

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

РОГОЖУК БОГДАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Допускається до захисту:

В.о. завідувача кафедри,

ботаніки та екології

канд. біол. наук, доцент

Машталер О. В.

« » 2023 р.

**ЗМІНА РОСТОВИХ ПАРАМЕТРІВ *CAPSICUM ANNUUM L. CV*
LUMINA ЗА УМОВ ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ LED ЛАЗЕРНИМИ
СИСТЕМАМИ**

Спеціальність 091 Біологія

Кваліфікаційна (магістерська) робота

Науковий керівник:

Ю.Г. Приседський, професор кафедри

ботаніки та екології, доцент

д-р. біол. наук

Оцінка: _____ / _____ /

Голова ЕК: _____
(підпис)

Вінниця 2023

АНОТАЦІЯ

Рогожук Б.О. Зміна ростових параметрів *Capsicum annuum* L. cv *Lumina* за умов опромінення насіння LED лазерними системами. Спеціальність 091 «Біологія», Освітня програма «Біологія». Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця 2023.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано вплив лазерного опромінення на схожість, виживання та ростові показники солодкого перцю «Білозерка» *Capsicum annuum* L. cv *Lumina*. В досліджах застосовували світлодіодні лазери, що характеризувалися когерентним монохроматичним випроміненням червоного (635 нМ) та синього (405 нМ) світла. Потужність випромінення становить 100 мВт.

Встановлено, що вплив передпосівної обробки насіння на схожість, виживання та ранні ростові показники вивченого виду вірогідний за одноразовим та дворазовим опроміненням червоним та синім світлом.

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

Ключові слова: лазерне опромінення, солодкий перець, «Білозерка», схожість, виживання, ростові показники.

Табл. 10. Рис. 65 Бібліограф.: 50 найм.

SUMMARY

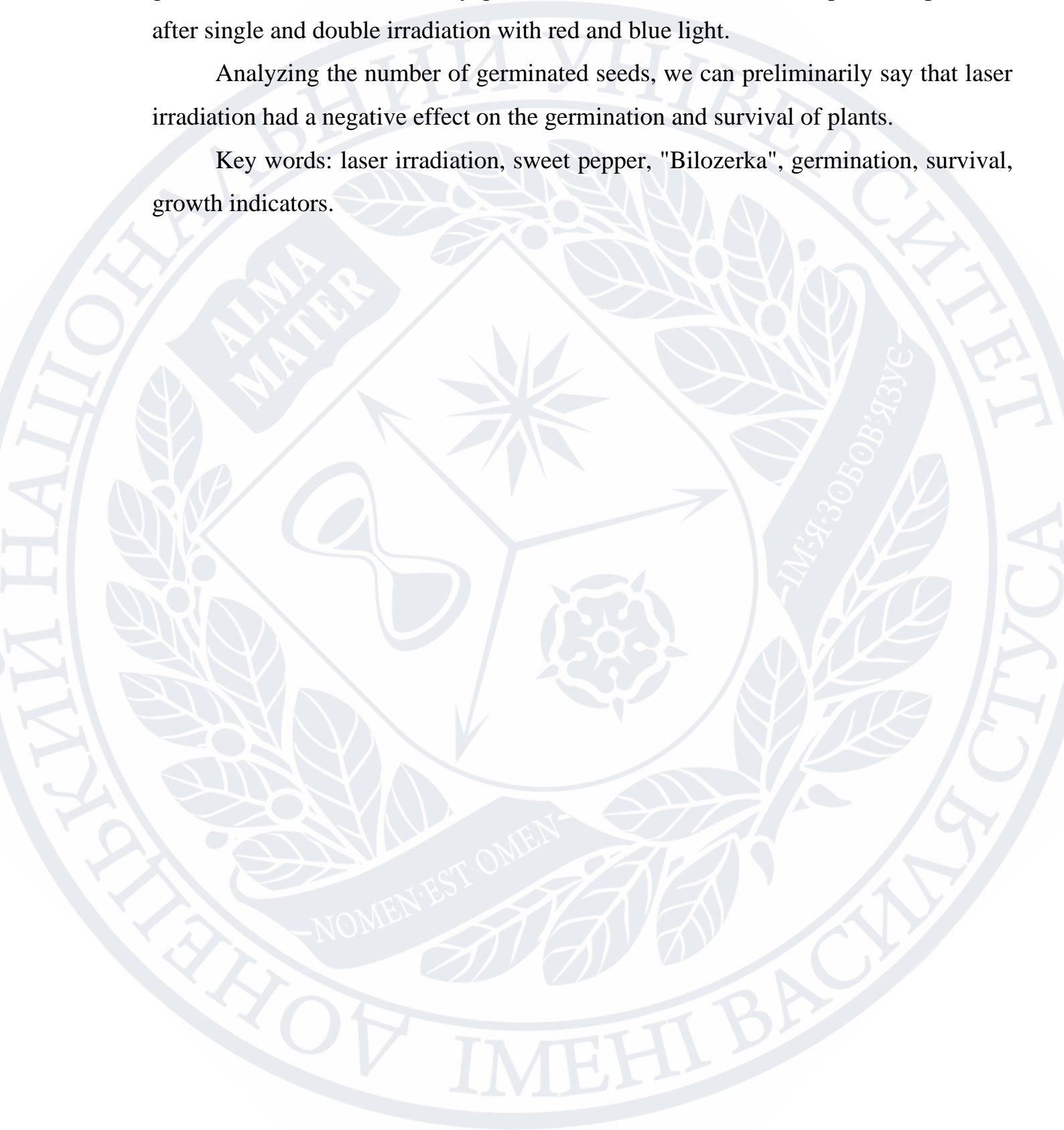
Rohozhuk B.O. Change in growth parameters of *Capsicum annuum* L. cv *Lumina* under irradiation conditions of seed with LED laser systems. Specialty 091 "Biology", Educational program "Biology". Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia 2023.

The qualification work analyzed the effect of laser irradiation on the germination, survival and growth parameters of sweet pepper "Bilozerka" *Capsicum annuum* L. cv *Lumina*. The experiments used LED lasers characterized by coherent monochromatic emission of red (635 nM) and blue (405 nM) light. The radiation power is 100 mW.

It was established that the influence of pre-sowing treatment of seeds on germination, survival and early growth indicators of the studied species is probable after single and double irradiation with red and blue light.

Analyzing the number of germinated seeds, we can preliminarily say that laser irradiation had a negative effect on the germination and survival of plants.

Key words: laser irradiation, sweet pepper, "Bilozerka", germination, survival, growth indicators.



ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	7
1.1 Способи регулювання фізіологічного розвитку рослин.....	7
1.2 Вплив опромінення на фізіологічні та морфологічні параметри рослин..	10
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	13
2.1 Об'єкти та матеріали дослідження.....	13
2.2 Методи та методики дослідження.....	16
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	19
3.1 Вплив опромінення синім та червоним лазером на схожість та виживання рослин.....	19
3.2 Вплив опромінення синім та червоним лазером на ростові параметри рослин.....	23
ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

ВСТУП

Актуальність: У сучасному світі гостро постає проблема ефективного використання ресурсів у сільському господарстві. Одним із способів вирішення цієї проблеми, та одночасно підвищення врожайності та якості сільськогосподарської продукції є використання передових технологій. Дослідження впливу лазерного опромінення на ріст та розвиток рослин, зокрема солодкого перцю, є актуальною темою в контексті покращення сільського господарства [51].

Лазерні технології можуть впливати на фізіологічні процеси росту рослин, що надає нові можливості для оптимізації вирощування культур. Проводячи дослідження в даному напрямку ми зможемо швидше наблизитися до відкриття нових методів та стратегій обробки рослин, спрямовані на підвищення врожайності, резистентності до стресових умов та покращення якісних характеристик плодів [52].

Враховуючи важливість проблеми забезпечення продовольства в світі, дослідження впливу лазерного опромінення на ріст солодкого перцю не лише сприятиме розвитку наукових знань у цій галузі, але й може мати практичне застосування в аграрному виробництві, сприяючи підвищенню його продуктивності та стійкості до зовнішніх факторів.

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 635 та 405 нм на енергію проростання та схожість.
2. З'ясувати дію комбінованого лазерного опромінення з довжиною хвилі 635 та 405 нм на ростові параметри рослин

Об'єктами досліджень були фізіологічні реакції рослин на комплексне опромінення насіння когерентним монохроматичним світлом з довжиною хвилі 635 та 405 нм.

Предметом дослідження є ростові показники опромінених лазером насіння.

Методи досліджень: біофізичні та фізіологічні методи вивчення рослин.

Практичне значення роботи полягає у застосуванні енергозберігаючих лазерних систем червоного та синього світла на ростові параметри сільськогосподарських рослин що може створити сприятливі умови для подальшого розвитку та формування врожаю рослин.

Публікації. За темою магістерської роботи була опублікована 1 стаття у збірнику «Вісник студентського наукового товариства ДонНУ імені Василя Стуса».

Структура і обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, огляду літератури, об'єктів та методів дослідження, експериментальної частини та висновків викладених на сторінках друкованого тексту. Список використаних джерел включає 50 найменувань. Загальний обсяг роботи 48 сторінок. Робота містить 10 таблиць, 5 рисунків.

Дослідження проводилось протягом 2022–2023 рр. на кафедрі ботаніки та екології Донецького національного університету імені Василя Стуса

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1- Способи регулювання фізіологічного розвитку рослин

При вирощуванні на великих площах лікарських рослин вагомою проблемою є одержання одночасних рівних сходів, що обумовлено біологічними особливостями виду. Значна частка продукції рослин, близько 25-30%, втрачається за рахунок неякісного посівного насіння[1]. Понад 30% посівного матеріалу є непридатним для посіву за рахунок низької схожості і недостатньої енергії проростання. Для того, щоб збільшити проростання та схожість в сільськогосподарській практиці використовують різноманітні прийоми передпосівної обробки насіння. Передпосівна обробка насіння – це біологічні, фізичні і хімічні агенти і методи, що застосовуються до насіння для забезпечення їх захисту і створення здорових культур, наприклад ультрафіолетове опромінювання [21], обігрів [7], вплив іонізуючих гамма-променів [26], електричних [22] і магнітних полів [2, 18] та електромагнітних випромінювань [12]. Перевагами передпосівної обробки насіння є підвищена схожість, захист насіння або розсади від хвороб раннього сезону і комах-шкідників, поліпшення схожості культур та їх зростання [1-4]. Існує велика кількість технологій передпосівної обробки насінневого матеріалу, які включають різні фактори впливу на стан насіння з метою стимуляції фізіологічних процесів проростання і розвитку. Зміна біофізичних властивостей насіння, стимуляція обміну речовин, інтенсифікація проростання, збільшення поглинання води є вирішальними задачами передпосівної обробки.

В наш час використовуються різноманітні речовини і фактори впливу на насіння, які можна поділити на три групи: –

- Речовини хімічного походження: макро- і мікроелементи, вітаміни, рістактивуючі речовини, органічні кислоти, інсектициди, фунгіциди, мутагени тощо. –
- Фізичні фактори: повітряно-тепловий обігрів насіння, іонізуюче випромінювання зарядженими частинками, геомагнітні поля, ультразвук, пониження та підвищення температури, стратифікація, скарифікація,

дегазована вода тощо. –

- Речовини біологічного походження: рослинні і тваринні екстракти, компости, бактеріальні препарати, біопрепарати тощо [70].

