

Alelopatski potencijal invazivne alohtone vrste pajasena (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle)

Novak, Maja

Doctoral thesis / Disertacija

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:479646>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Maja Novak

**ALELOPATSKI POTENCIJAL INVAZIVNE
ALOHTONE VRSTE PAJASENA
(*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle)**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2019.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Maja Novak

**ALLELOPATHIC POTENTIAL OF
INVASIVE ALIEN SPECIES TREE OF
HEAVEN (*Ailanthus altissima* (Mill.)
Swingle)**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2019.



Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Maja Novak

**ALELOPATSKI POTENCIJAL INVAZIVNE
ALOHTONE VRSTE PAJASENA
(*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle)**

DOKTORSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Klara Barić

Zagreb, 2019.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Maja Novak

**ALLELOPATHIC POTENTIAL OF
INVASIVE ALIEN SPECIES TREE OF
HEAVEN (*Ailanthus altissima* (Mill.)
Swingle)**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Klara Barić, Ph. D. Associate Professor

Zagreb, 2019.

Bibliografski podaci:

- **Znanstveno područje:** biotehničke znanosti
- **Znanstveno polje:** poljoprivreda
- **Znanstvena grana:** fitomedicina
- **Institucija:** Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
- **Voditelji doktorskog rada:** izv. prof. dr. sc. Klara Barić
- **Broj stranica:** 103
- **Broj slika:** 20
- **Broj tablica:** 13
- **Broj priloga:** -
- **Broj literaturnih referenci:** 154
- **Datum obrane doktorskog rada:** 7.ožujak 2019.
- **Sastav povjerenstva za obranu doktorskog rada:**
 1. izv. prof. dr. sc. Maja Šćepanović
 2. izv. prof. dr. sc. Dubravka Dujmović Purgar
 3. izv. prof. dr. sc. Dubravka Vitali Čepo

Rad je pohranjen u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Ulica Hrvatske bratske zajednice 4 p.p. 550, 10000 Zagreb,
Knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb.

Tema rada prihvaćena je na 8. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta, održanoj 6. prosinca 2016. te odobrena na 8. redovitoj sjednici Senata Sveučilišta u Zagrebu, održanoj 14. veljače 2017.

Ocjena doktorskog rada

Doktorski rad je obranjen na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, 7. ožujka 2019. pred povjerenstvom u sastavu:

izv. prof. dr. sc. Maja Šćepanović,

Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet

izv. prof. dr. sc. Dubravka Dujmović Purgar,

Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet

izv. prof. dr. sc. Dubravka Vitali Čepo,

Sveučilište u Zagrebu Farmaceutsko-biokemijski fakultet

Informacije o mentoru

Klara Barić rođena je 13. svibnja 1959. u Kotor Varošu, BiH. Po nacionalnosti Hrvatica, udana i majka jednog djeteta.

Osnovnu školu završila je u Kutjevu, a srednju Poljoprivrednu školu u Požegi. Na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku, prema programu studija ratarskog smjera, diplomirala 22. travnja 1985. godine. Poslijediplomski studij Zaštita bilja na istom fakultetu upisala je školske godine 1992./93. Magistarski rad pod naslovom "Djelotvornost fungicida na *Fusarium* spp. na klasu pšenice i utjecaj na prinos pšenice" obranila je 12. travnja 2000. na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku. Doktorsku disertaciju pod naslovom „Osjetljivost nekih roditeljskih komponenata i Bc hibrida kukuruza (*Zea Mays* L.) na herbicid nikosulfuron" obranila je 17. ožujka 2008. na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Desetogodišnje radno iskustvo stekla je u Poljoprivredno-prehrambenom kombinatu Kutjevo, na radnom mjestu referenta zaštite bilja. Nakon toga radila je godinu dana u kemijskoj tvrtki "Herbos" d. d. u Sisku na poslovima prodaje i promidžbe sredstava za zaštitu bilja. Od 9. ožujka 1998. zaposlena je na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, u Zavodu za herbologiju, u svojstvu stručnog suradnika. U suradničko zvanje asistenta izabrana 16. siječnja 2006., u zvanje višeg asistenta 15. srpnja 2008., u zvanje znanstvenog suradnika 27. svibnja 2009., u znanstveno-nastavno zvanje docenta 15. srpnja 2009., a u znanstveno-nastavno zvanje izvanrednog profesora 9. studenog 2016. godine.

Nositelj je dva modula (Herbicidi, Primijenjena herbologija) na preddiplomskom, tri (Specijalna herbologija, Legislativa u zaštiti bilja, Interakcije herbicida u tlu) na diplomskom i jednog (Napredni sustavi suzbijanja krova) na poslijediplomskom studiju. Suradnik je na tri modula. Od 2006. do danas bila je voditelj 63 diplomskih i završnih rada. U okviru nastavne aktivnosti bila je voditelj studija Zaštita bilja i član Odbora za nastavu i izbor nastavnika. Član je Fakultetskog vijeća u dva mandata. Trenutno obnaša funkciju predstojnika Zavoda za herbologiju.

Kao autor ili koautor objavila je oko 300 publikacija od čega 40-ak znanstvenih. Koautor je udžbenika „Štetočinje povrća" i priručnika „Šećerna repa: zaštita od štetnih organizama u sustavu integrirane biljne proizvodnje". Aktivno je sudjelovala u prezentaciji većeg broja radova na međunarodnim i nacionalnim znanstvenim te na stručnim skupovima (<https://bib.irb.hr/lista-radova?autor=278905>).

Bila je voditelj dva VIP projekta („Suzbijanje korova u luku u odnosu na način i cilj uzgoja" i „Suzbijanje korova u povrću (luk, rajčica, špinat) kod uzgoja izravnom sjetvom sjemena") i nacionalnog znanstvenog projekta („Ekološki prihvatljiva zaštita od korova u sustavu integrirane biljne proizvodnje").

Sudjelovala je kao suradnik na većem broju tehnoloških/stručnih projekata („Mogućnost primjene smanjenih količina herbicida", „Rezistentnost korova na herbicide", „Limundžik (*Ambrosia artemisiifolia* L.) raširenost, biologija, ekologija, štetnost i mjere suzbijanja" i „Utjecaj poljoprivrede na onečišćenje površinskih i podzemnih voda u Republici Hrvatskoj"). Također je bila suradnik na dva EU projekta („TEMPUS: International joint Master degree in Plant Medicine" i „IPA: Enhancement of collaboration between science, industry and farmers: Technology transfer for integrated pest management (IPM) in sugar beet as the way to improve farmer's income and reduce pesticide use" (TT-IPM-FoAZ)).

Vodila i surađivala u više znanstvenih i stručnih projekata.

Član je Upravnog odbora *Hrvatskog društva biljne zaštite* (HDBZ) i glavna urednica znanstvenog časopisa *Fragmenta phytomedica* HDBZ-a. Član je *European Weed Research Society* (EWRS).

Zahvala

Poštovanje i zahvalu izražavam mentoru gospođi izv. prof. dr. sc. Klari Barić na vođenju, savjetima i pomoći tijekom izrade i pisanja disertacije.

Jednako tako zahvalna sam suprugu dr. sc. Nenadu Novaku na korisnim i stručnim savjetima te neizmjernoj pomoći tijekom istraživanja i pisanja disertacije.

Zahvaljujem se dr. sc. Zvonimiru Ostojiću, prof. emerit. koji mi je prenio ljubav prema herbologiji, mr. sc. Veljku Lodeti na probuđenoj ljubavi prema invazivnoj biljnoj vrsti pajasenu i zahvalno sjećanje na mr. sc. Zvonimira Flegara[†].

Zahvaljujem se članovima povjerenstva izv. prof. dr. sc. Maji Šćepanović, izv. prof. dr. sc. Dubravki Dujmović Purgar i izv. prof. dr. sc. Dubravki Vitali Čepo na stručnom doprinosu i sugestijama te sudjelovanju u ocjeni i obrani disertacije. Hvala Vam na prekrasnom odnosu koji smo ostvarili tijekom izrade disertacije.

Iskreno se zahvaljujem svima koji su mi pomogli pri istraživanju i pisanju disertacije, dr. sc. Maji Pelajić, Dubravki Čelig, dipl. ing., dr. sc. Ivani Tomaz, dr. sc. Dariu Iviću, dr. sc. Bernardici Milanović, dr. sc. Darki Hamel i osobito dr. sc. Kristini Gršić.

Za podršku i pomoć zahvaljujem roditeljima Mirjani i Stjepanu, te Sandri i gospođi Gordani. Mama i tata, hvala Vam što ste mi omogućili napredovanje u stručnom i znanstvenom dijelu života, ali i općenito.

Nenadu i Borna hvala na podršci i nadahnuću, znam da me volite neizmjerно s ili bez znanstvenog zvanja kao i ja vas, ali nadam se da će te zbog truda i volje koji sam uložila u ovu disertaciju biti još ponosniji.

Najiskrenije se zahvaljujem i drugima koji su mi pomogli pri izradi doktorske disertacije i onima koji nisu odrekli.

Ovaj doktorski rad financiran je iz projekata Hrvatske agencije za poljoprivredu i hranu - Centra za zaštitu bilja pod stručnim vodstvom izv. prof. dr. sc. Klare Barić. Dio eksperimentalnog rada izrađen je u Zavodu za vinogradarstvo i vinarstvo Agronomskog fakulteta u Zagrebu pod vodstvom dr. sc. Ivane Tomaz.

SAŽETAK

Alelopatija je pojam koji opisuje biokemijske reakcije između biljaka uslijed lučenja alelokemikalija. Mnoge invazivne biljne vrste imaju visok alelopatski potencijal. Invazivna alohtona vrsta pajasen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) je jedna od najčešće istraživanih vrsta radi izolacije i pronalaženja alelokemikalija s herbicidnim učinkom.

Cilj ove disertacije je odrediti alelopatski učinak vodene otopine korijena pajasena i iste količine izoliranog ailantona na klijavost i početni rast i razvoj dvije korovne vrste, oštrodлакavog šćira (*Amaranthus retroflexus* L.) i muhara (*Setaria pumila* (Poir.) Schult.) te kultiviranu vrstu kukuruz (*Zea mays* L.). Vodena otopina korijena pajasena pripremljena je od mladih izbojaka. Identifikacija i kvantifikacija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena određena je tekućinskom kromatografijom kojom je određena koncentracija ailantona od 0,48 mg/ml. Potom je diklormetanom izoliran ailanton iz vodene otopine korijena pajasena. Od pripremljenih vodenih otopina izoliranog ailantona i korijena pajasena pripremljena je koncentrirana otopina i pet razrjeđenja destiliranom vodom u omjeru 3/2; 1/2; 1/4; 1/8 i 1/16 koja su ekvivalent određenoj koncentraciji ailantona u vodenoj otopini korijena pajasena, koncentrat s 0,48 mg/ml ailantona i pet razrjeđenja s 0,32; 0,24; 0,12; 0,06 i 0,03 mg/ml ailantona. Pripremljena razrjeđenja vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena primijenjena su na sjeme (*pre-em*) i na list (*post-em*) kad su test-biljne vrste muhar i kukuruz bile u stadiju rasta 3 lista (BBCH 13), a oštrodлакavi šćir u stadiju rasta 2 - 4 lista (BBCH 12-14).

Dokazano je da se istraživane test-biljne vrste razlikuju u osjetljivosti prema vodenoj otopini izoliranog ailantona i vodenoj otopini korijena pajasena. Primjenom vodenih ekstrakata na sjeme muhara dokazan je inhibirajući alelopatski učinak na sva istraživana svojstva (klijavost, duljina korijena klice i duljina izdanka klice), a najznačajnija povezanost između alelopatskog učinka i istraživanih koncentracija ailantona dokazana je kod klijavosti kad su test-biljne vrste tretirane s vodenom otopinom korijena pajasena. Obje istraživane vodene otopine su inhibirale duljinu korijena i izdanka klice oštrodлакavog šćira. Najznačajnija povezanost alelopatskog učinka i koncentracija ailantona kod oštrodлакavog šćira dokazana je za klijavost kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena. Za razliku od korovnih vrsta, kod kukuruza je dokazano inhibitorno djelovanje samo na duljinu korijena klice uz statistički značajnu povezanost istraživanih koncentracija i alelopatskog učinka kad je tretiranje obavljeno s obje vodene otopine. Nasuprot inhibiciji, kod kukuruza je utvrđena i stimulacija kod djelovanja na duljinu izdanka klice kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena.

Primjenom na list, obje istraživane vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena iskazale su inhibirajuće djelovanje na sve tri istraživane test-biljne vrste. Jedino je koncentracija od 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona povećala masu nadzemnog dijela kukuruza, ali povećanje nije bilo statistički značajno. Statistički najznačajnija povezanost intenziteta alelopatskog učinka i istraživanih koncentracija ailantona dokazana je kod oštrodлакavog šćira kad je tretiranje obavljeno s obje vodene otopine. Kod muhara nije dokazana statistički značajna razlika u povezanosti između alelopatskog učinka i istraživanih koncentracija ailantona iz obje vodene otopine. Nasuprot tome, kod kukuruza je statistički značajna povezanost alelopatskog učinka i koncentracija ailantona dokazana samo kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona.

Kod muhara i oštrodлакavog šćira vodena otopina korijena pajasena primijenjena na sjeme iskazala je jače djelovanje u usporedbi s vodenom otopinom izoliranog ailantona kod svih istraživanih svojstava kod kojih je određena statistički značajna razlika. Nasuprot tome, kod kukuruza je u istom roku primjene, statistički značajnije djelovanje kod svih istraživanih svojstava dokazano kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona. Primjenom na list vodena otopina korijena pajasena iskazala je jače djelovanje na nadzemnu masu oštrodлакavog šćira i kukuruza, a vodena otopina izoliranog ailantona

na muhara. Vodena otopina korijena pajasena iskazala je jače djelovanje u usporedbi s vodenom otopinom izoliranog ailantona kod većine istraživanih svojstava što upućuje na to da ailanton nije jedina alelokemikalija u korijenu pajasena.

Iz određenih EC_{50} vrijednosti dokazano je da je oštrodlakavi šćir najosjetljivija, a kukuruz najtolerantnija test-biljna vrsta.

Ključne riječi: ailanton, *Amaranthus retroflexus* L., *Setaria pumila* (Poir.) Schult., vodena otopina korijena pajasena, *Zea mays* L.

EXPANDED SUMMARY

Allelopathic potential of invasive alien species tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle)

The overuse of synthetic herbicides for weed control over the last five decades has resulted in growing public concern over their impacts upon human health, the environment, and the evolution of herbicide resistant weeds. Natural compounds from plants offer excellent potential for new herbicidal solutions, or lead compounds for new herbicides. Allelopathy is the common name for biochemical reaction between plants as a result of allelochemical secretion. Many invasive plant species have high allelopathic potential. Invasive alien species tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) is one of the most frequently investigated species for the purpose of isolating and finding allelochemicals with herbicidal effect.

The aim of this dissertation was to determine the allelopathic effect of the aqueous solution of tree of heaven's root and the same amount of isolated ailanthone on germination and the initial growth and development of two weed species, pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) and yellow foxtail (*Setaria pumila* (Poir.) Schult.), and cultivated plant species maize (*Zea mays* L.).

The young shoots with roots of tree of heaven were collected before flowering in late spring – early summer. Freshly collected roots were cut into small pieces (size 0.5-1 cm) and grained. In one liter of distilled water 250 g of grained plant material was soaked into at room temperature for 24 hours. After 24 hours, plant material was removed and extracts were filtered through filter paper (wrinkled 21/N, Munktel & Filtrak). Identification and quantification of ailanthone from root aqueous solution was made on HPLC. Confirmation of identity and quantification of ailanthone from the solution was determined by linear regression based on the calibration curve of the standard solution of the ailanthone (purity > 98 %). In tree of heaven's root aqueous solution the concentration of 0.48 mg/ml of ailanthone was determined. After identification and quantification, isolation of ailanthone from one half of the root aqueous solution was performed with dichloromethane. The extraction of ailanthone was carried out three times in the separating funnel and the sample was further purified with sodium sulphate. The sample was then evaporated in rotary evaporator at 50 °C to a dry residue. Six dilutions of the root aqueous solution (1; 3/2; 1/2; 1/4; 1/8 and 1/16) and six dilutions of the ailanthone aqueous solution which were equivalent to the determinate concentration (0.48; 0.32; 0.24; 0.12; 0.06 and 0.03 mg/ml of ailanthone) were prepared. Experiments were carried out in the Weed Science laboratory at the Croatian agriculture and food agency - Centre for plant protection.

The first part of the research that relates to the pre-emergence effect of the aqueous solutions on the test species was carried out in Petri dishes. In each sterilized Petri dish, 25 seeds of yellow foxtail, pigweed and maize were placed on two filter paper layers in four replicates. Before placing seeds, 4 ml of aqueous solution for yellow foxtail and pigweed, and 8 ml of aqueous solution for maize were added per Petri dish. For the control treatment, distilled water was used. Petri dishes were placed in darkness at 25 - 27 °C and relative humidity 70 % in a climate chamber. Percentage of germination, radicle length and shoot length were determined for each variant. All investigated attributes were determined at the same time for each test-species. Pigweed germination, radicle length and shoot length were measured 5 days after sowing, yellow foxtail was measured 7 days after sowing and maize was measured 6 days after sowing. It has been found that the test plants of studied species differ in the sensitivity to the aqueous solution of isolated ailanthone and the aqueous solution of the tree of heaven's root. By applying aqueous solutions to the seeds of yellow foxtail, inhibitory allelopathic effects for all the investigated attributes (germination, radicle length and shoot length) were determined. The most significant correlation between the allelopathic effect on yellow foxtail and the investigated concentrations of ailanthone were determined for the germination in the treatment with the

root aqueous solution. The both investigated aqueous solutions also inhibited the radicle length and shoot length. The most significant correlation between the allelopathic effect and the investigated concentrations of ailanthone was also determined for germination in the treatment with the root aqueous solution. Unlike weed species, the effect of the investigated aqueous solutions inhibited only the radicle length of maize with a significant correlation between the investigated ailanthone concentrations in the treatments with both aqueous solutions. In contrast to the inhibition, in the case of corn, stimulation was found in the effect for the shoot length in the treatment with aqueous root solution. The second part of the research that relates to the post-emergence effect of the aqueous solutions on test - species was carried out by breeding 10 plants of yellow foxtail, pigweed and maize per repetition in containers. The containers were placed in a climate chamber. The experiment was set up in three repetitions. The application of all investigated concentrations of aqueous solutions and distilled water as control was made when the test- species reached the development stage of two to four leaves (BBCH 12 - 14). The allelopathic effect of the investigated solutions on the mass of the fresh plant mass of test - species was determined 16 days after application. Both investigated aqueous solutions of isolated ailanthone and tree of heaven's roots showed inhibitory effect on all three studied test - plant species. Only a concentration of 0,48 mg/ml of ailanthone from aqueous solution of isolated ailanthone increased the above - ground mass of the corn, but it was not statistically significant. The highest correlation between the allelopathic effect and the investigated concentrations of ailanthone was found for the pigweed on treatments with both aqueous solutions. The statistical significant correlation between the effect and the investigated concentrations of ailanthone from both aqueous solutions was not established for the yellow foxtail. In contrast, in maize, statistically significant correlation was established only in the treatment with aqueous solution of isolated ailanthone.

In the case of yellow foxtail and pigweed, in the pre-emergence application, the aqueous solution of the tree of heaven's root showed a stronger effect compared to the aqueous solution of the isolated ailanthone for the all investigated attributes in which a statistically significant difference was established. As for maize, in the same application period, the aqueous solution of isolated ailanthone showed a stronger effect for all investigated attributes compared to the aqueous solution of the tree of heaven's root. In the post-emergence application, the aqueous solution of the root showed a stronger effect on the above - ground mass of the pigweed and maize, and an aqueous solution of isolated ailanthone on yellow foxtail. The aqueous solution of tree of heaven's roots generally showed a stronger effect compared to the aqueous solution of the isolated ailanthone for the most investigated attributes, suggesting that the ailanthone is not the only allelochemical in the root of tree of heavens, but was certainly the most potent one.

The most sensitive test-species was a pigweed, and the most tolerant maize.

Keywords: ailanthone, *Amaranthus retroflexus* L., *Setaria pumila* (Poir.) Schult., aqueous solution of tree of heaven's root, *Zea mays* L.

SADRŽAJ

Popis tablica	16
Popis slika	17
Popis grafikona	18
1. UVOD	1
1.1 Hipoteze i ciljevi istraživanja	4
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	5
2.1 Invazivne strane (alohtone) biljne vrste	5
2.1.1 Zakonska regulativa	6
2.1.2 Udio biljnih vrsta unutar invazivnih stranih vrsta	7
2.1.3 Čimbenici biljne invazivnosti	8
2.1.4 Sustav kontrole invazivnih biljaka	10
2.2 Pajasen (<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle)	12
2.2.1 Podrijetlo i rasprostranjenost	12
2.2.2 Rasprostranjenost i invazivnost pajasena u Republici Hrvatskoj	14
2.2.3 Morfološka obilježja pajasena i druge osobine	15
2.2.4 Zahtjevi pajasena prema okolišu	18
2.2.5 Štetnost pajasena i suzbijanje	19
2.3 Alelopatija	21
2.3.1 Alelokemikalije	22
2.3.2 Biljna interferencija	24
2.4 Alelopatsko djelovanje biljnih vrsta	25
2.4.1 Načini otpuštanja i kemijska podjela alelokemikalija	25
2.4.2 Alelokemikalije kao prirodni herbicidi	27
3. MATERIJALI I METODE RADA	37
3.1 Preliminarna istraživanja	37
3.2 Priprema materijala za istraživanje	38
3.3 Uzgoj test-biljnih vrsta i primjena istraživanih ekstrakata	39
3.4 Metode za dokazivanje alelopatskog učinka na test-biljne vrste	40
3.5 Statistička obrada podataka	41
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	42

4.1	Rezultati istraživanja alelopatskog učinka korijena pajasena kod primjene na sjeme test-biljnih vrsta	42
4.1.1	Alelopatski učinak vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na klijavost muhara.....	42
4.1.2	Alelopatski učinak vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na klijavost oštrodakavog škira	47
4.1.3	Alelopatski učinak vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na klijavost kukuruza	51
4.1.4	Razlika u alelopatskom učinku prosječnih vrijednosti istraživanih koncentracija između vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena	56
4.1.5	Koncentracije ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena koje su izazvale učinak od 50 % (EC ₅₀).....	58
4.2	Rezultati istraživanja alelopatskog učinka korijena pajasena kod primjene na list test-biljnih vrsta.....	63
4.2.1	Razlika u alelopatskom učinku prosječnih vrijednosti vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena	69
5.	RASPRAVA	71
5.1	Alelopatski učinak pajasena kod primjene na sjeme test-biljnih vrsta	73
5.2	Alelopatski učinak pajasena kod primjene na list test-biljnih vrsta.....	78
6.	ZAKLJUČCI	82
7.	POPIS LITERATURE	84
8.	ŽIVOTOPIS	101

Popis kratica

DAISIE - Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe

EC₅₀ - srednja efektivna koncentracija

EMAPi - Ecology and Management of Alien Plant Invasions

EPPO - European and Mediterranean Plant Protection Organization

GISP - Global Invasive Species Programme

ID₅₀ - srednja letalna doza

ISSG - Invasive Species Specialist Group

SCOPE - Scientific Committee on Problems of the Environment

Popis tablica

- Tablica 1.** Svojstva supstrata Potground P
- Tablica 2.** Uvjeti za razvoj biljaka u klima-komori
- Tablica 3.** Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost muhara
- Tablica 4.** Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena na klijavost muhara
- Tablica 5.** Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost oštrodakavog šćira
- Tablica 6.** Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena na klijavost oštrodakavog šćira
- Tablica 7.** Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost kukuruza
- Tablica 8.** Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena na klijavost kukuruza
- Tablica 9.** Usporedni prikaz razlika u prosječnom djelovanju između istraživanih vodenih otopina
- Tablica 10.** Koncentracije ailantona (mg/ml) iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena koje su imale alelopatski učinak od 50 % na istraživana svojstva (EC_{50})
- Tablica 11.** Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona na masu nadzemnog dijela test-biljnih vrsta
- Tablica 12.** Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena na masu nadzemnog dijela test-biljnih vrsta
- Tablica 13.** Usporedni prikaz razlike u prosječnom djelovanju između istraživanih vodenih otopina

Popis slika

- Slika 1.** Različiti pristupi kontroli i upravljanju biljnoj invazivnosti ovisno o pokrovnosti i rasponu invazivne vrste
- Slika 2.** Rasprostranjenost pajasena u svijetu
- Slika 3.** Rasprostranjenost pajasena u Europi
- Slika 4.** Načini oslobađanja alelokemikalija s biljke u okoliš
- Slika 5.** 2D strukture ailantona
- Slika 6.** 3D molekularne konformacije ailantona
- Slika 7.** Izdanci s kojih su uzeti korijeni za istraživanje
- Slika 8.** Korijeni izdanaka korišteni za istraživanje
- Slika 9.** Inhibitorni učinak 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na klijavost muhara šest dana nakon primjene
- Slika 10.** Inhibitorni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na duljinu izdanka klice muhara šest dana nakon primjene
- Slika 11.** Inhibitorni učinak 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na klijavost oštrodakavog škira pet dana nakon primjene
- Slika 12.** Inhibitorni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na duljinu korijena klice oštrodakavog škira pet dana nakon primjene
- Slika 13.** Alelopatski učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na klijavost kukuruza šest dana nakon primjene
- Slika 14.** Inhibitorni učinak 0,32 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na duljinu korijena klice kukuruza šest dana nakon primjene
- Slika 15.** Stimulativni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na duljinu izdanka klice kukuruza šest dana nakon primjene
- Slika 16.** Inhibitorni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela muhara
- Slika 17.** Inhibitorni učinak 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela oštrodakavog škira
- Slika 18.** Inhibitorni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela oštrodakavog škira
- Slika 19.** Učinak 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela kukuruza
- Slika 20.** Inhibitorni učinak 0,12 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela kukuruza

Popis grafikona

- Grafikon 1.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost muhara
- Grafikon 2.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na klijavost muhara
- Grafikon 3.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na duljinu korijena klice muhara
- Grafikon 4.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na duljinu korijena klice muhara
- Grafikon 5.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na duljinu izdanka klice muhara
- Grafikon 6.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na duljinu izdanka klice muhara
- Grafikon 7.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost oštrolakavog šćira
- Grafikon 8.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na klijavost oštrolakavog šćira
- Grafikon 9.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na duljinu korijena klice oštrolakavog šćira
- Grafikon 10.** Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na duljinu korijena klice oštrolakavog šćira

1. UVOD

Biološka invazija postala je globalni problem u očuvanju biološke raznolikosti (Pimentel, 2002. cit. Weber, 2005). Strane invazivne vrste su na globalnoj razini prepoznate kao druga najveća prijetnja bioraznolikosti, odmah nakon izravnog uništavanja prirodnih staništa (Wilcove i sur., 1998; Walker i Steffen, 1999). Na popisu 100 najproblematičnijih invazivnih vrsta navedene su 32 terestričke i četiri vodene biljne vrste, a od 32 terestričke biljne vrste 21 je drvenasta biljna vrsta (Lowe i sur., 2000). Pajasen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) je jedna od najinvazivnijih drvenastih biljnih vrsta na svijetu. Gotovo da nema kontinenta na kojem nije nazočan. Pripada porodici Simaroubaceae, kojoj je svojstven visok sadržaj kvazinoida, sekundarnih metabolita koji su odgovorni za širok spektar bioloških aktivnosti, kao što su antitumori, antimalarici, antivirusi, insekticidi, herbicidi, antiparaziti i dr. (Alvesa i sur., 2014). Budući da invazivne biljne vrste, a među njima i pajasena, izravnim ili neizravnim djelovanjem na kemijska svojstva tla imaju višestruki učinak na biljne zajednice i odnose u ekosustavu, logičan su izbor u potrazi za biljkama s visokim alelopatskim potencijalom.

Pojam alelopatije prvi se put znanstveno spominje 1937. u radu Hansa Molischa (Kovačević, 1979). Willis (2007) navodi da je alelopatija kao pojava bila poznata još u antičko doba, a u teorijama A. P. de Candolle se kao početak alelopatskih spoznaja navodi 19. stoljeće. Najstariji pisani podaci o alelopatiji potječu od Demokrita u 5. st. pr. Kr. (Narwal, 2004). Teofrast je 300. g. pr. Kr. uočio da slanetak (*Cicer arietinum* L.) iscrpljuje tlo ali istodobno suzbija i korove, posebno vrstu babin zub (*Tribulus terrestris* L.) (Kovačević, 1979).

U novije doba kemičari godišnje izoliraju i identificiraju stotine novih tvari tj. prirodnih proizvoda viših biljaka i mikroorganizama (Putnam, 1988). Alelokemikalije obuhvaćaju različite skupine kemikalija, kao što su fenolni sastojci, flavonoidi, terpenoidi, alkaloidi, steroidi, karbohidrati i aminokiseline, koji u kombinaciji s drugim sastojcima ponekad imaju jači alelopatski učinak nego kad djeluju samostalno (Ferguson i sur., 2003). Putnam (1998) razvrstava alelokemikalije u šest razreda (alkaloidi, benzoksazinoni, derivati cinaminske kiseline, cijanogenični spojevi, etilen i drugi stimulatori klijanja sjemena te flavonoidi). Navedene alelokemikalije su izolirane iz više od 30 porodica terestričnih i vodenih biljaka. Alelokemikalije, ovisno o biljnoj vrsti, mogu se izlučivati iz listova, cvjetova, sjemena, stabljike i korijena živog biljnog materijala ili materijala u raspadanju. Mogu biti izlučene u količini koja djeluje inhibirajuće na razvoj klijanaca korova (Weston, 1996).

Brojni primjeri alelopatskih interakcija između različitih biljnih vrsta (kultiviranih i korovnih) sugeriraju da je alelopatija izravno ili neizravno uključena u poljoprivrednu proizvodnju. Istraživanja su pokazala da brojne kultivirane vrste kao što su suncokret (*Helianthus annuus* L.), lucerna (*Medicago sativa* L.), ječam (*Hordeum vulgare* L.), djetelina (*Trifolium pratense* L.), sezam (*Sesamum indicum* L. (L.) Lamore), riža (*Oriza sativa* L.), raž (*Secale cereale* L.), pšenica (*Triticum aestivum* L.), zob (*Avena sativa* L.), duhan (*Nicotiana tabacum* L.) i slatki krumpir (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) proizvode alelokemikalije i mogu polučiti fitotoksički učinak na kultivirane i korovne biljne vrste (Miller, 1996; Weston, 1996; Moradi i sur., 2013). Korovi, pa tako i invazivne biljne vrste, za razliku od kultiviranih vrsta kojima je selekcija provođena na umjetan način (za ciljno svojstvo), evolucijski su selekcionirani pa se očekuje da u većini slučajeva imaju i veći alelopatski potencijal nego kultivirane vrste.

Pajasen zbog sposobnosti da otpušta alelokemikalije u tlo i činjenice da je u stalnoj kompeticiji s autohtonom vegetacijom, uz rižu, jedna je od najčešće istraživanih vrsta u svrhu izolacije alelokemikalija te iskorištavanja alelopatskog potencijala. Alelopatski učinak pajasena prvi je put zapazio Mergen (1959) testirajući vodene ekstrakte listova pajasena na 46 vrsta drveća (35 golosjemenjača i 11 kritosjemenjača). Heisey (1996) je dokazao da sirovi (neobrađeni) ekstrakti korijenove kore pajasena imaju visok herbicidni učinak na nekoliko biljnih vrsta. Gómez-Aparicio i Canham (2008) navode da alelokemikalije pajasena djeluju inhibirajuće na drvenaste biljne vrste kao što su crni javor (*Acer rubrum* L.), šećerni javor (*Acer saccharum* L.) i crveni hrast (*Quercus rubra* L.). Isti autori navode da je alelopatsko djelovanje proporcionalno gustoći biljaka pajasena, ali da razvojni stadij pajasena ne utječe na stupanj inhibirajućeg djelovanja. De Feo i sur. (2003) su iz vodenih ekstrakata korijena pajasena izolirali više aktivnih sastojaka, od kojih izdvajaju ailanton kao najaktivniji spoj i navode mogućnost njegove uporabe kao alternativnog herbicida. Ailanton je alelokemikalija koja pripada skupini kvazinoida, koncentriran je u korijenu i kori pajasena, polaran je te se lako premješta (Saxena, 2002). Isti autor je dokazao da su širokolisne korovne vrste osjetljivije na ailanton od uskolisnih te da ga biljka može usvojiti prije i nakon nicanja. Prema ovom autoru ailanton bi u budućnosti mogao zamijeniti u svijetu najpoznatiji herbicid glifosat. Heisey i Heisey (2003) su u poljskim uvjetima istražili herbicidni i selektivni učinak ailantona izoliranog iz kore pajasena na 17 vrsta kultiviranih i korovnih biljaka. Autori navode da primjenom nakon nicanja ailanton ima jak herbicidni učinak totalnog herbicida, koji je vidljiv već sedam dana nakon primjene.

U Republici Hrvatskoj pajasen je invazivna strana vrsta koja potiskuje autohtone biljne vrste te pokazuje tendenciju intenzivnog širenja i potiskivanja autohtone flore bilja (Novak i Kravarščan, 2014). Vrsta je nađena u svim županijama Hrvatske, a najveću agresivnost pokazuje u obalnom dijelu te na otocima (Novak i Novak, 2016). Posebnu opasnost predstavlja u područjima od posebnog značenja kao što su parkovi prirode i nacionalni parkovi (Novak i Novak, 2015). Stoga jedna od mogućnosti smanjenja brojnosti pajasena je u njegovom iskorištavanju u svrhu izolacije alelokemikalija i sinteze ekološki prihvatljivijih sredstava za zaštitu bilja. Budući da su alelokemikalije dio prirode, pretpostavlja se da će biti prihvatljivije za okoliš, korisne i ne ciljane organizme te primjenitelja od komercijalnih herbicida.

