

ŠOLSKI CENTER VELENJE
GIMNAZIJA
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ SAŠA REGIJE

RAZISKOVALNA NALOGA:

VKLJUČEVANJE ALELOPATIJE V AKTUALNE OKOLJSKE IZZIVE

Tematsko področje:
EKOLOGIJA Z VARSTVOM OKOLJA

Avtorja:

Lenart Frankovič, 4. letnik
Vid Grušovnik, 4. letnik

Mentorici:

Irena Štimac, univ. dipl. biol.
Sandra Potušek, mag. varst. narav.

Velenje, 2023

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Gimnaziji Šolskega centra Velenje.

Mentorici: Irena Štimac, univ. dipl. biol., in Sandra Potušek, mag. varst. narav.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Gimnazija ŠC Velenje, šolsko leto 2022/2023
KG	Alelopatija / <i>Sinapis alba</i> / inhibicija kalitve / zaviranje rasti / invazivne vrste
AV	FRANKOVIČ, Lenart / GRUŠOVNIK, Vid
SA	ŠTIMAC, Irena / POTUŠEK, Sandra
KZ	3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
ZA	Gimnazija ŠC Velenje
LI	2023
IN	VKLJUČEVANJE ALELOPATIJE V AKTUALNE OKOLJSKE IZZIVE
TD	Raziskovalna naloga
OP	VII, 43 str., 6 pregl., 11 sl., 6 graf., 2 pril., 81 vir.
IJ	SL
JI	sl / en
AI	Alelopatija je posreden ali neposreden vpliv ene rastline na drugo z alelokemikalijami, ki jih rastline izločajo v okolje. Kljub temu da je področje že zelo uveljavljeno, se še vedno pojavlja veliko neznank glede delovanja posameznih alelokemikalij na tarčne rastline. Z raziskovalno nalogo sva želela preizkusiti vpliv posameznih alelopatskih rastlinskih vrst na kalitev semen in rast koreninic semen bele gorčice (<i>Sinapis alba</i>), kot dodatek pa sva izvedla tudi test na semenih invazivne vrste pelinolistne žvrklje (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>) ter izvedla poskus, kjer sva primerjala rezultate s komercialno dostopnim herbicidom. S pomočjo standardnih ekotoksikoloških testov sva poskušala definirati vpliv posameznih vodnih ekstraktov 11 alelopatskih rastlinskih vrst in ugotovila, da imajo vse izbrane rastlinske vrste zaviralen vpliv na kalitev semen in razvoj koreninic, pri čemer se zaviralna moč s koncentracijo povečuje. Za najboljša zaviralca sta se izkazala hmelj (<i>Lupuli strobuli</i>) in sivka (<i>Lavandula sp.</i>), ki sta najbolj učinkovito zavirala razvoj semen bele gorčice. Dobljeni rezultati nakazujejo velik potencial predvsem za uporabo vodnih ekstraktov kot bioherbicid v kmetijstvu v boju proti plevelu in invazivnim rastlinskim vrstam.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND	Gimnazija ŠC Velenje, school year 2022/2023
CX	Allelopathy / <i>Sinapis alba</i> / germination inhibition / growth inhibition / invasive species
AU	FRANKOVIČ, Lenart / GRUŠOVNIK, Vid
AA	ŠTIMAC, Irena / POTUŠEK, Sandra
PP	3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
PB	Gimnazija ŠC Velenje
PY	2023
TI	INVOLVING ALLELOPATHY IN CURRENT ENVIRONMENTAL CHALLENGES
DT	Research work
NO	VII, 43 p., 6 tab., 11 fig., 6 graf., 2 ann., 81 ref.
LA	SL
AL	sl / en
AB	Allelopathy is the indirect or direct influence of one plant on another through allelochemical substances that the plants release into the environment. Although the field is already well researched, there are still many unknowns regarding the effect of individual allelochemicals on target plants. With our research we wanted to test the influence of individual allelopathic plant species on seed germination and root growth of white mustard (<i>Sinapis alba</i>), in addition, we also conducted a test on the invasive species of wormwood (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>) and an experiment with a commercially available herbicide. Using standard ecotoxicological tests, we tried to determine the influence of individual aqueous extracts of allelopathic plant species and found that all selected plant species had an inhibitory effect on seed germination and root development, with the inhibitory effect increasing with concentration. The best inhibitors were hops (<i>Lupuli strobuli</i>) and lavender (<i>Lavandula sp.</i>), which were most effective in inhibiting the development of white mustard seeds. In general, all selected species have great potential for use as bioherbicides in the fight against weeds and invasive plant species in agriculture.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Namen.....	1
1.2	Cilji	1
1.3	Hipoteze.....	1
2	PREGLED LITERATURE	2
2.1	Zgodovina raziskovanja pojava alelopatije	2
2.2	Alelokemikalije.....	3
2.3	Uporaba alelopatije.....	4
2.4	Problematika invazivnih vrst	5
2.5	Izbrane rastlinske vrste	7
2.5.1	Alelopatske rastlinske vrste.....	7
2.5.1.1	Oreh (<i>Juglandis regia</i>).....	7
2.5.1.2	Kamilica (<i>Matricaria chamomilla</i>).....	8
2.5.1.3	Pelin (<i>Artemisia absinthium</i>)	8
2.5.1.4	Timijan (<i>Thymus vulgaris</i>).....	9
2.5.1.5	Kopriva (<i>Urtica dioica</i>)	9
2.5.1.6	Sivka (<i>Lavandula angustifolia</i>).....	9
2.5.1.7	Ameriški slamnik (<i>Echinaceae purpurea</i>).....	10
2.5.1.8	Bela omela (<i>Viscum album</i>)	10
2.5.1.9	Konoplja (<i>Cannabis sativa</i>)	11
2.5.1.10	Hmelj (<i>Humulus lupulus</i>).....	11
2.5.1.11	Njivska preslica (<i>Equisetum arvense</i>).....	12
2.5.2	Testni rastlinski vrsti	12
2.5.2.1	Bela gorčica (<i>Sinapis alba</i>).....	12
2.5.2.2	Pelinolistna žvrklja (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>).....	13
2.6	Proces kaljenja semena	14
3	MATERIALI IN METODE DE LA	15
3.1	Materiali.....	15
3.1.1	Alelopatske vrste	15
3.1.2	Testni vrsti.....	15
3.1.3	Herbicid	16
3.1.4	Ostali materiali	16
3.2	Metode dela	16
3.2.1	Uporaba alelopatskih rastlinskih vrst	16
3.2.2	Uporaba herbicida	18
3.2.3	Obdelava podatkov.....	19

3.2.4	Meritve dolžine koreninic	20
4	REZULTATI	22
4.1	Rezultati poskusa na semenu bele gorčice (<i>Sinapis alba</i>)	22
4.1.1	Vpliv na kalitev semen	22
4.1.2	Inhibicijski vplivi na rast koreninic	23
4.1.3	Izračun statističnih vrednosti EC50 in IC50	25
4.2	Aplikativna uporaba rezultatov	26
4.2.1	Rezultati poskusa pri uporabi herbicida	26
4.2.1.1	Vpliv na kalitev semen	26
4.2.1.2	Inhibicijski vplivi na rast koreninic	26
4.2.2	Rezultati poskusa na semenu pelinolistne žvrklje (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>) ..	28
4.2.2.1	Vpliv na kalitev semen	28
4.2.2.2	Inhibicijski vplivi na rast koreninic	30
5	RAZPRAVA	32
6	ZAKLJUČEK	35
7	POVZETEK	36
8	VIRI IN LITERATURA	37
9	ZAHVALA	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski prikaz prehajanja alelokemikalij v okolje (prevod po Aldrich idr., 1997) ..	3
Slika 2: Prikaz alelopatske vloge med invazivnimi in neinvazivnimi vrstami (prevod po Bao-Ming idr., 2017)	6
Slika 3: Posušene rastline alelopatskih rastlinskih vrst, iz katerih sva pripravila vodne ekstrakte različnih koncentracij (Foto: Frankovič L.)	15
Slika 4: Priprava raztopin različnih koncentracij (Foto: Grušovnik, V.)	17
Slika 5: Nanašanje raztopin v petrijevke (Foto: Frankovič, L.)	17
Slika 6: Dokončana petrijevka z gorčičnimi semeni (Foto: Frankovič, L.)	18
Slika 7: Dokončana petrijevka s semeni pelinolistne žvrklje (Foto: Frankovič, L.)	18
Slika 8: Pripravljene raztopine herbicida različnih koncentracij (Foto: Frankovič, L.)	19
Slika 9: Slikovni prikaz izračuna IC50-vrednosti za oreh (Foto: Grušovnik, V.)	20
Slika 10: Prvih devet korakov uporabe programa ImageJ (Foto: Frankovič, L.)	20
Slika 11: Zadnjih pet korakov uporabe programa ImageJ (Foto: Frankovič, L.)	21

KAZALO TABEL

Tabela 1: Skupno število vzkaljenih gorčičnih semen za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 48 urah	22
Tabela 2: Število vzkaljenih gorčičnih semen za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 48 urah	23
Tabela 3: Povprečna dolžina koreninic za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 72 urah	24
Tabela 4: Vrednosti EC50 in IC50 glede na posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto	25
Tabela 5: Število vzkaljenih semen pelinolistne žvrklje za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 96 urah	29
Tabela 6: Povprečna dolžina koreninic za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 120 urah	30

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Skupno število vzkaljenih gorčičnih semen za herbicid pri določeni koncentraciji po 48 urah	26
Graf 2: Povprečje dolžin koreninic semen bele gorčice za herbicid po 72 urah	27
Graf 3: Primerjava povprečnih dolžin koreninic semen bele gorčice po 48 urah med 25 % raztopinami in herbicidom	27
Graf 4: Primerjava povprečnih dolžin koreninic semen bele gorčice po 48 urah med 100 % raztopinami in herbicidom	28
Graf 5: Število vzkaljenih semen pelinolistne žvrklje za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 96 urah	29
Graf 6: Povprečna dolžina koreninic za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 120 urah	30

KAZALO PRILOG

Priloga A: Fotografije iz priprave raztopin	44
Priloga B: Fotografije iz laboratorijskega dela	45

1 UVOD

Alelopatija je definirana kot posreden ali neposreden vpliv ene rastline na drugo s t. i. alelokemikalijami, ki jih rastline izločajo v okolje. Te snovi lahko imajo na druge rastline pozitiven (spodbujajoč) ali negativen (zaviralen) vpliv. Alelokemikalije so prisotne skoraj v vseh rastlinah ali njenih delih, npr. v koreninah, listih, cvetovih, stebelu, cvetnem prahu, plodovih in semenih, ter se izločajo na različne načine (Putnam in Tang, 1986).

Takšni alelopatski odnosi so zelo pogosti za odnos med poljščinami in plevelom, ki lahko zaradi svoje agresivnosti, tekmovalnosti (tekmovanje za vodo, prostor, svetlobo, hranila ...) in izločanja alelokemikalij zavirajo rast poljščin in s tem bistveno zmanjšajo količino pridelka. Pri tem se potencialna izguba pridelka ocenjuje na 34 % (Oerke, 2006).

Plevel torej povzroča veliko škode v kmetijstvu in s tem skrbi kmetovalcem, ki se z njim poskušajo spopadati zlasti z uporabo kemičnih herbicidov. Njihova uporaba je danes zelo preprosta, predvsem pa gre za učinkovit ukrep, ki lahko pripelje tudi do nezaželenih posledic, kot so onesnaževanje okolja, škodljivi učinki na zdravje ljudi in živali, lahko pa se pojavi tudi trajna odpornost plevela na določene herbicide. Tako si države prizadevajo omejiti uporabo kemičnih sredstev in preiti na bolj trajnostne biološke metode. Ena izmed številnih bioloških metod je tudi zatiranje z alelopatijo, pri čemer se izkorišča negativne učinke alelokemikalij na druge rastline oz. v tem primeru na plevel.

1.1 Namen

Namen raziskovalne naloge je proučiti vpliv nekaterih domnevno alelopatskih rastlinskih vrst na kalitev semen in dolžino kalčkov ter tako raziskati možnost uporabe različnih rastlinskih vrst pri zaviranju ali omejevanju širjenja invazivnih vrst in s tem slediti sodobnim trendom v raziskovanju zatiranja rasti plevela.

1.2 Cilji

Z raziskovalno nalogo želiva ugotoviti, kakšen je alelopatični vpliv različnih rastlinskih vrst na kaljivost semen in rast koreninic bele gorčice (*Sinapis alba*) ter pelinolistne žvrklje (*Ambrosia artemisiifolia*) in ali imajo izbrane rastline enak alelopatični učinek tako na invazivno kot tudi na neinvazivno vrsto.

1.3 Hipoteze

Glede na izbrano tematiko in cilje, ki sva si jih zastavila, sva postavila tudi štiri hipoteze, ki sva jih kasneje skozi raziskovanje oz. na koncu potrdila ali ovrgla. Najine hipoteze so:

1. Z višanjem koncentracije vodnega ekstrakta izbranih vrst se alelopatični učinek zaviranja rasti koreninic in kaljivosti semen bele gorčice (*Sinapis alba*) povečuje.
2. Zaviralna moč vodnih ekstraktov alelopatskih rastlinskih vrst je večja v primeru semen bele gorčice (*Sinapis alba*) kot v primeru semen pelinolistne žvrklje (*Ambrosia artemisiifolia*).
3. Izbrane rastlinske vrste nimajo enako močnega vpliva na kalitev semen in rast koreninic.
4. Herbicid bo imel višji inhibicijski vpliv na rast in razvoj koreninic kot izbrane alelopatske rastlinske vrste.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 Zgodovina raziskovanja pojava alelopatije

Pojav alelopatije so prvič opazili že več kot 2000 let nazaj, ker pa predvsem tehnika v tistem času ni omogočala nadaljnjih raziskav, so raziskave hitro opustili (Rice, 1985).

Že 300 let pr. n. št. je Theophrastus ugotovil, da čičerika (*Cicer arietinum*) ne poživi tal, temveč jih izčrpa in tako uničuje plevel. Plinij je poročal, da čičerika (*Cicer arietinum*), ječmen (*Hordeum vulgare*), triplat (*Trigonella foenum-graecum*) ter grenka grašica (*Vicia ervilia*) "požgejo" koruzo, prav tako pa je ugotovil tudi, da senca orehovega drevesa (*Juglans regia*) škodljivo vpliva na človeka oz. lahko povzroči celo glavobol ter poškoduje vse, kar je posajeno v bližini (Rice, 1985).

Do podobnih zaključkov je prišel tudi pri boru (*Pinus*) in izpeljal tezo, da je lahko senca oreha (*Juglans regia*), bora (*Pinus*), smreke (*Picea*) ali jelke (*Abies*) strupena za katerokoli rastlino. Nasploh se je Plinij veliko ukvarjal z negativnimi vplivi na rast rastlin in tako je v svojih razpravah kot glavna vzroka navedel pomanjkanje dnevne svetlobe in kemikalije, ki uhajajo iz rastlin v okolje. Skozi raziskave je ugotovil tudi, da rastline, ki naj bi izločale posebne kemikalije, nimajo nujno negativnega vpliva na vse rastlinske vrste (npr. ugotovil je, da imata redkev in lovor negativen vpliv le na rast vinske trte), prav tako pa je ugotovil tudi, da je najboljši način za uničevanje praproti praprot sama (Rice, 1985).

Po antičnem obdobju so znanstveniki povsem opustili raziskave v povezavi z alelopatijo. Ta mrk je trajal vse do 17. stoletja, ko so se ponovno pojavila opažanja v zvezi z alelopatijo. Leta 1633 je Culpeper izjavil, da bazilika (*Ocimum basilicum*) in vinska rutica (*Ruta graveolens*) nikoli ne rasteta skupaj oz. druga blizu druge. Leta 1658 pa je Browne zapisal, da ima posamezna zelenjava lahko pozitiven ali negativen vpliv na rast drugih vrst zelenjave (Rice, 1984).

Lee in Monsi (1963) sta v japonskem dokumentu, starem približno 300 let, našla poročilo Banzana Kumazawe, ki omenja, da sta dež ali rosa, ki izpirata liste japonskega rdečega bora (*Pinus densiflora*), škodljiva za pridelke, ki rastejo pod borovci.

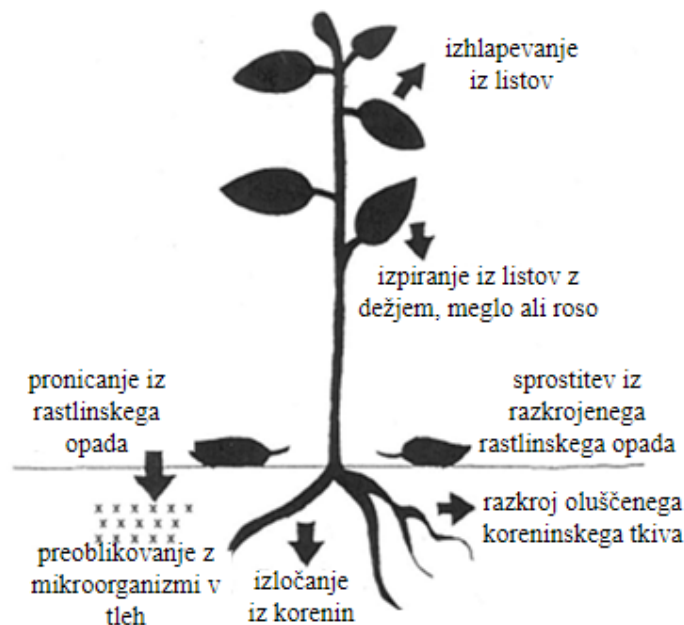
Podobnih opažanj je bilo v času srednjega veka kar nekaj, omembe o alelopatskih učinkih določenih rastlin pa so se znova pojavile šele v 19. stoletju. Med drugim sta leta 1881 Stickney in Hoy opazila, da je vegetacija pod črnim orehom (*Juglans nigra*) zelo redka v primerjavi s tisto pod večino dreves (Rice, 1984). Govorimo lahko torej o tem, da so znanstveniki vse do 20. stoletja na novo odkrivali dejstva, ki so bila odkrita že prej, v antičnem času.

Prvič je besedo alelopatija leta 1937 v knjigi "Der Einfluss einer Pflanze auf die andere – Allelopathie" uporabil avstrijski profesor Hans Molisch. Beseda izvira iz grških besed: allelon (medsebojni) in pathos (vpliv, trpljenje), kar torej pomeni medsebojni vpliv (Willis, 2007).

V nadaljevanju stoletja se je odvijala tekma med številnimi raziskovalci, saj je bilo potrebno določiti definicijo novi struji oz. poddisciplini področij biologije in kmetijstva. Najbolj sta se popolni definiciji leta 1997 približala Aldrich in Kremer.

Alelopatijo sta definirala kot biološki pojav, s katerim nek organizem proizvaja eno ali več biokemikalij, ki vplivajo na kalitev, rast, preživetje in razmnoževanje drugih organizmov s posebnimi snovmi, ki jih izločajo. Te snovi so znane kot alelokemikalije in lahko ugodno

(stimulativno) ali negativno (zaviralno) vplivajo na ciljne organizme in združbe. Takšne alelokemikalije je mogoče najti v listih, cvetovih, koreninah, plodu ali stebelu, lahko pa so že izločene v okolje ali se nahajajo v okoliški prsti. Ponavadi se izločajo z izhlapevanjem, izparevanjem, z opadom, roso, dežjem ali razgradnjo ostankov (Aldrich in Kremer, 1997).



Slika 1: Shematski prikaz prehajanja alelokemikalij v okolje (prevod po Aldrich idr., 1997)

Dakshini (1999) je razlagal alelopatijo v širšem pomenu in trdil, da snovi, ki jih nekatere rastline izločajo v okolje, ne vplivajo le na druge rastline, temveč na okolje kot celoto.