Серед хімічних способів слід зазначити широке використання регуляторів росту рослин, наприклад 0,1% розчину гумату натрію, використання якого для обробки насіння моркви у дозі 3 г/10 літрів води дає прибавки врожаю до 71 ц/га [5]. Переважна більшість дослідників однозначно говорять про позитивні результати використання препаратів цієї групи як для обробки насіння, так і для позакореневих підживлень чи внесення в ґрунт. Проте й тут існують певні тонкощі для застосування [5]. За деякими даними збільшення врожайності зернових культур від обробки насіння гуміновими речовинами може сягати 1,2–4,5 ц/га. Варто відзначити, що така прибавка навіть за врожайності 40 ц/га становить лише 3–11,3 %, тобто її мінімальний рівень знаходиться в межах помилки досліду. Сучасні препарати дають змогу отримувати набагато солідніші прибавки.

Застосування регуляторів росту рослин допомагає вирішенню важливої задачі – адаптації існуючих генотипів рослин до стресових умов та елементів інтенсивної технології внаслідок розбалансованості ґрунтових біоценозів під впливом антропогенних факторів. Однак, регулятори росту не є універсальним засобом, що зумовлює появу у рослин нових, не властивих їм якостей. Дія цих речовин суворо обмежена і вони лише допомагають рослині краще розкрити успадкований нею потенціал. Антропогенні зміни ґрунту, води і атмосфери за рахунок використання різних хімічних добавок для підвищення продуктивності рослин дало поштовх до пошуку альтернативних шляхів. Безпечні методи підвищення урожайності передбачають зменшення використання хімічних речовин або їх заміну фізичними методами: магнітним полем, гамма-випромінюванням, лазерним або УФ-випромінюванням [7, 8].

Одним з ефективних способів підвищення якості посівного матеріалу є вплив на насіння фізичних факторів, які, в порівнянні з хімічними, не забруднюють навколишнє середовище і не мають післядії. Одним з таких

способів є геомагнітні поля. Багатьма дослідниками встановлено позитивний вплив постійного магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур при передпосівній обробці [1]. Застосування передпосівної обробки насіння в магнітному полі дає можливість підвищити врожайність сільськогосподарських культур, зменшити захворюваність рослин, підвищити біохімічні показники рослин і якість продукції. Установки, які застосовуються для передпосівної обробки насіння в магнітному полі, характеризуються високою продуктивністю, малим споживанням енергії, є безпечними для обслуговуючого персоналу і навколишнього середовища [3]. При обробці насіння в магнітному полі зростає швидкість хімічних і біохімічних реакцій, що протікають в клітинах [4]. Під дією магнітного поля підвищується розчинність солей і кислот, внаслідок чого змінюються рН і біопотенціал. Зростання проникності клітинних мембран прискорює дифузію через іонів та молекул [5], збільшує водопоглинання насіння [5], а також концентрацію в клітинах рослин кисню [6]. Внаслідок дії цих факторів збільшується енергія проростання та схожість насіння. Іншим методом фізичного впливу який заслуговує значної уваги щодо стимулювання зростання та підвищення стійкості рослин до зовнішніх чинників і збільшення врожайності сільськогосподарських культур є використання оптичного випромінювання – передпосівна обробка насіння сільськогосподарських культур ультрафіолетовим випроміненням.

Передпосівне опромінення насіння підвищує енергію проростання та схожість [8, 24], є стимулятором ростових процесів, підвищує стресостійкість рослин [3], знезаражує насіння від хвороботворних мікроорганізмів [13, 26], що дозволяє зменшувати застосування отрутохімікатів, підвищує якість продукції та її врожайність [1, 9, 10]. Проте, ряд авторів вважають, якщо на рослини буде впливати випромінювання будь-якого виду (мікрохвильове, інфрачервоне, ультрафіолетове або рентгенівське), то це призведе до денатурації білка і мутації в ДНК рослин, і, як наслідок – до пригнічення росту [9].

1.2 Вплив опромінення на фізіологічні та морфологічні параметри рослин

З метою підвищення урожайності і стійкості рослин використовуються різні хімічні, біологічні та фізичні методи передпосівної обробки насіння. Найбільш прогресивними технологіями передпосівної обробки є застосування електрофізичних способів стимуляції як найбільш економічно вигідних, технічно досконалих і екологічно безпечних [1]. Одним з найбільш уживаних та ефективних методів є лазерне опромінення, як найбільш ефективне із фотоенергетичних методів обробки насіння, оскільки рослини мають спеціалізовані рецепторні системи (фітохроми, кріптохроми, каротиноїди, флавіни, тощо). Експериментально було встановлено, що лазерне випромінювання діє як на біологічні клітинні структури, так і на окрему клітину [2, 3]. За останні два десятиліття було проведено багато досліджень біологічних ефектів і механізмів дії УФ-В і УФ-А випромінювань [1, 2] і значно меншою мірою досліджено вплив УФ-С випромінювання [3, 4]. Хоча дезінфікуючий потенціал ультрафіолетового світла щодо різного виду мікробів має тенденцію затіняти його інші біологічні ефекти, в даний час з'являється все більше доказів того, що ультрафіолетове світло також може позитивно впливати на рослини на відміну від тих ефектів, які призводять до пошкодження або загибелі клітин. Для ряду рослинних культур встановлено, що відсоток схожості насіння і показники зростання проростків обернено пов'язані з дозою опромінення [12]. Для оцінки ефективності та потужності дози опромінення використовують біохімічні параметри, такі як вміст білка, протеази, пероксидази, рівень перекисного окислення ліпідів. Так, встановлено кореляцію між висотою проростків насіння бобів і активністю антиоксидантного ферменту після УФ-опромінення (300 і 380 нм) насіння. У роботі [3] досліджено ефективність впливу УФ-В променів на проростання насіння 20 видів рослинних культур. Встановлено види культур, у яких дія випромінювання не вплинула на швидкість проростання насіння (гречки, капусти, петрушки, зелені гірчиці і ріпи, моркви). У той же час УФ-В промені

пригнічували проростання насіння селери і баклажанів. Позитивні ефекти УФ-В випромінювання поширюються на такі важливі напрямки, як стимуляція вторинного метаболізму, і так званих природних засобів захисту рослин, дезінфекція, виробництво фітореагентів і т. ін. [20]. Однак УФВ випромінювання, як правило, ефективне тільки при дії протягом досить тривалого періоду часу, зазвичай декількох годин або днів. В той же час опромінення насіння високими дозами ультрафіолетових променів порушує синтез білка [22], гормональний баланс, листовий газообмін [22], обмін води і ферментативну активність [24]. Морфологічні, структурні і функціональні зміни залежать від тривалості впливу УФ-випромінювання. УФ промені з довжиною хвилі 280 - 315 нм (зона В) та 315 - 380 нм (зона А) зумовлюють активацію фенольного метаболізму в клітинах рослин. Запас енергії вільних радикалів, що виникають під впливом ультрафіолетових променів, є занадто малим для того, щоб призвести до розриву хромосом. У компенсаторних механізмах пригнічення утворення вільних радикалів при УФ-опроміненні насіння беруть участь антиоксиданти і пероксидаза [21]. У 1910 р. український вчений В.М. Любименко [10] вперше встановив, що максимальне використання рослинами вуглекислоти спостерігається при червоному світлі, а найбільше нагромадження біомаси – при синьому світлі. В оранжевому та, особливо, зеленому промінні фотосинтез і нагромадження сухої речовини у рослин є мінімальними. Тільки червоні промені беруть участь у розкладанні вуглекислоти та нагромадженні деяких первинних продуктів. У 50-х роках минулого століття багатьма авторами переконливо показано, що червоне світло забезпечує вищий рівень газообміну, фотосинтетичної активності, вмісту хлорофілу, каротину, антоціанів, сумарних вуглеводів та інших фізіологічно активних компонентів порівняно з денним світлом [11, 13]. Рослини сприймають світло в основному 3-ма фоторецепторами: фітохромами (Ф660 та Ф730), криптохромами (синє світло) і УФ-абсорбуючим пігментом [24]. Проростання насіння ініціюється фізіологічно активним фітохромом (Ф730) [3]. Переведення неактивного фітохрому (Ф660) в його активну форму (Ф730)

здійснюється за дії природного світла і може відбуватися при низькій вологості насіння (18–20%), коли його проростання неможливе [20]. Накльовування насіння настає тільки після досягнення порогових рівнів зволоженості шляхом розтягування клітин осевих органів під впливом пускового фактора ($\Phi 730$). Це дає змогу проводити фотоактивацію насіння заздалегідь перед посівом.

Дослідження дії ультрафіолетового (УФ-) опромінення на рослини проводиться давно і дуже інтенсивно. Рослинні організми, порівняно з іншими, значну частину часу свого розвитку в природних умовах піддаються впливам довгохвильової і частково середньохвильової УФ-радіації (286 – 300 нм). Озон ефективно екранує короткохвильову УФ-радіацію, але його вміст в атмосфері поступово зменшується [34]. Відомо, що УФ-С-промінь (200 – 280 нм) надзвичайно згубно діє на живі організми. УФ-В-радіація (280 – 320 нм) викликає специфічні, але не завжди руйнівні ефекти на рослинних об'єктах, а УФ-А ділянка (320 – 390 нм) безпечна для живих організмів [9]. Регуляторні системи при поглинанні квантів світла виконують важливу роль через дію на основні сторони життєдіяльності рослини [33]. При цьому сумарна енергія, необхідна для реалізації кінцевого біологічного ефекту, індукованого фоторегуляторною системою, значно перевищує енергію поглинутих квантів світла. Лазерне випромінювання, якому властиві висока інтенсивність, монохроматичність, поляризованість і когерентність, дає змогу різко змінювати ефективність фотоактивації [7, 23, 33]. Фотоактивовані рослини, як правило, швидше ростуть, розвиваються, характеризуються більшою асиміляційною поверхнею, інтенсивним розвитком надземної та кореневої маси, що в остаточному результаті підвищує їхню врожайність, продуктивність і товарність.

РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкти та матеріали дослідження

Об'єктами дослідження були фізіологічні реакції рослини на комплексне опромінення насіння когерентним монохроматичним світлом з довжиною хвилі 635 та 405 нм. Дослідження проводились на сільськогосподарській культурі родини Пасльонових (*Solanaceae*), а саме *Capsicum annuum l. cv lumina*.

Перець солодкий, або перець болгарський (*Capsicum annuum*) — один з видів трав'янистих рослин однорічного типу сімейства Пасльонові. Його прабатьківщиною є тропічні райони Америки, зокрема, Мексики, Гватемали, Чилі, де він росте як багаторічний дикий напівчагарник [50].

Солодкий перець є однорічною овочевою рослиною, яка в природі є багаторічним чагарником. Листя у нього просте, черешкове, зібране в розетку або одиночне, колір листя залежно від різновиду і сорту може бути різних відтінків зеленого кольору. Квітки перцю пазушні, великі, зібрані в пучок або одиночні, з білим, фіолетовим або зеленуватим віночком. Плоди є несправжні пустотілі багатосім'яні ягоди жовтого, червоного, коричневого або оранжевого кольору різної форми, маси і величини [50]. Форма листя змінюється з віком рослин і залежить від умов вирощування. Листя просте, черешкове, поодинокі, яйцеподібне, еліпсоподібне, на верхівці загострене. Його забарвлення зелене, світло-зелене, темно-зелене, часто злегка з антоціановим забарвленням. Кількість листків на рослині залежить від сорту (гібриду) та умов вирощування [50].