Najviše do sada provedenih alelopatskih istraživanja na pajasenu odnosi se na određivanje učinaka između vodenih ekstrakata jednog dijela biljke pajasena ili cijele biljke i kultiviranih biljaka. Samo nekoliko autora (Heisey, 1996; 1997; 2003; Saxena 2002, Pedersini i sur., 2011) bavilo se istraživanjem alelopatskog učinka pajasena na korovne vrste. U Republici Hrvatskoj, također je mnogo autora istraživalo alelopatski učinak vodenih ekstrakata pajasena na kultivirane biljne vrste (Sladonja, 2014; Novak, 2017; Novak i sur., 2018). Ailanton, kao alelokemikalija, izoliran je i identificiran još 1960., ali tek 1993. godine ga Heisey prepoznaje kao glavni fitotoksični spoj pajasena (Heisey, 1993; 1999). Pregledom literature gotovo da nije pronađen niti jedan rad u kojem je paralelno istražena razlika u alelopatskom učinku između vodene otopine jednog od dijelova biljke pajasena i vodene otopine izoliranog ailantona. Ovo dokazuje da proučavanje alelopatskog učinka pajasena i posebno njegovih alelokemikalija, a osobito ailantona, je važno u pronalaženju kako totalnih tako i selektivnih ekološki prihvatljivijih herbicida za suzbijanje korova u svim rokovima primjene. Stoga je cilj ovog istraživanja doprinos boljem razumijevanju alelopatskog učinka pajasena, ali i izoliranog ailantona kao alelokemikalije odgovorne za herbicidni učinak te mogućnost primjene korijena pajasena kao ekološki prihvatljivog spoja za suzbijanje korovnih vrsta.

1.1 Hipoteze i ciljevi istraživanja

Istraživanje se temelji na hipotezi da:

- ailanton nije jedina alelokemikalija u korijenu pajasena,
- je količina izoliranog ailantona proporcionalna alelopatskom učinku iste količine ailantona u ekstraktu korijena pajasena,
- doza i način apsorpcije alelokemikalija utječu na intenzitet djelovanja,
- će ailanton i vodeni ekstrakti korijena iskazati herbicidno djelovanje.

Ciljevi istraživanja su:

- utvrditi alelopatski učinak vodenih ekstrakata korijena pajasena i iste količine izoliranog ailantona,
- utvrditi povezanost doze ailantona s intenzitetom alelopatskog učinka na test-biljne vrste,
- utvrditi alelopatski učinak istraživanih tretmana u odnosu na način apsorpcije (putem lista i korijena),
- utvrditi razlike između intenziteta djelovanja istraživanih tretmana na pojedine test- biljne vrste.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

2.1 Invazivne strane (alohtone) biljne vrste

Prema Bernskoj konvenciji, invazivne strane vrste su biljke, životinje, patogeni i drugi organizmi koji nisu autohtoni u ekosustavu, a mogu uzrokovati ekonomsku i okolišnu štetu ili negativno utjecati na ljudsko zdravlje. Potiskivanjem ili eliminacijom autohtonih vrsta, invazivne biljne vrste negativno utječu na biološku raznolikost, tj. remete ravnotežu lokalnih ekosustava i funkcije ekosustava (Council of Europe, 2007).

Vrste koje danas nazivamo invazivnima kroz povijest su različito nazivane: korovi, egzotične, alohtone, ruderalne i naturalizirane vrste, štetnici i slično, no samo naziv *invazivne* opisuje ove vrste u potpunosti i na ispravan način (Richardson i sur., 2000; Pyšek i sur., 2004). Novije definicije pojmova invazivnih biljnih vrsta uvode Weber (2005) i Richardson i sur. (2000). Weber (2005) navodi da su invazivne biljne vrste one koje se nakon unosa u nova područja tamo i naturaliziraju, i to ne samo na ekološki narušenim područjima nego se počinju širiti i na nova područja. Richardson i sur. (2000) mišljenja su, da su invazivne vrste i one vrste koje su strane, ali već naturalizirane i koje proizvode produktivno potomstvo, često u velikom broju, na znatnoj udaljenosti od roditeljske biljke. Iako se prema navedenoj definiciji invazivnim biljnim vrstama smatraju one koje nisu native, postoje i iznimke. Weber (2005) navodi da su neke biljne vrste postale invazivne čak i unutar svog nativnog područja. Primjer za to je trska (*Phragmites australis* L.) u središnjoj Europi.

Weber (2005) navodi da je nužno razdvojiti invazivne biljne vrste od korova koji se nalaze na obradivim površinama, tj. u agroekosustavu. Upravo zbog toga se invazivna biljka često naziva „ekološkim korovom”. Korovi se u agroekosustavu razlikuju od invazivnih biljaka po svojoj ekologiji. Naime, agroekosustavi su na određeni način umjetni i predstavljaju jednostavna, vrstama siromašna staništa s okolišnom homogenošću i predvidivim intenzitetom narušenosti staništa. Nasuprot tome, prirodna staništa su bogata vrstama, okolišno različita i često nepredvidiva. Stoga biljne vrste koje „napadaju” agroekosustave uglavnom su zeljaste vrste, često prilagođene sustavu uzgoja usjeva, za razliku od biljaka koje „osvajaju” prirodna staništa i uključuju potpuni životni ciklus (Weber, 2005). Vrste kao što su pelinolisni limundžik (*Ambrosia artemisiifolia* L.), europski mračnjak (*Abutilon theophrasti* Medic.), piramidalni sirak (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) i još neke druge su najčešći primjeri invazivnih korova.

Kontrola i upravljanje invazivnim vrstama skup je i intenzivan posao (Pimentel, 2002. cit. Weber, 2005). Strane invazivne vrste su na globalnoj razini prepoznate kao druga najveća

prijetnja bioraznolikosti, odmah nakon izravnog uništavanja prirodnih staništa (Wilcove i sur., 1998; Walker i Steffen, 1999).

2.1.1 Zakonska regulativa

Važnost biološke invazije primijećena je još u vrijeme Darwina. Tek sredinom 20. stoljeća dolazi do intenzivnog istraživanja na tom području (Pyšek i sur., 2004). Da je problem invazivnih biljnih vrsta uzeo maha, vidi se i po osnivanju brojnih organizacija koje okupljaju stručnjake koji se bave ovim problemom. Važne organizacije i institucije su Invasive Species Specialist Group (ISSG), European plant protection organization (EPPO) i Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). EPPO je razvio strategiju suradnje širom Europe s ciljem zaštite od stranih invazivnih vrsta. Stručnjaci ove organizacije sastavili su popis invazivnih stranih biljnih vrsta koje su ocijenjene kao važna prijetnja za biljno zdravlje, okoliš i biološku raznolikost na području djelovanja EPPO-a, kojem pripada i Republika Hrvatska (Novak i Kravaršćan, 2011). Osim navedenih organizacija, osnovane su brojne baze podataka o invazivnim vrstama kao što je Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE), Global Invasive Species Programme (GISP) i Ecology i Management of Alien Plant Invasions (EMAPI). Objavljuju se brojni radovi o invazivnim stranim vrstama kao jednoj od najvećih prijetnji bioraznolikosti i njezinom očuvanju (Cronk i Fuller, 1995; Richardson i sur., 2000; Essl i Rabitsch, 2002; Pyšek i sur., 2004; Lambdon i sur., 2008). Donose se strategije o upravljanju invazivnim stranim vrstama na globalnoj razini, ali i na razini država. U okviru Konvencije o zaštiti europskih divljih vrsta i prirodnih staništa (Bernska konvencija) djeluje stručna radna grupa za invazivne strane vrste (Group of Experts on Invasive Alien Species - IAS). Pod okriljem Konvencije 2003. godine usvojena je Europska strategija o invazivnim stranim vrstama (Genovesi i Shine, 2004). Vijeće Europe 2008. godine objavljuje „Code of conduct on horticulture and invasive alien plants“. Na razini Europske unije 2014. godine Europska komisija izdaje Uredbu (EU) br. 1143/2014 Europskog parlamenta i Vijeća o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta. Nakon toga, 2016. godine u skladu s Uredbom 1143/2014 slijedi Provedbena Uredba Komisije (EU) br. 2016/1141 o donošenju popisa invazivnih stranih vrsta koje izazivaju zabrinutost u Uniji.

Što se tiče aktivnosti u Republici Hrvatskoj osim preuzimanja legislative Europske Unije, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva 2006. godine donijelo je Naredbu o poduzimanju mjera obveznog uklanjanja ambrozije (*Ambrosia artemisiifolia* L.) (NN 90/2006). Boršić i sur. (2008) predlažu preliminarni popis invazivnih alohtonih biljnih

vrsta u Republici Hrvatskoj. Preliminarni popis napravljen je na temelju literaturnih podataka i opažanja na terenu, a sastoji se od 64 svojte kojima je pridružena pripadajuća porodica, životni oblik i zemljopisno podrijetlo. Autori navode da od 27 porodica većina (24 porodice) pripada dvosupnicama. Najbrojnija porodica je porodica *Asteraceae*, dok su rodovi *Conyza*, *Erigeron* i *Impatiens* zastupljeni s najvećim brojem svojti. Po podrijetlu dominiraju invazivne svojte iz Sjeverne i Južne Amerike, a slijede ih one iz Azije te Afrike. U isto vrijeme Mitić i sur. (2008) navode kriterije za određivanje statusa potencijalno invazivnih vrsta u Republici Hrvatskoj. Od kriterija ističu podrijetlo, datum i način unosa te invazivni status. Na temelju navedenih kriterija u bazi Flora Croatica za navedene svojte ugrađen je poseban modul „Alohtone biljke” te prijedlog koji obuhvaća standardnu terminologiju koju je prihvatila većina svjetskih botaničara, a koja je posebno usklađena s europskim standardima za tretiranje alohtone flore, osobito invazivnih biljnih vrsta. Isti autori navode da je razlika između nativnog i stranog statusa biljne vrste prvi čimbenik za proučavanje biljne invazivnosti. Hrvatski sabor 2018. godine donio je Zakon o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta i upravljanju njima (NN 15/2018).

2.1.2 Udio biljnih vrsta unutar invazivnih stranih vrsta

Prema DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe) terestričkih invazivnih biljnih vrsta je 6658 i nalaze se na prvome mjestu po brojnosti. Nakon njih slijede terestrički beskralješnjaci s 2740 vrsta, a nakon njih sve ostale skupine invazivnih vrsta kojih nema više od 1000. Isti izvor navodi popis od 100 najproblematičnijih invazivnih vrsta na kojem se nalazi 18 terestričkih biljnih vrsta. Iz globalne baze podataka o invazivnim vrstama (Lowe i sur., 2000) također je napravljen popis 100 najproblematičnijih invazivnih vrsta na kojem su navedene 32 terestričke i četiri vodene biljne vrste. Uzimajući u obzir svojstva invazivnih stranih biljaka i spomenuti broj vrsta, ne iznenađuje činjenica da ih se smatra drugom najvećom prijetnjom bioraznolikosti. Na Popisu invazivnih stranih vrsta koje uzrokuju zabrinutost u Europskoj Uniji navedene su 23 biljne vrste od ukupno 49 svih invazivnih vrsta ((EU) 1141/2016).

Nikolić i sur. (2013) navode da su tijekom analize strane i invazivne flore Europe nedostajali podaci o vrstama u Republici Hrvatskoj. Autori su analizirali rasprostranjenost 64 invazivne biljne vrste koje su navedene na preliminarnom popisu invazivnih alohtonih biljnih vrsta u Hrvatskoj od strane Boršića i sur. iz 2008. za 57 000 km². Na 49 % državnog teritorija prosječno se nalazi pet vrsta na svakih 35 km². Najveći broj invazivnih biljaka nađen je na području velikih urbanih centara. Brojnost se povećava u smjeru

jugoistoka, što je u pozitivnoj korelaciji s temperaturama, a u negativnoj s nadmorskim visinama. Isti autori navode da se najugroženija područja nalaze u mediteranskoj regiji, osobito na otocima. Broj invazivnih biljaka povećava se s raznolikošću staništa. Unutar nekoliko staništa s izravnim antropogenim utjecajem nalazi se gotovo 75 % svih mjesta s evidentiranim invazivnim biljkama.

Najveći broj invazivnih biljnih vrsta identificiran je na otocima: Brač (32 vrste), Žirje (15 vrsta), Vis (14 vrsta), Mljet (14 vrsta), Hvar (12 vrsta), Rab (12 vrsta) i drugi otoci ($s \geq 10$ vrsta). Najraširenije invazivne biljne vrste na otocima u Jadranskom moru su kanadska hudoljetnica (*Conyza canadensis* (L.) Cronquist), oštrodlakavi šćir (*Amaranthus retroflexus* L.), piramidalni sirak, bijeli čepljez (*Asphodelus albus* Mill.), kovrčava hudoljetnica (*Conyza bonariensis* (L.) Cronquist), svinuti šćir (*Amaranthus deflexus* L.), *Bidens subalternans* DC. i pajasen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) (Nikolić i sur., 2013).

Donedavno se drvenaste biljke nisu smatrale značajnim invazivnim stranim vrstama. Međutim, nakon što se tisuće jedinki drveća i grmova transportiralo po čitavom svijetu, mnoge drvenaste vrste su se proširile s mjesta sadnje i danas se smatraju najraširenijim i najštetnijim od svih invazivnih organizama (Richardson i Rejmánek, 2011). Pyšek i sur. (2008) navode podatak da se 20 % najčešće proučavanih invazivnih vrsta upravo odnosi na drvenaste biljke. Lowe i sur. (2000) navode da se 21 drvenasta biljna vrsta nalazi na popisu „100 najgorih invazivnih vrsta u Europi“.

2.1.3 Čimbenici biljne invazivnosti

Kao posljedica globalizacije, unošenje stranih biljnih vrsta izvan njihovog prirodnog staništa u stalnom je porastu zbog povećanog transporta, trgovine, putovanja i turizma, ali i zbog jednostavne dostupnosti dobara (Genovesi i Shine, 2004).

Nekoliko je glavnih putova unosa stranih biljaka u nova područja, a mogu se podijeliti na slučajan unos, uz pomoć nekog prenositelja, tj. vektora (vozila, plovila, zrakoplovi, odjeća, obuća, perje, dlaka, drugi organizmi i sl.) i namjeran unos (ukrasno bilje, hrana, egzotično voće i povrće, drvna industrija i sl.) (Novak i Novak, 2015). Mišljenje je da je gotovo dvije trećine stranih biljnih vrsta u Europi uneseno namjerno (Keller i sur., 2011. cit. Vuković, 2015), a uglavnom se radi o ukrasnim biljkama kao što su pajasen, japanski dvornik (*Reynoutria japonica* Houtt), velika zlatnica (*Solidago gigantea* Aiton.), ljetni jorgovan (*Buddleja davidii* L.), sabljasti karpobroti (*Carpobrotus acinaciformis* L. i *Carpobrotus edulis* L.) i pampas trava (*Cortaderia selloana* (Schultes) Ascherson & Gräbner). Osim

kao ukrasne biljke, neke invazivne biljke kao npr. bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.) unesene su zbog sanacije klizišta, čičoka (*Helianthus tuberosus* L.) se upotrebljava u prehrani, a amorfa (*Amorpha fruticosa* L.) u ispaši pčela. Najpoznatiji primjer invazivne strane biljke koja je slučajno unesena u Europu je pelinolisni limundžik. Dujmović Purgar i Ostojić (2009) navode da su u Republici Hrvatskoj i susjednim zemljama najveći utjecaj na širenje invazivnih vrsta imale migracije ljudi tijekom 19. i 20. stoljeća.

Postoje brojne zabune koje se odnose na pojmove „naturaliziran” i „invazivan”. Prema Richardson i sur. (2000), naturalizacija počinje kad su nadvladane abiotičke i biotičke prepreke za opstanak vrste te kad su prevladane razne prepreke za reprodukciju. Invazija započinje kad novo unesene biljne vrste proizvedu reproduktivno potomstvo na područjima koja su udaljena više od 100 metara od mjesta introdukcije i to tijekom 50 godina za vrste koje se šire sjemenom ili više od šest metara tijekom tri godine za vrste koje se šire korijenom, rizomima, stolonima i vriježama. Nakon što se neke strane biljne vrste uspješno prilagode uvjetima u novom području i počnu se razmnožavati, postaju naturalizirane. Kada razmnožavanje potraje određeno vrijeme i vrste stvore brojno potomstvo koje počne potiskivati autohtone biljne vrste tada govorimo o invazivnosti tih vrsta.

Prema Weber-u (2005) većina novo unesenih biljnih vrsta odnosi se na vrste koje se naturaliziraju, a zbog ograničene rasprostranjenosti i nemogućnosti daljnjeg širenja ne uzrokuju značajnije probleme na novom području. Međutim, kad strane vrste koje su invazivne dospiju na nova područja, mogu uzrokovati značajne štete na novim prostorima (Genovesi i Shine, 2004) te postaju prijetnja nativnoj biološkoj raznolikosti (Weber, 2005). Williamson i Fitter (1996) navode da se otprilike od svakih 100 unesenih vrsta 10 uspješno naturalizira, dok od svakih 100 naturaliziranih, oko 10 postanu invazivne. To je tzv. pravilo desetke (tzv. *tens rule*).

Invazivnost ovisi o brojnim čimbenicima. Da bi neka vrsta postala invazivnom, treba imati određene osobine. Prema Brock-u (1998) strane invazivne biljne vrste često imaju ekološke osobine koje im omogućuju kolonizaciju područja narušene prirodne ravnoteže i izravnom kompeticijom postaju dominantne vrste na tom području. Invazivne vrste imaju veliku genetsku varijabilnost i fenotipsku plastičnost. Najvažnija svojstva tih vrsta je sposobnost brzog i samostalnog razmnožavanja, što rezultira velikom brojnošću i gustoćom u vrlo kratkom vremenskom razdoblju. Sjeme invazivnih vrsta često ima sposobnost odgode klijanja (dormantnost) čime osigurava preživljavanje jednog dijela populacije. Osim proizvodnje velikog broja sjemenki, često su nazočni i oblici vegetativnog razmnožavanja (Novak i Kravaršćan, 2014). Važno svojstvo koje omogućuje invaziju jest nazočnost alelokemikalija, koje izravno ili neizravno inhibiraju rast susjednih biljaka, što

povećava uspješnost potiskivanja native flore na novom području. Inhibicijom klijanja i/ili rasta susjednih biljaka invazivne vrste dolaze u nadređen položaj. Alohtone vrste su u prednosti pred autohtonim vrstama zbog evolucijske neprilagođenosti okoline na njihove alelokemikalije, što alelopatiju čini jednim od važnih čimbenika invazivnosti (Bais i sur., 2003; Abhilasha i sur., 2008). Uz navedena svojstva strane biljne vrste na novim područjima najčešće nemaju prirodne neprijatelje što im također daje prednost pred nativnim vrstama.

Zbog navedenog nije ni čudno da invazivne strane biljne vrste iskazuju brzu prilagodbu uvjetima u novom okolišu i da se vrlo brzo integriraju u prethodno „neinficirana” staništa, kako ona koja su utjecajem čovjeka izbačena iz prirodne ravnoteže, tako i ona koja su ugrožena klimatskim promjenama (Nikolić, 2007). Štete koje invazivne vrste nanose, u usporedbi s korovima, su još izraženije (Ostojić i Barić, 1998; Barić i Ostojić, 2000). Invazivne strane biljne vrste izravno utječu na biološku raznolikost mijenjajući okoliš, narušavajući stabilnost ekosustava, praveći štete poljoprivrednim, šumskim i vodenim biljnim sastojinama, ireverzibilno utječu na sastav prirodnih staništa te uzrokuju socio-ekonomske štete u poljoprivredi, šumarstvu, turizmu, stočarstvu, zdravstvu i dr. (Nikolić, 2007; Nikolić i sur., 2014). Zbog svojih osobina po kojima se razlikuju od druge nazočne flore, još su veća prijetnja zaštićenim područjima i zatvorenim ekosustavima kao što su otoci.

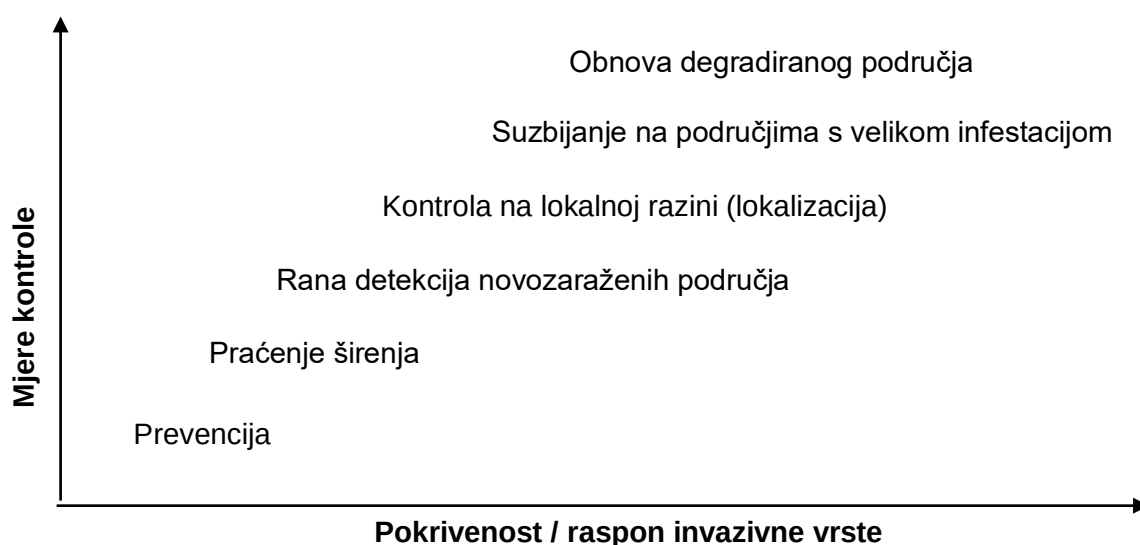
2.1.4. Sustav kontrole invazivnih biljaka

Weber (2005) opisuje širenje stranih biljnih vrsta kao trajnu i prožimajuću prijetnju jer se te vrste na novim prostorima razmnožavaju i nastavljaju dalje sa širenjem, čak i onda kad je njihov unos prestao ili kada ekosustavi više nisu narušeni.

Isti autor navodi da je odgovarajuća kontrola invazivnih biljnih vrsta na napadnutim područjima nužna kako bi se smanjio daljnji „napad” i spriječilo njihovo širenje na nova područja. Potpuno suzbijanje strane vrste nakon što se naturalizirala gotovo je nemoguće. Metode kontrole trebaju biti usmjerene na smanjenje šteta na zaraženom području te na sprječavanje daljnjeg širenja na nova područja (slika 1).

Preventivne mjere i rano praćenje, tj. detekcija zaraženosti nekog područja znatno utječu na invazivnost nekom vrstom. Suzbijanje, tj. sprječavanje širenja invazivnih biljaka može se postići primjenom mehaničkih, kemijskih i bioloških mjera, te kombinacijama tih mjera. Za potrebe suzbijanja najčešće se primjenjuje kombinacija mehaničkih i kemijskih mjera. Višegodišnje vrste imaju podzemne organe koji su često vrlo razgranati, što je problem za bilo koji oblik mehaničkog suzbijanja. Lomljivost podzemnih organa je često svojstvo koje

otežava mehaničko suzbijanje (čupanje) jer nakon pucanja jedan dio podzemnih organa uvijek ostaje u tlu. Stoga je potrebno višekratno tretiranje translokacijskim (sistemičnim) herbicidima. Često svojstvo višegodišnjih invazivnih vrsta je i velika sposobnost regeneracije. Najbolji uspjeh postiže se kombinacijom mehaničkih i kemijskih mjera suzbijanja (Novak i Kravarščan, 2014). Ipak, prednost treba dati prevenciji. Naime, treba raditi na osvještavanju ljudi o problemu, edukaciji i sprječavanju unosa invazivnih stranih biljnih vrsta. Invazivne strane vrste su globalni problem, pa ga i treba rješavati na globalnoj razini, tj. razini svih zemalja. Tek kad preventivne mjere ne uspijevaju potrebno je provoditi suzbijanje različitim načinima.



Slika 1. Različiti pristupi kontroli i upravljanju biljnoj invazivnosti ovisno o pokrovnosti i rasponu invazivne vrste, (Izvor: Weber, 2005)

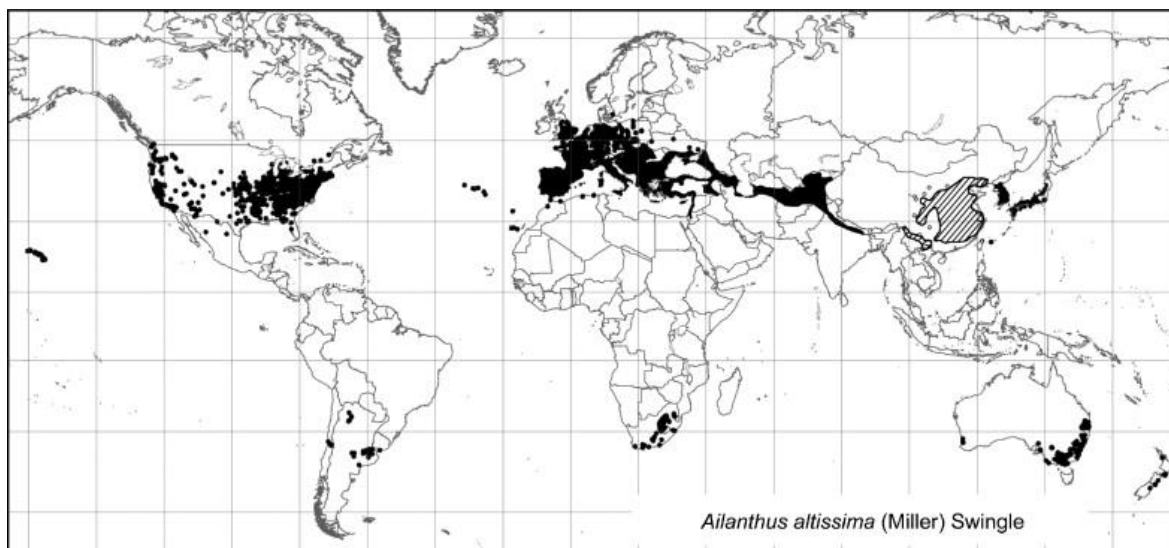
2.2 Pajasen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle)

Pajasen je višegodišnja drvenasta biljna vrsta koja se nalazi na većini lista invazivnih stranih biljnih vrsta. Prema projektu DAISIE (2003), pajasen je jedna od 18 terestričkih vrsta, tj. sedam drvenastih biljnih vrsta, koja se nalazi na popisu 100 najgorih invazivnih vrsta. Na EPPO-ovoj Listi invazivnih biljnih vrsta nalazi se od 2004. godine, uz još 34 terestričke vrste. Boršić i sur. (2008) navode pajasen na preliminarnom popisu invazivnih alohtonih biljnih vrsta u Republici Hrvatskoj.

2.2.1 Podrijetlo i rasprostranjenost

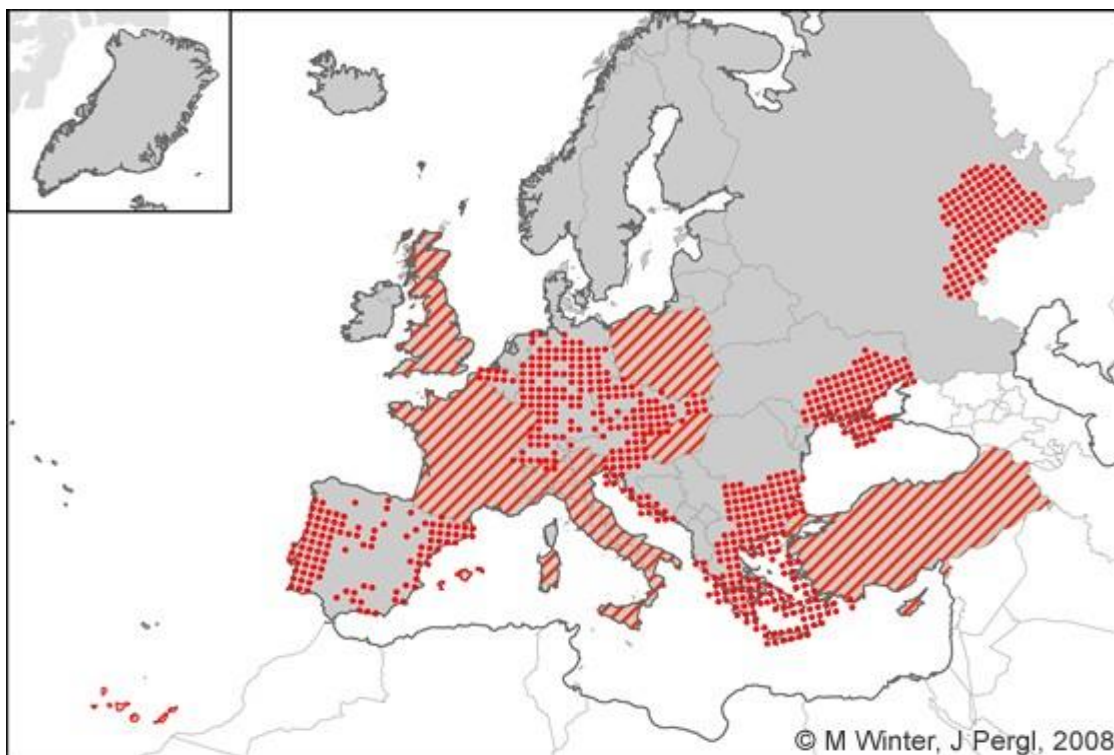
Pajasen je brzorastuće stablo, podrijetlom iz sušnih i toplih predjela Kine (Kovačić i sur., 2008). Pripada porodici Simaroubaceae (pajaseni), koja uključuje 32 roda i više od 170 vrsta drveća i grmlja koji se uglavnom nalaze u tropskim krajevima Amerike, Afrike, Madagaskara, Azije i dijela Australije uz obale Tihog oceana. Rod *Ailanthus* obuhvaća oko 10 vrsta koje su nativne u Aziji i sjevernoj Oceaniji (Alvesa i sur., 2014). Prema Chenu (1997), prepoznata su tri autohtona varijeteta pajasena, var. *altissima*, var. *tanakai* i var. *lutchuensis* i još nekoliko kojima se uvodi vrsta. Naziv roda potječe od amboneškog/južnomolučkog/indonezijskog *ailanto* - poseže za nebom, drvo bogova ili nebesko drvo, a naziv vrste od latinskog *altus* - visok, zbog brzog rasta i visine koju ova vrsta doseže (Kovačić i sur., 2008). Nikolić i sur. (2014) navode mnogo latinskih istoznačnica za ovu vrstu: *Ailanthus cacodendron* (Ehrh.) Schinz & Thell, *Ailanthus erythrocarpa* Carrière, *Ailanthus giraldii* Dode, *Ailanthus glandulosa* Desf., *Ailanthus guangxiensis* S. L. Mo, *Ailanthus japonica* K. Koch, *Ailanthus japonica* Dippel, *Ailanthus peregrina* (Buc'hoz) F. A. Barkley, *Ailanthus pongelion* J. F. Gmel., *Ailanthus procera* Salisb., *Ailanthus rhodoptera* F. Muell., *Ailanthus sinensis* Dum. Cours. nom. illeg., *Ailanthus sutchuensis* Dode, *Ailanthus vilmoriniana* Dode, *Albonia peregrina* Buc'hoz, *Choerospondias auriculata* D. Chandra, *Pongelion cacodendron* (Ehrh.) Degen *Rhus cacodendron* Ehrh. i *Toxicodendron altissimum* Mill.

Pisani zapisi o pajasenu mogu se naći najmanje 100 godina prije Krista (Hu, 1979). Kowarik i Säumel (2007) navode da je pajasen postao invazivan u Europi, ali i na svim ostalim kontinentima, osim na Antarktiku. Rasprostranjen je na području Europe, Afrike, Azije, Australije, Sjeverne i Južne Amerike, te na otocima sva tri oceana (Weber, 2005) (slika 2).



Slika 2. Rasprostranjenost pajasena u svijetu (Izvor: Kowarik i Säumel, 2007)

Francuski misionar Pierre D'Incarville 1740. godine prvi je unio sjeme pajasena u Francusku iz Nankinga (Hu, 1979). Pajasen je 1751. godine zamijenjen s ukrasnom drvenastom vrstom ruj (*Rhus verniciflua* (Stokes) F. A. Barkley), od koje se proizvodi lak za uporabu u drvnoj industriji (Petrova i sur., 2013) te je unesen u London, a nakon toga i u druge dijelove Europe. Prema Nikolić i sur. (2014), vrsta je unesena u Europu kao ukrasna biljka početkom 18. stoljeća. Prema podacima EPPO-a, danas je u Europi raširen na području Albanije, Austrije, Belgije, Češke, Francuske, Gruzije, Hrvatske, Italije, Grčke, Mađarske, Malte, Moldavije, Nizozemske, Njemačke, Portugala, Rumunjske, Srbije, Slovenije, Španjolske, Švicarske, Turske, Ukrajine i Ujedinjenog Kraljevstva (slika 3).



Slika 3. Rasprostranjenost pajasena u Europi

Izvor: DAISIE project – EC FP6, 2006, (Preuzeto s: http://www.europe-aliens.org/pdf/Ailanthus_altissima.pdf 10.8.2016.)

Pajasen se danas smatra jednom od najrasprostranjenijih invazivnih vrsta stabala na svijetu i jednom od najopasnijih invazivnih vrsta središnje Europe (Landenberger i sur., 2009).

2.2.2 Rasprostranjenost i invazivnost pajasena u Republici Hrvatskoj

S obzirom na to da je pajasen rasprostranjen na svim kontinentima osim na Antarktiku i da se razumijeva jednim od najinvazivnijih stabala na svijetu, nije ni čudo što ga Idžojić i Zebec (2006) svrstavaju u najizrazitiju invazivnu drvenastu vrstu u Republici Hrvatskoj koja se širi na nova područja.

Novak i Kravarščan (2014) navode da se pajasen tijekom 60-ih i 70-ih godina prošloga stoljeća u Hrvatskoj na nekim lokacijama sadio ciljano kao vrsta koja sanira klizišta, a pojedinačno i kao ukrasna vrsta. Isti autori mišljenja su da je pajasen u Republici Hrvatskoj jedna od najraširenijih invazivnih stranih drvenastih vrsta koja agresivnim širenjem na nova staništa često potiskuje autohtone vrste i formira monokulturu, čime smanjuje bioraznolikost. Prema Novak i Novak (2016) zabilježen je u Gradu Zagrebu i

svih 20 županija. Njegova nazočnost utvrđena je i na 19 otoka (Cres, Lošinj, Krk, Ugljan, Pašman, Dugi otok, Olib, Silba, Premuda, Murter, Kaprije, Žirje, Prvić, Zlarin, Brač, Čiovo, Hvar, Vis i Mljet) te na poluotoku Pelješcu. Nije pronađen na Istu, Lopudu i Lokrumu. Na nekim je otocima ograničenog areala, a na pojedinim otocima izrazito je agresivan (Cres, Premuda, Prvić, Brač, Hvar i Vis). Autori navode da veću agresivnost iskazuje u obalnom dijelu Hrvatske, gdje vrlo često potiskuje autohtono bilje i formira monokulture. U kontinentalnom dijelu Hrvatske proširen je na ograničenim područjima i ne predstavlja izravnu opasnost, iako na nekoliko lokacija preuzima prostor na račun autohtonog bilja te pokazuje tendenciju intenzivnog širenja. Nazočnost pajasena dokazana je u nekim zaštićenim područjima od nacionalne važnosti, kao što su NP Krka, Park prirode Biokovo, zaštićeni krajobraz Vučine, botanički rezervat Maslinik Saljsko polje te Arboretum Trsteno. Ozbiljno prijeti Parku prirode Telašćica te predstavlja izravnu opasnost za autohtonu floru tog područja.

