

Aktivacija potencijala klijavosti dalmatinskog buhača primjenom koherentnog zračenja

Kuzmić, David

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:493371>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**Aktivacija potencijala klijavosti dalmatinskog buhača
primjenom koherentnog zračenja**

DIPLOMSKI RAD

David Kuzmić

Zagreb, rujan, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika – Mehanizacija

**Aktivacija potencijala klijavosti dalmatinskog buhača
primjenom koherentnog zračenja**

DIPLOMSKI RAD

David Kuzmić

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Ante Galić

Zagreb, rujan, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **David Kuzmić**, JMBAG 0178117618, rođen 26.07.1999. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

Aktivacija potencijala klijavosti dalmatinskog buhača primjenom koherentnog zračenja

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **David** Kuzmića, JMBAG 0178117618, naslova

Aktivacija potencijala klijavosti dalmatinskog buhača primjenom koherentnog zračenja

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Izv. prof. sc. Ante Galić mentor

2. Prof. dr. sc. Stjepan Pliestić član

3. Izv. prof. dr. sc. Martina Grdiša član

Zahvala

Želim zahvaliti svim profesorima koji bili prisutni za vrijeme mog obrazovanja, posebno profesoru i mentoru prof. dr. sc. Anti Galiću, prof. dr. sc. Stjepanu Pliesticu, izv. prof. dr. sc. Ani Matin, Martini Krilčić te ostalim profesorima koji su mi pomogli u apsolutno svim segmentima. Također, želim se zahvaliti svim svojim kolegama i obitelji na podršci.

Sadržaj

1.	Uvod	1
1.1.	Cilj rada.....	2
2.	Pregled literature	3
2.1.	Dalmatinski buhač	3
2.1.1.	Morfološka svojstva	3
2.1.2.	Kemijski sastav	5
2.1.3.	Uzgojni uvjeti i tehnologija uzgoja	7
2.2.	Elektromagnetsko zračenje	9
2.3.	Laseri	10
2.3.1.	Vrste i svojstva laserskog zračenja.....	12
2.3.2.	Utjecaj laserskog zračenja na klijavost.....	16
3.	Materijali i metode.....	21
3.1.	Biljni materijal	21
3.2.	Uređaji i oprema.....	21
3.3.	Tretmani	22
3.4.	Naklijavanje	24
3.5.	Statistička obrada podataka	26
4.	Rezultati i rasprava	27
5.	Zaključak.....	31
6.	Popis literature	32
	Životopis	36

Sažetak

Diplomskog rada studenta **David** Kuzmića, naslova

Aktivacija potencijala klijavosti dalmatinskog buhača primjenom koherentnog zračenja

Cilj istraživanja je utvrditi utjecaj različitih laserskih tretmana na aktivaciju potencijala klijavosti sjemena dalmatinskog buhača. Prosječna vrijednost energije klijanja kontrolnog uzorka iznosila je 2,00 %. Nakon provedenih tretmana porast energije klijanja zabilježen je kod svih uzoraka tretiranih 100 mW i 500 mW laserom. Kod uzoraka tretiranih 200 mW laserom porast energije klijanja zabilježen je kod uzoraka tretiranih 60 i 120 s, dok kod uzoraka tretiranih 30 s nije zabilježena promjena energije klijanja u odnosu na kontrolni uzorak. Prosječna vrijednost standardne klijavosti kod kontrolnog uzorka iznosila je 6,00 %. Kao i kod energije klijanja, povećanje klijavosti zabilježeno je kod gotovo svih tretiranih uzoraka osim kod uzoraka koji su tretirani 500 mW laserom tijekom 60 sekundi gdje je došlo do smanjenja standardne klijavosti od 0,33 %. Uzevši u obzir izlazne snage lasera vidljivo je da je tretman od 120 s 100 i 500 mW laserom uzrokovao najveći porast energije klijanja u iznosu od 2,00 %, dok je najveći porast standardne klijavosti od 4,00 % zabilježen kod tretmana 100 mW laserom u trajanju od 120 s. Rezultati istraživanja pokazuju da je intenzitet zračenja po sjemenki relativno nizak što sugerira da učinak lasera na biljni materijal prvenstveno djeluje putem biostimulacije.

Ključne riječi: dalmatinski buhač, klijavost, laser, biostimulacija

Summary

Of the master's thesis – student **David Kuzmić**, entitled

Activation of the germination potential of Dalmatian pyrethrum by coherent radiation

The aim of the study is to determine the influence of different laser treatments on the activation of the germination potential of Dalmatian pyrethrum seeds. The average value of the germination energy of the control sample was 2.00 %. After the treatments, an increase in germination energy was observed in all samples treated with a 100 mW and a 500 mW laser. In the samples treated with a 200 mW laser, an increase in germination energy was observed in the samples treated for 60 and 120 s, while no change in germination energy was observed in the samples treated for 30 s compared to the control sample. The average value of standard germination for the control sample was 6.00 %. As with the germination energy, an increase in germination was observed in almost all treated samples, except for the samples treated for 60 s with a 500 mW laser, which showed a decrease in standard germination of 0.33 %. Considering the output power of the laser, it is observed that the treatment of 120 s with 100 and 500 mW lasers caused the highest increase in germination energy of 2.00 %, while the highest increase in standard germination of 4.00 % was recorded when treated with a 100 mW laser for a duration of 120 s. The research results show that the radiation intensity per seed is relatively low, indicating that the effect of the laser on the plant material is primarily through biostimulation.

Keywords: Dalmatian pyrethrum, germination, laser, biostimulation

1. Uvod

Dalmatinski buhač, lat. *Tanacetum cinerarifolium* (Trevis.) Sch. Bip. je višegodišnja zeljasta vrsta iz porodice glavočika (*Asteracea*), porijeklom sa sjeveroistočnog jadranskog priobalja. Unutar roda *Tanacetum* postoji oko 160 priznatih vrsta, od kojih u Republici Hrvatskoj rastu još i obični buhač (*T. vulgare*) te majčinski buhač (*T. parthenium*).

Prvi pisani trag o dalmatinskom buhaču potječe iz 19. stoljeća, oko 1820. godine, gdje se navodi da je njegov prirodni areal 90 % područja obale nekadašnje Kraljevine Dalmacije. Prvi sveobuhvatni dokumentirani popis staništa i tadašnjih populacija dalmatinskog buhača proveden je tek 1933. godine. Provela ga je eksperimentalna postaja u Splitu. Najsjeverniji je tadašnji nasad zabilježen na otoku Krku, preciznije Aleksandrovo, dok je najjužniji obala Crne Gore. Što se tiče intenzivnog uzgoja, današnji areal se proširio sjevernije i južnije od izvornog područja (Ozimec i sur., 2009.).

Stabljika buhača je razgranata i naraste do 60 cm visine dok je korijen dubok i jako razgranat – prodire do 20 cm dubine. Na stabljici se nalaze listovi koji su duguljasti, plavkastozeleni, perasti i dvostruko urezani. Što se tiče prizemnih listova, smješteni su na peteljka dok su gornji listovi sjedeći i oskudni.

Cvjetovi buhača su mnogobrojni, dvospolni i spojeni u pojedinačne cvjetne glavice na vrhovima stabljike. Latice, vanjski jezičasti cvatovi, su različitih boja dok su središnji cjevasti cvjetovi žute boje.

Plod buhača je roška u kojoj se nalazi jedna sjemenka.

Sjeme buhača je sitno, smeđe boje i najčešće se sije u proljeće. Optimalna temperatura za klijanje iznosi 15 – 20 °C.

Buhač se koristi kao prirodni pesticid jer sadrži veliku količinu piretrina koji je otrovan za mnogobrojne štetnike i brzo se razgrađuje. Do pojave sintetskih preparata koristio se za suzbijanje uši, buha, stjenica, muha i žohara. Uz to, ima svrhu koristiti se i u vrtu po potrebi tako što se suši i melje u prah ili se sušeni/svježi cvjetovi preliju kipućom vodom, ostave nekoliko sati i nakon toga filtrira tekućina.

Sjeme dalmatinskog buhača često karakterizira niska klijavosti, što direktno utječe na njegovu dostupnost i ekonomsku isplativost. U provedenim istraživanjima analizira se mogućnost primjene lasera kao neinvazivne metode s ciljem aktivacije potencijala klijavosti sjemena dalmatinskog buhača. Klijavost je ključna faza u životnom ciklusu biljaka i ima veliki utjecaj na njihov rast i razvoj. Sjeme koje ima dobru klijavost efikasnije koristi dostupne resurse, kao što su voda, hranjive materije i svjetlost, što rezultira zdravim i jakim biljkama. Sjeme s visokom klijavošću brzo klija i prelazi u fazu rasta što omogućava biljci da brže započne fotosintezu i razvoj korijenova sustava.

Laseri djeluju kao biostimulatori, prenoseći biljnim stanicama dodatnu energiju putem koherentnog zračenja što rezultira poboljšanjem energije klijanja i standardne klijavosti sjemena različitih biljnih vrsta. S obzirom na složenost interakcije između laserskog zračenja i biljnog materijala, ključno je istražiti usklađenost između izlazne snage lasera, trajanja tretmana i biološkog učinka. Iako su pozitivni učinci laserskog zračenja na klijavost opsežno

analizirani i dokazani, pravilna primjena ovih tehnologija je od iznimne važnosti za postizanje optimalnih rezultata.

1.1. Cilj rada

U svrhu prekida dormantnosti i poticanja klijanja danas se koriste različite metode pri čemu njihov uspjeh uvelike varira. Stoga je cilj ovoga istraživanja bio utvrditi utjecaj različitih laserskih tretmana na aktivaciju potencijala klijavosti sjemena dalmatinskog buhača.

2. Pregled literature

2.1. Dalmatinski buhač

U Europi je poznato 17 vrsta iz roda vratića, rod *Tanacetum*, ali je od svih najvažniji dalmatinski buhač jer u sjemenu jedini sadrži prirodni insekticid piretrin koji je neperzistentan u tlu i neškodljiv sisavcima. To je i razlog što se ova vrijedna biljna vrsta raširila po cijelom svijetu radi proizvodnje ekstrakta buhača. Dalmatinski buhač je endemična vrsta istočne jadranske obale. Pripada autohtonim biljnim vrstama Republike Hrvatske te spada u porodicu glavočika. Obitava u južnim dijelovima RH, odakle i potječe naziv dalmatinski buhač. Pored Dalmacije, buhač je autohtona i stara kultura koja raste samonikla i na području Hercegovine gdje se uzgajao i na oranicama i desetljećima je bio izvozna kultura ovih područja (Kolak i sur., 1999.).

Za vrijeme vegetativne faze rasta, od biljke se koristi zelena masa kao hrana za stoku i u narodnoj medicini, dok se u generativnoj fazi koristi njen cvijet kao sirovina za izradu botaničkog insekticida.

Tablica 2.1. Sistematska klasifikacija dalmatinskog buhača.

Carstvo	<i>Plantae</i>
Koljeno	<i>Magnoliophyta</i>
Razred	<i>Magnoliopsida</i>
Red	<i>Asterales</i>
Porodica	<i>Asteracea</i>
Rod	<i>Tanacetum</i>
Vrsta	<i>Tanacetum cinerarifolium (Trvis.) Sch. Bip.</i>

Izvor: <https://hr.wikipedia.org>

2.1.1. Morfološka svojstva

Dalmatinski buhač (slika 2.1.) je višegodišnja zeljasta biljka koja raste u obliku polugrma. Izgledom nalikuje ivančici, ali ima nešto veći cvijet bijele boje sa žutim središtem. Raste na visinu 30 – 60 cm i ima uspravnu stabljiku prekrivenu sitnim dlačicama. Lišće je plavkasto-zeleno, perasto razdijeljeno i prekriveno dlačicama. Dugo je 45 – 100 cm (Kolak i Rozić, 1997.). Stabljika je brazdasta prekrivena sivozelenim dlačicama. Zbog teškog cvijeta visoke biljke lako poliježu što uvjetuje gubitke u berbi cvjetova pa se stoga pri proizvodnji preferiraju oni genotipovi koji ne poliježu i koji tek malo naliježu (Kolak i Rozić, 1998.).

Iz korjenova vrata debljine 0,8 – 1,0 – 1,5 cm izbija 15 do 20 dugačkih cilindričnih smeđih korjenova (slika 2.2.) koji prodiru u tlo do dubine između 30 i 35 cm. Rast buhača u visinu započinje odmah po nicanju pa se na jednoj biljci može razviti 300 – 400 sekundarnih stabljika. Pri površini tla formira se skupina perasto rasperjanih listova koji su smješteni na prvoj trećini stabljike, tako da formira zeleni do tamnozeleni polugrm. Broj listova i intenzitet boje ovisi o genotipu, tipu tla, agrotehnici i sl.

Cvjetovi su smješteni na cvjetnim stabljikama ili granama stabljike koje su prekrivene sivkastim do zelenosivkastim dlačicama. U pojedinačnim cvjetovima jezičasti (neplodni) cvjetovi su bijeli i smješteni su u 1 do 2 reda na rubovima ili krajevima cvijeta. U unutrašnjosti cvijeta nalaze se žuti cjevasti (trubasti) cvjetovi. Ovi plodni cvjetovi sastavljeni su od 5 čašičnih i 5 kruničnih listića, 5 kratkih prikriivenih prašnika i ploda (Skender, 1999.). Promjer takvog potpuno otvorenog cvijeta iznosi 2 do 5 cm, a promjer dijela žutih plodnih cvjetova je 1 do 2 cm. Od 4 – 5 kg zelenih dobije se 1 kg suhih cvjetova (Kolak, 1997.).

Jedna biljka starosti 1 do 2 godine može formirati 200 do 400 cvjetova na glavnoj i sekundarnim stabljikama i granama. Biljke stare 3 do 6 godina mogu razviti 800 do 900 cvjetova. Buhač započinje cvasti u svibnju, a završetak cvatnje je koncem lipnja (Kolak, 1999.).