Стебло при основі дерев'янисте, округле, вище — 4-5-гранне, трав'янисте, заввишки у відкритому ґрунті від 25 до 130 см, а в спорудах закритого ґрунту — до 1,5-2,0 м і більше. Поверхня його гладенька або опущена. Стебло стояче, штабове, зелене. Бокові пагони з'являються на висоті 18-22 см від поверхні ґрунту. За довжиною бокові пагони на 50% переважають довжину центральних. Розгалуження дихотомічне. Розмір куща залежить від сорту та умов живлення і вирощування. Вузли розгалужень часто з антоціановим забарвленням [50].

Корень розгалужений стрижневий, входить в землю на глибину від 70 см до 1 метра при посіві насінням у відкритий ґрунт і до 40 сантиметрів — при посадці розсадним способом [50].

Квітки двостатеві, дрібні та середні за розміром, гетеростильні. Віночок квітки зрослопелюстковий білого або світло-фіолетового кольору. Квітки переважно формуються поодинокі або суцвіттям (по 2-6 і більше квіток — сорт Вінні-Пух). Загальна кількість квіток на рослині за весь період вегетації становить від 30 до 100 штук і більше, залежно від сорту (гібриду) та умов вирощування. Якщо плід залишається на рослині до біологічної стиглості, то кількість квіток зменшується [50].

Плід — ягода округлої, округло-плескатої, яйцеподібної, кубоподібної, циліндричної, конусоподібної, пірамідальної форми. За зовнішньою поверхнею гладенькі, слабо хвилясті, горбкуваті, зморщені, ребристі різного ступеня. Забарвлення їх залежить від стиглості. У технічній стиглості — світло-зелені, зелені, темно-зелені, молочно-білі, жовтуваті, кремові, фіолетово-зелені, темно-фіолетові (майже чорні). У біологічній — червоні, оранжеві, світло- і темно-червоні, жовті [50].

За масою плоди поділяють на дрібні (4-10 г), середні (11-50 г), великі (51-100 г) і дуже великі (понад 100 г). На рослинах вони розміщені догори, поникло або спрямовані в різні сторони. Для механізованого збирання найбільш придатні сорти та гібриди, на рослинах яких плоди спрямовані догори. За щільністю м'якушу поділяються на ніжні, середні та грубі, а за його товщиною — на тонкостінні (до 0,5 см) і товстостінні (0,6-1,0 см), за смаком — на прісні, солодкі, слабо гострі та гострі [50].

Свій солодкий смак перець має завдяки капсаїцину, алкалоїду, який є корисним для нашого шлунка. За вмістом вітаміну С він не поступається навіть ягодам і цитрусовим. Крім цього, перець містить каротин, рутин і вітаміни В1, В2, РР, Е і К. Багатий він і солями різних мінеральних речовин. Сік цього продукту містить кремній, корисний для волосся і нігтів [50].



Рисунок 2.1 *Capsicum annuum L. cv Lumina* (солодкий перець)

Солодкий перець «Білозірка» (*Capsicum annuum L. cv Lumina*) – це ранньостиглий сорт перцю (110–115 днів). Рослина середньоросла, виростає до 70 см у висоту. Має досить рясне листя, напіврозкидиста, з хорошою енергією зростання та інтенсивною навантаженістю. Швидко адаптується до змін умов вирощування. Стійка до в'янення, альтернаріозу, вірусних захворювань, поразок верхинною гниллю. Для збільшення врожайності рекомендується регулярно поливати і підживлювати кущі. Плоди конусоподібні, гладкі, з загостреним кінчиком. Товщина стінки – 5–6 мм, в довжину виростають до 9–11 см. Вага – від 95 до 140 г. В стадії технічної зрілості плоди забарвлені в колір слонової кістки. При досягненні біологічної зрілості стають яскраво-червоними. М'якоть помірно-водяниста, однорідна, досить щільна. Дуже смачна і ароматна. Урожай витримує транспортування і тривалий термін зберігання без втрати смаку і товарності. Вирощується для свіжого ринку, кулінарії, консервування, заморожування.

2.2 Методи досліджень

Досліджувався вплив опромінення когерентними монохроматичними променями червоного (довжина хвилі 635 нМ) та синього (405 нМ) спектру, які отримувалися за допомогою світлодіодних лазерів на ростові параметри насіння (рис. 2.2) солодкого перцю «Білозірка» (*Capsicum annuum L. cv Lumina*), на його схожість та ростові показники.



Рисунок 2.2 Насіння солодкого перцю (*Capsicum annuum L. cv Lumina*)

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. Потужність опромінення становила 100 мВт/см². Вирощування проводили у пластикових контейнерах, заповнених просіяним ґрунтом. В одному пластиковому контейнері було по 10 насінин, по 3 контейнера кожного варіанту. Рослини вирощувались протягом 30 днів. Комплексне лазерне опромінення вели за різними варіантами.

Таблиця 1. Варіанти опромінення насіння

№ досліджу	Червоний лазер		Синій лазер	
	Термін опромінення, сек.	Енергії отримано, мДж/см ²	Термін опромінення, сек	Енергії отримано, мДж/см ²
1	-	0	-	0
2	5	25.05	-	0
3	10	51.10	-	0
4	-	0	5	25.05
5	5	25.05	5	25.05
6	10	51.10	5	25.05
7	-	0	10	51.10
8	5	25.05	10	51.10
9	10	51.10	10	51.10

Роботи по опроміненню насіння проводилися в лабораторії факультету хімії, біології та біотехнологій Донецького національного університету імені Василя Стуса. Дослідження проводилися протягом вегетаційного сезону 2023 року. Посів і догляд за рослинами здійснювалися відповідно до агротехнічних правил. Всі рослини контрольних і дослідних груп вирощувалися в однакових умовах вологості ґрунту і за температурою 20 – 24 °С. Визначення схожості насіння проводили згідно із ДСТУ 41382002 [49] (насіння сільськогосподарських культур – оцінка якості), виміри показників росту вели на 15, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 добу за загальноприйнятими методиками. Під час завершення досліджу у рослин вимірювали довжину головного кореня та висоту пагону. Отримані результати піддавали статистичній обробці за методом дисперсійного аналізу, порівняння середніх проводили за методом Даннета [15].

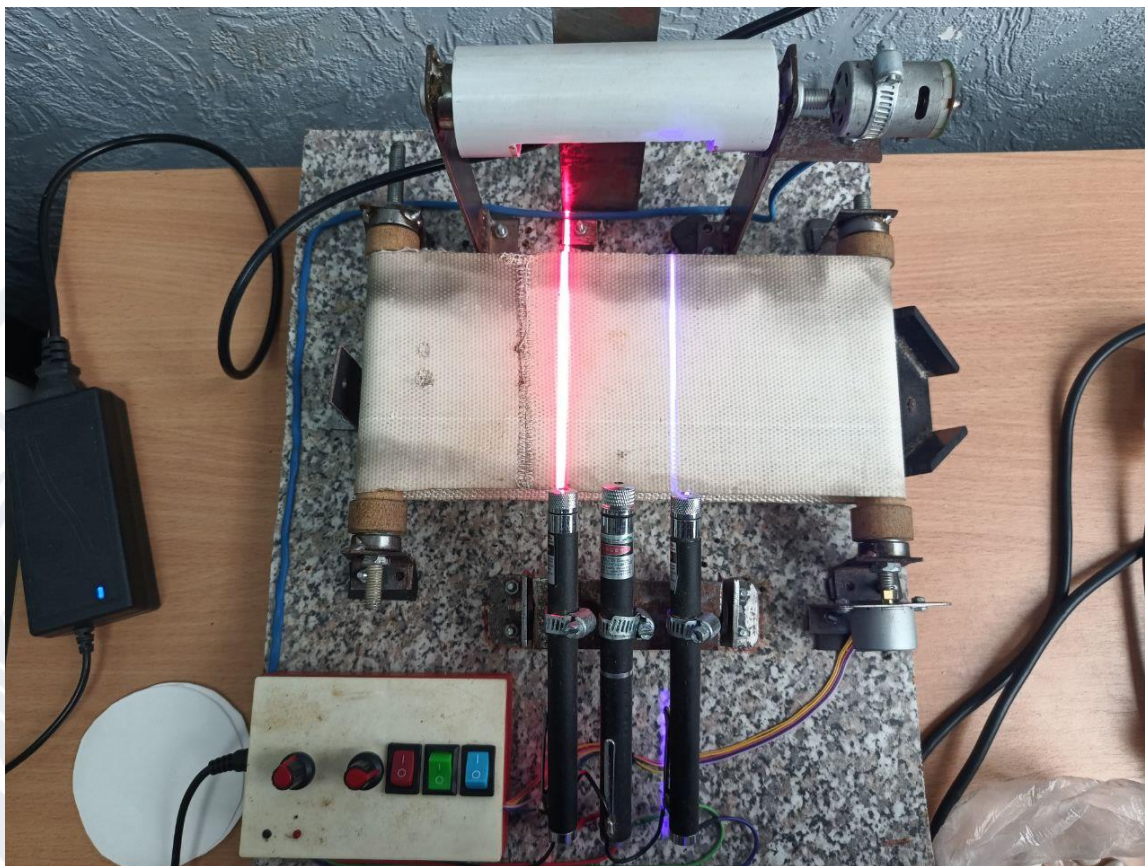


Рисунок 2.3 – Установа для опромінення монохроматичним світлом за допомогою LED лазерів

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що вплив передпосівного лазерного опромінення в більшості варіантів негативно впливає на схожість та виживання насіння, але дозволяє покращити ростові показники солодкого перцю.

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

Результати проведених досліджень засвідчують, що опромінення насіння червоним та синім лазерами чинило як позитивний, так і негативний вплив на ранні етапи розвитку рослин, цей вплив залежав від спектрального складу та опромінення. Для проведення досліду було відібрано по 10 насінин солодкого перцю «Білозерка» на кожен чашку Петрі. Всього досліджувалося 9 варіантів, по 3 чашки Петрі на кожен варіант. Схожість насіння визначалася на 7 та 15 день після опромінення червоним та синім лазерами.

