Utjecaj laserskih tretmana na klijavost sjemena konoplje

Dumić, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:664422

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

UTJECAJ LASERSKIH TRETMANA NA KLIJAVOST SJEMENA KONOPLJE

DIPLOMSKI RAD

Filip Dumić

Zagreb, srpanj, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:

Mehanizacija

UTJECAJ LASERSKIH TRETMANA NA KLIJAVOST SJEMENA KONOPLJE

DIPLOMSKI RAD

Filip Dumić

Mentor:

Doc. dr. sc. Ante Galić

Zagreb, srpanj, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Filip Dumić, JMBAG 0068226378, rođen/a 26.03.1997. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ LASERSKIH TRETMANA NA KLIJAVOST SJEMENA KONOPLJE

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovog 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 **Filipa Dumića**, JMBAG 0068226378, naslova

UTJECAJ LASERSKIH TRETMANA NA KLIJAVOST SJEMENA KONOPLJE

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:			potpisi:
1.	Doc. dr. sc. Ante Galić	mentor	_____
2.	Prof. dr. sc. Stjepan Pliestić	član	_____
3.	Izv. prof. dr. sc. Martina Grdiša	član	_____

Sadržaj

1. Uvod 1

1.1. Cilj rada 1

2. Pregled literature 2

2.1. Konoplja 2

2.1.1. Morfološka svojstva 3

2.2. Elektromagnetsko zračenje 8

2.3. Laseri 9

2.3.1. Princip rada i dijelovi lasera 9
2.3.2. Vrste lasera 10

2.4. Utjecaj elektromagnetskog zračenja na biljni materijal 12

3. Materijali i metode 16

3.1. Biljni materijal 16

3.2. Uređaji i oprema 16

3.3. Tretiranje i naklijavanje sjemena 18

3.4. Statistička obrada podataka 19

4. Rezultati i rasprava 19

5. Zaključak 25

6. Popis literature 26

Životopis 29

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Filipa Dumića**, naslova

UTJECAJ LASERSKIH TRETMANA NA KLIJAVOST SJEMENA KONOPLJE

Klijavost je jedna od najvažnijih pokazatelja kakvoće sjemena. Što je klijavost bolja, to će rezultati u sjetvi biti bolji, biljka će biti otpornija na bolesti i štetnike. U današnje vrijeme koriste se razne alternative u povećanju klijavosti no većina njih je šteta za ljudsko zdravlje. U posljednje vrijeme sve je češća primjena laserskog zračenje u vidu koherentnog svijetla. Cilj ovog istraživanja je utvrditi utjecaj laserskog zračenja na klijavost sjemena konoplje. Sjeme je tretirano trima laserima jačine 100, 200 i 500 mW u tri različite duljine trajanja (10, 30 i 60 sekundi). Smanjenje energije klijanja i standardne klijavosti utvrđeno je kod svih tretiranih uzoraka, a posebno kod uzoraka tretiranih 500 mW laserom.

Ključne riječi: industrijska konoplja, laser, klijavost, elektromagnetsko zračenje

Summary

Of the master's thesis – student **Filip Dumić,** entitled

EFFECT OF LASER TREATMENT ON GERMINATION OF HEMP SEEDS

Germination is one of the most important indicators of seed quality. The better the germination, the better the results in sowing, the plant will be more resistant to diseases and pests. Nowadays, various alternatives are used to increase germination, but most of them can be harmful to human health. Recently, laser radiation in the form of a coherent light has started to be used. The aim of this study is to determine the effect of laser radiation on hemp seed germination. The seeds were treated with three different output power lasers (100, 200 and 500 mW) during three different treatment periods (10, 30 and 60 seconds). A decrease in hemp seed germination was found in all treated seeds, especially those treated with 500 mW laser.

Keywords: industrial hemp, laser, germination, electromagnetic radiation

1. Uvod

Vrijednost i kvalitetu konoplje (*Cannabis Sativa*) kao kultivirane biljke prepoznali su još drevni Egipćani prije 6000 godina. Najveća prednost je širok opseg i kvaliteta proizvoda koji se mogu dobiti od različitih dijelova ove biljke. Sjeme sadrži 25-35 % ulja koje ima vrlo povoljan omjer omega-3 i omega-6 masnih kiselina, te 20-25 % proteina u kojima su sadržane svih 20 aminokiselina uključujući i esencijalne (Lukačević, 2016.).

Stabljika konoplje je sirovina od koje je moguće proizvesti više od 25 000 različitih proizvoda kao što su tekstil, papir, građevinski materijal, biogorivo i drugi, a odlikuje ih dobra kvaliteta zbog čvrstoće vlakana. Često se proizvodi ekološki iz razloga što sama djeluje kao prirodni herbicid tako što potiskuje korove, a istraživanja su pokazala i da suzbija bakterije, gljivice, insekte i nematode. Potvrđena je i njena sposobnost izvlačenja teških metala iz tla. U Hrvatskoj se konoplja može uzgajati samo uz odobrenje Ministarstva poljoprivrede sukladno Pravilniku o uvjetima za uzgoj konoplje, načinu prijave uzgoja maka te uvjetima za posjedovanje i promet opojnih droga u veterinarstvu (NN 15/2012). Sorte koje se uzgajaju za proizvodnju sjemena ili vlakana ne smiju sadržavati više od 0,2 % THC-a. U 2013. godini konopljom je u Hrvatskoj bilo zasijano 176 ha, a 2014. Ministarstvo poljoprivrede zaprimilo je 109 zahtjeva za uzgoj na 658 ha (Lukačević, 2016.).

Butorac (2009.) navodi da na svijetu površina zasijana konopljom zauzima 52386 ha, pri čemu prinos vlakana iznosi 1269 kg/ha, a proizvodnja vlakana 66525 t.

U današnje vrijeme provode se brojna istraživanja primjene različitih fizikalnih metoda s ciljem povećanja učinkovitosti proizvodnje i racionalizacije korištenja energije. Primjena lasera kao biostimulatora pokazala je vidljiv pozitivan utjecaj na energiju klijanja, standardnu klijavost i na samooporavljivost kod velikog broja različitih biljnih vrsta. Budući da je interakcija između lasera i tretiranog materijala složen proces, nužno je istražiti uskladivost između izlazne snage lasera, duljine tretmana i biološkog efekta procesa.

1.1. Cilj rada

Hipoteza ovog rada je da tretman laserskim zračenjem može izazvati reakcije na sjemenu industrijske konoplje koje se iskazuju prvenstveno u povećanju klijavosti. Stoga je cilj ovog istraživanja utvrditi utjecaj koherentnog (laserskog) zračenja na klijavost sjemena konoplje.

2. Pregled literature

2.1. Konoplja

Konoplja potječe iz srednje Azije gdje i danas raste kao divlja biljka. Njezino se vlakno iskorištava još od neolitskog doba. Najstarija je tekstilna biljka Kine, u kojoj se uzgajala prije 5000 godina. Na azijsko podrijetlo konoplje upućuju i njezini nazivi na europskim jezicima (kanabis, cannabis, kanab, kinap, canapa, konoplja). Svi ti nazivi potječu od sanskrtske riječi kana - prediva biljka, odnosno bhang, koja znači pijanstvo. U Indiji se počela uzgajati prije 3000 godina, gdje se njezino sjeme koristilo kao lijek, a osušeni ženski cvjetovi kao opojna droga hašiš. U drevnoj Perziji korištena je isključivo kao narkotična kultura. Taksonomija konoplje je prikazana u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Taksonomija konoplje

Klasifikacijska kategorija	Naziv
Carstvo	*Plantae*
Divizija	*Angiosperms*
Razred	*Dicotyledon*
Red	*Urticales*
Porodica	*Cannabaceae*
Rod	*Cannabis*
Vrsta	*Cannabis sativa L.*

Izvor: Butorac (2009.)

Slaveni su uzgajali konoplju na području današnje južne Rusije u 7. st. i proizvodnja se polako širila sve do Skandinavije i Sredozemlja. U zapadnoj Europi konoplja se na većim površinama počela uzgajati radi vlakna u 15. st., a nakon otkrića Amerike širila se duž tog kontinenta. Vlažni konopljini konopi, koji su čvršći od suhih i otporni na truljenje u slanoj vodi, omogućili su dulja oceanska putovanja. Od tada započinje dugotrajna i slavna povijest jedrenjaka. Camerarius (1694.) otkrio je da je konoplja dvodomna biljka. O narkotičnim svojstvima konoplje Europljani su saznali tek 1798. g. nakon Napoleonova pohoda na Egipat kada su došli u kontakt sa *Cannabis sativa var. indica Lam*. Danas se konoplja u sjevernim područjima uzgaja kao prediva kultura ili za sjeme, a u južnima je još uvijek izvor narkotika (Butorac, 2009.).

2.1.1. Morfološka svojstva

Konoplja ima vretenast korijen (slika 2.1.), koji „produžuje“ stabljiku za 10 cm ispod površine tla. Korijen u početku vegetacije raste sporo. Korijenov je sustav slabo razvijen u usporedbi s nadzemnom masom. U rahlim tlima prodire do 2 m duboko, a u težim tlima samo od 30 do 40 cm. Naraste od 1 do 2 m u širinu. Ima relativno slabu moć upijanja hranjiva (Butorac, 2009.).