Šilješ i sur. (1999.) navode da je plod buhača zrela peteroivična ahenija sivožute boje s rebrastim sitnim sjemenom mase 1000 sjemenki 0,8 – 1,1 g. Klijavost sjemena je oko 80 – 90 % u prvoj godini proizvodnje, a energija klijavosti već sljedeće godine pada na 50 – 60 %. Sjeme staro 3 do 5 godina ima klijavost 0 – 10 %. Zrelo sjeme lako se osipa iz suhe glavice cvijeta obavljajući samozasijavanje. Urod sjemena varira od 50 do 150 kg/ha (Kolak, 1998.).



Slika 2.1. Dalmatinski buhač.

Izvor: <https://gospodarski.hr>



Slika 2.2. Dalmatinski buhač – dijelovi biljke.

Izvor: <https://hr.wikipedia.org>

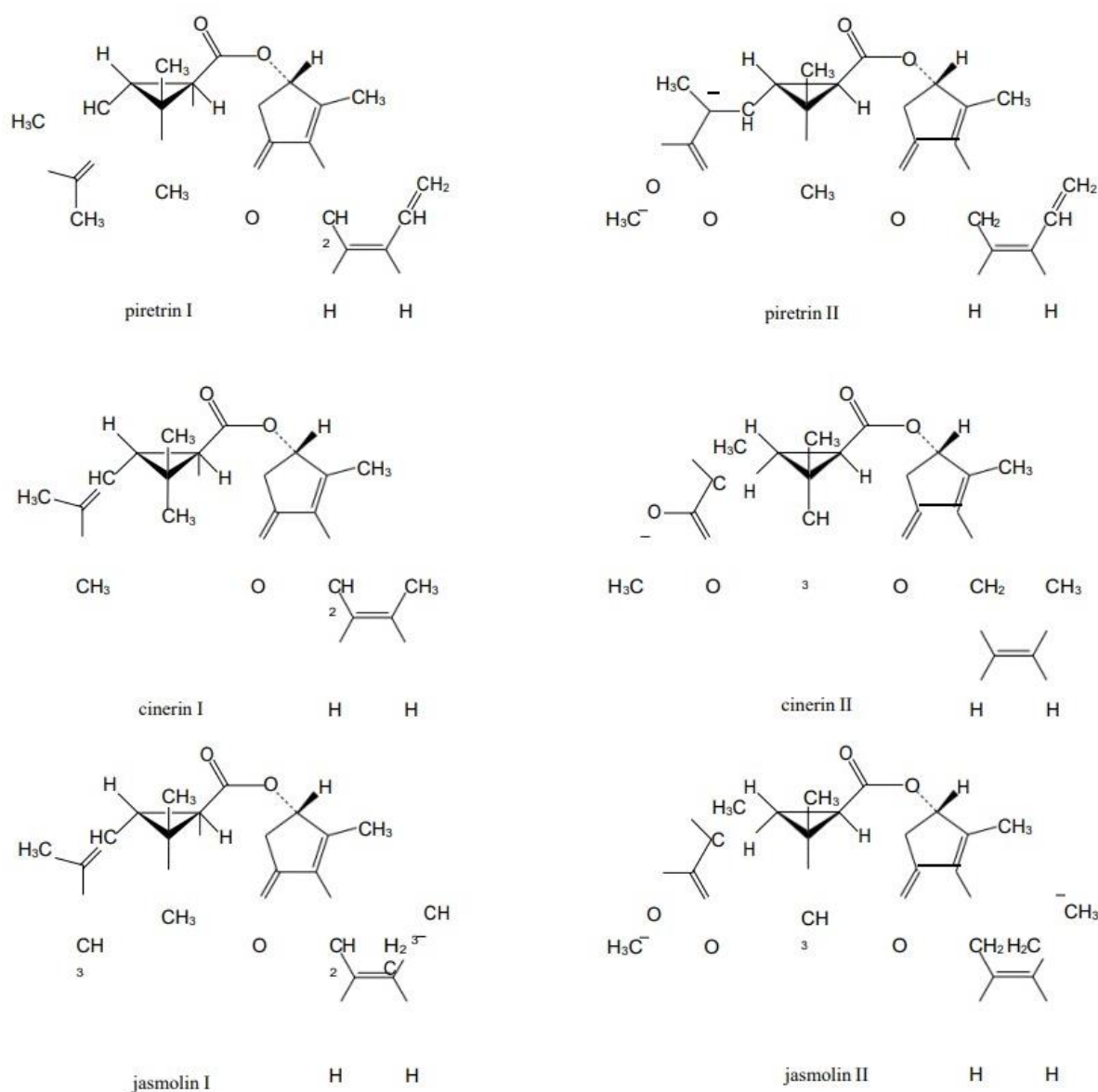
2.1.2. Kemijski sastav

Biljke dalmatinskog buhača proizvode prirodni insekticid piretrin, najvažniji insekticid biljnog podrijetla. Piretrin je skupni naziv šest aktivnih komponenti: piretrin I i II, cinerin I i II, te jasmolin I i II (slika 2.3.).

Piretrin I, cinerin I i jasmolin I esteri su krizantemske kiseline i jednog od tri alkohola (piretrolon, cinerolon i jasmolon), dok su piretrini II esteri piretrinske kiseline i jednog od tri spomenuta alkohola (Crombie 1995; Essig i Zhao 2001). Piretrin se sintetizira u uljnim žlijezdama smještenim na vanjskoj površini roške (93,7 %), a manje količine se nalaze u cjevastim cvjetovima (2 %), jezičastim cvjetovima (1,7 %) i čaški cvijeta (2,6 %) (Gradišćak, 2023.).

Sadržaj piretrina u biljkama ovisi o genotipu, morfološkim karakteristikama, klimatskim uvjetima rasta/uzgoja biljaka, vremenu berbe, metodi ekstrakcije piretrina, načinu i uvjetima sušenja i skladištenja (Bhat i Menary, 1986.; Bhat, 1995.; Moslemi, 2017.). Piretrin I djeluje smrtonosno nakon nekoliko sati, dok piretrin II uzrokuje trenutnu paralizu kukaca. Iako brzo djeluje, piretrin II se također brzo razgrađuje, što može omogućiti oporavak kukca u nekoliko sati. Kombinacija oba piretrina s drugim sastojcima osigurava brz prodor u organizam kukca, djelujući na središnji i periferni živčani sustav uzrokujući blokadu živčanih stanica, paralizu i smrt. Insekticidna svojstva dalmatinskog buhača otkrivena su 1920. godine. Prirodni piretrini učinkovito suzbijaju kukce, a nisu toksični za toplokrvne organizme. Također, piretrini su ekološki prihvatljivi jer se brzo razgrađuju na zraku i svjetlu te se brzo metaboliziraju (Kolac i sur., 1999.).

Piretrini se nalaze u nadzemnim dijelovima biljke, pri čemu su u listovima prisutni samo u tragovima. Suha stabljika, ovisno o genotipu, sadrži od 0,1 do 1,15 % piretrina. Najveća koncentracija piretrina nalazi se u cvjetnim glavicama, s udjelom u domaćim samoniklim biljkama koji se kreće od 0,3 do 1,3 %, uz prosječnu vrijednost od 0,86 % (Grdiša i sur., 2013.). U jezičastim listićima ima 0,2 – 0,4 % piretrina, dok plodnica sa sjemenom sadrži od 2,2 do 4,5 %. U novim kultivarima s većim udjelom piretrina, u sjemenu ga može biti do 4,8 % (Kolak i Rozić, 1998.). Zbog toga se u industriji pesticida najčešće koriste sjeme i cvijet buhača za proizvodnju praha, otopina i aerosola. Ekstrakt buhača treba sadržavati između 45,0 % i 55,0 % piretrina I i II. Omjer piretrina I i II u ekstraktu mora biti između 0,8 % i 2,8 % (Kolak i Rozić, 1998.).



Slika 2.3. Strukturne formule piretrina I, piretrina II, cinerina I, cinerina II, jasmolina I i jasmolina II.

Izvor: Gradišćak, 2023.

2.1.3. Uzgojni uvjeti i tehnologija uzgoja

Idealni uvjeti za uzgoj prevladavaju na krškom području s vrlo visokom insolacijom s minimalno 2500 sunčanih sati. Obitava na nadmorskim visinama 100 – 400 m s mnogo dugih i sunčanih dana. Optimalna količina oborina iznosi 600 – 1000 l/god. Biljka je vrlo sklona gljivičnim oboljenjima u kišnijim krajevima, a osobito su nepoželjne obilnije kiše i vlaga u svibnju, odnosno u vremenu cvjetanja dalmatinskog buhača.

Buhač se ne može uzgajati u združenoj sjetvi s ostalim biljnim vrstama jer ne podnosi sjenu. Uzgoj u sjeni za posljedicu ima manji broj sitnijih cvjetova po biljci, manji urod cvijeta po hektaru (ha) i nižu proizvodnju piretrina po hektaru.

Podesna tla za uzgoj buhača su ona dobro drenirana i skromne plodnosti kakva je većina naših krških tala. Na plodnim i bogatim tlima hranjivima ova višegodišnja biljka skraćuje dužinu života sa 6 do 12 na 1 do 3 godine, napose u vlažnom klimatu (Kolak i sur., 1999.).

Što se tiče pH vrijednosti, najbolje uspijeva na intervalu 6,5 – 8,5. Preferira siromašna kalcificirana pjeskovita tla. Lagana pjeskovita i kamenita tla osrednje plodnosti dobra su za uzgoj ove vrijedne kulture. Dobar uspjeh u uzgoju buhača može biti i na terasama, ispranim i erodiranim tlima te ugarima. Na istoj površini buhač se može uzgajati 8 –10 ili najviše 12 godina, ali je najveća produkcija cvijeta nakon 3 – 4 godine kultivacije (Kolak i sur., 1997.).

Kolak i sur., (1999.). navode da se buhač može razmnožavati i mikropropagacijom, ali i vegetativnim oblikom razmnožavanja, odnosno dijeljenjem starijeg busa na 5 – 7 – 10 sadnica. Ovdje svaka sadnica ima svoj dio korijena, lista i stabljike. Obično se za ovu namjenu koriste starije biljke (10 –12 godina) koje su završile eksploataciju na polju i koje su dobro razvijene.

Kada se usjev podiže iz sjemena, sjetva specijalnom sijačicom obavlja se rano u proljeće (ožujak). Optimalna temperatura klijanja iznosi 18 – 21 °C. Razmak između redova je 50 cm, a između biljaka u redu 20 – 25 cm, dok je dubina sjetve 1 cm. Klijanje je sporo i neravnomjerno (20 – 50 dana). U plantažnom uzgoju buhača, ovo je danas prevladavajući način podizanja usjeva diljem svijeta. Potrebno je 1 – 1,2 kg sjemena po hektaru. Sklop biljaka se regulira nakon nicanja i ovisi o vegetacijskom prostoru kultivara (genotipa), tipu i plodnosti tla, gnojdbi i drugim faktorima.

Sadnice za sadnju mogu se proizvesti u toplim kljalištima ili hladnim lijevama. Sjetva sjemena (slika 2.4.) za proizvodnju sadnica obavlja se u veljači ili ožujku, a presađnice se presađuju na polje u travnju (ili početkom svibnja), ručno ili sadilicama. Visina presađnice treba biti iznad 8 cm. Za površinu od 1 m² kljališta potrebno je 5 g sjemena, čime se dobije 200 – 300 presađnica. Za površinu od 1 hektara potrebno je osigurati površinu od 200 – 300 m² kljališta, čime se dobije 80.000 – 100.000 kvalitetnih presađnica po hektaru. Proizvodnja sadnica može se osigurati i u hladnim lijevama, ali se tada presađivanje obavlja ujesen. Bez obzira na to kada se presađnice prenose na polje (proljeće ili jesen), nužno je zalijevanje svake presađnice kako bi se što bolje primile i formirale zadani sklop. Presađnice mogu skratiti vegetaciju u godini sadnje za 2,5 – 3 mjeseca. Razmak između biljaka u redu i između redova kod upotrebe presađnica isti je kao i kod izravne sjetve sjemena.

U odnosu na temperaturu klijanja, temperatura uzgoja ima nešto veći interval, od 15 do 25 °C. Tolerira ekstremne temperature u rasponu od -12 °C do +40 °C, ali najbolje raste u područjima s toplim ljetima i blagim zimama.



Slika 2.4. Sjeme buhača.

Izvor: www.psicolestudi.com

Glavni proizvod buhača su cvjetne glavice koje nejednoliko dozrijevaju, što uvelike otežava berbu. Nekada se berba obavljala ručno, uz pomoć češljeva ili stacionarnih kidača cvjetova, što je zahtijevalo puno radne snage i smanjivalo ekonomičnost uzgoja.

Najviše piretrina u cvijetu nalazi se kada su otvorena 2 do 3 kruga žutih cjevastih cvjetova ili kada su jezičasti cvjetovi horizontalno položeni. U ovoj fazi, kada je 3/4 cvjetova otvoreno, razdoblje je kratko i traje samo 2 – 3 dana, pa berbu treba brzo obaviti. Cvjetovi se beru već u prvoj godini vegetacije, ali je berba najbolja u narednim godinama kada biljka stvara više cvjetova. Praktično, berba započinje kada se cjevasti cvjetovi počnu otvarati, a završava kada jezičasti cvjetovi uvenu, čime se berba može produžiti na 6 – 10 dana.

Nekada se cijela biljka kosila, a cvjetovi su se odvajali pomoću češljeva ili kidača. Najbolje je svježije cvjetove odmah osušiti u sušnici pri temperaturi radnog medija od 50 – 60 °C kako bi se spriječila razgradnja piretrina. Sušenje na suncu nije preporučljivo jer smanjuje količinu piretrina, dok sušenje u hladu daje bolje rezultate.

U suvremenom uzgoju buhača za ubiranje se koriste specijalni berači (kombajni) prilagođeni berbi cvjetova. Stroj ubire cvijet i dio peteljke, a masa se suši zrakom temperature 50 – 60 °C. Nakon sušenja obavlja se vršidba cvjetnih glavica i čišćenje od stabljike, lista i dijelova cvijeta. Dobiveno čisto sjeme može imati 20 – 50 % više aktivnih tvari nego osušena masa cvijeta i peteljke koja nije prošla vršidbu.