Đikić (2004) navaja, da rastline, ki rastejo v neposredni bližini, vplivajo druga na drugo na različne načine. Najpogostejša vpliva sta alelopatija in kompeticija. Procesi, s katerimi rastlina iz okolja pridobi več razpoložljivih virov (kot so hranila, voda ali svetloba) brez vsakršnega kemičnega delovanja na okoliške rastline, se imenuje kompeticija oz. tekmovanje za naravne vire. Kadar se pojavi neko kemično delovanje, ki je povezano z biološkimi interakcijami, pa govorimo o alelopatiji. Kompeticija ni negativna alelopatija, čeprav lahko oba procesa delujeta skupaj za povečanje stopnje preživetja rastlinskih vrst.

V naravi potekajo alelopatski odnosi med posameznimi rastlinami, nato med dvema posevkoma, dvema pleveloma in med posevkom in plevelom. Zato je alelopatija zelo pomemben dejavnik v ekologiji, vpliva pa lahko tudi na ekosistem in biotsko pestrost (Alam, 2001).

2.2 Alelokemikalije

Alelokemikalije so najpogostejše sekundarni metaboliti ali njihovi produkti in imajo bistveno vlogo pri primarnem metabolizmu, ki je bistvenega pomena za preživetje rastlin (Swain, 1977). Alelopatsko delovanje kaže več vrst organskih spojin, najpogostejše snovi pa lahko razdelimo v pet skupin: alkaloidi, terpenoidi, steroidi, fenilpropanske spojine in acetogenini. Razlikujejo se po kemijski sestavi in vrsti organizma, na katerega delujejo.

Rice (1984) razvršča različne alelokemikalije v naslednje kategorije:

1. enostavne organske kisline, topne v vodi: alkoholi z ravno verigo, alifatski aldehidi in ketoni,
2. preprosti nenasičeni laktoni,
3. dolgoverižne maščobne kisline in poliacetileni,
4. naftokinoni, antrakinoni in kompleksni kinoni,
5. enostavni fenoli, benzojska kislina in njeni derivati,
6. cimetova kislina in njeni derivati,
7. flavonoidi,
8. tanini,
9. terpenoidi in steroidi,
10. aminokisline in polipeptidi,
11. alkaloidi in cianohidrini,
12. sulfidi in glukozidi,
13. purini in nukleotidi.

Spekter alelokemikalij je torej zelo širok in temu primerno je vpliv na posamezne rastline zelo različen. Najpogostejši fiziološki vplivi so na dihanje, fotosintezo, vodni potencial, funkcijo rež, prevodnost tkiv, sprejem mineralnih snovi, prevodnost in strukturo membran ter membranskih proteinov, delitev in rast celic, sintezo proteinov in funkcijo encimov ter delovanje rastlinskih hormonov; lahko pa vplivajo tudi na dostopnost hranil v tleh. Še vedno velja, da njihov način delovanja pogosto ni raziskan, drži pa, da ima veliko alelopatskih kemikalij bolj dramatične posledice na kalitev semen kot na rast in vitalnost odrasle rastline (Singh in Thapar, 2003).

Izločanje alelokemikalij se od rastline do rastline razlikuje in je odvisno od okoljskih parametrov, prisotnosti konkurentov in rastlinojedih živali ali od stresa, pod katerim deluje rastlina (Zeman, 2011).

Vpliv alelokemikalij je odvisen tudi od lastnosti obeh rastlin, torej tako od donorske rastline kot tudi od rastline, na katero posamezna alelokemikalija deluje. Zato različno delujejo alelokemikalije iz različnih rastlinskih vrst na isto vrsto in tudi alelokemikalije iz istih vrst na različne rastlinske vrste (Rice, 1984).

2.3 Uporaba alelopatije

Znanstveniki so raziskovali alelopatske odnose v nadzorovanih in v naravnih ekosistemih. Več raziskav kaže, da ima alelopatija velik potencial za nadzorovanje rasti plevela. V rastlinah iščejo tudi gene, ki so povezani z izločanjem in proizvodnjo alelopatskih kemikalij, kar bi lahko bilo ključno pri nadaljnji uporabi alelopatije kot metode za zatiranje plevela in drugih invazivnih vrst.

Obstaja že veliko načinov, kako zatirati plevel z alelopatičnimi lastnostmi posameznih rastlin oz. poljščin, raziskave načinov zatiranja invazivnih vrst s pomočjo alelopatije pa so še v fazi razvoja. Tako so splošno znani načini zatiranja plevela, kot so denimo kolobarjenje ali kombiniranje posevkov (Putnam in Duke, 1978; Barnes in Putnam, 1986), vzreja sort poljščin z geni, ki povečajo alelopatski potencial ter vzgoja rastlin s pomočjo toksičnih izvlečkov iz alelopatskih rastlin (Habib in Rahman, 1988), zeleno gnojenje (Singh, 2003) in uporaba

naravnih herbicidov oz. bioherbicidov (Putnam, 1988; Lovett, 1990). Med vsemi temi načini so najbolj kritični zlasti do uporabe bioherbicidov, saj so večinoma uspešni le proti eni sami vrsti plevela, ki navadno dokaj hitro postane odporna, pri čemer gre kasneje ob nadaljnji uporabi le še za onesnaževanje okolja.

Najuporabnejše bi bilo tako zatiranje plevela s pomočjo izvlečkov alelopatičnih rastlin ali pa direktno z rastlinami, za katere vemo, da so alelopatične. Mikulas idr. (1994) so preučevali vpliv aromatičnih in zdravilnih rastlinskih izvlečkov na plevel in ugotovili, da imata ognjič (*Calendula officinalis*) in bazilika (*Ocimum basilicum*) izrazito zaviralni učinek na rast plevela.

Joel (1997) navaja, da eterična olja nekaterih aromatičnih rastlin zmanjšujejo kalitev in razvoj parazitskega plevela *Cuscuta campestris*. Raziskoval je vpliv 12 aromatičnih rastlin na naveden plevel in ugotovil, da večina izbranih rastlin zavira razvoj plevela. Rastline so zavirale tudi rast drugih vrst plevela (npr. *Solanum nigrum*, *Amaranthus retroflexus*). Pri tem je ugotovil tudi, da je močan zaviralec divji pelin (*Artemisia judaica*). Kromatografska analiza je kasneje pokazala, da pelin vsebuje monoterpen, ki so glavni razlog za alelopatične lastnosti.

Tudi Đikić (1999) se je posvečal raziskovanju uporabe alelopatije. Raziskoval je vpliv aromatičnih in zdravilnih rastlin na 9 plevelov. Predpostavljal je, da bodo izbrane rastline izkazale močan alelopatski potencial, kar se je izkazalo za pravilno razmišljanje. Za močna zaviralca sta se izkazala kamilica (*Matricaria chamomilla*) in timijan (*Thymus vulgaris*), tudi druge uporabljene rastline so pokazale dobre rezultate na določene vrste plevela.

Kljub številnim uspešnim študijam se kmetje še vedno otepajo uporabe alelopatije in alelokemikalij v kmetijstvu. Glavni razlog je učinkovitost, saj naj bi bila organsko narejena škropiva oz. izvlečki alelopatskih rastlin še vedno manj učinkovit način zatiranja plevela. V zadnjih letih so se stvari vseeno nekoliko spremenile. Pojavila sta se nova zakonodaja in težnja sveta po zmanjšanju uporabe sintetičnih škropiv. Ta sprememba je posledica dejstva, da imajo naravne spojine razmeroma kratko razpolovno dobo v okolju (Li idr., 2005).

Alelopatija je še vedno tema številnih kmetijskih študij. Pri tem ne gre le za iskanje načina zatiranja plevela oz. invazivnih vrst, pač pa tudi za poskus izkoriščanja pozitivne alelopatije kot pospeševalca rasti posameznih rastlinskih vrst. Ideja sta podala že Putnam in Weston (1986), saj sta trdila, da alelokemikalije v višjih koncentracijah zavirajo rast nekaterih rastlin, medtem ko v manjšem spodbujajo rast. To značilnost posameznih alelokemikalij oz. posredno rastlin, ki jih izločajo, bi lahko uporabljali za povečanje količine pridelka.

Alelopatija je torej zelo praktičen in koristen pojav. Potencial za uporabo alelopatskih rastlin in njihovih izvlečkov je velik, saj so lahko uporabljeni kot pospeševalec in zaviralec rasti drugih rastlin oz. plevela.

2.4 Problematika invazivnih vrst

Manj znanega je na področju uporabe alelopatije za zaviranje invazivnih vrst. Pri pojmu invazivne vrste gre za vrste, katerih ustalitev in širjenje ogroža biotsko raznovrstnost (ekosisteme, habitate ali druge vrste) ali zdravje ljudi in gospodarstvo. Najpogostejše rastejo ob cestah, železnicah, gradbiščih, opuščenih vrtovih ter ob rekah in potokih. Vsaj v primeru ozemlja Republike Slovenije gre v večini primerov za tujerodne vrste, ki povzročajo težave domorodnim vrstam, saj jih izpodrivajo, prenašajo pa tudi bolezni in zajedavce, proti katerim domorodne vrste niso odporne oz. se nanje ne morejo prilagoditi. Vse to ogroža biotsko raznovrstnost (<https://www.gov.si teme/invazivne-tujerodne-vrste-rastlin-in-zivali/>, 3. 2.

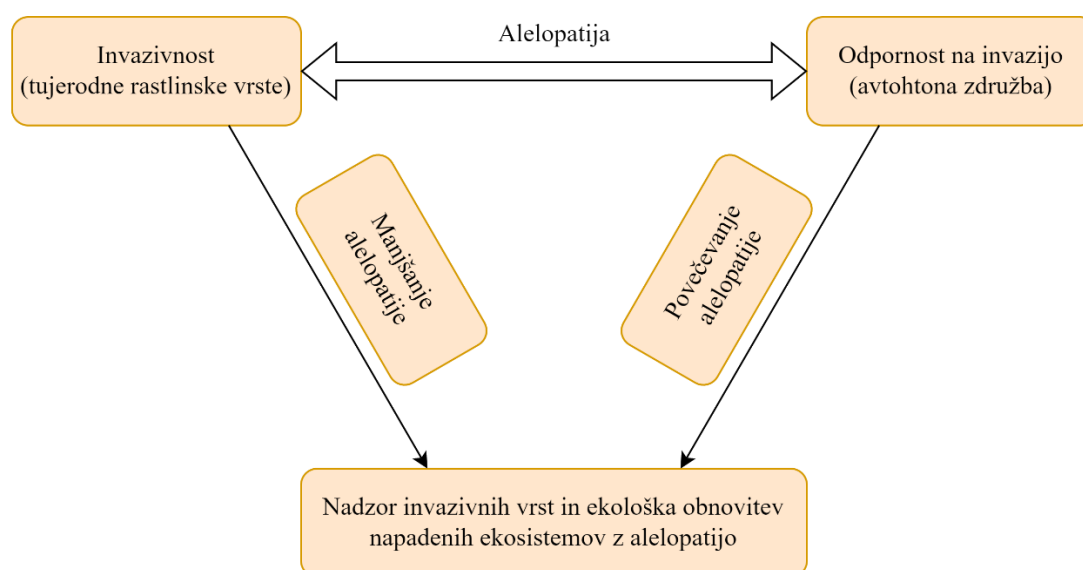
2023), takšne rastline pa povzročajo tudi veliko nevšečnosti ljudem tako v zdravstvenem kot tudi v gospodarskem smislu.

Invazivne vrste lahko na domorodne vrste vplivajo na več načinov. Na ravni vrst tujerodne izpodrivajo domorodne vrste zaradi tekmovanja za skupne vire (hrana, življenjski prostor in podobno). Npr. japonski dresnik s svojim hitrim razraščanjem tvori monokulture, saj s svojo hitro rastjo in gostimi sestoji izpodriva naravno rastje. Invazivne tujerodne vrste pogosto vplivajo na medvrstne odnose ter na pretok snovi in energije v naravi, kar vpliva na ekosisteme. Tujerodne vrste lahko služijo tudi kot vektorji za prenos bolezni in parazitov, na katere domorodne vrste niso odporne ali prilagojene (<https://www.gov.si teme/invazivne-tujerodne-vrste-rastlin-in-zivali/>, 3. 2. 2023).

Glavna lastnost za osupljiv uspeh številnih invazivnih vrst kot vsiljivcev v nekaterih drugih rastlinskih skupnostih ali tudi v njihovih domačih skupnostih je, da so pobegnili naravnim sovražnikom, ki nadzorujejo njihovo rast – »hipoteza naravnih sovražnikov« (Hierro in Callaway, 2003). Gre za to, da so nekatere invazivne vrste "pobegnile" iz svojih naravnih habitatov in si "izbrale" nova območja, kjer bodo ob prisotnosti šibkejših vrst organizmov bistveno uspešnejše. Veliko invazivnih rastlin je zelo uspešnih tudi v domačem, primarnem okolju, zato Hierro in Callaway ne izključujta možnosti, da tudi te rastline izločajo alelokemikalije, ki vplivajo na rast tekmecev.

Hierro in Callaway navajata tudi, da je razlog, zakaj so nekatere invazivne rastline tako uspešne v novih okoljih, da v novo okolje prinašajo nove mehanizme interakcij, ki jih domače vrste ne poznajo in se nanje zelo težko privadijo. Eden takšnih mehanizmov je tudi pojav zelo močne alelopatije, ki je domače rastline niso vajene. V končni fazi lahko pride do evolucijskega odziva napadenih skupnosti, lahko pa tudi do popolnega uničenja neke populacije rastlin (Callaway in Aschehoug, 2000).

Njuno teorijo potrjuje tudi skupina kitajskih znanstvenikov, ki navajajo, da lahko omejimo širjenje invazivnih vrst samo tako, da omejimo alelopatijo invazivne vrste. Takšen nadzor nad invazivnimi vrstami in ekološko obnovo napadenih ekosistemov lahko dosežemo le z nasprotno enakim vplivom. Tako bi lahko uporabljali alelopatične domorodne vrste za zatiranje tujerodnih invazivnih vrst oz. za omejitev njihove alelopatije (Bao-Ming idr., 2017).



Slika 2: Prikaz alelopatične vloge med invazivnimi in neinvazivnimi vrstami (prevod po Bao-Ming idr., 2017)

Ker za mehansko zatiranje invazivnih vrst potrebujemo veliko časa in ker je kemično zatiranje zelo drago ter močno onesnažuje okolje, se pojavlja vse več študij o biološkem zaviranju invazivnih vrst. Učinkoviti biološki metodi bi tako lahko bili sajenje antagonistov dani invazivni vrsti oz. izkoriščanje alelopatičnega potenciala domačih rastlin. Veliko avtohtonih vrst proizvaja alelokemikalije, ki bi lahko delovale kot novo orožje proti tujerodnim invazivnim sortam in krepile domač ekosistem, ki bi tako postajal odpornejši.

Poleg učinkov na cilj invazivnih rastlin je treba upoštevati, ali alelokemikalije vplivajo na neciljne organizme. Zato so potrebne še nadaljnje študije, s katerimi bi lahko ugotovili, katere rastline oz. alelokemikalije so pravzaprav primerne za uporabo kot antagonisti. Poleg tega je smiselno testirati tudi dolgoročne alelopatske učinke na avtohtone skupnosti (Bao-Ming idr., 2017).

2.5 Izbrane rastlinske vrste

V raziskovalni nalogi sva uporabila več rastlinskih vrst – alelopatske in testne vrste. Uporabljala sva 11 alelopatskih vrst, vpliv alelokemikalij iz izbranih vrst pa sva opazovala na dveh testnih vrstah.

2.5.1 Alelopatske rastlinske vrste

2.5.1.1 Oreh (*Juglandis regia*)

Oreh je vsesplošno uporaben, uporablja se tako v kulinariki kot tudi v farmaciji oz. medicini. V farmaciji se uporabljajo predvsem orehovi listi. Njihovi ekstrakti zožujejo površino krvnih žil in tako zmanjšuje vnetja. Oreh čisti kri, deluje proti novotvorbam ter blago odvaja vodo.

Povezave med orehom in alelopatijo so se pojavile že zgodaj v antiki, ko so ugotovili, da orehova senca predstavlja "strup" za rastline, ki tam rastejo. Če pogledamo to z znanstvenega vidika, lahko ugotovimo, da je oreh močno alelopatičen in v svoji bližini ne omogoča rasti zelnatih in lesnih rastlin. Gries (1943) navaja, da je senca orehovega drevesa strup za vse rastline znotraj njegovega kompasa. Gre torej za območje, do koder segajo drevesne korenine in tam naj ne bi rastlo praktično nič omembe vrednega.

Snov oz. alelokemikalija, ki jo oreh izloča, je hidrojuglon, ki je prisoten predvsem v listih, lupinah plodov, notranjem lubju in koreninah, ob navzočnosti drugih rastlin pa se spremeni v strupeno obliko oz. juglon (5-hidroksi-1,4-naftalenedion). Gre torej za čas, ko si v bližini svoj prostor poskuša izboriti druga rastlina. Takrat oreh začne izločati hidrojuglon, ki kasneje reagira s kisikom iz ozračja in postane izrazito alelopatičen za omenjeno rastlino (Hua idr., 2019).

Juglon na drugo rastlino navadno deluje tako, da omejuje dihanje listnih ploščic z zaviranjem prevzemanja kisika, kar v končni fazi vpliva na raztezanje korenin, v manjši meri pa tudi na kalitev semen. Vpliva pa tudi na kopičenje suhe mase rastlin, ki se v času delovanja juglona prav zaradi odsotnosti kisika bistveno zmanjša. Ima pa juglon večji vpliv na zelišča oz. zelnote kot na lesne rastline, saj je pri zeliščih naloga prejetanja kisika zelo omejena oz. je omejena le na liste (Willis, 2000).

Jasno ni vse le v prisotnosti juglona. Alelopatični učinek posameznega orehovega drevesa je odvisen tudi od občutljivosti pridruženih vrst na juglon, od velikosti in gostote orehov ter talnih in podnebnih razmer na določenem področju, ki nadzoruje odlaganje juglona (Willis, 2000).

2.5.1.2 Kamilica (*Matricaria chamomilla*)

Kamilica je enoletna rastlina, ki jo najdemo ob poteh, na poljih in vrtovih. Raste po vsej Evropi in velja za enega najbolj razširjenih žitnih plevelov. V ljudski medicini velja kamilični čaj za vsestransko zdravilnega, zdravstvene učinke kamilice pa so potrdili tudi v farmaciji. Vseprošno znano dejstvo je, da kamilica pomaga pri lajšanju trebušnih težav, pomaga pa tudi pri prehladnih obolenjih, vnetjih sluznice ust in žrela, blažjih kožnih vnetjih, površinskih ranah ter manjših turih (<https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/kamilica-prava>, 10. 2. 2023).

Kamilica velja za zelo nežno rastlino, vendar se ta lastnost, ko govorimo o boju za življenjski prostor, ne opazi, saj gre za izrazito alelopatično rastlino. Znanstveniki so že večkrat proučevali alelopatski potencial kamilice in pri tem ugotovili, da je njen potencial odvisen od razmer in oblike, v kateri se nahaja kamilica oz. njene alelokemikalije.

Đikić (2005) je proučeval alelopatski potencial suhe in sveže biomase kamilici na kalitev in maso sadik drobnocvetnega rogovilčka (*Galinsoga parviflora*) ter navadnega kostreba (*Echinochloa crus-galli*). Pri tem je opazil, da imata ekstrakta različen učinek na plevel, pri čemer je veliko uspešnejša pri zaviranju suha biomasa kamilice, oba ekstrakta pa sta imela negativen učinek na izbran plevel. Razlike med ekstrakti, pripravljenimi iz sveže ali suhe biomase, so opazili tudi Marinov-Serafimov (2010) ter Ravlić idr. (2013).

Nekatere študije navajajo tudi, da sveža biomasa kamilice v nižjih koncentracijah celo spodbujajo rast rastlinskih vrst v bližini, medtem ko se stopnja zaviranja rasti enakomerno povečuje s koncentracijo pri večini študij. Alelokemikalije, ki jih izloča kamilica, vplivajo zlasti na dolžino korenin in poganjkov ter svežo maso rastlin, na katere delujejo (Ravlić idr., 2013).