За результатами дослідження одноразове опромінення протягом 5 секунд червоним лазером (2 варіант) негативно вплинуло на схожість насіння. На 7 та 15 день досліду спостерігалася зменшена кількість проростків в порівнянні з контрольним варіантом. Станом на 7 день кількість проростків в другому варіанті складала 6 одиниць, а на 15 їх кількість зросла до 11, в той час як в контрольному варіанті кількість проростків на 7 та 15 день становила 8 та 15 одиниць відповідно. 10 секундне опромінення червоним лазером (3 варіант) також негативно вплинуло на схожість насіння. На 7 день кількість проростків становила 5 одиниць, на 3 одиниці менше ніж в контролі, а на 15 день збільшилася до 8, але це майже вдвічі гірше ніж в контрольному варіанті. Дослід №4, 5 секундне опромінення насіння синім лазером, показав, що така обробка насіння має негативний вплив на схожість. На 7 день кількість проростків була така сама як і в попередньому варіанті, а саме 5 одиниць, але через тиждень спостереження не тільки жодна нова рослина не виросла, але й одна рослина загинула. Варіант №5, 5 секундне опромінення червоним та синім лазерами, показав найгірші результати. На 7 день досліду виросла тільки одна

рослина, а на 15 день виросла ще одна. Порівнюючи отримані результати з контрольним варіантом можна сказати що такий спосіб опромінення спричинив найбільш негативний вплив на насіння. У 6 варіанті насіння було опромінено червоним лазером протягом 10 секунд та синім протягом 5. Такий варіант опромінення показав кращі результати в порівнянні з попередніми варіантами, але в порівнянні з контролем кількість проростків є меншою. На 7 день кількість проростків в цьому варіанті склала 7 одиниць, що на одну одиницю менше ніж в контрольному варіанті. На 15 день кількість проростків зросла лише на одну одиницю, а в контрольному варіанті на 15 день кількість проростків зросла майже вдвічі в порівнянні з першим тижнем. Насіння 7 варіанту досліджу було опромінено лише синім лазером протягом 10 секунд. Таке опромінення мало позитивний вплив на схожість насіння солодкого перцю. На 7 день кількість проростків що виросли становила 7 одиниць, що гірше за контрольний варіант, але через тиждень кількість проростків 7 варіанту зросла до 20, що на 5 одиниць більше за контрольний варіант. 8 варіант було опромінено червоним лазером протягом 5 секунд та синім лазером протягом 10 секунд. Через тиждень після початку досліджу кількість проростків складала 4 одиниці, порівнюючи з контролем це менше на 3 одиниці, але на 15 день кількість проростків у 8 та контрольному варіантах зрівнялася і складала по 15 одиниць в кожному. Насіння останнього 9 варіанту було опромінене обома лазерами, червоним та синім, протягом 10 секунд. Цей варіант показав, що на 7 день проведення досліджу кількість проростків злегка перевищувала контрольний варіант, 9 одиниць у 9 варіанті в порівнянні з 8 одиницями в контролі. Але через тиждень тенденція 9 варіанту до проростання не збереглась. На 15 день кількість проростків виросла лише на дві одиниці, що гірше за контрольний варіант який мав 15 одиниць.

Отримані результати дослідження свідчать, що опромінення лазерними системами мало переважно негативний вплив на схожість насіння. Опромінення лазером лише одного спектру здебільшого мало негативний вплив на схожість рослин. В порівнянні з контрольним варіантом варіанти 2, 3 та 4

мали меншу кількість проростків. Результати отримані з 4 варіанту були найгіршими серед варіантів з опроміненням лазером лише одного спектру. На 7 день кількість проростків була майже вдвічі меншою за контроль, 5 проростків у 4 варіанті, проти 8 у контрольному, а на 15 день це відношення стало гіршим більш ніж втричі, 4 проростки у 4 варіанті проти 15 у контролі. Але також варто зауважити що варіант під номером 7, насіння якого також було опромінено лазером лише одного спектру, а саме синім лазером протягом 10 секунд, має найкращий коефіцієнт проростання серед усіх варіантів, і це єдиний варіант який через два тижні від початку дослідів мав більшу кількість проростків ніж контроль.

Комбіноване опромінення теж мало негативний вплив на схожість насіння солодкого перцю. На рисунку 3.1 видно що 5 варіант виявився найгіршим серед дослідів з комбінованим опроміненням. Через 7 днів проросла лише одна рослина, проти контрольних 8. Через тиждень кількість проростків у 5 варіанті зросла лише на одну одиницю, тоді як в контрольному варіанті приріст склав 7 одиниць. Варіанти 8 та 9 теж були опромінені комбіновано, але час опромінення був різним. Результати, що показані на рисунку 1 свідчать, що 8 варіант мав ледь не найменшу кількість проростків станом на 7 день серед усіх варіантів, всього 4 проростки, але через тиждень їх кількість зросла на 11 одиниць. 9 варіант навпаки, на 7 день він мав найбільшу кількість проростків серед усіх варіантів, але через тиждень їх кількість зросла лише на 2 одиниці.

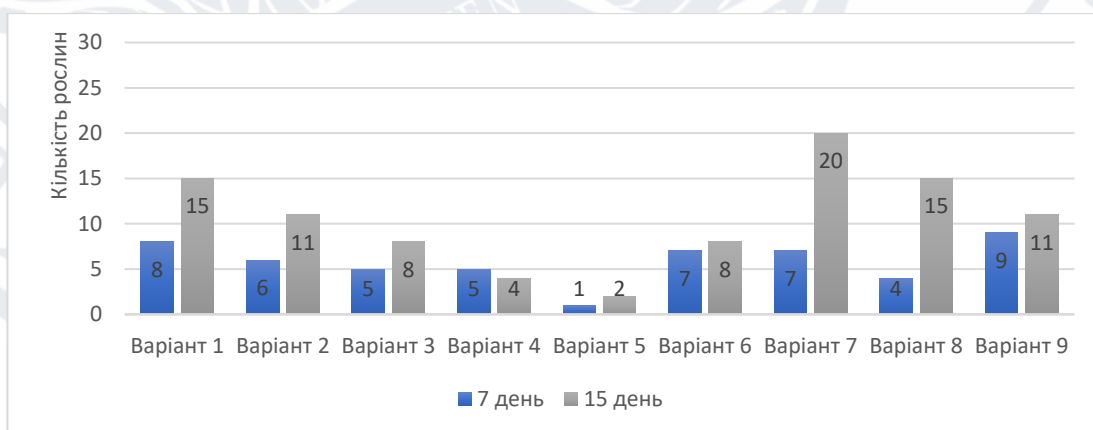


Рисунок 3.1. Вплив опромінення на схожість насіння *Capsicum annuum L. cv Lumina*.

Результати досліджень свідчать, що опромінення насіння солодкого перцю також вплинуло на виживання рослин. На рисунку 3.2 показано порівняння максимальної схожості насіння (на 15 день) та його виживання наприкінці досліду. У контрольному варіанті до кінця досліду дожили лише 5 рослин з 15. У другому варіанті з 11 рослин що проросли станом на 15 день до кінця досліду дожили лише 4. У третьому варіанті ситуація повторилася, з 8 рослин також вижило 4. Четвертий варіант, в якому на 15 день було лише 4 проростки, наприкінці досліду мав лише 2 рослини. П'ятий та шостий варіанти, які станом на 15 день від початку досліду мали 2 та 8 рослин відповідно, впродовж дослідження повністю загинули. В сьомому варіанті, який мав найбільшу кількість проростків, до кінця досліду їх кількість зменшилася в 4 рази, загинуло 75% рослин. У восьмому варіанті від початкових 15 одиниць, що вирости на другий тиждень, залишилося лише 5. Найкраще себе показав дев'ятий варіант, насіння якого було опромінено протягом 10 секунд червоним та синім лазерами. Кількість рослин тут знизилася лише на дві одиниці, з 11 рослин, що вирости станом на 15 день до кінця досліду дожило 9. Якщо порівняти схожість насіння солодкого перцю та його виживання, то кількість рослин у середньому знизилась майже у 3 рази. Беручи до уваги результати дослідження можна сказати що опромінення мало здебільшого негативний вплив на схожість та виживання насіння (рис. 2).

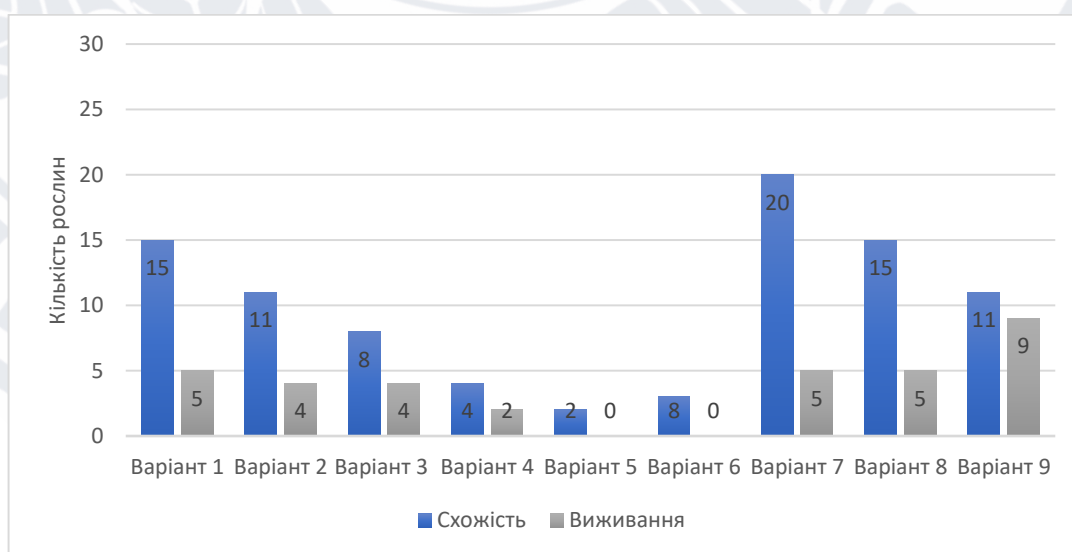


Рисунок 3.2 Порівняння схожості та виживання. *Capsicum annuum L. cv Lumina*.

Варто зауважити, що на схожість та виживання рослин впливає не тільки опромінення, але й різні фактори навколишнього середовища (температура, вологість, освітленість), проте на отримані результати також могла вплинути якість посівного матеріалу, тому що під час дослідів виникли проблеми з пророщуванням самого насіння.

3.2 Вплив опромінення синім та червоним лазером на ростові параметри рослин

Передпосівне опромінення насіння позитивно вплинуло на ростові показники кореня *S. annuum L. cv Lumina* (таблиця 2). Вимірювання коренів розсади проводилося безпосередньо перед висадкою у відкритий ґрунт. Середня довжина коренів розсади другого варіанту становила 4,90 см, в контрольного варіанту середня довжина коренів складала 4,73 см. Можна сказати, що 5 секундне опромінення червоним лазером мало позитивний вплив на ростові показники кореня. Середня довжина коренів розсади третього варіанту становила 4,50 см, це на 4,87% гірше за показник контролю. Це свідчить про те, що 10 секундне опромінення червоним лазером негативно вплинуло на ріст кореня солодкого перцю. Середня довжина коренів розсади четвертого варіанту становила 5,98 см. Цей показник кращий за контрольний варіант на 26,42%. Тобто, 5 секундне опромінення синім лазером краще вплинуло на ріст кореня ніж 5 секундне опромінення червоним лазером. Середня довжина коренів розсади п'ятого варіанту становила 6,20 см, що на 31,07% краще за контрольні 4,73 см. П'ятий варіант було опромінено червоним та синім лазерами по 5 секунд кожен. З цього можна зробити висновок, що можливо комбіноване опромінення краще впливає на ростові показники кореня, ніж опромінення лазером лише одного спектру. Середня довжина коренів розсади шостого варіанту становила 7,94 см, що на 67, 86% більше за середню довжину коренів контролю. Насіння цього варіанту також було опромінено комбінованим способом, 10 секунд червоним лазером та 5 секунд синім. Середня довжина коренів розсади сьомого варіанту становила 6,17 см. Цей

показник хоч і перевершує показник контролю на 30,44%, але він поступається попереднім варіантам. На думку дослідника так вийшло тому, що сьомий варіант був опромінений лише одним синім лазером протягом 10 секунд а попередні два варіанти було опромінено лазерами двох спектрів. Середня довжина коренів розсади восьмого варіанту становила 5,45 см, що на 15,22% краще за коріння неопромінених рослин. Цей варіант досліду було опромінено лазерами обох спектрів, червоним протягом 5 секунд та синім протягом 10. Самий кращий результат спостерігається в 9 варіанті, його насіння було опромінено червоним та синім лазерами протягом 10 секунд кожен. Середня довжина кореня в цьому варіанті складає 8,76 см, що на 85,20% перевищує неопромінені рослини.