U prvoj godini vegetacije urod iznosi 100 – 200 kg/ha osušene mase buhača, dok u punoj eksploataciji može doseći 700 – 1400 kg/ha. Nakon dorade, osušena masa buhača se čuva u odgovarajućoj ambalaži kako bi se spriječila fermentacija ili vlaženje. Gubici zbog oksidacijskih procesa mogu se smanjiti dodavanjem antioksidansa za očuvanje cvjetnih glavica i sjemena buhača (Kolak i sur., 1999.).

2.2. Elektromagnetsko zračenje

Elektromagnetsko zračenje obuhvaća širok spektar elektromagnetskih valova. Valovi se šire kroz prostor i nose energiju. Elektromagnetski val sastoji se od 2 dijela i to magnetskog polja opisanog magnetskim tokom (indukcijom) \vec{B} i promjenjivog električnog polja \vec{E} . Polja su, po smjeru, uvijek međusobno okomita. Periodički se mijenjaju, titrajući u fazi. Titranje električnog i magnetskog polja omogućuje prijenos energije elektromagnetskim valom. Elektromagnetski val u vakuumu se širi brzinom svjetlosti koja iznosi 3×10^8 m/s.

Ima mnoge primjene u različitim industrijama, znanstvenim disciplinama, astronomiji, medicini, telekomunikaciji i dr. Uz to važno je napomenuti da ima različite razine energije i može imati različit učinak na žive organizme i materijale.

Razlikuje se po valnoj duljini i frekvenciji, što je rezultat različitih vrsta zračenja, a uključuje:

- 1) Gama zračenje: ima najkraću valnu duljinu i najvišu frekvenciju među elektromagnetskim valovima. Nuklearnog je porijekla, a nastaje kod promjena stanja atomske jezgre. Raspon valne duljine je $10^{-13} - 10^{-16}$ m. Obzirom na svoju snagu, u interakciji sa živim organizmima uzrokuje teška oštećenja tkiva. Što se tiče primjene u tehnici i medicini, primjenjuje se uz nužne mjere opreza kao i rendgensko zračenje.
- 2) Ultraljubičasto (UV) zračenje: UV zračenje obuhvaća valne duljine u rasponu od 780 nm do 600 pm. Zrače ih atomi i molekule. Obzirom da izaziva disocijaciju i ionizaciju molekula, upotrebljava se u kemiji, medicini i tehnici. Kao i druga zračenja može štetno utjecati na žive organizme.
- 3) X-zračenje: obuhvaća valne duljine u rasponu od 1 nm do 6 pm. Zrake dolaze direktno iz atoma, a prenose još veću energiju od UV zračenja. Glavno su oruđe kod istraživanja kristalne strukture tvari. Upotrebljavaju se u medicinskoj dijagnostici zbog svojstva da prodiru u različita tkiva. Obzirom da zbog svoje snage mogu oštetiti dijelove tkiva, osobe koje rukuju takvim zračenjem moraju se strogo pridržavati pravila zaštite od zračenja.
- 4) Vidljiva svjetlost: obuhvaća uski raspon valnih duljina, od 380 nm do 780 nm. Ova vrsta elektromagnetskog zračenja je zračenje koje čovjek može vidjeti. Obzirom da postoji niz valnih duljina, manifestiraju se u različitim bojama – od crvene (duže) do ljubičaste (kraće).
- 5) Mikrovalovi: valne duljine su u rasponu od 0,3 m do 0,1 mm. Proizvode ih elektronski uređaji, a koriste se u tehnici i komunikacijskim sustavima. Frekvencije valova slične su frekvencijama kojima titraju atomi i molekule u tvarima. Upotrebljavaju se pri proučavanju atomske i molekulske strukture tvari te za mjerenje svojstava tvari.
- 6) Infracrveno zračenje (IR): elektromagnetski valovi valne duljine od 1 mm do 780 nm. Emitiraju ih molekule plina i užarena tijela. Ova vrsta zračenja ima višestruku primjenu u raznim segmentima poput industrije, tehnike, astronomije, medicine,

komunikacija, daljinskog upravljanja i termografije. Uz to, primjenjuje se i u granama fizike i kemije u svrhu istraživanja molekulske strukture.

- 7) Radio valovi: elektromagnetski valovi s najdužim valnim duljinama i najnižim frekvencijama. To je dio spektra s valnim duljinama od nekoliko kilometara do 0,3 m. Njima se služe televizijski i radijski odašiljači, a izvori su elektronski uređaji, titrajni krugovi.

2.3. Laseri

Laser (slika 2.5.) (*engl. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) je uređaj koji generira usmjereni snop svjetlosti (laserski snop) putem procesa stimulirane emisije zračenja. Laserski snopovi su koherentni i usmjereni što znači da imaju jedinstvene karakteristike po kojima se razlikuju od obične svjetlosti.

Rudež i sur. (2006.) navode da je Nikola Tesla, 1893. godine, konstruirao uređaj od rubina pomoću kojeg je uspio proizvesti tanku svjetlosnu zraku. Taj uređaj je funkcionirao na načelu današnjeg lasera i pretpostavlja se da je pomoću njega dobiven prvi laserski snop svjetlosti.

1917. godine Albert Einstein predvidio je induciranu stimuliranu emisiju.

1958. godine A. L. Schawlow, C. H. Townes i A. M. Prohlov teorijski su obradili takav način emisije u vidljivom području elektromagnetskog zračenja.

1960. godine Theodore Harold Maiman konstruirao je prvi laser kojemu je aktivna tvar bila kristal rubina stimuliran bijelom svjetlošću. Pomoću bljeskalice je obasjavao crveni kristal čije su plohe bile posrebrene. Izazvao je lasersku emisiju u crvenom djelu spektra na 694 nm.

1961. godine konstruiran je prvi plinski laser sa smjesom helija i neona.

1962. godine konstruiran je prvi poluvodički laser.

1963. godine konstruiran je prvi tekućinski laser.

Razvoj lasera se nastavio i dalje te je, nakon višegodišnjeg truda, proizvedena intenzivnija zraka svjetlosti koja ima uski napon i točno određenu valnu duljinu. Kako je s vremenom laserska tehnologija jako uznapredovala, primjena lasera je dobivala sve više na značenju u različitim područjima znanosti i tehnologije. Koliko je laser važan govori činjenica da je dodijeljeno 14 Nobelovih nagrada za znanstvena otkrića koja su povezana s laserom.

Laseri imaju nekoliko ključnih svojstva:

1) Koherentnost:

- Svjetlosni valovi u laserskom snopu su koherentni. Koherentno zračenje je vrsta elektromagnetskog zračenja u kojoj su valovi usklađeni u fazi i frekvenciji. To znači da svi valovi imaju stalnu faznu razliku i istu frekvenciju, što omogućava stvaranje stabilnog i predvidljivog uzorka interferencije. Koherentnost može biti prostorna i vremenska. Prostorna koherentnost odnosi se na usklađenost valova na različitim točkama u prostoru. Zračenje je prostorno koherentno ako valovi koji dolaze iz različitih točaka izvora imaju konstantnu faznu razliku. Ova karakteristika je važna za formiranje oštih i jasnih slika, kao što je slučaj kod lasera. Vremenska koherentnost se odnosi na usklađenost valova u vremenskoj domeni. To znači da valovi zadržavaju konstantnu faznu razliku tijekom vremena. Vremenska koherentnost je povezana s uskom spektralnom širinom zračenja; što je uži spektar, to je zračenje vremenski koherentnije. Koherentnost je direktno povezana s pojmom interferencije gdje se dva ili više valova superponiraju i formiraju novi valni obrazac. U uvjetima potpune koherentnosti, interferencijski obrasci su stabilni i predvidljivi što omogućava kontroliranu primjenu u raznim tehnološkim i znanstvenim područjima. Koherentno zračenje je ključni koncept u suvremenoj fizici i tehnologiji, omogućavajući napredne aplikacije i istraživanja. Sposobnost koherentnog zračenja da zadrži konzistentnu faznu i frekvencijsku usklađenost čini ga nezamjenjivim u mnogim preciznim i sofisticiranim primjenama.

2) Usmjerenost:

- Laserski snop je fokusiran i koncentriran, formirajući uski snop koji se minimalno širi tijekom putovanja.

3) Monokromatičnost:

- Laseri emitiraju svjetlost jedne specifične valne duljine, što znači da imaju usku spektralnu širinu, odnosno da su monokromatski.

4) Visoka svjetlosna gustoća:

- Laserski snopovi posjeduju veliku svjetlosnu gustoću, čineći ih izrazito svijetlima i pogodnima za izuzetno precizne i kontrolirane radnje.

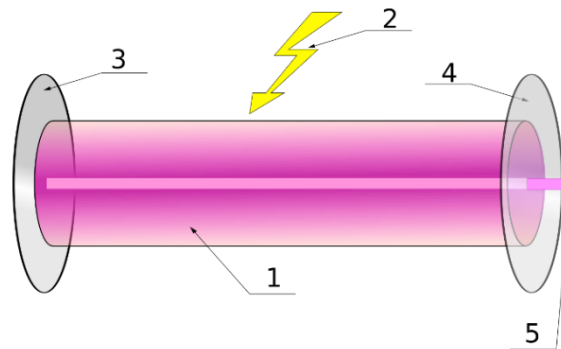
5) Stimulirana emisija:

- Laseri rade na principu stimulirane emisije, pri čemu atomi ili molekule, pod utjecajem vanjskih svjetlosnih zraka, emitiraju svjetlost iste valne duljine i faze.

2.3.1. Vrste i svojstva laserskog zračenja

Laser se sastoji od tri osnovna djela:

- laserski medij koji može biti u različitim stanjima – čvrsta jezgra (staklo, kristal), tekući (različita bojila), plinoviti (ugljičkov dioksid, helij) ili poluvodič,
- izvor energije za pobuđivanje medija (medij može biti pobuđivan na različite načine npr., diodama, visokim naponom, kemijskim reakcijama, bljeskalicama ili drugim laserom),
- optički rezonator koji se sastoji od šupljine u kojoj se nalazi laserski medij okružen s dva paralelna zrcala s obje strane; jedno zrcalo je potpuno reflektirajuće, dok je drugo samo dijelom reflektirajuće što omogućava svjetlosti da napusti šupljinu da proizvede izlaznu lasersku zraku (Puljić, 2017.).



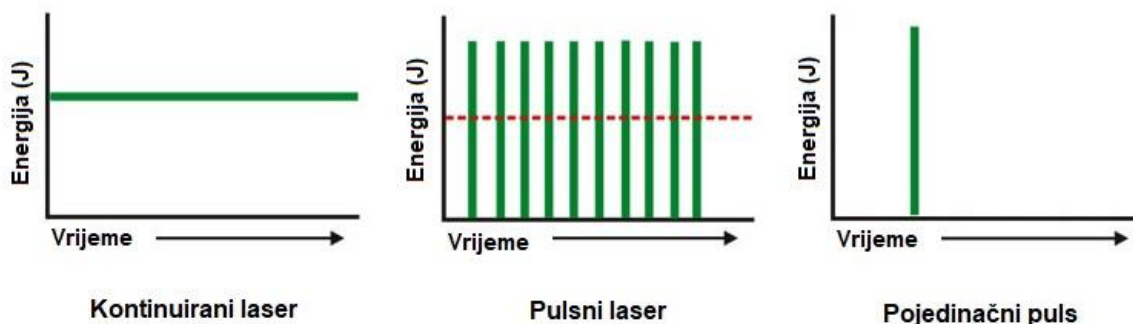
Slika 2.5. Shema lasera (1 – Laserski medij, 2 – Energija za pobuđivanje medija (optičko pumpanje), 3 – 100 % reflektirajuće zrcalo, 4 – 99 % reflektirajuće zrcalo, 5 – laserska zraka).

Izvor: <https://hr.wikipedia.org>

Postoji nekoliko vrsta lasera, a dijele se po različitim segmentima:

- a) obzirom na način rada – pulsni i kontinuirani (slika 2.6.).
 - Pulsni - emitiraju kratke pulseve iznimno jakog zračenja, koji mogu trajati samo nekoliko nanosekundi ili manje, ovisno o specifičnom laserskom sustavu. Ovi laseri su posebno korisni u aplikacijama koje zahtijevaju preciznu kontrolu intenziteta i trajanja zračenja. Koriste se u mnogim eksperimentalnim postavkama i istraživačkim projektima za proučavanje različitih fenomena i materijala s velikom preciznošću i brzinom. Međutim, takvi uređaji su uglavnom ograničeni na znanstvene laboratorije i istraživačke centre.
 - Kontinuirani - sastoje se od optičkog pojačala smještenog između dva paralelna zrcala, poznata kao rezonator. Jedno zrcalo je potpuno reflektirajuće (100 % nepropusno za svjetlost), dok drugo zrcalo propušta samo mali dio svjetlosti, obično manje od 1 %. Unutar rezonatora snop svjetlosti se reflektira između ovih zrcala povećavajući gustoću energije zračenja. Kada se postignu uvjeti za lasersko emitiranje, odnosno potrebna razina napučenosti, laserska zraka izlazi

iz rezonatora kroz polupropusno zrcalo. Kod ove vrste lasera emitirana svjetlost je kontinuirana i konstantna u vremenu, bez promjena u intenzitetu ili trajanju. Zbog toga se ovi laseri koriste u aplikacijama koje zahtijevaju stabilnu i neprekidnu lasersku zraku, kao što su medicinska terapija, obrada materijala i komunikacijski sustavi.



Slika 2.6. Kontinuirani i pulsni laseri.

Izvor: <https://www.lvoptical.com/blog-Laser-pulses.html>

b) obzirom na snagu – visokoenergetski i niskoenergetski.