2.5.1.3 Pelin (*Artemisia absinthium*)

Pelin so poznala že stara ljudstva zlasti na območju današnjega Irana. Tam je raslo približno 34 različnih vrst pelina, ki so jih uporabljali zlasti za potrebe ljudske medicine. Domorodci so uporabljali nadzemne dele teh rastlin zaradi njihovih protivirusnih in protibakterijskih učinkov (Ramezani idr., 2005). Danes je pelin poznan zlasti po spodbujanju apetita, povečevanju izločanja prebavnih sokov in nasploh blagodejnem vplivu na prebavo.

O alelopatskih značilnostih pelina je bolj malo znanega oz. na to temo ne obstaja prav veliko študij, saj so ga kot rastlino z alelopatskim potencialom začeli raziskovati šele v zadnjem desetletju. V nekaterih raziskavah, ki vseeno obstajajo, se je pelin izkazal kot vrsta z zelo velikim alelopatskim potencialom.

Pelin naj bi izločal posebna eterična olja, ki popolnoma zavirajo kalitev. Kemična analiza teh eteričnih olj je pokazala, da je ta učinek posledica prisotnosti piperitonskih monoterpenov, ki zavirajo kalitev in rast številnih plevelov oz. njihovih semen. Prav tako naj bi pelin izločal tudi spojino absint, ki deluje zaviralno na številne rastline (npr. *Foeniculum vulgare*, *Carum carvi*, *Ocimum basilicum* ...) (Afolayan in Bvenura, 2018).

Pelin tako deluje strogo zaviralno na izbrane rastline in v nobenem primeru ne deluje pospeševalno ali pozitivno na opazovano vrsto. Pelin vpliva zlasti na dolžino poganjkov in korenin, podobno kot pri vseh ostalih rastlinah se kasneje s povišanjem koncentracije poveča tudi alelopatski vpliv (Pirzad idr., 2010).

2.5.1.4 Timijan (*Thymus vulgaris*)

Timijan izvira iz sredozemskih in njim sosednjih držav, danes pa je razširjen po celem svetu. Že stoletja se uporablja v kulinariki in zeliščni medicini, zlasti za zdravljenje kašlja, sladkorne bolezni, prehlada, okužb dihal in za lajšanje vnetega grla (Kuete, 2017). V zadnjem času se timijanova eterična olja vse bolj uporabljajo tudi v kozmetiki.

Timijan je sestavljen iz več različnih spojin, ki bi lahko delovale tudi alelopatično. Fitokemične sestavine timijana so: fenoli, terpenoidi, predvsem pa timol, evgenol in saponini (Ekoh idr., 2014). Alelopatske lastnosti timijana naj bi bile posledica njegovih eteričnih olj, katerih glavni sestavini sta timol in karvakol (Szczepanik idr., 2012).

Timijan ima definitivno alelopatske sposobnosti, kar potrjujejo številne študije, ki so do sedaj proučevale alelopatski potencial timijana. Timijan deluje zaviralno na kaljivost in rast korenin, njegov zaviralni učinek pa se večja s koncentracijo učinkovine (Isik idr., 2016).

V raziskavi skupine kitajskih znanstvenikov je opisan ekstremno negativen vpliv timijana na kalitev semen, saj je timijan v celoti zaviral kalitev semen testne vrste. Eterično olje timijana je sprožilo tudi pomembno insekticidno aktivnost na testno vrsto kot glavna alelokemikalija, prisotna v timijanu, pa je bil spoznan karvakol (Zhou idr. 2021).

2.5.1.5 Kopriva (*Urtica dioica*)

Kopriva je divja rastlinska vrsta, ki najpogosteje raste kot plevel na zanemarjenih mestih, obcestnih jarkih, ob robu polj ... Zaradi velikega potenciala za uporabo v zdravstvene namene je kopriva aktualna tema raziskav v farmaciji, kjer proučujejo zlasti uporabo ob težavah s prostato. V številnih raziskavah se je kopriva izkazala kot zelo dober diuretik, odkrili pa so tudi njen analgetičen učinek (<https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/kopriva-velika>, 6. 2. 2023).

Dar idr. (2012) navajajo, da so pri koprivi listi zanimiv vir biološko aktivnih spojin, ki se lahko uporabljajo za terapijo pri ljudeh, kar upravičuje njihovo tradicionalno uporabo za zdravljenje sladkorne bolezni, artritisa in nalezljivih bolezni, prav tako pa gre tudi za potencialni vir bioaktivnih snovi, ki lahko delujejo tudi alelopatično.

Bojović idr. (2015) so v svoji raziskavi ugotovili, da je učinek vodnega ekstrakta koprive na kalitev semena, dolžino korenin in težo rastlin odvisen od koncentracije raztopine in vrste rastline, na katero deluje. Tako različne koncentracije ekstraktov spodbujajo kalitev pšenice, zavirajo kalitev ječmena, kalitev ovsa pa spodbujajo v nižjih in zavirajo v višjih koncentracijah. Podobno je tudi pri dolžini kalčkov, medtem ko pretežno vse raztopine znižujejo suho maso rastlin.

Kopriva torej definitivno izloča alelokemikalije oz. deluje alelopatično na druge rastline, pri tem pa njen vpliv ni nujno negativen oz. lahko tudi pozitivno vpliva na rast določenih rastlin.

2.5.1.6 Sivka (*Lavandula angustifolia*)

Sivka je vednozeleni, močno razvejen in gosto raščen grm, ki je razširjen zlasti po Sredozemlju, predvsem v Dalmaciji, Grčiji, severni Afriki, Iranu in Franciji, kjer jo gojijo za parfumsko industrijo. Pri nas ne raste kot divja rastlina, pač pa krasi številne vrtove, še posebej julija in avgusta, ko cveti.

Sivka je bila zelo priljubljena rastlina že v času starih Rimljanov, ki so jo uporabljali za dišavne kopeli, saj so verjeli, da obnavlja kožo. Danes sivko najpogosteje uporabljamo prav kot dišavo, pogosto pa tudi kot dodatek jedem oz. začimbo, kar je značilno zlasti za mediteransko kuhinjo (Castle idr., 2002).

Gre torej za na videz nežno rastlino, ki je tudi izrazito alelopatična. Nazemi idr. (2018) v svoji raziskavi ugotavljajo, da je plevel zelo občutljiv na izvlečke sivke in da se gostota plevela ob prisotnosti izvlečkov sivke izrazito zmanjša. Prav tako so ugotovili, da je stopnja učinkovitosti zatiranja plevela odvisna tudi od koncentracije raztopin oz. izvlečkov, pripravljenih iz sivke, in da uporabljene raztopine delujejo izrazito negativno na rast plevela.

Bistvene sestavine sivke so sestavljene iz kumarina (Tiliacos idr., 2008). Od 18 vrst kumarina, pridobljenih iz sivke, je prav kumarin sam najbolj fitotoksičen oz. alelopatičen za druge rastline (Haig idr., 2009). Kumarin naj bi imel negativne vplive tudi na druge škodljivce, npr. bakterije (Karamanoli idr., 2000), glive (Moon idr., 2007) in žuželke (Papachristos idr., 2004).

2.5.1.7 Ameriški slamnik (*Echinaceae purpurea*)

Ameriški slamnik je cvetica, ki lahko ima bele ali roza cvetove. Rastlina najbolje uspeva na vlažnih, obdelanih tleh in sončnih ali polsenčnih legah. Pogosto je zasajen v vrtovih in parkih kot okrasna rastlina, uporablja pa se tudi v zdravstvu, saj ima ugodne učinke na imunski sistem.

Pripravke iz podzemnih in nadzemnih delov ameriškega slamnika so v ljudski medicini poznani že zelo dolgo, v farmaciji pa proučujejo zlasti njegovo antibakterijsko delovanje. Pripravki iz ameriškega slamnika naj bi imeli zelo dober vpliv na imunski sistem, saj s stimulativnimi spojinami povečujejo delovanje celic, ki skrbijo za imunski odziv (<https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/ameriski-slamnik>, 16. 2. 2023).

Ameriški slamnik lahko deluje tudi izrazito alelopatično. Po kemijski plati ameriški slamnik vsebuje fenole (fenilpropanoidi, flavonoidi), terpenoidne spojine, lipidne spojine, spojine z dušikom (alkilamidi in alkaloidi) in polisaharide. Za alelopatski učinek rastline pa naj bi bili ključni terpeni oz. terpenoidne spojine, ki ji proizvaja rastlina (Piechowski in Reese, 1997).

Ameriški slamnik proizvaja veliko biološko aktivnih spojin, ki so pokazale alelopatske učinke na solato (*Lactuca sativa*), navadno travo (*Panicum virgatum*) in prerijsko kapljico (*Sporobolus heterolopis*), te naravne alelopatske kemikalije pa se lahko uporabijo tudi za proizvodnjo herbicidov, ki so varni za okolje (Piechowski in Reese, 1997).

Viles in Reese (1996) navajata, da ameriški slamnik proizvaja hlapne (npr. monoterpeni, seskviterpeni) in vodotopne spojine (npr. kofeinska kislina), ki lahko delujejo kot alelopatski zastopniki. Te snovi pomembno vplivajo na kalitev semen, raztezek korenin ter vsebnost klorofila rastlinskih vrst, na katere delujejo.

2.5.1.8 Bela omela (*Viscum album*)

Bela omela je polzajedalska rastlina in je odvisna od dreves, na katerih raste. Ta močno razvejan grm uspeva zlasti na iglavcih in listavci z mehkim lubjem. Glede na drevesa, na kateri raste bela omela (npr. jablana, hrast, jelka, topol), se razlikuje tudi njena uporaba v farmaciji.

Zdravilni učinki bele omele so bili znani že v preteklosti. Danes je splošno znano, da izvlečki bele omele pomagajo pri epilepsiji, oslovskem kašlju, napadih omotice, astmi, amenoreji, driskah, nervozi ... Bela omela se uporablja tudi v obliki podpornega zdravljenja krvno-žilnih

težav, predvsem pa pri blago povišanem krvnem tlaku. V zadnjem obdobju so vse številčnejše tudi raziskave o uporabi bele omele kot oblika podpornega zdravljenja terapije raka, proučuje pa se tudi potencial bele omele kot sredstva za krepitev imunskega sistema (<https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/omela-bela>, 16. 2. 2023).

Spekter zdravilnih učinkovin bele omele je torej zelo širok, rastlina pa je poznana tudi po svojih alelopatijskih lastnostih, ki pa še niso povsem dobro raziskane. Bela omela vsebuje kumarine in laktone hidroksicimetne kisline. Te spojine so pomembne v ekoloških interakcijah med rastlinami, ker delujejo kot alelokemikalije in upočasnjujejo kalitev ter rast iste oz. drugih rastlinskih vrst (Kupidłowska idr., 1994).

2.5.1.9 Konoplja (*Cannabis sativa*)

Konoplja je bila ena prvih rastlin, ki jo je človek uporabljal za vlakna, hrano, zdravila ter v družbenih in verskih obredih. Uporabljale so jo že antične in predantične civilizacije. V različnih delih Indije so konopljo uporabljali kot zdravilo za številne bolezni ter za izboljšanje fizičnega in duševnega stanja uporabnika, uporabljali pa so jo tudi za zdravljenje gobavosti na Kitajskem (Mechoulam, 2019).

Konoplja je vsesplošno uporabna rastlina, ki je uporabna tako na področju farmacije kot tudi v industriji. Prvi so jo začeli gojiti in uporabljati Kitajci. Uporabljali so jo zlasti za tekstil, vrvi, rekreativno uporabo in v medicini. Pred približno 200 leti so odkril konopljino analgetično (protibolečinsko), antiemetično (proti bruhanju) in antikonvulzivno (proti krčem) delovanje. Prav tako so odkrili, da spodbuja apetit in da deluje kot mišični relaksant (Amar, 2006).

Konoplja ima najmočnejša poznana rastlinska vlakna, zato se možnost za njeno uporabo kaže na številnih področjih tudi v industriji. Iz njenih vlaken se tako proizvajajo: blago, vrvi, gradbeni materiali, plastika, biodizel ... Vse pogostejša je tudi uporaba konoplje v kozmetiki in podobnih strokah.

Konoplja vsebuje vsaj 460 različnih substanc, od katerih je vsaj 66 kanabinoidov, veliko večino ostalih spojin pa predstavljajo trpeni, ki naj bi bili največji krivec za alelopatične sposobnosti konoplje (Downer in Campbell, 2010).

Mahmoodzadeh idr. (2015) v svoji raziskavi navajajo, da izvlečki iz delov poganjkov konoplje v visokih koncentracijah zaviralno vplivajo na indekse kalivosti, izvlečki iz korenin pa na kalitev semen nimajo bistvenega vpliva.

Do podobnih ugotovitev je prišla tudi skupina poljskih znanstvenikov, ki so ugotovili, da ekstrakt konoplje zmanjša stopnjo kalitve semen, poudarjajo pa tudi, da lahko izvlečki konoplje v nižjih koncentracijah na kalitev semen delujejo celo stimulatивно (Pudełko idr. 2014).

2.5.1.10 Hmelj (*Humulus lupulus*)

Hmelj je ovijalka, značilna predvsem za jugozahodno Azijo in Severno Ameriko. V Evropi je naravno redek, najdemo pa ga predvsem v obliki gojenega hmelja v nasadih. Rastlina je med drugim značilna tudi za Slovenijo, kjer ga največ najdemo v okolici Žalca.

Hmelj so že od srednjega veka uporabljali v medicinske namene. Najpogosteje so se zanašali zlasti na njegove pomirjevalne učinke, še danes pa velja, da ima ugoden vpliv pri motnjah spanja. Razlog za to je v vsebnosti metilbutanola, ki spodbuja spanje oz. zaspanost pri ljudeh. Poleg medicinskih namenov se hmelj še danes uporablja pri pripravi piva, poznan pa je tudi kot

zelo dober konzervans (<https://www.gorenske-lekarne.si/svetovanje-clanek/hmelj-navadni>, 16. 2. 2023).

Obstaja več študij o alelopatskem učinku hmelja. Wang idr. (2021) so ugotovili, da kemični ekstrakti hmelja zavirajo rast in dolžino stebila, zmanjšujejo število listov, listno površino in število korenin ter povečajo vsebnost malondialdehida (MDA) v sadikah testne rastline, kar pomeni, da izvlečki zavirajo rast rastline s poškodbo membranskega sistema. V raziskavi so prav tako predstavili možnost zatiranja invazivnih vrst s pomočjo izvlečkov hmelja.

Liu idr. (2011) so raziskovali alelopatski potencial hmelja. Ugotovitve kažejo, da hlapne kemične sestavine hmelja značilno zavirajo rast sadik pšenice, solate, redkvice in paprike. V nadaljevanju študije so proučevali tudi vpliv ekstraktov hmelja na kalitev in rast korenin. Ugotovili so, da pri nižjih koncentracijah izvlečki rast korenin in kalitev semen celo pospešujejo, v primeru višjih koncentracij, pa je hmelj deloval izrazito zaviralno. Po kemijski analizi (GC-MS) so uspeli odkriti 26 hlapnih snovi, ki naj bi bile krive za razvoj alelopatskih značilnosti hmelja. Šlo naj bi zlasti za maščobne kisline, hlapna olja, terpene in njihove kisikove spojine.

2.5.1.11 Njivska preslica (*Equisetum arvense*)

Njivska preslica je trajnica, ki jo najdemo na poljih in poteh ter neobdelanih tleh severne poloble. Med ljudmi je dobro poznana zaradi svojih zdravilnih učinkov in tudi kot trdovraten plevel, ki raste po vlažnih njivah in travnikih.

Njivska preslica je najbolj poznana kot sredstvo za pospeševanje izločanja urina pri zdravljenju vnetnih obolenj sečnih izvodil in ledvičnega peska, znana pa je tudi po uporabi za zdravljenje tuberkuloze. Zdravilne učinkovine njivske preslice naj bi se nanašale na sterole in flavonske glikozide, ki jih rastlina vsebuje (<https://www.gorenske-lekarne.si/svetovanje-clanek/preslica-njivska>, 15. 2. 2023).

Alelopatsko gledano njivska preslica vpliva na rast drugih rastlin. V nižjih koncentracijah njivska preslica nima bistvenega vpliva na kalitev semen in rast korenin, v višjih koncentracijah pa se izkaže njen izrazito zaviralni značaj v primerjavi z ostalimi rastlinami. (Zheng idr. 2014).

Alelopatski potencial njivske preslice sta proučevala tudi Milton in Duckett (1985). Ugotovila sta, da sporofiti njivske preslice proizvajajo strupene kemikalije, ki škodljivo vplivajo na rast in znatno zmanjšujejo kalitev semen testnih vrst.

2.5.2 Testni rastlinski vrsti

2.5.2.1 Bela gorčica (*Sinapis alba*)

Bela gorčica se goji zlasti zaradi semena, ki se uporablja kot začimba, zato je vsesplošno uporabna v kulinariki. Zelene dele rastline uporabljajo tudi kot dodatek k solatam, kot zeleno krmo ali kot zeleno gnojilo. Iz semen pridobivajo olje, ki se uporablja predvsem kot mazilo, uporabljajo pa ga tudi v švedski industriji majoneze. Gorčična semena so na trgu zelo iskana in cenjena, v ZDA pa je gorčica med začimbami celo druga po povpraševanju takoj za poprom (Duke, 1983).

Gorčica, ki jo vsi poznamo, običajno združuje belo gorčico za pikantnost, črno gorčico za aromo, rumena barva pa je posledica dodatka kurkume. Zmesi dodajo tudi kis, ki je dodan kot

konzervans (Duke, 1983).

Gorčična semena bele gorčice so uporabljali in jih še vedno tudi v medicini, saj veljajo za diuretik, izkašljevalec, dražilno in poživilo ter se uporabljajo kot obkladki za akutne lokalne bolečine, pljučnico, bronhitis in druge bolezni dihal. Včasih so čaj iz gorčičnih semen predpisovali za grgranje pri vnetem grlu, lajšal naj bi bronhitis in revmo (Grieve, 1931), rastlina pa naj bi imela blažilne in pomirjevalne, celo narkotične lastnosti (Watt in Breyer-Brandwijk, 1962).

Bela gorčica je glede pogojev zelo nezahtevna. Pojavlja se, kjer se letna količina padavin giblje od 350 do 1790 mm letno, letna temperatura od 5,6 do 24,9 °C (optimalno 10–15°C) in pH od 4,5 do 8,2 (Duke, 1983). Prav zaradi teh parametrov, ki na videz zelo ustrezajo standardnim sobnim pogojem, sva se odločila, da jo izbereva za testno vrsto. Prav tako sva pri pregledu literature ugotovila, da se ta vrsta uporablja kot standardna vrsta za proučevanje alelopatije (Bostan idr., 2014; Pannacci idr., 2013).

2.5.2.2 Pelinolistna žvrklja (*Ambrosia artemisiifolia*)

Ambrozija je severnoameriška invazivna rastlina, ki se je v Sloveniji prvič pojavila leta 1950 na območju prekmurskih ravnin, najdemo jo predvsem na cestnih robovih, njivah in njihovih robovih, ponekod pa raste tudi ob robu gozda. Najbolj opazna je zlasti od aprila do novembra, saj ji zimski meseci s hladnimi temperaturami ne ustrezajo (<https://www.tujerodne-vrste.info/vrste/pelinolistna-zvrklja-ali-ambrozija/>, 3. 2. 2022).

Ambrozija ali pelinolistna žvrklja, kot se imenuje pravilno slovensko, je enoletna, precej razrasla rastlina s tanko, ravno korenino. Njeni listi so razvrščeni ter dvakrat pernato deljeni. Listni pecelj je porasel z redkimi, dolgimi štrlečimi dlakami. Moška socvetja so viseči koški v dolgem pokončnem enostavnem grozdu na vrhu poganjkov, ženska socvetja se razvijejo v zalistjih, plod pa je orešek, ki se razvije iz celotnega ženskega socvetja in nima dlačic (<https://www.tujerodne-vrste.info/vrste/pelinolistna-zvrklja-ali-ambrozija/>, 3. 2. 2022).