Згідно отриманих результатів дослідження можна стверджувати, що передпосівна обробка насіння лазерними системами мала позитивний вплив на ростові параметри кореня. Найнижчий позитивний показник росту спостерігається у другому варіанті. Різниця між контролем та цим варіантом становить всього 3,59 %. Лише в одному з варіантів середня довжина кореня зменшилась в порівнянні з контрольним варіантом. Різниця між цим варіантом та контролем становить -4,87 %.

Таблиця 2 Вплив опромінення насіння на довжину кореня *S. annuum L. cv Lumina*

Номер варіанту	Довжина кореня, см			
	M±m	D	D ^D	% до контролю
1	4,73±0,51	-	-	100,0
2	4,90±0,14	0,17	3,10	103,59
3	4,50±0,11	-0,23	1,90	95,13
4	5,98±0,13	1,25	2,19	126,42
5	6,20±0,28	1,46	3,10	131,07
6	7,94±0,28	3,20	1,96	167,86
7	6,17±0,66	1,44	2,45	130,44

8	5,45±0,63	0,71	3,10	115,22
9	8,76±0,99	4,03	2,00	185,20

Примітка: М — середні значення; m — помилка репрезентативності; D — різниця між середніми значеннями; D^D — мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

Проте опромінення мало дещо інакший вплив на висоту стебла рослини. Самий високий показник росту стебла спостерігався у 9 варіанті, який був опромінений червоним та синім лазерами впродовж 10 секунд. Вже на 15 день висота його стебла становила 1,62 см; що більше за контроль на 13,28%. Висота стебла на 21 день становила 2,55 см, такий показник є більшим за контрольний на 8,51%. Висота стебла на 28 день становила 3,26 см, це більше на 18,11% в порівнянні з контрольним варіантом, висота стебла якого становила 2,76 см. На 35 день цей показник зріс до 3,83 см, це на 17,48 % вище за контрольний варіант. На 42 день стебло виросло ще на 17 мм, та становило 4 см заввишки, це на 17,48% більше в порівнянні з варіантом 1. Ще через тиждень, в зв'язку зі змінами умов проростання, висота стебла залишилася такою ж як і на 42 день. На 56 день висота стебла варіанту що досліджувався становила 4,91 см, різниця з контрольним варіантом становить 6,5%. Станом на останній тиждень спостереження, висота стебла 9 варіанту сягнула 5,62 см, що на 11,06% вище за контрольні 5,06 см. Найнижчий показник росту стебла спостерігається у 5 варіанті, який був опромінений обома лазерами, червоним та синім, впродовж 5 секунд. Через два тижні від початку досліду середня висота стебла рослин становила 0,75 см, що майже вдвічі гірше, 48,56%, за контрольний варіант, середня висота стебла рослин якого становила 1,43 см. Через тиждень, на 21 день, середня висота проростків п'ятого варіанту становила 1,55 см, що на 34,05% гірше за висоту стебел першого варіанту, чия висота становила 2,35 см. Ще через тиждень, на 28 день, середня висота стебла досліду дорівнювала 2,25 см, що становить 81, 52% від висоти стебла контролю. На 35 день висота стебла 5 варіанту сягнула 2,7 см, а висота контрольного варіанту сягнула 3,26 см,

різниця -17,18%. Під час наступного контрольного заміру рослин було встановлено, що на 42 та на 49 день, середня висота стебла у рослин з п'ятого варіанту становила 3,60 см. На 56 день спостереження висота стебла варіанту №5 та контрольного варіанту стала майже однакова, у варіанту №5 вона становила 4,55 см, а у контрольного варіанту 4,61 см, різниця всього 1,31%. Через два місяці від початку спостереження за рослинами у відкритому ґрунті, а точніше на 63 день, середня висота рослин що були опроміненні перевершила середню висоту рослин контролю, 5,40 см у варіанту №5, проти 5,06 см у контрольного варіанту, це на 6,71% більше.

Перший контрольний замір було проведено на 15 день від початку досліду. Згідно з даними з таблиці 3.1 можна побачити як саме опромінення впливало на зміну ростових параметрів стебла кожного варіанту. Опромінення червоним лазером протягом 5 секунд мало негативний вплив на ріст стебла проростків другого варіанту. Їх висота становила 1,25 см, а в контрольного варіанту висота стебла у проростків становила 1,43 см. Отже, висота стебла проростків у другому варіанті на 12,59% нижча ніж у контролі. Третій варіант було опромінено червоним лазером протягом 10 секунд. Як можна побачити, таке опромінення негативно вплинуло на ріст стебла. Середня висота стебла у цьому варіанті складає 1,11 см, проти контрольних 1,43 см. Опромінення протягом 10 секунд мало ще гірший вплив на ростові параметри стебла рослин ніж у попередньому варіанті, різниця у відсотках склала 22,38%. Насіння четвертого варіанту було опромінене синім лазером протягом 5 секунд. Середня висота стебла рослин становила 1,49 см. Такий показник є кращим за контроль на 4,19%, з його 1,43 см. На 15 день рослини п'ятого варіанту мали найгірший показник росту серед усіх варіантів. Висота їх стебла становила всього 0,75 см, це вдвічі нижче за контрольний варіант. Рахуючи у відсотках висота стебла проростків п'ятого варіанту становила лише 52,44% від висоти стебла неопроміненних рослин. Насіння шостого варіанту було опромінено лазерами двох спектрів, червоного протягом 10 секунд та синього протягом п'яти. Але комбіноване опромінення також не принесло задовільних

результатів. Середня висота стебла у цьому варіанті становила 1,14 см. Порівнюючи отримані дані з контрольним варіантом видно що висота стебла зменшилася на 20,28%. Сьомий варіант був опромінений синім лазером протягом 10 секунд. Середня висота стебла проростків у цьому варіанті становила 1,01см. Якщо порівнювати цей показник з показником контрольного варіанту то стає видно, що різниця у відсотках склала 29,38%. Тож можна стверджувати що таке опромінення мало негативний вплив на ростові параметри стебла. Рослини у восьмому варіанті теж мали нижчий середній показник висоти стебла ніж показник контрольного варіанту. Їх висота стебла майже така ж сама як і в попереднього варіанту, а саме 1 см. Це на 30,07% гірше за показник контролю. Варто зауважити, що насіння цього варіанту перед посадкою було опромінене обома лазерами, червоним та синім. Тривалість опромінення червоним лазером складає 5 секунд, а тривалість опромінення синім 10 секунд. На 15 день найкращий показник росту стебла серед опромінених варіантів мав останній, дев'ятий варіант. Він був опромінений обома лазерами протягом 10 секунд. Висота його стебла складала 1,62 см, що на 19 мм більше ніж у контролю, 1,43 см. У відсотках такий приріст склав 13,28%.

Таблиця 3.1 Вплив опромінення насіння на висоту стебла *Capsicum annuum L. cv Lumina*.

Номер варіанту	15 день			
	M±m	D	D ^D	%
1	1,43±0,12	-	-	100,00
2	1,25±0,12	-0,18	0,63	87,41
3	1,11± 0,06	-0,32	0,38	77,62
4	1,49±0,12	0,05	0,44	104,19
5	0,75± 0,35	-0,68	0,84	52,44
6	1,14±0,13	-0,29	0,41	79,72
7	1,01± 0,19	-0,42	0,49	70,62
8	1,00±0,35	-0,43	0,71	69,93
9	1,62±0,12	0,19	0,44	113,28

Примітка: M — середні значення; m – помилка репрезентативності; D – різниця між середніми значеннями; D^D – мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

Наступний контрольний замір середньої висоти стебла серед досліджуваних рослин було проведено через тиждень, на 21 день. В таблиці 3.2 зібрані усі результати вимірів ростових параметрів стебла по кожному варіанту. Станом на 21 день, середній показник висоти стебла другого варіанту становив 2,50 см, а висота стебла у проростків контрольного варіанту становила 2,35 см. Висота стебла у проростків другого варіанту на 6,38% вища ніж у рослин, які не піддавалися опроміненню. Рослини у другому варіанті були опромінені червоним лазером протягом 5 секунд. Середня висота стебла проростків третього варіанту, який був опромінений червоним лазером протягом 10 секунд, складає 2,28 см, проти контрольних 2,35 см. Середня висота стебла у рослин цього варіанту є нижчою порівняно з першим варіантом. Рахуючи у відсотках, середня висота стебла третього варіанту нижча за середню висоту стебла контролю на 2,98%. Станом на 21 день, середня висота стебла рослин у четвертому варіанті, насіння якого було опромінене синім лазером протягом 5 секунд, становила 2,25 см. Такий показник є нижчим за контрольний показник на 4,26%. На 21 день досліді середній показник росту рослин у п'ятому варіанті становив 1,55 см. Неопромінені рослини контрольного варіанту мали середню висоту 2,35 см. Переводячи у відсотки різниця між середньою висотою стебла проростків п'ятого варіанту і висотою стебла неопроміненних рослин становить 34,05%. Насіння шостого варіанту, було комбіновано опромінене лазерами двох спектрів, червоного протягом 10 секунд та синього протягом п'яти секунд. Середня висота стебла проростків у шостому варіанті дорівнювала 2,23 см. Порівнюючи дані шостого варіанту з контролем видно що висота стебла у проростків опроміненого варіанту є меншою на 5,11%. Середня висота стебла проростків сьомого варіанту, який був опромінений синім лазером протягом 10 секунд, дорівнювала 1,92 см. Якщо перевести ці дані у відсотки то отримаємо, що показник росту сьомого варіанту є нижчим за показник першого варіанту, різниця складає 18,3%. Середній показник висоти

стебла рослин у восьмому варіанті є нижчим за середній показник висоти контрольного варіанту. Цей показник складає 2 см. Такий результат є гіршим за середній показник контрольного варіанту на 14,9%. На 21 день, середній показник висоти стебла у дев'ятому варіанті залишався найвищим, та становив 2,55 см. Варто нагадати, що середній показник контролю на той час становив 2,35 см. Показник дев'ятого варіанту вище за показник неопромінених рослин на 20 мм. Якщо перерахувати ці дані у відсотки, то вийде що показник висоти стебла дев'ятого варіанту є більшим за такий самий показник контрольного варіанту на 8,51%.

Таблиця 3.2 Вплив опромінення насіння на висоту стебла *Capsicum annuum L. cv Lumina*.