- Visokoenergetski – koriste se za emitiranje kratkih pulseva iznimno jakog zračenja. Ovi pulsevi mogu trajati samo nekoliko nanosekundi ili čak i manje, ovisno o specifičnom laserskom sustavu. Takvi pulsni laseri su posebno korisni u aplikacijama koje zahtijevaju preciznu kontrolu intenziteta i trajanja zračenja. Koriste se u mnogim eksperimentalnim postavkama i istraživačkim projektima za proučavanje različitih fenomena i materijala s velikom preciznošću i brzinom. Međutim, takvi uređaji su uglavnom ograničeni za znanstvene laboratorije i istraživačke centre.
- Niskoenergetski – proizvode kontinuirane ili pulsirajuće snopove svjetlosti s relativno niskom energijom u usporedbi s visokoenergetskim laserima. Ovi laseri su često dizajnirani za primjene koje zahtijevaju manju snagu ili manju gustoću energije zračenja. Često su dostupni u obliku kompaktnih i pristupačnih uređaja te se koriste u širokom rasponu aplikacija gdje je potrebna precizna kontrola svjetlosnog snopa, ali nije potrebna visoka energija ili gustoća energije zračenja koju nude visokoenergetski laseri. Primjenjuju se u različitim segmentima od medicine, komunikacijskih sustava, obrade materijala i znanstvenim istraživanjima.

c) obzirom na radni medij – plinski, tekućinski, kristalni i poluvodički.

- Plinski - obuhvaćaju ionske, atomske, molekularne i kemijske vrste gdje radni medij djeluje u plinovitom stanju unutar laserske cijevi održavane pod odgovarajućim tlakom. Među najčešće korištenim vrstama su CO₂, He-Ne (helij-

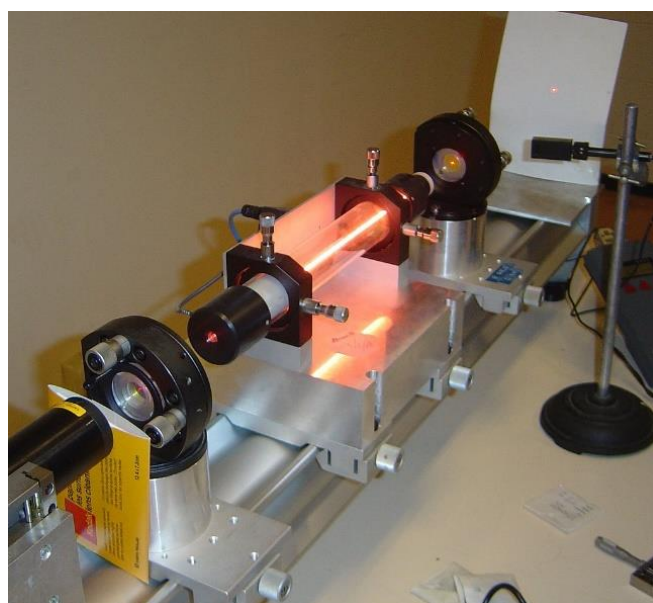
neon) i argonski laser. CO₂ laser (slika 2.7.) koristi molekule ugljikovog dioksida kao aktivni medij te se može pobuditi toplinskim, optičkim, kemijskim pumpanjem ili električnim izbojem. Emitira svjetlost valne duljine od 10,6 μm. Rezonator CO₂ lasera ispunjen je mješavinom CO₂, dušika (N₂) i helija (He) s varijacijama u sastavu ovisno o vrsti i snazi lasera. Prisutnost nečistoća u mješavini može negativno utjecati na učinkovitost rada lasera.



Slika 2.7. CO₂ laser.

Izvor: <https://en.wikipedia.org>

He-Ne laser (slika 2.8.) koristi smjesu helija i neona u omjeru 80:20 kao aktivni medij i pobuđuje se izmjeničnom strujom. Emitira svjetlost valne duljine od 632,8 nm, što je crvena svjetlost, ali može također emitirati u žutoj, zelenoj, ultraljubičastoj (UV) i infracrvenoj (IR) spektralnoj regiji, ovisno o uvjetima rada.

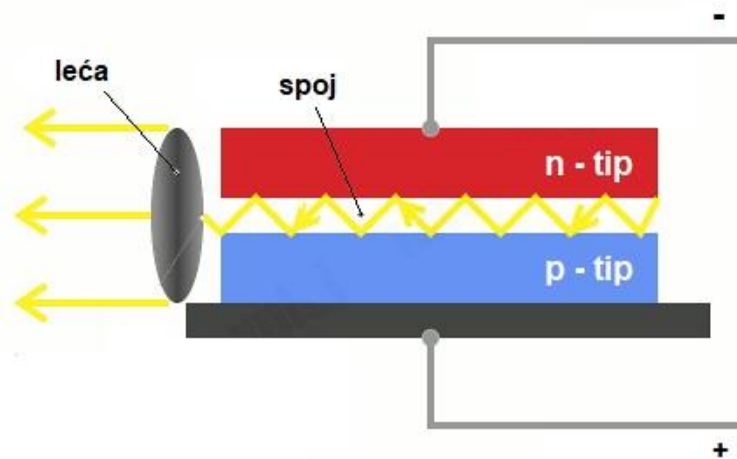


Slika 2.8. He-Ne laser.

Izvor: <https://hr.wikipedia.org>

Oba tipa plinskih lasera obavljaju ključnu ulogu u medicini, znanstvenim istraživanjima i industriji zbog svoje sposobnosti generiranja stabilnih laserskih snopova potrebnih za specifične aplikacije.

- Tekućinski – koriste tekućine kao aktivni medij što donosi nekoliko prednosti kao što su jednostavnije hlađenje putem cirkulacije same tekućine i mogućnosti prilagodbe koncentracije aktivnih iona. Međutim, nedostatak ovih lasera je promjena indeksa loma uzrokovana visokim koeficijentom termičke ekspanzije radnog medija. Ove termičke promjene i strujanja tekućine dovode do nehomogenosti indeksa loma, što smanjuje kvalitetu laserskog snopa. Kao aktivni medij najčešće se koriste organske tekućine zbog njihove snažne luminescencije, dok je luminescencija anorganskih tekućina obično slabija.
- Kristalni – laseri čvrstog stanja koriste kristale ili amorfna tijela kao radni medij. Amorfna tijela, kao što su staklo, plastika ili smole, karakterizira nasumičan raspored atoma, iona ili molekula. S druge strane, kristali se sastoje od atomskih, ionskih ili molekularnih jedinica koje formiraju uređenu kristalnu rešetku. Za aktivaciju radnog medija u laserima čvrstog stanja često se koriste intenzivni izvori svjetlosti poput ksenonskih bljeskalica ili LED dioda. Ovi laseri emitiraju svjetlost valne duljine od 1064 nm. Rubinski laser je bio prvi primjer laserskog sustava čvrstog stanja, dok je danas jedan od najpoznatijih i najčešće korištenih Nd:YAG laser.
- Poluvodički (slika 2.9.) – koriste malu kristalnu komponentu proizvedenu s visokom preciznošću podijeljenu na n i p područja, svako s vlastitim električnim svojstvima. Na n-strani poluvodiča nalazi se višak elektrona, dok je na p-strani višak šupljina (nedostatak elektrona). Primjenom pozitivnog napona na p-stranu i negativnog na n-stranu, elektroni i šupljine privlače se i sudaraju u vrlo tankom prostoru nazvanom kvantna jama. Tamo se rekombiniraju, što rezultira emisijom fotona. Na krajevima diode nalaze se visoko reflektirajuća zrcala, što uzrokuje emitiranje koherentnih fotona i formiranje laserskog snopa. Boja svjetlosti koju diodni laser emitira, ovisi o svojstvima poluvodičkog materijala, posebno o energetskom rascjepu između energetskih pojaseva. Ovi laseri emitiraju kontinuirano zračenje, obično malih snaga (do 100mW), najčešće u infracrvenom i crvenom dijelu spektra. Veće izlazne snage mogu se postići spajanjem više lasera na istu monolitnu podlogu. Zbog svoje male veličine, jednostavne tehnologije i relativno niske cijene, diodni laseri imaju široku primjenu i proizvode se u velikim serijama.



Slika 2.9. Poluvodički laser.

Izvor: <https://www.explainthatstuff.com>

2.3.2. Utjecaj laserskog zračenja na klijavost

Embrio unutar sjemenke je strukturalno i fiziološki pripremljen za stvaranje nove biljke te je opskrbljen rezervama hranjivih tvari koje podržavaju rast klice dok ne postane samostalan autotrofan organizam. Klijavost sjemena ovisi o mnogim čimbenicima, koji se dijele na abiotske (vlaga, temperatura, svjetlost, tlo), biotske (veličina i tip sjemena, starost, porijeklo sjemena) i antropološke (berba, dorada, skladištenje, predsjetveni tretmani). Sjeme će proklijati samo ako su svi okolišni uvjeti zadovoljeni, uključujući odgovarajuću količinu vode, odgovarajući raspon temperatura i prisustvo ili odsustvo svjetlosti, ovisno o vrsti biljke (Long i Woodward, 1998.). Do tog trenutka sjeme ostaje u stanju mirovanja (Bewley, 1997.).

Jedan od ključnih faktora za klijanje je voda jer proces počinje unosom vode u suho sjeme i završava pojavom klice. Upijanje vode izaziva bubrenje sjemena te povećava aktivnost hormona i enzima. Također dolazi do sinteze proteina i razgradnje škroba u jednostavne šećere koji su neophodni za rast i razvoj klice (Kastori, 1984.).

Stanišni uvjeti određuju rast i razvoj biljke, kao i razvoj i veličinu sjemena, te mogu utjecati na različite zahtjeve za klijanje sjemena biljaka iz iste populacije. Razlike u dostupnosti vode i hranjivih tvari mogu dovesti do varijacija u klijavosti sjemena unutar iste populacije, primjerice zbog kompeticije među biljkama. Sjeme niske kvalitete često sporije klija, što čini klice osjetljivijima na nepovoljne klimatske uvjete, smanjujući ukupnu klijavost i uzrokujući nepravilni rast klica. Zbog toga se provode mnoga istraživanja s ciljem ubrzanja klijanja i povećanja tolerancije sjemena na nepovoljne uvjete tijekom klijanja.

Postoje različiti predsjetveni tretmani koji mogu ubrzati proces klijanja sjemena. Ovi tretmani potiču raniju i bržu aktivaciju enzima, mobilizaciju skladištenih hranjiva i transport hidroliziranih spojeva do embrija, te replikaciju DNA (Grzesik i Janas, 2014.). Predsjetveni tretmani mogu biti fizikalni, mehanički i kemijski, uključujući tretmane s vodom, stratifikaciju, skarifikaciju te primjenu raznih kemijskih tretmana poput kalijevog nitrata (KNO_3), vodikovog

peroksida (H_2O_2), hormona i kiselina kao što je giberelinska kiselina (GA3). Potapanje sjemena u vodi različitih temperatura može pospješiti klijanje (Grbić, 2003.; Čmelik i Perica, 2007.).

Mnoga istraživanja potvrđuju pozitivan učinak predsjetvenih tretmana na klijavost sjemena i daljnji rast biljaka, no ovakva istraživanja na dalmatinskom buhaču su gotovo nedostupna.

Danas, za proizvodnju jedne jedinice poljoprivrednog proizvoda, potrebno je deset puta više energije nego na početku prošlog stoljeća, stoga je mnogo pažnje usmjereno k pronalasku mogućnost za povećanje učinkovitosti i racionalizaciji korištenja energije. Lasersko zračenje je sve više prepoznato kao značajan alat u poljoprivredi, osobito u kontekstu poboljšanja klijavosti sjemenskog materijala. Ovaj tehnološki napredak pruža nove mogućnosti za optimizaciju poljoprivredne proizvodnje, istovremeno odgovarajući na rastuće zahtjeve za održivim i ekološki prihvatljivim praksama. Do sada su provedena brojna istraživanja i različite studije koje su ispitivale ovaj fenomen pri čemu je potvrđen niz potencijalnih koristi djelovanja laserskog zračenja na sjemenski materijal, uključujući povećanje stope klijavosti, ubrzanje početka klijanja i poboljšanje ukupnog zdravlja biljaka. Također, dokazano je i da različite vrste lasera te parametri zračenja, kao što su valna duljina, snaga i trajanje izlaganja, mogu imati različite učinke na proces klijanja. Stoga je važno razumjeti specifične uvjete pod kojima lasersko zračenje može biti najefikasnije.

Osim laboratorijskih istraživanja, postoji i sve veći interes za praktične primjene ove tehnologije na terenu. Stoga je potrebno intenzivirati suradnju poljoprivrednika i istraživača na implementaciji laserskog zračenja u standardne prakse sjetve, testirajući njegovu učinkovitost u različitim agroklimatskim uvjetima i za različite vrste usjeva. Kroz tu suradnju, omogućio bi se i razvoj smjernica i protokola koji bi pomogli širenju ove tehnologije.

Prema Vasilevskom (2003.), utjecaj fizikalnih čimbenika na žive organizme, temelji se na prirastu energetske bilance transformacijom energije, neovisno o njenom podrijetlu. Autor navodi da ta transformirana energija može utjecati na povećanje elektropotencijala biomembrana. To u konačnici dovodi do povećanja energetske bilance živih organizama intenziviranjem razmjene tvari i aktiviranjem procesa rasta i razvija što se može imati pozitivan utjecaj na rast klice.

Slična zapažanja o pozitivnom utjecaju koherentne svjetlosti iznose Chen i sur. (2005.), te Cai i sur., (2000.). Na osnovi dobivenih rezultata navedeni autori došli su do zaključka da koherentna svjetlost potiče metaboličke reakcije biljke i ubrzava diobu stanica što u krajnosti rezultira ubrzanim rastom i razvojem. Kao uzrok ubrzanja metabolizma autori su naveli sposobnost živih organizama da izmjenjuju energiju sa svojom okolinom.

Drugo moguće objašnjenje ubrzanja metabolizma predložio je Danie (1996.). Prema njegovim istraživanjima koherentna svjetlost ubrzava enzimatski kontrolirane metaboličke reakcije povećanjem aktivnosti samih enzima.

Dziwulska i Koper (2003.) navode da laserska stimulacija biljkama pruža mogućnost primanja i skladištenja dozračene energije unutar stanica i tkiva. Tako se apsorbirana energija kod sjemenskog materijala transformira u kemijsku energiju koja se koristi za rast i razvoj.

