.О. Коваль. "Якість зерна: проблеми та перспективи" "Український вісник аграрної науки" у 2023 році.
17. Патент 114882 України Спосіб стимулювання початкових етапів розвитку корневих систем сільськогосподарських рослин / Приседський Ю.Г.,

- Лагунова А.А., Гутянська С.С. Заявка № u201609821, від 26.09.2016, МПК (2006): A01C 1/00, бюл. № 6/2017 від 27.03.2017
- 18.Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів: Навчальний посібник. Донецьк: Кассиопея, 1999. С 210.
- 19.Приседський, Ю. Г. Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів. Навчальний посібник / Ю. Г.
- 20.Приседський. – Донецьк: ДонНУ, 2005. – 75 с. 9. Приседський, Ю. Г. Фотосинтез. Методичний посібник з виконання лабораторних робіт та самостійної роботи / Ю. Г. Приседський. – Вінниця: ДонНУ, 2016. – 68 с.
- 21.Ретьман С. В. Фітосанітарний стан зернових колосових /. Ретьман С. В, Довгань С. В. // Карантин і захист рослин. – 2010, – 126 с.
- 22.Розробка способів підвищення продуктивності рослин і грибів за допомогою led лазерних систем// URL: <https://innovative.in.ua/projects/rozrobka-sposobiv-pidvyshhennya-produktyvnosti-roslyn-i-grybiv-za-dopomogoyu-led-lazernyh-system/>
- 23.Сорти рослин, придатні для поширення в Україні в 2011 р.: каталог / за ред. Хаджиматов В.А. – К.: Алефа, 2011. – 477 с
- 24.Сухін В. В., Лисиченко М. Л. Метод розрахунку лазерного опромінення кореневої системи рослин стрижневого типу в живильному розчині гідропонної установки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 186: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. 2017. С. 129-131.
- 25.Трибель С.О., Гетьман М. В., Стригун О. О. Методологія оцінювання стійкості сортів пшениці проти шкідників і збудників хвороб / за ред. Трибеля С. О. – К. : Колоб'іг, 2010. – 392 с.
- 26.Фотосинтез. Методичний посібник з виконання лабораторних робіт та самостійної роботи / Ю. Г. Приседський. – Вінниця: ДонНУ, 2016. – 68 с.

27. 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.
28. Croteau, R.; Kutchan, T.M.; Lewis, N.G. Natural products (secondary metabolites). *Biochem. Mol. Biol. Plants* 2000, 24, 1250–1319
29. Darko, E.; Heydarizadeh, P.; Schoefs, B.; Sabzalian, M.R. Photosynthesis under artificial light: The shift in primary and secondary metabolism. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2014, 369
30. Drobakhin, O. O. Influence of ultrawideband microwave radiation on seeds of rape / O. O. Drobakhin, Yu. V. Likholat, V. D. Ryabchiy et al. // 4th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals: Materials of the conference. – Sevastopol, 2008. – P. 259–260.
31. D'Souza, C.; Yuk, H.-G.; Khoo, G.H.; Zhou, W. Application of light-emitting diodes in food production, postharvest preservation, and microbiological food safety: LEDs in food production and preservation. *Rev. Food Sci. Food Saf.* 2015, 14, 719–740
32. 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
33. Geisler, M. Medicinal Herb Profile. Available online: <http://www.agmrc.org/commodities-products/specialty-crops/herbs/medicinal-herb-profile>
34. Global Industry Analyst. Herbal Supplements and Remedies-Global Strategic Business Report. Available
35. Institute of Soil Science and Plant Cultivation in Pulawy, Czartoryskich 8, 24-100 Pulawy, Poland

36. Lykholat, Yu. V. features use of mm-waves for different stages of the production of rapeseed for biofuels / Yu. V. Lykholat, A. N. Vinnichenko, O. O. Drobakhin et al. // 17th international Crimean conference microwave equipment and telecommunication technologies: Materials of the conference. – Sevastopol, 2007. – P. 805–806
37. Olvera-Gonzalez, E.; Escalante-Garcia, N.; Myers, D.; Ampim, P.; Obeng, E.; Alaniz-Lumbreras, D.; Castaño, V. Pulsed LED-Lighting as an Alternative Energy Savings Technique for Vertical Farms and Plant Factories. *Energies* 2021, 14, 1603
38. Rabara, R.C.; Behrman, G.; Timbol, T.; Rushton, P.J. Effect of Spectral Quality of Monochromatic LED Lights on the Growth of Artichoke Seedlings. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 190.
39. Samiya, Sikandar Aftab, Ayesha Younus. Effect of low power laser irradiation on bio-physical properties of wheat seeds. *Information Processing in Agriculture*. Volume 7, Issue 3, September 2020
40. Shenzhen International Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China. Laser and LED Hybrid Plant Lighting System Design Based on the Particle Swarm Algorithm. *Appl. Sci.* 2020, 10
41. World Health Organization. WHO Traditional Medicine Strategy 2014–2023; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2013.