Номер варіанту	21 день			
	M±m	D	D ^D	%
1	2,35±0,08	-	-	100,00
2	2,50± 0,49	0,15	0,87	106,38
3	2,28± 0,14	-0,06	0,61	97,02
4	2,25±0,35	-0,10	0,71	95,74
5	1,55± 0,35	-0,80	1,00	65,95
6	2,23±0,22	-0,11	0,64	94,89
7	1,92± 0,17	-0,42	0,79	81,70
8	2,00±0,42	-0,35	1,00	85,10
9	2,55±0,12	0,20	0,64	108,51

Примітка: M — середні значення; m – помилка репрезентативності; D – різниця між середніми значеннями; D^D – мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

Наступний контрольний замір висоти стебла було проведено на 28 день. Таблиця 3.3 показує як опромінення впливало на зміну ростових параметрів стебла кожного варіанту. У другому варіанті опромінення червоним лазером протягом 5 секунд мало позитивний вплив на ріст стебла проростків. Їх висота становила 3,30 см, а висота стебла у проростків контрольного варіанту становила 2,76 см. Висота стебла проростків у другому варіанті на 19,56% вища

ніж у контрольного варіанту. Третій варіант, який був опромінений червоним лазером протягом 10 секунд, теж мав позитивний приріст до висоти стебла якщо порівнювати з контролем. Середня висота стебла у цьому варіанті складає 2,95 см, проти контрольних 2,76 см. У відсотках, такий приріст складає 6,88%. Насіння четвертого варіанту було опромінене синім лазером протягом 5 секунд. Середня висота стебла рослин становила 2,85 см. Такий показник є кращим за контроль на 3,26%, з його 2,76 см. Через три тижні від початку дослідження рослини п'ятого варіанту так само мали найгірший показник росту серед усіх варіантів. Середня висота їх стебла становила 2,25 см. У відсотках різниця між середньою висотою стебла проростків п'ятого варіанту і висотою стебла неопромінених рослин становила 18,48%. Комбіноване опромінення насіння шостого варіанту лазерами двох спектрів, червоного протягом 10 секунд та синього протягом п'яти принесло задовільний результат. Середня висота стебла у цьому варіанті виросла до 2,99 см. Порівнюючи отримані дані з контрольним варіантом видно що висота стебла виросла на 8,33%. Середня висота стебла проростків сьомого варіанту, який був опромінений синім лазером протягом 10 секунд, тепер складала 2,70 см. Порівняно з показником контрольного варіанту, який складає 2,76 см, цей показник гірший на 2,18. Опромінення синім лазером протягом 10 секунд досі не спричинило позитивний вплив на ростові параметри стебла. Середній показник висоти стебла рослин у восьмому варіанті був нижчим за показник контрольного варіанту. Цей показник складає 2,65 см, що на 3,99% гірше за середній показник контролю. Станом на 28 день дев'ятий варіант досі мав найвищий середній показник росту стебла серед опромінених варіантів. Висота стебла проростків у рослин дев'ятого варіанту складала 3,26 см. Такий показник вище за показник неопромінених рослин на 50 мм, це 18,11% приросту.

Таблиця 3.3 Вплив опромінення насіння на висоту стебла *Capsicum annuum* L. cv *Lumina*.

Номер варіанту	28 день			
	M±m	D	D ^D	%
1	2,76±0,19	-	-	100,00
2	3,30± 0,28	0,53	1,03	119,56
3	2,95± 0,14	-0,18	0,63	106,88
4	2,85±0,12	-0,06	0,81	103,26
5	2,25± 0,21	-0,51	1,03	81,52
6	2,99±0,21	0,22	0,65	108,33
7	2,70± 0,14	0,53	1,03	97,82
8	2,65±0,35	-0,11	1,03	96,01
9	3,26±0,14	0,50	0,66	118,11

Примітка: M — середні значення; m — помилка репрезентативності; D – різниця між середніми значеннями; D^D – мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

Наступний контрольний замір середньої висоти стебла у опромінених рослин було проведено на 35 день. В таблиці 3.4 зібрані усі результати вимірів ростових параметрів стебла по кожному варіанту. Станом на 35 день, середній показник висоти стебла у другому варіанті дорівнював 3,65 см, а висота стебла у проростків контрольного варіанту становила 3,26 см. Варто нагадати, що рослини другого варіанту були опромінені червоним лазером протягом 5 секунд. Досі таке опромінення мало позитивний вплив на ріст стебла проростків. Висота стебла у проростків другого варіанту на 11,96% вища ніж у рослин, які не піддавалися опроміненню. Середня висота стебла у третьому варіанті, який був опромінений червоним лазером протягом 10 секунд, складає 3,22 см, проти контрольних 3,26 см. Стебла у рослин цього варіанту були трішки нижчими порівняно з контролем. У відсотках, середня висота стебла

контролю обігнала середню висоту стебел 3 варіанту на 1,23%. На 35 день, середня висота стебла рослин четвертого варіанту, насіння якого було опромінене синім лазером протягом 5 секунд, становила 3,35 см. Такий показник є кращим за контрольний показник на 2,76%. Продовжуючи тенденцію, через 35 днів від дня початку дослідження, рослини п'ятого варіанту мали найгірший показник росту серед усіх варіантів. Середня висота стебла у цього варіанту становила 2,70 см. Для порівняння неопромінені рослини з першого варіанту мали висоту 3,26 см. Якщо порівняти у відсотках різницю між середньою висотою стебла проростків п'ятого варіанту і висотою стебла неопроміненних рослин становить 17,18%. Шостий варіант, який був комбіновано опромінений лазерами двох спектрів, червоного протягом 10 секунд та синього протягом п'яти показав задовільний результат. Середня висота стебла шостого варіанту дорівнювала 3,40 см. Порівнюючи дані шостого варіанту з контролем видно що висота стебла у проростків шостого є більшою на 4,29%. Середня висота стебла проростків сьомого варіанту, який був опромінений синім лазером протягом 10 секунд, дорівнювала 2,85 см. Порівняно з показником контрольного варіанту, який тоді становив 3,26 см, середня висота стебла у сьомого варіанту нижча приблизно на 40 мм. Якщо перевести ці дані у відсотки то отримаємо, що показник росту сьомого варіанту гірший за показник першого варіанту на 12,58%. Середній показник висоти стебла рослин у восьмому варіанті був нижчим за показник контрольного варіанту. Цей показник складає 3,10 см. Це на 4,94% гірше за середній показник контрольного варіанту. 35 день дослідження це вже половина від запланованого графіку спостережень. Можна зауважити, що деякі варіанти, наприклад варіант два стали показувати кращі результати ніж на початку. Хоча прослідковуються і стабільні варіанти. Наприклад п'ятий та сьомий варіанти показують стабільно гірші за контрольний варіант результати. Але є й стабільно позитивні варіанти, наприклад четвертий, який завжди має вищий середній показник росту, або дев'ятий, який є стабільно найкращим варіантом якщо порівнювати з показниками контролю. Станом на 35 день, середній показник висоти стебла у

дев'ятому варіанті становив 3,83 см. Такий показник вище за показник неопромінених рослин, чий показник становить 3,26 см. Перераховуючи у відсотки показник висоти стебла дев'ятого варіанту є більшим за такий самий показник контролю на 17,48%.

Таблиця 3.4 Вплив опромінення насіння на висоту стебла *Capsicum annuum L. cv Lumina*.

Номер варіанту	35 день			
	M±m	D	D ^D	%
1	3,26±0,18	-	-	100,00
2	3,65± 0,49	0,38	0,90	111,96
3	3,22± 0,13	-0,04	0,55	98,77
4	3,35±0,12	0,08	0,64	102,76
5	2,70± 0,28	-0,56	0,90	82,82
6	3,40±0,18	0,13	0,57	104,29
7	2,85± 0,11	-0,41	0,71	87,42
8	3,10±0,14	-0,16	0,90	95,06
9	3,83±0,10	0,56	0,58	117,48

Примітка: M — середні значення; m — помилка репрезентативності; D – різниця між середніми значеннями; D^D – мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

Наступний контрольний замір середньої висоти стебла серед досліджуваних рослин було проведено через тиждень, на 42 день. Саме в цей день рослини було висаджено у відкритий ґрунт. В таблиці 3.5 зібрані усі результати вимірів ростових параметрів стебла по кожному варіанту. Станом на 42 день, середній показник висоти стебла у другому варіанті дорівнював 4, 25 см, а висота стебла у проростків контрольного варіанту становила 3,90 см. Ці рослини були опромінені червоним лазером протягом 5 секунд. Висота стебла у проростків другого варіанту на 8,97% вища ніж у рослин, які не піддавалися

опроміненню. Середня висота стебла у третьому варіанті, який був опромінений червоним лазером протягом 10 секунд, складає 3,75 см, проти контрольних 3,90 см. Середня висота стебла у рослин цього варіанту є нижчою порівняно з першим варіантом. У відсотках, середня висота стебла контролю більше за середню висоту стебла третього варіанту на 3,85%. На 42 день, середня висота стебла рослин четвертого варіанту, насіння якого було опромінене синім лазером протягом 5 секунд, становила 4,13 см. Отримані дані є кращими за дані контрольного варіанту на 5,89%. Станом на 42 день від дня початку досліду, середня висота стебла рослин п'ятого варіанту, які були опромінені червоним та синім лазерами протягом 5 секунд становила 3,60 см. Для порівняння неопромінені рослини з першого варіанту мали висоту 3,90 см. Якщо перевести отримані дані у відсотки різниця між середньою висотою стебла проростків п'ятого варіанту і висотою стебла неопроміненних рослин становить 7,7%. Середня висота стебла шостого варіанту, який був комбіновано опромінений лазерами двох спектрів, червоного протягом 10 секунд та синього протягом п'яти, дорівнювала 4,03 см. Порівнюючи висоту стебла шостого варіанту з контролем видно що висота стебла у проростків опроміненого варіанту є більшою на 3,33%. Середня висота стебла проростків сьомого варіанту, який був опромінений синім лазером протягом 10 секунд, дорівнювала 3,77 см. Порівняно з показником контрольного варіанту, висота якого складала 3,90 см, середня висота стебла у сьомого варіанту нижча на 13 мм. Якщо перевести ці дані у відсотки то отримаємо, що показник росту сьомого варіанту гірший за показник першого варіанту на 3,34%. Середній показник висоти стебла рослин у восьмому варіанті був нижчим за показник контрольного варіанту. Цей показник становив 3,85 см. Це на 1,29% гірше за середній показник контрольного варіанту. Станом на 42 день, середній показник висоти стебла у дев'ятому варіанті становив 4 см. Показник дев'ятого варіанту вище за показник неопроміненних рослин, чия висота становила 3,90 см. Перераховуючи у відсотки показник висоти стебла дев'ятого варіанту є більшим за такий самий показник контролю на 2,56%.

Таблиця 3.5 Вплив опромінення насіння на висоту стебла *Capsicum annuum* L. cv *Lumina*.