Chen i sur. (2005.) u istraživanju su koristili He-Ne laser i mikrovalove kako bi dokazali pozitivan utjecaj elektromagnetskog zračenja na klijavost sjemenskog materijala. Utvrdili su da nema razlike između tretmana laserom i mikrovalovima, te zaključili da elektromagnetsko zračenje povećava enzimatsku aktivnost sjemena utječući na stanične molekule, čime se povećavaju biološka aktivnost, entropija i početna energija sjemena.

Muszyński i Gladyszewska (2008.) proveli su istraživanje učinka He-Ne laserskog zračenja na sjemenke rotkvice kao potencijalnog sredstva za ubrzavanje stope klijanja. Rezultati su pokazali da He-Ne lasersko zračenje može značajno utjecati na konačni postotak klijavosti u usporedbi s netretiranim sjemenkama. Dokazano je da zračenje poboljšava konačni postotak klijavosti, ali i da temperatura okoline značajno utječe na klijavost. Najbolje rezultate je pokazalo tretirano sjeme koje je klijalo pri temperaturi okoline od 20 °C.

Yasser i sur., (2009.) u istraživanju su utvrdili da izlaganje biljaka slabom laserskom zračenju (He-Ne laser) može povećati učinkovitost njihova rasta. Ova metoda pokazala je slične rezultate kao primjena vanjskih hormona rasta. U istraživanju su korišteni anis (*Pimpinella anisum*) i kumin (*Cuminum cyminum*), a dokazano je da su biljke tretirane laserom sadržavale veće količine eteričnog ulja.

Yasir Jamil i sur. (2013.) istraživali su utjecaj niskoenergetskog laserskog zračenja He-Ne lasera na karakteristike klijanja, termodinamičke promjene, aktivnosti enzima te promjene morfoloških svojstava pšenice. Na temelju dobivenih rezultata, zaključili su da tretman navedenim laserom valne duljine od 632 nm ima značajne biološke učinke na metabolizam sjemena tijekom klijanja te kasnijeg vegetativnog rasta.

Podlešna i sur. (2015.) istraživali su učinak laserskog zračenja na sjeme graška prije sjetve, fokusirajući se na biokemijske procese, stopu klijavosti, nicanje sadnica, stopu rasta i prinosa. Rezultati su pokazali da tretman He-Ne laserskim laserom povećava koncentraciju amilolitičkih enzima i sadržaj indol-3-octene kiseline (IAA) u sjemenu i sadnicama graška. Izlaganje sjemena He-Ne laserskom svjetlu poboljšalo je stopu klijavosti i ujednačenost, te je promijenilo faze rasta, što je dovelo do ubrzanog cvjetanja i zrenja biljaka graška.

Janayon i Guerrero (2019.) analizirali su koncentracije proteina, antioksidansa i enzima u pšenici. Sjeme pšenice tretirano zelenim laserskim zračenjem pokazalo je najveće koncentracije enzima superoksid dismutaze i katalaze, dok je sjeme tretirano crvenim laserskim zračenjem imalo najveće koncentracije peroksidaze i proteina. Na temelju ovih rezultata, autori zaključuju da laserski tretmani pozitivno utječu na brzinu rasta pšenice.

Mohammed Hassan i sur. (2020.) proveli su istraživanje u kojemu je cilj bio usporediti kako različite valne duljine lasera, vrijeme izlaganja i nisko-intenzitetno lasersko zračenje utječu na sjemenke kukuruza. Sjeme kukuruza izloženo je trima vrstama lasera – He-Ne crveni laser (632,8 nm), diodni plavi laser (410 nm) i Nd:YAG zeleni laser (532 nm). Što se tiče visine biljaka, ona je bila znatno veća kod biljaka čije je sjeme tretirano plavim laserom (410 nm). Plavi i zeleni laseri su znatno povećali broj redova po klasu u usporedbi s kontrolom. Što se tiče prinosa, najveći prinos je dalo ono sjeme koje je bilo podvrgnuto plavom laseru, zatim zelenom laseru, a najniže ono koje je podvrgnuto crvenom laseru.

Klimek-Kopyra i sur. (2020.) analizirali su učinak laserske biostimulacije na indeks klijanja, težinu sadnica i zaraženost sjemena gljivicama. Autori su analizirali zračenje sjemena plavom i crvenom koherentnom svjetlošću i to: tretman sjemenki samo zračenjem, upotreba cjepiva *Bradyrhizobium japonicum*, te kombinaciju tretmana zračenjem i cjepivom. Utvrđeno je da laserski tretman sjemenki povećava klijanje i težinu sadnica. Lasersko zračenje utjecalo je na brojnost vrsta *Phoma glomerata*, *Botrytis cinerea*, *Rhizopus nigricans* i *Gliocladium roseum*. Upotreba plavog lasera (514 nm) smanjila je broj nepatogenih vrsta, *R. nigricans* i *G. roseum*.

Perveen i sur. (2021.) proveli su istraživanje u kojem su procijenili učinke He-Ne laserskog zračenja (632,8nm) u iznosima od 100, 300 i 500 mJ na klijanje sjemena i aktivnosti enzima klijanja u vezi s promjenama u metabolitima sjemena. Autori su zaključili da su tretmani sjemena s 100 i 300 mJ He-Ne laserom učinkovitiji u cilju poboljšanja potencijala klijanja. Autori navode da je razlog tome povećanje energije sjemena zbog povećanih aktivnosti enzima klijanja te brze razgradnje rezervi sjemena u jednostavne metabolite.

Surendrababu Swathy i sur. (2021.) u svom istraživanju analizirali su hormonalne i fitokromatske mehanizme klijanja sjemena patlidžana te povezane metaboličke promjene kao reakciju na zračenje He-Ne laserom. Uočeno je značajno poboljšanje indeksa klijanja, vremena klijanja i indeksa vitalnosti sjemena kod laserom tretiranih uzoraka. Povišene razine primarnih metabolita zabilježene su u ranim fazama klijanja, dok je modulacija sekundarnih metabolita uočena u kasnijem rastu. Posljedično, značajno povećana fotosintetska stopa, provodljivost stomata i stopa transpiracije zabilježeni su u laserom tretiranim uzorcima u usporedbi s kontrolom. Analize su dokazale da laserska stimulacija utječe na hormone i fitokromske mehanizme klijanja sjemena.

Foschi i sur. (2022.) imali su cilj analizirati utjecaj različitog svjetlosnog zračenja na klijavost sjemena kapra. Autori su analizirali reakciju sjemena na osvjetljenje različitim valnim duljinama (bijela, crvena, plava, crvena + plava i sustav bez osvjetljenja) te na He-Ne lasersku svjetlost, koristeći suho sjeme i sjeme koje je namočeno u vodi. Rezultati su pokazali da su sjemenke kapra neosjetljive na izlaganje bijelom, crvenom, plavom i kombinaciji crvenog i plavog svijetla u procesu klijanja, ne pokazujući razlike između navedenih tretmana i klijanja u mraku. Što je tiče zračenja sjemenki He-Ne laserom tijekom kratkih intervala izlaganja, klijavost je porasla, a pogotovo kod sjemenki prethodno namočenih u vodi.

Babar Manzoor Atta i sur. (2023.) postavili su hipotezu da zračenje sjemena različitim valnim duljinama može popraviti klijavost i produktivnost pamuka u različitim okruženjima. Testiranje je provedeno s različitim izvorima svjetlosti, a maksimalno poboljšanje klijavosti iznosilo je od 67 % do 1,8 puta. Od svih izvora svjetlosti, najučinkovitija je bila plava LED svjetlost, zatim crvena LED, zatim diodni laser, zatim UV-B i na kraju UV-C svjetlost.

Galić (2014.) analizirao je utjecaj laserskog zračenja na sjeme kukuruza, ječma i pšenice pri čemu je utvrdio pozitivan učinak tretmana na povećanje energije klijanja i standardne klijavosti. Autor naglašava da uporaba takvog lasera predstavlja jeftinu i ekološki sigurnu metodu koja ne zagađuje okoliš.

Galić i sur. (2024.) proveli su tretiranje sjemena pšenice laserima izlaznih snaga od 100, 200 i 500 mW u trajanju od 30, 60 i 120 sekundi. Na temelju dobivenih rezultata autori navode da je najpovoljniji utjecaj na energiju klijanja i standardnu klijavost imao tretman 100 mW laserom u trajanju od 30 s koji je uzrokovao je porast energije klijanja u iznosu od 1,00 % i standardne klijavosti u iznosu od 1,67 %. Tretman laserskim zračenjem od 200 mW u trajanju od 30, 60 i 120 s te 500 mW u trajanju od 60 i 120 s nije pozitivno utjecao na klijanje, već je uzrokovao smanjenje energije klijanja i standardne klijavost. Pri tome je najveće smanjenje energije klijanja iznosilo 1,67 % kod 500 mW lasera u trajanju od 120 s, a standardne klijavosti 0,66 % kod uzoraka tretiranih 200 mW laserom u trajanju od 60 i 120 s te 500 mW laserom u trajanju od 120 s. Kao razlog smanjenja klijavosti autori navode moguće oštećenje reproduktivnog dijela sjemena čime se smanjuje ili onemogućuje sposobnost klijanja.

Dumić (2021.) istraživao je utjecaj koherentnog (laserskog) zračenja na klijavost sjemena konoplje. Sjeme industrijske konoplje tretirano je trima laserima maksimalne snage od 100, 200 i 500 mW. Sva tri izvora koherentne svijetlosti imaju istu valnu duljinu od 650 nm. Sjeme je tretirano u trajanju od 10, 30 i 60 sekundi. Prosječna vrijednost energije klijanja kontrolnog uzorka sjemena iznosila je 41,67 %. Nakon provedenih tretmana došlo je do smanjenja energije klijanja kod svih tretiranih uzoraka. Najznačajnije smanjenje energije klijanja u iznosu od 4,34 % zabilježeno je kod uzoraka tretiranih 500 mW laserom u trajanju od 60 s. Prosječna vrijednost standardne klijavosti kod kontrolnog uzorka iznosila je 51,33 %. Nakon provedenih tretmana također je došlo do smanjenja standardne klijavosti kod svih tretiranih uzoraka, pri čemu je najveće smanjenje u iznosu od 11,66 % zabilježeno također kod uzoraka tretiranih 500 mW laserom u trajanju od 60 s.

Maretić (2021.) istraživao je mogućnost primjene lasera u svrhu deaktivacije potencijala klijavosti sjemena ambrozije. U analizama su korištena tri lasera snage 100, 200 i 500 mW iste valne duljine od 650 nm. Prosječna vrijednost energije klijanja kontrolnog uzorka sjemena iznosila je 90,67 %. Nakon provedenih tretmana došlo je do smanjenja energije klijanja kod svih tretiranih uzoraka. Najznačajnije smanjenje energije klijanja u iznosu od 9 % zabilježeno je kod uzoraka tretiranih 100 mW laserom u trajanju od 10 s. Prosječna vrijednost standardne klijavosti kod kontrolnog uzorka iznosila je 94,00 %. Nakon provedenih tretmana također je došlo do smanjenja standardne klijavosti kod gotovo svih tretiranih uzoraka, pri čemu je najveće smanjenje u iznosu od 9,33 % zabilježeno kod uzoraka tretiranih 100 mW laserom u trajanju od 10 s. Jedino je kod uzoraka tretiranih 200 mW laserom zabilježeno povećanje standardne klijavosti u iznosu od 1 %. Rezultati provedenih istraživanja upućuju na mogućnost primjene lasera za deaktivaciju potencijala klijavosti sjemena ambrozije.

3. Materijali i metode

3.1. Biljni materijal

Sjeme dalmatinskog buhača korišteno u ovom istraživanju prikupljeno je 2019. godine i uskladišteno na temperaturi od 4 °C i relativnoj vlažnosti zraka od 15 % na odgovarajući način.

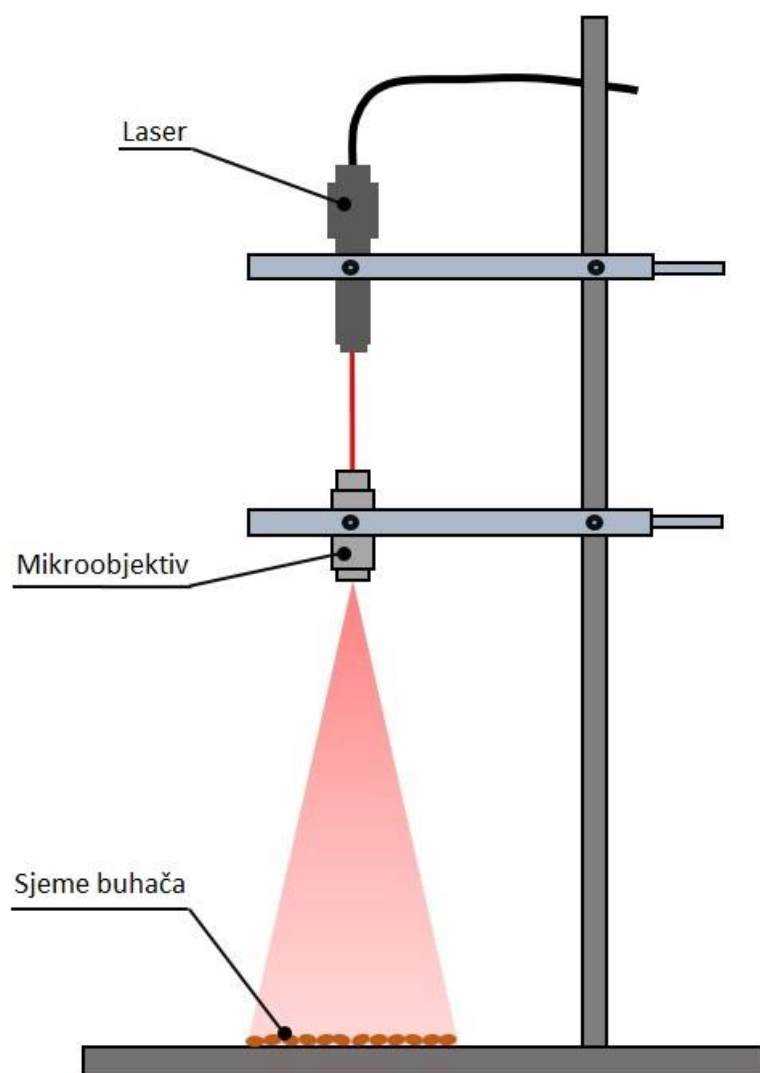
Utvrđivanje energije klijanja i standardne klijavosti provedene su u tri ponavljanja, s po 100 sjemenki u svakom ponavljanju ravnomjerno raspoređenih na podlogu za klijanje. Sjemenke su nasumično odabrane iz osnovne skupine iz koje su prethodno uklonjene ljuske i oštećene sjemenke. Kao kontrola korišteno je netretirano sjeme.