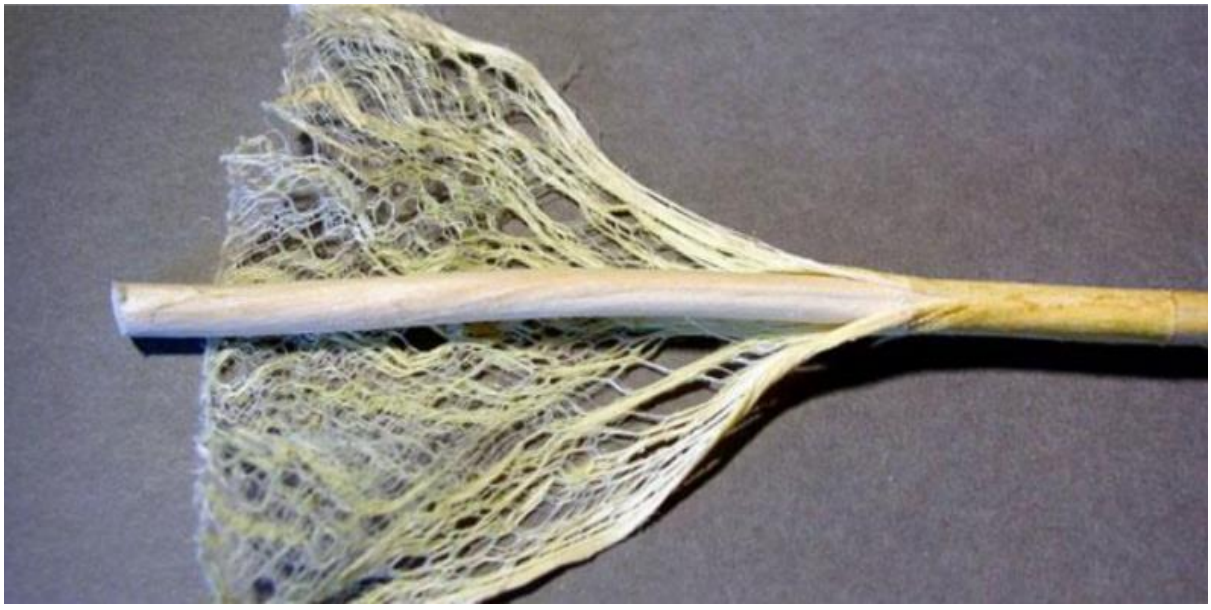
Slika 2.1. Korijen konoplje
Izvor: Lukačević, 2016.

Stabljika konoplje je uspravna (slika 2.2.). U početku je zeljasta, a kasnije odrveni (slika 2.3.). Prirast drvenastog dijela stabljike. U stabljici svjetlijih nijansi dobiva se i svjetlije vlakno, koje je za industriji vrijednije. Stabljika se katkad grana, ponajprije u rjeđem sklopu. Za proizvodnju vlakna povoljniji je gušći sklop, jer se biljke granaju samo pri vrhu. Visina stabljike ovisi o trajanju dnevne svjetlosti, zemljopisnoj skupini konoplje, tipu tla, opskrbljenosti tla hranjivima, vodozračnom režimu u tlu, veličini vegetacijskog prostora i spolu biljaka. Biljka može narasti od 0,5 do 5 m (Butorac, 2009.).



Slika 2.2. Zeljasta stabljika konoplje

Izvor: www.agromedia.rs



Slika 2.3. Drvena stabljika konoplje

Izvor: Lukačević, 2016.

List konoplje (Slika 2.4.) je složen. Sastoji se od peteljke koja pri dnu ima dva palistića srasla sa stabljikom i prstasto razdijeljenih liski. Plojka lista je s donje strane dlakava, a s gornje je glatka i rubovi su nazubljeni. Pri nicanju konoplja iznosi kotiledone listiće na površinu tla nakon kojih izlazi prvi par pravih listova koji nije razdijeljen. Drugi par listova ima trodijelno izdijeljene liske, a svaki sljedeći par do sredine stabla je krupniji i ima više listića koji čine lisku. Pri vrhu stabljike broj listića u liski se ponovo smanjuje i tako u području cvata prevladavaju listovi sa tri ili čak jednim listićem. Broj i veličina listića koji čine lisku su sortna odlika i uvijek ih je neparan broj koji se kreće između 3 i 13. Boja lista može biti od svijetlo do tamnozelene ovisno o sorti (Gagro, 1998.).



Slika 2.4. List konoplje
Izvor: www.vutropedija.com

U prirodi su cvjetovi konoplje (slika 2.5.) dvodomni i smješteni na odvojenim biljkama, muškim i ženskim. Razlikuju se po morfološkoj građi, biološkim osobinama i ekonomskom značaju. Postoje i jednodomne biljke dobivene selekcijom koje se rjeđe koriste u proizvodnji. Konoplja je stranooplodna biljka koja se oprašuje vjetrom (Gagro, 1998.).



Slika 2.5. Muški cvijet (lijevo), ženski cvijet (desno) i plod industrijske konoplje
Izvor: www.hr.wikipedia.org

Muške biljke se zbog svjetlije boje nazivaju „bjelojke“. Cvjetovi muških biljaka su u obliku metlice koja je smještena na vrhu stabljike i bočnih grana. Muški cvjetovi se nalaze na cvjetnim stapkama, a sastoje se od peteročlanog perigona i pet prašnika s povećim prašnicama. Velik broj žutih cvjetova daje žućkastu boju cijeloj metlici muških biljaka (Gadžo i sur., 2011.).

Ženske biljke zovu se „crnojke“ ili „sjemenjače“ jer su tamnije zelene boje od muških i donose sjeme. Cvjetovi su skupljeni u cvat oblika klasa koji se nalazi u pazuhu listova u gornjem dijelu stabljike. Ženska cvat je veća, lisnatija i kompaktnija od muške cvati (Slika 2.5.). Ženski cvjetovi su sjedeći, a sastoje se od perigona i tučka s dvije njuške. Svaki je ženski cvijet obavijen fino žljezdasto dlakavom brakteolom, a po jedan ili dva cvijeta nalaze se u pazušcu pricvjetnog listića (brakteje). Ženski cvjetovi su svijetlozelene boje (Pospišil, 2013.).

Plod konoplje je orašac (Slika 2.6.) jajastog oblika koji je ujedno i sjeme. Plod je omotan tvrdom ljuskom koja štiti sjeme od mehaničkih povreda. Sjeme se sastoji od ljuske ploda, sjemene ljuske, endosperma i klice. Embrio je bijele boje i gotovo u potpunosti ispunjava unutrašnjost sjemenke, dok je endosperma vrlo malo. U endospermu je sadržan škrob, a u ostalim dijelovima sjemenke ulje. Boja sjemena varira od svijetlozelene, sive, smeđe do crvenkaste, ali nije jednolična već prošarana tamnijim prugama (Gagro, 1998., Gadžo i sur., 2011.).



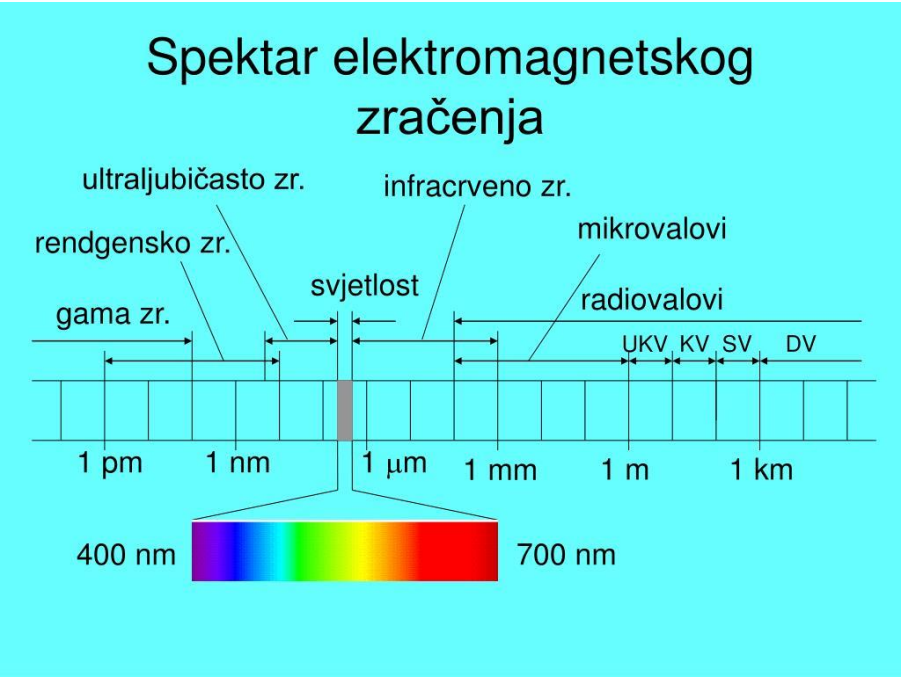
Slika 2.6. Sjeme konoplje

Izvor: www.opgdomjanic.hr

2.2. Elektromagnetsko zračenje

Pod terminom zračenja elektromagnetskog spektra razumijevamo emisiju čestica i/ili elektromagnetskih valova iz nekog izvora. Razlikuju se prirodna i umjetna elektromagnetska zračenja. Prirodna zračenja su magnetsko polje Zemlje, elektrostatičko polje atmosfere, prirodna radioaktivnost, sunčeva svjetlost i sva radijacija iz svemira. Umjetna zračenja potječu iz antropogenih izvora (izvora načinjenih ljudskom rukom). Sva zračenja elektromagnetskog spektra biološki su aktivna, tj. U međudjelovanju s biološkim medijem ostvaruju neki biološki učinak. Ovisno o utjecaju na ozračeni biološki medij, spektar elektromagnetskog zračenja uvriježeno je dijeliti na ionizirajuća i neionizirajuća zračenja. No, suvremena radijacijska znanost preferira podjelu elektromagnetskog spektra po frekvencijskim pojasevima (slika 2.7.) (Poplašen i sur., 2015.).