Njene plodove uporabljamo za hranjenje ptic, zato jo neredko najdemo tudi v bližini krmilnic. Gre za invazivno vrsto, ki se širi tudi z vozili, kmetijsko in gradbeno mehanizacijo, kosilnicami ter s premeščanjem zemljine. Zelo pomembno je tudi, da ima dolgoživa semena, ki lahko v tleh preživijo desetletja in tudi zato imamo zelo velike probleme pri zatiranju te vrste.

Razpon temperatur, potrebnih za kalitev, je širok ter sega od 7 do 28 °C z optimalno temperaturo okrog 15 °C. Verjetno je, da kalitev spodbudi svetloba, saj semena le redko skalijo, če se nahajajo več kot 4–5 cm pod površino zemlje, kalitev pa v glavnem poteka na površini neporaslih tal (<https://www.kgzs-ms.si/pelinolistna-ambrozija-ambrosia-artemisiifolia/>, 5. 2. 2023).

Velik problem ambrozije je njen cvetni prah. Ambrozija cveti od sredine avgusta do sredine septembra in takrat se izločijo še posebej velike količine cvetnega prahu. Ta cvetni prah deluje izrazito alergeno oz. ima zelo velik alergijski potencial, zaradi česar so številne zdravstvene organizacije ambrozijo umestile na rdeče sezname in se začele boriti proti njej. Velike probleme povzroča tudi v kmetijstvu, saj nenadzorovano širjenje te vrste v Evropi povzroča vse večjo škodo pri količini in kakovosti pridelka (<https://www.kgzs-ms.si/pelinolistna-ambrozija-ambrosia-artemisiifolia/>, 5. 2. 2023).

Invazivne vrste nasploh in z njimi tudi pelinolistna žvrklja torej predstavljajo velik problem.

Načinov, kako se znebiti te vrste, je več, vendar niso vsi enako učinkoviti in enako prijazni do okolja. Najbolj uporabljeni so mehanski načini zatiranja s puljenjem, košnjo, oranjem ..., ki pa so pogosto neučinkoviti. Možno je tudi odstranjevanje z uporabo herbicidov, ki pa imajo izrazito negativen vpliv na okolje oz. na ekosistem kot celoto (Simončič idr., 2010).

V zadnjem času so se pojavila ugibanja o možnosti zatiranja pelinolistne žvrklje s pomočjo alelopatije oz. z bioherbicidi. Raziskave so se razširile predvsem na Kitajskem, kjer se soočajo s podobnim problemom kot pri nas. Rezultati raziskav kažejo, da bi lahko ambrozijo izpodrinili zgolj z alelopatijo, pri čemer bi morale biti uporabljene vrste izrazito alelopatične oz. vsaj koncentracija izredno visoka, kar pa bi lahko povzročilo tudi trajne posledice za okolje oz. posledice na druge rastlinske vrste (Hua idr., 2005).

2.6 Proces kaljenja semena

Kalitev semena je kompleksen proces, na katerega vpliva veliko dejavnikov, obenem pa je prav uspešnost kaljivosti pogosto ključnega pomena pri uspešnosti uveljavitve rastline v ekosistemu (Weitbrecht idr., 2011). Gre torej za ključno stopnjo v razvoju rastlin in se lahko šteje za determinanto produktivnosti posamezne rastline.

Na kalitev semen lahko vplivajo abiotški stres v obliki vzgajanja semen z različnimi dejavniki, kot so zmanjšanje razpoložljivosti vode, spremembe v mobilizaciji shranjenih rezerv, sprememba hormonskega ravnovesja in vpliv na strukturno organizacijo beljakovin (Jimenez-Lopez, 2017). Večina semen je razpršenih v suhem, zrelem stanju. Ob ustreznih okoljskih pogojih pa se lahko v njih začne kompleksen proces kalitve. Ta proces se začne z imbibicijo oz. vpijanjem tekočin v porozne strukture in zgodnjo ustalitevijo vsrkavanja vode, kar v semenu sproži ponovno aktivacijo metabolizma. Takrat pride do velikih sprememb transkriptoma (celoten RNA zapis z vsemi aktivnimi in neaktivnimi deli), saj je fiziološko stanje semena vsaj delno določeno s shranjenimi mRNA, ki se prevedejo ob procesu imbibicije. Tej zgodnji fazi kalitve sledijo še predrtje testa oz. ovojnice, pozna faza kalitve in predrtje endosperme (del semena, ki vsebuje hranljive snovi), s tem pa se proces kalitve zaključi in se začne razvoj rastline.

Pojav alelopatije se največkrat povezuje zlasti s kalitvijo semen, saj imajo prav na ta rastni parameter alelokemikalije največji vpliv. Alelokemikalije lahko spodbudijo ali zavirajo kalitev in/ali rast rastlin, pri čemer imajo večji inhibicijski vpliv na kalitev kot na rast kalčkov in že razvite rastline. Inhibicijski vpliv na rast korenin je najpogostejše odvisen od inhibicijskega vpliva na kalitev semen (Li idr., 2021).

3 MATERIALI IN METODE DELA

V procesu izdelave raziskovalnega dela sva uporabljala različne materiale in metode dela, s katerimi sva raziskovala zastavljen problem in pridobivala meritve ter informacije, s pomočjo katerih sva lahko izpeljala zaključke in preverila pravilnost postavljenih hipotez.

3.1 Materiali

Pri raziskovalni nalogi sva uporabljala rastlinske izvlečke enajstih alelopatjskih rastlinskih vrst, za katere sva v strokovni literaturi našla podatke, da delujejo alelopatično, in semena dveh testnih vrst. Kot dodatek sva izvedla tudi poskus s komercialno dostopnim herbicidom.

3.1.1 Alelopatjske vrste

Alelopatjske vrste, ki sva jih uporabljala, so bile: oreh (*Juglandis regia*), kamilica (*Matricaria chamomilla*), pelin (*Artemisia absinthium*), timijan (*Thymus vulgaris*), kopriva (*Urtica dioica*), sivka (*Lavandula angustifolia*), ameriški slamnik (*Echinacea purpurea*), bela omela (*Viscum album*), konoplja (*Cannabis sativa*), hmelj (*Humulus lupulus*) in njivska preslica (*Equisetum arvense*).

Večino posušenih rastlin, ki sva jih uporabila za pripravo raztopin, sva kupila od proizvajalca Flora, d. o. o., posušeni cvetovi kamilice so bili od avstrijskega proizvajalca Sonnentor, pelin in timijan sta bila od proizvajalca Papaja, d. o. o., posušeni cvetovi sivke, ki sva jih uporabila, pa so bili pridelani na domačem vrtu. Vse rastline z izjemo pelina, timijana in kamilice so bile proizvedene in posušene v letu 2022. Pelin, timijan in kamilica so bili proizvedeni v letu 2021.



Slika 3: Posušene rastline alelopatjskih rastlinskih vrst, iz katerih sva pripravila vodne ekstrakte različnih koncentracij (Foto: Frankovič L.)

3.1.2 Testni vrsti

Testni vrsti, ki sva ju uporabljala, sta bili: bela gorčica (*Sinapis alba*) in pelinolistna žvrklja (*Ambrosia artemisiifolia*).

V tem primeru sva uporabljala semena in ne posušenih rastlin. Semena pelinolistne žvrklje sva prejela iz ljubljanskega botaničnega vrta, semena bele gorčice pa so bila pridobljena od proizvajalca Sonnentor. Vsa semena so bila proizvedena leta 2022.

3.1.3 Herbicid

Herbicid, ki sva ga uporabljala za potrebe raziskovalne naloge, je bil proizveden v letu 2022. Gre za Boom efekt herbicid podjetja Pinus TKI, d. d., ki se uporablja za zatiranje enoletnega in večletnega plevela. Koncentrat vsebuje glifosat oz. N-fosfonometil glicin, ki deluje sistemsko preko zelenih delov rastlin in preprečuje delitev celic ter s tem povzroči propadanje rastlin.

Ker deluje le na zelene dele rastline oz. preko njih prehaja tudi do koreninskega sistema, sva poskus izvedla informativno oz. sva želela preveriti njegov vpliv tudi na kalitev semen, hkrati pa preveriti njegov zaviralni vpliv na rast korenin.

Herbicid je toksičen in zdravju škodljiva snov, zato sva ob izvedbi poskusa uporabljala tudi ustrezno zaščitno opremo v obliki zaščitnih rokavic, zaščitne maske ter zaščitnih očal.

3.1.4 Ostali materiali

Poleg alelopatskih vrst, herbicida in semen testnih vrst sva pri vaji uporabljala tudi naslednje laboratorijske pripomočke: petrijevke, kapalke, merilni valj, čaše, erlenmajerice, parafilm, pincete, filtrni papir, alkoholni flomaster, lupo, destilirano in vodovodno vodo.

Zaradi težav s količino sva uporabljala filtrni papir dveh različnih blagovnih znamk: Machery-Nagel in Sartorius AG s podobno prepustnostjo, parafilm, ki sva ga uporabljala, proizvaja podjetje Brand.

3.2 Metode dela

3.2.1 Uporaba alelopatskih rastlinskih vrst

Eksperimentalni del vaje sva izvajala v laboratoriju pod točno določenimi pogoji glede na izbrano testno vrsto. Poskus sva v primeru gorčičnih semen opravila pri sobnih pogojih, medtem ko v primeru semen ambrozije pod nadzorovanimi pogoji v inkubatorju oz. posebni komori. Pri tem je temperatura v inkubatorju v prvih 24 urah znašala 22 °C, kasneje pa sva jo povišala na 27 °C in tako zagotovila optimalne pogoje za rast in razvoj semen ambrozije. Vse pogoje sva ustrezno določila po pregledu literature in po opravljenem predhodnem poskusu, ki nama je dal vpogled v najustreznejše pogoje za kalitev semen in razvoj korenin.

Najprej sva si za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto pripravila raztopine različnih koncentracij (25 %, 50 %, 75 %, 100 %), ki so bile pretežno pripravljene iz posušenih listov alelopatskih rastlinskih vrst in destilirane vode, tako da so ustrezale določenim standardom: 50 g/L (100 %); 37,5 g/L (75 %); 25 g/L (50 %) in 12,5 g/L (25 %). 100 % raztopina torej vsebuje 50 g raztopljenih posušenih ostankov rastlin v enem litru vode.

Te raztopine sva naposled nanese v petrijevke, obložene s filtrnim papirjem, ki je omogočal absorpcijo posamezne raztopine, pri čemer sva v vsako petrijevko nanese 3 mL posamezne raztopine.



Slika 4: Priprava raztopin različnih koncentracij
(Foto: Grušovnik, V.)

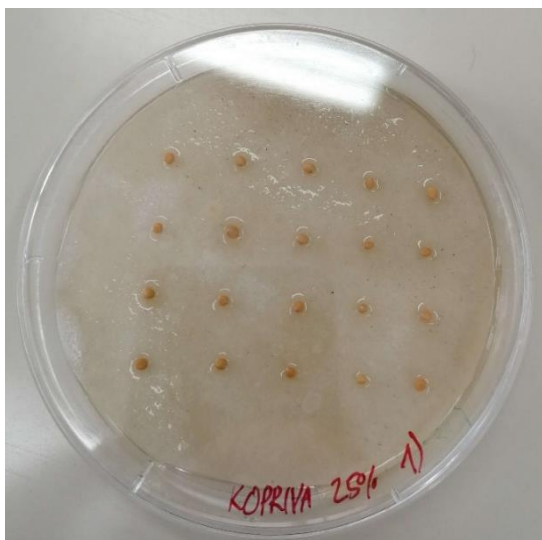


Slika 5: Nanašanje raztopin v petrijevke (Foto: Frankovič, L.)

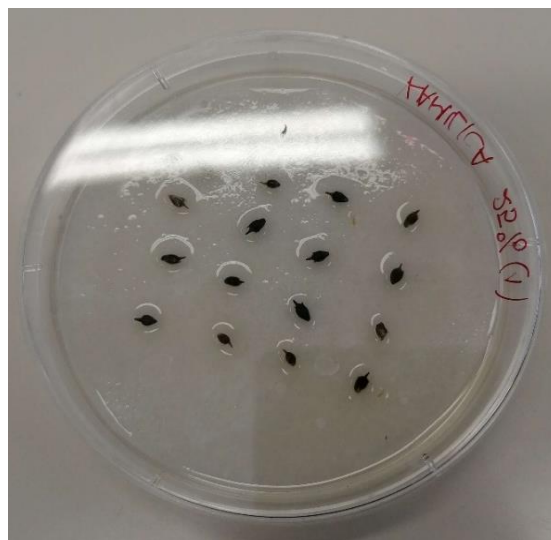
Na tej točki sva poskus razdelila na dva dela, saj nisva vseh alelopatijskih rastlin oz. njihovih izvlečkov uporabljala tako na beli gorčici kot tudi na pelinolistni žvrklji. Najprej sva poskus izvedla na primeru bele gorčice, kjer sva uporabila vseh enajst domnevno alelopatijskih rastlin. Na podlagi pridobljenih rezultatov sva določila, katere izvlečke bova uporabila tudi na ambroziji. Odločila sva se za šest vrst – štiri vrste z najvišjo (hmelj, kamilica, sivka, konoplja) in dve z najnižjo (oreh, pelin) zaviralno močjo na kalitev semen in rast koreninic semen bele gorčice.

V nadaljevanju postopka sva v vsako izmed petrijevk enakomerno razporedila semena testnih vrst (štiri vrste po pet semen za belo gorčico in štiri vrste po štiri semena za ambrozijo), petrijevke zaprla ter jih ovila s parafilmom, da je bilo izhlapevanje čim manjše. Petrijevke sva tudi jasno označila ter jih postavila v temen prostor in tako izločila morebiten vpliv svetlobe na rast. Pripravila sva tudi dve kontroli, pri čemer sva v prvem primeru uporabila destilirano, v drugem pa vodovodno vodo (pri ambroziji sva uporabljala le destilirano vodo, saj so bili rezultati na primeru bele gorčice boljši in konstantnejši). Na takšen način sva nastavila eksperiment za posamezno raztopino in kontrolo v treh paralelkah, kar je povečalo zanesljivost rezultatov (pri ambroziji sva zaradi pomanjkanja semen poskus izvajala le v eni paralelki).

Rezultate sva pri semenih bele gorčice prvič preverila po 48 urah, ko sva opazovala kalitev semen oz. preštela, katera semena so vzknila in katera ne, dolžine koreninic pa sva merila po 72 urah. Za drugačno strategijo sva se odločila v primeru semen ambrozije, kjer sva kalitev opazovala po 96 urah, dolžine koreninic pa sva določala po 120 urah. Pri ambroziji sva se za daljši čas odločila po opravljenih predhodnih poskusih, ki so nakazali trend daljše dobe razvoja semen kot v primeru bele gorčice. Po koncu poskusov sva semena pelinolistne žvrklje uničila v sterilizatorju in s tem preprečila, da bi semena prišla v okolje.



Slika 6: Dokončana petrijevka z gorčičnimi semeni
(Foto: Frankovič, L.)



Slika 7: Dokončana petrijevka s semeni
pelinolistne žvrklje (Foto: Frankovič, L.)

3.2.2 Uporaba herbicida

V primeru herbicida sva izbrala drugačne koncentracije raztopin, saj sva izbrala 100 %, 10 %, 1 % in 0,1 % raztopino. Pri pripravi raztopin sva popolnoma upoštevala priporočila proizvajalca, saj sva lahko le na ta način ugotovila dejansko učinkovitost alelopatijskih rastlinskih vrst v primerjavi s herbicidom.

Proizvajalec priporoča, da uporabnik 100 mL raztopine herbicid raztopi v dveh litrih vode, zato sva se odločila, da bova raztopila 10 mL herbicida v 200 mL vode in s tem zagotovila enako koncentracijo raztopine, kot jo priporoča proizvajalec, hkrati pa je to predstavljalo najino 100 % raztopino. Vse druge raztopine sva pripravila z redčenjem, tako da je koncentracija raztopine ustrezala volumskemu odstotku raztopljenе 100 % raztopine (npr. v 10 % raztopini je 10 %, 100 % raztopine).

Tudi pri nanašanju herbicida sva upoštevala priporočila proizvajalca, ki navaja, da naj bi bilo 100 mL herbicida dovolj za površino v velikosti 100 m². Glede na ta podatek sva izračunala površino petrijevke in določila, kolikšna količina posamezne raztopine naj bi zadostovala (pribl. 2 mL). Po opravljenih izračunih sva v petrijevko nanese sorazmerno veliko količino semen (pri tem sva upoštevala približno gostoto semen na polju) ter jih popršila z 2 mL posamezne raztopine herbicida. Petrijevke sva pokrila in jih pustila stati en dan.



Slika 8: Pripravljene raztopine herbicida različnih koncentracij (Foto: Frankovič, L.)

Naslednji dan sva popršena semena nanesla v petrijevke, tako da sva za vsako izmed koncentracij oblikovala po tri paralelke. Semena sva nanašala na filtrirni papir, omočen s tremi mL destilirane vode, tako da sva oblikovala pet vrst po štiri semena.

Rezultate sva preverjala podobno kot v primeru, ko sva nanašala izvlečke alelopatiskih rastlinskih vrst na semena bele gorčice – kaljivost sva preverjala po 48 urah, dolžine koreninic pa sva merila po 72 urah.

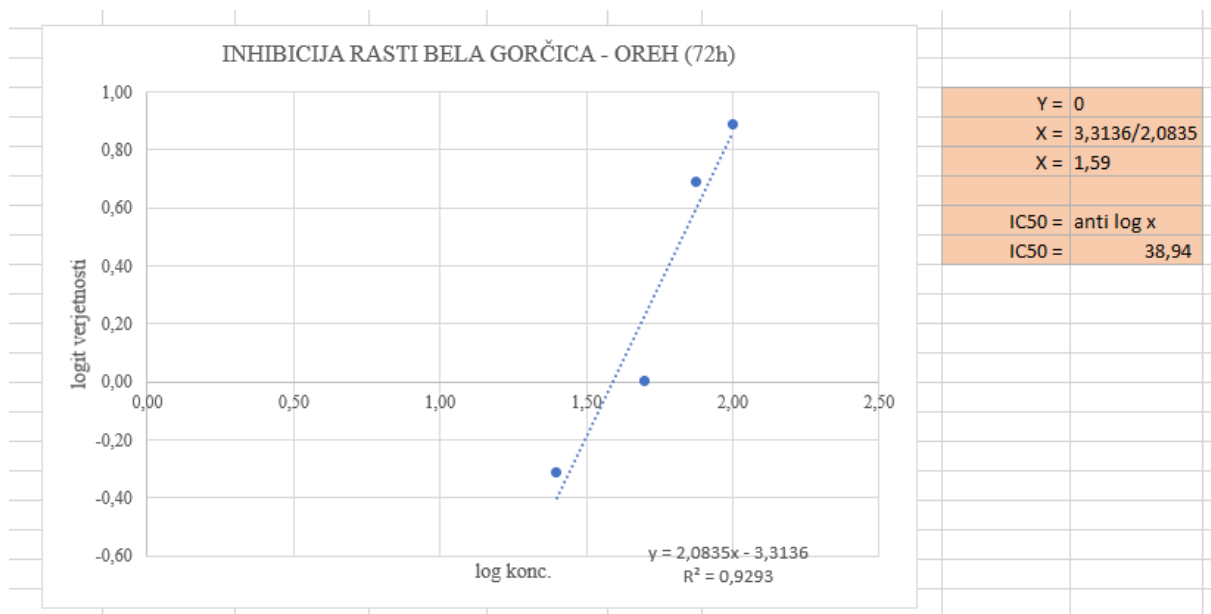
3.2.3 Obdelava podatkov

Dolžine koreninic sva merila s pomočjo programa ImageJ, ki nama je omogočil najpreprostejšo in najbolj natančno oceno o dejanski dolžini koreninic. S podatki, pridobljenimi pri merjenju, pa sva lahko izračunala tudi parametre, ki so nama dali vpogled v alelopatško učinkovitost posamezne uporabljene rastlinske vrste.