3.2. Uređaji i oprema

Da bi se proveo laserski tretman, mora postojati adekvatna oprema. Tu opremu čine laseri koji su izvor koherentne svjetlosti, i mikroobjektiv – sastavljen od dvije optičke leće – postiže širenje laserske zrake.

Sjeme dalmatinskog buhača tretirano je trima izvorima koherentne svjetlosti, izlazne snage 100 mW (modeli: HLM1845), 200 mW (HLP18130) i 500 mW (HJ-308) (slika 3.2.). Tretiranje se odvijalo stacionarno u elementarnom sloju unutar osvijetljenog područja promjera 5 cm, u 3 vremenska intervala – 30 s, 60 s i 120 s. Svi izvori imaju istu valnu duljinu od 650 nm – crveni dio vidljivog spektra svjetlosti. Prethodno navedene 3 različite izlazne snage su korištene zbog utvrđivanja njihovog utjecaja na energiju klijanja i standardnu klijavost.

Kako bi se postiglo širenje koherentne svjetlosti u okviru zadanog promjera, udaljenost lasera i mikroobjektiva iznosila je 60 mm, a udaljenost između mikroobjektiva i tretiranog sjemena 170 mm (slika 3.1.).



Slika 3.1. Smještaj izvora koherentne svjetlosti i položaj mikroobjektiva.

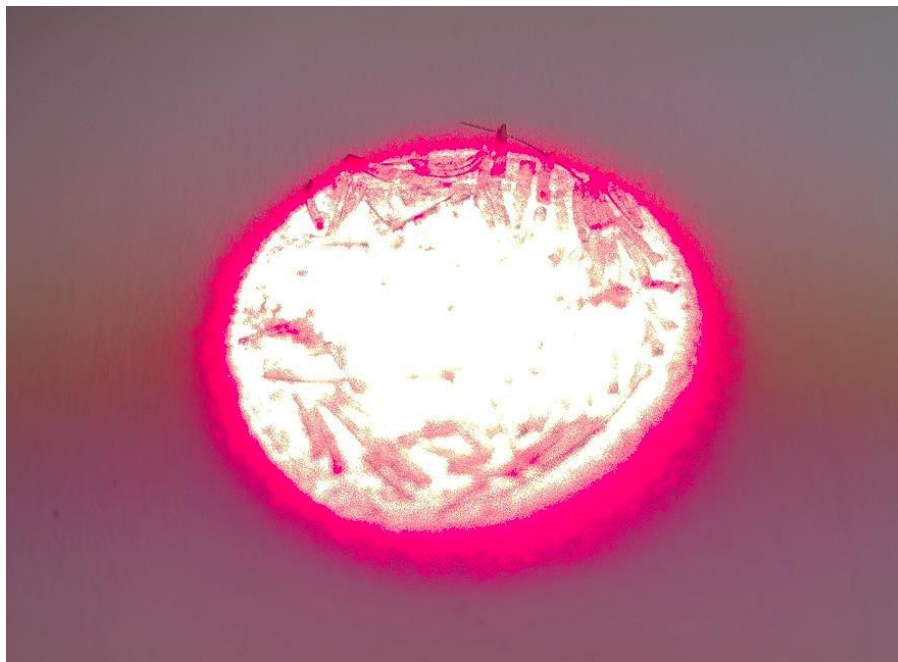
Izvor: Plietić, 2007.; Galić, 2014.

3.3. Tretmani

Tretiranje sjemena provedeno je tijekom travnja 2024. godine u laboratoriju Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladište i transport. Provedeni tretmani prikazani su u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Opis tretmana.

Tretman	Oznaka tretmana	Opis tretmana
1. Tretman	Kontrola	Kontrolni uzorak
2. Tretman	100 mW/30 s	Laser snage 100 mW/ trajanje tretmana 30 s
3. Tretman	100 mW/60 s	Laser snage 100 mW/ trajanje tretmana 60 s
4. Tretman	100 mW/120 s	Laser snage 100 mW/ trajanje tretmana 120 s
5. Tretman	200 mW/30 s	Laser snage 200 mW/ trajanje tretmana 30 s
6. Tretman	200 mW/60 s	Laser snage 200 mW/ trajanje tretmana 60 s
7. Tretman	200 mW/120 s	Laser snage 200 mW/ trajanje tretmana 120 s
8. Tretman	500 mW/30 s	Laser snage 500 mW/ trajanje tretmana 30 s
9. Tretman	500 mW/60 s	Laser snage 500 mW/ trajanje tretmana 60 s
10. Tretman	500 mW/120 s	Laser snage 500 mW/ trajanje tretmana 120 s



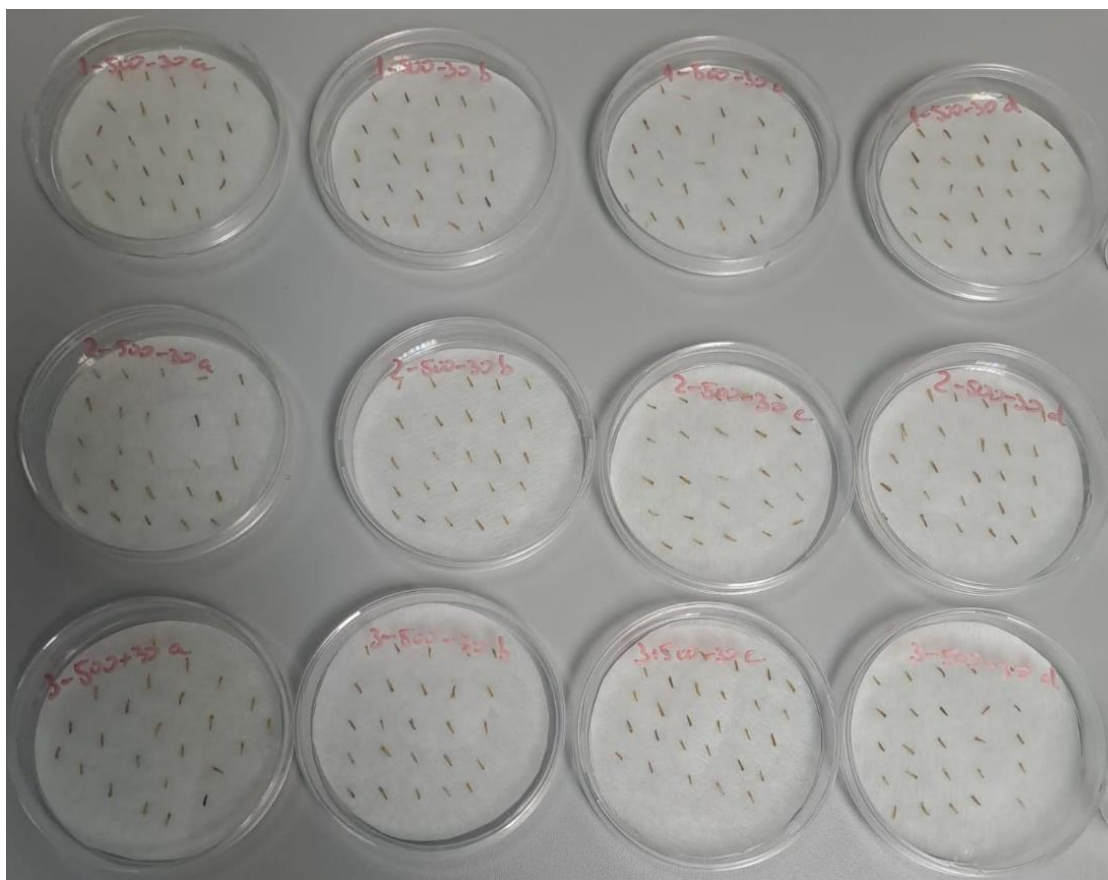
Slika 3.2. Prikaz laserskog tretmana sjemena dalmatinskog buhača.

Izvor: Vlastita fotografija – David Kuzmić

3.4. Naklijavanje

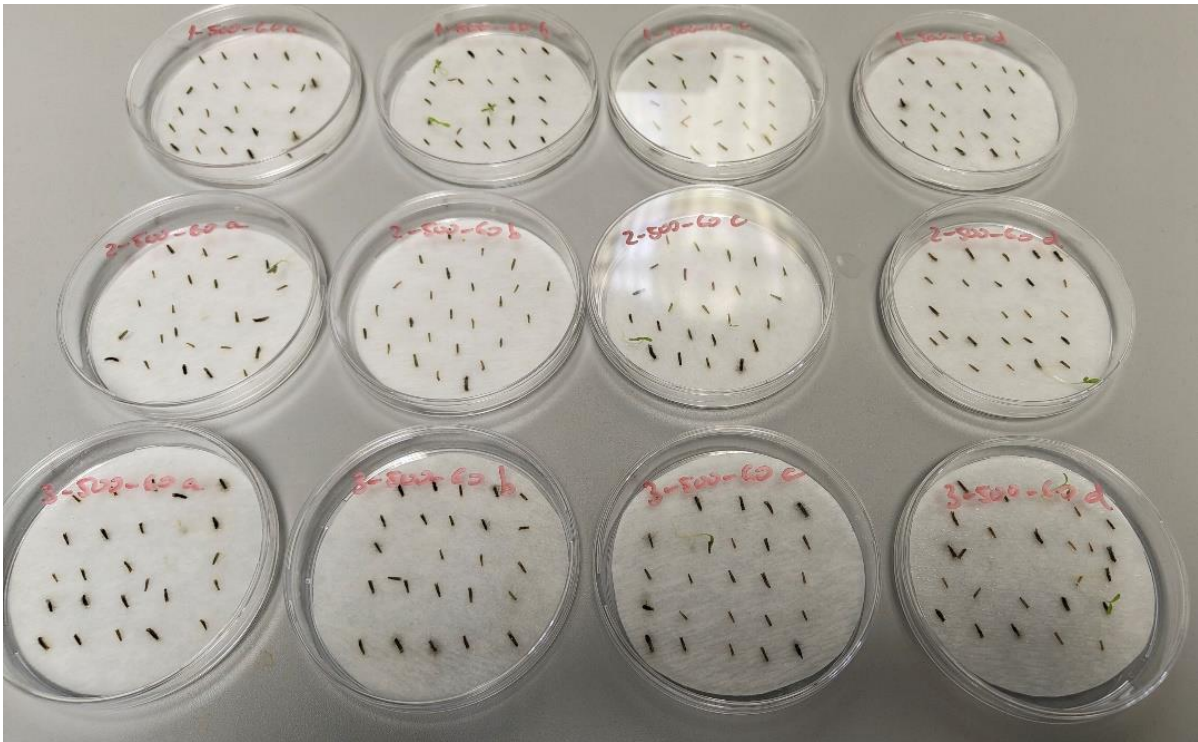
Proces naklijavanja proveden je prema Pravilniku o temeljnim zahtjevima kakvoće, načinu ispitivanja, pakiranju i deklariranju sjemena poljoprivrednog bilja (NN 4/2005). Podloga za klijanje sastojala se od 2 sloja papira koji dobro upija vodu. Načinjena je od 100 % čistog drveta, pamuka ili čišćenog celuloznog vlakna, bez prisutnosti bakterija, gljivica ili toksičnih dodataka koji bi mogli utjecati na klijavost. Uz to, podloga je porozna, ali je ipak dovoljno zbijena da korijen raste na površini ili ne prodire kroz nju. Mora upijati dovoljno vode kako bi ostala vlažna cijeli period ispitivanja klijavosti s pH vrijednošću između 6,0 i 7,5. Korištena je destilirana voda bez prisutnosti organskih i anorganskih primjesa.

Da bi se provelo naklijavanje, koristio se kontrolni uzorak te uzorak prikazan u tablici 3.1. Kada je proveden laserski tretman, sjeme dalmatinskog buhača je raspoređeno pravilno u petrijeve zdjelice u kojima se nalazila papirnata podloga navlažena s 2 ml destilirane vode (slika 3.3.). Petrijeve zdjelice stavljene su na naklijavanje u za to predviđenu prostoriju. Kontroliranje proklijalih sjemenki provodilo se svakih 48 h. Da bi se sjemenku moglo bilježiti kao proklijalu, korjenčić mora biti ≥ 2 mm. Tijekom analize energija klijanja određena je 6. dan (slika 3.4.), a standardna klijavost 12. dan (slika 3.5.) od postavljanja pokusa. Zbog karakteristike sjemena buhača, tretman naklijavanja je produžen za dodatnih tjedan dana pri čemu nisu zabilježene nikakve promjene u odnosu na 12. dan pokusa.