Pod pojmom „zračenje“ se podrazumijeva energija u obliku valova ili subatomskih čestica u kretanju emitiranih od strane atoma ili drugih tijela, kad se ona mijenja od višeg energetskog stanja u niže energetsko stanje. Pojam „zračenja“ se obično odnosi na ionizirajuće zračenje koje ima dovoljno energije da ionizira atome ili molekule, dok neionizirajuće zračenje ne posjeduje dovoljnu količinu energije da bi izazvalo navedeni efekt (Dervić, 2008.).



Slika 2.7. Spektar elektromagnetskog zračenja

Izvor: www.image3.slideserve.com

2.3. Laseri

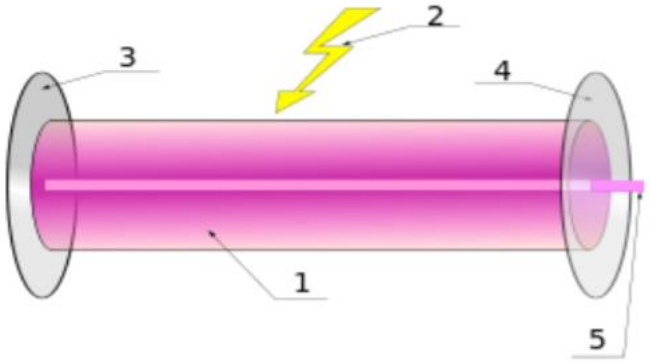
2.3.1. Princip rada i dijelovi lasera

Za razliku od ostalih oblika svjetlosti, laserska svjetlost posjeduje posebna svojstva koja ju čine značajno efikasnijom i opasnijom od ostalih vrsta svjetlosti iste jačine. Laserska svjetlost ima tri svojstva: monokromatičnost, koherentnost i usmjerenost. Monokromatičnost znači da se svjetlost emitira na određenoj valnoj duljini, odnosno da sadrži samo jednu frekvenciju ili veoma uzak raspon elektromagnetskog spektra. Koherentnost znači da su sve čestice (fotoni) međusobno nalaze u istoj fazi. Usmjerenost označava paralelnost svih fotona u snopu svjetlosti. Usmjerenost rezultira malom divergencijom na velikoj udaljenosti što omogućuje laserskoj zraci da se kontrolira i fokusira.

Svaki laser sastoji se od tri osnova dijela. Prvi dio je laserski medij koji može biti s čvrstom jezgrom (kristal, staklo), tekući (bojila), plinski (helij, CO_2) ili poluvodič. Drugi dio lasera čini izvor energije za pobuđivanje medija. Medij se može pobuditi visokim naponom, kemijskim reakcijama, diodama, bljeskalicama ili drugim laserom. Treći dio lasera je 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.).

Osnovni dijelovi lasera (Slika 2.8.) su:

- aktivni medij (1),
- sustav za pobuđivanje (2),
- 100% reflektirajuće ogledalo (3),
- 90% reflektirajuće ogledalo (4),
- laserska zraka (5) (Grgić, 2017.).



Slika 2.8. Shematski prikaz lasera
Izvor: www.zir.nsk.hr

Za izum lasera najzaslužniji je Albert Einstein koji je objasnio procese nastajanja laserskog zračenja:

- Apsorpcija predstavlja proces u kojem foton u stanju energije E_1 (niži energetski nivo) podvrgnut elektromagnetskom zračenju može apsorbirati foton energije h_v i prijeći u stanje više energije $E_2 = E_1 + h_v$;
- Spontana emisija predstavlja proces u kojem sustav emitira foton energije h_v prelazeći iz stanja više energije u stanje niže energije. Spontana emisija stvara nekoherentno zračenje i zaslužna je za fluorescentnost izlaznoga medija;
- Stimulirana emisija je proces u kojem foton iz pobuđenog stanja prelazi u stanje niže energije emitirajući još jedan foton energije hv (Foth, 2008.).

Stimulirana emisija uzrokuje da atom ili molekula, tj. sustav atoma ili molekula, predaje dio svoje pobudom dobivene energije upadnom elektromagnetskom zračenju prikladne frekvencije. Kao prvi uvjet emisije fotona je Bohrov uvjet: laserski medij mora sadržavati energijske razine elektronskih staza čija energija (razlika energija) odgovara energiji emitiranih fotona. Drugi uvjet je da većina atoma (ili molekula) bude u pobuđenom stanju. U laserskom se mediju mogu događati različiti procesi interakcije elektromagnetskog zračenja i materije: najviše dolaze do izražaja apsorpcija i spontana emisija zračenja. Ukoliko se dio atoma (ili molekula) laserskog medija dovede u pobuđeno stanje, oni će emitirati fotone spontanom emisijom. Ti fotoni se dalje mogu apsorbirati na nepobuđenim atomima, ili izazvati stimuliranu emisiju na preostalim pobuđenim atomima (Cselek, 2004).

2.3.2. Vrste lasera

S obzirom na agregacijsko stanje tvari, laseri se dijele na: plinske, tekuće i krute. Plinski laseri se zatim dijele na atomske (He-Ne, Cs), ionske (Ar, Kr), molekularne (CO_2, N_2) i kemijske. Tekući laseri se dijele na: lasere „kaveznih“ molekula (velike molekule koje okružuju ioni) i lasere bazirane na organskim bojama. Posljednji iz podjele prema agregacijskom stanju su kruti (čvrsti) laseri koji se dijele na kristalne (rubinske; YAG), amorfne (stakleni, plastični) i poluvodičke. Sljedeća je podjela prema načinu rada na impulsne (pulsne, povremene) i kontinuirane (trajne). Također ih se može podijeliti s obzirom na izlaznu snagu na visokoenergetske (termalne) i niskoenergetske (netermalne). Visokoenergetske lasere može se podijeliti na Nd:YAG laser (neodimij: itrij-aluminij-garnet), diodni laser, Er:YAG laser (itrijaluminij-garnet s dodatkom erbija) i Er,Cr:YSGG (itrijskandij-galij-garnet s dodatkom erbija i kromija). Niskoenergetski laseri dijele se na GaAlAs lasere (galij, aluminij i arsenid) i He-Ne lasere (helij, neon). Pobuđivanje lasera postiže se optički, sudarima elektrona i atoma na plinskom izboju ozračivanjem snopovima čestica visoke energije i kemijskim reakcijama. Najučinkovitiji načini pobuđivanja lasera razlikuju se ovisno o agregacijskom stanju tvari. Tako je za krute lasere najučinkovitiji način optički, dok su za plinske lasere sudari elektrona i atoma.

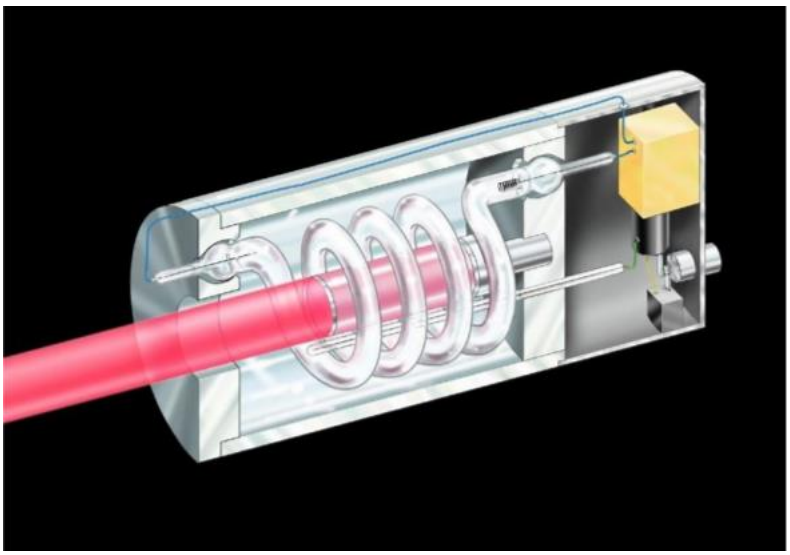
Kemijskim reakcijama pobuđuje se plinoviti laserski medij koji se sastoji od dvije ili više kemijski aktivnih komponenti (Grgić, 2017.).

Plinski laseri (Slika 2.9.) se dijele na atomske (He-Ne, Cs), ionske (Ar, Kr), molekulske (CO_2, N_2) i kemijske. Plinski laseri se obično sastoje od cijevi koja je ispunjena plinom ili smjesom plinova pod određenim tlakom (Grgić, 2017.).