U prilog činjenici da je rasprostranjen na području cijele Hrvatske idu i brojni narodni nazivi, kao što su: žljezdasti pajasen, divlji orah, kiselo drvo, Božje dervo, bogač, rajsko stablo, jelš, tatula, smrdelj, kiseljak i rusovina (Novak, 2011. Usmena predaja).

2.2.3 Morfološka obilježja pajasena i druge osobine

Pajasen je brzorastuća listopadna drvenasta biljna vrsta. U literaturi se navode različite visine pajasena, ovisno o klimatskim prilikama. Tako npr. Weber (2005) navodi visinu 5 – 25 m, a Kovačić i sur. (2008) 17 – 27 m. Hegi (1906) i Lauche (1936. cit. Kowarik i Säumel, 2007) navode da pajasen doseže maksimalnu visinu od 27 do 30 m u umjerenoj klimi, a 18 – 20 m u ostalim klimatskim područjima (Hunter, 2000; Arnaboldi i sur., 2003). Najviše poznato drvo pajasena nalazi se u parku blizu Bonna u Njemačkoj. Staro je 130 godina, visine 30 m i promjera debla 1,27 m (Lauche, 1936 cit. Kowarik i Säumel, 2007).

Kora debla je svijetlosiva, često s uzdužnim bijelim prugama, a starenjem puca. Zbog otrovnih sastojaka u kori i lišću, može uzrokovati kontaktni dermatitis kod ljudi i ovaca (Sušić i Radek, 2007). Pajasen pokazuje akrotonično grananje prilikom formiranja debla, dok je rast u visinu simpodijalno-modularni. U početku su moduli i sve prisutne grane jednaki, međutim, kasnije snažno dolazi do izražaja simpodijalno formiranja debla, što dovodi do odvojenog, rijetkog i nepravilnog oblika krošnje na kojoj se nalaze terminalni cvatovi (Hallé i sur., 1978), tj. obnovljeni izbojci započinju rast iz bočnih pupoljaka, dok su terminalni pupoljci zauvijek uništeni. Grane koje nose listove su zelene boje, pokrivene kratkim dlačicama. Starije grane su crvenkasto-smeđe boje s velikim ožiljcima u obliku

srca i okruglastim pupoljkom na vrhu na mjestima na kojima su bili listovi (Hu, 1979; Hunter, 2000).

Listovi su naizmjenični i veliki, dužine 30 - 100 cm, mogu biti dlakavi ili gotovo goli s peteljka proširenim na bazi. Perasti su, sastavljeni od 10 do 40 liski dužine 5 – 18 cm. Liske su ovalno-lanceolatne s dva do četiri žljezdana zuba na zaokruženoj bazi. Mogu biti smještene simetrično ili asimetrično na peteljci (Weber, 2005; Hu, 1979). Listovi na mladim biljkama koje rastu iz sjemena imaju trifolijatne listove iznad dva zaobljena epigealna kotiledona (Hu, 1979). Na biljkama koje nastaju iz korijenovih izbojaka listovi su na prvi pogled žućkasto-zelene boje i variraju u broju od unifoliatnih do perastih. Iako je veličina listova jako varijabilna, Kowarik i Säumel (2006a cit. Kowarik i Säumel, 2007) navode da korijenovi izbojci mogu proizvesti znatno veće listove. Listovi su spiralno poredani podjednako na grani u smjeru kazaljke na satu ili u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. Nakon jednog i pol okretaja oko grane najčešće se nalazi osam listova na grani, tako da se peti list nalazi nasuprot prvome, a nakon tri okretaja, deveti list se nalazi nasuprot prvome. Neobičan raspored listova i grananje mogu se pojaviti na mladim biljkama koje izrastu u vrlo kratkom razdoblju (Davies, 1937., 1939; Davies i Bennett, 1929. cit. Kowarik i Säumel, 2007).

Što se tiče morfologije cvijeta, pajasen ima dva različita tipa nektarija cvjetne i vancvjetne. Različite vrste vancvjetnih nektarija nalaze se u gotovo svim nadzemnim biljnim organima, uključujući lišće (lisne nektarije), petiole i sporedne listiće (Bory i Clair-Maczulajtys, 1986. cit. Kowarik i Säumel, 2007). Kowarik i Säumel (2007) navode da pajasen ima i dvije vrste lisnih nektarija. Neki nektariji su u obliku jednostavnih žlijezda kao izbojci iz epidermalnih stanica koje su raspoređene po površini mladih listića, a drugi su više kao specijalizirane žlijezde i nalaze se uz bazalni rub liske. Svaka liska ima od jedne do osam takvih žlijezda. Zadaća nektarija na listovima je nakupljanje šećera u listovima te premještanje u grane gdje se skladišti.

Pajasen je dvodomno drvo. Sitni žućkasto-zeleni (poslije crvenkasti) cvjetovi skupljeni su u upadljive, do 40 cm duge metličaste cvatove koji se razvijaju od svibnja do srpnja. Muški cvatovi sadrže više cvjetova od ženskih, pa su upečatljivi i ispuštaju jak miris kojim privlače oprašivače.

Plodovi su dvostruko okriljeni žućkasto-zeleni do svijetlosmeđi (crvenkasti) oraščići koji se na stablu zadržavaju do idućeg proljeća (Kovačić i sur., 2008). U embriju se nalazi endosperm koji ima dvije velike supke s uskladištenim uljima (Little, 1974). Xiong i sur. (1983. cit. Kowarik i Säumel, 2007) navode da su zabilježene varijacije u boji, veličini, masi i debljini sjemena među stablima unutar 49 provenijencija iz 11 regija u dolini rijeke

Yangtze u Kini. Weber (2005) navodi nevjerojatnu brojku od milijun sjemenki godišnje po jednoj biljci. Kad se govori o njegovom reproduktivnom okviru, koji se proteže više od jednog stoljeća, pajasen je biljka s iznimnom vijabilnošću sjemena koja iznosi 65 % čak i kod biljke stare 104 godine (Wickert i sur., 2017). Isti autori navode da postoji znatna povezanost između proizvodnje sjemena i promjera stabla. Sjemenke se najčešće šire vjetrom, ali moguće je širenje vodom i strojevima (DAISIE project – EC FP6, 2006). Uspjeh nekih invazivnih stabala da se šire pripisuje se dijelom visokoj reproduktivnosti u obliku seksualnih propagula (Wickert i sur., 2017). Svojstvo da proizvodi više sjemena godišnje od nativnih stabala upravo mu omogućuje veću sposobnost širenja i rasta novih biljaka na novim prostorima.

Što se tiče morfologije korijena, već kao klijanac pajasen razvija nekoliko bočnih korijena i glavni korijen, u kojem se zadržava većina pohranjenih ugljikohidrata i proteina (Dubroca i Bory, 1981). Korijeni na dubini tla između nula i najmanje 100 cm imaju nekoliko mikroskopski vidljivih primordia ili potisnutih pupoljaka koji lako formiraju korijenove izbojke (Inverso i Bellani, 1991). Na taj način iz korijena nastaju novi izbojci i omogućuju gusto pokrivanje površine mladim biljkama u blizini matične biljke pajasena (Liess i Drescher, 2008). Prosječna dužina korijena je oko 115 cm. Bočni korijen može biti 27 m udaljen od majčinske biljke (Kiermeier, 1987). Budući da mlade biljke mogu nastati iz sjemena i korijenovih izbojaka, Rabensteiner i sur. (2017) navode da se zbog toga novonastale biljke razlikuju po obliku jednogodišnjih izbojaka. Kod biljaka nastalih iz sjemena oni su konični, a cilindrični kod korijenovih izbojaka.

Pajasen se razmnožava obilno i sjemenom i korijenovim izbojcima, i to već u vrlo ranim stadijima razvoja (Pan i Bassuk, 1986). Podjednak broj jednogodišnjih biljaka i to 42,5 % nastaje iz sjemena i iz korijenovih izbojaka u urbanim područjima. Spolnu zrelost doseže nakon tri do pet godina. Rana cvatnja može nastupiti već kod jednogodišnjih biljaka nastalih iz sjemena i korijenovih izbojaka (Hegi, 1906. cit. Kowarik i Säumel, 2007). Do rane cvatnje može doći ako su mlade biljke izložene dugim fotoperiodima i visokim temperaturama. Cvjetovi koji se pojavljuju u takvim uvjetima morfološki su abnormalni i sjeme nije vijabilno (Bory i Clair-Maczulajtyš, 1977. cit. Kowarik i Säumel, 2007). Biljke pajasena stare 12 - 20 godina pokazuju najveću proizvodnju sjemena (Miller, 1990). Isti autor navodi da pajasen oprašuju pčele, bumbari i drugi polinatori. Vegetativno razmnožavanje pajasena odvija se na način da se na korijenu nalaze brojni pupoljci koji omogućuju regeneraciju biljke osiguravajući nicanje mladih izbojaka nakon što se biljka nađe u nepovoljnim uvjetima, kao što su: požar, led, rezanje, sjeckanje, iskapanje i sl. Prema Kowarik i Säumel (2006b cit. Kowarik i Säumel, 2007), drugi način vegetativnog razmnožavanja je slučajnim pucanjem korijenovih fragmenata. Međutim, Kowarik (1995)

navodi da se i neometane biljke, tj. biljke koje nisu u stanju stresa, razmnožavaju korijenovim izbojcima. Čak i fragmenti dugački samo 1 cm i široki samo nekoliko milimetara mogu proizvesti korijenove izbojke (Inverso i Bellani, 1991). Budući da se pajasen razmnožava generativno i vegetativno, najčešći oblici širenja sjemena su vjetrom, vodom, glodavcima, nekim pticama te mehanizacijom. Vegetativnim dijelovima širi se na lokalnoj razini.

Sjemenke pajasena koje se nazivaju perutka (*samara*) imaju osobine koje im omogućuju širenje vjetrom na veće udaljenosti. Perutke su centralno sužene, spiralno uvijene i krilate. Anatomija krila sjemenke olakšava širenje vjetrom jer su stanice između perikarpa razgranate i odrvenjele žilice koje funkcioniraju kao neka vrsta stabilizatora kojim je obuhvaćen ostatak epiderma i suhi hipoderm (Kowarik i Säumel, 2007). Perutka se morfološki razlikuje između jedinki ove vrste (Bory i Clair-Maczulajtys, 1980. cit. Kowarik i Säumel, 2007). Sjeme otpušteno s biljke visoke 20 m može dosegnuti udaljenost od 112 m (Matlack, 1987). Osim primarnog širenja vjetrom, odnošenjem s krošnje (Kowarik (osobno zapažanje) cit. Kowarik i Säumel, 2007) navodi i sekundarno širenje sjemenki pajasena vjetrom. Kod sekundarnog širenja, oblik sjemenki osigurava lateralno premještanje vjetrom. Na taj način sjemenke koje su već jednom pale na pod, vjetar ponovno širi dalje.

2.2.4 Zahtjevi pajasena prema okolišu

Iako je pajasen podrijetlom iz suptropskih i umjereno toplih klima također je sposoban opstati u područjima od umjereno hladne do tropske klime. Ne uspijeva u područjima s jakim monsunskim kišama (Cronk i Fuller, 1995). Nikolić i sur. (2014) ističu mogućnost rasta pajasena na svim vrstama tla. Pajasen najbolje uspijeva na laganim i poroznim tlima, ali može rasti na različitim tipovima tla, od teške gline, pješčanog ili glinasto-ilovastog tla, do karbonatnog suhog i plitkog tla. Ima sposobnost rasta na siromašnim tlima i u okolišno stresnim uvjetima, kao što su niski sadržaj hranjivih tvari i kisika. Može podnijeti i rast na golim kamenitim stijenama ako je godišnja količina oborina iznad 750 mm (Zheng, 1978).

Heliofilna je vrsta, izrazito otporna na visoke temperature, posolicu i dugotrajne suše te duboku sjenu (Nikolić i sur., 2014). Poželjna srednja godišnja količina oborina je 400 - 1400 mm, ali ako je izrazito suha sezona, vrsta tolerira otprilike četiri do osam mjeseci suše. Raste na potpuno osunčanim područjima i uspijeva na tlima siromašnim hranivima. U srednjoj Europi klima je glavni čimbenik koji utječe na rasprostranjenost pajasena, dok na njegovu rasprostranjenost u mediteranskim regijama više utječe plodnost tla. Poželjna

srednja godišnja temperatura je 7 - 18 °C, ali pajasen također može tolerirati jak mraz i preživjeti na temperaturama nižim od -35 °C (Boer, 2012).

Pajasen se nalazi na nadmorskoj visini i do 2400 m (Zheng, 1978). Raste na širokom rasponu staništa, od antropogenih do prirodnih staništa poput uspostavljenih travnjaka, prirodnih travnjaka, uspostavljenih šuma, prirodnih šuma, obala, kanala, željezničkih pruga, cesta, pustara i urbanih područja (Kowarik, 1983).

U Republici Hrvatskoj pajasenu posebno odgovaraju devastirana staništa, kao što su ruševine, zapuštene građevinske površine te požarišta, na kojima prostor osvaja puno brže od ostalih vrsta (Novak i Novak, 2016, 2017). Budući da je čovjek glavni uzročnik devastacije prirodnih staništa, pajasen je čovjekov vjerni pratilac. Isti autori navode da vrsta vrlo rijetko ulazi na površine zasađene raznim poljoprivrednim kulturama.

2.2.5 Štetnost pajasena i suzbijanje

Pajasen ima vrlo izražena kompeticijska i alelopatska svojstva, koja mu omogućuju da na novim prostorima nakon što se naturalizira vrlo brzo postane invazivan. Zbog navedenih svojstava potiskuje autohtono bilje i mijenja okoliš te znatno utječe na izgled krajolika, koji nepovratno mijenja. Osvajanjem novog prostora narušava stabilnost zatečenih ekosustava, umanjuje im vrijednost i mijenja sastav prirodnih staništa.

Kao korov u poljoprivrednoj proizvodnji pajasen nema gotovo nikakvu važnost. Zabilježen je nalaz u ekstenzivnim voćnjacima i vinogradima, najčešće maslinicima (Sušić i Radek, 2007). Može uzrokovati štete u šumarstvu, turizmu, zdravstvu i dr. Isti autori tvrde da pajasen, zbog otrovnih sastojaka u kori i lišću, može uzrokovati kontaktni dermatitis kod ljudi i ovaca, koji može izazvati slabljenje organizma, pa i paralizu. Snažnim korištenom može načiniti štetu na kanalizacijskim i odvodnim sustavima. Po gradovima su često vidljivi primjeri oštećenja asfalta i zidova na raznim objektima uzrokovani rastom te agresivne vrste (Casella i Vurro, 2013).

Najveća šteta koju pajasen uzrokuje je smanjenje bioraznolikosti i vrijednosti prirodnih ekosustava. Zbog evolucijske izoliranosti, posebno su osjetljivi otočni ekosustavi. Osim na otocima, poseban oprez potreban je u različitim zaštićenim područjima, kao što su parkovi prirode i nacionalni parkovi, koji po svojoj definiciji u Zakonu o zaštiti prirode trebaju „obuhvatiti jedan ili više sačuvanih ili neznatno izmijenjenih ekoloških sustava, a prvenstveno su namijenjeni očuvanju izvornih prirodnih vrijednosti” (NN 70/2005). Jasno je da u takvim područjima može biti počinjena nepopravljiva šteta (Novak i Kravarščan, 2015).

Suzbijanje pajasena je izrazito teško i zahtjevno (Novak i Kravarščan, 2015). Habitus biljaka predstavlja praktični problem, dok visoka sposobnost regeneracije suzbijanje pretvara u višegodišnju borbu uz neizvjesne rezultate.

Mehaničkim mjerama kao što je sječa, čupanje ili iskapanje biljaka može se postići uspjeh samo kod vrlo mladih biljaka i mladih populacija. Za postizanje optimalnih rezultata takvim suzbijanjem treba ukloniti sve biljke sa zakorovljenog područja, zajedno s dijelovima korijena, kako bi se spriječila regeneracija. Međutim, u praksi je to zbog brojnih razloga (dubok i razgranat korijenov sustav, nepovoljna tekstura tla, radna snaga i sl.) vrlo teško provedivo, čak i na ograničenim područjima manjih populacija. Mlade biljke koje prerastu osjetljiv stadij i odrvene vrlo je teško ukloniti zajedno s korijenom. Najučinkovitija metoda je redovita sječa jedinki radi iscrpljivanja podzemnih organa, čime se sprječava proizvodnja i opskrba korijena hranjivima. Rezanje ili sječa biljaka stimulira izbijanje novih izdanaka, pa je postupak potrebno, sa svakim novim ponikom, redovito ponavljati sve dok se korijen ne iscrpi i potpuno ne zaustavi regeneracija. To je mukotrpan i dugotrajan posao (Novak i Kravarščan, 2015). Sušić i Radek (2007) navode da zabijanje bakrenih čavli u panj, zbog promjene električnog naboja, dovodi do bržeg propadanja korijena. U većini slučajeva mehaničko suzbijanje pajasena, zbog velike sposobnosti regeneracije i nicanja novih izdanaka iz korijena, koji nakon sječe rastu još brže (Dunn Chace, 2013), nije vrijedno uloženog truda. Potrebno je puno rada s vrlo upitnim rezultatom.

Kemijsko suzbijanje zahtijeva manje radne snage i fizičkog rada uz bolju učinkovitost. Međutim, primjena herbicida uz brojne nedostatke, kao što su toksikologija, ekotoksikologija i ponašanje herbicida u okolišu, ima i praktični problem, a to je aplikacija herbicidnih sredstava. Pajasen je višegodišnja drvenasta biljka visine do 30 m, stoga folijarna primjena herbicida na tako visoka stabla nije primjenjiva. Novak i Kravarščan (2015) navode metodu primjene herbicidnog sredstva „pod koru”. Za postizanje najboljeg učinka u suzbijanju pajasena treba primijeniti kombinaciju mehaničkih i kemijskih mjera suzbijanja. Primjer kombiniranog suzbijanja pajasena jest zarezivanje debla na više mjesta, a zatim aplikacija herbicida u svježe ureze. Moguće je i ogoljenje debla tj. skidanje kore cijelim opsegom debla (tzv. prstenovanje) uz oštećenje tkiva ispod kore, nakon čega se krošnja počinje sušiti. Dunn Chace (2013) i Novak i Kravarščan (2015) navode da takav stres redovito uzrokuje „eksploziju” izbojaka iz korijena i panja te iz pupova ispod reza. Takve mlade izbojke treba tretirati prije nego što se razviju u veće biljke kada je aplikacija ograničena. Jedna od metoda suzbijanja većih biljaka može biti premazivanje panjeva herbicidnim pripravkom (Novak i Kravarščan, 2015). Dunn Chace (2013) navodi da je kod takvog pristupa suzbijanju najvažnije vrijeme aplikacije, a to je ljeto ili rana jesen.

2.3 Alelopatija

Korijen riječi alelopatija dolazi od grčkih riječi *allelon* - jedan od drugoga, i *pathos* - patiti, što znači „štetna posljedica učinka jednog (donora) na drugog (akceptora)”. Postoji više definicija za pojam alelopatije, a sve definiraju međusobne odnose između jedinki biljnih vrsta koji se uspostavljaju djelovanjem specifičnih kemijskih spojeva - alelokemikalija (Rice, 1984).

U posljednjih nekoliko desetljeća istraživanje alelopatije je jedno od važnih područja istraživanja u biljnoj ekologiji, što potvrđuje velik broj znanstvenih literaturnih izvora. Pojam alelopatije se prvi put znanstveno spominje 1973. godine u radu Hansa Molischa (Kovačević, 1979), gdje je opisan kao sve biokemijske interakcije (inhibitorne i stimulirajuće) između svih vrsta biljaka, uključujući i mikroorganizme (Rice, 1984; Zimdahl, 1999; Narwal, 2004; Narwal i sur., 2005; Singh i sur., 2010). Iako je alelopatija kao pojava bila poznata još u antičko doba, u teorijama A. P. de Candolle se kao njezin početak navodi 19. stoljeće (Willis, 2007). Najstariji pisani podaci o alelopatiji potječu od Demokrita u 5. st. pr. Kr. (Narwal, 2004). Teofrast je 300 g. pr. Kr. uočio da slanetak iscrpljuje tlo i istodobno uništava korove, posebno vrstu zemaljski babin zub (Kovačević, 1979).

Tijekom povijesti znanstvenici su na različite načine definirali pojam alelopatije, što ne čudi, jer se alelopatija proučavala više od 200 godina (Rice, 1984). Bonner (1950. cit. Narwal, 2004) navodi da je alelopatija interspecifično (antibiotsko), kao i intraspecifično (autotoksično) kemijsko djelovanje. U 60-im godinama definira se kao štetan učinak jedne biljke na drugu kroz proizvodnju kemijskih tvari koje dopijevaju u okoliš (Martin i Redemacher, 1960; Muller, 1966. cit. Narwal 2004). U 70-im godinama Del Moral i Cates (cit. Narwal 2004) definiraju je kao inhibiciju klijanja, rasta i metaboličkih procesa jedne biljke prema drugoj uslijed oslobađanja organskih kemikalija. Tischler (1975. cit. Narwal, 2004) opisuje alelopatiju kao interspecifično kemijsko djelovanje, za razliku od autoalelopatije, koja podrazumijeva intraspecifično kemijsko djelovanje. Putnam i Duke (1978) opisuju alelopatiju kao štetan učinak jedne biljne vrste (biljka davatelj) na klijanje, rast i razvoj druge biljne vrste (biljka primatelj).

Rice je 1974. godine interpretirao alelopatiju kao svaki izravan ili neizravan „štetni” učinak nastao oslobađanjem kemijskih tvari u okoliš s jedne biljke (uključujući i mikroorganizme) na drugu biljku, tj. definira ju samo kao negativan učinak (inhibiciju). Međutim, 10 godina kasnije autor priznaje pogrešku i prihvaća Molischevu definiciju te ju proširuje i na pozitivni učinak tj. stimulaciju. (Rice, 1984; Narwal, 2004).

Godine 1982. Chou i Waller koriste termin alelopatija, koji podrazumijeva kemijske procese koji su nastali posredovanjem interspecifičnih i intraspecifičnih interakcija među organizmima (Chou, 1993. cit. Macias, 1998).

International Allelopathy Society 1996. godine prihvaća sljedeću definiciju alelokemikalija: „svaki proces nastao djelovanjem sekundarnih metabolita biljaka, algi, bakterija i gljiva koji utječe na rast i razvoj poljoprivrednog i biološkog sustava”. Ova definicija podrazumijeva sve biokemijske interakcije između živih sustava, uključujući biljke, alge, bakterije, gljive i njihov okoliš (Macias, 1998).

Danas možemo naći brojne „moderne” i proširene definicije alelopatije, ali osnova im je i dalje ista. Ferguson i sur. (2003) navode da se alelopatija odnosi na korisne i štetne učinke jedne biljke na drugu. To se odvija otpuštanjem kemikalija iz biljnih dijelova ispiranjem, izlučivanjem iz korijena, volatizacijom, dekompozicijom biljnih ostataka i drugim procesima otpuštanja u okoliš (atmosferu ili rizosferu) (Chou, 1990). Bhowmik i Inderjit (2003) definiraju alelopatiju kao učinke jedne biljke na drugu koji mogu biti ili stimulativni ili inhibitorni, što ovisi o koncentraciji otpuštenog sastojka.

Koju god definiciju navodili, potrebno je napomenuti da je alelopatija prirodna pojava (Pratley i Haig, 1998). Međutim, zbog nedostatka identifikacije alelokemikalija, o alelopatiji se samo općenito raspravlja dugi niz godina. Tek u 90-tim godinama alelopatija je prihvaćena kao prioritetno područje istraživanja u herbologiji (Duke i sur., 1998).

2.3.1 Alelokemikalije

Alelokemikalije su sekundarni metaboliti biljaka i mikroorganizama, nastali primarnim metaboličkim procesima (Rice, 1984). Ova definicija je osnova svih alelopatskih istraživanja i do danas se nije mijenjala. Postoje brojne druge definicije, neke jednostavnije, a neke opširnije, ali sve opisuju alelokemikalije kao kemijske supstancije koje imaju alelopatski učinak (Bhadoria, 2011).

Haig (2008) definira alelokemikalije u biljkama kao neprehrambene sekundarne metabolite biljaka koji imaju stimulirajuće ili inhibirajuće učinke na rast, zdravlje i ponašanje ili biologiju populacija susjednih organizama (biljke, insekte, mikroorganizme i dr.). Isti autor mišljenja je da su u alelopatskom odnosu između dviju biljaka izraženiji inhibirajući učinci koji djeluju na funkcije respiracije, fotosinteze, odnos vode i funkcije puči, ksilema, floema, propusnost membrane, enzimatsku aktivnost i dr.

Neki autori mišljenja su da su alelokemikalije nazočne u gotovo svim biljnim organima, kao što su listovi, stabljike, cvjetovi, plodovi, sjemenke i korijeni, a ponekad se mogu naći

samo u jednom ili dva biljna organa (Putnam, 1988; Haig, 2008). Bendall (1975), Steenhagen i Zimdal (1979) i Kazinczi i sur. (2004) smatraju korijen dijelom biljke s najvećom koncentracijom alelokemikalija. Važno je istaknuti da autori u svojim istraživanjima podrazumijevaju skupine alelokemikalija, a ne samo jednu alelokemikaliju koja je odgovorna za alelopatsko djelovanje. Osim navedenih autora, i brojni su drugi autori identificirali fitotoksine u korijenu biljaka (Zhakharenko i Arefeva, 1998. cit. Kazinczi i sur., 2001a; Bais i sur., 2003). Suprotno navedenim autorima, Rice (1974. cit. Narwal, 1994), Reinhardt i sur. (2004), Xuan i sur. (2004), Novak (2007), Sisodia i Siddiqui (2010), Tanveer i sur. (2010), Vrchotová i Šerá (2008) ističu list kao najvažniji izvor alelokemikalija kod većine biljnih donor-vrsta.

Ferguson i sur. (2003) mišljenja su da alelopatska aktivnost može varirati tijekom vegetacijske sezone i može utjecati na plodored te da ju nemaju samo različiti dijelovi 'žive' biljke već i malč od listova ali i tlo. I Weidenhamer i Callway (2010) navode da izlučevine korijena mogu mijenjati kemijske odnose u tlu, tj. mogu utjecati na nutritivna svojstva tla i na taj način ostvariti nadmoć nad ostalim biljnim vrstama nekog staništa. Međutim, kako je već navedeno, Einhellig (1987) i Rice (1984) navode da su procesi otpuštanja alelokemikalija pod utjecajem kompleksa okoliša i da ih nije lako razdvojiti. Putnam (1998) navodi da mogućnost ekstrakcije u kontroliranim uvjetima ne znači da će se kemikalija i u prirodi otpustiti iz biljke.

Grüner (1955. cit. Kovačević, 1979) navodi prvu podjelu djelatnih alelopatskih tvari: antibiotici (proizvodi mikroorganizama koji djeluju štetno na druge mikroorganizme), marazmi (proizvodi mikroorganizama koji djeluju štetno na više biljke), fitoncidi (proizvodi viših biljaka koji djeluju štetno na mikroorganizme) i kolini (proizvodi viših biljaka koji djeluju štetno na razvoj viših biljaka; ponekad mogu djelovati povoljno). Rice (1984) izdvaja alelokemikalije u obliku biokemikalija iz biljaka koje iskazuju fiziološki toksično djelovanje prema biljkama i mikroorganizmima te biokemikalije iz mikroorganizama koje iskazuju fiziološki toksično djelovanje prema biljkama.

Ferguson i sur. (2003) navode da ne postoji jedinstven način djelovanja ili fiziološki ciljano mjesto za sve alelokemikalije. Ipak, postoje poznati načini djelovanja koji uključuju devijaciju stanice, utjecaj na klijanje polena, na usvajanje nutrienata, na fotosintezu i na specifične funkcije enzima. Rice (1984) razvrstava djelovanje alelokemikalija ovisno o procesu kojeg ometaju na: diobu i strukturu stanice, rast stanice uzrokovan biljnim hormonima, propusnost membrane, uzimanje minerala, lako dostupnih fosfora i kalija iz tla, otvaranje puči i fotosintezu, disanje, sintezu proteina, metabolizam masti i organskih kiselina, sintezu porfirina, inhibiciju ili stimulaciju specifičnih enzima, začepljenje provodnih

snopova ksilema, tj. smanjenje provodljivosti vode i remećenje kretanja vode u biljci općenito te ostali fiziološki procesi biljke.

2.3.2 Biljna interferencija

Kolb (1962. cit. Hulina, 1998) navodi da štetan alelopatski učinak dolazi do izražaja tek kao posljedica kompeticijskog pritiska. Stoga se, tradicionalno, kompeticija smatra najistaknutijom interakcijom. Kompeticija se definira kao interakcija između dvaju ili više organizama koji za rast i razvoj koriste isti izvor koji se nalazi u ograničenim količinama (Wills, 2007). Dok količina vode, hranjiva, topline, svjetla i prostora zadovoljava potrebe svih biljaka (usjev i korovi) biljke nisu u kompeticiji. Međutim, kad se korovna biljka na istom prostoru nametne i nadvlada kultiviranu biljku oduzimajući joj osnovne potrebe za život, tada govorimo o kompeticiji između korovne i kultivirane biljke (Ivanek-Martinčić i sur., 2010).

Prema tome, alelopatija se razlikuje od kompeticije po tome što je kod alelopatije štetan učinak posljedica negativnog utjecaja alelokemikalija, dok je kompeticija štetan učinak oduzimanja izvora nužnih za rast i razvoj. Do kompeticije dolazi zbog sve većih potreba biljaka koje rastu u istom životnom prostoru (Rice 1984).

Williamson (1990. cit. Ridenour i Callaway, 2001) navodi da su ekolozi uvidjeli potrebu za preciznijim definiranjem kompetitivnih i alelopatskih mehanizama između biljaka. Stoga 60-ih godina prošlog stoljeća Harper (1964. cit. Quasem i Foy, 2001) uvodi pojam „biljna interferencija”, koji preciznije definira odnose između biljaka, uključujući alelopatiju i kompeticiju. I Muller (1969. cit. Rice, 1984) nepovoljan učinak biljaka koje rastu u zajednici naziva interferencijom i zaključuje da u interferenciji sudjeluju alelopatija i kompeticija. Zimdahl (1999) definira interferenciju kao nepovoljan učinak biljaka jednih prema drugima, a također uključuje alelopatiju i kompeticiju. I Quasem i Foy (2001) odvajaju kompeticiju od alelopatskog učinka. Brojni autori (Reigosa i sur., 1999; Schenk, 2006; Uddin i Robinson, 2017) navode da je istraživanjima u kontroliranim uvjetima potvrđeno da biljna interferencija uključuje kombinaciju alelopatskih učinaka i kompeticije. U prilog navedenim istraživanjima ide i tvrdnja Rice-a (1984), koji navodi da je kod istraživanja kompeticije iz tehničkih razloga nemoguće isključiti alelopatski učinak. Međutim, isti autor tvrdi da alelopatska istraživanja u kontroliranim uvjetima uspješno isključuju kompeticijske učinke.

S druge strane, mnogi autori se slažu s činjenicom da je većinu alelopatije i kompeticije u poljskim uvjetima vrlo teško, gotovo nemoguće razdvojiti (Kazinczi i sur., 2001b; Kolb, 1962. cit. Hulina, 1998) te su mišljenja da se negativni alelopatski učinak u prirodi pojavljuje kao posljedica kompeticije. I Reigosa i sur. (1999) navode da se alelopatski

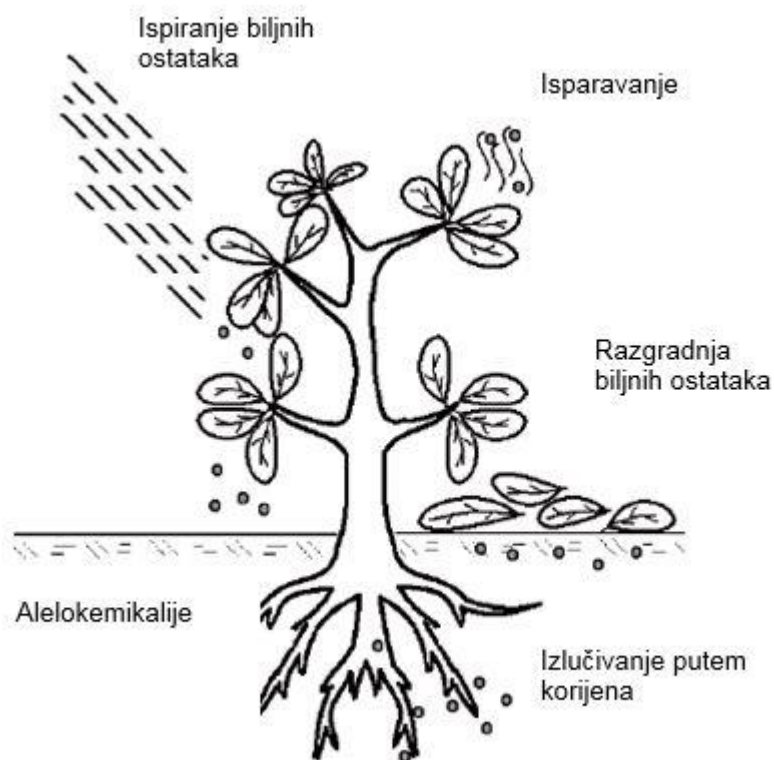
učinci pojavljuju samo onda kad su biljke u stresu zbog nedostatka vode, hranjivih tvari ili svjetlosti. Isti autori navode da se u tim uvjetima proizvodnja alelokemikalija povećava. Bez obzira na različita mišljenja, činjenica je da je alelopatski učinak u agrobiocenozi nazočan i da, između ostalog, može negativno djelovati na rast i razvoj, a time i na prirod usjeva (Hulina, 1998).