Poleg programa ImageJ sva pri raziskovalni nalogi uporabljala tudi Microsoftovi platformi Word in Excel. Slednji nama je omogočil analizo po opravljenem praktičnem delu, ko sva vse rezultate tabelirala in izračunala statistične vrednosti, potrebne za ovrednotenje hipotez (povprečne vrednosti dolžin koreninic, odstotek zaviranja kaljivosti, odstotek zaviranja rasti koreninic, EC50-vrednost in IC50-vrednost).

Po smernicah OECD za testiranje kemikalij z ekotoksikološkim testom številka 208, ki je namenjen testiranju kalitve semen in rasti koreninic, sva izbrala vrednosti IC50 in EC50 za prikaz najinih rezultatov. Pri najinih poskusih nisva sejala semen, vseeno pa sva se po priporočilih tega testa odločila za iskanje koncentracije, pri kateri raztopine izvlečkov izbranih rastlinskih vrst dosežejo 50 % zaviralni učinek na kalitev semen (EC50), in koncentracijo, pri kateri dosežejo 50 % zaviralni učinek na rast koreninic (IC50).

Obe vrednosti sva izračunala s pomočjo logit funkcije. Gre za logaritmično funkcijo verjetnosti, ki v našem primeru opisuje, kakšna je verjetnost za nek dogodek pri določeni koncentraciji vodnega ekstrakta. Vrednost sva upoštevala na grafu odvisnosti logaritma koncentracije posamezne raztopine od logit funkcije verjetnosti deleža kaljivosti za EC50 oz. verjetnosti deleža prirasta za IC50-vrednost.

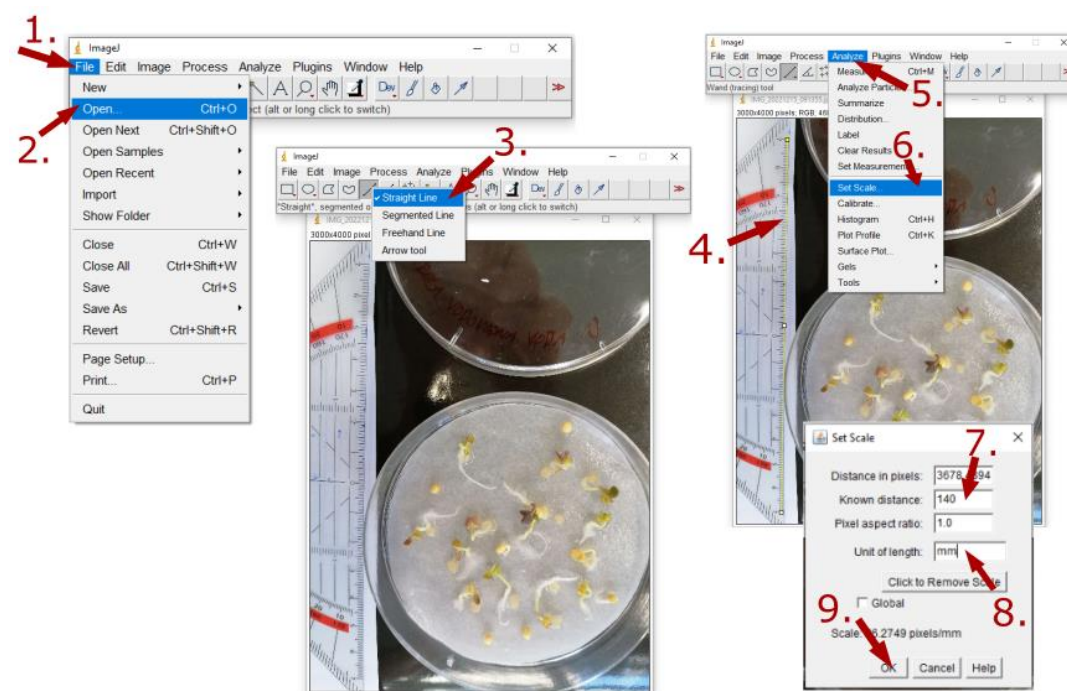


Slika 9: Slikovni prikaz izračuna IC50-vrednosti za oreh (Foto: Grušovnik, V.)

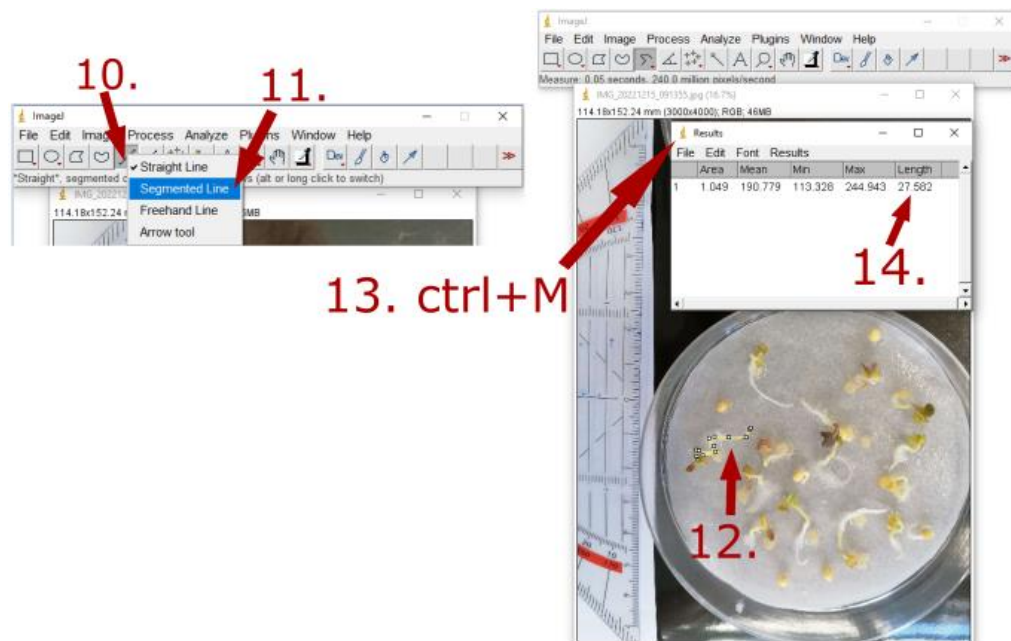
Na pridobljenemu grafu sva priredila linearno trendno črto in izračunala enačbo premice. Ker naju je zanimalo, kje ima posamezni vodni ekstrakt 50 % zaviralno moč (logit = 0), sva Y-koordinato enačbe enačila z 0, izrazila X-koordinato in vrednost antilogaritmirala ter tako pridobila oba zahtevana statistična podatka.

3.2.4 Meritve dolžine korenin

Za merjenje dolžin korenin sva uporabljala program ImageJ (Rasband, W. S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018. Schneider, C. A., Rasband, W. S., Eliceiri, K. W.). Program je namenjen opravljanju meritev na slikah s pomočjo znanih razdalj na sliki.



Slika 10: Prvih devet korakov uporabe programa ImageJ (Foto: Frankovič, L.)



Slika 11: Zadnjih pet korakov uporabe programa ImageJ (Foto: Frankovič, L.)

Za merjenje dolžine koreninic sva v programu najprej odprla sliko petrijevke s semeni, na kateri je bil prisoten tudi geotrikotnik z milimetrsko merilno skalo (1. in 2. korak). V programu sva nato izbrala ravno črto in jo potegnili ob merilni skali na geotrikotniku (3. korak). Z označeno znano dolžino sva tako lahko nastavila merilo, po katerem je program razdaljo v točkah na sliki (pixl) pretvoril v razdaljo v milimetrih (koraki od 5 do 9). Nato sva izbrala lomljeno črto (10. in 11. korak) ter z njo na sliki čim natančneje sledila koreninam od njihovega izvora v semenu do njihovega konca (12. korak). Ko je bila označena celotna dolžina koreninice, sva s pritiskom na tipki ctrl+M opravila meritev (13. in 14. korak), to pa sva nato zabeležila v tabeli Microsoft Excel.

4 REZULTATI

4.1 Rezultati poskusa na semenu bele gorčice (*Sinapis alba*)

V prvem delu raziskovalne naloge sva proučevala vpliv vodnih ekstraktov enajstih alelopatiskih rastlinskih vrst v različnih koncentracijah na kalitev semen in rast koreninic bele gorčice. Poskus sva nastavila v treh paralelah za vsako koncentracijo posameznega vodnega ekstrakta alelopatске rastlinske vrste, da sva lahko določila vpliv posameznega vodnega izvlečka, pa sva nastavila tudi kontrolo, podobno v treh paralelah.

4.1.1 Vpliv na kalitev semen

Izvlečki enajstih alelopatiskih rastlinskih vrst so pokazali različno moč vpliva na kalitev semen bele gorčice. Kalitev semen sva opazovala po 48 urah od nastavitve eksperimenta.

Tabela 1: Skupno število vzkaljenih gorčičnih semen za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 48 urah

Alelopatске rastlinske vrste	Kaljivost po 48 h (od skupno 240 semen bele gorčice)
Kopriva	30
Ameriški slamnik	29
Sivka	2
Njivska preslica	21
Bela omela	32
Timijan	36
Konoplja	3
Hmelj	0
Oreh	34
Kamilica	9
Pelin	56
Povprečje	23

Tabela prikazuje seštevek vseh vzkaljenih semen v vseh paralelah in za vse koncentracije za določeno alelopatsko rastlinsko vrsto. Iz tabele je razvidno, da je največ semen po 48 urah vzkalilo pri pelinu, najmanj pa pri hmelju. Bistveno nižje vrednosti od izračunanega povprečja najdemo tudi pri sivki, konoplji in kamilici, navzgor pa so odstopanja od povprečja manjša.

Tabela 2: Število vzkaljenih gorčičnih semen za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 48 urah

Alelopatske rastlinske vrste	Kaljivost po 48 h (glede na posamezno koncentracijo alelopatske rastlinske vrste od skupno 60 semen bele gorčice)				
	25 %	50 %	75 %	100 %	kontrola
Kopriva	20	7	3	0	
Ameriški slamnik	19	5	3	2	
Sivka	0	0	2	0	
Njivska preslica	16	5	0	0	
Bela omela	26	3	3	0	
Timijan	24	6	6	0	
Konoplja	3	0	0	0	
Hmelj	0	0	0	0	
Oreh	27	5	0	2	
Kamilica	8	0	1	0	
Pelin	35	17	4	0	
Kontrola – destilirana voda					48
Kontrola – vodovodna voda					48

Iz tabele je razvidno, da je v primeru kontrole po 48 urah vzkalilo 48 od skupno 60 semen. Prav pri vseh izbranih alelopatskih rastlinskih vrstah je bila kalitev po 48 urah manjša oz. je v tem času vzkalilo manj semen.

Pri koncentraciji 25 % so semena vzkalila v primeru večine vodnih ekstraktov alelopatskih rastlinskih vrst z izjemo sivke in hmelja, zelo malo semen pa je vzkalilo tudi v primeru konoplje (3) in kamilice (8). Največ semen je pri koncentraciji 25 % vzkalilo pri pelinu, kjer je vzkalilo 35 od skupno 60 semen, sorazmerno veliko semen pa je vzkalilo tudi v primeru oreha (27), timijana (26) in bele omele (24).

Pri koncentraciji 50 % je splošno gledano vzkalilo manj semen kot pri koncentraciji 25 %. Pri tej koncentraciji je najmanj semen vzkalilo v primeru sivke, konoplje, hmelja in kamilice. V teh primerih ni vzkalilo niti eno seme od skupno 60 v vseh treh paralelkah. Največ semen je vzkalilo pri pelinu (17).

Pri 75 % je vzkalilo še nekaj manj semen. Najmanj jih je vzkalilo v primeru njivske preslice (0), konoplje (0), hmelja (0) in oreha (0). Pri sivki, kjer pri 25 % in pri 50 % raztopini ni vzkalilo nobeno seme, sta vzkalili dve semeni, največ semen pa je vzkalilo pri timijanu (6).

Pri 100 % raztopinah v večini primerov semena niso vzkalila. Največ semen je vzkalilo pri ameriškem slamniku in orehu, kjer sta vzkalili po dve semeni.

4.1.2 Inhibicijski vplivi na rast korenin

Vodni ekstrakti enajstih alelopatskih rastlinskih vrst so pokazali različno moč vpliva na dolžino korenin semen bele gorčice. Dolžine korenin sva merila po 72 urah od nastavitve poskusa.

Tabela 3: Povprečna dolžina korenin za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 72 urah

Alelopatske rastlinske vrste	Povprečna dolžina korenin po 72 h (v mm)				
	25 %	50 %	75 %	100 %	kontrola
Kopriva	5,016	2,977	0,966	0,000	
Ameriški slamnik	1,602	1,277	0,614	0,554	
Sivka	0,000	0,000	2,592	0,000	
Njivska preslica	13,097	5,082	0,310	0,000	
Bela omela	9,040	3,283	2,812	0,000	
Timijan	9,019	10,981	5,103	0,000	
Konoplja	3,422	0,000	0,000	0,000	
Hmelj	4,645	0,000	0,000	0,000	
Oreh	10,564	7,824	2,677	1,801	
Kamilica	7,315	2,196	3,210	0,000	
Pelin	12,366	7,815	5,380	2,586	
kontrola – destilirana voda					15,738
kontrola – vodovodna voda					14,964

Iz tabele je razvidno, da je povprečna dolžina korenin v vseh primerih manjša od povprečne dolžine korenin pri obeh kontrolah. Iz rezultatov pri kontroli je razvidno, da se koreninice nekoliko bolje razvijajo v primeru destilirane vode, saj je povprečna dolžina nekoliko večja (15,738 mm) kot v primeru vodovodne vode (14,964 mm).

Pri koncentraciji 25 % je povprečna dolžina korenin najmanjša pri vodnem ekstraktu iz izvlečkov sivke (0,000 mm), zelo nizko povprečno dolžino pa so imele tudi koreninice, ki so rastle pod vplivom raztopine z izvlečki ameriškega slamnika (1,602 mm). Največjo vrednost povprečne dolžine najdemo pri njivski preslici (13,097 mm), visoke vrednosti dolžin pa imata tudi pelin (12,366 mm) in oreh (10,564 mm).

V primeru raztopin s 50 % koncentracijo je povprečna dolžina korenin najmanjša pri sivki, konoplji in hmelju, kjer je povprečna dolžina znašala 0,000 mm. Največje izmerjeno povprečje je pri timijanu, kjer je povprečna dolžina korenin semen bele gorčice znašala 10,981 mm.

Pri koncentraciji 75 % so vrednosti še nekoliko pestrejše. Najmanjši vrednosti povprečne dolžine najdemo pri hmelju in konoplji – 0,000 mm, največji pa pri pelinu (5,380 mm) in timijanu (5,103 mm). Pri sivki, ki je do zdaj povsem zavirala razvoj in rast korenin, je pri 75 % vrednost višja in znaša 2,592 mm.

Pri 100 % so vrednosti skoraj v vseh primerih minimalne (0,000 mm), izjeme so ameriški slamnik (0,554 mm), oreh (1,801 mm) in pelin (2,586 mm).

Iz rezultatov v tabeli je razviden trend zmanjševanja povprečne dolžine korenin z višanjem koncentracije. Pri raztopinah izvlečkov vseh izbranih rastlin z izjemo sivke in timijana opazimo, da je povprečna dolžina korenin pri vsaki naslednji koncentraciji manjša, torej je dolžina največja pri 25 % in najmanjša pri 100 % koncentraciji. Pri sivki je dolžina korenin največja pri 75 % raztopini (2,592 mm), ki je tudi edina koncentracija, pri kateri so semena obdelana s sivkino raztopino vzknila. Pri timijanu je največja dolžina korenin pri 50 % raztopini (10,981 mm).

4.1.3 Izračun statističnih vrednosti EC50 in IC50

Po pridobljenih rezultatih o kaljivosti in dolžini koreninic za semena bele gorčice sva lahko po standardnih postopkih izračunala vrednosti EC50 in IC50 za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto. Rezultati dobljenih vrednosti so predstavljeni v spodnji tabeli.

Tabela 4: Vrednosti EC50 in IC50 glede na posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto

	EC50	IC50
Kopriva	21,53	17,30
Ameriški slamnik	18,91	2,38
Sivka	\	\
Njivska preslica	17,98	36,83
Bela omela	24,22	27,80
Timijan	22,81	54,15
Konoplja	\	\
Hmelj	\	\
Oreh	25,15	38,94
Kamilica	11,36	18,76
Pelin	36,34	48,92

Iz tabele je razvidno, da se vrednosti EC50 in IC50 pri različnih rastlinskih vrstah razlikujejo. Opazno je tudi, da rastline nimajo enako močnega vpliva na kalitev semen in na razvoj koreninic, kar je razvidno iz razlike med obema vrednostima pri posamezni alelopatski rastlinski vrsti.

Najnižjo vrednot EC50 sva izračunala v primeru kamilice, in sicer 11,36, kar pomeni, da kamilica že pri koncentraciji 11,36 % zavre kalitev semen na polovico. Največjo vrednost EC50 sva izračunala pri pelinu (36,34), ki ima najmanj zaviralen učinek na kalitev semen bele gorčice.

Pri računanju IC50-vrednoti sva najnižjo vrednost izračunala pri ameriškem slamniku, kjer že pri 2,38 % koncentraciji zaznamo 50 % inhibicijo semen. Najvišjo vrednost sva znova izračunala v primeru pelina (48,92).

V primeru treh alelopatskih rastlinskih vrst (hmelj, sivka, konoplja) statističnih vrednosti ni bilo mogoče izračunati zaradi pomanjkanja vhodnih podatkov, saj so navedene vrste izkazale zelo veliko zaviralno moč tako na kalitev semen kot tudi na rast in razvoj koreninic.

4.2 Aplikativna uporaba rezultatov

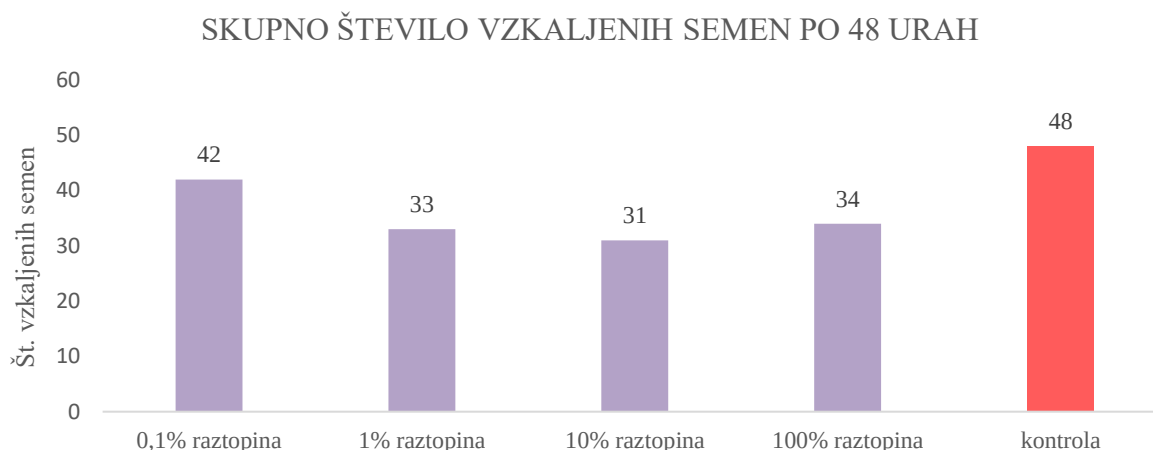
Za lažjo predstavo alelopatskega vpliva izbranih rastlinskih vrst oz. njihovih vodnih ekstraktov sva se odločila, da poskus še nekoliko razširiva. Tako sva kot dodatek raziskovala tudi vpliv posameznih ekstraktov na invazivno vrsto pelinolistne žvrklje, poskus pa sva izvedla tudi s komercialno dostopnim herbicidom. S pridobitvijo teh rezultatov so najine ugotovitve iz prvega dela raziskave dobile aplikativno vrednost.

4.2.1 Rezultati poskusa pri uporabi herbicida

Najprej sva raziskovala vpliv komercialno dostopnega herbicida na dolžino korenin in preverjala njegov vpliv na kalitev semen bele gorčice. Poskus sva nastavila za vsako izmed koncentracij v treh paralelah.