Slika 2.9. Shematski prikaz helij-neonskog plinskog lasera
Izvor: www.zir.nsk.hr

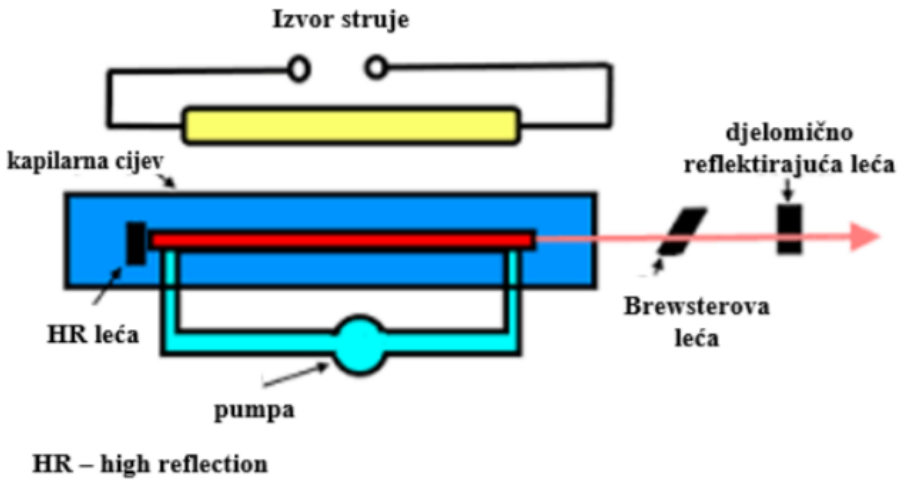
Čvrsto tijelo sastoji se od velikog broja atoma, iona ili molekula. Ako su oni raspoređeni u prostoru tako da tvore kristalnu rešetku, govorimo o kristalu, odnosno o kristalnoj strukturi. Međutim, ako ispunjavaju prostor nepravilno, govorimo o amorfnom tijelu (plastika). Kao aktivni medij kod lasera čvrstog stanja koriste se kristali i stakla. Kristali i stakla apsorbiraju svjetlost, ali je ne emitiraju (luminisciraju) već energiju predaju rešetci. Kako bi došlo do luminiscencije dodaju se primjese iona plemenitih ili prijelaznih metala (Grgić, 2017.).



Slika 2.10. Rubinski laser

Izvor: www.zir.nsk.hr

Pored plinova i čvrstih tijela, tekućine posjeduju svojstva koja ih čine pogodnim laserskim materijalima. Tekućine pokazuju velike prednosti, jer dozvoljavaju izmjenu koncentracije aktivnih iona. Osim toga omogućavaju jednostavnije hlađenje u odnosu na čvrste sustave, cirkulacijom aktivnog medija. Lošija strana tekućeg laserskog medija je njegov veliki koeficijent termičke ekspanzije i promjena indeksa loma (Grgić, 2017.).



Slika 2.11. Shematski prikaz tekućeg lasera
Izvor: www.zir.nsk.hr

Kod poluvodičkih lasera zračenje nastaje protokom velike gustoće struje kroz poluvodič. Izborom pogodnoga poluvodiča mogu nastati laserska zračenja relativno male snage na različitim valnim duljinama. Najčešće upotrebljavani laser u ovoj skupini je galij-arsenidski laser (GaAs). To su laseri koji emitiraju kontinuirano zračenje, obično malih snaga, najčešće u crvenom i infracrvenom dijelu spektra. Do pojave poluvodičkih lasera došlo je 1962. upotrebom p-n spoja kristala galij-arsenida GaAs. Njihova široka upotreba rezultat je masovne proizvodnje, zbog jednostavne tehnologije izrade i niske cijene. Lasersko zračenje nastaje kao rezultat rekombinacije elektrona i šupljina unutar poluvodiča kada se na krajeve poluvodiča narine odgovarajući napon. Poluvodičke lasere karakterizira visoka efikasnost pretvorbe električne u svjetlosnu energiju do 50%. Nominalna valna duljina emisije (boja) definirana je tipom poluvodiča, strujom koja prolazi kroz poluvodič i temperaturom.

2.4. Utjecaj elektromagnetskog zračenja na biljni materijal

Interakcija između koherentne svijetlosti i strukture sjemena ovisi o primijenjenoj frekvenciji (valnoj duljini) EM zračenja i vrsti sjemena pa čak i njegovom sadržaju vode.

Djelovanje laserskoga zračenja na biološke materijale potpuno je drugačije od djelovanja na uniformno građen materijal. Heterogena građa bioloških materijala uvjetuje i

različita optička svojstva. Prodor i apsorpcija energije ovise o vrsti materijala i o valnoj duljini laserskog zračenja. Procesi koji se odvijaju pri interakciji laserskog zračenja s biološkim materijalima mogu se objasniti pomoću četiri fizikalne pojave:

- transmisijom - slobodnim prosvjetljavanjem bioloških materijala bez gubitka energije,
- disperzijom - rasipanjem energije u biološkim materijalima,
- refleksijom - odbijanjem laserskoga zračenja s površine materijala,
- apsorpcijom - pretvaranjem laserskoga zračenja u drugi oblik energije.

Apsorpcija zračenja jest osnova za primjenu lasera u interakciji s biološkim materijalima. Učinak laserskoga zračenja uvjetovan je energijom koju tretirani biološki materijal apsorbira. Budući da je energija snaga u jedinici vremena, to je očito da primijenjena energija raste sa snagom lasera i duljinom izlaganja laserskom zračenju. Međutim, vrlo je bitan i promjer laserske zrake, pa se zbog uspoređivanja učinaka uveo pojam gustoće energije (energija na jedinicu površine, Jmm^{-2}).

Pod utjecajem laserskoga zračenja u biološkim materijalima se javljaju fotokemijski, toplinski i ionizacijski učinci.

1. Fotokemijski učinak (kemijsko-metaboličke promjene) nastaje djelovanjem svjetla na metaboličke procese živog organizma. Svjetlo sudjeluje u fotosintezi, proizvodnji vitamina D, aktivira DNK i RNK, stimulira pretvaranje ADP-a u ATP ubrzavajući metabolizam s time i proces stanične diobe. Stimulacija staničnog metabolizma očituje se u ubrzanom staničnom razmjenom tvari, diobi i diferencijaciji stanica i povećanoj intracelularnoj energiji u obliku ATP (Jovanović, 1998)
2. Toplinski učinak očituje se djelovanjem lasera, kao prijenosnika energije koja se pretvara u toplinsku energiju. Učinak je proporcionalan količini apsorbirane energije, od blagog zagrijavanja materijala do koagulacije proteina tretiranog materijala i čak u ekstremnom obliku do eksplozije tkiva.
3. Ionizacijski učinak predstavlja netoplinsko, nelinearno razaranje tkiva izazvano velikim gustoćama energije i pulzacijskim načinom rada kada kratkoća trajanja impulsa ne dopušta postizanje toplinskog učinka već nastaje kidanje kemijskih veza staničnih molekula fotodisocijacijom ili fotorazaranje, tj. kidanje atoma udarima energije. Ti učinci mogu se postići samo laserima velike snage (Jovanović, 1998).

Ukoliko koherentnom svjetlošću osvijetlimo biljni materijal fotoni dio svoje energije predaju stanicama i njihovim sastavnim komponentama i na taj način obavljaju pobudu. Dio elektromagnetskog zračenja predaje svoju energiju molekulama vode na što i one reagiraju.

Dosadašnja istraživanja pokazala su da primjena koherentne svjetlosti (lasera) male izlazne snage izaziva više pozitivnih reakcija na biljnom materijalu što pruža mogućnosti njihove široke primjene u poljoprivredi, doradi i preradi poljoprivrednih proizvoda (Injushin i sur., 1981; Weber i sur., 1990; Koper, 1994; Ouf, 1999; Podleoeny i sur., 2001; Podleoeny, 2002; Aladjadjiyan, 2007; Cwintal i Olszewski, 2007; Sarcina i sur., 2006; Noha i El Ghandoor, 2010; Perveen i sur., 2010).

Vrijeme trajanja izloženosti zrna laserskom snopu je kraće ukoliko materijal ima tanji zaštitni površinski sloj. Prema ranije provedenim eksperimentima utvrđeno je da zrna s debljim površinskim zaštitnim slojem bolje raspršuju laserski snop nego zrna s tanjim slojem (Jović i sur. 2006.).

Jović i sur. (2006) u svojim istraživanjima koriste laser male izlazne snage, navodeći da izlaganje zrnatog materijala laserskoj svjetlosti veće snage može trajno oštetiti zrno, a pogotovo klicu iako je period izloženosti vrlo kratak. Autori također navode da površinski sloj zrna raspršuje laserske zrake po cijeloj površini zrna iako laserska svjetlost osvjetljava samo jedan dio zrna. Zbog te pojave samo vrijeme tretmana može biti skraćeno.

Pri laserskom tretiranju poljoprivrednih proizvoda treba imati na umu da pojedini biljni materijali ne raspršuju koherentni snop svjetla na isti način jer nemaju istu strukturu (građu).

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.

Yasser i sur., (2009.) u svojem radu su zaključili da izlaganje biljaka slabijem laserskom zračenju (He-Ne) može povećati učinkovitost njihova rasta. Metoda koju su koristili autori pokazala se slične rezultate kao i metoda primjene vanjskih hormona rasta. U istraživanju su korišteni anis i kumin te je dokazano da su laserom tretirane biljke sadržavale i veće količine eteričnog ulja.

Nenadić i sur. (2008) navode da pojedini zrnati materijali ne raspršuju laserski snop svjetla na isti način jer nemaju istu građu.

U istraživanju provedenom na pšenici (*Triticum aestivum* L.), Abu-Elsaoud (2013.) proučava utjecaj tretmana He-Ne laserom (valne duljine od 632,8 nm) na klijavost, rast, oksidativni stres i antioksidativna svojstva. Tretmani laserom (intenziteta zračenja 5,23 $mWcm^{-2}$) provedeni su predsjetveno te 7 dana nakon klijanja. Tretmani su trajali 1, 3, 10, 30, 60, 180, 600, 1200 i 1800 sekundi, tj. ukupno (nakon 2 tretiranja) 2, 6, 20, 60, 120, 360, 1200, 2400 i 3600 s. Dobiveni rezultati pokazali su značajne povećanje klijavosti i promjene određenih biokemijskih i fizioloških parametara. Kao objašnjenje mehanizma djelovanja autor navodi valnu duljinu lasera, koja odgovara valnoj duljini pobuđivanja fitokroma čime dolazi do njegove aktivacije – to uzrokuje povećanje enzimatske aktivnosti kojom posreduje fitokrom te povećanom biokemijskom i fiziološkom aktivnošću.