2.4 Alelopatsko djelovanje biljnih vrsta

2.4.1 Načini otpuštanja i kemijska podjela alelokemikalija

Sadržaj alelokemikalija u biljci može ovisiti o stadiju rasta i razvoja biljke ili o dobu dana ili razdoblju vegetacijske sezone (godine) (Narwal, 1994). Da bi došlo do bilo kakvog alelopatskog učinka na biljku u prirodi, alelokemikalije trebaju biti otpuštene s donor-biljke. Bhadoria (2011) je citirajući velik broj autora naveo nekoliko načina otpuštanja alelokemikalija (slika 4):

- otjecanjem ili ispiranjem fitotoksičnih spojeva s listova ili stabljike biljaka (npr. crni orah (*Juglans nigra* L.)),
- isparavanjem fitotoksičnih spojeva sa zelenih dijelova biljaka (npr. pelin (*Artemisia californica* L.)),
- oslobađanjem fitotoksičnih spojeva raspadanjem biljnog materijala (npr. raž) i
- otpuštanjem fitotoksičnih spojeva iz korijena biljaka (npr. riža).



Slika 4. Načini oslobađanja alelokemikalija s biljke u okoliš

(Izvor: Albuquerque i sur., 2011)

Nakon izlučivanja ili drugog načina dospjeća s biljke, alelokemikalije su uključene u brojne metaboličke i fizikalno-kemijske procese (Rice, 1984). Njihova toksičnost ovisi o starosti i metaboličkom stadiju biljke, klimi, godišnjem dobu i okolišnim čimbenicima, ali ipak je koncentracija alelokemikalija glavni čimbenik. Dobro je poznato da će gotovo svaka tvar koja kod određene koncentracije djeluje inhibitorno na fiziološki proces biljke vrlo vjerojatno uzrokovati stimulirajuće djelovanje kod niže koncentracije i obrnuto. Dualno ponašanje tvari, koje se ponekad referira kao *hormesis*, prepoznao je Paracelsus još u 16. stoljeću riječima: „Svaki je lijek otrovan, samo o dozi ovisi hoće li to zaista biti“ (Duke i sur., 2002), a danas je to skraćeno: „Samo doza čini otrov“ (lat. "*Sola dosis facit venenum*").

Nakon što alelokemikalije dopiju u dodir sa susjednom biljkom, dolazi do alelopatskog učinka na rast i razvoj biljaka u vidu inhibicije ili stimulacije. Kada govorimo o negativnom alelopatskom učinku, tj. inhibiciji mogu se pojaviti različiti simptomi kao što su usporeno ili smanjeno klijanje, potamnijelo i nabubreno sjeme, smanjenje korijena klice i izdužen izdanak, nabreknuće ili nekroza vrha korijena klice, kovrčanje korijena, diskoloracija, izostanak formiranja korijenovih dlaka, povećan broj postranih korjenčića, smanjenje

nakupljanja vlage te smanjene reproduktivne sposobnosti (Rice, 1984). Kod istraživanja alelopatskog učinka u laboratorijskim uvjetima dokazano je da neke alelokemikalije utječu na klijavost, a neke na duljinu korijena i/ili izdanka klice test-biljnih vrsta. Tako Bruckner (1998) i Hodisan i sur. (2009) uočavaju znatno smanjenje klijavosti test-biljnih vrsta. Proučavanje alelopatije u kombinaciji s drugim mehanizmima koji utječu na biljke zahtijeva multidisciplinarni ekofiziološki pristup (Reigosa i sur., 1999).

Kemičari godišnje izoliraju i identificiraju stotine novih sastojaka, tj. prirodnih proizvoda viših biljaka i mikroorganizama (Putnam, 1988). Alelopatija je vrlo složena i može obuhvaćati različite skupine kemijskih supstancija. To mogu biti fenoli, flavonoidi, terpenoidi, alkaloidi, steroidi, karbohidrati i aminokiseline, koji u kombinaciji s drugim sastojcima ponekad imaju jači alelopatski učinak nego kad djeluju samostalno (Ferguson i sur., 2003). Putnam (1998) je razvrstao alelokemikalije u šest skupina (alkaloidi, benzoksazinoni, derivati cinamične kiseline, cijanogenični spojevi, etilen i drugi stimulatori klijanja sjemena te flavonoidi). Izolirane su iz više od 30 porodica terestričnih i vodenih biljaka. Fenolni spojevi pripadaju skupini najvažnijih i najčešćih biljnih alelokemikalija u ekosustavu te uključuju različite strukturne spojeve u širokom rasponu, kao što su jednostavni aromatski fenoli, hidroksi i supstituirani derivati benzojeve kiseline i aldehidi, hidroksi i supstituirani derivati cimetne kiseline, kumarini, tanini, a možda i nekoliko flavonoida (Zeng i sur., 2001). Do sada je definirano desetak tisuća sekundarnih supstancija dobivenih od nekoliko stotina spojeva male molekularne mase primarnog metabolizma. Međutim, samo je mali broj prepoznat kao alelokemikalija (Rice, 1984).

Sama spoznaja da je alelokemikalije moguće izolirati, bila je dovoljna da potakne brojne autore da se okrenu pronalaženju prirodnih spojeva koji bi se mogli upotrijebiti u suzbijanju korova. Osnova suzbijanja korova još uvijek su herbicidi jer primjena pesticida u poljoprivredi znatno doprinosi smanjenju gubitka uroda usjeva. Većina poljoprivrednih sustava upotrebljava oko tri milijuna tona herbicida godišnje (Stephenson, 2000).

2.4.2 Alelokemikalije kao prirodni herbicidi

Stalna primjena herbicida u visokim dozama dovela je do onečišćenja okoliša, posebno tla i voda te je povećala broj rezistentnih korovnih vrsta. Sve se više pojavljuje zabrinutost zbog negativnih učinaka primjene herbicida i zahtjevi za pronalaženjem drugih mjera u suzbijanju korova.

Ipak, danas je samo nekoliko komercijalnih herbicida na osnovi prirodnih spojeva. Herbicidi bialafos i glufosinat (fosfinotricin) su najuspješniji prirodni herbicidi dobiveni iz metabolita bakterija roda *Streptomyces*, iako se danas glufosinat sintetizira (Heisey,

1999). Isti autor ističe kako je zanimljivo da još uvijek ne postoji komercijalni herbicid na osnovi spoja izoliranog iz biljke, a da se nalazi u svom prirodnom obliku. Postoji nekolicina sintetički dobivenih metabolita iz biljaka ili onih koji imaju potencijal za razvoj komercijalnih herbicida. Benzenkarboksilna (benzojeva) kiselina, koju proizvode brojne biljne vrste, iskorištena je za proizvodnju herbicida dikamba i kloramben (Heisey, 1999).

Jedan od pozitivnih primjera gdje se alelopatija iskoristila u praksi je herbicid mezotrion, koji se primjenjuje u kukuruzu (*Zea mays* L.). Iz ukrasne biljke četkovac (*Callistemon citrinus* (Curtis) Skeels) izolirana je alelokemikalija herbicidnog učinka leptospermon koja je bila osnova za sintezu mezotriona (Cornes, 2005). Iako je nastao na temelju alelopatskih istraživanja, nije potpuno biljno sredstvo i stoga nije dopušten u ekološkoj poljoprivredi.

Ideja recentnih istraživanja jest izolacija alelokemikalija i njihovih derivata, pa čak i spojeva sintetiziranih od izoliranih kemijskih spojeva (Singh i sur., 2008). Budući da su alelokemikalije dio prirode, pretpostavka je da će, za razliku od komercijalnih herbicida, biti ekološki prihvatljivije za okoliš, korisne i neciljane organizme te za primjenitelja. Khalid i sur. (2002) mišljenja su da je alelopatija ekonomski isplativa metoda u suzbijanju korova i alternativa za sintetičke herbicide. Kako bi se sintetizirala herbicidna sredstva na osnovi alelokemikalija, potrebna su brojna istraživanja za promicanje razumijevanja mehanizma alelopatije kod biljaka (Singh i sur., 2010).

Do danas je identificirano više od 100 000 različitih sekundarnih metabolita iz biljaka i gljiva. Stoga je logično pretpostaviti da ti metaboliti otpušteni iz biljke moraju polučiti nekakav učinak (Wills, 2007). Weston (1996) navodi da alelokemikalije mogu biti izlučene u količini koja djeluje inhibirajuće na razvoj klijanaca korova. Duke i sur. (2002) mišljenja su da biorazgradivi prirodni proizvodi biljaka čine skupinu kemikalija koje mogu izravno djelovati kao herbicid ili biti osnova za sintezu herbicida. Ilori i Ilori (2012) navode vrste biljnih alelokemikalija, njihovu aktivnost i primjenu koje bi se mogle upotrijebiti u održivoj poljoprivredi za suzbijanje korova. Vaughan i Spencer (1993. cit. Reigosa i sur., 2006) navode da alelokemikalije koje najviše obećavaju uključuju volatilne monoterpene, seskviterpene, laktone, benzoksazinone i sorgoleone. Monoterpeni, koji imaju izoprenoidni prsten, opsežno su istraženi u programu suzbijanja korova (Singh i sur. 2001). Iako se radi o derivatima biljke, pretpostavka je da imaju bolju biološku razgradnju od sintetičkih herbicida, ali bi isto tako mogle imati neželjene učinke na neciljane vrste, što zahtijeva provođenje ciljanog istraživanja prije nego se počnu široko upotrebljavati. Zbog toga Ferguson i sur. (2003) naglašavaju da je potrebno dokazati podrijetlo biljke, sposobnost razmnožavanja iste te identificirati alelokemikalije, odrediti perzistentnost u

okolišu i učinak na biljne vrste. U obzir isto tako treba uzeti interakciju između alelopatske biljke i biljke domaćina te drugih neciljanih organizama.

Što se tiče suzbijanja korova, a osobito alternativnog suzbijanja korištenjem alelopatskog potencijala, općenito je u svijetu obavljen tek mali dio posla (Asaduzzaman i sur., 2010). Alelopatski potencijal neke biljne vrste može se mjeriti veličinom reakcije druge (test) biljke (Radosevich i sur., 1997).

Selekcija alelopatskih biljaka je dobar i često korišten pristup za identifikaciju biljaka s biološki aktivnim prirodnim proizvodima (Duke i sur., 2002). Iako se divlje biljne vrste najčešće smatraju izvorom alelopatskog potencijala, poznato je da i kultivirane biljke u nadmetanju (kompeticiji) s korovima koriste alelokemikalije (Radosevich i sur., 1997). Kultivirane biljke poput stočnog sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), suncokreta (*Helianthus annuus* L.), lucerne (*Medicago sativa* L.), ječma (*Hordeum distichon* L.), djeteline (*Trifolium pratense* L.), sezama (*Sesamum indicum* L.), duhana (*Nicotiana tabacum* L.), slatkog krumpira (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), riže, raži, pšenice (*Triticum aestivum* L.) i zobi (*Avena sativa* L.), izlučuju alelopatske spojeve s herbicidnim učinkom (Miller, 1996; Weston, 1996; Moradi i sur, 2013). Bhadoria (2011) je dokazao alelopatsko djelovanje riže, pšenice, krastavca (*Cucumis sativus* L.), gorušice (*Fagopyrium esculentum* L.), djetelina (*Trifolium* spp.), kokotca (*Melilotus* spp.), zobi i sirka kitaša (*Sorghum bicolor* L.). Olofsdotter (2001. cit. Wills, 2007) tvrdi da je brojnim studijama dokazano da različite sorte riže inhibiraju određene vodene korove. Ferguson i sur. (2003) navode drvenaste biljne vrste s izraženim alelopatskim potencijalom: crni orah, lantanu (*Lantana camara* L.) i gorku naranču (*Citrus aurantium* L.).

Još je veće zanimanje za alelopatski potencijal korovnih vrsta, a osobito invazivnih stranih biljnih vrsta. S obzirom na to da su korovi, za razliku od kulturnih biljaka, evolucijski selekcionirani po kriteriju alelopatskog učinka, može se očekivati da će u većini slučajeva imati veći alelopatski potencijal od kultiviranih biljaka, kojima su tijekom oplemenjivanja izgubljena mnoga svojstva (Novak, 2007). U istraživanju i pronalaženju alelokemikalija s herbicidnim učinkom prednjače invazivne biljne vrste. Brojni su primjeri istraživanja alelopatskog potencijala invazivnih biljnih vrsta. Tako su npr. Baličević i sur. (2016) istraživali alelopatski učinak devet vrsta iz porodica *Asteraceae* i *Polygonaceae* na klijanje i rani porast salate. Autori navode da je vrsta jednogodišnja krasolika (*Erigeron annuus* L.) iz porodice *Asteraceae* imala najjači inhibitorni učinak (100 %), a iz porodice *Polygonaceae* vrsta povijajuća heljda (*Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve). Novak (2007) je istraživao alelopatski učinak europskog mračnjaka na kukuruz kokičar (*Zea mays* ssp. *everta* L.), ozimu zob, soju (*Glycine max* (L.) Merr.), suncokret i uljanu repicu (*Brassica napus* subsp. *oleifera* L.). Autor navodi da nije dokazan alelopatski učinak europskog

mračnjaka na klijavost test-biljnih vrsta, ali da su sve istraživane koncentracije vodenih ekstrakata korijena i stabljike europskog mračnjaka inhibirale duljinu korijena klice uljane repice, soje i zobi, ali i stimulirale duljinu izdanka klice uljane repice i zobi. Zaključio je da je europski mračnjak pokazao najjači inhibitorni, ali i stimulativni učinak na uljanu repicu (Novak, 2007). Izrazit inhibirajući učinak europskog mračnjaka na ukupnu klijavost te duljinu korijena i izdanka klice kukuruza dokazali su i Šćepanović i sur. (2007) naglašavajući da ekstrakti nadzemnog dijela biljke imaju jači alelopatski učinak nego ekstrakt korijena. Pacanoski i sur. (2014) dokazali su alelopatski učinak različitih dijelova bijelog kužjaka (*Datura stramonium* L.) na rani porast kukuruza i suncokreta u laboratorijskim i poljskim uvjetima. Vodeni ekstrakti korijena i izbojaka bijelog kužjaka nisu imali statistički značajan učinak na klijanje i duljinu izdanka klice kukuruza, ali je duljina korijena klice bila znatno inhibirana kod najviše doze (koncentrata). Na suncokretu je dokazan znatan učinak na klijanje kod najviše doze. Istraživana razrjeđenja vodenih ekstrakata bijelog kužjaka u omjeru 1:5 i 1:2 značajno su povećala duljinu korijena i izdanka klice suncokreta u usporedbi s kontrolom. U pokusu na otvorenom ostaci bijelog kužjaka nisu imali učinak na kukuruz ni kod jednog istraživanog parametra. Međutim, koncentrat vodene otopine bijelog kužjaka znatno je reducirao sklop biljaka, svježiu masu suncokreta te visinu biljaka. Niže istraživane doze značajno su smanjile visinu biljkama suncokreta. Csiszár i sur. (2013) istraživali su alelopatski učinak 14 drvenastih i 20 zeljastih stranih biljnih vrsta te dokazali da je 21 istraživana vrsta (japanski javor (*Acer negundo* L.), pajasen, pelinolisni limundžik, amorfa, cigansko perje (*Asclepias syriaca* L.), američka koščela (*Celtis occidentalis* L.), uljna bučica (*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray), japanski dvornik, pensilvanijski jasen (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh. var. *subintegerrima* (Vahl) Fern.), čičoka, gigantski svinjski korov (*Heracleum mantegazzianum* Somm. et Lev.), nendirak (*Impatiens balfourii* Hook. f.), žljezdasti nendirak (*Impatiens glandulifera* Royle), sitnocvjetni nendirak (*Impatiens parviflora* DC.), crni orah, trolisna lozica (*Parthenocissus inserta* (A. Kern) Fritsch), vinobojka (*Phytolacca esculenta* van Houtte), kasna sremza (*Prunus serotina* Ehrh.), ptelea (*Ptelea trifoliata* L.), crnooka pupavica (*Rudbeckia hirta* L.) i Michx pokazala učinak u vidu smanjenja klijavosti i rasta klijanaca bijele gorušice (*Sinapis alba* L.). Ferguson i sur. (2003) navode primjere alelopatskog učinka u prirodi iz objavljenih istraživanja. Navode da drvored crnog oraha uz usjev kukuruza utječe na smanjenje prinosa kukuruza te da je alelokemikalija junglon pronađena na udaljenosti 4,25 m od matičnog stabla. Drvored mimoza (*Leuceanea* spp.) posađen između usjeva pšenice smanjuje prinos pšenice, ali povećava prinos kukuruza i riži. Autori navode brojne druge višegodišnje drvenaste vrste, među njima i pajasen, ali i kultivirane vrste kao što su pšenica, riža i brokula, koje iskazuju u većini slučajeva inhibitorno djelovanje na susjedne biljke. Citirajući Saxenu (2002), navode da

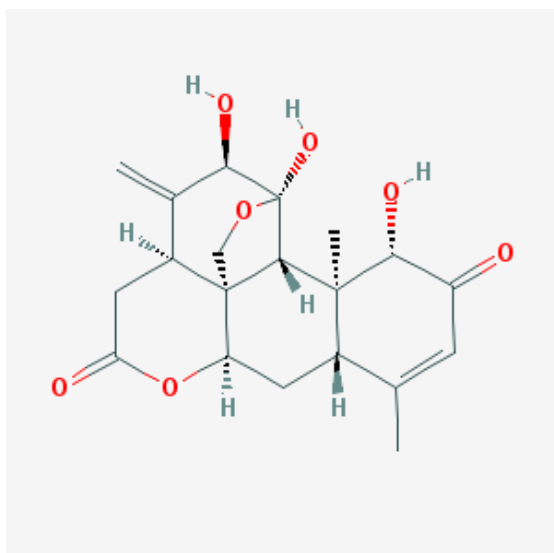
alelokemikalija iz pajasena, ailanton, iskazuje totalno djelovanje u *post-em* primjeni te ga uspoređuju s glifosatom i parakvatom. Uz navedene, brojni drugi autori su istraživali i dokazali alelopatski učinak invazivnih stranih biljnih vrsta na native ili druge strane biljne i korovne vrste (Pérez-Corona i sur., 2013; Csiszár, 2009; Pisula i Meiners, 2010). Slično je dokazao i Novak (2017) za područje Republike Hrvatske. Naime, autor je istraživao alelopatski potencijal osam invazivnih stranih biljnih vrsta iz šest različitih porodica: europski mračnjak (*Malvaceae*), pelinolisni limundžik (*Asteraceae*), bijeli kužnjak (*Solanaceae*), dikicu (*Xanthium strumarium* L.) (*Asteraceae*), pajasen (*Simaroubaceae*), amorfu (*Fabaceae*), japanski dvornik (*Polygonaceae*), veliku zlatnicu (*Asteraceae*) na tri kultivirane biljne vrste: zob, uljanu repicu i suncokret. U istom radu dokazano je da višegodišnje vrste imaju jači alelopatski potencijal od jednogodišnjih te da je pajasen vrsta najjačeg alelopatskog potencijala, a uljana repica najosjetljivija test-biljna vrsta. Od svih istraživanih invazivnih vrsta pajasen je, prema navodu autora, imao najjači alelopatski potencijal. Stoga i ne čudi da je uz rižu, pajasen jedna je od najčešće istraživanih vrsta u svrhu izolacije alelokemikalija i iskorištavanja alelopatskog potencijala.

Alelopatski učinak pajasena prvi je zapazio Mergen (1959) testirajući vodene ekstrakte listova pajasena na 46 vrsta drveća (35 golosjemenjača i 11 kritosjemenjača). Vodeni ekstrakti listova pajasena polučili su negativan učinak na rast svih vrsta biljaka uključenih u istraživanje, osim na američki jasen (*Fraxinus americana* L.). Brojni autori bavili su se proučavanjem alelopatskog učinka pajasena na različite biljne vrste iz porodice trava, drveća te različitih poljoprivrednih kultura (Heisey, 1990a; Lawrence i sur., 1991; Heisey, 1996; Heisey i Heisey, 2003; Gomez-Aparicio i Canham, 2008; Sladonja, 2014; Novak, 2017). U većini radova navodi se inhibitorno djelovanje pajasena, tj. veliki alelopatski učinak na klijanje i rani porast brojnih biljnih vrsta. Small i sur. (2010) su dokazali inhibitorno djelovanje pajasena na klijanje i rani porast vrste *Verbesina occidentalis* L. Catalan i sur. (2013) dokazali su alelopatski učinak pajasena na klijanje i početni porast kostrike (*Brachypodium phoenicoides* L.), šumske kostrike (*Brachypodium silvaticum* (Huds.) Beauv), bijele lobode (*Chenopodium album* L.), šumske oštrice (*Dactylis glomerata* L), crvene djeteline (*Trifolium pratense* L) i puzave djeteline (*Trifolium repens* L), a Bostan i sur. (2014) na bijelu gorušicu i uljanu repicu kod izloženosti različitim koncentracijama vodene otopine kore i listova pajasena. Gómez-Aparicio i Canham (2008) navode da pajasen negativno djeluje na preživljavanje i rast triju nativnih višegodišnjih drvenastih biljnih vrsta: crni javor (*Acer rubrum* L.), šećerni javor (*Acer saccharum* L.) i crveni hrast (*Quercus rubra* L.). Nadalje, Pisula i Meiners (2010) istražili su alelopatski potencijal 10 različitih biljnih vrsta, koje su uključivale drveće, grmove i

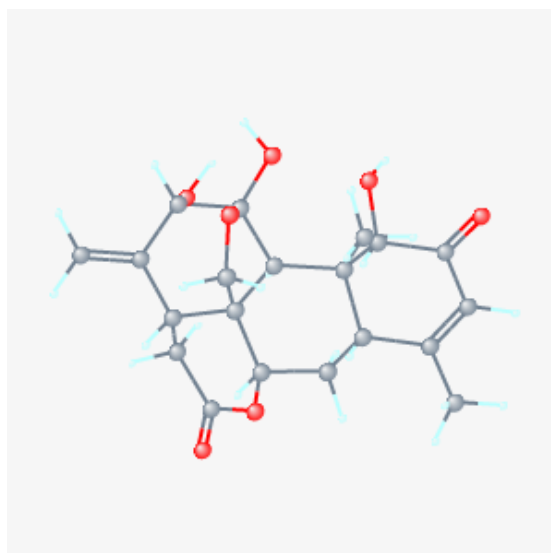
zeljasto bilje te utvrdili da vodeni ekstrakti listova pajasena imaju najjači alelopatski potencijal.

Osim za dokazivanje alelopatskog potencijala pajasena, brojni autori proučavali su ga i s ciljem izolacije alelokemikalija koje bi se mogle koristiti za suzbijanje korova. Polonsky (1973, 1985. cit. Heisey, 1996) navodi da su iz biljaka koje pripadaju porodici *Simaroubaceae* (kojoj pripada i pajasen), izolirani brojni spojevi na osnovi kvazinoida. Naime, još je od 1959. godine poznato da pajasen proizvodi jedan ili više fitotoksičnih spojeva (Heisey, 1999) poput ailantona, amarolida, acetil amarolida, 2-dihidroailantona, ailantinona, kaparina, kaparinona, kvazina, neokvazina, sinjulaktona i sinjudilaktona, a svi pripadaju skupini kvazinoida (Casinovi i Grandolini, 1963; Polonsky i Fourrey, 1964; Casinovi i sur., 1965; Polonsky, 1973; Ishibashi i sur., 1981; Casinovi i sur., 1983; Polonsky, 1985. cit. Heisey, 1996), kao i alkaloida i druge sekundarne spojeve (Anderson i sur., 1983. cit. Heisey, 1996). Casinovi i sur. (1964, 1965. cit. Heisey, 1996) izolirali su iz pajasena ailanton, amarolid i njegove acetate u čistom stanju. Glavni fitotoksin, ailanton, koji proizvodi pajasen je 1993. godine identificirao Heisey, iako je taj spoj izoliran i identificiran još 1960. godine, ali tada nije prepoznat kao glavni fitotoksični spoj pajasena (Heisey, 1999). Isti autor navodi da je u odrasloj biljci najkoncentriraniji u kori korijena, zatim kori grana te unutrašnjoj strani kore stabljike, dok su niže koncentracije u listovima, duboko u deblu i vanjskom dijelu kore.

Ailanton pripada skupini kvazinoida (Heisey, 1999). Molekularna formula je $C_{20}H_{24}O_7$. Molekularna težina iznosi 376,4 g/mol. Strukturni prikazi ailantona prikazani su na slikama 5 i 6.



Slika 5. 2D strukture ailantona



Slika 6. 3D molekularne konformacije
ailantona

Izvor: National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database; CID=72965, (Preuzeto s: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/72965> 17.4.2017.)

Heisey (1990a) je koristeći se usmjerenim biološkim testom frakcioniranja izolirao fitotoksični sastojak pajasena te ga identificirao kao ailanton. Dokazao je da su diklormetan i etil-acetat najučinkovitija otapala za ekstrakciju ailantona iz kore korijena. Kasnije to potvrđuju i Pedersini i sur. (2011). Njihovi rezultati potvrđuju da se ekstrakcijom diklormetanom dobivaju najveće količine ailantona (92 % w/w), a etil-acetatom 88,5 % w/w ailantona. U vodenoj otopini određena je količina od 52,2 % w/w ailantona. Heisey (1990a) dokazuje da su fitotoksini pajasena najviše koncentrirani u korijenu i kori debla te da svježi ekstrakti kore korijena već kod koncentracije od 0,7 mg/L imaju snažan herbicidni učinak na nekoliko biljnih vrsta (Heisey, 1996). Osim što je izolirao i potvrdio herbicidnu aktivnost ailantona, Heisey (1990b) dokazuje i razlike u sezonskoj toksičnosti pajasena. Navodi da su liske pajasena najtoksičnije dok su mlade te da se starenjem biljke toksičnost smanjuje, što je u korelaciji sa sadržajem hranjiva u biljci. Za razliku od listova, kora debla ima relativno konstantnu aktivnost, osim u rano proljeće, kad toksičnost znatno raste. Razlike u sezonskoj toksičnosti listova autor objašnjava činjenicom da je kora uključena u sintezu ili transport hranjiva prema listovima. Sve navedeno upućuje na to da se alelokemikalije pajasena premještaju iz korijena, u kojem su najkoncentriranije, putem floema ili ksilema prema listovima (Heisey, 1990b). Ozljede stimuliraju proizvodnju alelokemikalija što pridonosi invazivnom ponašanju pajasena u nepovoljnim prilikama na staništima koja su u stresu nakon devastiranja (Heisey, 1990b; Novak i Kravaršćan, 2014).

Pajasen, osim herbicidne aktivnosti, ima i insekticidno i nematocidno djelovanje te se kao takav upotrebljava za kontrolu štetnika u Kini (Tsao i sur., 2002). Još je 1959. godine Mergen (cit. Rice, 1984) izvijestio da alkoholni ekstrakti različitih dijelova pajasena uzrokuju venuće drugih biljaka kad se apliciraju na zareznici dio stabljike. Heisey (1999) navodi da je brojnim istraživanjima dokazana herbicidna aktivnost ailantona izoliranog iz korijena pajasena, ali i drugih dijelova biljke. Isto tako navodi da je ailanton relativno neselektivan, uspoređujući ga s glifosatom i parakvatom. Heisey (1990b) utvrđuje da sirovi dijelovi kore korijena pajasena i listova iskazuju slabu selektivnost, što ide u prilog tvrdnjama da se ponaša poput totalnog herbicida. Dokazao je da sirovi dijelovi kore korijena pajasena i listova koji odgovaraju količini od 34 i 119 mg/L vode ekstrahiranog materijala, uzrokuju 50-postotnu inhibiciju rasta sjetvene grbice (*Lepidium sativum*) u Petrijevim zdjelicama (ID₅₀ vrijednosti iznosile su 0,03 g kod izloženosti kori korijena, te 0,6 g kod izloženosti listovima). Također je odredio da vodeni ekstrakti kore korijena pajasena u različitim koncentracijama znatno reduciraju rast klijanaca sjetvene grbice, oštrodlakavog šćira, europskog mračnjaka, muhara (*Setaria pumila* (Poir.) Schult.), koštana (*Echinochloa crus-galli* L.) i kukuruza. Sve istražene test-biljne vrste imale su smanjen stupanj klijavosti i rasta. Širokolisna korovna vrsta oštrodlakavi šćir i sjetvena grbica bile su najosjetljivije, a muhar i koštan srednje osjetljive test-biljne vrste. Iznimka je bio europski mračnjak koji se pokazao izrazito tolerantnim, a slijedio ga je kukuruz (Heisey, 1990b). Heisey (1990a, 1990b) navodi da pajasen sadrži jedno ili više fitotoksičnih sastojaka u korijenu, listovima ali i sjemenu. Također je dokazao da vodena otopina korijena pajasena ima snažan herbicidni učinak i prije i nakon nicanja biljaka, ali navodi da je herbicidni učinak izrazitiji kod primjene nakon nicanja test-biljnih vrsta u usporedbi s primjenom prije nicanja test-biljnih vrsta (Heisey, 1990b). Osim da vodeni ekstrakti pajasena imaju snažan herbicidni učinak, Heisey (1990a) također dokazuje da usitnjeni svježi dijelovi korijena (0,2 g) i listova (1,5 g) pajasena pomiješani sa zemljom snažno inhibiraju rast sjetvene grbice te da korijen pajasena kod kojeg je ekstrakcijom metanola uklonjen „toksični materijal” nema alelopatski učinak. Također navodi da su inhibitorni učinci pajasena u tlu kratkoga vijeka. Dobiveni rezultati sugeriraju da alelopatija uzrokovana toksičnom eksudacijom korijena ide u prilog agresivnosti i perzistentnosti pajasena na određenom području (Heisey, 1990a). Isti autor dokazao je da herbicidni učinak ovisi o dozi, tj. kod primjene najviše istraživane količine ailantona klijanje sjemena je bilo trajno i znatno smanjeno, dok je kod nižih doza bilo odgođeno i umjereno (Heisey, 1990b). Heisey (1997) ponovno istražuje učinak vodene otopine kore korijena pajasena na klijanje sjemena koštana, kukuruza i sjetvene grbice te dokazuje da obje istraživane koncentracije (1 g kore u 5000 i 500 ml) statistički značajno reduciraju rast korijena klice kod sve tri test-biljne vrste. Heisey i Heisey (2003) ponovno istražuju alelopatski učinak

vodene otopine pajasena, ovog puta, na 17 test-biljnih vrsta kod primjene pet različitih doza koje su ekvivalent učinku od 4,5; 2,2; 1,1; 0,6 i 0,3 kg ailantona/hektar te dokazuju 50 % herbicidni učinak koji se očituje u vidu oštećenja na devet od 17 istraživanih test-biljnih vrsta (korovne i kultivirane vrste) i to već kod najniže koncentracije od 0,3 kg ailantona/ha. U drugom dijelu pokusa istražili su učinak vodenih ekstrakata kore pajasena u količini koja je ekvivalent učinku od 1,1; 0,6; 0,3 i 0,14 kg ailantona/ha u poljskom pokusu. Dokazali su da vodeni ekstrakti kore pajasena imaju djelomičan herbicidni učinak kada su aplicirani nakon nicanja (*post-em* aplikacija). Heisey i Heisey (2003) postavili su prvi poljski pokus uopće kojim se istražila razina aktivnosti i selektivnosti vodenih ekstrakata pajasena na 17 korovnih i kultiviranih vrsta i dokazali jak herbicidni učinak na 15 od 17 istraživanih vrsta.

Sladonja i sur. (2014) istražuju učinak vodene otopine listova pajasena na klijanje sjemena lucerne. Dokazali su da različite koncentracije (nerazrijeđene, 80-postotna i 60-postotna) vodene otopine listova pajasena jako utječu na dinamiku klijanja. Broj izniklih biljaka smanjivao se od kontrole prema koncentraciji od 100 %. Njihovi rezultati u skladu su s rezultatima dobivenim iz studije koju su proveli Tsao i sur. (2002) i isto tako dokazali da ekstrakti lista pajasena imaju snažan učinak na rast lucerne.

Gómez-Aparicio i Canham (2008) dokazali su da alelokemikalije pajasena djeluju inhibirajuće na klijanje, rast i preživljavanje nativnih drvenastih vrsta, te da je alelopatsko djelovanje proporcionalno gustoći biljaka pajasena jer se djelovanje jedne biljke pajasena proteže u radijusu od pet metara dok razvojni stadij pajasena ne utječe na djelovanje. De Feo i sur. (2003) su iz vodenih ekstrakata korijena pajasena izolirali više aktivnih sastojaka, od kojih izdvajaju ailanton kao najaktivniji spoj i navode mogućnost njegova korištenja kao alternativnog herbicida. Saxena (2002) navodi da je ailanton supstancija koja pripada skupini kvazinoida, koncentriran je u korijenu i kori, polaran je te se lako premješta. Isto tako potvrđuje herbicidno djelovanje na vrste šćir (*Amaranthus thunbergii* L.), sjetvenu grbicu, europski mračnjak, vrste roda *Setaria* i kukuruz. Dokazao je da su širokolisne korovne vrste osjetljivije na ailanton od uskolisnih te da ga biljka može usvojiti prije i nakon nicanja. Također navodi da bi upravo ovaj spoj u budućnosti mogao zamijeniti u svijetu najpoznatiji herbicid glifosat.

Pedersini i sur. (2011.) odredili su količinu čistog ailantona ovisno o načinu ekstrakcije. Odredili su herbicidnu aktivnost ekstrakata kore pajasena koji su bili ekvivalent 1, 2, 3, 4 i 5 mg/L ailantona na klijanje i nicanje korovnih vrsta oštrodлакavi šćir, bijelu lobodu i crvenu vlasulju (*Festuca rubra* L.). Uz pomoć HPLC i NMR analize odredili su da frakcija diklormetana sadrži 92 % w/w ailantona. Statistički značajnu herbicidnu aktivnost dokazali su kod primjene prije nicanja za većinu primijenjenih ekstrakata te je ona bila u izravnoj

korelaciji s koncentracijom ailantona. Isti autori odredili su značajnu herbicidnu aktivnost različitih koncentracija vodene otopine ailantona (10, 15 i 30 mg/L) na crvenu vlasulju kod primjene nakon nicanja. Ti rezultati pokazuju da kora pajasena predstavlja zanimljiv izvor alelokemikalija koji se mogu upotrijebiti za proizvodnju prirodnih herbicida te uporabu u poljoprivredi. Novak i Novak (2018) određuju koncentraciju ailantona od 0,48 mg/ml u vodenoj otopini korijena pajasena te dokazuju alelopatski učinak šest različitih koncentracija vodene otopine korijena pajasena i vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost i početni porast koštana. Također su dokazali da vodena otopina korijena pajasena ima značajniji inhibitorski učinak na sva istraživana svojstva u usporedbi s izoliranim ailantom. Isti autori su dokazali da je alelopatski učinak ovisan o količini ailantona te su odredili srednju učinkovitu koncentraciju (EC_{50}) od 0,0075 mg/ml ailantona za vodenu otopinu korijena pajasena kod učinka na duljinu korijena klice jer je reducirao duljinu korijena klice.