Номер варіанту	42 день			
	M±m	D	D ^D	%
1	3,90±0,14	-	-	100,00
2	4,25± 0,35	0,35	0,81	111,96
3	3,75± 0,12	-0,15	0,49	98,77
4	4,13±0,10	0,23	0,57	102,76
5	3,60± 0,28	-0,30	0,81	82,82
6	4,03±0,15	0,13	0,51	104,29
7	3,77± 0,12	-0,12	0,64	87,42
8	3,85±0,21	-0,50	0,81	95,06
9	4,00±0,10	0,10	0,52	117,48

Примітка: M — середні значення; m — помилка репрезентативності; D – різниця між середніми значеннями; D^D – мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

Наступний контрольний замір висоти стебла було проведено на 49 день. Таблиця 3.6 показує як опромінення впливало на зміну ростових параметрів стебла кожного варіанту. Слід зауважити, що через те, що на 42 день усі рослини було висаджено у відкритий ґрунт, і їм був необхідний час для того щоб прижитися і адаптуватися до нових умов, усі виміри які було знято на 49 день залишилися такими ж як і на 42. У другому варіанті висота стебла залишилася такою ж, 4,25 см, а висота стебла у проростків контрольного варіанту становила 3,90 см. Третій варіант, який був опромінений червоним лазером протягом 10 секунд, теж мав ті ж самі показники висоти стебла. Середня висота стебла у цьому варіанті дорівнювала 3,75 см, проти контрольних 3,90 см. Насіння четвертого варіанту було опромінене синім лазером протягом 5 секунд. Середня висота стебла рослин залишилася на

відмітці 4,13 см. Через 49 днів від початку досліду рослини п'ятого варіанту мали показник росту стебла який дорівнював 3,60 см. Середня висота стебла у шостому варіанті становила 4,03 см. Середня висота стебла проростків сьомого варіанту, який був опромінений синім лазером протягом 10 секунд, так само складала 3,77 см. Середній показник висоти стебла рослин у восьмому варіанті залишився таким самим як і під час вимірів на 42 день. Цей показник складає 3,85 см. Станом на 49 день дев'ятий варіант досі мав найвищий середній показник росту стебла серед опромінених варіантів, але він ніяк не змінився в порівнянні з 42 днем. Висота стебла проростків у рослин дев'ятого варіанту складала 4 см. Роблячи висновок на основі даних отриманих під час контрольного заміру на 42 та 49 дні, можна стверджувати, що передпосівне опромінення насіння ніяким чином не вплинуло на здатність рослин пристосовуватися до зміни навколишніх умов.

Таблиця 3.6 Вплив опромінення насіння на висоту стебла *Capsicum annuum L. cv Lumina*.

Номер варіанту	49 день			
	M±m	D	D ^p	%
1	3.90±0.14	-	-	100,00
2	4.25± 0.35	0.35	0.81	111,96
3	3.75± 0.12	-0.15	0.49	98,77
4	4.13±0.10	0.23	0.57	102,76
5	3.60± 0.28	-0.30	0.81	82,82
6	4.03±0.15	0.13	0.51	104,29
7	3.77± 0.12	-0.12	0.64	87,42
8	3.85±0.21	-0.05	0.81	95,06
9	4.00± 0.10	0.10	0.52	117,48

Примітка: M — середні значення; m – помилка репрезентативності; D – різниця між середніми значеннями; D^D – мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

Наступний контрольний замір середньої висоти стебла серед досліджуваних рослин було проведено на 56 день. В таблиці 3.7 зібрані усі результати вимірів ростових параметрів стебла по кожному варіанту. Станом на 56 день, середній показник висоти стебла другого варіанту становив 5,15 см, а висота стебла у проростків контрольного варіанту становила 4,61 см. Висота стебла у проростків другого варіанту на 11,71% вища ніж у рослин, які не піддавалися опроміненню. Рослини у другому варіанті були опромінені червоним лазером протягом 5 секунд. Середня висота стебла проростків третього варіанту, який був опромінений червоним лазером протягом 10 секунд, складає 4,51 см, проти контрольних 3,90 см. Середня висота стебла у рослин цього варіанту є нижчою порівняно з першим варіантом. Рахуючи у відсотках, середня висота стебла третього варіанту нижча за середню висоту стебла контролю на 1,31%. Станом на 56 день, середня висота стебла рослин у четвертому варіанті, насіння якого було опромінене синім лазером протягом 5 секунд, становила 4,91 см. Такий показник є кращим за контрольний показник на 6,5%. На 56 день досліду, середній показник росту рослин у п'ятому варіанті майже зрівнявся з контрольним показником. Середня висота стебла у цього варіанту становила 4,55 см. Неопромінені рослини контрольного варіанту мали середню висоту 4,61 см. Якщо поррахувати у відсотках різниця між середньою висотою стебла проростків п'ятого варіанту і висотою стебла неопромінених рослин становить 1.17%. Насіння шостого варіанту, було комбіновано опромінене лазерами двох спектрів, червоного протягом 10 секунд та синього протягом п'яти секунд. Середня висота стебла проростків у шостому варіанті дорівнювала 4,87 см. Порівнюючи дані шостого варіанту з контролем видно що висота стебла у проростків опроміненого варіанту є більшою на 5,63%. Середня висота стебла проростків сьомого варіанту, який був опромінений синім лазером протягом 10 секунд, дорівнювала 4,60 см. Можна зауважити, що сьомий варіант теж майже зрівнявся з показником контрольного варіанту, який

тоді становив 4,61 см. Якщо перевести ці дані у відсотки то отримаємо, що показник росту сьомого варіанту майже однаковий з показником першого варіанту, різниця складає всього 0,06%. Середній показник висоти стебла рослин у восьмому варіанті є вищим за середній показник висоти контрольного варіанту. Цей показник складає 4,70 см. Цей результат є кращим за середній показник контрольного варіанту на 1,95%. На 56 день, середній показник висоти стебла у дев'ятому варіанті залишався найвищим, та становив 4,91 см. Варто нагадати, що середній показник контролю складає 4,61 см. Показник дев'ятого варіанту вище за показник неопромінених рослин на 30 мм. Якщо перерахувати ці дані у відсотки, то вийде що показник висоти стебла дев'ятого варіанту є більшим за такий самий показник контрольного варіанту на 16,50%.

Таблиця 3.7 Вплив опромінення насіння на висоту стебла *Capsicum annuum L. cv Lumina*.

Номер варіанту	56 день			
	M±m	D	D ^D	%
1	4.61±0.18	-	-	100,00
2	5.15± 0.21	0.53	0.94	111,71
3	4.51± 0.14	-0.10	0.57	98,69
4	4.91±0.12	0.30	0.66	106,50
5	4.55± 0.07	-0.06	0.94	98,83
6	4.87±0.15	0.25	0.59	105,63
7	4.60± 0.17	-0.01	0.74	99,94
8	4.70± 0.42	0.08	0.94	101,95
9	4.91±0.14	0.29	0.60	116,50

Примітка: M — середні значення; m — помилка репрезентативності; D — різниця між середніми значеннями; D^D — мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

Останній контрольний замір середньої висоти стебла серед досліджуваних рослин було проведено на 63 день. В таблиці 3.8 подано усі результати вимірів ростових параметрів стебла по кожному наявному варіанту. Станом на останній 63 день, середній показник висоти стебла другого варіанту становив 6,05 см, а висота стебла у проростків контрольного варіанту становила 5,06 см. Висота стебла у проростків другого варіанту на 19,56% вища ніж у рослин, які не піддавалися опроміненню. Рослини у другому варіанті були опромінені червоним лазером протягом 5 секунд. Середня висота стебла проростків третього варіанту, який був опромінений червоним лазером протягом 10 секунд, складає 5,30 см, проти контрольних 5,06 см. Середня висота стебла у рослин цього варіанту вперше стала більшою за контрольний варіант, якщо порівнювати з показниками за попередні дні. Рахуючи у відсотках, середня висота стебла третього варіанту стала вищою за середню висоту стебла контролю на 4,74%. Станом на 63 день, середня висота стебла рослин у четвертому варіанті, насіння якого було опромінене синім лазером протягом 5 секунд, становила 5,75 см. Такий показник є кращим за контрольний показник на 13,63%. На 63 день досліду, середній показник росту рослин у п'ятому варіанті перевершив середній показник контролю. Середня висота стебла у цього варіанту становила 5,40 см. Неопромінені рослини контрольного варіанту мали середню висоту 5,06 см. Якщо поррахувати у відсотках різниця між середньою висотою стебла проростків п'ятого варіанту і висотою стебла неопроміненних рослин становить 6,71%. Комбіновано опромінене лазерами двох спектрів насіння шостого варіанту на 63 день мало середню висоту стебла у розмірі 5,75 см. Порівнюючи дані шостого варіанту з контролем видно що висота стебла у проростків опроміненого варіанту є більшою на 13,63%. Середня висота стебла проростків сьомого варіанту, який був опромінений синім лазером протягом 10 секунд, дорівнювала 5,65 см. Варто зауважити, що середній показник висоти стебла сьомого варіанту вперше став вищим за показник контрольного варіанту, який тоді становив 5,06 см. Якщо перевести ці дані у відсотки то отримаємо, що показник росту сьомого

варіанту став вищим за показник першого варіанту, різниця складає аж 11,66%. Середній показник висоти стебла рослин у восьмому варіанті є вищим за середній показник висоти контрольного варіанту. Цей показник складає 5,35 см. Цей результат є кращим за середній показник контрольного варіанту на 5,73%. На 63 день, середній показник висоти стебла у дев'ятому варіанті становив 5,62 см. Середній показник контролю складає 5,06 см. Якщо перерахувати ці дані у відсотки, то вийде що показник висоти стебла дев'ятого варіанту є більшим за такий самий показник контрольного варіанту на 11,06%. Необхідно зазначити, що станом на останній день замірів, всі опромінені варіанти досліду мали вищий показник середньої висоти стебла проростків. Дев'ятий варіант втратив лідерство серед опромінених варіантів, найвищий середній показник мав другий варіант.

Таблиця 3.8 Вплив опромінення насіння на висоту стебла *Capsicum annuum L. cv Lumina*.

Номер варіанту	63 день			
	M±m	D	D ^D	% до контролю
1	5.06± 0.24	-	-	100,00
2	6.05± 0.07	0.99	0.93	119,56
3	5.30± 0.16	0.24	0.57	104,74
4	5.75±0.13	0.68	0.65	113,63
5	5.40± 0.28	0.33	0.93	106,71
6	5.75± 0.12	0.68	0.58	113,63
7	5.65± 0.16	0,41	0.73	111,66
8	5.35±0.49	0.28	0.93	105,73
9	5.62±0.18	0.55	0.60	111,06

Примітка: M — середні значення; m — помилка репрезентативності; D — різниця між середніми значеннями; D^D — мінімальна значуща різниця (допуск Даннета).

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні загальні висновки:

1. Вплив передпосівного лазерного опромінення в більшості варіантів негативно впливає на схожість та виживання насіння, але дозволяє покращити ростові показники солодкого перцю.
2. Лазерне опромінення хоч і покращує розвиток рослин, але воно не захищає повністю від зовнішніх факторів впливу таких як: вологість, температура, освітленість.
3. За усіма визначеними показниками кращим виявилось комбіноване опромінення. Воно позитивно вплинуло як на схожість, виживання, так і на ростові параметри перцю. Довжина кореня при комбінованому опроміненні майже у два рази більше за контроль, різниця в даних залежить від способу обробки насіння. Такий же вплив воно мало і на висоту стебла.
4. Варто пам'ятати, що проростання насіння залежить не тільки від опромінення але й від умов навколишнього середовища, а саме температури, освітленості та якості насіння

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антоненко О. Ф. Вплив строків сівби та мікродобрих на розвиток рослин ріпаку озимого в умовах правобережного лісостепу України / О. Ф. Антоненко, Савчук Ю. М. // Вісник ЖНАЕУ. – 2016. – № 1 (53). – Т. 1. – С. 87.
2. В. С. Коваленко. 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
3. Grigoreva O. Sposobyi podgotovki semyan k posevu / O. Grigoreva // LesProm . – 2014. – #6 (104). – S. 176-177.
4. В. В. Савченко, О. Ю. Синявський, І. М. Болбот. Вплив магнітного поля на посівні якості насіння льону. Енергетика і автоматика, №3, 2021 р.
5. Семенов А. О., Кожушко Г. М., Сахно Т. В., Ефективність проростання насіння ріпаку при передпосівному опроміненні його уф-випроміненням різного спектрального складу. 2018. УДК 635.21 DOI 10.31210/visnyk2018.03.04
6. Савченко В. В. , Синявський О. Ю. Вплив магнітного поля на дифузію молекул кисню через клітинну мембрану. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Технічні науки. Вип. 153 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". 2014. С. 74-75
7. Kramaryov S. M. Perspektivy kompleksnogo primeneniya guminovyih preparatov, mikroelementov v helatnoy forme i preparata Mars dlya predposevnoy inkrustatsii / S. M. Kramaryov // Radostim 2007. Guminovyye kisloty i fitogormony v rastenievodstve (Kiev, Ukraina, 12–16 iyunya 2007). Sbornik materialov Mezhdunarodnoy konferentsii, v ramkah vyistavki Agro 2007. – K., 2007. – S. 31–32.