Do sada provedena istraživanja u procesu uklanjanja vlage i u stimulaciji klijanja ukazuju na pozitivne rezultate u primjeni laserskog tretmana (Nenadić i sur., 2007.; Nenadić i sur., 2008.; Jović i sur., 2006.). Također, isti autori navode i smanjenje populacije mikroorganizama nakon tretmana zrna laserom male izlazne snage. Mehanizam djelovanja laserske svjetlosti na uklanjanje vlage i mikrobne populacije još uvijek je djelomično nerazjašnjen pa je ove procese potrebno još dodatno pažljivo istražiti. Rezultati istraživanja navedenih autora su pokazali da klice zrna tretiranih laserom imaju zeleniju boju nego zrna tretirana fungicidima ili zrna bez ikakve obrade.

Prośba-Białczyk i sur. (2013.) proveli su tretman sjemena šećerne repe poluvodičkim laserom (izlazne snage 200 mW, i valne duljine 670 nm) s ciljem utvrđivanja utjecaja na klijavost i prinos. Koristili su 4 tretmana: 3, 5, 7 i 10 doza pri čemu je jedna doza iznosila 2.5 x

10^{-2} J cm^{-1}. Zaključili su da tretmanom s 3 doze laserskog zračenja pozitivno utječu na morfološka svojstva u početnim fazama rasta, povećan je prinos tretiranih biljaka u odnosu na kontrolnu skupinu (4 do 5 t/ha, ovisno o dozi) te je povećan sadržaj šećera (najviše tretiranjem s 7 doza, za 0.8%).

Jović i sur. (2004.) istraživali su mehanizme samooporavljanja koji se pojavljuju kao reakcija zrna na lasersku stimulaciju. Autori su naveli kako to ponašanje uključuje promjenu klijavosti, a mehanizmi kojima se to postiže vjerojatno su holografska reakcija DNK zrna na lasersku stimulaciju. Osim u procesu biostimulacije, prema istraživanju, laseri se mogu uspješno primijeniti pri uklanjanju viška vode iz zrna te mikroorganizama s površine zrna (Jović, i sur, 2004; Jović, i sur, 2006.).

Wilczek i sur. (2005.) tretirali su sjeme lucerne (*Medicago sativa* L.) He-Ne laserom intenziteta zračenja 3 i 6 $mWcm^{-2}$ pri čemu su proučavali klijavost i nivo zaraženosti sjemena biljnim patogenima (mikroorganizmima). Rezultati su pokazali značajno veću klijavost tretiranog sjemena i smanjenje zaraze biljnim patogenima, osim gljivama iz roda *Penicillium* kod kojih je došlo do povećanja zaraze.

Vasilevski (2003.) navodi mogućnost korištenja lasera kao biosimulatora. Značajno povećanje rasta i razvoja biljaka objašnjava kao posljedicu apsorbirane nove energije čime dolazi do povećane energetske bilance. Time se povećava intenzitet izmjene tvari i staničnih procesa što dovodi do ubrzanog rasta i razvoja. Kao rezultat tih procesa navodi mogućnost povećanja prinosa do čak 50%.

Jović i sur. (2006) i Nenadić i sur. (2008) tijekom laserskog tretmana biljnog materijala koristili su fokusiranu koherentnu svijetlost usmjerenu u određenu točku na površini zrna. Ta metoda se nije pokazala učinkovitom jer je postupak zahtijevao fokusiranje svijetlosti na svako zrno posebno, a to je zahtijevalo više vremena za pozicioniranje svakog pojedinog zrna ispod lasera. Učinkovitijom se pokazala metoda s raspršenim (raširenim) koherentnim svijetlom pri čemu je osvijetljeno određeno područje na kojemu je više sjemenki moglo biti izloženo istom izvoru.

Dinoev i sur. (2004.) iznose da čak i nefotosintetske stanice i materijali (npr. sjeme) imaju mogućnost apsorpcije svjetlosne energije te njeno pretvaranje u kemijsku energiju i korištenje u daljnjem rastu i razvoju. Time je ubrzan rast biljke te, shodno tome, povećana produktivnost.

Također treba imati na umu da ukoliko unutarnji dio sjemena upije energiju zračenja stanice embrija se mogu oštetiti, izazivajući smrtnost ili mutagenost te smanjenje klijavosti. Zbog navedenih razloga energija zračenja treba penetrirati samo u površinski sloj sjemena, tj. energiju zračenja je potrebno dozirati ovisno o morfologiji sjemena. Stoga je nužno istražiti i pronaći ravnotežni ishod između izlazne snage lasera, fokusiranja laserskog snopa, vremena tretiranja materijala i biološkog efekta procesa.

3. Materijali i metode

3.1. Biljni materijal

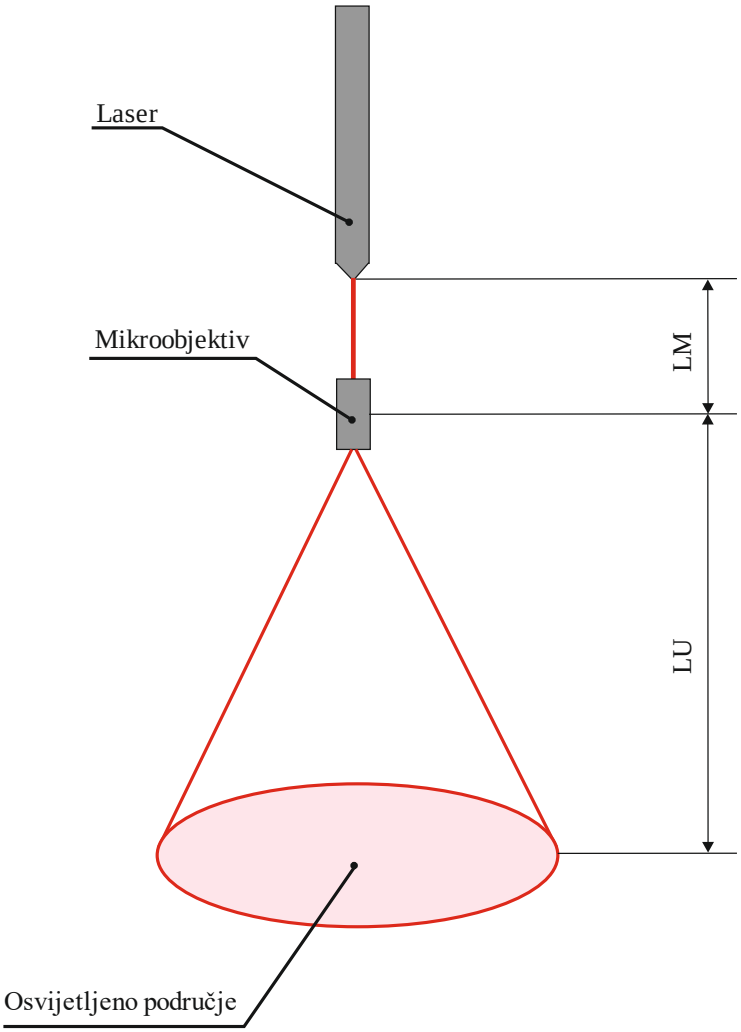
Istraživanje je provedeno na sjemenu industrijske konoplje (*Cannabis sativa* L.). Oštećeno sjeme je unaprijed izuzeto. Analiza je provedena u 3 ponavljanja s po 100 sjemenki odabranih nasumce iz mase te ravnomjerno raspoređenih na površinu za klijanje. Radni uzorak sačinjavalo je 4 × 25 sjemenki, odabranih nasumce iz osnovne skupine i izjednačeno raspoređenih na podlogu za klijanje.

3.2. Uređaji i oprema

Dva su glavna elementa opreme za provođenje laserskog tretmana sjemenskog materijala: izvor koherentne svjetlosti i mikroobjektiv sastavljen od dvije optičke leće kojim se postiže širenje laserske zrake.

Sjeme industrijske konoplje tretirano je trima izvorima koherentne svjetlosti (laserima) različite izlazne snage (modeli: HLM1845 maksimalne snage 100 mW, HLP18130 maksimalne snage 200 mW i HJ-308 maksimalne snage 500 mW). Sjeme je tretirano koherentnom svjetlošću u četiri različita intervala: 0 - kontrolni uzorak, 10, 30 i 60 sekundi. Sva tri izvora koherentne svijetlosti imaju istu valnu duljinu od 650 nm, što znači da su u crvenom dijelu vidljivog spektra svijetlosti. Različite izlazne snage su korištene kako bi se utvrdio njihov utjecaj na energiju klijanja i standardnu klijavost.

Tretirano sjeme postavljeno je u elementarnom sloju unutar osvjetljenog područja promjera 4 cm, što je postignuto postavljanjem udaljenosti izvora koherentne svjetlosti (lasera) i mikroobjektiva (LM) na na 7 cm, a udaljenosti mikroobjektiva i tretiranog sjemena (LU) na 14 cm za 100 i 200 mW laser, te na 19 cm za 500 mW laser kako bi se postiglo širenje zrake u zadanom radijusu (Slika 3.1.).