Iako je većina autora dokazala totalno djelovanje vodenih ekstrakata pajasena tj. ailantona uspoređujući ga s glifosatom Pisula i Meiners (2010) dokazuju visok stupanj tolerantnosti kod šilja (*Cyperus esculentus*) i klijanaca pajasena (Heisey, 1996). Heisey i Heisey (2003) dokazuju da su šilj i pamuk također tolerantni.

Iz pregleda literature vidljiva je dostupnost radova o alelopatskom potencijalu pajasena s inhibirajućim učincima svih biljnih dijelova, a posebice korijena, na većinu jednogodišnjih i višegodišnjih biljnih vrsta. Dokazan je i inhibirajući učinak na klijanje i početni rast širokolisnih i uskolisnih korovnih vrsta. Ipak, u dostupnoj literaturi nisu pronađeni podaci o usporedbi alelopatskog učinka između čistog ailantona i vodene otopine korijena pajasena.

3. MATERIJALI I METODE RADA

Istraživanje alelopatskog potencijala pajasena provedeno je u laboratoriju Hrvatske agencije za poljoprivredu i hranu - Centra za zaštitu bilja.

Za istraživanje je uzet samo korijen s mladih izdanaka pajasena (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle). Lokacija sakupljenog materijala bila je uže područje grada Zagreba (pokraj Veterinarskog fakulteta). Izdanci su bili u relativno gustom sklopu (35 - 65 m²). Korijen (slika 8) je uzet s 10 mladih izdanaka krajem proljeća (13. lipnja 2015.) prije cvatnje pajasena. Visina izdanaka (slika 7) iznosila je 0,75 - 1,5 m.

Alelopatski učinak korijena pajasena istraživan je na tri test-biljne vrste (akceptorima): muharu (*Setaria pumila* (Poir.) Schult.), oštrodlakavom šćiru (*Amaranthus retroflexus* L.) i kukuruзу (*Zea mays* L.). Odabir test-biljnih vrsta temeljen je na preliminarnim istraživanjima.



Slika 7. Izdanci s kojih su uzeti korijeni za istraživanje (Izvor: Maja Novak)



Slika 8. Korijeni izdanaka korišteni za istraživanje (Izvor: Maja Novak)

Načini prikupljanja biljnog materijala, pripreve i primjene vodenih ekstrakta na test-biljne vrste, kao i metode za određivanje alelopatskog učinka, provedeni su prema prilagođenoj metodi Takács i sur. (2004), Kazinczi i sur. (2004). Vrijeme prikupljanja mladih izdanaka pajasena je prema Heisey (1990b).

3.1 Preliminarna istraživanja

Preliminarnim istraživanjima dokazana je klijavost oštrodlakavog šćir, bijele lobode (*Chenopodium album* L.), europskog mračnjaka (*Abutilon theophrasti* Medic.), pelinolisnog limundžika (*Ambrosia artemisiifolia* L.), muhara, koštana (*Echinochloa crus-galli* L.), pšenice (*Triticum aestivum* L.) i kukuruza. Za potrebe preliminarnog istraživanja u

Petrijeve zdjelice promjera 100 mm i visine 20 mm (za korovne test-biljne vrste i pšenicu) te Petrijeve zdjelice promjera 150 mm i visine 25 mm (za kukuruz zbog krupnijeg sjemena) postavljen je filter papir. U manje zdjelice je dodano 4 ml destilirane vode, a u veće 8 ml. Nakon toga u Petrijeve zdjelice je postavljeno po 25 sjemenki pojedine test-biljne vrste u četiri ponavljanja. Dakle, ukupno 32 Petrijeve zdjelice za određivanje klijavosti test-biljnih vrsta. Poklopljene Petrijeve zdjelice sa sjemenom zatvorene su u plastične vrećice radi sprječavanja gubitka vlage i stavljene su u tamu pri temperaturi 25 - 27 °C i relativnoj vlazi zraka 70 %.

Postotak klijavosti određen je nakon pet dana za oštrodlakavi šćir te je iznosio 92 %, nakon 10 dana za bijelu lobodu 17 %, europski mračnjak 35 % i pelinolisni limundžik 33 %, dok je nakon sedam dana za muhara bio 97 %, a za koštan 2 %. Kod kukuruza klijavost je određena sedam dana nakon postavljanja pokusa, u isto vrijeme kao i za pšenicu, te je iznosila 97 % što je za 8 % više od pšenice gdje je bila 89 %. Na temelju provedenog preliminarnog istraživanja i literaturnih podataka o osjetljivosti istraživanih biljnih vrsta (Heisey i Heisey, 2003; Pedersini i sur., 2011) dokazano je da oštrodlakavi šćir i muhar s klijavošću od 92 % i 94 % imaju najbolju klijavost između istraživanih korovnih vrsta.

3.2 Priprema materijala za istraživanje

Svježa masa korijena pajasena usitnjena je i potopljena u vodu u omjeru 1:4 (250 g korijena u litri vode). Suspenzija je macerirana u staklenoj boci 24 sata na sobnoj temperaturi nakon čega je filtrirana na vakuum-filtru.

Filtrirana otopina podijeljena je u dva dijela. U prvom dijelu vodene otopine korijena pajasena odredivan je sadržaj ailantona koji je iznosio 0,48 mg/ml otopine. Iz drugog dijela vodene otopine korijena pajasena vršena je ekstrakcija s ciljem izoliranja čistog ailantona.

Izolacija ailantona obavljena je diklormetanom (DCM) u lijevku za odijeljivanje po metodi Pedersini i sur. (2011). Ekstrahiranje je ponavljano četiri puta, a nakon odvajanja organske od vodene faze uzorak je dodatno pročišćen natrijevim sulfatom u formi anhidrida. Nakon toga u rotauparivaču je uparen na 50 °C do suhog ostatka (GENEVAC EZ-2-PLUS HCI COMPATIBLE, Fisher Scientific, SAD). Suhi ostatak otopljen je u 1 ml acetonitrila te analiziran primjenom visokorazdjelne tekućinske kromatografije detektora u vidljivom i ultraljubičastom dijelu zračenja (HPLC-DAD, Agilent, SAD). Potvrda identiteta i kvantifikacija ailantona iz uzorka određena je linearnom regresijom na temelju kalibracijske krivulje otopine standarda ailantona (čistoća > 98 %). Uzorak je određen

metodom standardnog dodatka ailantona. Tip kolone bio je ZORBAX ECLIPSE C18 ili PHENOMENEX C18, izokratna mobilna faza (50 % metanol, 50 % voda) uz protok 0,8 ml/min, volumen injektiranja od 10 µl, na valnoj duljini 240 nm i temperaturi 25 °C.

Prije primjene vodene otopine korijena (iz prvog dijela suspenzije) i izoliranog ailantona (iz drugog dijela suspenzije) priređeno je šest razrjeđenja (1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 2/3 pune doze i puna doza) koja su ekvivalent koncentracijama ailantona od 0,03; 0,06; 0,12; 0,24; 0,32 i 0,48 mg/ml kod obje vodene otopine.

3.3 Uzgoj test-biljnih vrsta i primjena istraživanih ekstrakata

Vodena otopina izoliranog ailantona i vodena otopina korijena pajasena u navedenim koncentracijama primijenjene su na test-biljne vrste (muhar, oštrodлакavi šćir i kukuruz) na dva načina:

- prije nicanja test-biljnih vrsta (*pre-emergence*) i
- nakon nicanja test-biljnih vrsta (*post-emergence*).

Filtar papir je postavljen prije nicanja test-biljnih vrsta u Petrijeve zdjelice promjera 100 mm i visine 20 mm (za muhar i oštrodлакavi šćir) i Petrijeve zdjelice promjera 150 mm i visine 25 mm (za kukuruz). U manje Petrijeve zdjelice dodano je 4 ml vodenih otopina izoliranog ailantona i korijena pajasena, a u veće 8 ml vodenih otopina izoliranog ailantona i korijena pajasena s navedenim koncentracijama ailantona. Nakon toga u Petrijeve zdjelice je postavljeno po 25 sjemenki pojedine test-biljne vrste. Kontrolne (netretirane) varijante vlažene su istom količinom destilirane vode. Sva su tretiranja provedena u četiri ponavljanja. Dakle, ukupno je analizirano 28 Petrijevih zdjelica u svrhu istraživanja alelopatskog učinka vodene otopine korijena pajasena i 28 Petrijevih zdjelica u svrhu istraživanja alelopatskog učinka vodene otopine izoliranog ailantona.

Poklopljene Petrijeve zdjelice sa sjemenom zatvorene su u plastične vrećice radi sprječavanja gubitka vlage i stavljene su u tamu pri temperaturi 25 - 27 °C i relativnoj vlazi zraka 70 %.

Za obavljanje tretiranja nakon nicanja test-biljnih vrsta biljke su uzgajane u kontejnerima od stiropora (promjer rupe 33 mm). Kao supstrat za uzgoj korišten je supstrat Potground P proizvođača Klasman-Deilmann GmbH. Svojstva supstrata prikazana su u tablici 1.

Tablica 1. Svojstva supstrata Potground P

Svojstva	Mješavina visokokvalitetnog crnog promrznutog treseta
Električna provodljivost	40 mS/m (*/- 25 %)
pH vrijednost (u H ₂ O)	5,5 – 6,5
Ukupna količina gnojiva (NPK 14:10:18)	1,5 kg/m ³

Za svako tretiranje uzgojeno je po 10 biljaka pojedine test-biljne vrste u tri ponavljanja. Supstrat s biljkama zalijevan je po potrebi do prirodnog poljskog kapaciteta za vodu.

Nakon sjetve test-biljnih vrsta kontejneri su stavljeni u klima komoru u kontroliranim uvjetima prikazanim u tablici 2.

Tablica 2. Uvjeti za razvoj biljaka u klima-komori

Uvjeti	Dan	Noć
Svjetlo	15 sati	9 sati
Temperatura	25 °C	15 °C
Relativna vlaga zraka	70 %	70 %

Kad su test-biljne vrste muhar i kukuruz bile u stadiju razvoja 3 lista (BBCH 13), a oštrodlakavi šćir 2 - 4 lista (BBCH 12 - 14) provedena je folijarna aplikacija s 15 ml vodenih ekstrakata (izolirani ailanton i korijen pajasena) u istim koncentracijama ailantona kao i na sjeme. Kontrolna varijanta tretirana je s 15 ml destilirane vode. Aplikacija je obavljena mini aplikatorom (TLC/HPTLC Sprayer, VWR International, Austria).

Oba pokusa (*pre-emergece* i *post-emergence*) su postavljena po shemi slučajnog bloknog rasporeda.

3.4 Metode za dokazivanje alelopatskog učinka na test-biljne vrste

Dokazivanje alelopatskog učinka vodenih otopina izoliranog ailantona i korijena pajasena kod primjene istraživanih koncentracija na sjeme obavljeno je, nakon pet dana na šćiru, šest dana na muharu i nakon sedam dana na kukuruzu, zbog razlike u brzini klijanja.

Istraživana svojstva u ovom roku primjene bila su:

- klijavost sjemenki,
- duljina korijena klice i
- duljina izdanka klice.

Dokazivanje alelopatskog učinka vodenih otopina izoliranog ailantona i korijena pajasena kod primjene istraživanih koncentracija na list test-biljnih vrsta obavljeno je nakon 14 dana za sve istraživane test-biljne vrste.

U ovom roku primjene istraživano svojstvo bilo je određivanje svježe mase nadzemnog dijela biljaka istraživanih test-biljnih vrsta.

3.5 Statistička obrada podataka

Analizom varijance testirane su razlike u učinku između različitih koncentracija vodenih otopina izoliranog ailantona i vodenih otopina korijena pajasena na klijavost, duljinu korijena klice, duljinu izdanka klice te na svježu masu nadzemnog dijela biljaka test-biljnih vrsta. U slučaju signifikantnog F-testa prosječne vrijednosti uspoređivane su Tukeyovim HSD testom za usporedbu prosječnih vrijednosti.

Pearsonovim korelacijskim koeficijentom testirana je povezanost koncentracija ailantona istraživanih vodenih otopina s intenzitetom alelopatskog učinka test-biljnih vrsta za sva istraživana svojstva.

Studentovim t - testom za zavisne uzorke (metoda parova) uspoređena je razlika između prosječnih vrijednosti učinaka vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena za klijavost, duljinu korijena klice, duljinu izdanka klice te svježu masu nadzemnog dijela biljaka istraživanih test-biljnih vrsta. Sve istraživane koncentracije vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena uzete su u obzir.

Krivulje učinaka istraživanih koncentracija i EC_{50} vrijednosti dobivene su za istraživana svojstva u kojima je dokazano djelovanje istraživanih koncentracija. Krivulja je generirana pomoću logističke regresije klijavosti, rasta korijena klice i vrijednosti rasta izdanka klice.

Za statističku analizu podataka korišten je Softver Xlstat® 2014 i Statistika 10.0 (Stat.Soft, Inc., USA).

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati istraživanja prikazani su odvojeno za prvi dio istraživanja u kojem je istraživana alelopatski učinak korijena pajasena primjenom na sjeme test-biljnih vrsta i odvojeno za drugi dio u kojem je istraživana alelopatski učinak korijena pajasena primjenom na list test-biljnih vrsta.

4.1 Rezultati istraživanja alelopatskog učinka korijena pajasena kod primjene na sjeme test-biljnih vrsta

4.1.1 Alelopatski učinak vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na klijavost muhara

U tablicama 3 i 4 prikazane su vrijednosti određivanih svojstava kojima je mjeren alelopatski učinak na klijavost, razvoj korijena i izdanka klice muhara. U istim tablicama također su prikazani Pearsonovi koeficijenti korelacije kojima je određivana povezanost istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na istraživana svojstva kod izloženosti vodenoj otopini izoliranog ailantona i vodenoj otopini korijena pajasena.

Tablica 3. Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost muhara

Vodena otopina izoliranog ailantona						
Koncentracija ailantona, mg/ml	Klijavost	Odstupanje klijavosti od kontrole (%)	Duljina korijena kllice (mm)	Odstupanje korijena od kontrole (%)	Duljina izdanka kllice (mm)	Odstupanje izdanka od kontrole (%)
0,48	2a	-97,2	0a	-100	2a	-90,9
0,32	7ab	-91,2	0a	-100	9a	-58
0,24	18b	-78	0a	-100	2,7a	-87,6
0,12	39c	-52,8	0a	-100	1,08ab	-95,2
0,06	55d	-33,6	0,1a	-99,1	3,03b	-86,06
0,03	83e	0	0,62a	-96,6	7,61c	-64,53
Kontrola	83e	/	20,33b	/	21,34d	/
Koeficijent korelacije ¹	-0,593*	/	-0,380*	/	-0,504*	/

Vrijednosti u kolonama koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ označene su različitim slovima (Tukey's test).

¹ Vrijednosti između istraživanih koncentracija i učinaka istraživanih svojstava (Pearsonov koeficijent korelacije), $n = 699$. * značajno na razini $p < 0,05$.

Tablica 4. Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena na klijavost muhara

Vodena otopina korijena pajasena						
Koncentracija ailantona, mg/ml	Klijavost	Odstupanje klijavosti od kontrole (%)	Duljina korijena kllice (mm)	Odstupanje korijena od kontrole (%)	Duljina izdanka kllice (mm)	Odstupanje izdanka od kontrole (%)
0,48	0a	-100	0a	-100	0a	-100
0,32	1a	-98,4	0a	-100	0,01a	-99,8
0,24	7a	-91,2	0a	-100	0,1a	-99,4
0,12	47b	-43,2	0a	-100	1,02ab	-95
0,06	68c	-18,1	0,13a	-98,9	3,27bc	-84,6
0,03	77cd	-7,2	0,5a	-97,2	5,11c	-75,9
Kontrola	83d	/	20,33b	/	21,34d	/
Koeficijent korelacije ¹	-0,653*	/	-0,379*	/	-0,481*	/

Vrijednosti u kolonama koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ označene su različitim slovima (Tukey's test).

¹ Vrijednosti između istraživanih koncentracija i učinaka istraživanih svojstava (Pearsonov koeficijent korelacije), $n = 699$. * značajno na razini $p < 0,05$.

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona sve istraživane koncentracije su statistički značajno smanjile **klijavost** u usporedbi s kontrolom osim najniže istraživane koncentracije (0,03 mg/ml ailantona) gdje je klijavost muhara bila jednaka klijavosti na kontroli. Smanjenje klijavosti kod vodene otopine izoliranog ailantona u usporedbi s kontrolom bilo je od 33,6 % (0,06 mg/ml) do 97,2 % kod najveće primijenjene koncentracije (0,48 mg/ml) ailantona (slika 9). Visoka inhibicija klijavosti dokazana je kod dvije najviše koncentracije primijenjenog ailantona (0,32 i 0,48 mg/ml). Nije dokazana statistički značajna razlika u smanjenju klijavosti između koncentracija od 0,48 i 0,32 mg/ml ailantona kao ni između 0,32 i 0,24 mg/ml ailantona (tablica 3).

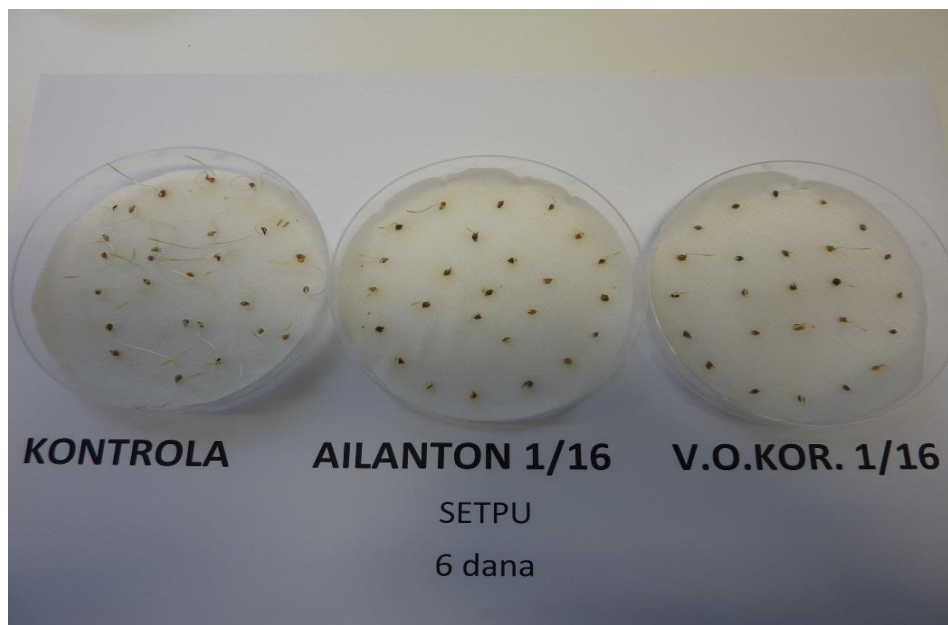


Slika 9. Inhibitorni učinak 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na klijavost muhara šest dana nakon primjene

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena klijavost je smanjena kao i kod tretiranja s vodenom otopinom izoliranog ailantona. Kod najniže primijenjene koncentracije od 0,03 mg/ml ailantona smanjenje nije bilo statistički značajno, iako je klijavost za 7,2 % bila manja nego na kontrolnoj varijanti. Statistički značajno smanjenje klijavosti bilo je od 18,1 % (kod 0,06 mg/ml ailantona) do 100 % (kod 0,48 mg/ml ailantona). Visoka inhibicija klijavosti dokazana je kod tri najviše istraživane koncentracije primijenjenog ailantona (0,24; 0,32 i 0,48 mg/ml), ali razlika u djelovanju na klijanje između ove tri koncentracije nije bila statistički značajna (tablica 4).

Alelopatski učinak na smanjenje **duljine korijena klice**, neovisno o izvoru (vodena otopina izoliranog ailantona, vodena otopina korijena pajasena), bio je vrlo izražen (tablice 3 i 4). Kod svih istraživanih koncentracija, i kod vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena, dokazano je statistički značajno smanjenje duljine korijena klice muhara u usporedbi s kontrolnom varijantom. Na pokusima s obje vodene otopine nije utvrđena statistički značajna razlika u djelovanju između istraživanih koncentracija ailantona. Smanjenje duljine korijena klice na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona bilo je od 96,6 % (0,03 mg/ml ailantona) do 100 % kod najveće istraživane koncentracije ailantona od 0,48 mg/ml (tablica 3). Slično djelovanje na smanjenje duljine korijena klice dokazano je i kod koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena (tablica 4). Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena smanjenje duljine korijena klice bilo je od 97,2 % kod 0,03 mg/ml ailantona do 100 % kod 0,48 mg/ml ailantona.

Kod dokazivanja alelopatskog učinka na **duljinu izdanka klice**, također su sve istraživane koncentracije ailantona neovisno o izvoru (vodena otopina ailantona i vodena otopina korijena pajasena) statistički značajno smanjile duljinu izdanka klice muhara u usporedbi s kontrolom (tablice 3 i 4). U istraživanju s vodenom otopinom izoliranog ailantona inhibicija razvoja izdanka klice bila je od 64,35 % (slika 10) kod najmanje primijenjene koncentracije ailantona (0,03 mg/ml) do 90,9 % kod najveće koncentracije (0,48 mg/ml ailantona). Inhibitorno djelovanje od 86,06 % kod koncentracije ailantona od 0,06 mg/ml i od 95,2 % kod koncentracije 0,12 mg/ml ailantona statistički se nije značajno razlikovalo. Također nije dokazana statistički značajna razlika u djelovanju između četiri najviše istraživane koncentracije ailantona (tablica 3). Najveće smanjenje izdanka klice dokazano je kod koncentracije od 0,32 mg/ml ailantona koja je bila druga najveća istraživana koncentracija. U istraživanju s vodenom otopinom korijena pajasena dokazano je statistički značajno smanjenje duljine izdanka klice kod svih istraživanih koncentracija ailantona i bilo je od 75,9 % (0,03 mg/ml ailantona) do 100 % kod najveće istraživane koncentracije ailantona (tablica 4). Statistički značajne razlike u smanjenju duljine izdanka klice između istraživanih koncentracija dokazane su kod koncentracije 0,03 mg/ml i četiri najviše koncentracije ailantona (0,12; 0,24; 0,32 i 0,48 mg/ml).



Slika 10. Inhibitorni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na duljinu izdanka klice muhara šest dana nakon primjene

Pearsonovim koeficijentom korelacije (tablice 3 i 4) dokazana je statistički značajna povezanost između alelopatskog učinka i istraživanih koncentracija ailantona iz obje vodene otopine za sva istraživana svojstva. Smanjenjem koncentracije ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena dokazano je i statistički značajno smanjenje alelopatskog učinka na klijavost, duljinu korijena klice i duljinu izdanka klice (tablice 3 i 4). Statistički značajna povezanost koncentracije ailantona s alelopatskim učinkom dokazana je za klijavost kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena ($r = -0,653$), s time da je kod izloženosti vodenoj otopini izoliranog ailantona bila nešto niža ali još uvijek značajna ($r = -0,593$). Nešto niža nego kod svojstva klijavosti, ali statistički značajna povezanost dokazana je kod duljine izdanka klice kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona ($r = -0,504$). Lagana povezanost koncentracije ailantona i alelopatskog učinka s korelacijskim koeficijentom od $-0,380$ kod izloženosti izoliranom ailantonu i $-0,379$ kod izloženosti korijenu pajasena dokazana je za duljinu korijena klice. Za razliku od alelopatskog učinka na klijavost, kod određivanja alelopatskog učinka na duljinu korijena klice i duljinu izdanka klice dokazana je nešto jača povezanost s koncentracijama ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona.

4.1.2 Alelopatski učinak vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na klijavost oštrodлакavog šćira

U tablicama 5 i 6 prikazane su vrijednosti određivanih svojstava kojima je mjeran alelopatski učinak na klijavost, razvoj korijena i izdanka klice oštrodлакavog šćira. U istim tablicama također su prikazani Pearsonovi koeficijenti korelacije kojima je određena povezanost istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na istraživana svojstva kod izloženosti vodenoj otopini izoliranog ailantona i vodenoj otopini korijena pajasena.

Tablica 5. Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost oštrodлакavog šćira

Koncentracija ailantona, mg/ml	Klijavost	Vodena otopina izoliranog ailantona		
		Odstupanje klijavosti od kontrole (%)	Duljina korijena klice (mm)	Odstupanje korijena od kontrole (%)
0,48	0a	-100	0a	-100
0,32	38b	-47,95	0,62a	-94,32
0,24	48b	-34,25	1,06a	-90,3
0,12	76c	+4,11	2,5b	-77,14
0,06	76c	+4,11	2,8b	-74,4
0,03	72c	-1,37	3,08b	-71,84
Kontrola	73c	/	10,94c	/
Koeficijent korelacije ¹	-0,508*	/	-0,501*	/

Vrijednosti u kolonama koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ označene su različitim slovima (Tukey's test).

¹ Vrijednosti između istraživanih koncentracija i učinaka istraživanih svojstava (Pearsonov koeficijent korelacije), $n = 699$. * značajno na razini $p < 0,05$.

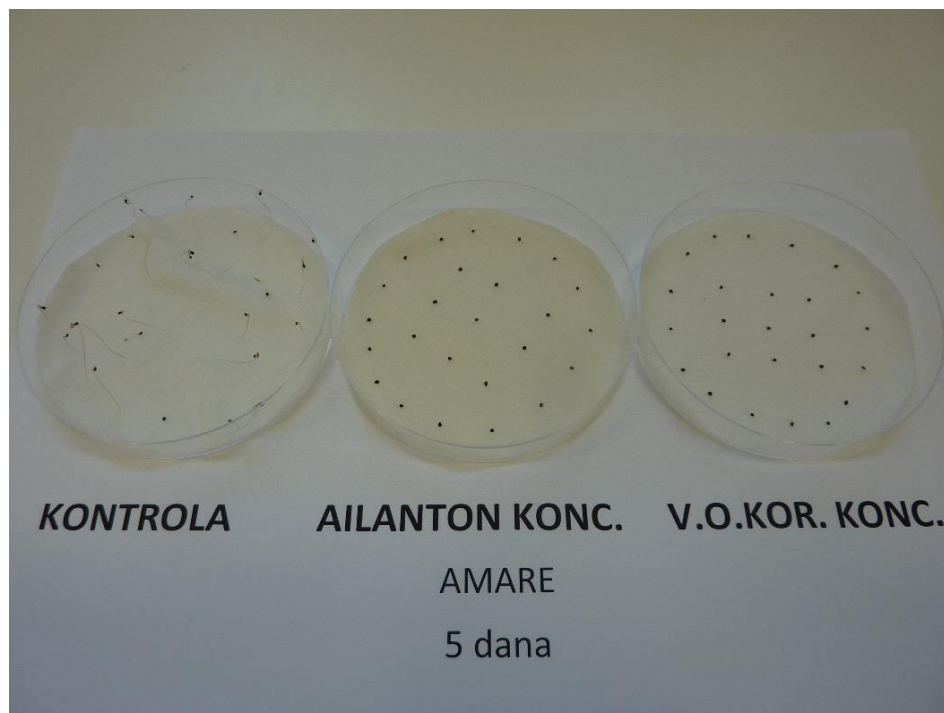
Tablica 6. Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena na klijavost oštrodakavog šćira

Koncentracija ailantona, mg/ml	Vodena otopina korijena pajasena			
	Klijavost	Odstupanje klijavosti od kontrole (%)	Duljina korijena klice (mm)	Odstupanje korijena od kontrole (%)
0,48	0a	-100	0a	-100
0,32	4a	-94,53	0,10a	-99,07
0,24	10a	-86,31	0,118a	-98,91
0,12	56b	-23,29	1,80b	-83,54
0,06	68bc	-6,85	1,76b	-83,90
0,03	74c	+1,37	2,72b	-75,13
Kontrola	73c	/	10,94c	/
Koeficijent korelacije ¹	-0,601*	/	-0,468*	/

Vrijednosti u kolonama koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ označene su različitim slovima (Tukey's test).

¹ Vrijednosti između istraživanih koncentracija i učinaka istraživanih svojstava (Pearsonov koeficijent korelacije), $n = 699$. * značajno na razini $p < 0,05$.

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona samo tri najviše istraživane koncentracije ailantona (0,24; 0,32 i 0,48 mg/ml) statistički su značajno smanjile **klijavost** (tablice 5 i 6). Statistički značajno smanjenje klijavosti oštrodakavog šćira u usporedbi s kontrolnom varijantom bilo je od 34,25 % (0,24 mg/ml ailantona) do 100 % kod najveće primijenjene koncentracije od 0,48 mg/ml ailantona (slika 11). Između koncentracija 0,32 i 0,24 mg/ml ailantona nije dokazana statistički značajna razlika u djelovanju na klijavost oštrodakavog šćira, ali se djelovanje istih koncentracija ailantona statistički značajno razlikovalo u usporedbi s najvišom koncentracijom od 0,48 mg/ml ailantona. Između koncentracija ailantona od 0,24 i 0,48 mg/ml dokazana je razlika u smanjenju klijavosti od 65,8 %. Između tri najniže istraživane koncentracije ailantona (0,12; 0,06 i 0,03 mg/ml) međusobno i kontrole, nije dokazana statistički značajna razlika u djelovanju na klijavost. Kod koncentracija od 0,06 i 0,12 mg/ml ailantona dokazano je jednako povećanje klijavosti od 4,11 % u usporedbi s kontrolom, ali ono nije bilo statistički značajno stoga se ne može govoriti o stimulaciji.

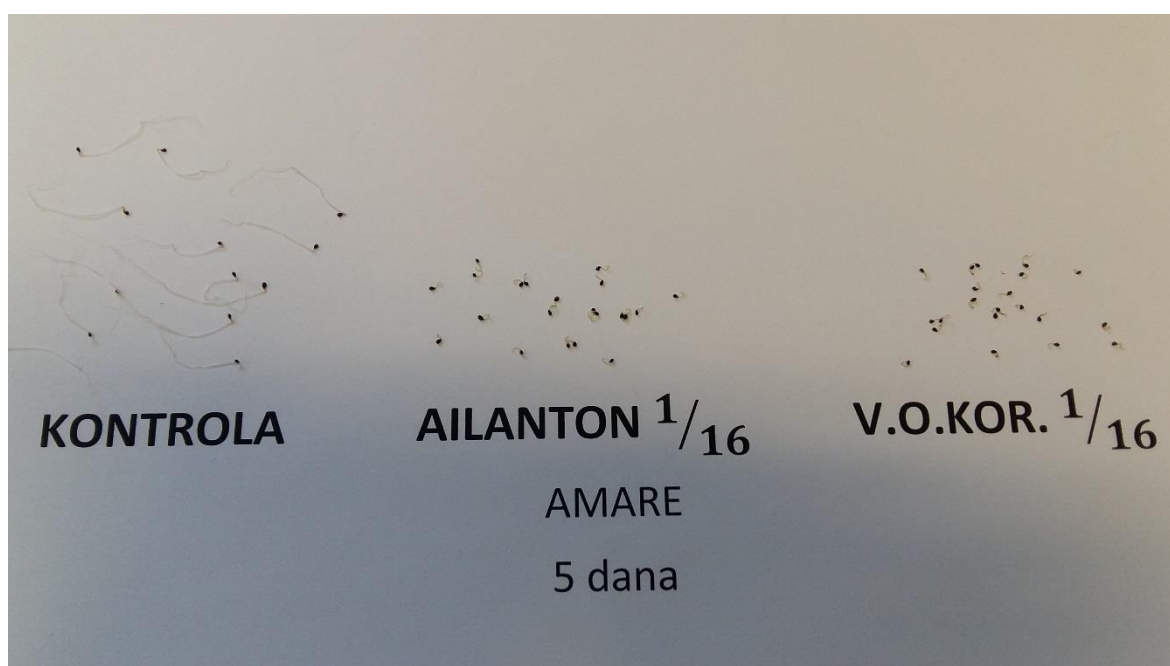


Slika 11. Inhibitorni učinak 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na klijavost oštrodлакavog šćira pet dana nakon primjene

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena statistički značajna inhibicija klijavosti dokazana je kod četiri najviše koncentracije i bila je od 23,29 % kod koncentracije 0,12 mg/ml ailantona do 100 % kod najviše istraživane koncentracije ailantona (0,48 mg/ml) (tablica 6). Kod tri najviše istraživane koncentracije primijenjenog ailantona od 0,48; 0,32 i 0,24 mg/ml dokazana je visoka redukcija klijavosti, te nije bilo statistički značajne razlike u smanjenju broja klijavih sjemenki oštrodлакavog šćira između te tri koncentracije ailantona. Između dvije najniže primijenjene koncentracije ailantona djelovanje na klijavost nije se statistički značajno razlikovalo u usporedbi s klijavošću kontrolne varijante. Kod najniže koncentracije od 0,03 mg/ml ailantona dokazano je povećanje klijavosti ali ono nije bilo statistički značajno.

Kod dokazivanja alelopatskog učinka na **duljinu korijena klice**, neovisno o izvoru (izolirani ailanton, vodena otopina korijena pajasena), inhibicija duljine korijena klice bila je statistički značajno izražena kod svih istraživanih koncentracija ailantona (tablice 5 i 6). Smanjenje duljine korijena klice kod vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena bilo je od 71,84 % i 75,13 % kod 0,03 mg/ml ailantona (slika 12) do 100 % i 100 % kod koncentracije ailantona od 0,48 mg/ml. U pokusu s obje vodene otopine nije dokazana statistički značajna razlika u djelovanju između tri najviše koncentracije ailantona (0,24; 0,32 i 0,48 mg/ml). Također na pokusu s obje istraživane vodene otopine

(izolirani ailanton i vodena otopina korijena pajasena) nije dokazana statistički značajna razlika u djelovanju na duljinu korijena klice niti kod tri najniže istraživane koncentracije ailantona (0,03; 0,06 i 0,12 mg/ml). Međutim, djelovanje na duljinu korijena klice kod tri najviše koncentracije ailantona se statistički značajno razlikovalo u usporedbi s tri najniže i to kod primjene obje vodene otopine.



Slika 12. Inhibitorni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na duljinu korijena klice oštrodilakavog škira pet dana nakon primjene

Na pokusu s obje vodene otopine (izolirani ailanton i kompleks alelokemikalija) dokazano je 100-postotno smanjenje **duljine izdanka klice** u usporedbi s kontrolom kod svih istraživanih koncentracija ailantona.