4.2.1.1 Vpliv na kalitev semen

Vse pripravljene raztopine različnih koncentracij herbicida so pokazale približno enako moč zaviranja kaljivosti semen. Kalitev semen sva opazovala po 48 urah od nastavitve eksperimenta.

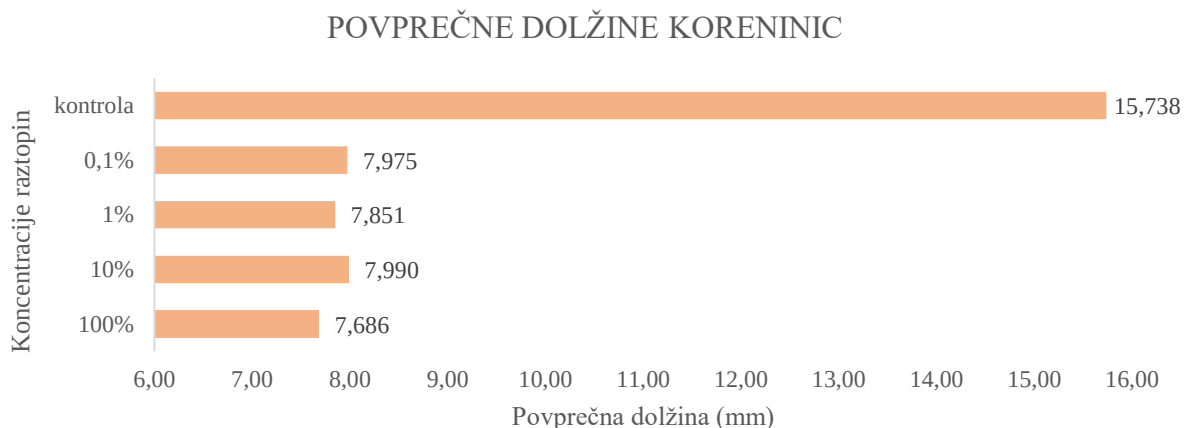


Graf 1: Skupno število vzkaljenih gorčičnih semen za herbicid pri določeni koncentraciji po 48 urah

Iz grafa lahko razberemo, da so rezultati za vsako izmed koncentracij raztopine herbicida zelo podobni. Skupno je največ gorčičnih semen vzkalilo pri najnižji, torej 0,1 % koncentraciji raztopine (42), najmanj pa pri 10 % koncentraciji (31). V vseh paralelah in pri vseh koncentracijah je bilo število zelo podobno oz. so odstopanja od povprečja minimalna. Tudi odstopanja od kontrole, pripravljene z destilirano vodo, so minimalna.

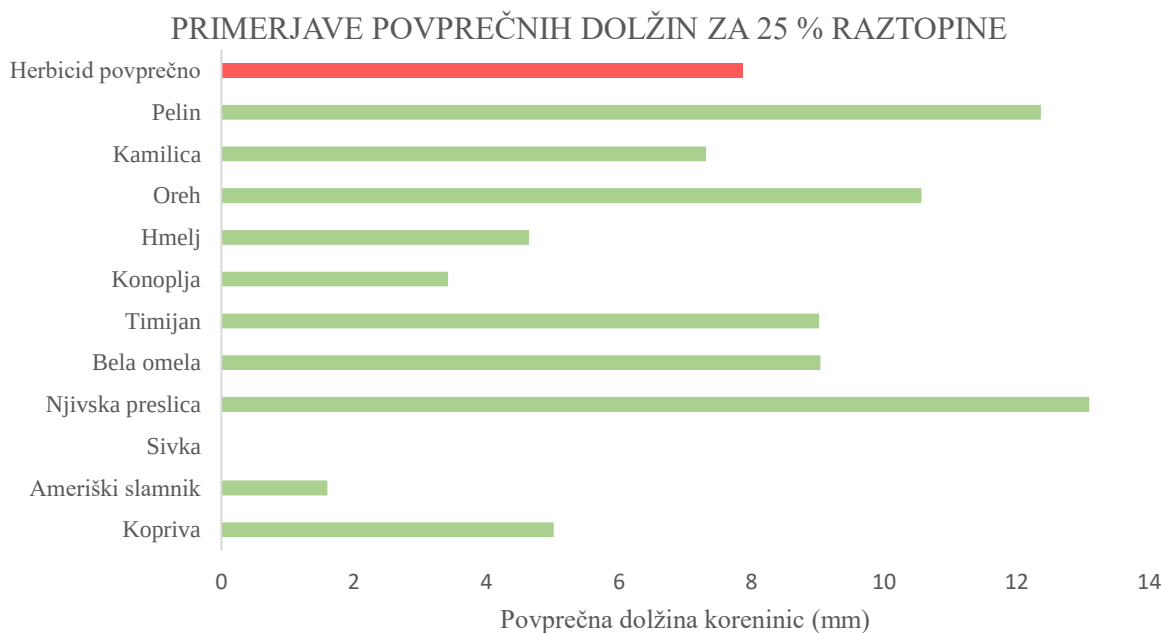
4.2.1.2 Inhibicijski vplivi na rast korenin

Podobno kot pri kalitvi so imele raztopine herbicida različnih koncentracij zelo podoben vpliv tudi na dolžino korenin semen bele gorčice. Dolžine korenin sva merila po 72 urah od nastavitve poskusa.

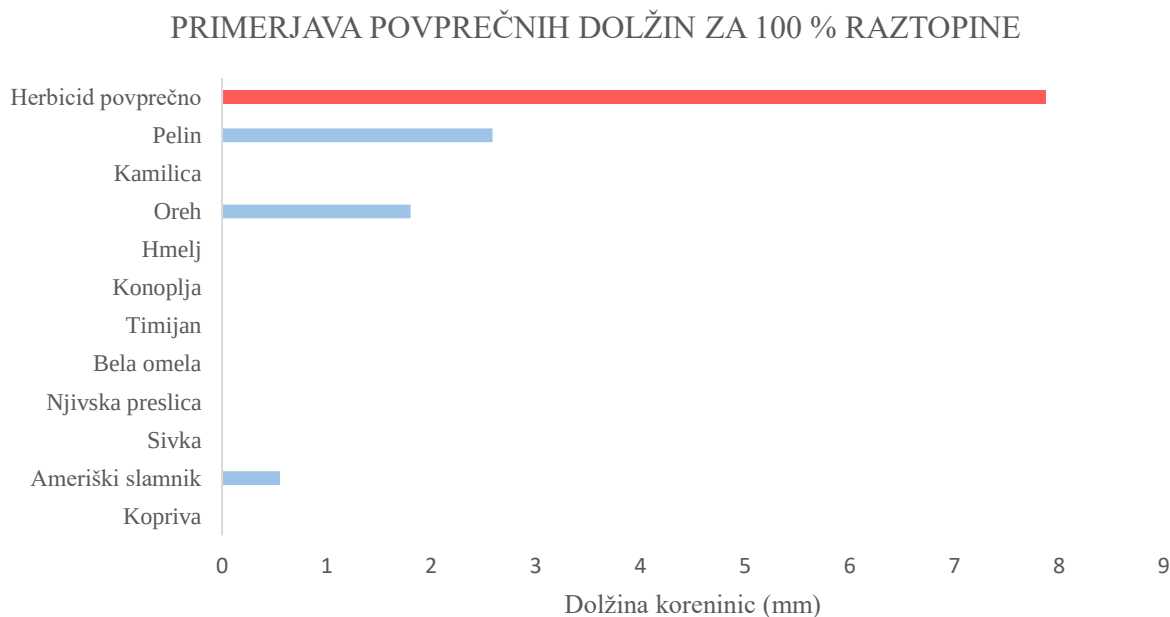


Graf 2: Povprečje dolžin koreninic semen bele gorčice za herbicid po 72 urah

Iz grafa je razvidno, da imajo vse pripravljene raztopine zelo podoben vpliv na razvoj koreninic semen bele gorčice. Najvišjo vrednost povprečne dolžine koreninic sva zabeležila v primeru 10 % raztopine herbicida (7,990 mm), najnižjo pa pri 100 % raztopini (7,686 mm). Odstopanja med vrednostmi pri različnih koncentracijah so minimalna, vrednosti pa so bistveno nižje od rezultatov pri kontroli (destilirana voda).



Graf 3: Primerjava povprečnih dolžin koreninic semen bele gorčice po 48 urah med 25 % raztopinami in herbicidom



Graf 4: Primerjava povprečnih dolžin koreninic semen bele gorčice po 48 urah med 100 % raztopinami in herbicidom

Ker uporabljen herbicid vpliva le na zelene oz. vegetativne dele rastline, je primerjava s prvim delom poskusa, kjer sva opazovala vpliv alelopatskih rastlinskih vrst, merodajna le za dolžino prirasta. Glede na rezultate je zaviralna moč herbicida praktično neodvisna od koncentracije pripravljene raztopine, zato sva povprečno dolžino koreninic pri posamezni rastlinski vrsti za najmanjšo in največjo koncentracijo primerjala s povprečno vrednostjo prirasta za herbicid.

Iz grafa 3 je razvidno, da herbicid v primerjavi s 25 % koncentracijami posameznih raztopin deluje podobno učinkovito kot raztopina kamilice. To pomeni, da rast koreninic zavira bolje kot pet vodnih ekstraktov alelopatskih rastlinskih vrst (pelin, oreh, timijan, bela omela, njivska preslica) in slabše kot preostalih šest vrst (kamilica, hmelj, konoplja, sivka, ameriški slamnik, kopriva).

Na grafu 4, kjer je prikazana primerjava med povprečno dolžino koreninic semen bele gorčice za herbicid in povprečno dolžino pri 100 % raztopinah, je očitno, da raztopine herbicida bistveno slabše zavirajo rast koreninic kot izbrane rastlinske vrste.

4.2.2 Rezultati poskusa na semenu pelinolistne žvrklje (*Ambrosia artemisiifolia*)

Proučevala sva tudi vpliv vodnih ekstraktov šestih alelopatskih rastlinskih vrst (hmelj, kamilica, sivka, konoplja, oreh, pelin) na kalitev semen in rast koreninic pelinolistne žvrklje. Alelopatske vrste sva izbrala po opravljenem poskusu na semenu bele gorčice.

Poskus sva nastavila v eni paraleli za vsako koncentracijo posameznega vodnega ekstrakta alelopatske rastlinske vrste, da sva lahko določila vpliv posameznega vodnega izvlečka, pa sva nastavila tudi kontrolo v treh paralelah.

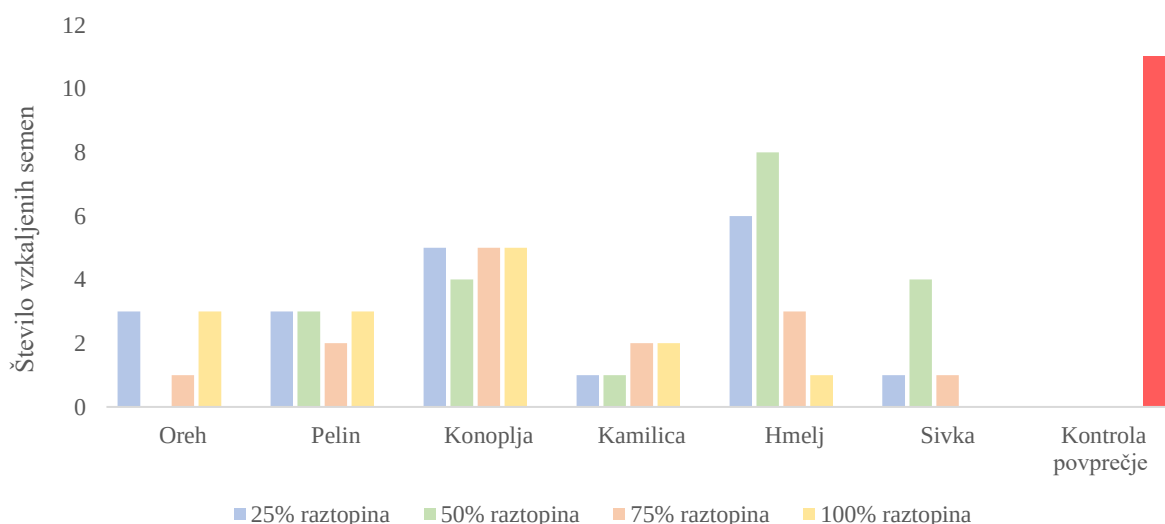
4.2.2.1 Vpliv na kalitev semen

Izvečki šestih alelopatskih rastlinskih vrst so pokazali različno moč vpliva na kalitev semen pelinolistne žvrklje. Kalitev semen sva opazovala po 96 urah od nastavitve eksperimenta.

Tabela 5: Število vzkaljenih semen pelinolistne žvrklje za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 96 urah

Alelopatska rastlinska vrsta	Kaljivost po 96 h (glede na posamezno koncentracijo alelopatske rastlinske vrste od skupno 16 semen pelinolistne žvrklje)				
	25 %	50 %	75 %	100 %	kontrola
Oreh	3	0	1	3	
Pelin	3	3	2	3	
Konoplja	5	4	5	5	
Kamilica	1	1	2	2	
Hmelj	6	8	3	1	
Sivka	1	4	1	0	
Kontrola povprečno					11

KALJIVOST SEMEN PELINOLISTNE ŽVRKLJE PO 96 URAH



Graf 5: Število vzkaljenih semen pelinolistne žvrklje za posamezno alelopatsko rastlinsko vrsto po 96 urah

Iz tabele in grafa je razvidno, da je v primeru kontrole po 96 urah vzkalilo povprečno 11 semen na paralelo. Podatki za kaljivost semen pod vplivom posameznih izvlečkov alelopatskih rastlinskih vrst pa so precej pestri in zelo razgibani.

Pri 25 % koncentraciji so semena pelinolistne žvrklje vzkalila v primeru vseh alelopatskih rastlinskih vrst. Najmanj semen je vzkalilo pri kamilici (1) in sivki (1), največ semen pa pri hmelju (6) in konoplji (5).

V primeru 50 % koncentracije so semena vzkalila v večini primerov z izjemo oreha, ki je pri tej koncentraciji povsem zavrl kalitev. Poleg oreha je zelo malo semen vzkalilo tudi pri kamilici (1), največ semen ambrozije pa je vzkalilo v primeru hmelja (8).

Pri 75 % so spet semena vzkalila v primeru vseh izvlečkov alelopatskih rastlinskih vrst. Najmanj semen je vzkalilo pri 75 % raztopinah sivke (1) in oreha (1). Največ semen je vzkalilo pri raztopini konoplje (5). V primeru hmelja, ki je pri nižjih dveh koncentracijah deloval manj zaviralno, kot ostale vrste, so tokrat vzkalila tri semena.

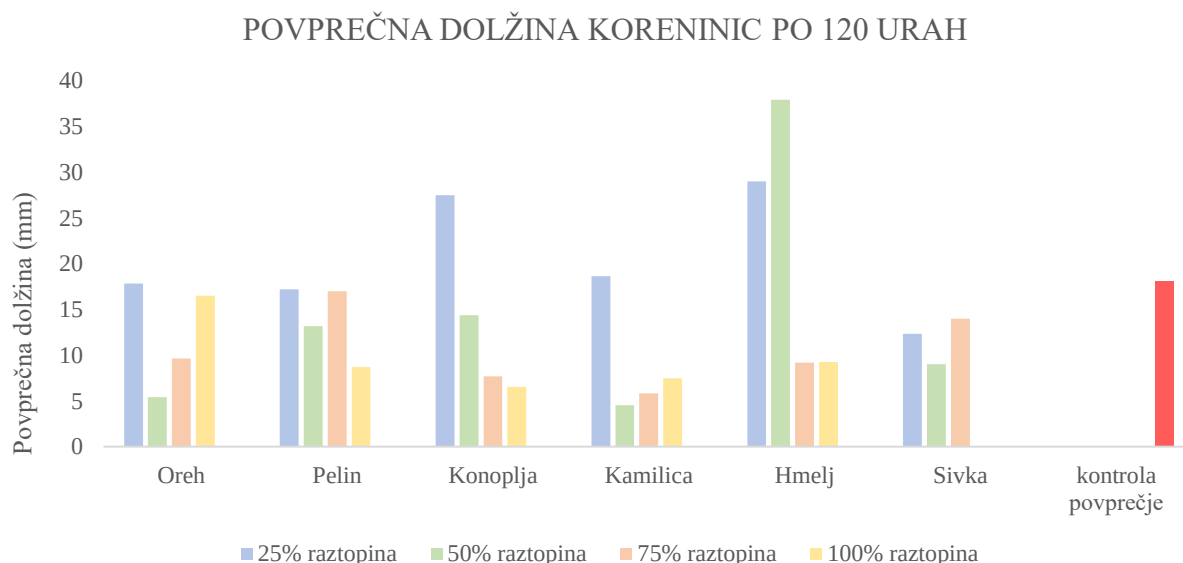
Pri 100 % koncentraciji je najmanj semen pelinolistne žvrklje vzkalilo pri hmelju (1) in sivki, ki je povsem zavrla kalitev pri nastavljenem poskusu. Največ semen je vzkalilo pri konoplji (5).

4.2.2.2 Inhibicijski vplivi na rast koreninic

Vodni ekstrakti šestih alelopatiskih rastlinskih vrst so pokazali različno moč vpliva na dolžino koreninic semen pelinolistne žvrklje. Dolžine koreninic sva merila po 120 urah od nastavitve poskusa.

Tabela 6: Povprečna dolžina koreninic za posamezno alelopatisko rastlinsko vrsto po 120 urah

Alelopatiska rastlinska vrsta	Povprečna dolžina koreninic po 120 h (v mm)				
	25 %	50 %	75 %	100 %	kontrola
Oreh	17,819	5,396	9,629	16,483	
Pelin	17,206	13,181	16,974	8,710	
Konoplja	27,492	14,353	7,674	6,518	
Kamilica	18,643	4,529	5,829	7,476	
Hmelj	28,974	37,896	9,190	9,258	
Sivka	12,316	9,025	13,986	0,000	
Kontrola povprečje					18,077



Graf 6: Povprečna dolžina koreninic za posamezno alelopatisko rastlinsko vrsto po 120 urah

Podobno kot pri številu vzkaljenih semen so tudi pri povprečni dolžini koreninic podatki zelo razpršeni, kar je vidno tudi iz podane tabele in grafa, v splošnem pa je večina vrednosti povprečnih dolžin nižja od povprečne vrednosti za kontrolo (18,077 mm).

Pri koncentraciji 25 % so vrednosti povprečnih dolžin za vse uporabljene alelopatiske rastlinske vrste zelo podobne. Povprečna dolžina koreninic je najmanjša pri vodnem ekstraktu iz izvlečkov sivke (12,316 mm). Največji vrednosti povprečne dolžine najdemo pri konoplji (27,492 mm) in hmelju (28,974 mm).

Pri 50 % so vrednosti pričakovano nižje, vendar ne v vseh primerih. Najnižji vrednosti

povprečne dolžine sva zabeležila pri kamilici (4,529 mm) in orehu (5,396 mm), najvišjo vrednost pa pri hmelju (37,896 mm). Ta vrednost kar precej odstopa od vrednosti v ostalih primerih.

V primeru 75 % raztopin posameznih vodnih ekstraktov sva najvišjo vrednost povprečne dolžine koreninic izmerila pri pelinu (16,974 mm), najnižjo pa pri kamilici (5,829 mm). Pri hmelju, kjer sva pri 25 % in 50 % izračunala največjo povprečno dolžino koreninic, je vrednost tokrat nekje v povprečju (9,190 mm).

Pri 100 % raztopinah je povprečna dolžina prirasta največja pri orehu (16,483 mm), najnižja pa pri sivki, ki je pri tej koncentraciji povsem zavrla rast in razvoj koreninic.