Slika 3.1. Smještaj izvora koherentne svijetlosti i položaj mikroobjektiva

Izvor: Pliestić (2007).

3.3. Tretiranje i naklijavanje sjemena

Tretiranje sjemena provedeno je tijekom svibnja 2021. godine u laboratoriju Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport. Primijenjeni tretmani opisani su u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Opis tretmana

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

Kao podloga za klijanje korišten je papir koji dobro upija vodu (filter papir). Postupak i korišteni materijali su provedeni prema pravilniku. Za vlaženje je korištena destilirana voda bez prisutnosti organskih i anorganskih primjesa. Prije izlaganja sjemenki laserskom zračenju, stavljene su u petrijeve zdjelice bez tretiranja kako bi utvrdili razliku između tretiranih i sjemenki koje nismo izložili laserskom zračenju.

Nakon tretiranja laserom, sjeme je pravilno raspoređeno u petrijeve zdjelice, u kojima je prethodno postavljena papirnata podloga navlažena s 2 ml destilirane vode (Slika 3.4.). Napunjene petrijeve zdjelice stavljene su na naklijavanje u predviđenu prostoriju za odrađivanje opisanog eksperimenta. Broj proklijanih sjemenki kontroliran je svakih 48 sati, pri čemu se proklijalom sjemenkom smatrala ona čiji je korijenčić ≥ 2 mm. Energija klijavosti utvrđen je šesti, a standardna klijavost 12. dan provođenja eksperimenta, kao što i propisuje Međunarodna organizacija za testiranje sjemena - ISTA 2011.

3.4. Statistička obrada podataka

Za analizu je korišten generalizirani linearni model, s uključenim ponavljanjem, kao i interakcijama 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

Kao što je već navedeno koherentna svjetlost može se definirati kao svjetlost koja je emitirana iz koherentnih izvora u kojima se vremenski i prostorno podudaraju titraji pojedinih atoma. To svojstvo laserske svjetlosti može se opisati kao zračenje povezanih valova istog smjera te između tih valova razlika u fazi je konstantna, pa se stoga energija vala usredotočuje na jednu specifičnu i određenu točku što je u ovom slučaju sjeme konoplje (Maršal, 2019.).

Površina osvijetljenog područja promjera 4 cm iznosi:

$$A = r^2\pi = 0{,}001256 \text{ m}^2$$

Intenzitet zračenja 100 mW lasera unutar osvijetljenog područja može se izračunati pomoću formule:

$$\frac{E_{lasera}}{A} = \frac{0{,}1\ W}{0{,}001256\ m^2} \times T = 79{,}61\ \frac{W}{m^2} \times T$$

gdje je:

- T – vrijeme trajanja tretmana (s).

Isti izračun se može primijeniti za 200 mW i 500 mW laser pri čemu intenzitet iznosi 159,23 Wsm^{-2}, odnosno 398,09 Wsm^{-2}.

Površina osvijetljenog dijela pojedinačne sjemenke iznosila je približno 11 mm^2. Imajući u vidu da se tijekom tretmana unutar osvijetljenog područja nalazilo 100 sjemenki njihova ukupna površina iznosila je približno 1100 mm^2. Pošto je površina osvijetljenog područja iznosila 0,001256 m^2 (1256,0 mm^2) vidljivo je da je aktivna površina koju su zauzimale sjemenke unutar osvijetljenog područja iznosila 87,58%. Stoga je energija predana zrnatom

materijalu unutar osvjetljenog područja iznosila 69,72 Wsm^{-2} za 100 mW laser, 139,45 Wsm^{-2} za 200 mW laser i 347,56 Wsm^{-2} za 500 mW laser.

Energija pojedinačnog fotona kod poluvodičkog lasera iznosi:

$$E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda} = 3{,}05815 \times 10^{-18} \text{ J/foton}$$

gdje su:

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

Iz navedenog slijedi da broj fotona iznosi:

$$n_{100mW} = \frac{E_{lasera}}{E_{fotona}} = \frac{0{,}1}{3{,}05815 \times 10^{-18}} = 3{,}27 \times 10^{16} \text{ fotona/s za 100 mW laser}$$

$$n_{200mW} = \frac{E_{lasera}}{E_{fotona}} = \frac{0{,}2}{3{,}05815 \times 10^{-18}} = 6{,}54 \times 10^{16} \text{ fotona/s za 200 mW laser}$$

$$n_{500mW} = \frac{E_{lasera}}{E_{fotona}} = \frac{0{,}5}{3{,}05815 \times 10^{-18}} = 16{,}35 \times 10^{16} \text{ fotona/s za 500 mW laser}$$

Poznajući izlazne snage lasera i broj pojedinačnih fotona, ukupna energija koju emitira izvor laserske svjetlosti tijekom tretmana od 10, 30 i 60 sekundi može se izračunati pomoću sljedeće jednadžbe:

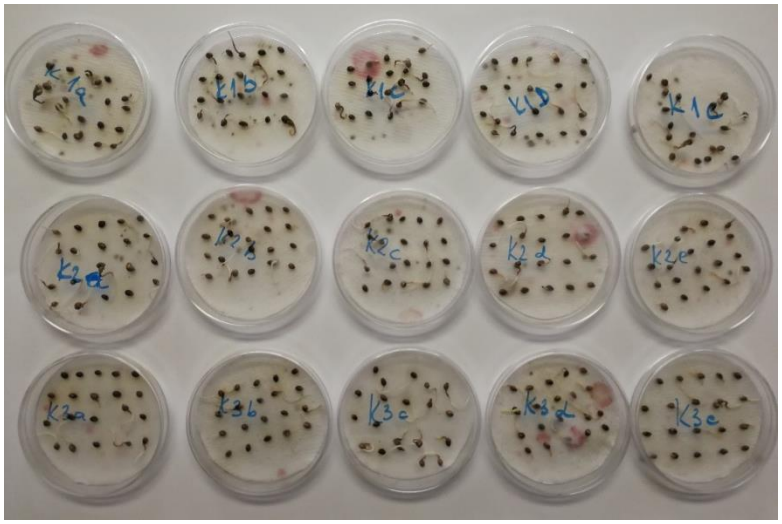
$$E_{laser} = E_{pojedinačnog\ fotona} \times n_{fotona} \times \ trajanje\ tretmana$$

Primjenom navedene jednadžbe izračunata je ukupna energija koju su laseri emitirali tijekom tretmana. Rezultati su prikazani u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Količina predane energije tijekom tretmana

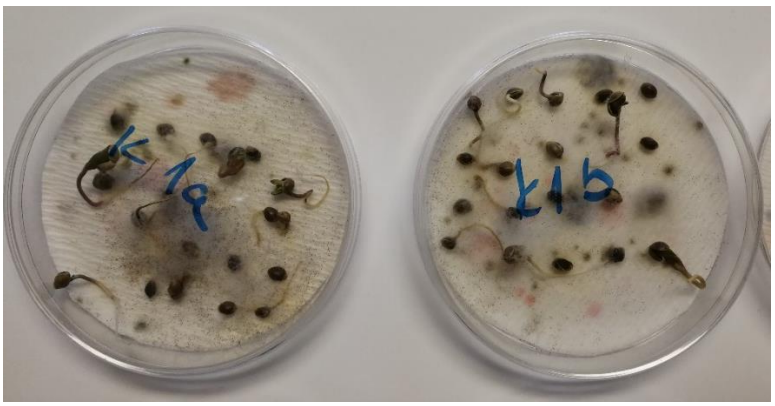
Tretman	Količina predane energije (J)
100 mW/10 s	1,00
100 mW/30 s	3,00
100 mW/60 s	6,00
200 mW/10 s	2,00
200 mW/30 s	6,00
200 mW/60 s	12,00
500 mW/10 s	5,00
500 mW/30 s	15,00
500 mW/60 s	30,00

Iz rezultata je vidljivo da je količina energije koju emitiraju odabrani laseri relativno mala, pa se može zaključiti da se njegovo djelovanje na biljni materijal temelji isključivo na biostimulaciji.



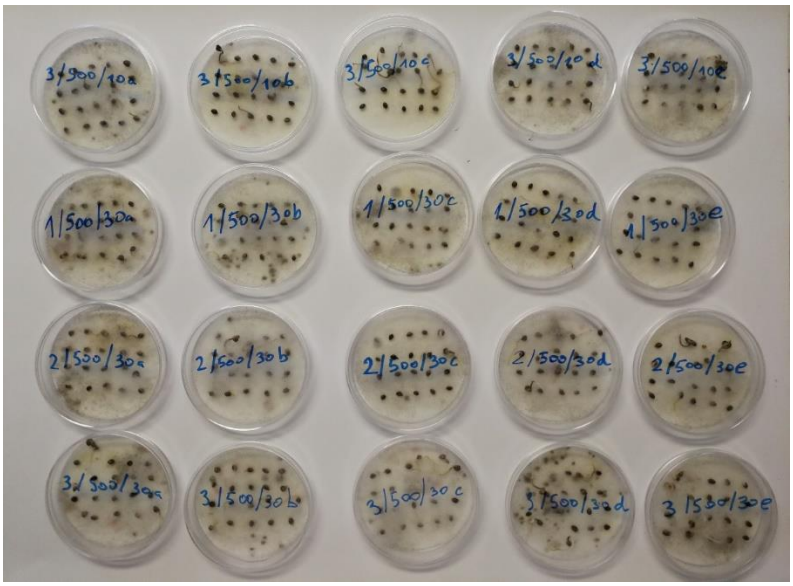
Slika 4.1. Prikaz kontrolnog uzorka nakon 6 dana