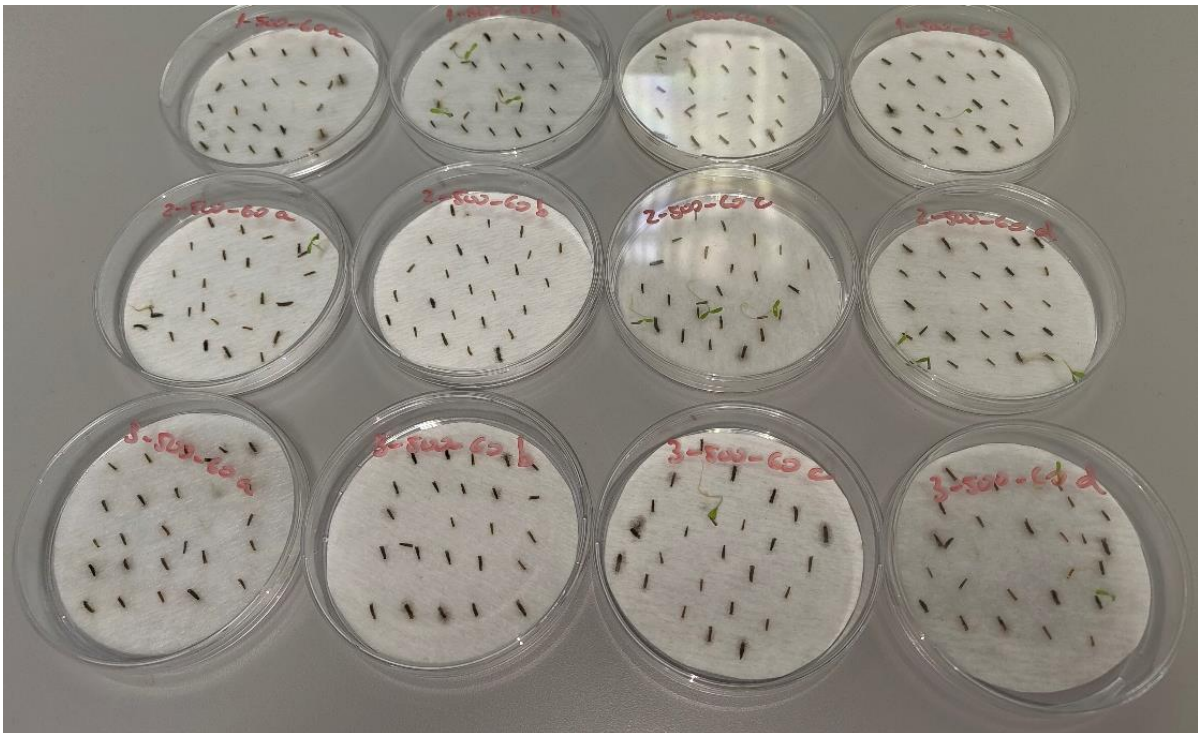
Slika 3.3.: Sjeme dalmatinskog buhača – 1. dan.

Izvor: Vlastita fotografija – David Kuzmić



Slika 3.4.: Sjeme dalmatinskog buhača – 6. Dan.

Izvor: Vlastita fotografija – David Kuzmić



Slika 3.5.: Sjeme dalmatinskog buhača 12. Dan.

Izvor: Vlastita fotografija – David Kuzmić

3.5. Statistička obrada podataka

Za analizu je korišten generalizirani linearni model, s uključenim ponavljanjem, kao i svim interakcijama uzorka, izlazne snage lasera i trajanja tretmana. Za analizu je korišten postupak PROC GLM iz SAS programskog paketa, verzija 9.3. (2010.). Dobiveni podaci obrađeni su analizom varijance, dok su razlike između srednjih vrijednosti testirane LSD testom, pri čemu je $P = 1\%$ smatrana statističkim pragom značajnosti.

4. Rezultati i rasprava

Poznato je da svjetlosni podražaji mogu imati značajan utjecaj na žive organizme. Sukladno tome i niskoenergetsko lasersko zračenje u vidu koherentnog svjetla može izazvati određene promjene na sjemenskom materijalu. Iako ovi laseri imaju znatno manju snagu u usporedbi s termalnim laserima, i dalje mogu značajno utjecati na žive organizme. U svrhu istraživanja svojstava koherentnog zračenja valne duljine 650 nm, provedena su mjerenja dozračene energije na tretiranom materijalu.

Kod poluvodičkog lasera energija pojedinačnog fotona se može izračunati pomoću prikazane formule:

$$E_f = hv = (hc)/\lambda = 3,05815 \times 10^{-18} \text{ J/foton,}$$

gdje su:

- h – Plankova konstanta ($6,626 \times 10^{-34}$ Js),
- ν – frekvencija fotona = $4,61538 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$ (za poluvodički laser),
- c – brzina svjetlosti = $2,99 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$,
- λ – valna duljina (650 nm).

Za izračunavanje količine dozračene energije lasera tijekom jedne sekunde korištena je sljedeća jednadžba:

$$E = Pt \text{ (J),}$$

gdje su:

- E – količina emitirane energije (J),
- P – snaga lasera (W),
- t – trajanje tretmana (s).

Koristeći navedenu jednadžbu, izračunata je količina emitirane energije tijekom jedne sekunde i ona je iznosila 0,1 J za 100 mW laser, 0,2 J za 200 mW laser i 0,5 J za 500 mW laser.

Promjer područja osvjetljenog laserom iznosio je 25 mm, a njegova površina je izračunata primjenom sljedeće jednadžbe:

$$A = r^2\pi = 4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2,$$

gdje su:

- A – površina osvjetljenog područja (m^2),
- r – polumjer osvjetljenog područja (m).

Prosječne dimenzije pojedinačnog sjemena dalmatinskog buhača iznosile su 4,69 x 0,71 mm, a površina osvjetljenog dijela sjemena prosječno 3,31 mm² (3,31 x 10⁻⁶ m²) (n=30). Kako je tijekom tretmana unutar osvjetljenog područja bilo 100 sjemenki, njihova ukupna (aktivna) površina iznosila je približno 331 mm² (3,31 x 10⁻⁴ m²). Kako je površina osvjetljenog područja iznosila 4,91 x 10⁻⁴ m², aktivna površina (A_{ak}) koju su zauzimale sjemenke unutar osvjetljenog područja iznosila je 67,41 %.

Intenzitet zračenja korištenih lasera unutar osvjetljenog područja tijekom jedne sekunde tretmana izračunat je pomoću formule:

$$I = \frac{E_L}{A} \times T \left(\frac{J}{m^2} \right),$$

gdje su:

- E_L – izlazna snaga lasera (W),
- T – vrijeme trajanja tretmana (s),
- A – površina osvjetljenog područja (m²).

Na osnovu navedene formule izračunati su intenziteti zračenja tijekom jedne sekunde i oni su iznosili 203,66 Jm⁻² za 100 mW laser, 407,33 Jm⁻² za 200 mW laser i 1018,32 Jm⁻² za 500 mW laser.

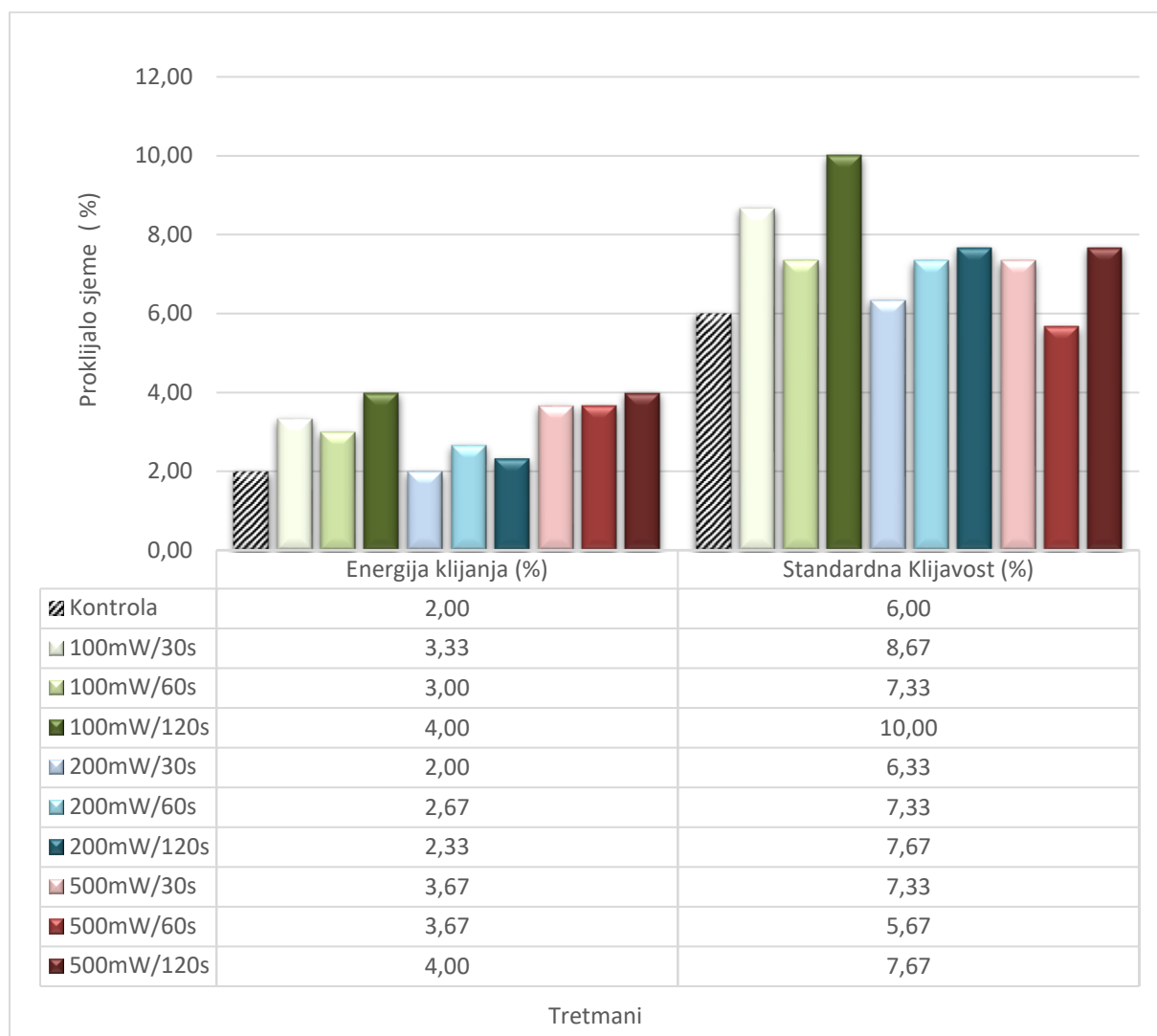
Uzevši u obzir da je sjemenski materijal zauzimao prosječno 67,41 % ozračene površine, intenziteti zračenja po aktivnoj površini u intervalu od jedne sekunde iznosili su 137,29 Jm⁻² za 100 mW laser, 274,58 Jm⁻² za 200 mW laser i 686,45 Jm⁻² za 500 mW laser.

S obzirom da je svaki tretman sadržavao 100 sjemenki, izračunat je intenzitet zračenja po pojedinačnoj sjemenki za svaki od provedenih tretmana. Rezultati su prikazani u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Intenzitet zračenja po pojedinačnoj sjemenki tijekom tretmana.

Izlazna snaga laser (mW)	Trajanje tretmana (s)	Intenzitet zračenja po pojedinačnoj sjemenki (Jm ⁻²)
100	30	41,18
	60	82,36
	120	164,71
200	30	82,37
	60	164,75
	120	329,50
500	30	205,94
	60	411,87
	120	834,74

Dobiveni rezultati pokazuju da je intenzitet zračenja po pojedinoj sjemenki relativno nizak, što upućuje na to da se učinak lasera na biljni materijal primarno temelji na biostimulaciji.



Slika 4.1. Grafički prikaz prosječne energije klijanja i standardne klijavosti.

Izvor: Vlastiti grafički prikaz – David Kuzmić

Prosječna vrijednost energije klijanja kontrolnog uzorka iznosila je 2,00 %. Nakon provedenih tretmana porast energije klijanja zabilježen je kod svih uzoraka tretiranih 100 mW laserom i to za 1,33 % kod uzorka tretiranih 30 s, 1,00 % kod uzorka tretiranih 60 s i 2,00 % kod uzorka tretiranih 120 s. Kod uzorka tretiranih 200 mW laserom porast energije od 0,33 % i 0,67 % zabilježen i kod uzorka tretiranih 60 i 120 s, dok kod uzorka tretiranih 30 s nije zabilježena promjena energije klijanja u odnosu na kontrolni uzorak. Porast energije klijanja zabilježen je i kod tretmana 500 mW laserom i to za 1,67 % pri trajanju tretmana od 30 i 60 s dok je kod tretmana od 120 s energija klijanja porasla za 2,00 % (slika 4.1.).

Prosječna vrijednost standardne klijavosti kod kontrolnog uzorka iznosila je 6,00 %. Kao i kod energije klijanja povećanje klijavosti zabilježeno je kod svih uzoraka tretiranih 100

mW laserom i to za 2,67 % kod uzorka tretiranih 30 s, 1,33 % kod uzoraka tretiranih 60 s i 4,00 % kod uzoraka tretiranih 120 s. Kod svih uzoraka tretiranih 200 mW laserom također je zabilježeno povećanje klijavosti i to za 0,33 % pri tretmanu od 30 s, 1,33 % pri tretmanu od 60 s i 1,67 % pri tretmanu od 120 s. Kod uzoraka tretiranih 500 mW laserom povećanje klijavosti od 1,33 % zabilježeno je kod tretmana od 30 s i 1,67 % kod tretmana od 120 s. Kod tretmana 500 mW laserom u trajanju od 60 zabilježeno je smanjenje klijavosti od 0,33 % u odnosu na kontrolni uzorak.

Uzevši u obzir izlazne snage lasera vidljivo je da je tretman u trajanju 120 s laserima 100 i 500 mW uzrokovao najveći porast energije klijanja, dok je najveći porast standardne klijavosti zabilježen kod tretmana 100 mW laserom u trajanju od 120 s.

Rezultati koji su dobiveni očekivani su s obzirom na literaturne podatke koji uglavnom pokazuju pozitivan učinak laserskog tretmana na energiju klijanja i standardnu klijavost. Međutim, u ovom istraživanju zabilježeno je smanjenje standardne klijavosti kod uzoraka koji su tretirani s 500 mW laserom tijekom 60 sekundi. Ovo se može objasniti činjenicom da određene vrste zračenja mogu biti neprikladne jer mogu prodrijeti duboko u sjeme. Stoga je ključno prilagoditi količinu dozračene energije prema morfologiji tretiranog materijala. Ovo smanjenje klijavosti i energije klijanja u skladu je s istraživanjima Fanaro i sur. (2007.) te Zago i Rela (2007.) koji su utvrdili da prevelika apsorpcija energije unutar sjemena može oštetiti embrionalne stanice, uzrokovati smrtnost ili mutacije, što dovodi do smanjenja klijavosti.

Statističke analize utjecaja tretmana na energiju klijanja i standardnu klijavost prikazane su u tablici 4.2.