Pearsonovim koeficijentom korelacije dokazana je statistički značajna povezanost između istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka kod obje istraživane vodene otopine za sva istraživana svojstva. Smanjenjem koncentracije ailantona, kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona i korijena pajasena, dokazano je statistički značajno smanjenje alelopatskog učinka na klijavost i duljinu korijena klice (tablice 5 i 6). Najznačajnija povezanost ($p < 0,05$) koncentracija ailantona s alelopatskim učinkom dokazana je za klijavost kada je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena ($r = -0,601$). Slična povezanost koncentracija ailantona, ali nešto niža od prethodno opisane, dokazana je kod klijavosti i duljine korijena klice oštrodilakavog škira

kada je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona. Najniže izražena povezanost istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka s korelacijskim koeficijentom od -0,468, ali još uvijek statistički značajna, dokazana je kod izloženosti vodenoj otopini korijena pajasena za duljinu korijena klice.

4.1.3 Alelopatski učinak vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na klijavost kukuruza

U tablicama 7 i 8 prikazane su vrijednosti određivanih svojstava kojima je mjeren alelopatski učinak na klijavost, razvoj korijena i izdanka klice kukuruza. U istim tablicama također su prikazani Pearsonovi koeficijenti korelacije kojima je određivana povezanost istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinaka na istraživana svojstva kod izloženosti vodenoj otopini ailantona i vodenoj otopini korijena pajasena.

Tablica 7. Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost kukuruza

Koncentracije ailantona, mg/ml	Vodena otopina izoliranog ailantona					
	Klijavost	Odstupanje klijavosti od kontrole (%)	Duljina korijen a klice (mm)	Odstupanje korijena od kontrole (%)	Duljina izdanka klice (mm)	Odstupanje izdanka od kontrole (%)
0,48	92ab	-4,16	5,28a	-77,96	6,62abc	+26,58
0,32	98b	+2,08	6,24a	-73,96	6,52abc	+24,66
0,24	96ab	0	6,50a	-72,88	6,12ab	+17,02
0,12	92ab	-4,16	7,02a	-70,72	7,12bc	+36,14
0,06	98b	+2,08	7,38a	-69,22	7,58c	+44,93
0,03	88a	-8,32	9,96b	-58,49	7,72c	+47,6
Kontrola	96ab	/	24,02c	/	5,23a	/
Koeficijent korelacije ¹	0,009	/	-0,450*	/	-0,026	/

Vrijednosti u kolonama koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ označene su različitim slovima (Tukey's test).

¹ Vrijednosti između istraživanih koncentracija i učinaka istraživanih svojstava (Pearsonov koeficijent korelacije), $n = 699$. * značajno na razini $p < 0,05$.

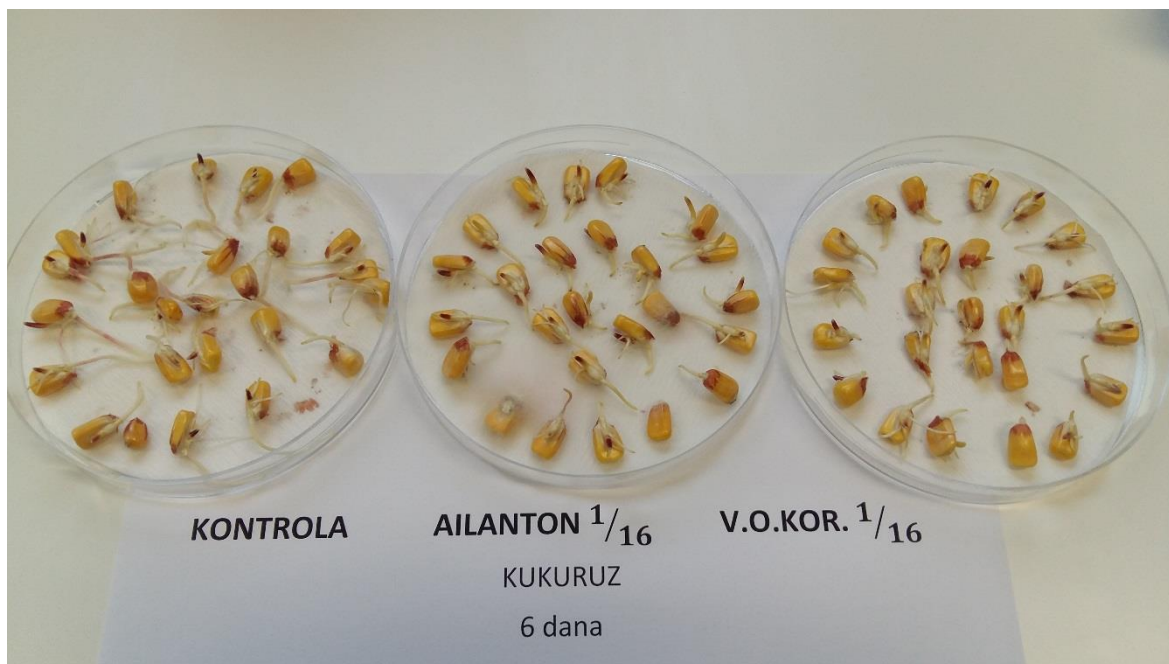
Tablica 8. Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena na klijavost kukuruza

Koncentracije ailantona, mg/ml	Vodena otopina korijena pajasena					
	Klijavost	Odstupanje klijavosti od kontrole (%)	Duljina korijena klice (mm)	Odstupanje korijena od kontrole (%)	Duljina izdanka klice (mm)	Odstupanje izdanka od kontrole (%)
0,48	100a	+4,16	6,96abc	-70,97	4,7a	-10,13
0,32	96a	0	6,02a	-74,88	5,72abc	+9,37
0,24	96a	0	6,48ab	-72,97	6,72cd	-28,48
0,12	96a	0	8,2abc	-65,81	6,3bcd	+20,46
0,06	98a	+2,08	8,52bc	-64,48	6,16bcd	+17,78
0,03	97a	+1,04	8,81c	-63,27	6,94d	+32,69
Kontrola	96a	/	24,02d	/	5,23ab	/
Koeficijent korelacije ¹	0,026	/	-0,408*	/	-0,131*	/

Vrijednosti u kolonama koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ označene su različitim slovima (Tukey's test).

¹ Vrijednosti između istraživanih koncentracija i učinaka istraživanih svojstava (Pearsonov koeficijent korelacije), $n = 699$. * značajno na razini $p < 0,05$.

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona (tablica 7) nijedna istraživana koncentracija ailantona nije imala statistički značajno djelovanje na **klijavost** kukuruza u usporedbi s kontrolom. Međutim, dokazana je statistički značajna razlika između istraživanih koncentracija ailantona. Kod koncentracije ailantona od 0,03 mg/ml (slika 13) dokazano je smanjenje klijavosti sjemenki kukuruza od 8,32 % koje se statistički značajno razlikovalo u usporedbi s koncentracijama od 0,06 i 0,32 mg/ml ailantona kod kojih je dokazano povećanje od 2,08 % kod obje koncentracije ($p > 0,05$). Kod koncentracija 0,12 i 0,48 mg/ml ailantona također je dokazano jednako djelovanje od 4,16 % na klijavost kukuruza. Kod koncentracije od 0,24 mg/ml ailantona broj proklijalih sjemenki bio je jednak kontrolnoj varijanti.



Slika 13. Alelopatski učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na klijavost kukuruza šest dana nakon primjene

Za razliku od pokusa s vodenom otopinom izoliranog ailantona, na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena kod nijedne istraživane koncentracije ailantona nije dokazano smanjenje klijavosti kukuruza u usporedbi s kontrolnom varijantom. Kod koncentracija od 0,12; 0,24 i 0,32 mg/ml ailantona dokazano je jednako djelovanje na klijavost kukuruza kao i na kontrolnoj varijanti. Kod preostalih istraživanih koncentracija (0,03; 0,06 i 0,48 mg/ml ailantona) dokazano je povećanje klijavosti kukuruza od 1,04 %, 2,08 % i 4,16 % u usporedbi s kontrolom, ali povećanje nije bilo statistički značajno. Najveće povećanje klijavosti od 4,16 % dokazano je kod izloženosti najvišoj istraživanoj koncentraciji od 0,48 mg/ml ailantona ($p > 0,05$).

Na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona dokazana je inhibicija **duljine korijena klice** koja se statistički značajno razlikovala u usporedbi s kontrolnom varijantom kod svih istraživanih koncentracija ailantona. Smanjenje duljine korijena klice bilo je od 58,49 % (0,03 mg/ml ailantona) do 77,96 % kod 0,48 mg/ml ailantona. Kod viših istraživanih koncentracija ailantona dokazana je i statistički značajnija redukcija korijena klice ali nije bilo statistički značajne razlike u djelovanju između različitih koncentracija ($p > 0,05$). Statistički značajna razlika u djelovanju dokazana je samo kod najniže istraživane koncentracije od 0,03 mg/ml ailantona u usporedbi s preostalim istraživanim koncentracijama. Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena također je dokazano statistički značajno smanjenje duljine korijena klice kod svih

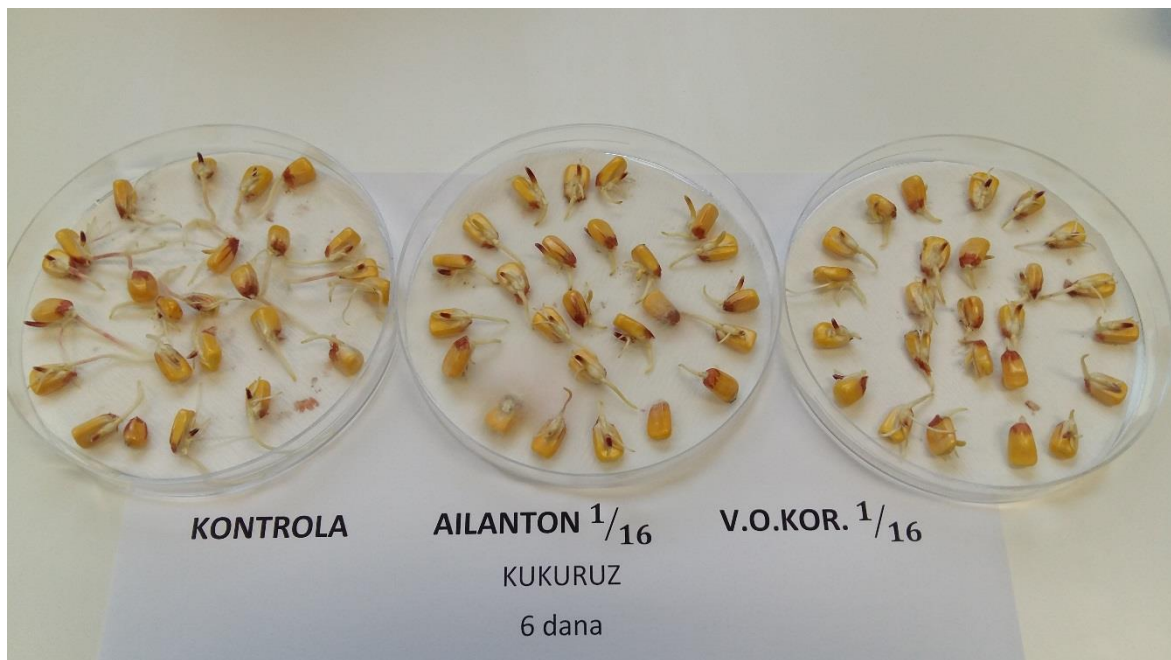
istraživanih koncentracija ailantona u usporedbi s kontrolnom varijantom. Smanjenje duljine korijena klice bilo je od 63,27 % kod koncentracije od 0,03 mg/ml ailantona kod koje je dokazano najmanje smanjenje od 74,88 % kod koncentracije od 0,32 mg/ml ailantona kod koje je dokazano najveće inhibitorno djelovanje (slika 14). Kod najviše istraživane koncentracije ailantona od 0,48 mg/ml dokazana je inhibicija od 70,97 % i nije se statistički značajno razlikovala u usporedbi s ostalim istraživanim koncentracijama ailantona. Statistički značajna razlika u djelovanju istraživanih koncentracija dokazana je između koncentracija 0,32 mg/ml ailantona i dvije najniže istraživane koncentracije (0,03 i 0,06 mg/ml ailantona).



Slika 14. Inhibitorni učinak 0,32 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na duljinu korijena klice kukuruza šest dana nakon primjene

Kod svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona dokazano je pozitivno djelovanje na **duljinu izdanka klice** tj. dokazan je porast izdanka klice kukuruza. Porast izdanka klice kukuruza bio je od 47,6 % ($p < 0,05$) kod najniže koncentracije ailantona (0,03 mg/ml) (slika 15) do 26,58 % ($p > 0,05$) kod najviše koncentracije ailantona (0,48 mg/ml). Samo kod tri najniže istraživane koncentracije ailantona od 0,03; 0,06 i 0,12 mg/ml dokazano je statistički značajno povećanje od 47,60 %, 44,93 % i 36,14 % u usporedbi s kontrolnom varijantom tj. stimulacija ($p < 0,05$). Najveće povećanje duljine izdanka klice kukuruza od 47,6 % dokazano je kod najniže

istraživane koncentracije od 0,03 mg/ml ailantona. Statistički značajna razlika u djelovanju istraživanih koncentracija dokazana je između koncentracija 0,24 mg/ml ailantona i dvije najniže istraživane koncentracije (0,03 i 0,06 mg/ml ailantona).



Slika 15. Stimulativni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na duljinu izdanka klice kukuruza šest dana nakon primjene

Na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena nije dokazana statistički značajna razlika u djelovanju na duljinu izdanka klice kod koncentracija ailantona od 0,06; 0,12; 0,32 i 0,48 mg/ml. Međutim, statistički značajna inhibicija duljine izdanka klice od 28,48 % i statistički značajna stimulacija od 32,69 % u usporedbi s kontrolnom varijantom dokazana je kod koncentracija od 0,24 i 0,03 mg/ml ailantona. Dokazana je statistički značajna razlika u duljini izdanka klice između najviše istraživane koncentracije ailantona (0,48 mg/ml) i koncentracija od 0,24; 0,12; 0,06 i 0,03 mg/ml ailantona ($p < 0,05$). Najveća redukcija izdanka klice od 28,48 % ($p > 0,05$) dokazana je kod koncentracije od 0,24 mg/ml ailantona. Osim kod 0,24 mg/ml ailantona smanjenje izdanka klice kukuruza od 10,13 % dokazano je i kod najveće istraživane koncentracije od 0,48 mg/ml ailantona ($p > 0,05$). Porast duljine izdanka klice dokazan je i kod 0,32 mg/ml ailantona od 9,37 %, 0,12 mg/ml ailantona od 20,46 % i kod koncentracije od 0,06 od 17,78 % ali nije bio statistički značajan.

Pearsonovim koeficijentom korelacije (tablice 7 i 8) dokazana je pozitivna povezanost između istraživanih koncentracija ailantona i učinka na klijavost od svega 0,009 na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona i 0,026 na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena, ali nije bila statistički značajna. Određene vrijednosti upućuju na to da je povezanost između koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na klijavost kod tretiranja s obje istraživane vodene otopine neznatna, ali da je zabilježeno povećanje klijavosti. Istraživanjem je dokazano da je povezanost između istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na duljinu izdanka klice kod izloženosti obje istraživane vodene otopine neznatna ali da je na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena statistički značajna za razliku od povezanosti na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona. Statistički najznačajnija povezanost istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka ($r = -0,450$ i $r = -0,408$) dokazana je za duljinu korijena klice kad je tretiranje obavljeno s obje vodene otopine.

4.1.4 Razlika u alelopatskom učinku prosječnih vrijednosti istraživanih koncentracija između vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena

U tablici 9 odvojeno su prikazane razlike u prosječnom djelovanju svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena za test-biljne vrste i određivana svojstva.

Tablica 9. Usporedni prikaz razlika u prosječnom djelovanju između istraživanih vodenih otopina

Test-biljna vrsta	Prosječno djelovanje koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona/Prosječno djelovanje koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena		
	Klijavost	Duljina korijena klice	Duljina izdanka klice
Muhar (<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Schult.)	-58,8 % / -59,7 % ($p = 0,571$)	-99,3 % / -99,4 % ($p = 0,470$)	-80,4 % / -92,5 % ($p = 0,000$)
Oštrodlakavi šćir (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	-29,14 % / -51,6 % ($p = 0,000$)	-84,7 % / -90,1 % ($p = 0,000$)	-100 % / -100 % ($p = \text{n.p.}$)
Kukuruz (<i>Zea mays</i> L.)	-2,08 % / +1,2 % ($p = 0,003$)	-70,4 % / -68,7 % ($p = 0,040$)	+32,8 % / +6,04 % ($p = 0,000$)

Vrijednosti koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ su podebljane (Studentov t - test za zavisne uzorke (metoda parova)).
n.p. - nije primjenjivo

Studentovim t - testom za zavisne uzorke (metoda parova) uspoređene su razlike u prosječnom djelovanju svih šest istraživanih koncentracija ailantona na istraživana svojstva pojedine test-biljne vrste između vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena. Iz usporednog prikaza prosječnih vrijednosti (tablica 9) razvidno je da se jačina djelovanja između vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena (kompleksa alelokemikalija) razlikuje ovisno o istraživanom svojstvu na pojedinu test-biljnu vrstu.

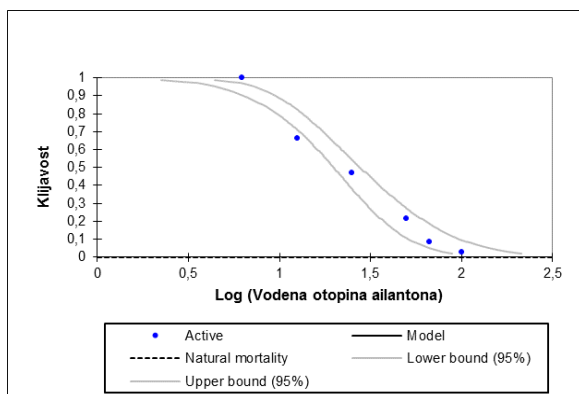
Kod određivanja razlike u djelovanju između istraživanih vodenih otopina na test-biljnoj vrsti **muhar**, dokazana je statistički značajna razlika od 12,1 % između istraživanih vodenih otopina samo kod djelovanja na duljinu izdanka klice, a djelovanje je bilo isključivo inhibitorno. Kod djelovanja na klijavost i duljinu korijena klice muhara nije utvrđena statistički značajna razlika između vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena, a djelovanje na oba istraživana svojstva bilo je također inhibitorno. Iz prikazanih vrijednosti prosječnog djelovanja vidljivo je da je vodena otopina korijena pajasena imala jači alelopatski učinak na smanjenje duljine izdanka klice.

Dokazana je statistički značajna razlika od 22,46 % kod djelovanja na klijavost i 5,4 % kod djelovanja na duljinu korijena klice **oštrodlakavog šćira** između vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena. Nije utvrđena statistički značajna razlika u djelovanju na duljinu izdanka klice između istraživanih vodenih otopina, jer je kod obje istraživane vodene otopine djelovanje bilo 100-postotno i isključivo inhibitorno. Kod oštrodlakavog šćira dokazan je jači alelopatski učinak na klijavost i duljinu korijena klice kad je tretiranje obavljeno vodenom otopinom korijena pajasena.

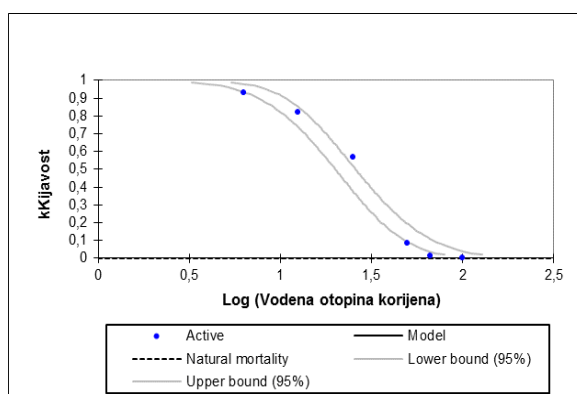
Kod test-biljne vrste **kukuruz** dokazana je statistički značajna razlika između prosječnog djelovanja vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena za sva tri istraživana svojstva. Kod djelovanja na klijavost dokazana je prosječna razlika u učinkovitosti između istraživanih vodenih otopina od 0,88 %, na duljinu korijena klice od 1,7 % i na duljinu izdanka klice od 22,73 %. Kod kukuruza je vodena otopina izoliranog ailantona imala statistički značajniji alelopatski učinak na sva tri istraživana svojstva (klijavost, duljina korijena i izdanka klice). Na klijavost i duljinu izdanka klice kukuruza prosječna vrijednost djelovanja istraživanih koncentracija iz obje vodene otopine je bila pozitivna, jedino kod djelovanja na duljinu korijena klice je bila negativna.

4.1.5 Koncentracije ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena koje su izazvale učinak od 50 % (EC₅₀)

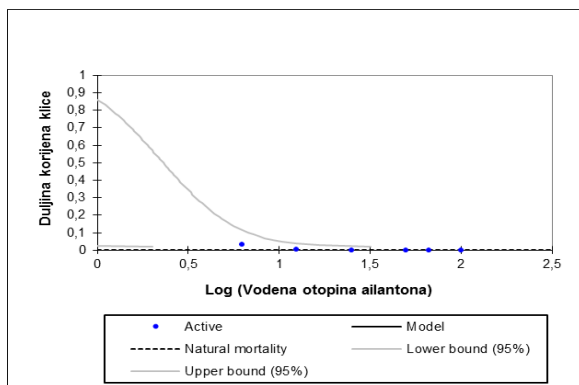
Za sva istraživana svojstva (klijavost, duljina korijena klice i duljina izdanka klice) kod kojih je dokazano djelovanje istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena napravljena je krivulja učinka istraživanih koncentracija (grafikoni 1 – 10). Određene su i koncentracije istraživanih vodenih otopina koje su imale alelopatski učinak od 50 % na test-biljne vrste (EC₅₀). U tablici 10 prikazane su EC₅₀ vrijednosti pojedinačno za test-biljne vrste muhar i oštrodлакavi šćir te su izražene u obliku koncentracija ailantona (mg/ml), a ekvivalent su istraživanim koncentracijama vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena.



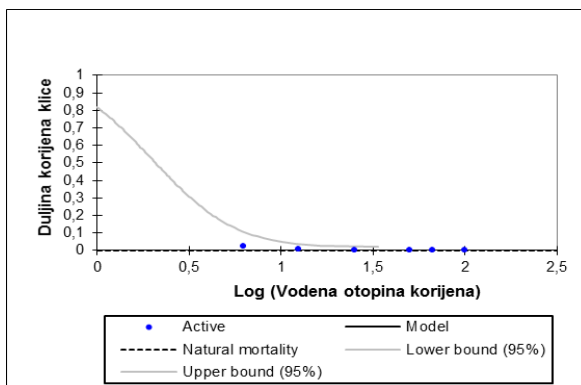
Grafikon 1. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost muhara



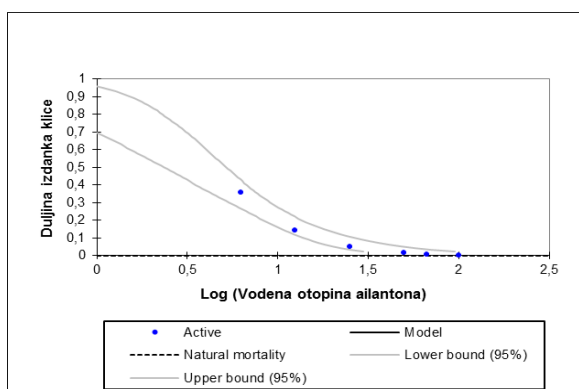
Grafikon 2. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na klijavost muhara



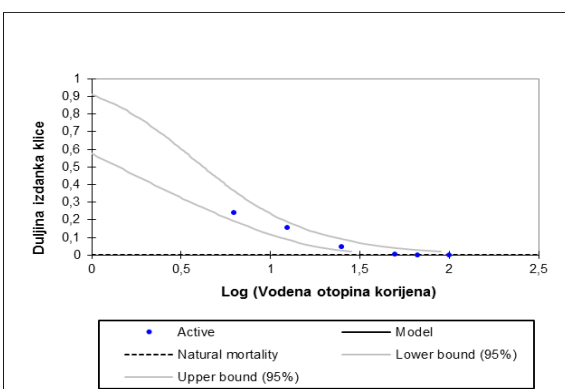
Grafikon 3. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na duljinu korijena klice muhara



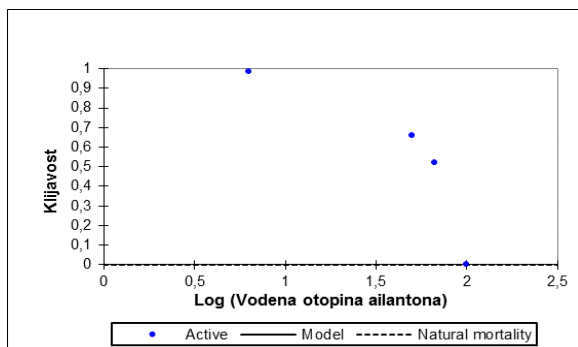
Grafikon 4. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na duljinu korijena klice muhara



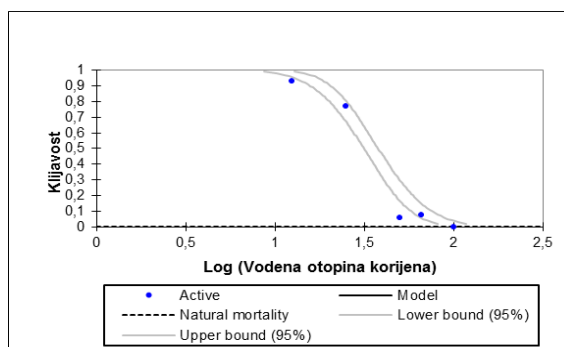
Grafikon 5. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na duljinu izdanka klice muhara



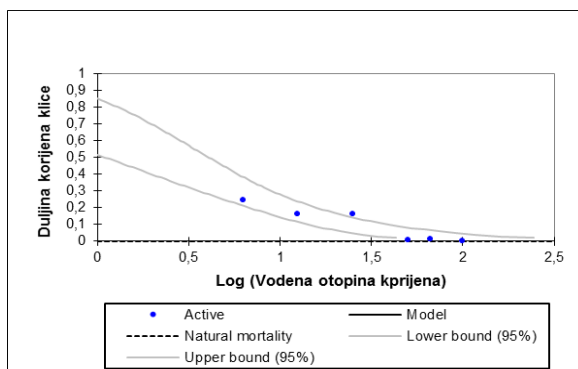
Grafikon 6. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na duljinu izdanka klice muhara



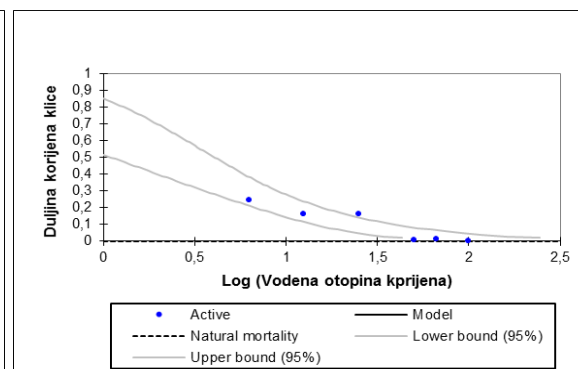
Grafikon 7. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na klijavost oštrodlakavog ščira



Grafikon 8. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na klijavost oštrodlakavog ščira



Grafikon 9. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine izoliranog ailantona na duljinu korijena klice oštrodlakavog ščira



Grafikon 10. Krivulja učinka istraživanih koncentracija vodene otopine korijena na duljinu korijena klice oštrodlakavog ščira

Tablica 10. Koncentracije ailantona (mg/ml) iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena koje su imale alelopatski učinak od 50 % na istraživana svojstva (EC_{50})

Test-biljna vrsta	Vodena otopina izoliranog ailantona			Vodena otopina korijena pajasena		
	Klijavost	Duljina korijena klice	Duljina izdanka klice	Klijavost	Duljina korijena klice	Duljina izdanka klice
Muhar (<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Schult.)	11,10	0,26	1,839	10,89	0,183	1,334
Oštrodлакavi šćir (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	30,75	1,349	n.p.	16,56	1,188	n.p.

n.p. - nije primjenjivo

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena određena je najniža koncentracija od 0,381 (grafikon 4) koja je za 50 % inhibirala duljinu korijena klice test-biljne vrste muhara, a ekvivalent je količini ailantona od 0,183 mg/ml (tablica 10). Određena EC_{50} vrijednost kod muhara za otprilike 1,5 puta je niža od EC_{50} vrijednosti vodene otopine izoliranog ailantona koja iznosi 0,543 (grafikon 3) kod djelovanja na isto istraživano svojstvo, a ekvivalentan je koncentraciji ailantona od 0,26 mg/ml (tablica 10). Iz određenih EC_{50} vrijednosti za sva istraživana svojstva kod muhara razvidno je da su istraživane koncentracije ailantona iz obje vodene otopine imale najjači alelopatski učinak na duljinu korijena klice. Kod djelovanja na duljinu izdanka klice muhara određena je EC_{50} vrijednost od 1,334 mg/ml ailantona (tablica 10) kad je tretiranje obavljeno vodenom otopinom korijena pajasena što je ekvivalent koncentraciji od 2,780 (grafikon 6). Za razliku od pokusa s vodenom otopinom korijena pajasena, na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona određena EC_{50} vrijednost za duljinu izdanka klice bila je 1,839 mg/ml ailantona (tablica 10), a ekvivalent je koncentraciji od 3,831 (grafikon 5). Na pokusima s obje istraživane vodene otopine određena EC_{50} vrijednost za klijavost muhara bila je znatno veća od prethodno opisanih EC_{50} vrijednosti za duljinu korijena i izdanka klice. Na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena određena EC_{50} vrijednost za klijavost muhara bila je 10,89 mg/ml ailantona što je ekvivalent koncentraciji od 22,705 (grafikon 2), a kod izloženosti vodenoj otopini izoliranog ailantona 11,10 mg/ml ailantona što je ekvivalent koncentraciji od 23,128 (grafikon 1). Određene EC_{50} vrijednosti za klijavost muhara bile su za 60,65 puta veće na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena

odnosno za 59,50 puta veće na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona u usporedbi s najniže određenom EC_{50} vrijednosti za duljinu korijena klice muhara.

Kao i kod muhara, i kod oštrodлакavog šćira određena je najniža EC_{50} vrijednost na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena od 1,188 mg/ml ailantona na duljinu korijena klice (tablica 10) što je ekvivalent koncentraciji vodene otopine korijena pajasena od 2,476 (grafikon 10). Određena EC_{50} vrijednost je za 0,88 puta niža od koncentracije 2,811 (grafikon 9) kod koje je dokazano djelovanje od 50 % za isto istraživano svojstvo kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona, a ekvivalent je koncentraciji ailantona od 1,349 mg/ml (tablica 10). Iz određenih EC_{50} vrijednosti razvidno je da su obje istraživane vodene otopine imale slično djelovanje na duljinu korijena klice oštrodлакavog šćira, iako je na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena alelopatski učinak bio nešto jači. Iz prikazanih EC_{50} vrijednosti za klijavost oštrodлакavog šćira od 16,56 mg/ml ailantona na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena i 30,75 mg/ml ailantona na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona razvidno je da je djelovanje na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena gotovo dvostruko jače. Određene EC_{50} vrijednosti za klijavost ekvivalent su koncentracijama vodene otopine korijena od 34,503 (grafikon 8) i vodene otopine izoliranog ailantona od 64,045 (grafikon 7).

Iz prikazanih EC_{50} vrijednosti, na pokusu s muharom i oštrodлакavim šćirom, vidi se da je vodena otopina korijena pajasena imala jači alelopatski učinak u usporedbi s vodenom otopinom izoliranog ailanton, tj. da su za postizanje alelopatskog učinka od 50 % na istraživana svojstva bile potrebne puno manje koncentracije ailantona na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena nego na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona.

Na test-biljnoj vrsti kukuruz nisu određene srednje učinkovite koncentracije (EC_{50}) niti za jedno istraživano svojstvo zbog slabog učinka istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena.

4.2 Rezultati istraživanja alelopatskog učinka korijena pajasena kod primjene na list test-biljnih vrsta

U tablicama 11 i 12 prikazane su vrijednosti određivanog svojstva kojim je mjeran alelopatski učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na masu nadzemnog dijela test-biljnih vrsta. U istim tablicama također su prikazani Pearsonovi koeficijenti korelacije kojima je određivana povezanost istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na istraživano svojstvo kod izloženosti vodenoj otopini ailantona i vodenoj otopini korijena pajasena.

Tablica 11. Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona na masu nadzemnog dijela test-biljnih vrsta

Koncentracija ailantona, mg/ml	Muhar (<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Schult.)		Oštrodalakavi šćira (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)		Kukuruz (<i>Zea mays</i> L.)	
	Masa nadzemn- og dijela 10 biljaka (g)	Odstupa- nje mase od kontrole (%)	Masa nadzemn- og dijela 10 biljaka (g)	Odstupa- nje mase od kontrole (%)	Masa nadzemn- og dijela 10 biljaka (g)	Odstupa- nje mase od kontrole (%)
0,48	11,023 bc	-27,3	0,243 a	-97,26	25,450 c	+9,9
0,32	12,697 bcd	-16,28	0,970 ab	-88,99	21,360 abc	-7,73
0,24	9,670 ab	-36,23	1,727 ab	-80,38	19,477 abc	-15,84
0,12	12,477 bcd	-17,73	2,100 b	-76,13	22,203 abc	-4,09
0,06	13,460 cd	-11,25	5,197 c	-40,89	16,947 ab	-26,75
0,03	6,600 a	-56,46	7,043 d	-19,88	14,153 a	-38,79
Kontrola	15,167 d	/	8,790 d	/	23,153 bc	/
Koeficijent korelacije ¹	-0,095	/	-0,859*	/	0,472*	/

Vrijednosti u kolonama koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ označene su različitim slovima (Tukey's test).

¹ Vrijednosti između istraživanih koncentracija i učinaka istraživanih svojstava (Pearsonov koeficijent korelacije), $n = 20$.

*značajno na razini $p < 0,05$.