5 RAZPRAVA

Alelopatija je posreden ali neposreden vpliv ene rastline na drugo z alelokemikalijami, ki jih rastline izločajo v okolje. Kljub temu da je področje že zelo uveljavljeno, se najde mnogo prostora za nove raziskave, ki veliko prispevajo in nudijo odgovore na pomembna kmetijska in okoljska vprašanja, hkrati pa se še vedno pojavlja veliko neznank glede delovanja posameznih alelokemikalij na tarčne rastline.

Z raziskovalnim delom sva želela ugotoviti, kakšen vpliv imajo izvlečki enajstih izbranih alelopatijskih rastlinskih vrst na kalitev semen in rast koreninic bele gorčice ter pelinolistne žvrklje. Rezultati so naju zanimali predvsem zaradi vseh potencialnih uporab, ki jih uporaba alelopatijskih rastlin omogoča in ponuja na področju ekologije.

Najin cilj, ki sva si ga zadala pred začetkom raziskovalnega dela, je bil praktično v celoti dosežen. Uspešno sva izvedla praktični del raziskave, kjer sva opazovala vpliv izvlečkov enajstih alelopatijskih rastlinskih vrst na kalitev semen in razvoj koreninic. Skozi eksperimentalni del sva zbirala podatke, ki sva jih kasneje kritično ovrednotila in prišla do zaključkov.

Rezultati kaljivosti po 48 urah kažejo, da raztopine vseh izbranih rastlin zavirajo kaljivost gorčičnih semen, pri čemer imajo najbolj zaviralni učinek hmelj, kamilica, sivka in konoplja. Moč zaviranja kaljivosti se s koncentracijami raztopin v večini primerov povečuje. Tudi rast koreninic po 72 urah zavirajo raztopine vseh izbranih rastlinskih vrst, iz rezultatov pa je razvidno, da se tudi v tem primeru zaviralni učinek s povečevanjem koncentracij povečuje. Najbolj negativno so na dolžine prirasta vplivale raztopine sivke in ameriškega slamnika različnih koncentracij.

Sodeč po pridobljenih podatkih poskusa, opravljenega na semenu bele gorčice, lahko najino prvo hipotezo v celoti potrdimo. Glede na kontrolo so vsi vodni ekstrakti različnih koncentracij zavirali oba opazovana parametra, zaviralna moč pa se je v večini primerov, razen pri sivki, povečevala s koncentracijo vodnih ekstraktov.

Rezultati so v primeru ambrozije veliko pestrejši in manj urejeni. Kaljivost najbolj zavira kamilica, zelo učinkovit pa je tudi oreh v srednjih koncentracijah (50 % in 75 %). Konoplja in hmelj, ki sta se na primeru bele gorčice izkazala za zelo dobra zaviralca, v primeru ambrozije rast koreninic celo pospešujeta in imata najmanj zaviralni učinek od vseh šestih uporabljenih rastlin. Najbolj negativen vpliv na rast koreninic je imela sivka, ki je rast zavirala v vseh uporabljenih koncentracijah raztopin.

Kljub pestrosti podatkov lahko tudi pri ambroziji izpeljemo neka splošna pravila. Opazno je, da se načeloma v višjih koncentracijah pri vseh izbranih rastlinah začne kazati zaviralni učinek tako na primeru kalitve semen kot tudi pri rasti koreninic, pri čemer pa je inhibicijski vpliv bistveno manjši kot v primeru semen bele gorčice. Posledično lahko na podlagi ugotovitev poskusa, opravljenega na semenu pelinolistne žvrklje, drugo hipotezo, ki pravi, da je zaviralna moč vodnih ekstraktov alelopatijskih rastlinskih vrst večja v primeru semen bele gorčice (*Sinapis alba*) kot v primeru semen pelinolistne žvrklje (*Ambrosia artemisiifolia*), le delno potrdimo. Rezultati sicer nakazujejo, da postavljena hipoteza drži, vendar so podatki zaradi različnega nabora dokaj nezanesljivi in je potrebno izpostaviti, da bi bilo potrebno ta pojav natančneje preučiti na večjem številu paralel z ambrozijo za pridobitev natančnejših podatkov.

Teoretične oz. statistične vrednosti EC50 in IC50 sva zaradi razpršenosti podatkov pri ambroziji

računala le na primeru bele gorčice, vendar tudi v tem primeru vrednosti nisva uspela določiti v vseh primerih – hmelj, sivka in konoplja. Razlog za to je pomanjkanje vhodnih podatkov pri navedenih vrstah, saj so bile te vrednosti očitno pod mejo detekcije našega testa. Sklepamo lahko, da bi bili obe vrednosti za omenjene rastlinske vrste zelo nizki, saj so se vse tri vrste izkazale za izrazite zaviralce kalitve semen ter rasti koreninic semen bele gorčice. Tako bi bilo potrebno poskus razširiti oz. njihovo delovanje preveriti še za nižje koncentracije raztopin vodnih ekstraktov npr. v območju med 1 % in 25 %.

V ostalih primerih, ko sva vrednoti vseeno lahko določila, se je izkazalo, da je pri kamilici koncentracija, pri kateri je kaljivost semen zmanjšana za polovico (EC50), najmanjša in ima zato na tem področju najbolj zaviralni učinek. Vrednost EC50 je največja pri pelinu. Vrednost IC50 je najnižja pri ameriškem slamniku, ki ima izrazito negativen vpliv na rast in razvoj koreninic. Najvišjo vrednost sva zabeležila pri timijanu, ki rast koreninic najmanj zavira.

Pri primerjavi med IC50- in EC50-vrednostima opazimo, da najboljši zaviralci kaljivosti v večini primerov delujejo tudi najbolj zaviralno na razvoj in rast koreninic, ni pa v vseh primerih tako. Med obema statističnima vrednostima lahko pride tudi do velikih odstopanj, kot npr. v primeru ameriškega slamnika ali timijana. Sklepamo lahko torej, da rastline nimajo enako močnega vpliva na oba opazovana parametra in tako lahko potrdiva tudi tretjo zastavljeno hipotezo.

V raziskovalnem delu sva preučevala tudi vpliv herbicida na kalitev semen in rast koreninic. Za takšen poskus sva se odločila iz čisto praktičnih razlogov, saj lahko pri škropljenju po listih nekaj herbicida po rastlini pride tudi do korenin oz. v zemljo, kjer so semena.

Ugotovila sva, da koncentracija herbicida ne vpliva bistveno na razvoj semen, kar je bilo pričakovati glede na karakteristike, saj herbicid ni imel vpliva na kalitev semen, ker vpliva le na rast in razvoj zelenih ali vegetativnih delov rastline, zato je ta ugotovitev povsem na mestu. Drugače je bilo na primeru rasti koreninic, kjer se je vseeno izkazal za zaviralno sredstvo neodvisno od koncentracije raztopine, saj so vse uporabljene raztopine herbicida zavirale rast koreninic približno enako intenzivno.

Poskus za herbicid je bil zastavljen po priporočilih proizvajalca, s čimer sva se poskušala v največji možni meri približati povprečnemu uporabniku proizvoda. Po primerjavi povprečnih dolžin koreninic med herbicidom in posameznimi ekstrakti alelopatskih rastlinskih vrst je splošno opazno, da gre v primeru herbicida za slabše zaviralno sredstvo, primerljivo s 25 % vodnim ekstraktom kamilice ali pa 50 % vodnim ekstraktom pelina. Jasno je veliko odvisno tudi od pogojev in od okolja, v katerem se seme nahaja oz. se sreča z vplivom posameznega inhibitorja. Posledično lahko zadnjo hipotezo ovrževa.

Med raziskovanjem in analizo rezultatov eksperimentov sva prišla do številnih ugotovitev. Nekateri testi niso podali povsem jasne slike, kar naju pripelje do razmisleka, kaj bi lahko pri raziskavi izboljšala in kaj bi lahko naredili za nadgradnjo na področju najine raziskave.

Za podrobne izračune EC50- in IC50-vrednosti se je število najinih paralel izkazalo kot premajhno. Za natančnejšo določitev teh dveh statistično pridobljenih vrednosti bi morali izvesti poskuse na dosti večjem številu paralel in to s koncentracijami izvlečkov, ki so na območju v okolici vrednosti EC50 in IC50, ki jih podaja najina raziskovalna naloga. Pri raziskavi sva se trudila ohranjati čim bolj podobne pogoje pri vseh poskusih, da bi na ta način eliminirala vplive drugih dejavnikov, kljub vsem prizadevanjem pa so lahko na koncu problem že samo slaba semena. Za verodostojnejše rezultate bi bilo dobro, če bi poskuse izvajali na

semenih z večjim odstotkom kaljivosti pri kontrolnem poskusu.

Za nadgradnjo bi se splačalo preveriti alelopatske učinke izbranih rastlinskih vrst na še kakšno invazivno vrsto in preveriti, ali imajo izvlečki vpliv še na katero drugo fazo razvoja rastlin ter kako vplivajo na kakovost prsti in podtalnice.

Ugotovitve inhibicijskih učinkov izbranih rastlinskih vrst so spodbudne in kažejo velik potencial za razvoj bioherbicidov iz izbranih vrst in tudi ostalih že poznanih alelopatskih rastlin. Z razvojem bioherbicidov bi lahko znatno zmanjšali okoljske vplive kontroliranja rasti v kmetijstvu in pri nadzoru biodiverzitete ter s tem tudi povečali pridelek, dodatno pa bi z uporabo bioherbicidov lahko zmanjšali negativne vplive kemikalij na okolje ter tako pripomogli k razbremenitvi okolja. Kljub dobrim obetom so na tem področju potrebne še mnoge raziskave, da bi izolirali vpliv posameznih alelokemikalij, ugotovili, katera vrsta kemikalij ima največji vpliv, in proučili, v katerih koncentracijah naši izvlečki delujejo najučinkoviteje. Razvoj bioherbicidov, okoljski vplivi alelopatskih rastlin ter njihov potencial pri zatiranju invazivnih vrst so trenutno slabo raziskana področja, kar odpira veliko možnosti za nadaljnje raziskave in hiter razvoj kmetijstva ter predstavlja prosto mesto na trgu z možnostjo velikega zaslužka.

Najina raziskovalna naloga postavlja temelje za mnoge nadaljnje raziskave. Te se lahko obrnejo v različne smeri – od raziskovanja vplivov na opraševalce, vplivov na prst in podtalnico ter vplivov na ljudi tako iz biološkega kot tudi socialno-ekonomskega vidika. Ugotovitve je mogoče povezati tudi z genetiko, v vsakem primeru pa je še veliko prostora za raziskovanje v smeri iskanja vplivov posameznih alelokemikalij in iskanja najučinkovitejših vrst kemikalij in s tem razvoja bioherbicidov in reševanja pomembnih kmetijskih problemov. Predlagala bi zlasti globlji vpogled na področje alelokemikalij in njihovega vpliva na posamezne tarčne rastlinske vrste. V primeru, da bi točno ugotovili, katera kemikalija in kako vpliva na drugo rastlino, bi jo lahko izolirali oz. začeli pridobivati v namene ustvarjanja novih zaviralnih sredstev, ki bi predstavljala dobro alternativo fitokemičnim herbicidom, ki trenutno prednjačijo na trgu.

Alelopatijo lahko obravnavamo kot dopolnitev fizičnega odstranjevanja invazivnih vrst z nekega območja. Pomanjkljivost fizičnega odstranjevanja je ravno ta, da so semena prisotna v tleh, tudi če rastlino fizično odstranimo oz. odstranimo njene vegetativne dele, saj lahko v naslednji sezoni ta semena vzklijejo in se vrsta ponovno razvije. Tako bi lahko s pomočjo alelopatije oz. vodnimi ekstrakti alelopatskih rastlinskih vrst tretirali posamezno področje in tako na naraven način zavrli kalitev preostalih semen nezaželenih rastlinskih vrst.

Poleg uporabe v namene izdelave bioherbicidov bi lahko rastlinske vrste z visoko inhibicijsko alelopatsko sposobnostjo izkoriščali tudi na drugačne načine. Eden izmed mnogih načinov je denimo kombiniranje pridelkov – npr. sivko, ki se je izkazala za izrazito alelopatično, bi lahko v nasadih sadili med druge rastlinske vrste in s tem zatirali rast plevela, pri čemer bi bilo potrebno preveriti tudi, da alelokemikalije, ki jih izloča sivka, ne delujejo negativno na rast pridelka. Tako s to kot tudi z drugimi metodami bi lahko na okolju prijazen način povečali količino pridelka in zmanjšali uporabo nezaželenih onesnaževalcev okolja.

Raziskava, ki sva jo opravila v zadnjih mesecih, odpira vrata v raziskovanje in razvoj slabo raziskanega področja bioherbicidov, v katerem vidiva svetlo prihodnost, saj bi lahko pomenilo revolucijo v kmetijstvu in pomoč v boju proti invazivnim vrstam. Mogoče malo utopična ideja o čisto naravnem biološkem herbicidu ni daleč od prvih takšnih izdelkov, kajti najini rezultati kažejo, da inhibicijski vplivi na kalitev semen in rast korenin niso zanemarljivi in pri nekaterih rastlinah že v zelo nizkih koncentracijah kažejo velike zaviralne sposobnosti.

6 ZAKLJUČEK

Z raziskovalnim delom sva želela ugotoviti in definirati alelopatski vpliv enajstih alelopatskih rastlinskih vrst na semena invazivne in neinvazivne rastlinske vrste ter proučiti možnost uporabe izbranih rastlinskih vrst kot možen inhibitor plevela v kmetijstvu kot okolju prijaznejšo alternativo herbicidom in ugotoviti njihov potencial za boj proti invazivnim vrstam.

Pridobljeni rezultati kažejo velik inhibicijski vpliv na kalitev in rast koreninic pri prav vseh izbranih rastlinskih vrstah na semena bele gorčice sploh pri izvlečkih sivke, hmelja in konoplje, ki so v skoraj vseh izvedenih poskusih popolnoma zavirale kaljivost in rast koreninic, iz česar lahko sklepamo, da je uporaba teh rastlinskih vrst primerna za razvoj poskusnih bioherbicidov.

Vplivi na semena pelinolistne žvrklje so dosti manj izraziti. Izvlečki izbranih rastlin so imeli na semena pelinolistne žvrklje precej manjši vpliv kot na semena gorčice, njihova zaviralna moč pa pri nekaterih vrstah ni dosegla tako velikega učinka v primerjavi z drugimi vrstami kot pri gorčičnih semenih. V nekaterih primerih so raztopine na semena pelinolistne žvrklje delovala celo spodbujajoče, kar naju vodi do zaključka, da alelopatske rastline nimajo enakih učinkov na vse rastline in, da jih bo v boju z invazivnimi vrstami mogoče težje uporabiti. Najine ugotovitve potrjujejo spoznanja številnih drugih raziskav s področja alelopatije, ki so ugotovile, da imajo najine izbrane rastlinske vrste inhibicijske vplive na kalitev semen in rast koreninic.

Rezultati morda v vseh poskusih ne podajo čisto jasne slike, kar nam pove, da bi lahko pri raziskavi nekatere stvari izboljšali. Predvsem gre tu za povečanje števila paralel in ugotavljanje vpliva na ustreznejših razponih koncentracij izvlečkov. Najina raziskovalna naloga daje dobro podlago za prihodnje, ko bi raziskovalci lahko poskusili poiskati najoptimalnejše koncentracije posameznih izvlečkov izbranih rastlinskih vrst, poiskati med kemikalijami tiste, ki so odgovorne za alelopatske lastnosti, narediti in poizkusiti bioherbicide, ugotoviti njihov potencial v boju s pleveli in invazivnimi vrstami ter proučiti vplive alelopatskih vrst na biodiverziteto ter kakovost prsti in podtalnice.

Alelopatske vrste s svojimi vplivi ponujajo veliko možnosti za uporabo v kmetijstvu in varstvu okolja, hkrati pa je njihov potencial za uspeh na trgu zaradi novosti in možnosti revolucije marsikatero panogo, kar bi lahko omogočalo ogromen zaslužek.

7 POVZETEK

Pojav medsebojnega vpliva rastlin so raziskovale že najstarejše civilizacije. Zgodnji znanstveniki so opazovali vpliv rastlin in iskali splošne zakonitosti, zaradi katerih rastline vplivajo na rast druga druge. Ugibanja so bila pojasnjena šele v dvajsetem stoletju, ko je bilo definirano novo področje – alelopatija. Na tem področju obstaja veliko neznank, pojav alelopatije pa se povezuje zlasti z zaviralnim vplivom alelokemikalij, čeprav lahko imajo rastline tudi stimulatívne učinke na rast, ki so prav tako pomembni v kmetijstvu. Alelopatske rastline imajo ogromen potencial tudi kot bioherbicidi v boju proti invazivnim vrstam in plevelu v smislu zmanjševanja negativnih vplivov kemikalij na okolje.

V najini raziskovalni nalogi sva se tako lotila proučevanja alelopatskega vpliva vodnih ekstraktov enajstih alelopatskih rastlinskih vrst na kalitev semen in rast koreninic bele gorčice (*Sinapis alba*) in pelinolistne žvrklje (*Ambrosia artemisiifolia*). Rezultati kažejo izjemno zaviralno moč izbranih rastlinskih vrst na zaviranje kalitve semen in dolžine koreninic. Izmed vseh testiranih vrst na kalitev semen in dolžino koreninic bele gorčice najbolj zaviralno delujeta hmelj in sivka, ki delujeta strogo zaviralno pri vseh koncentracijah. Ugotovitve kažejo, da se pri vseh rastlinskih vrstah zaviralna moč povečuje z večanjem koncentracije vodnih ekstraktov. Analiza rezultatov je pokazala tudi, da so zaviralni vplivi večji pri semenih bele gorčice kot pri semenih pelinolistne žvrklje.

8 VIRI IN LITERATURA

Barnes, J. P., Putnam, A. R., Burke, B. A. (1986). Allelopathic activity of rye (*Secale cereale* L.). *The Science of allelopathy*, 271–286.

Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43.

Rice, E. L. (1985). Allelopathy—an overview. *Chemically mediated interactions between plants and other organisms*, 81–105.

Lee, I. K., Monsi, M. (1963). Ecological studies on *Pinus densiflora* forest. 1. Effects of plant substances on the floristic composition of the undergrowth. *Botanical Magazine* 76: 400–413.

Willis, R. J. (2007). *The history of allelopathy*. Springer Science & Business Media.

Aldrich, R. J., Kremer, R. J. (1997). *Principles in weed management* (No. Ed. 2). Iowa State University Press.

Dakshini, K. M. M. (1999). Allelopathy: One component in a multifaceted approach to ecology. *Principles and practices in plant ecology: Allelochemical interactions*, 3–14.

Đikić, M. (2004). Alelopatski utjecaj aromatičnog, ljekovitog i krmnog bilja na klijanje, nicanje i rast korova i usjeva. *Doktorska disertacij, Univerzitet u Sarajevu, Poljoprivredni fakultet Sarajevo, Sarajevo*.

Alam, S. M., Ala, S. A., Azmi, A. R., Khan, M. A., Ansari, R. (2001). Allelopathy and its role in agriculture. *Journal of Biological Sciences*, 1(5), 308–315.

Swain, T. (1977). Secondary compounds as protective agents. *Annual review of plant physiology*, 28(1), 479–501.

Rice, E. L. (1984). Allelopathy. Academic Press, Orlando, FL. *Allelopathy. 2nd ed. Academic Press, Orlando, FL*.

Singh, N. B., Thapar, R. I. T. I. (2003). Allelopathic influence of *Cannabis sativa* on growth and metabolism of *Parthenium hysterophorus*. *Allelopathy Journal*, 12(1), 61–70.

Zeman, S., Fruk, G., Jemrić, T. (2011). Alelopatski odnosi biljaka: pregled djelujućih čimbenika i mogućnost primjene. *Glasnik zaštite bilja*, 34(4), 52–59.

Putnam, A. R., Duke, W. B. (1978). Allelopathy in agroecosystems. *Annual review of phytopathology*, 16(1), 431–451.

Habib, S. A., Rahman, A. A. (1988). Evaluation of some weed extracts against field dodder on alfalfa (*Medicago sativa*). *Journal of chemical ecology*, 14, 443–452.