Autor: Filip Dumić, 2021



Slika 4.2. Prikaz kontrolnog uzorka nakon 12 dana

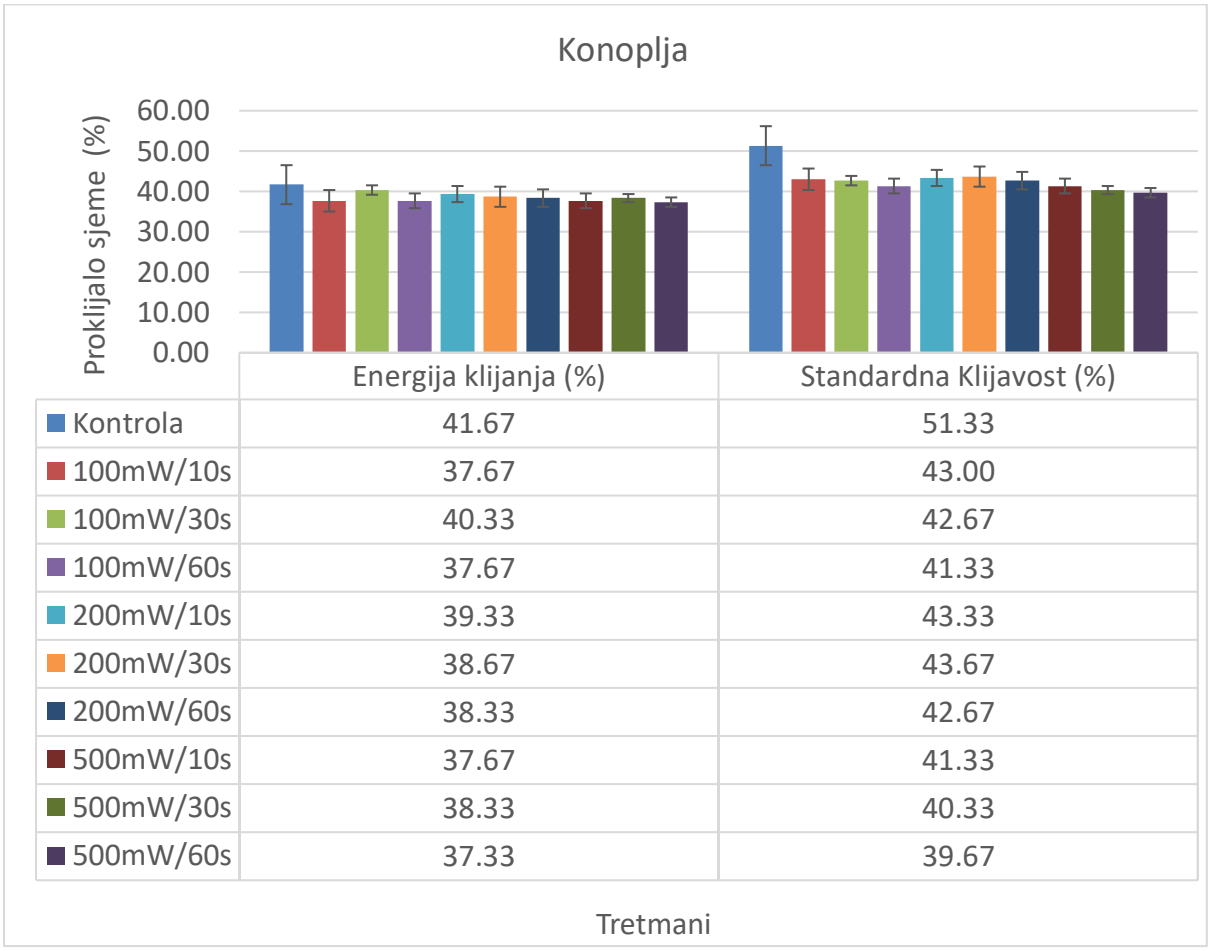
Autor: Filip Dumić, 2021



Slika 4.3. Uzorak tretiran 500 mW laserom u trajanju od 30 s, nakon 12 dana naklijavanja

Autor: Filip Dumić, 2021

Rezultati analize energije klijanja i standardne klijavosti prikazani su na slici 4.4.



	Energija klijanja (%)	Standardna Klijavost (%)
Kontrola	41.67	51.33
100mW/10s	37.67	43.00
100mW/30s	40.33	42.67
100mW/60s	37.67	41.33
200mW/10s	39.33	43.33
200mW/30s	38.67	43.67
200mW/60s	38.33	42.67
500mW/10s	37.67	41.33
500mW/30s	38.33	40.33
500mW/60s	37.33	39.67

Slika 4.4. Grafički prikaz utjecaja tretmana na energiju klijanja i standardnu klijavost sjemena konoplje

Izvor: Filip Dumić

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. Gledajući izlazne snage lasera vidljivo je da je 500 mW laser uzrokovao najveće smanjenje energije klijanja i standardne klijavosti. (Slika 4.4.).

Dobiveni rezultati su neočekivani jer je iz pregleda literature vidljivo da laserski tretman uglavnom ima pozitivan utjecaj na povećanje energije klijanja i standardne klijavosti, no u ovom slučaju je došlo do smanjenja energije klijanja i standardne klijavosti kod svih tretiranih uzoraka.

To se može objasniti činjenicom da pojedine vrste zračenja mogu biti neprikladne jer imaju sposobnost da u potpunosti prodru u sjeme. Stoga je neophodno količinu dozračene energije prilagoditi ovisno o morfologiji materijala koji se tretira. U suprotnom, ukoliko unutarnji dio sjemena upije preveliku količinu energije zračenja stanice embrija se mogu oštetiti, izazivajući smrtnost ili mutagenost a time i smanjenje klijavosti (Fanaro i sur., 2007; Zago i Rela, 2007).

Razlog tome činjenica da interakcija između laserskog snopa i strukture sjemena ovisi o primijenjenoj frekvenciji samog lasera, fizikalnim svojstvima sjemena, pa čak i o sadržaju vlage. Interakcija ima za posljedicu pretvorbu energije elektromagnetskog zračenja vid energije koji biljka može koristiti. Stoga je nužno istražiti i pronaći ravnotežni ishod između izlazne snage lasera, fokusiranja laserskog snopa, vremena tretiranja materijala i biološkog efekta procesa. Kontroliranjem vremena izloženosti materijala laserskom snopu neposredno se može kontrolirati količina energije i pobude koju će taj materijal primiti (absorbirati).

Statističke analize utjecaja tretmana na energiju klijanja i standardnu klijavost prikazane su u tablicama 4.2. i 4.3. Signifikantnosti interakcija faktora izlazne snage lasera i trajanja tretmana na energiju klijanja i standardnu klijavost sjemena konoplje prikazane su u tablici 4.4.

Tablica 4.2. Analiza utjecaja tretmana na energiju klijanja sjemena konoplje

	Energija klijanja	**Standardna klijavost**
Kontrola	41,67^{a} ± 2,08	51,33^{a} ± 2,08
100 mW/10 s	37,67^{a} ± 0,58	43,00^{ab} ± 2,65
100 mW/30 s	40,33^{a} ± 3,51	42,67^{b} ± 5,51
100 mW/60 s	37,67^{a} ± 5,51	41,33^{b} ± 3,21
200 mW/10 s	39,33^{a} ± 2,52	43,33^{ab} ± 3,06
200 mW/30 s	38,67^{a} ± 1,53	43,67^{ab} ± 2,08
200 mW/60 s	38,33^{a} ± 5,86	42,67^{b} ± 5,86
500 mW/10 s	37,67^{a} ± 1,53	41,33^{b} ± 3,79
500 mW/30 s	38,33^{a} ± 4,73	40,33^{b} ± 3,06
500 mW/60 s	37,33^{a} ± 1,15	39,67^{b} ± 0,58
ANOVA	p ≤ 0,9229	p ≤ 0,0980

Statističkom obradom rezultata istraživanih parametara niti kod energije klijanja p≤0,9229, niti kod standardne klijavosti sjemena konoplje p≤0,0980 nisu zabilježene značajne statističke razlike s obzirom na sve varirane faktore (tretman i vrijeme trajanja tretmana).

Tablica 4.3. Analiza signifikantnosti faktora tretmana i vremena trajanja tretmana te njihovih interakcija.

INTERAKCIJE FAKTORA	**SIGNIFIKANTNOSTI INTERAKCIJA FAKTORA**	
	Energija klijanja	Standardna klijavost
	Pr > F	Pr > F
T	0,4039	0,0038
V	0,8183	0,2706
T x V	0,9436	0,9975

* T – tretman; V – vrijeme trajanja tretmana, T x V – interakcija faktora tretman i vrijeme

Kod energije klijanja za pojedinačne faktore tretman (T) i vrijeme trajanja tretmana (V) kao i za njihovu kombinaciju (T x V) nisu zabilježene signifikantne razlike. Kod standardne klijavosti signifikantnost je zabilježena samo kod faktora tretmana (T).

5. Zaključak

Kod sjemena industrijske konoplje nije zabilježen rast energije klijanja i standardne klijavosti kod niti jednog od tretiranih uzoraka. Najveće vrijednosti energije klijanja i standardne klijavosti zabilježene su kod kontrolnog uzorka. 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. 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.

Dakle na temelju rezultata ovog istraživanja može se zaključiti da tretman laserskim zračenjem nije utjecao pozitivno na klijanje sjemena konoplje, već da je to isto zračenje smanjilo energiju klijanja i standardnu klijavost i to se najviše očituje kod lasera jačine 500 mW.