Tablica 4.2. Analiza utjecaja tretmana na energiju klijanja i standardnu klijavost sjemena dalmatinskog buhača.

	Energija klijanja (%)	Standardna Klijavost (%)
Kontrola	2,00 ^a ± 1,73	6,00 ^a ± 2,65
100mW/30s	3,33 ^a ± 0,58	8,67 ^a ± 1,53
100mW/60s	3,00 ^a ± 2,65	7,33 ^a ± 3,06
100mW/120s	4,00 ^a ± 2,65	10,00 ^a ± 4,58
200mW/30s	2,00 ^a ± 1,73	6,33 ^a ± 1,53
200mW/60s	2,68 ^a ± 2,08	7,33 ^a ± 4,51
200mW/120s	2,33 ^a ± 0,58	7,67 ^a ± 1,53
500mW/30s	3,67 ^a ± 2,08	7,33 ^a ± 3,51
500mW/60s	3,67 ^a ± 0,58	5,67 ^a ± 2,08
500mW/120s	4,00 ^a ± 1,00	7,67 ^a ± 1,15
ANOVA	p ≤ 0,6990	p ≤ 0,7919

Statističkom obradom rezultata istraživanih parametara niti kod energije klijanja p ≤ 0,6990, niti kod standardne klijavosti sjemena p ≤ 0,7919 nisu zabilježene značajne statističke razlike s obzirom na sve varirane faktore (tretman i vrijeme trajanja tretmana).

5. Zaključak

Rezultati istraživanja pokazuju da je intenzitet zračenja po sjemenki relativno nizak što sugerira da učinak lasera na biljni materijal prvenstveno djeluje putem biostimulacije. Tretmani laserom su općenito pokazali porast energije klijanja i standardne klijavosti sjemena s najvećim povećanjem zabilježenim kod tretmana s 100 mW laserom u trajanju od 120 sekundi. Međutim, smanjenje klijavosti kod tretmana s 500 mW laserom tijekom 60 sekundi ukazuje na mogućnost oštećenja sjemena pri višim dozama zračenja.

Kako bi se lasersko zračenje moglo što uspješnije koristiti u području biostimulacije, važno je prilagoditi količinu dozračene energije morfologiji tretiranog materijala, odnosno potrebno je pronaći ravnotežu između izlazne snage lasera, trajanja tretmana, te fokusiranja laserskog snopa.

6. Popis literature

1. Atta B.M., Saleem M., Abro S., Rizwan M., Sarwar G., Farooq A. (2023). Enhancement of germination and yield of cotton through optical seed priming: Lab. and diverse environment studies. PLoS ONE 18(7). e0288255. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288255>
2. Bewley J. D. (1997). Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*. 9: 1055 – 1066.
3. Cai S. W., Qi Z., Ma X. L. (2000), The effect of He–Ne laser irradiation on soluble protein synthesis of corn seedling, *Chin. J. Lasers*. 27: 284-288.
4. Čmelik Z., Perica S. (2007). Dormantnost sjemena voćaka. *Sjemenarstvo*. 24(1): 51 – 58.
5. Crombie L. (1995). Chemistry of pyrethrins. U: Casida JE, Quistad GB (Ur.) *Pyrethrum Flowers: Production, Chemistry, Toxicology and Uses*. Oxford University Press, New York, str. 123 – 193.
6. Danie R. M. (1996). The upper limits of enzyme thermal stability, *Enzyme Microb. Technol.* 19: 74-79.
7. Dumić F. (2021). Utjecaj laserskih tretmana na klijavost sjemena konoplje. Diplomski rad, Galić, Ante (mentor). Zagreb, Agronomski fakultet
8. Dziwulska A., Koper R. (2003). Effects of pre-sowing laser bio-stimulation on germination of Lucerne seeds (in Polish), *Acta Agrophysica* 82. 33–39.
9. Essig K., Zhao Z. (2001). Method development and validation of a high-performance liquid chromatographic method for pyrethrum extract. *J Chromatogr Sci* 39. 473 – 480.
10. Fanaro G. B., Silva P. V., Nunes T. C. F., Rogovschi V. D., Aquino S., Villavicencio A. L. C. H. (2007). Effects of Electron Beam Treatment in Soybean Grains Artificially Inoculated by *Phakopsora Pachyrhizi*, *AccApp'07*, Pocatello, Idaho, July 29-August 2, 2007.
11. Foschi M.L., Juan M., Pascual B., Pascual-Seva N. (2022). Influence of Lighting and Laser Irradiation on the Germination of Caper Seeds. *Agriculture*. 12(10). 1612. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101612>
12. Galić A. (2014). Primjena laserske stimulacije u sušenju žitarica. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.
13. Galić A., Pliestić S., Vučina D. (2024). Utjecaj laserskih tretmana na klijavost pšenice. Zbornik radova 59. hrvatskog i 19. međunarodnog Simpozija agronoma. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, 554-558.
14. Gradinščak L. (2023). Analiza sastava i sadržaja piretrina u samoniklim populacijama dalmatinskog buhača (*Tanacetum cinerariifolium*), diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
15. Grbić M. (2003). Dormantnost i klijanje sjemena – mehanizmi, klasifikacije i postupci. *Glasnik šumarskog fakulteta*. 87: 25 – 49.
16. Grdiša M., Babić S., Periša M., Carović-Stanko K., Kolak I., Liber Z., Jug-Dujaković M., Šatović Z. (2013). Chemical diversity of the natural populations of Dalmatian

- pyrethrum (*Tanacetum cinerariifolium* /Trevir. /Sch. Bip.) in Croatia. *Chemistry & biodiversity*. 10 (3): 460 – 472.
17. Grzesik M., Janas R. (2014). Physiological method for improving seed germination and seedling emergence of root parsley in organic systems. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 59: 80 – 86.
 18. Hasan M., Hanafiah M.M., Aeyad Taha Z., AlHilfy I.H.H., Said M.N.M. (2020). Laser Irradiation Effects at Different Wavelengths on Phenology and Yield Components of Pretreated Maize Seed. *Appl. Sci.* 10, 1189. <https://doi.org/10.3390/app10031189>
 19. Kastori R. R. (1984). *Fiziologija sjemena*. Matica Srpska, Novi Sad.
 20. Klimek-Kopyra A., Dłużniewska J., Ślizowska A., Dobrowolski J.W. (2022). Impact of Coherent Laser Irradiation on Germination and Mycoflora of Soybean Seeds— Innovative and Prospective Seed Quality Management. *Agriculture*. 10(8). 314. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080314>
 21. Kolak I. (1999). *Osnove ljekovitog i aromatičnog bilja*. Skripta, Zagreb-Mostar.
 22. Kolak I., Rozić, I. (1998). *Droge i metaboliti ljekovitog, aromatičnog i medonosnog bilja*. Praktikum II, Zagreb-Mostar.
 23. Kolak I., Šatović Z., Rukavina H., Filipaj B. (1999). Dalmatinski buhač (*Tanacetum cinerariifolium*/Trevir./ Sch. Bip.). *Sjemenarstvo*, 16(5) . 425-440.
 24. Kolak I. (1997). *Ljekovito, aromatično i medonosno bilje - Opći dio*. Skripta, Zagreb-Mostar.
 25. Kolak I. (1998). *Ljekovito, aromatičnog i medonosno bilje - Specijalni dio*. Skripta, Zagreb-Mostar.
 26. Long S., Woodward F. (1998). *Plants and temperature*. Symposium of the Society for Experimental Biology. Cambridge, United Kingdom, 109 – 132.
 27. Maretić M. (2021). *Deaktivacija potencijala klijavosti sjemena ambrozije*, Diplomski rad, Galić, Ante (mentor), Zagreb, Agronomski fakultet
 28. Muszyński S., Gładyszewska B. (2008). Representation of He-Ne laser irradiation effect on radish seeds with selected germination indices. *Int. Agrophys.* 22(2). 151-157.
 29. Neelamegam R., Sutha T. (2015). UV-C irradiation effect on seed germination, seedling growth and productivity of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 4, 430–443.
 30. Ozimec R., Karoglan Kontić J., Matotan Z., Strikić F. (2009). *Poljoprivredna bioraznolikost Dalmacije - Tradicijsko poljoprivredno bilje i domaće životinje*. Projekt COAST -Očuvanje i održivo korištenje biološke i krajobrazne raznolikosti na dalmatinskoj obali putem održivog razvitka obalnog područja, Split, Hrvatska.
 31. Perveen R., Wang X., Jamil Y., Ali Q., Ali S., Zakaria M.Q., Afzaal M., Kasana R.A., Saleem M.H., Fiaz S. (2021). Quantitative Determination of the Effects of He–Ne Laser Irradiation on Seed Thermodynamics, Germination Attributes and Metabolites of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Relation with the Activities of Germination Enzymes. *Agronomy*, 11 (7), 1411. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071411>

32. Pliestic S. (2007). Identifikacija samooporavljivih procesa u biološkim materijalima, Projekt MZOŠ RH.
33. Pravilnik o temeljnim zahtjevima kakvoće, načinu ispitivanja, pakiranju i deklariranju sjemena poljoprivrednog bilja (2005). Narodne Novine 4/2005. Donositelj: Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva
34. Rudež, T., Muljević, V., Petkovića, T., Paara, V., Androića, D. (2006). Nikola Tesla - istraživač, izumitelj, genij, Školska knjiga, Zagreb
35. Šilješ I., Grozdanić Đ., Grgesina I. (1992). Poznavanje, uzgoj i prerada ljekovitog bilja, Školska knjiga, Zagreb
36. Skender A. (1999). Sjeme i plodovi poljoprivrednih kultura na području Hrvatske. Osijek.
37. Swathy P.S., Kiran K.R., Joshi M.B., Mahato K.K., Muthusamy A. (2021). He-Ne laser accelerates seed germination by modulating growth hormones and reprogramming metabolism in brinjal. *Sci Rep.* 11(1):7948. doi: 10.1038/s41598-021-86984-8. PMID: 33846419; PMCID: PMC8042036.
38. Vasilevski G. (2003). Perspectives of the Application of Biophysical Methods in Sustainable Agriculture, *Bulg. J. Plant Physiol., Special Issue*, 179–186
39. Yasir J., Rashida P., Muhammad A., Qasim A., Iqbal, M., Raza A. M. (2013). He-Ne laser-induced changes in germination, thermodynamic parameters, internal energy, enzyme activities and physiological attributes of wheat during germination and early growth. *Laser Physics Letters.* 10(4). article id. 045606. DOI: 10.1088/1612-2011/10/4/045606
40. Zago C., Rela P. R. (2007). Technical Feseability for Electron Beam Application on Maize Seeds Disinfection for Maize Cultivation in Brazil, International Nuclear Atlantic Conference INAC 2007 Santos, SP, Brazil, September 30 to October 5, 2007 Associação Brasileira de Energia Nuclear – ABEN

Izvori s web stranica:

41. Dalmatinski buhač – izvor prirodnog insekticida.
<<https://gospodarski.hr/rubrike/ljekovito-bilje-rubrike/dalmatinski-buhac-izvor-prirodnog-insekticida/>> Pristupljeno 05.06.2024.
42. Dalmatinski buhač. <[https://hr.wikipedia.org/wiki/Dalmatinski_buha %C4 %8D](https://hr.wikipedia.org/wiki/Dalmatinski_buha_%C4_%8D)> Pristupljeno 12.05.2021
43. Laser. <<https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser>> Pristupljeno 13.05.2024.
44. Semiconductor diode lasers
< <https://www.explainthatstuff.com/semiconductorlaserdiodes.html>> Pristupljeno 06.06.2024.
45. Tanacetum parthenium.
<<https://www.psicoestudi.com/feverfew-tanacetum-parthenium-C20337044>> Pristupljeno 12.03.2024.

Popis slika:

Slika 2.1. Dalmatinski buhač.....	4
Slika 2.2. Dalmatinski buhač – dijelovi biljke	5
Slika 2.3. Strukturne formule piretrina I, piretrina II, cinerina I, cinerina II, jasmolina I i jasmolina II.....	6
Slika 2.4. Sjeme buhača.....	8
Slika 2.5. Shema lasera.....	12
Slika 2.6. Kontinuirani i pulsni laseri.....	13
Slika 2.7. CO ₂ laser.....	14
Slika 2.8. He-Ne laser.....	14
Slika 2.9. Poluvodički laser.....	16
Slika 3.1. Smještaj izvora koherentne svjetlosti i položaj mikroobjektiva.....	22
Slika 3.2. Prikaz laserskog tretmana sjemena dalmatinskog buhača.....	23
Slika 3.3. Sjeme dalmatinskog buhača – 1. dan.....	24
Slika 3.4. Sjeme dalmatinskog buhača – 6. dan.....	25
Slika 3.5. Sjeme dalmatinskog buhača – 12. dan.....	25
Slika 4.1. Grafički prikaz prosječne energije klijanja i standardne klijavosti.....	29

Popis tablica:

Tablica 2.1. Sistematska klasifikacija dalmatinskog buhača	3
Tablica 3.1. Opis tretmana.....	23
Tablica 4.1. Intenzitet zračenja po pojedinačnoj sjemenki tijekom tretmana.....	28
Tablica 4.2. Analiza utjecaja tretmana na energiju klijanja i standardnu klijavost sjemena dalmatinskog buhača.....	30

Životopis

David Kuzmić rođen je 26. srpnja 1999. godine u Zagrebu. Odrastao je i živi u mjestu Gornji Hruševac. Školovanje je započeo 2005. godine u Osnovnoj školi Slavka Kolara u Kravarskom. Godine 2014. upisao je Gimnaziju Velika Gorica, opći smjer. Godine 2018. upisuje preddiplomski studij smjer Agroekologija pri Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Godine 2021. završava preddiplomski studij smjer Agroekologija pri Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu te je time stekao naziv sveučilišni prvostupnik (Baccalaureus) inženjer Agroekologije. Godine 2021. upisuje diplomski studij smjer Poljoprivredna tehnika – mehanizacija pri Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Služi se engleskim jezikom te ima dobro znanje u rukovanju Microsoftovih programa – Word, Excell, Power Point – te interneta.