Singh, H. P., Batish, D. R., Kohli, R. K. (2003). Allelopathic interactions and allelochemicals: new possibilities for sustainable weed management. *Critical reviews in plant sciences*, 22(3–4), 239–311.

Putnam, A. R. (1988). Allelochemicals from plants as herbicides. *Weed technology*, 2(4), 510–518.

Lovett, J. V. (1990). Chemicals in plant protection: is there a natural alternative?. *FRI Bulletin*, (155), 57–65.

Mikulas, J., Polos, E., Varadi, G., Kazinczi, G., Hunyadi, K. (1994). Results of allelopathic research in Hungary. In *Internat. Symp. of Allelopathy in Sustainable Agriculture, Forestry and Environment, New Delhi*.

Joel, D. M., Putievsky, N., Arianu, L., Ravid, U., Putievsky, E., Dudai, N. (1997). Allelopathic prevention of weed germination and *Cuscuta* parasitism. In *Proc. 10 th Symp. EWRS, Poznan*.

Đikić, M. (1999). Allelopathic effects of the extracts of aromatic and medicinal plants on the germination of weed seeds. In *Proceedings of the 11th European Weed Research Society Symposium*.

Li, F. M., Hu, H. Y. (2005). Isolation and characterization of a novel antialgal allelochemical from *Phragmites communis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(11), 6545–6553.

Putnam, A. R., Weston, L. A. (1986). Adverse impacts of allelopathy in agricultural systems. *The science of allelopathy*, 43–56.

Hierro, J. L., Callaway, R. M. (2003). Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and soil*, 29–39.

Callaway, R. M., Aschehoug, E. T. (2000). Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion. *Science*, 290(5491), 521–523.

Chen, B. M., Liao, H. X., Chen, W. B., Wei, H. J., Peng, S. L. (2017). Role of allelopathy in plant invasion and control of invasive plants. *Allelopathy J*, 41(2), 155–166.

Gries, G. A. (1943). Juglone, the active agent in walnut toxicity. *North. Nut Grow. Assoc. Annu. Rep*, 32, 52–55.

Willis, R. J. (2000). *Juglans* spp., juglone and allelopathy. *Allelopathy J*, 7(1), 1–55.

Hou, X., Huang, J., Tang, J., Wang, N. A., Zhang, L. U., Gu, L., Huang, Y. (2019). Allelopathic inhibition of juglone (5-hydroxy-1, 4-naphthoquinone) on the growth and physiological performance in *Microcystis aeruginosa*. *Journal of environmental management*, 232, 382–386.

Đikić, M. (2005). Allelopathic effect of aromatic and medicinal plants on the seed germination of *Galinsoga parviflora*, *Echinochloa crus-galli* and *Galium molugo*. *Herbologia*, 6(3), 51–57.

Marinov-Serafimov, P. (2010.): Determination of Allelopathic Effect of Some Invasive Weed Species on Germination and Initial Development of Grain Legume Crops. *Pesticides and Phytomedicine*, 25(3): 251–259.

Ravlić, M., Baličević, R., Knežević, M., Ravlić, J. (2013). Allelopathic effect of creeping thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) on germination and early growth of winter wheat and winter barley. 48. *Hrvatski i 8. Međunarodni Simpozij Agronoma, Dubrovnik, Hrvatska, 17.–22. veljač 2013. Zbornik Radova*, 97–100.

Ramezani, M., Behravan, J., Yazdinezhad, A. (2005). Chemical composition and antimicrobial activity of the volatile oil of *Artemisia khorassanica*. from Iran. *Pharmaceutical biology*, 42(8), 599–602.

Afolayan, A. J., Bvenura, C. (2018). Essential oil composition and phytotoxicity effects of *Solanum nigrum* L. on seed germination of some vegetables. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(1), 553–561.

Pirzad, A., Ghasemian, V., Darvishzadeh, R., Sedghi, M., Hassani, A., Onofri, A. (2010): Allelopathy of Sage and White Wormwood on Purslane Germination and Seedling Growth. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(3), 91–95.

Zhou, S., Han, C., Zhang, C., Kuchkarova, N., Wei, C., Zhang, C., Shao, H. (2021). Allelopathic, phytotoxic, and insecticidal effects of *Thymus proximus* Serg. essential oil and its major constituents. *Frontiers in Plant Science*, 12, 689875.

Ekoh, S. N., Akubugwo, E. I., Ude, V. C., Edwin, N. (2014). Anti-hyperglycemic and anti-hyperlipidemic effect of spices (*Thymus vulgaris*, *Murraya koenigii*, *Ocimum gratissimum* and *Piper guineense*) in alloxan-induced diabetic rats. *Int J Biosci*, 4(2), 179–187.

Szczepanik, M., Zawitowska, B., Szumny, A. (2012). Insecticidal activities of *Thymus vulgaris* essential oil and its components (thymol and carvacrol) against larvae of lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* Panzer (Coleoptera: Tenebrionidae). *Allelopathy Journal*, 30(1), 129–142.

Isik, D., Mennan, H., Cam, M., Tursun, N., Arslan, M. (2016). Allelopathic potential of some essential oil bearing plant extracts on Common Lambsquarters (*Chenopodium album* L.). *Rev. Chim*, 67(3), 455–459.

Kuete, V. (2017). *Thymus vulgaris*. *Medicinal spices and vegetables from Africa*, 599–609.

Bojović, B. M., Jakovljević, Z. D., Stanković, S. M. (2015, June). Allelopathic effect of aqueous extracts of *Urtica dioica* L. on germination and growth of some cereals. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Plant Biology—21st Symposium of the Serbian Plant Physiology Society, Petnica, Serbia* (pp. 17–20).

Dar, S. A., Ganai, F. A., Yousuf, A. R., Balkhi, M. U. H., Bhat, T. M., Sharma, P. (2013). Pharmacological and toxicological evaluation of *Urtica dioica*. *Pharmaceutical Biology*, 51(2), 170–180.

Castle, J., Lis-Balchin, M. (2002). History of usage of *Lavandula* species. In *Lavender* (pp. 49–64). CRC Press.

Nazemi, A. H., Asadi, G. A., Ghorbani, R. (2018). Allelopathic Potential of Lavender's Extract and Coumarin Applied as Pre-Plant Incorporated Into Soil Under Agronomic Conditions. *Planta Daninha*, 36.

Haig, T. J., Haig, T. J., Seal, A. N., Pratley, J. E., An, M., Wu, H. (2009). Lavender as a source of novel plant compounds for the development of a natural herbicide. *Journal of chemical ecology*, 35, 1129–1136.

Karamanoli, K., Vokou, D., Menkissoglu, U., Constantinidou, H. I. (2000). Bacterial

colonization of phyllosphere of Mediterranean aromatic plants. *Journal of Chemical Ecology*, 26, 2035–2048.

Moon, T., Cavanagh, H. M., Wilkinson, J. M. (2007). Antifungal activity of Australian grown *Lavandula* spp. essential oils against *Aspergillus nidulans*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Leptosphaeria maculans* and *Sclerotinia sclerotiorum*. *Journal of essential oil research*, 19(2), 171–175.

Papachristos, D. P., Karamanoli, K. I., Stamopoulos, D. C., Menkissoglu-Spiroudi, U. (2004). The relationship between the chemical composition of three essential oils and their insecticidal activity against *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 60(5), 514–520.

Tiliacos, C., Gaydou, E. M., Bessière, J. M., Agnel, R. (2008). Distilled lavandin (*Lavandula intermedia* Emeric ex Loisel) wastes: a rich source of coumarin and herniarin. *Journal of Essential Oil Research*, 20(5), 412–413.

Viles, A. L., Reese, R. N. (1996). Allelopathic potential of *Echinacea angustifolia* DC. *Environmental and Experimental Botany*, 36(1), 39–43.

Piechowski, K., Reese, R. N. (1997). Allelopathic potential of *Echinacea angustifolia* dc's root extracts. *We thank former editor Emil Knapp for compiling the articles contained in this volume.*, 76, 289.

Kupidlowska, E., Dobrzynska, K., Parys, E., Zobel, A. M. (1994). Effect of coumarin and xanthotoxin on mitochondrial structure, oxygen uptake, and succinate dehydrogenase activity in onion root cells. *Journal of Chemical Ecology*, 20, 2471–2480.

Pudelko, K., Majchrzak, L., Narožna, D. (2014). Allelopathic effect of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) on monocot and dicot plant species. *Industrial Crops and Products*, 56, 191–199.

Downer, E. J., Campbell, V. A. (2010). Phytocannabinoids, CNS cells and development: a dead issue?. *Drug and Alcohol Review*, 29(1), 91–98.

Mahmoodzadeh, H., Ghasemi, M., Zanganeh, H. (2015). Allelopathic effect of medicinal plant *Cannabis sativa* L. on *Lactuca sativa* L. seed germination. *Acta agriculturae Slovenica*, 105(2), 233–239.

Amar, M. B. (2006). Cannabinoids in medicine: A review of their therapeutic potential. *Journal of ethnopharmacology*, 105(1-2), 1–25.

Mechoulam, R. (2019). The pharmacohistory of *Cannabis sativa*. *Cannabinoids as therapeutic agents*, 1–20.

Wang, L., Liu, Y., Zhu, X., Zhang, Z., Huang, X. (2021). Identify potential allelochemicals from *Humulus scandens* (Lour.) Merr. root extracts that induce allelopathy on *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. *Scientific Reports*, 11(1), 1–8.

Liu, X., Zhou, K., Xiong, L., Qin, Y., Nie, L. (2011). Allelopathic effects of volatiles from *Humulus scandens* and the analysis research of its allelopathic compounds. *Journal of Biology*, 28(3), 34–38.

Zheng, J. Y., Yue, Z. H., Tian, Y., Liu, B. L., Guo, L. B. (2014). Allelopathy of *Equisetum arvense* extract on seed germination and seedling growth of wheat. *Acta Prataculturae Sinica*, 23(3), 191.

Milton, J. N. B., Duckett, J. G. (1985). Potential allelopathy in *Equisetum*. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Section B: Biological Sciences*, 86, 468–469.

Duke, J. A. (1983). Handbook of energy crops. *Handbook of Energy Crops*.

Bostan, C., Borlea, F., Mihoc, C., Selesan, M. (2014). *Ailanthus altissima* species invasion on biodiversity caused by potential allelopathy. *Research Journal of Agricultural Science*, 46(1), 95–103.

Pannacci, E., Pettorossi, D., Tei, F. (2013). Phytotoxic effects of aqueous extracts of sunflower on seed germination and growth of *Sinapis alba* L., *Triticum aestivum* L. and *Lolium multiflorum* Lam. *Allelopathy Journal*, 32(1), 23.

Grieve, M. (1931). A modern herbal. Hypertext version by Botanical.com. 1995–2002.

Watt, J. M., Breyer-Brandwijk, M. G. (1962). The Medicinal and Poisonous Plants of Southern and Eastern Africa being an Account of their Medicinal and other Uses, Chemical Composition, Pharmacological Effects and Toxicology in Man and Animal. *The Medicinal and Poisonous Plants of Southern and Eastern Africa being an Account of their Medicinal and other Uses, Chemical Composition, Pharmacological Effects and Toxicology in Man and Animal.*, (Edn 2).

Simončič, A., Lešnik, M., Leskovšek, R. (2010). *Navodila za zatiranje in preprečevanje širjenja pelinolistne ambrozije (Ambrosia artemisiifolia)*. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede.

Hua, S., Shaolin, P., Xiaoyi, W., DeQing, Z., Chi, Z. (2005). Potential allelochemicals from an invasive weed *Mikania micrantha* HBKJ *Chem. Ecol*, 31, 1657–1668.

Weitbrecht, K., Müller, K., & Leubner-Metzger, G. (2011). First off the mark: early seed germination. *Journal of experimental botany*, 62(10), 3289–3309.

Jimenez-Lopez, J. C. (Ed.). (2017). *Advances in Seed Biology*. BoD–Books on Demand.

Li, J., Chen, L., Chen, Q., Miao, Y., Peng, Z., Huang, B., ... & Du, H. (2021). Allelopathic effect of *Artemisia argyi* on the germination and growth of various weeds. *Scientific reports*, 11(1), 1–15.

Invazivne tujerodne vrste rastlin in živali. (2022). Portal gov.si. Pridobljeno 3. 2. 2023 s strani: <https://www.gov.si teme/invazivne-tujerodne-vrste-rastlin-in-zivali/>.

Pelinolistna žvrklja ali ambrozija – Tujerodne vrste. (n.d.). Gozdarski inštitut Slovenije. Pridobljeno 3. 2. 2023 s strani: <https://www.tujerodne-vrste.info/vrste/pelinolistna-zvrklja-ali-ambrozija/>.

Kopriva, velika - Zdravilne rastline - Svetovanje. (n.d.). Gorenjske lekarne. Pridobljeno 6. 2. 2023 s strani: <https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/kopriva-velika>.

Ameriški slamnik - Zdravilne rastline - Svetovanje. (n.d.). Gorenjske lekarne. Pridobljeno 16. 2. 2023 s strani: <https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/ameriski-slamnik>.

Omela, bela - Zdravilne rastline - Svetovanje. (n.d.). Gorenjske lekarne. Pridobljeno 16. 2. 2023 s strani: <https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/omela-bela>.

Hmelj, navadni - Zdravilne rastline - Svetovanje. (n.d.). Gorenjske lekarne. Pridobljeno 16. 2. 2023 s strani: <https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/hmelj-navadni>.

Preslica, njivska - Zdravilne rastline - Svetovanje. (n.d.). Gorenjske lekarne. Pridobljeno 15. 2. 2023 s strani: <https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/preslica-njivska>.

Kamilica, prava - Zdravilne rastline - Svetovanje. (n.d.). Gorenjske lekarne. Pridobljeno 10. 2. 2023 s strani: <https://www.gorenjske-lekarne.si/svetovanje-clanek/kamilica-prava>.

Pelinolistna ambrozija – Ambrosia artemisiifolia. (n.d.). Kmetijsko gozdarska zbornica Murska Sobota. Pridobljeno 5. 2. 2023 s strani: <https://www.kgzs-ms.si/pelinolistna-ambrozija-ambrosia-artemisiifolia/>.

Rasband, W. S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997–2018. Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W.

9 ZAHVALA

Za podporo, pomoč in strokovno svetovanje med pripravo raziskovalnega dela se iskreno zahvaljujeta mentorici Ireni Štimac, univ. dipl. biol., in somentorici Sandri Potušek, mag. varst. narav.

Posebej se zahvaljujeta dijakom 2. B-razreda Gimnazije ŠC Velenje ter vsem sošolcem in sošolkam, ki so nama bili pripravljeni priskočiti na pomoč in nama pomagati pri pripravi raziskovalne naloge. Zahvala tudi profesoricama Polonci Glojek in Darji Joger Avberšek za jezikovni pregled besedila v slovenskem oz. angleškem jeziku.

Zahvaljujeta se Botaničnemu vrtu Univerze v Ljubljani za semena pelinolistne žvrklje ter vsem drugim, ki so kakorkoli doprinesli k nastanku raziskovalnega dela.

PRILOGE

Priloga A: Fotografije iz priprave raztopin



Slika 1: Tehtanje listov za pripravo raztopin (Foto: Frankovič L.)



Slika 2: Redčenje 100 % raztopine za pripravo nižjih koncentracij (Foto: Grušovnik V.)

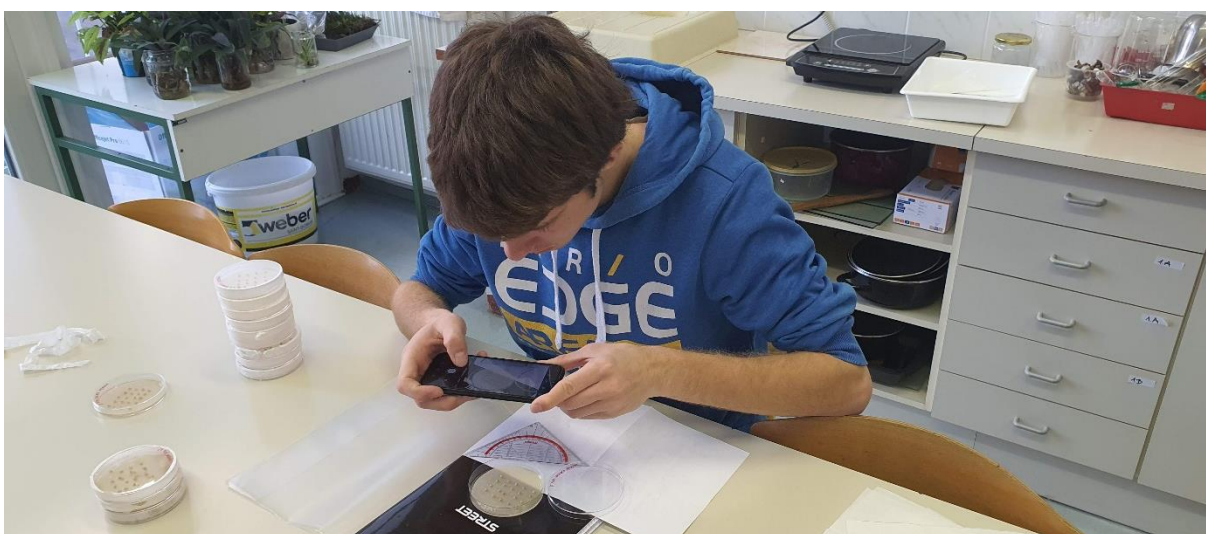
Priloga B: Fotografije iz laboratorijskega dela



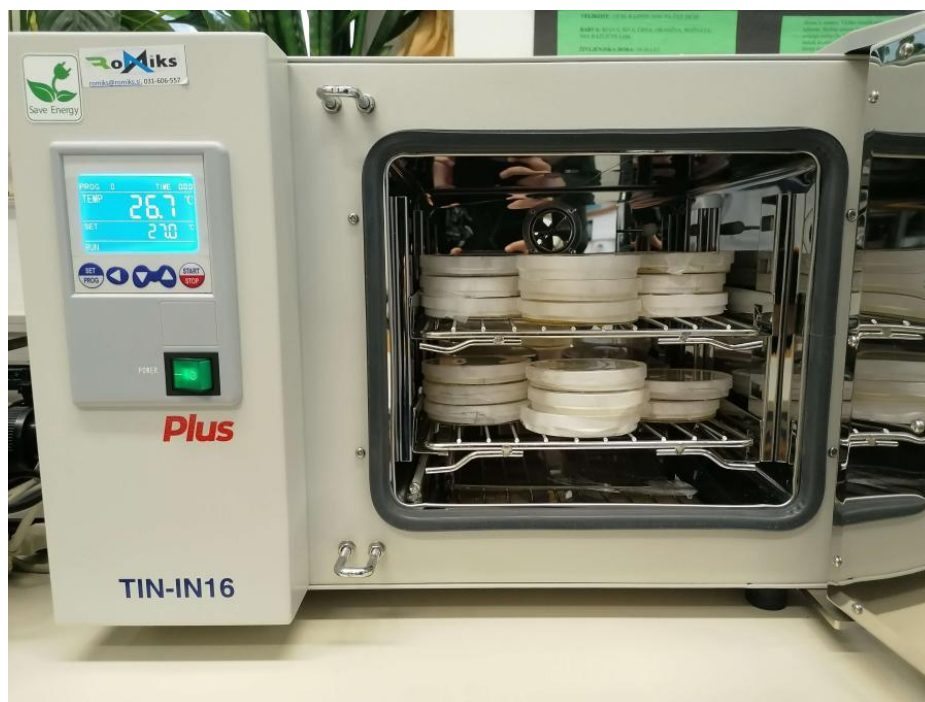
Slika 1: Priprava poskusa z gorčičnimi semeni (Foto: Štimac I.)



Slika 2: Štetje vzklitih semen bele gorčice (Foto: Štimac I.)



Slika 3: Fotografiranje koreninic semen bele gorčice (Foto: Štimac I.)



Slika 4: Inkubator s paralelami semen pelinolistne žvrklje (Foto: Frankovič L.)



Slika 5: Uničevanje semen pelinolistne žvrklje v sterilizatorju (Foto: Štimac I.)