Razlog smanjenja klijavosti može se objasniti činjenicom da lasersko zračenje može izazvati i negativne promjene na sjemenskom materijalu, pa tako i uzrokovati ozbiljna oštećenja reproduktivnog dijela sjemena čime se smanjuje ili onemogućuje sposobnost klijanja.

Budući da je interakcija između lasera i tretiranog materijala složen proces, nužno je istražiti uskladivost između izlazne snage lasera, duljine tretmana i biološkog efekta procesa.

6. Popis literature

1. Abu-Elsaoud A. (2013). Double-Pulse Laser Light Treatment Stimulate Germination and Changes the Oxidative Stress and Antioxidant Activities of Wheat (Triticum aestivum). Journal of Ecology of Health & Environment. 1. 1-11.
2. Aladjadjiyan A. (2007). The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria, Journal of Central European Agriculture 8 (3): 369-380.
3. Butorac J. (2009). Predivo bilje, Sveučilište u Zagrebu, Naklada stih
4. Cselek M. (2004). Fundamentals of Light Sources and Lasers, John Wiley & Sons, New Jersey.
5. Cwintal M., Olszewski J. (2007). Effect of pre-sowing laser stimulation of seeds on the intensity of photosynthesis and transpiration and on the yielding of alfalfa (in Polish), Acta Agrophysica 147: 345-352.
6. Dervić K. (2008). Čovjek u bliskom radiofrekvencijskom polju, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Banja Luci, Banja Luka
7. 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.
8. Foth H. (2008). Lasers in Chemistry: Probing Matter. Edited by Maximilian Lackner. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
9. Gadžo D., Đikić M., Mijić A. (2011). Industrijsko bilje. Poljoprivredno-prehrambeni fakultet Univerziteta u Sarajevu
10. Gagro M. (1998). Industrijsko i krmno bilje. Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb.
11. Galić A. (2014). Primjena laserske stimulacije u sušenju žitarica. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.
12. Jović, F.; Pliestić, S.; Kolak, I.; Jagnjić, Ž.; Blažević, D. (2004): Estimation of the laser beam scattering in food grain preprocessing. In: Proceedings of M4PL17, Igls/Innsbruck.
13. Nenadić, K.; Jović, F.; Pliestić, S. (2008): An Investigation of Automatic Treatment of Seeds With Low Power Laser Beam, Automatics 49 (3-4): 127-134.
14. Jović, F.; Nenadić, K.; Drezner, G.; Kovačević, J.; Dvojković, K. (2006): Visible Wavelength Laser Beam Treatment of Wheat Grain. Proceedings of the 19th Meeting on Mathematical Modelling of Materials Processing with Lasers (M4PL19)
15. Nenadić, K.; Popović, R.; Jović, F. (2007): Preconditions for Automatic Laser Treatment of Wheat Grain. Agricontrol 2007 Proceedings.
16. Grgić L. (2017). Laseri, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, Osijek
17. Injushin M. V., Iljasov G. U., Fedorova N. N. (1981). Laser beam and yield, Kainar, Alma-Ata, Kazahstan.
18. ISTA (2011). International Rules for Seed Testing. International. Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland

19. Jovanović G. (1998). Uticaj lasera male snage na zarastanje ekstrakcionihi hirurških rana usne duplje. Doktorska disertacija, Medicinski fakultet, Niš,
20. Koper R. (1994). Pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and its results in agrotechnics, Int. Agrophysics 8: 593-596.
21. Kordić A. (2020). Biološki učinci elektromagnetskog zračenja u urbanom okruženju, Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti, Zagreb
22. Lukačević I. A. (2016). Industrijska konoplja-morfološka obilježja, uzgoj i uporaba. Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet
23. Maršal D. (2019). Laseri i njihova primjena, Veleučilište u Karlovcu, Odjel sigurnosti i zaštite, Karlovac
24. Noha S., El Ghandoor H. (2010). Investigate the Effect of Nd-Yag Laser Beam on Soybean (Glycin max) Leaves at the Protein Level, International Journal of Biology 3 (2): 135-144.
25. Ouf S. A., Abdel-Hady N. F. (1999). Influence of He-Ne Laser Iradiation of Soybean Seeds on Seed Mycoflora, Growth, Nodulation, and Resistance to Fusarium solani, Folia Microbiol. 44 (4): 388-396.
26. Perveen R., Ali Q., Ashraf M., Al-Qurainy F., Jamil Y., Raza A. M. (2010). Effects of different doses of low power continuous wave HeeNe Laser radiation on some seed thermodynamic and germination parameters, and potential enzymes involved in seed germination of sunflower (Helianthus annuus L.), Photochem. Photobiol. 86: 1050-1055.
27. Pliestić S. (2007). Identifikacija samooporavljivih procesa u biološkim materijalima, Projekt MZOŠ RH.
28. Podleoeny J. (2002). Studies on influence of laser light on seeds, growth, development and yielding of the white lupine (Lupinus albus L.) plants (in Polish). Monografie I Rozprawy Naukowe, IUNG, Pulawy, 3: 1-59.
29. Podleoeny J., Misiak L., Koper R. (2001). Concentration of free radicals in faba bean seeds after the pre-sowing treatment of the seeds with laser light, Int. Agrophys 15: 185-189.
30. Poplašen D., Brumen V., Bućan D. (2015). Djelovanje elektromagnetskog zračenja na ljudski organizam. Sigurnost, 57 (4), 371-374.
31. Pospišil M. (2013.). Ratarstvo II. dio - industrijsko bilje., Zrinski d. d., Čakovec
32. Pravilnik o uvjetima za uzgoj konoplje, načinu prijave uzgoja maka te uvjetima za posjedovanje opojnih droga u veterinarstvu (NN 18/2012)
33. Pravilnik o temeljnim zahtjevima kakvoće, načinu ispitivanja, pakiranju i deklariranju sjemena poljoprivrednog bilja (NN 4/2005)
34. Prośba-Białczyk U., Szajsner H., Grzyś E., Demczuk A., Sacała E., Bąk K. (2013). Effect of seed stimulation on germination and sugar beet yield. International Agrophysics, Volume 27, Issue 2, pp.195-201.
35. Puljić I. (2017). Laseri u dermatologiji, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek

36. Sarcina M., Bouzovitis N., Mullineaux C. W. (2006). Mobilization of Photosystem II Induced by Intense Red Light in the Cyanobacterium Synechococcus sp. PCC7942, The Plant Cell 18: 457-464.
37. SAS Institute (2010): SAS/STAT Software: Changes and enhancements through Rel. 9.3. Sas Inst., Cary, NC, USA
38. Vasilevski G. (2003). Perspectives of the Application of Biophysical Methods in Sustainable Agriculture, Bulg. J. Plant Physiol., Special Issue 2003, 179–186.
39. Weber G., Monajembashi S., Wolfrum, J., Greulich, K. O. (1990). Genetic changes induced in higher plant cells by a laser microbeam, Physiologia Plantarum 79: 190-193.
40. Wilczek M., Koper R., Ćwinta l M., Kornilłowicz-Kowalska T. (2005). Germination capacity and health status of alfalfa seeds after laser treatment. International Agrophysics 19: 85–89.
41. Yasser A. H. Osman, Kareem M.K. El Tobgy, El Sayed A. El Sherbini (2009.). Effect of Laser Radiation Treatments on Growth, Yield and Chemical Constituents of Fennel and Coriander Plants, Medicinal and Aromatic Plants Department, Desert Research Center (DRC), Egypt
42. 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

Mrežni izvori:

43. Biljka budućnosti: Gajenje industrijske konoplje vrlo isplativo <https://www.agromedia.rs/agro-teme/ratarstvo/biljka-buducnosti-gajenje-indsutrijske-konoplje-vrlo-isplativo/>. Pristupljeno 2. srpnja 2021.
44. Industrijska konoplja: Vodič za uporabu i uzgoj <https://vutropedija.com/industrijska-konoplja/>. Pristupljeno 2. srpnja 2021.
45. Hemp plant. A flowering male and B seed-bearing female plant, actual size <https://hr.wikipedia.org/wiki/Konoplja#/media/Datoteka:Cannabis_sativa_Koehler_drawing.jpg>. Pristupljeno 10. srpnja 2021.
46. Sjemenke industrijske konoplje <https://opgdomjanic.hr/shop/cijena/sjemenke-industrijske-konoplje-1kg>. Pristupljeno 10. srpnja 2021.
47. Spektar elektromagnetnog zračenja <https://www.slideserve.com/samuel-buck/spektar-elektromagnetskog-zra-enja>. Pristupljeno 16. srpnja 2021.
48. Shematski prikaz lasera <https://zir.nsk.hr/islandora/object/kemos:145/preview>. Pristupljeno 18. srpnja 2021.

Životopis

Filip Dumić rođen je 26.03.1997. godine u Zagrebu. Odrastao je i živi u selu Kupinec, nedaleko od Zagreba. Školovanje je započeo 2003. godine u osnovnoj školi Klinča Sela. Godine 2011. upisao je srednju školu u Jastrebarskom, smjer opća gimnazija. Godine 2016. upisuje preddiplomski studij smjer poljoprivredna tehnika na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Godine 2019. završava preddiplomski studij smjer poljoprivredna tehnika na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu te je time stekao naziv sveučilišni prvostupnik (*Baccalaureus*) inženjer poljoprivredne tehnike. Iste godine upisuje diplomski studij smjer Mehanizacija na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Služi se engleskim jezikom u govoru i pismu te ima dobro znanje u poznavanju Microsoftovih programa (Word, Excell, Power Point) i interneta.