Tablica 12. Učinak istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena na masu nadzemnog dijela test-biljnih vrsta

Koncentracija ailantona, mg/ml	Muhar (<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Schult.)		Oštrodлакavi šćira (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)		Kukuruz (<i>Zea mays</i> L.)	
	Masa nadzemn- og dijela 10 biljaka (g)	Odstupa- nje mase od kontrole (%)	Masa nadzemn- og dijela 10 biljaka (g)	Odstupa- nje mase od kontrole (%)	Masa nadzemn- og dijela 10 biljaka (g)	Odstupa- nje mase od kontrole (%)
0,48	13,500 ab	-10,98	0,490 a	-94,45	20,337 cd	-12,13
0,32	12,373 ab	-18,41	0,513 a	-94,19	16,273 ab	-29,65
0,24	10,657 a	-29,72	0,790 a	-91,04	16,303 ab	-29,52
0,12	12,650 ab	-16,58	0,943 a	-89,29	13,797 a	-40,32
0,06	15,147 b	-0,13	2,877 b	-67,28	18,270 bc	-21,05
0,03	13,133 ab	-13,4	3,843 b	-56,29	14,330 a	-38,03
Kontrola	15,167 b	/	8,790 c	/	23,153 d	/
Koeficijent korelacije ¹	-0,364	/	-0,691*	/	0,052	/

Vrijednosti u kolonama koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ označene su različitim slovima (Tukey's test).

¹ Vrijednosti između istraživanih koncentracija i učinaka istraživanih svojstava (Pearsonov koeficijent korelacije), $n = 20$.

*značajno na razini $p < 0,05$.

Alelopatski učinak svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na masu nadzemnog dijela **muhara** bio je inhibitoran. Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona statistički značajno smanjenje mase nadzemnog dijela muhara dokazano je kod koncentracija ailantona od 0,03 mg/ml (56,46 %) (slika 16), 0,24 mg/ml (36,23 %) i 0,48 mg/ml (27,3 %). Najniža istraživana koncentracija ailantona iskazala je statistički najznačajnije smanjenje nadzemne mase. Preostale tri istraživane koncentracije ailantona, kod kojih nije dokazano statistički značajno djelovanje u usporedbi s kontrolnom varijantom, nisu se ni statistički značajno razlikovale međusobno. Za razliku od pokusa s vodenom otopinom izoliranog ailantona, na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena djelovanje na nadzemnu masu muhara statistički se značajno razlikovalo od kontrole jedino kod koncentracije od 0,24 mg/ml ailantona (tablica 11). Kod iste koncentracije dokazano je smanjenje mase nadzemnog dijela muhara od 29,72 %. Statistički značajna razlika u djelovanju između koncentracija od 0,13 % i 29,7 % dokazana je samo kod dvije istraživane koncentracije od 0,06 mg/ml i 0,24 mg/ml ailantona.

Nije dokazana statistički značajna povezanost između istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na masu nadzemnog dijela muhara kad je tretiranje obavljeno s obje

istraživane vodene otopine (tablice 11 i 12). Na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona dokazana je neznatna povezanost s koeficijentom korelacije od -0,095 između koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na nadzemnu masu muhara. Za razliku od pokusa s vodenom otopinom izoliranog ailantona, na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena utvrđena je lagana povezanost između istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na masu nadzemnog dijela muhara s koeficijentom korelacije od -0,364.

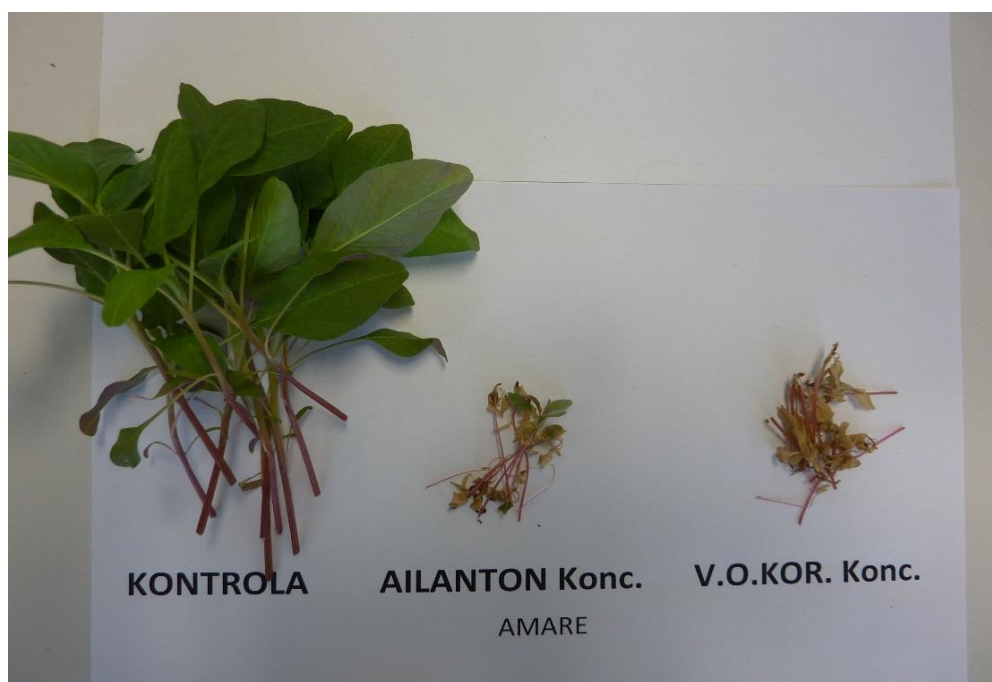


Slika 16. Inhibitorni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela muhara

Alelopatski učinak svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na masu nadzemnog dijela **oštrodlakavog šćira** bio je inhibitoran.

Sve istraživane koncentracije ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona, osim najmanje (0,03 mg/ml), statistički su značajno smanjile nadzemnu masu oštrodlakavog šćira (tablica 11). Smanjenje nadzemne mase bilo je od 40,89 % kod koncentracije od 0,06 mg/ml ailantona do 97,26 % kod koncentracije od 0,48 mg/ml ailantona (slika 17) i bilo je statistički značajno u usporedbi s kontrolnom varijantom. Kod četiri najveće

istraživane koncentracije ailantona dokazano je izrazito veliko smanjenje mase nadzemnog dijela muhara. Djelovanje između tri najviše koncentracije ailantona nije se statistički značajno razlikovao ($p > 0,05$). Statistički značajna razlika u djelovanju istraživanih koncentracija ailantona dokazana je između koncentracija 0,48 mg/ml, 0,12 mg/ml i 0,06 mg/ml ailantona.



Slika 17. Inhibitorni učinak 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela oštrodлакavog šćira

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena djelovanje na masu nadzemnog dijela biljke muhara je bilo slično kao i na prethodno opisanom pokusu s izoliranim ailantom. Jedina razlika u djelovanju istraživanih otopina je bila ta da je na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena (tablica 12) dokazano statistički značajno smanjenje mase nadzemnog dijela oštrodлакavog šćira kod svih istraživanih koncentracija. Smanjenje mase bilo je od 56,29 % kod koncentracije 0,03 mg/ml ailantona (slika 18) do 94,45 % kod koncentracije 0,48 mg/ml ailantona (slika 17). Nije utvrđena statistički značajna razlika u djelovanju između četiri najveće istraživane koncentracije, niti između dvije najmanje.



Slika 18. Inhibitorni učinak 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela oštrodлакavog šćira

Dokazana je izrazito visoka statistički značajna povezanost između istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na masu nadzemnog dijela oštrodлакavog šćira kad je tretiranje obavljeno s obje istraživane vodene otopine (tablice 11 i 12). Dokazano je da porastom koncentracije ailantona kod obje istraživane vodene otopine (izolirani ailanton i kompleks alelokemikalija) se povećava i redukcija nadzemne mase oštrodлакavog šćira. Dokazana je vrlo visoka povezanost s koeficijentom korelacije od -0,859 između alelopatskog učinka i koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona. Na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena također je dokazana visoka povezanost alelopatskog učinka i istraživanih koncentracija ailantona ($p < 0,05$).

Alelopatski učinak svih istraživani koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena, osim kod najveće istraživane koncentracije od 0,48 mg/ml iz vodene otopine izoliranog ailantona, bio je inhibitoran na masu nadzemnog dijela **kukuruza**. Na pokusu s vodenom otopinom izoliranog ailantona statistički značajno smanjenje nadzemne mase kukuruza od 38,79 % dokazano je samo kod najniže istraživane koncentracije ailantona (0,03 mg/ml). Alelopatski učinak koji je dokazan kod koncentracije od 0,03 mg/ml statistički se značajno razlikovao i u usporedbi s najvišom istraživanom koncentracijom od 0,48 mg/ml ailantona. Kod najviše istraživane

koncentracije ailantona (0,48 mg/ml) dokazano je povećanje nadzemne mase kukuruza od 9,9 %, ali nije bilo statistički značajno (slika 19).

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena sve istraživane koncentracije ailantona, osim najviše (0,48 mg/ml) statistički su značajno smanjile masu nadzemnog dijela kukuruza. Statistički najznačajnije smanjenje mase nadzemnog dijela kukuruza dokazano je kod koncentracije od 0,12 mg/ml ailantona i bilo je za 40,32 % veće u odnosu na kontrolu (slika 20). Najmanje smanjenje nadzemne mase kukuruza od 12,13 % dokazano je kod najviše istraživane koncentracije ailantona od 0,48 mg/ml i nije bilo statistički značajno u usporedbi s kontrolom (slika 19).



Slika 19. Učinak 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela kukuruza



Slika 20. Inhibitorni učinak 0,12 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena na masu nadzemnog dijela kukuruza

Dokazana je statistički značajna povezanost između istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i alelopatskog učinka na masu nadzemnog dijela kukuruza s koeficijentom korelacije od 0,472 (tablica 11). Na pokusu s vodenom otopinom korijena pajasena povezanost koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na nadzemnu masu kukuruza nije bila statistički značajna ($r = 0,052$).

4.2.1 Razlika u alelopatskom učinku prosječnih vrijednosti vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena

U tablici 13 odvojeno su prikazane razlike u prosječnom djelovanju svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena za test-biljne vrste i određivana svojstva.

Tablica 13. Usporedni prikaz razlike u prosječnom djelovanju između istraživanih vodenih otopina

Test-biljna vrsta	Prosječno djelovanje koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona/Prosječno djelovanje koncentracija ailantona iz vodene otopine korijena pajasena
	Masa nadzemnog dijela biljke
Muhar (<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Schult.)	-27,54 % / -14,87 % (p = 0,003)
Oštrodlakavi šćir (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	-67,25 % / -82,09 % (p = 0,002)
Kukuruz (<i>Zea mays</i> L.)	-13,88 % / -28,48 % (p = 0,003)

Vrijednosti koje se međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,05$ su podebljane (Studentov t - test za zavisne uzorke (metoda parova)).

Studentovim t - testom za zavisne uzorke (metoda parova) uspoređene su razlike u prosječnom djelovanju svih šest istraživanih koncentracija ailantona na istraživano svojstvo pojedine test-biljne vrste između vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena. Iz usporednog prikaza prosječnih vrijednosti (tablica 13) razvidno je da se jačina djelovanja između vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena (kompleksa alelokemikalija) razlikuje ovisno o test-biljnoj vrsti.

Kod sve tri test-biljne vrste dokazana je statistički značajna razlika u djelovanju na nadzemnu masu biljaka između prosječnih vrijednosti koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena. Kad je tretiranje obavljeno vodenom otopinom korijena pajasena dokazano je statistički značajno jače djelovanje na nadzemnu masu oštrodlakavog šćira od 14,84 % i na nadzemnu masu kukuruza od 14,6 % u usporedbi s vodenom otopinom izoliranog ailantona. Za razliku od oštrodlakavog šćira i kukuruza, kod muhara je statistički značajnije djelovanje dokazano kod vodene otopine izoliranog ailantona. Alelopatski učinak vodene otopine izoliranog ailantona bio je za 12,61 % jači u usporedbi s alelopatskim učinkom vodene otopine korijena pajasena.

5. RASPRAVA

Provedenim istraživanjem je dokazano da vodeni ekstrakti korijena pajasena imaju alelopatski učinak na istraživane test-biljne vrste muhar, oštrodлакavi šćir i kukuruz kada je tretiranje obavljeno na sjeme (*pre-em* primjena) i list (*post-em* primjena). Ti rezultati su u skladu s istraživanjima mnogih autora (Heisey, 1990a; Heisey, 1997; Csiszár, 2009; Csiszár i sur., 2013). Da je pajasen biljna vrsta s izrazito jakim alelopatskim potencijalom dokazali su i Pisula i Meiners (2010) koji navode da od 10 različitih drvenastih i zeljastih biljnih vrsta istraživanih u svrhu alelopatskog potencijala, upravo je vodena otopina listova pajasena iskazala najjači alelopatski učinak. Slično je dokazao i Novak (2017) koji navodi da od osam istraženih invazivnih biljnih vrsta pajasen ima najjači alelopatski potencijal na kultivirane test-biljne vrste.

U skladu s dokazanim inhibitornim djelovanjem istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena za većinu istraživanih svojstava na test-biljnim vrstama su i istraživanja mnogih autora (Heisey, 1990a; Lawrence i sur., 1991; Heisey, 1996; Heisey i Heisey, 2003; Sladonja i sur., 2014). Navedeni autori istražili su i odredili visok, isključivo negativan, alelopatski učinak pajasena na klijanje i rani rast i razvoj brojnih biljnih vrsta.

U provedenom istraživanju naglasak je bio na dokazivanju inhibitornog djelovanja vodenih ekstrakata korijena pajasena na korovne test-biljne vrste, te razlike u djelovanju istih između uskolisnih i širokolisnih korova, u svrhu primjene istraživanih koncentracija ailantona iz vodenih ekstrakata u kukuruzu kao ekološki prihvatljivog herbicida. Suprotno provedenom istraživanju, iz literaturnih navoda, razvidno je da su autori najčešće istraživali alelopatsko djelovanje pajasena na kultivirane test-biljne vrste i to iz porodice trava (riža) te autohtone višegodišnje drvenaste vrste (Miller, 1996; Weston, 1996; Pisula i Meiners, 2010; Moradi i sur., 2013). Nadalje, Small i sur. (2010) dokazali su inhibitorno djelovanje pajasena na klijanje i rani razvoj vrste *Verbesina occidentalis* L, a Catalan i sur. (2013) na klijanje i početni porast kostrike, šumske kostrike, bijele lobode, šumske oštrice, crvene djeteline i puzave djeteline. Bostan i sur. (2014) navode inhibitorno djelovanje pajasena na bijelu gorušicu i uljanu repicu kod izloženosti različitim koncentracijama vodene otopine kore i listova pajasena. Suprotno navedenom, u skladu s dobivenim rezultatima su istraživanja koja su proveli Pisula i Meiners (2010). Isti autori dokazuju da, iako se ailanton uspoređuje s totalnim tj. neselektivnim djelovanjem glifosata (Heisey, 1996), vrste poput šilja i europskog mračnjaka (Saxena, 2002) iskazuju visok stupanj tolerantnosti. Small i sur. (2010) također dokazuju da je vrsta šumska češljugovina (*Dipsacus fullonum* L) izrazito tolerantna na alelokemikalije pajasena. Stoga, za razliku od

većine literaturnih navoda u kojima se istraživao isključivo inhibitorni alelopatski učinak vodenih ekstrakata pajasena na test-biljne vrste, u fokusu provedenog istraživanja, osim inhibitornog alelopatskog učinka na korovne test-biljne vrste, bilo je istražiti i moguće selektivno djelovanje različitih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena (kompleks alelokemikalija).

U ovom istraživanju nije provedena izolacija i identifikacija ostalih alelokemikalija iz vodene otopine korijena pajasena, ali je rezultatima istraživanja dokazana razlika u djelovanju između istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena (kompleks alelokemikalija) ovisno o istraživanom svojstvu i test-biljnoj vrsti. Rezultatima je dokazano da kompleks alelokemikalija iz vodene otopine korijena pajasena, primijenjen u različitim koncentracijama ima jače djelovanje u odnosu na vodenu otopinu izoliranog ailantona primjenom u oba roka primjene na većinu istraživanih svojstava. Iz većine literaturnih podataka vidljivo je da su autori (Bendall, 1975; Steenhagen i Zimdal, 1979 i Kazinczi i sur., 2004b) isključivo istraživali alelopatsko djelovanje kompleksa alelokemikalija pajasena na test-biljne vrste. U prilog dobivenim rezultatima ide činjenica da je još od 1959. godine poznato da pajasen proizvodi jedan ili više fitotoksičnih spojeva (Heisey, 1999) poput ailantona, amarolida, acetil amarolida, 2-dihidroailantona, ailantinona, kaparina, kaparinona, kvazina, neokvazina, sinjulaktona i sinjudilaktona (Casinovi i Grandolini 1963; Polonsky i Fourrey, 1964; Casinovi i sur., 1965; Polonsky, 1973; Ishibashi i sur., 1981; Casinovi i sur., 1983; Polonsky, 1985. cit. Heisey, 1996), kao i alkaloida i druge sekundarne spojeve (Anderson i sur., 1983. cit. Heisey, 1996). Također je dokazano da je za alelopatski učinak pajasena u najvećoj mjeri odgovoran ailanton, spoj iz skupine kvazinoida (Heisey, 1996; Heisey, 1997; De Feo i sur., 2003) kojeg je tek 1993. godine identificirao Heisey i dokazao da je upravo ta alelokemikalija glavni fitotoksični spoj pajasena

Rezultatima istraživanja određena je koncentracija ailantona od 0,48 mg/ml iz vodene otopine korijena pajasena. Dobiveni rezultati o izrazito visokoj koncentraciji ailantona u vodenoj otopini korijena pajasena u skladu su s navodima u pregledanoj literaturi. Pregledom literature utvrđeno je da su autori uz list (Heisey, 1990; Lawrence i sur., 1991; Sladonja i sur., 2014) najviše proučavali djelovanje alelokemikalija iz kore korijena pajasena (Heisey, 1997; Pedersini i sur., 2011). U skladu s rezultatima o određenoj visokoj koncentraciji ailantona u korijenu pajasena su i navodi Heiseya (1996, 1999) koji je dokazao da su fitotoksini pajasena najviše koncentrirani u korijenu te da imaju snažan herbicidni učinak. Bendall (1975), Steenhagen i Zimdal (1979) i Kazinczi i sur. (2004b) također navode korijen kao dio biljke s najvišom koncentracijom alelokemikalija. Da je

ailanton najkoncentriraniji u korijenu i kori pajasena, potvrđuju i Saxena (2002) i Novak (2017). Novak (2017) je tekućinskom kromatografijom (HPLC) odredio koncentraciju ailantona u korijenu pajasena od 0,35 mg/ml koja je bila najveća u usporedbi s ostalim dijelovima pajasena. Jedan od razloga zbog kojeg je Novak (2017) odredio manju koncentraciju ailantona u vodenoj otopini korijena pajasena, u odnosu na koncentraciju određenu provedenim istraživanjem, moguće je pripisati različitom dobu godine u kojem su biljke prikupljene. Naime, Novak (2017) je biljni materijal prikupio u jesen, a za potrebe ovoga istraživanja biljke su prikupljene u proljeće. Budući da je uzorak biljnog materijala pajasena kod Novaka (2017) prikupljen na istoj lokaciji kao i u ovom istraživanju te da su ekstrakti pripremljeni prema istoj prilagođenoj metodi Takács i sur. (2004) i Kazinczi i sur. (2004), možemo isključimo razliku u varijabilnosti između populacija/vrsta. U prilog razlici između određenih vrijednosti ailantona u ovom istraživanju i istraživanju Novaka (2017) idu i različite vremenske prilike u godini prikupljanja biljnog materijala. Dobiveni rezultati također su u skladu s rezultatima Heiseya (1990b) koji je dokazao da je koncentracija ailantona najveća u korijenu pajasena u proljeće. Nasuprot spomenutim autorima, Pedersini i sur. (2011), čija je metoda korištena za izolaciju i kvantifikaciju, odredili su koncentraciju ailantona (64,1 - 92,0 % w/w) iz vodene otopine kore debla. Zbog razlike u biljnim dijelovima pajasena, u kojima je određena koncentracija ailantona, nije se mogla povući poveznica. Pregledom literature utvrđeno je da se svega nekoliko autora bavilo kvantifikacijom ailantona iz vodene otopine korijena pajasena te identifikacijom na tekućinskom kromatografu.

5.1 Alelopatski učinak pajasena kod primjene na sjeme test-biljnih vrsta

Provedenim istraživanjem dokazano je da koncentracije ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i iz vodene otopine korijena pajasena, primijenjene na sjeme test-biljnih vrsta, imaju značajno herbicidno djelovanje. Rezultatima je dokazano da istraživane koncentracije ailantona iz obje vodene otopine imaju značajno inhibitorno djelovanje na klijanje i početni porast (duljinu izdanka klice i korijena klice) korovnih test-biljnih vrsta (muhara i oštrodлакavog šćira). Samo kod nekoliko istraživanih koncentracija, s manjim sadržajem ailantona, kada je tretiranje obavljeno s obje istraživane vodene otopine (izolirani ailanton i kompleks alelokemikalija) dokazano je povećanje klijavih sjemenki oštrodлакavog šćira u odnosu na kontrolu, ali dokazano povećanje nije bilo statistički značajno. Dobiveni rezultati o inhibitornom učinku na klijanje muhara u skladu su s rezultatima Heisey-a (1996) koji dokazuje jako inhibitorno djelovanje vodenih ekstrakata

kore pajasena na klijavost i početni porast test-biljne vrste muhara. Saxena (2002) i Hesey i Heisey (2003) također dokazuju da izoliran ailanton ima herbicidno djelovanje na vrste iz roda muhari kad je primijenjen na sjeme. Novak i Novak (2018) dokazuju da različite koncentracije ailantona iz vodene otopine korijena pajasena imaju značajno djelovanje na redukciju klijanja, ali i duljine korijena i izdanka klice koštana koji je korovna test-biljna vrsta iz porodice trava kao i muhar. Rezultati o inhibitornom učinku tri najveće istraživane koncentracije ailantona od 0,48 mg/ml, 0,32 mg/ml i 0,24 mg/ml na klijanje i svih istraživanih koncentracija ailantona iz obje vodene otopine na duljinu izdanka i korijena klice oštrodakavog šćira također su u skladu s navodima mnogih autora (Heiseya, 1996; Saxena, 2002; i Hesey i Heisey, 2003). Pedersini i sur. (2011) dokazuju značajno herbicidno djelovanje različitih koncentracija ailantona iz vodene otopine kore debela na rast korijena i izdanka klice oštrodakavog šćira kod *pre-em* primjene, što je u skladu s dobivenim rezultatima. Suprotno navodima u pregledanoj literaturi, koja se isključivo odnosi na inhibitorno djelovanje oštrodakavog šćira, rezultatima istraživanja je dokazano i povećanje klijavosti od 4,11 % u usporedbi s kontrolnom varijantom kod izloženosti koncentracijama od 0,12 mg/ml i 0,06 mg/ml ailantona, ali ono nije bilo statistički značajno. Rezultatima istraživanjima, za razliku od muhara i šćira, na kukuruзу je dokazan znatno manji inhibitorni učinak. Naime, dokazano je smanjenje broja klijavih sjemenki kukuruza samo kod tri istraživane koncentracije ailantona od 0,03; 0,12 i 0,48 mg/ml i to samo kada je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona te ono nije bilo statistički značajno. Preostale istraživane koncentracije iz vodene otopine izoliranog ailantona ili su povećale klijavost ili je klijavost kukuruza bila jednaka kontrolnoj varijanti ali niti kod jedne koncentracije razlika u djelovanju nije bila statistički značajna. Za razliku od djelovanja vodene otopine izoliranog ailantona, na istraživanju kod kojeg je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena niti kod jedne istraživane koncentracije ailantona nije dokazana inhibicija odnosno smanjenje broja klijavih sjemenki kukuruza u usporedbi s kontrolom, ali niti stimulacija klijanja. Djelovanje na klijavost kukuruza bilo je ili jednako kontrolnoj varijanti ili je dokazano povećanje broja klijavih sjemenki ($p > 0,05$). Kod sve tri istraživane test-biljne vrste djelovanje na klijavost je bilo slabijeg intenziteta u usporedbi s djelovanjem na duljinu korijena klice, a samo kod korovnih test biljnih vrsta i na duljinu izdanka klice. Dobiveni rezultati o slabijem alelopatском učinku istraživanih ekstrakata na klijavost test-biljnih vrsta u skladu su s Novak i sur. (2018) koji navode da vodeni ekstrakti pajasena nisu statistički značajno smanjili klijavost kultiviranih test-biljnih vrsta suncokreta i zobi u usporedbi s kontrolom. Novak (2017) također navodi slabije djelovanje na klijanje nekih kultiviranih test-biljnih vrsta ili ga uopće nema ili navodi da je intenzitet djelovanja u skladu s kontrolnom varijantom. Dobiveni rezultati su također bili u skladu s Catalan i sur. (2013) koji navode

da vođeni ekstrakti lista pajasena imaju značajniji inhibitorni učinak na brzinu klijanja i rast korijena klice kod pet istraživanih test-biljnih vrsta, dok učinak na klijavost nije bio toliko izražen. Iz dobivenih rezultata o inhibitornom djelovanju na klijavost razvidno je da je kukuruz najmanje osjetljiva test-biljna vrsta. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima koje navodi Saxena (2002). Saxena (2002) je također dokazao da je kukuruz puno manje osjetljiv na djelovanje ailantona u usporedbi s drugim istraživanim test-biljnim vrstama. Manju osjetljivost kukuruza u usporedbi s drugim test-biljnim vrstama dokazali su i Pacanovski i sur. (2014) kod izloženosti drugoj donor biljnoj-vrsti. Isti autori navode da je kukuruz izrazito tolerantna vrsta te da vođeni ekstrakti korijena i izbojka bijelog kužjaka nisu polučili inhibitorni učinak na klijanje kukuruza, čak ni kod najviše istraživane koncentracije. Suprotno tvrdnjama o izrazitoj toleranciji kukuruza te rezultatima ovog istraživanja koji to potvrđuju, Heisey (1990b; 1997) ipak dokazuje značajnu redukciju u postotku klijanja kukuruza, ali također dokazuje da je kukuruz manje osjetljiv od ostalih test-biljnih vrsta. Suprotno dobivenim rezultatima, u velikom broju literaturnih navoda nije utvrđena značajna razlika u djelovanju između istraživanih svojstava kod utvrđivanja alelopatskog učinka primjenom na sjeme test-biljnih vrsta. Tako su npr. De Feo i sur. (2003) odredili značajnu alelopatsku aktivnost vodene otopine korijena pajasena i na klijanje ali i na početni porast sjetvene grbice i portulaka (*Portulaca oleracea* L.).

Rezultati alelopatskog učinka svih šest istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena na duljinu korijena i izdanka klice muhara i oštrodakavog šćira bili su isključivo inhibirajući i vrlo izraženi. Kod utvrđivanja razlike u osjetljivosti na primijenjene koncentracije ailantona između istraživanih svojstava test-biljnih vrsta rezultatima je dokazano, da je kod oštrodakavog šćira najviše inhibirana duljina izdanka klice (100 %) i to kad je tretiranje obavljeno s obje vodene otopine. Kod muhara je najviše inhibirana duljina korijena klice i to za prosječno 99,8 % kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona i 99,4 % kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena. Kod muhara je također dokazana najveća inhibicija klijavosti (prosječno 58,8 %) kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona i 59,7 % kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena u usporedbi s ostalim test-biljnim vrstama. Ako se usporedi prosječno djelovanje koncentracija ailantona iz obje istraživane vodene otopine između duljina korijena klice i duljina izdanka klice istraživanih test-biljnih vrsta, može se zaključiti da su sjemenke oštrodakavog šćira nakon klijanja izdankom apsorbirale primijenjene koncentracije ailantona, odnosno „kompleks” supstanci (uključujući i ailanton) iz vodene otopine, nakon čega je došlo do 100-postotnog propadanja izdanka klice. Inhibicija korijena klice oštrodakavog šćira bila je manja za prosječno 99,6 % u usporedbi s

kontrolom kod obje istraživane vodene otopine. Za razliku od oštrodлакavog šćira, muhar i kukuruz su nakon klijanja istraživane koncentracije ailantona iz vodenih otopina apsorbirali korijenom klice. Koncentracije ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena u prosjeku su inhibirale duljinu korijena klice muhara za 99,3 % i kukuruza za 69,6 %, dok je inhibicija duljine izdanka klice bila 86,4 % za muhara i 21,4 % za kukuruz. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da je oštrodлакavi šćir sa 100-postotnom inhibicijom izdanka klice najosjetljivija test-biljna vrsta cijelog istraživanja. Dobiveni rezultati o najvećoj osjetljivosti oštrodлакavog šćira u skladu su s rezultatima koje navode Catalan i sur. (2013) koji dokazuju da je oštrodлакavi šćir najosjetljivija test-biljna vrsta od ukupno šest istraživanih vrsta (kostrike, šumske kostrike, šumske oštrice, crvene djeteline i puzave djeteline). Međutim, dobiveni rezultati su ujedno i suprotni rezultatima istih autora radi toga što je u njihovom istraživanju dokazano jednako dobro djelovanje vodenih ekstrakata pajasena na sva istraživana svojstva, a u provedenom istraživanju samo na duljinu korijena i izdanka klice. Kukuruz je po osjetljivosti na posljednjem mjestu, budući da je samo duljina korijena klice značajno inhibirana kod svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena pajasena. Za ostala istraživana svojstva ili nije utvrđena statistički značajna razlika u redukciji ili je utvrđen porast kao što je to bilo na duljinu izdanka klice na oba istraživana tretmana. Za razliku od inhibitornog djelovanja na klijavost, kod djelovanja na duljinu izdanka klice kukuruza dokazana je stimulacija kod tri najmanje istraživane koncentracije ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i kod koncentracija ailantona od 0,24; 0,06 i 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine korijena pajasena. Dobiveni rezultati suprotni su navodima u literaturi da vodeni ekstrakti pajasena imaju inhibitorno, gotovo herbicidno djelovanje na kukuruz (Heisey, 1990b; Heisey, 1997) ali su u skladu s navodima Saxena (2002) koji je dokazao da je kukuruz najtolerantnija test-biljna vrsta u usporedbi s ostalim istraživanim vrstama. Razlike u učinku na pojedinačna svojstva te razlike u učinku između vodene otopine izoliranog ailantona i vodene otopine korijena kao kompleksa alelokemikalija nisu usporedive zbog nedostatka literaturnih navoda. Različito djelovanje istih donor vrsta na iste akceptor vrste koje su zabilježili različiti autori nije jedini primjer. Slično ovom primjeru, pregledom literature zabilježena je razlika u osjetljivosti europskog mračnjaka kod izloženosti pajasenu. Tako Saxena (2002) utvrđuje značajno inhibitorno djelovanje vodenih ekstrakata korijena pajasena na europski mračnjak za razliku od Heisey-a (1990b) koji navodi da se upravo europski mračnjak pokazao kao najtolerantnija vrsta. Navedene razlike mogu se pripisati različitim koncentracijama koje su primijenjene u istraživanju, ali i razlici u načinu aplikacije odnosno usvajanju alelokemikalija. Heisey (1990b) je utvrđivao učinak primjenom na sjeme, a Saxena (2002) učinak primjenom na list.

Rezultatima je dokazana značajna povezanost istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena i učinka na sva istraživana svojstva kod primjene na sjeme muhara i oštrodлакavog šćira tj. dokazano je da porastom koncentracije ailantona se povećava i inhibitorno djelovanje. Za razliku od kukuruza, koji se pokazao manje osjetljivom test-biljnom vrstom, značajna povezanost koncentracije ailantona dokazana je samo kod učinka na duljinu korijena klice kad je tretiranje obavljeno vodenom otopinom izoliranog ailantona te kod učinka na duljinu korijena i izdanka klice kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena. Međutim, povezanost koncentracije ailantona i učinka na duljinu izdanka klice kod izloženosti vodenoj otopini korijena pajasena bila je jako slaba. Dobiveni rezultati o povezanosti koncentracije ailantona i alelopatskog učinka na osjetljive test-biljne vrste u skladu su s mnogim autorima koji navode da je različit sadržaj ailantona u izravnoj vezi s inhibitornim učinkom na istraživana svojstva test-biljnih vrsta (Heisey, 1996; Pisula, 2010; Pedersini i sur., 2011; Novak, 2017; Novak i sur., 2018). Budući da su u istraživanjima korištene različite metode, teško je povući paralelu između koncentracija ailantona koje su pojedini autori upotrebljavali i usporediti s koncentracijama ailantona korištenim u provedenom istraživanju. Međutim, nema sumnje da inhibitorno djelovanje nije u korelaciji s koncentracijom ailantona, odnosno koncentracijom vodene otopine koja je primijenjena u istraživanju na klijanje i početni porast test-biljnih vrsta.

Rezultatima istraživanja dokazano je da se test-biljne vrste razlikuju u osjetljivosti i na primijenjene vodene otopine (izolirani ailanton i kompleks alelokemikalija) kad je tretiranje obavljeno na sjeme. Dokazano je da kompleks alelokemikalija iz vodene otopine korijena pajasena, primijenjen u različitim koncentracijama, statistički značajnije inhibira klijavost oštrodлакavog šćira u odnosu na izolirani ailanton, dok kod muhara nije bilo značajne razlike u djelovanju na klijavost između istraživanih vodenih otopina. Kod kukuruza je značajnije djelovanje na klijavost dokazano primjenom vodene otopine izoliranog ailantona. Duljina korijena klice kod oštrodлакavog šćira statistički značajnije je bila inhibirana primjenom vodene otopine korijena pajasena, a kod kukuruza primjenom vodene otopine izoliranog ailantona. Kod muhara ponovno nije dokazana značajna razlika u djelovanju između istraživanih vodenih otopina. Nasuprot tome, duljina izdanka klice kod muhara je jače inhibirana vodenom otopinom korijena, a kod oštrodлакavog šćira nije utvrđena značajna razlika. Kod kukuruza je statistički značajnije djelovanje na duljinu izdanka klice imala vodena otopina izoliranog ailantona ali u vidu stimulacije. Iako dobiveni rezultati o razlici u djelovanju na istraživana svojstva između dvije istraživane vodene otopine (izolirani ailanton i kompleks alelokemikalija) nisu mogli biti uspoređeni s drugim autorima, možemo reći da su u skladu s teorijom koju iznose Heisey i Heisey

(2003) te De Feo i sur. (2003), a to je da ailanton nije jedina alelokemikalija u biljnom materijalu pajasena što je potvrđeno i brojnim literaturnim navodima (Casinovi i Grandolini 1963; Polonsky i Fourrey, 1964; Casinovi i sur., 1965; Polonsky, 1973; Ishibashi i sur., 1981; Casinovi i sur., 1983; Polonsky, 1985. cit. Heisey, 1996), ali je svakako glavni te da alelopatski učinak ovisi o koncentraciji ailantona (Heisey, 1990a; Heisey i Heisey, 2003; Pedersini i sur., 2011; Bostan i sur., 2014). Dobiveni rezultati također su u skladu s navodima Heisey i Heisey-a (2003) koji tvrde da u kombinaciji s drugim alelokemikalijama ailanton djeluje sinergistički i ima bolji učinak na klijanje i početni porast test-biljnih vrsta. Nije poznato zašto je jedino kod kukuruza zabilježen jači učinak na tretmanu s izoliranim ailantom, neke od mogućnosti su u krupnijem sjemenu kukuruza, različitom načinu apsorpcije same biljke ili u tome što biljka različito usvaja različite alelokemikalije.