8. Кукса Ю. А. Залежність урожайності ріпаку ярого від норм висіву, строків і способів сівби в умовах Північного Степу / Ю. А. Кукса, І. Б. Комарова // Вісник аграрної науки. – 2017. – № 8. – С. 32–36.
9. Лавриненко Ю. О. Вплив структурних показників на урожайність насіння ріпаку озимого залежно від строків сівби та норм висіву в Південному Степу України / Ю. О. Лавриненко, А. М. Влащук, Л. В. Шапарь. // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2016. – № 5. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2016_5_16.
10. Таран Н. Інтенсивність ростових процесів проростків озимої пшениці (*triticumaestivum*) різної селекції за умов високого осмотичного тиску. УДК 581.543:633.112
11. Петриченко В. Ф. Вплив агрокліматичних факторів на продуктивність сої. Вісник аграрної науки. 2006. №2. С. 19–23.
12. Петровський О. М. Технологія передпосівної стимуляції насіння високочастотним електромагнітним полем / О. М. Петровський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 6/5. – С. 45–50.
13. Приседський Ю. Г., Гутянська С. С. Вплив лазерного опромінення насіння на ростові процеси та вміст пігментів у проростках олійних культур. Наукові доповіді НУБіП України. 2017. № 1. С. 65. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/8108/>
14. Ю. Г. Приседський, Л. В. Ніщенко Вплив лазерного опромінення насіння на ростові показники та вміст хлорофілів у робінії звичайної за умов забруднення ґрунту сполуками сірки та фтору. Наукові доповіді НУБіП України. 2017. № 2. С. 65. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/8452/7918>.
15. Приседський, Ю. Г. Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів. Навчальний посібник. Донецьк: ДонНУ, 2005. С. 75.

- 16.Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк, 1999. С. 23–69.
- 17.А.О. Семенов, І.В. Короткова, Т.В. Сахно, М.М. Маренич. Використання агрономічного потенціалу уф-с випромінювання для підвищення передпосівних якостей насіння моркви Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2019. – Вип. 1 DOI: 10.31521/2313-092X/2019-1(101).
- 18.Savchenko V. V. Vodopogloschenie semyan zernovyih kultur pri predposevnoy obrabotke v magnitnom pole / V. V. Savchenko, A. Yu. Sinyavskiy // Innovatsii v selskom hozyaystve. – 2017. – Vyip.2. – S. 89 – 93. б.
- 19.Савченко В. В. Вплив магнітного поля на дифузію молекул кисню через клітинну мембрану / В. В. Савченко, О. Ю. Синявський // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2014. – № 2(2). – С. 31 – 32.
- 20.Семенов А. О. Аналіз ролі УФ-випромінювання на розвиток і продуктивність різних культур / А. О. Семенов, Т. В. Сахно, Г. М. Кожушко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2017. – № 2. – С. 3–16
- 21.Семенов А. О., Сахно Т. В., Кожушко Г. М. Аналіз ролі УФ-випромінювання на розвиток і продуктивність різних культур. Світлотехніка та електроенергетика. 2017. № 2. С. 3–16. б.
- 22.Скварко К. О., Скибіцька М. І., Баран Є. І. Відтворюваність та коефіцієнт поляризації у рідкісних і зникаючих рослин заповідника «Лиса гора» // Укр. фітоценолог. збірник. Фітосоціологія. 1999. Вип. 1–2. С. 38–41.
- 23.Скварко К., Скрипа І. Вплив гелій-неонового лазерного випромінювання, УФ-С- і червоного світла на схожість та проростання насіння *Rhododendron Kotschyi Simonk* // Вісн. Львів. ун-ту. 2004. Вип. 36. С. 224–228.
- 24.Усенко С. М. Розрядні процеси в зерновій масі під дією сильного електричного поля імпульсного струму / С. М. Усенко, О. В. Науменко // Енергетика і автоматика. – 2017. – №2. – С. 108–115.

25. Abou-Dahab, Abou-Dahab & Mohammed, Tarek & Heikal, Amaal & Taha, Lobna & Gabr, Ahmed & Metwally, Sami & Ali, Awatef. In vitro laser radiation induces mutation and growth in *Eustoma grandiflorum* plant. *Bulletin of the National Research Centre*. 2019. P. 2–13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-018-0036-z>.
26. Ballaré C. L. Et al/ Effects of solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. Patterns, mechanisms, and interactions with climate change. *Photochem. Photobiol. Sci.* 2011. 10. P.226–241.
27. Beresin OV. Efektyvne funktsionuvannia silskohospodarskoho vyrobnytstva [Effective function of the agricultural production.] *Economics APK*. 2010 Jan; 2:26-31. (Ukrainian).
28. Bertolotti M. The history of the laser. Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia. PA 19106: USA. 2005. P. 315
29. Cruz-Orea A, Podlesna A, ženia i Gleboznawstw I U N, Tsonchev R I, Carballo A C. Laser biostimulation in seeds and plants. *Gayana Bot* 2016; 73: 1
30. 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>.
31. Derkacz A. Laser therapy application in invasive cardiology. Current state and future trends, 2004. – 82 c.
32. De Souza A. Improvement of the seed germination, growth and yield of onion plants by extremely low frequencynon-uniform magnetic fields / A. De Souza, D. Garcia, L. Sueiro, F. Gilart // *Scientia Horticulturae*. – 2014. –V. 176. – P. 63–69.
33. Govindaraj M., Masilamani P., Alex Albert V., M. Bhaskaran Effect of physical seed treatment on yield and quality of crops: A review. *Agricultural Reviews*. 2017. 38 (1). P. 1–14.

34. Grigoryuk, I. P. Effect of soil herbicides on the antioxidant system of maize vegetative organs during ontogenesis/ I. P. Grigoryuk, U. V. Lykholat, G. S. Rossykhina-Galycha, N. O. Khromykh, O. I. Serga // *Annals of Agrarian Science*. – J 2016. – Vol. 14, Issue 2. – P. 95-98
35. Hernández M. and Michtchenko A. (2011). Stimulation of three Biological Systems Using Low Level Laser Radiation. *RISCE Revista Internacional de Sistemas Computacionales y Electrónicos*, 83(3): 30-33
36. Hwida M. Fathy; Metwally S.A.; Lobna S. Taha. (2012). In vitro growth behavior and leaf anatomical structure of *Balanites aegyptiaca* and *Cotoneaster horizontalis* affected by different types of laser radiation. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(4): 2386-2396. Khromykh, N. O. Physiological and biochemical reactions of *Hordeum vulgare* seedlings to the action of silver nanoparticles / N. O. Khromykh; L. V. Shupranova, Y. V. Lykholat et al. // *Visnyk of Dnipropetrovsk University-Biology Ecology*. – 2015. – Vol. 23, Issue 2. – P. 100-104.
37. Kozyrskiy V., Savchenko V., Sinyavsky O. Presowing Processing of Seeds in Magnetic Field // *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development*. – IGI Global, 2018. – P. 576 – 620.
38. Lykholat, Y. Metabolic responses of steppe forest trees to altitudinal associated local environmental changes / Y. Lykholat, N. Khromykh, I. Ivan'ko, I. Kovalenko, L. Shupranova, M. Khary
39. Majeed A. Gamma irradiation effect on germination and general growth characteristics of plants—a review / Abdul Majeed, Zahir Muhammad, Rehman Ullah and Hazrat Ali // *Pak. J. Bot.* – 2018. – 50(6). – P. 2449–2453.
40. Peykarestan B., Seify M.R. UV Irradiation Effects on Seed Germination and Growth, Protein Content, Peroxidase and Protease Activity in Red Bean. *International Journal of Science and Engineering Investigations*. 2012. V.1. N. 3. P.107–113.

41. Prysedsnyi Yu., Kozlova M. Effect of laser irradiation of seeds on growth parameters of *Dracocephalum moldavica* L. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. 2021. P. 48-52. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-018-0036-z>
42. Rupiasih N. Nyoman. Effect of UV-C radiation and hypergravity on germination, growth and content chlorophyll of wheat seedlings / Rupiasih N. Nyoman. // *AIP Conference Proceedings* AIP Conference Proceeding. – 2016. – V. 1719 (1). – P. 030035–030035.6.
43. Stoeva N., Zlatev Z., Bineva Z. Physiological response of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to UV-radiation contamination II. Water-exchange, respiration and peroxidase activity. *J. Env. Prot. Eco*. 2001. 2. P.304–308.
44. Sugimoto K. Seed germination under UV-B irradiation *Bull. Minamikyushu Univ*. 2013. 43A. P. 1–9. 3.
45. Surjadinata B.B., Jacobo-Velázquez D.A., Cisneros-Zevallos L.. UVA, UVB and UVC Light Enhances the Biosynthesis of Phenolic Antioxidants in Fresh-Cut Carrot through a Synergistic Effect with Wounding. *Molecules*. 2017. 22. P. 668–681.
46. Susana de Sousa Araújo, Stefania Paparella, Daniele Dondi, Antonio Bentivoglio, Daniela Carbonera, and Alma Balestrazzi Advantages and Challenges in Seed Technology// *Front Plant Sci*. 2016; 7: 646.
47. Urban L. Understanding the physiological effects of UV-C light and exploiting its agronomic potential before and after harvest. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016. 105. P.1–11. 4.
48. Wenke L., Qichang Y. Effects of day-night supplemental UV-A on growth, photosynthetic pigments and antioxidant system of pea seedlings in glasshouse. *African Journal of Biotechnology*. 2012. V. 11(82). P. 14786–14791. Waring F., Phillips I. *Plant growth and differentiation*. M: Mir, 1984
49. Насіння сільськогосподарських культур. Визначення якості. ДСТУ 4138 – 2002 URL: https://www.agrodialog.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/dstu-4138_2002.pdf

50. Перець солодкий. URL: <https://zemliak.com/kultury/713-perec-solodkiy>
51. Береговий В.К. Екологічні проблеми використання земель у сільському господарстві України. УДК 630.1.009.12:636.5
52. Скварко К.О., Скрипа І.Д., Кальмук О.П. Проростання насіння лікарських рослин в умовах лазерної фотоактивації. УДК 539:575:635