Istraživanjem je također određena srednja učinkovita koncentracija (EC_{50}) za sva istraživana svojstva i test-biljne vrste muhar i oštrodлакavi šćir kod izloženosti oba ekstrakta. Nakon 100-postotne redukcije duljine izdanka klice oštrodлакavog šćira kod kojeg se nije mogla odrediti EC_{50} vrijednost, najniža EC_{50} vrijednosti od 0,183 mg/ml ailantona određena je za duljinu korijena klice muhara kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena. Navedena EC_{50} vrijednost za muhara bila je između srednjih vrijednosti istraživanih koncentracija ailantona (0,24 mg/ml) što je u skladu s Pedersini i sur. (2011) koji su izrazili učinak u obliku ID_{50} vrijednosti te odredili da su doze koje su izazvale oštećenje 50 % biljaka bile 2 mg/l ailantona za oštrodлакavi šćir, a određena ID_{50} vrijednost je također bila srednja doza njihovog istraživanja. Razlike u određenim koncentracijama koje su imale 50-postotno djelovanje, u provedenom istraživanju i istraživanju koje su proveli Pedersini i sur. (2011), vjerojatno su posljedica razlike u istraživanim koncentraciji ailantona u vodenim ekstraktima zbog različitih biljnih dijelova pajasena uzetih za pripremu uzorka te razlike u načinu primjene vodenih ekstrakata.

5.2 Alelopatski učinak pajasena kod primjene na list test-biljnih vrsta

Rezultatima istraživanja kod primjene istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena primjenom putem lista na vrste muhar i oštrodлакavi šćir dokazano je isključivo inhibitorno djelovanje na masu nadzemnog dijela biljaka. Za razliku od korovnih test-biljni vrsta, kod primjene istraživanih koncentracija ailantona iz obje vodene otopine putem lista, na kukuruзу je osim inhibitornog djelovanja, dokazano i povećanje mase nadzemnog dijela biljke, ali samo kod najviše koncentracije

ailantona od 0,48 mg/ml iz vodene otopine izoliranog ailantona te ono nije bilo statistički značajno. Dobiveni rezultati o inhibiciji rasta muhara i oštrodлакavog šćira u skladu su s brojnim autorima recente literature. Tako npr. Saxena (2002) navodi *post-emergentno* djelovanje ailantona na vrste oštrodлакavi šćir, muhar i kořtan. Isti autor dokazuje 100-postotnu smrtnost navedenih test-biljnih vrsta unutar pet dana nakon primjene. Heisey (1990b) također dokazuje herbicidnu aktivnost vodenih ekstrakata pajasena na iznikle biljke muhara i oštrodлакavog šćira te navodi da su obje vrste imale smanjen stupanj rasta. Isti autor utvrđuje da su širokolisne test-biljne vrste osjetljivije nego uskolisne, što je također u skladu s rezultatima provedenog istraživanja u kojem se oštrodлакavi šćir pokazao znatno osjetljivijim od muhara i kukuruza. Suprotno rezultatima o slabijem učinku na kukuruz, Heisey (1990b) navodi dobro djelovanje vodenih ekstrakata pajasena na kukuruz primjenom na list, ali također kao i Saxena (2002), navodi da je kukuruz bio manje osjetljiv od ostalih test-biljnih vrsta. Heisey (1990b) ističe da je po osjetljivosti kukuruzu prethodio europski mračnjak, a slijedio ga je muhar, što je u skladu s dobivenim rezultatima kada uspoređujemo osjetljivost kukuruza i muhara u odnosu na oštrodлакavi šćir. Nadalje, Heisey (1990b) dokazuje da je herbicidno djelovanje vodenih ekstrakata pajasena izrazitije kod primjene nakon nicanja test-biljnih vrsta, što je suprotno dobivenim rezultatima. Navedene razlike u alelopatskom potencijalu pajasena kod primjene na list test-biljnih vrsta između autora mogu biti posljedica različitog doba godine u kojem je donor-vrsta sakupljana, različita priprema vodene otopine, razlika u koncentraciji ailantona te razlika u mjestu uzgoja test-biljnih vrsta (laboratorij/staklenik). Dobiveni rezultati također su u skladu s rezultatima koje navode Pedersini i sur. (2011). Isti autori dokazuju herbicidno djelovanje vodenih ekstrakata diklormetanom izoliranog ailantona kod primjene nakon nicanja test-biljne vrste oštrodлакavi šćir. Međutim, zbog razlike u postavljanju pokusa (primjena 5 ml vodenog ekstrakta na epikotil sjemenki) te mjerenja učinka na drugo svojstvo (učinak na epikotil) teško je povući paralelu, ali zaključak je isti, a to je da vodeni ekstrakti pajasena imaju inhibitorno djelovanje na korovne test-biljne vrste kod primjene nakon nicanja (*post-em* primjena). Jedina razlika u rezultatima u usporedbi s rezultatima koje navode Pedersini i sur. (2011) je različita osjetljivost test biljnih vrsta. Tako npr. isti autori navode crvenu vlasulju, koja pripada porodici trava, kao najosjetljiviju vrstu što je suprotno dobivenim rezultatima u kojima se oštrodлакavi šćir, koji je širokolisna vrsta, pokazao kao najosjetljivija test-biljna vrsta. Međutim, Heisey i Heisey (2003) navode manju osjetljivost uskolisnih test-biljnih vrsta kod primjene vodenih ekstrakata pajasena na list u poljskim pokusima, što je u skladu s rezultatima ovog istraživanja.

Kada govorimo o odnosu istraživanih koncentracija ailantona i alelopatskog učinka na masu nadzemnog dijela biljaka, dokazana je visoka povezanost koncentracije ailantona i

učinka na nadzemnu masu oštrodakavog šćira kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona i s vodenom otopinom korijena pajasena. Nešto jaća povezanost dokazana je na tretmanu s vodenom otopinom izoliranog ailantona. Kod kukuruza, ali samo kod izloženosti vodenoj otopini korijena pajasena, nije dokazana statistički značajna povezanost između učinka na nadzemnu masu i koncentracija ailantona što je usporedivo s rezultatima Heisey i Heisey-a (2003). Rezultatima istraživanja također je dokazano da je ovisnost alelopatskog učinka i istraživanih koncentracija jaća na tretmanu s vodenom otopinom izoliranog ailantona kod dvije od tri test-biljne vrste u usporedbi s ovisnošću učinka i istraživanih koncentracija ailantona na tretmanu s vodenom otopinom korijena pajasena. Navedeno bi moglo biti posljedica lakše apsorpcije izoliranog ailantona od ailantona iz kompleksa alelokemikalija kod primjene na list.

Najveća redukcija mase nadzemnog dijela oštrodakavog šćira dokazana je kod najviše istraživane koncentracije ailantona (0,48 mg/ml), a najmanja kod najniže od 0,03 mg/ml ailantona iz vodene otopine korijena pajasena. Sve koncentracije ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona, osim 0,03 mg/ml ailantona, polučile su statistički značajan inhibitorni učinak. Dobiveni rezultati dokazuju značajnu povezanost koncentracija ailantona i inhibitornog djelovanja na nadzemnu masu oštrodakavog šćira kod primjene istraživanih ekstrakata na list. Dobiveni rezultati za oštrodakavi šćir u skladu su s Heisey i Heisey (2003), koji navode povezanost koncentracija ailantona i alelopatskog učinka za većinu istraživanih test-biljnih vrsta kod primjene vodenih ekstrakata pajasena na list. Isti autori također utvrđuju da je kod vrsta, koje su se pokazale kao osjetljivije (oštrodakavi šćir, bijela loboda, rotkvica, suncokret, zob, soja, koštan i muhar), zabilježena jaća povezanost između istraživanih koncentracija ailantona i učinka, što je u skladu s dobivenim rezultatima. Kod kukuruza, kao i kod muhara, najveće smanjenje mase nadzemnog dijela biljke bilo je kod najniže koncentracije ailantona (0,03 mg/ml) kada je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom izoliranog ailantona. Kod izloženosti vodenoj otopini korijena pajasena, najznačajnija redukcija nadzemne mase kukuruza bila je kod koncentracije od 0,12 mg/ml ailantona. Jedino povećanje biljne mase od 9,9 % u usporedbi s kontrolom ($p > 0,05$) dokazano je kod kukuruza kod izloženosti najvišoj koncentraciji od 0,48 mg/ml ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona. Dobiveni rezultat o povećanju nadzemne mase kukuruza nisu u skladu s literaturnim navodima (Heisey, 1990b; Saxena, 2002; Heisey i Heisey, 2003) u kojima se navodi isključivo inhibitorno djelovanje vodenih ekstrakata pajasena primjenom na list. Rezultatima je dokazano da kod srednje osjetljive vrste (muhar) i srednje tolerantne vrste (kukuruz) nije bilo povezanosti između djelovanja koncentracija ailantona iz obje vodene otopine i učinka

na nadzemnu masu. Slično navode i Heisey i Heisey (2003) koji su utvrdili da za razliku od osjetljivih test-biljnih vrsta, kod manje osjetljivih ili tolerantnih test-biljnih vrsta, kakvima su se pokazale obična svračica (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.), kukuruz i poljski slak (*Convolvulus arvensis* L.) nije dokazana ovisnost između alelopatskog učinka i koncentracija ailantona.

Rezultatima istraživanja dokazano je da se test-biljne vrste razlikuju u osjetljivosti i na primijenjene vodene otopine (izolirani ailanton i kompleks alelokemikalija) kad je tretiranje obavljeno na list. Dokazano je da kompleks alelokemikalija iz vodene otopine korijena pajasena ima jače djelovanje kod oštrodлакavog šćira i kukuruza u usporedbi s vodenom otopinom izoliranog ailantona. Za razliku od oštrodлакavog šćira i kukuruza, kod muhara je dokazano jače djelovanje ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona. Dobivene rezultate o razlici u djelovanju između istraživanih ekstrakata (izolirani ailanton i kompleks alelokemikalija) nismo mogli usporediti s literaturnim navodima jer pregledom literature nije pronađen nijedan rad u kojem se istražila razlika u djelovanju između izoliranog ailantona i kompleksa alelokemikalija. Međutim, kao i kod djelovanja istraživanih ekstrakata primijenjenih na sjeme, može se zaključiti da ailanton nije jedina alelokemikalija u biljnom materijalu pajasena što je potvrđeno i literaturnim navodima (Casinovi i Grandolini 1963; Polonsky i Fourrey, 1964; Casinovi i sur., 1965; Polonsky, 1973; Ishibashi i sur., 1981; Casinovi i sur., 1983; Polonsky, 1985. cit. Heisey, 1996), ali je svakako glavni te da inhibitorno djelovanje pajasena ovisi o koncentraciji ailantona (Heisey, 1990a; Heisey i Heisey, 2003; Pedersini i sur., 2011; Bostan i sur., 2014). Dobiveni rezultati koji potvrđuju jači alelopatski učinak vodene otopine kompleksa alelokemikalija također idu u prilog navodima Heisey i Heisey (2003), koji tvrde da u kombinaciji s drugim alelokemikalijama ailanton djeluje sinergistički i postiže bolje djelovanje na test-biljne vrste.

6. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenog istraživanja mogu se donijeti sljedeći zaključci:

U vodenoj otopini korijena pajasena određena je koncentracija ailantona od 0,48 mg/ml.

Kod svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena primijenjenih na sjeme **muvara** dokazan je inhibitorni učinak na sva istraživana svojstva, osim kod koncentracije 0,03 mg/ml ailantona na klijavost, a učinak na sva istraživana svojstva ovisio je o istraživanim koncentracijama ailantona iz obje vodene otopine.

Dokazana je statistički opravdana razlika u učinku na duljinu izdanka klice **muvara** između istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena. Razlika u učinku na klijavost i duljinu korijena klice između istraživanih vodenih otopina nije bila statistički opravdana.

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena određena je najniža EC_{50} vrijednost od 0,183 mg/ml ailantona koja je djelovala na duljinu izdanka klice **muvara**.

Kod svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena primijenjenih na sjeme **oštrodlakavog šćira** dokazan je inhibitorni učinak na duljinu korijena i izdanka klice, a učinak na klijavost i duljinu korijena klice ovisio je o istraživanim koncentracijama ailantona iz obje vodene otopine.

Dokazana je statistički opravdana razlika u učinku na klijavost i duljinu korijena klice **oštrodlakavog šćira** između istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena.

Kod svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena primijenjenih na sjeme **kukuruza** dokazan je inhibitorni učinak samo na duljinu korijena klice, a učinak na duljinu korijena klice ovisio je o istraživanim koncentracijama ailantona iz obje vodene otopine.

Kad je tretiranje obavljeno s vodenom otopinom korijena pajasena dokazano je stimulirajuće djelovanje na duljinu izdanka klice **kukuruza**.

Dokazana je statistički opravdana razlika u učinku na sva istraživana svojstva **kukuruza** između istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena.

Kod svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena primijenjenih na list **muvara** dokazan je inhibitorski učinak na nadzemnu masu, a učinak na nadzemnu masu nije ovisio o istraživanim koncentracijama ailantona iz obje vodene otopine.

Dokazana je statistički opravdana razlika u učinku na nadzemnu masu **muvara** između istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena.

Kod svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena primijenjenih na list **oštrodlakavog šćira** dokazan je inhibitorski učinak na nadzemnu masu, a učinak na nadzemnu masu ovisio je o istraživanim koncentracijama ailantona iz obje vodene otopine.

Dokazana je statistički opravdana razlika u učinku na nadzemnu masu **oštrodlakavog šćira** između istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena.

Kod svih istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona primijenjenih na list **kukuruza**, osim kod koncentracije od 0,48 mg/ml ailantona, dokazan je inhibitorski učinak na nadzemnu masu, dok je vodena otopina korijena pajasena imala isključivo inhibitorski učinak za isto svojstvo.

Dokazana je statistički opravdana povezanost između koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i alelopatskog učinka na nadzemnu masu **kukuruza**.

Dokazana je statistički opravdana razlika u učinku na nadzemnu masu **kukuruza** između istraživanih koncentracija ailantona iz vodene otopine izoliranog ailantona i korijena pajasena.

Najosjetljivija test-biljna vrsta istraživanja je **oštrodlakavi šćir**, a najtolerantnija **kukuruz**.

Rezultati istraživanja pokazuju da ailanton nije jedina alelokemikalija u korijenu pajasena budući da je vodena otopina korijena pajasena imala jače djelovanje u usporedbi s vodenom otopinom izoliranog ailantona kod većine istraživanih svojstava.

7. POPIS LITERATURE

1. Abhilasha D., Quintana N., Vivanco J., Joshi J. (2008). Do allelopathic compounds in invasive *Solidago canadensis* s.l. restrain the native European flora? *Journal of Ecology* 96 (5): 993-1001. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01413.x>
2. Albuquerque M., Santos R., Lima L., Melo Filho P., Nogueira R., Camara C., Ramos A. (2011). Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 31 (2): 379-395. doi: <https://doi.org/10.1051/agro/2010031>
3. Arnaboldi F., Conedera M., Fonti P. (2003). Caratteristiche anatomiche e auxometriche di *Ailanthus altissima*. *Sherwood* 91: 1-6 (Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/284690388_Caratteristiche_anatomiche_e_auxometriche_di_Ailanthus_altissima 15.6.2016.)
4. Asaduzzaman M., Islam M. M., Sultana S. (2010). Allelopathy and allelochemicals in rice weed management. *Bangladesh research publications journal*, 4 (1): 1-14
5. Alves I. A. B. S., Miranda H. M., Soares L. A. L., Randau K. P. (2014). Simaroubaceae family: botany, chemical composition and biological activities. *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 24: 481-501. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2014.07.021>
6. Bais H. P., Vepachedu R., Gilroy S., Callaway R. M., Vivanco J. M. (2003). Allelopathy and Exotic Plant Invasion: From Molecules and Genes to Species Interactions. *Science* 301: 1377-1380. doi:10.1126/science.1083245
7. Balićević R., Ravlić M., Kleflin J., Tomić M. (2016). Allelopathic activity of plant species from *Asteraceae* and *Polygonaceae* family on lettuce. *Herbologia* 16 (1): 23-30. doi: 10.5644/Herb.16.1.03
8. Barić K., Ostojić Z. (2000). Zaštita strnih žitarica od korova. *Gospodarski list* 3: 44-45.
9. Bendall G. M. (1975). The allelopathic activity of Californian thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop) in Tasmania. *Weed Research* 15: 77-81

10. Bhadoria P. B. S. (2011). Allelopathy: A Natural Way towards Weed Management, American Journal of Experimental Agriculture 1(1): 7-20. doi: 10.9734/AJEA/2011/002
11. Bhowmik P. C., Inderjit (2003). Challenges and oportunites in implementing allelopathy. Crop protection 22 (4): 661-671. doi: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00242-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00242-9)
12. Boer E. (2012). Risk assessment *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Naturalis Biodiversity Center, Leiden, Netherlands, str. 1-20. (Preuzeto s: <https://www.cabi.org/ISC/FullTextPDF/2012/20127201193.pdf> 18.6.2016.)
13. Boršić I., Milović M., Dujmović I., Bogdanović S., Cigić P., Rešetnik I., Nikolić T., Mitić B. (2008). Preliminary check-list of invasive alien plant species (IAS) in Croatia, Natura Croatica 17 (2): 55-71. (Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/28940> 14.2.2016.)
14. 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
15. Brock J. H. (1998). Ecological Characteristics of Invasive Alien Plants. The future of arid grasslands: identifying issues, seeking solutions. In: Tellman B., Finch D. M., Edminster C., Hamre R. (eds) Proceedings of Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, str. 137-144. (Preuzeto s: https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p003.pdf 6.7.2016.)
16. Bruckner D. J. (1998). The allelopathic effect of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) on the germination of cultivated plants. Növénytermeles 47 (6): 635-644
17. Casella F, Vurro M. (2013). *Ailanthus altissima* (tree of heaven): Spread and harmfulness in a case-study urban area. Arboricultural Journal, 35 (3): 172-181. doi: 10.1080/03071375.2013.852352
18. Catalán P., Vázquez-de-Aldana B. R., Heras P., Fernández-Seral A., Pérez-Corona M. E. (2013). Comparing the allelopathic potential of exotic and native plant species on understory plants: are exotic plants better armed? Anales de Biología 35: 65-74. doi: <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.0.35.10>
19. Chen S. K. (1997). China Flora. Science Press, 43 (3): 1-6

20. Chou C. H. (1990). The role of allelopathy in agroecosystems: studies from tropical Taiwan. In: Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture, Ecological studies 78 (Gliessman, S. R., ed), Springer-Verlag, New York, NY, str. 105-121
21. Cornes D. (2005). Callisto: a very successful maize herbicide inspired by allelochemistry. In: Harper, J. D. I., An, M., Wu, H., Kent, J. H. (eds) Book of abstracts of the 4th World Congress on Allelopathy, Wagga Wagga, New South Wales, Australia, str. 569-572. (Preuzeto s: http://www.regional.org.au/au/allelopathy/2005/2/7/2636_cornesd.htm 17.4.2016.)
22. Council of Europe: The Bern Convention (Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats, Bern, 1979), Question and Answers, No. 9, November 2007
23. Cronk Q. C. B., Fuller J. L. (1995). Plant Invaders: the Threat to Natural Ecosystems, First Edition. Chapman and Hall Ltd, London, United Kingdom, str. 1-241
24. Csiszár Á. (2009). Allelopathic Effects of Invasive Woody Plant Species in Hungary. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, 5: 9-17. (Preuzeto s: http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/fmk/acta_silvatica/cikkek/Vol05-2009/01_csiszar_p.pdf 8.10.2016.)
25. Csiszár Á., Korda M., Schmidt D., Šporčić D., Süle P., Teleki B., Tiborcz V., Zagyvai G., Bartha D. (2013). Allelopathic potential of some invasive plant species occurring in Hungary. Allelopathy Journal, 31 (2): 309-318. (Preuzeto s: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143245209> 17.7.2016.)
26. DAISIE – Delivering Alien Invasive Species In Europe (2003) project funded by the sixth framework programme of the European Commission (Contract Number: SSPI-CT-2003-511202). (Preuzeto s: <http://www.europe-aliens.org/> 17.10.2017.)
27. DAISIE project: Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe – EC FP6 (2006). *Ailanthus altissima*. Author: Corina Başnou and Montserrat Vilà. Date Last Modified: December 1st, 2006. (Preuzeto s: http://www.europe-aliens.org/pdf/Ailanthus_altissima.pdf 10.8.2016.)

28. De Feo V., De Martino L., Quaranta E., Pizza C. (2003). Isolation of Phytotoxic Compounds from Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima* Swingle). *Agricultural and Food Chemistry* 51 (5): 1177-1180. doi: 10.1021/jf020686+
29. Dubroca E., Bory G. (1981). Glucidic and nitrogen compounds and resistance to drought in *Ailanthus altissima*. *Biochemical Systematics and Ecology* 9: 283-288
30. Dujmović Purgar D., Ostojić Z. (2009). Invazivne vrste i njihov značaj u Republici Hrvatskoj. In: Cvjetković B. (ed) *Knjiga sažetaka 53. seminara biljne zaštite*, Opatija, Hrvatska, str. 20.
31. Duke S. O., Dayan F. E., Rimando A. M. (1998). Natural products as tools for weed management. *Japan Weed Science Society*: 1-11
32. Duke, S. O., Dayan, F. E., Romagni, J. G., Rimando, A. M. (2002). Natural products as sources of herbicides: current status and future trends. *Weed Research* 40: 99-111. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2000.00161.x>
33. Dunn Chace T. (2013). *How to Eradicate Invasive Plants*. Timber Press, London, United Kingdom, str. 1-336
34. Einhelling F. A. (1987). Interactions Among Allelochemicals and Other Stress Factors of the Plant Environment. *Allelochemicals: Role in Agriculture and Forestry* 32: 343-357. doi: 10.1021/bk-1987-0330.ch032
35. EMAPi - Ecology and Management of Alien Plant invasions (Preuzeto s: http://www.ibot.cas.cz/invasions/EMAPi_conferences/index.php 13.4.2018.)
36. EPPO - European and Mediterranean Plant Protection Organization (Preuzeto s: <https://www.eppo.int/> 10.5.2016.)
37. Essl F., Rabitsch W. (2002). Neobiota in Österreich. *Umweltbundesamt, Wien*, str. 1-627. (Preuzeto s: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/DP089.pdf> 6.3.2017.)
38. EU (2014). Uredba (EU) br. 1143/2014 Europskog parlamenta i vijeća od 22. listopada 2014. o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta. *Službeni list Europske unije* L 317/35

39. EU (2016). Uredba (EU) br. 2016/1141 o donošenju popisa invazivnih stranih vrsta koje izazivaju zabrinutost u Uniji u skladu s (EU) br. 1143/2014 Europskog parlamenta i Vijeća
40. EZ (2009). Uredba (EZ) 1107/2009 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 21. listopada 2009. o stavljanju na tržište sredstava za zaštitu bilja i stavljanju izvan snage direktiva Vijeća 79/117/EEZ i 91/414/EEZ
41. Ferguson J. J., Rathinasabapathi B., Chase A. A. (2003). Allelopathy: How Plants Suppress Other Plants. University of Florida, Horticultural Sciences Department, HS944, str. 1-5. (Preuzeto s: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS18600.pdf> 13.3.2016).
42. Genovesi P., Shine C. (2004). European strategy on invasive alien species. In: Convention on the Conservation of European Wildlife and Habitats (Bern Convention), Nature and environment, 137: 68. (Preuzeto s: <https://www.cbd.int/doc/external/cop-09/bern-01-en.pdf> 16.2.2018.)
43. GISP – Global Invasive Species Programme (Preuzeto s: <https://www.gisp.org/> 18.4.2018.)
44. Gómez-Aparicio L., Canham C. D. (2008). Neighbourhood analyses of the allelopathic effects of the invasive tree *Ailanthus altissima* in temperate forests. *Journal of Ecology* 96 (3): 447-458. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01352.x>
45. Haig T. (2008). Allelochemicals in Plants. In: Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry (Zeng R. S., Mallik A. U., Luo S. M., eds). Springer, New York, str. 63-104. doi: https://doi.org/10.1007/978-0-387-77337-7_4
46. Hallé F., Oldeman R. A. A., Tomlinson P. B. (1978). Tropical Trees and Forests. An Architectural Analysis, First Edition. Springer, Berlin, Germany, str. 1-429
47. Heisey R. M. (1990a). Evidence for allelopathy by tree of heaven (*Ailanthus altissima*). *Journal of Chemical Ecology* 16 (6): 2039-2055. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01020515>
48. Heisey R. M. (1990b). Allelopathic and herbicidal effects of extracts from tree of heaven (*Ailanthus altissima*). *American Journal of Botany* 77 (5): 662-670. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1990.tb14451.x>

49. Heisey R. M. (1996). Identification of an allelopathic compound from *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae) and characterization of its herbicidal activity. *American Journal of Botany* 83 (2): 192-200. doi: 10.2307/2445938
50. Heisey R. M. (1997). Allelopathy and the Secret Life of *Ailanthus altissima*. *Arnoldia* 57 (3): 28-36. (Preuzeto s: <http://arnoldia.arboretum.harvard.edu/pdf/articles/1997-57-3-allelopathy-and-the-secret-life-of-ailanthus-altissima.pdf> 7.9.2016.)
51. Heisey R. M. (1999). Development of an Allelopathic Compound From Tree of Heaven (*Ailanthus altissima*) as a Natural Product Herbicide. In: *Biologically Active Natural Products: Agrochemicals* (Cutler H., Cutler S. eds), CRC Press, Boca Raton, str. 57-68. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420048629.ch5>
52. Heisey R. M., Heisey T. K. (2003). Herbicidal effects under field conditions of *Ailanthus altissima* bark extract, which contains ailanthone. *Plant and Soil* 256 (1): 85-99. doi: 10.1023/A:1026209614161
53. Hodisan N., Morar G., Neag C. M. (2009). Research on the Allelopathic Effect Between the Invasive Species *Ambrosia artemisiifolia* L. ("Floarea Pustei") and Some Agricultural Crops. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary* 66 (1): 554-563
54. Hu S. Y. (1979). *Ailanthus*. *Arnoldia* 39, 29-50. (Preuzeto s: <http://arnoldia.arboretum.harvard.edu/pdf/articles/1979-39-2-ailanthus.pdf> 9.8.2016.)
55. Hulina N. (1998). Korovi. Školska knjiga, Zagreb, Croatia, str. 1-222
56. Hunter J. (2000). *Ailanthus altissima* In: Bossard C. C., Randall J. M., Hoshovsky M. C. (eds) *Invasive plants of California's wildlands*. University of California Press. Berkeley, str. 32-36
57. IAS – International Allelopathy Society (Preuzeto s: <http://allelopathy-society.osupytheas.fr/> 8.5.2018.)
58. Idžojić M., Zebec M. (2006). Distribution of the Tree of Heaven (*Ailanthus altissima* /Mill./ Swingle) and Spreading of Invasive Woody Alien Species in Croatia. *Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje* 5: 315-323 (in Croatian)

59. Ilori O. J., Ilori O. O. (2012). Allelochemicals: types, activities and usage in pest control. *Journal of Science and Science Education*, 3 (1): 106-110. (Preuzeto s: <http://ijosse.org/archiveJournals/2012/Ilori%20et%20al%20p106-110.pdf> 17.10.2016)
60. Inverso A., Bellani L. (1991). Origin and development of *Ailanthus glandulosa* Desf. root suckers. *Giorn. Bot. Ital.* 125: 39-45
61. ISSG - Invasive Species Specialist Group (Preuzeto s: <http://www.issg.org/> 18.4.2018.)
62. Ivanek-Martinčić M., Ostojić Z., Barić K., Goršić M. (2010). Importance of critical period of weed competition for crop growing. *Poljoprivreda* 16 (1), 57-61 (in Croatian) (Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/53798> 16.3.2018.)
63. Kazinczi G., Beres I., Narwal S. S. (2001a). Allelopathic plants. 1. Canada thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop). *Allelopathy Journal* 8 (2): 29-40
64. Kazinczi G., Beres I., Narwal S. S. (2001b). Allelopathic plants. 3. Velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.). *Allelopathy Journal* 8 (2): 179-188
65. Kazinczi G., Beres I., Horvath A. P. (2004). Sunflower (*Helianthus annuus*) as recipient species in allelopathic research. *Herbologija* 5 (2): 1-9
66. Khalid S., Tahira A., Shad, A. R. (2002). Use of Allelopathy in Agriculture. *Asian Journal of Plant Sciences* 1 (3): 292-297. doi.10.3923/ajps.2002.292.297
67. Kiermeier, P. (1987). Ausbreitung von Gehölzen durch Ausläufer. *Neue Landsch.* 32: 371-377
68. Kovačić S., Nikolić T., Ruščić M., Milović, M., Stamenković V., Mihelj D., Jasprica N., Bogdanović S., Topić J. (2008). Flora jadranske obale i otoka, 250 najčešćih vrsta, PMF, Školska knjiga, Zagreb, Croatia, str. 1 - 558
69. Kovačević J. (1979). *Poljoprivredna fitocenologija*, Second Edition. SNL, Zagreb, Croatia, str. 1-746
70. Kowarik I. (1983). Colonization by the tree of heaven (*Ailanthus altissima*) in the French mediterranean region (Bas-Languedoc), and its phytosociological characteristics. *Phytocoenologia*, 11 (3): 389-405

71. Kowarik I. (1995). Clonal growth in *Ailanthus altissima* on a natural site in West Virginia. *Journal of Vegetation Science* 6: 853-856 (s: https://www.oekosys.tu-berlin.de/fileadmin/fg35/Forschung/Downloads/Abstracts_Kowarik/Kowarik_1995_Clonal_growth_in_Ailanthus_altissima.pdf 8.9.2016.)
72. Kowarik I., Säumel I. (2007). Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 8: 207-237. (Preuzeto s: <https://pdfs.semanticscholar.org/8005/6d191f85f9ccbee3012383aae4d333502660.pdf> 13.5.2016.)
73. Lambdon P. W., Pyšek P., Basnou C., Arianoutsou M., Essl F., Hejda M., Jarošík V., Pergl J., Winter M., Anastasiu P., Andriopoulos P., Bazos I., Brundu G., Celesti-Grapo L., Chassot P., Delipetrou P., Josefsson M., Kark S., Klotz S., Kokkoris Y., Kühn I., Marchante H., Perglova I., Pino J., Villa M., Zikos A., Roy D., HULME P. E. (2008). Alien flora of Europe: species diversity, temporal trends, geographical patterns and research needs. *Preslia* 80: 101-149
74. Landenberger R. E., Warner T. A., McGraw J. B. (2009). Spatial patterns of female *Ailanthus altissima* across an urban-to-rural land use gradient. *Urban Ecosyst* 12: 437-448. doi: 10.1007/s11252-009-0087-x
75. Lawrence J. G., Colwell A., Sexton O. J. (1991). The ecological impact of allelopathy in *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae). *American Journal of Botany*, 78 (7): 948-958. (Preuzeto s: https://waingerlab.cbl.umces.edu/FreeMindMaps/FreeMind_Papers/Trees/Lawrence_et_al_1991.pdf 17.10.2016.)
76. Liess N., Drescher A. (2008). *Ailanthus altissima* spreading in the Danube National Park – possibilities of control. In: Rabitsch W., Essl F., Klingenstein F. (eds) *Book of Abstracts of the Biological Invasions – from Ecology to Conservation 7*, Vienna, Austria, str. 84-95
77. Little S. (1974). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Ailanthus*. In: *Seeds of Woody Plants in the United States* (Schopmeyer, C. S., ed) US Department of Agriculture, Forest Service, Washington, str. 201-202
78. Lowe S., Browne M., Boudjelas S., De Poorter M. (2000). 100 of the World's Worst Invasive Alien Species A selection from the Global Invasive Species Database.

First Edition. The Invasive Species Specialis Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN). (Preuzeto s: http://www.issg.org/pdf/publications/worst_100/english_100_worst.pdf 20.8.2018.)

79. Macias F. A., Oliva R. M., Simonet A. M., Galindo J. C. G. (1998). What are allelochemicals. In: Allelopathy in Rice (Olofsdotter M., ed), International Rice Research Institute, Philippines, Chapter 7, str. 69-79
80. Martin P., Rademacher B. (1960). Studies on the mutual influences of weeds and crops. In: The Biology of Weeds (Harper J. L., ed), Blackwell, Oxford United Kingdom, str. 143-152
81. Matlack G. R. (1987). Diaspore size, shape, and fall behavior in wind-dispersed plant species. American Journal of Botany 74: 1150-1160 doi: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1987.tb08729.x>
82. Mergen F. (1959). A toxic principle in the leaves of *Ailanthus*. Botanical Gazette, 121: 32-36.
83. Miller D. A. (1996). Allelopathy in forage crop systems. Agronomy Journal 88: 854-859. doi: 10.2134/agronj1996.00021962003600060003x
84. Mitić, B., Boršić, I., Dujmović, I., Bogdanović, S., Milović, M., Cigić, P., ... Nikolić, T. (2008). Alien flora of Croatia: proposals for standards in terminology, criteria and related database. Natura Croatica 17 (2): 73-90. (Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/28942> 10.4.2018.)
85. Moradi H., Sheikhpour S., Fahramand M., Keshtehgar A., Rigi K. (2013). Effect of allelopathy on crop weeds control. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 6 (21): 1426-1428. (Preuzeto s: <https://pdfs.semanticscholar.org/ace2/6381f1f45804781ee56f3ad9654bd1bd5c6e.pdf> 12.2.2016)
86. Narwal S. S. (2004). Allelopathy in Crop Production, First Edition. Scientific Publishers, Jodhpur, India, str. 1-249. (Preuzeto s:

onepage&q=Narwal%20S.%20S.%20(2004).%20Allelopathy%20in%20Crop%20P
roduction.%20Scientific%20Publishers%20C%20Jodhpur&f=false 7.1.2016)

87. Narwal S. S., Palaniraj R., Sati S. C. (2005). Role of allelopathy in crop production. *Herbologia* 6 (2): 1-66
88. Nikolić T. (2007). Upute za upotrebu web sučelja baze podataka Flora Croatica, Ver. 2.0, siječanj 2007., Zagreb, radna verzija, Botanički Zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, Croatia (in Croatian). Preuzeto s: <https://hirc.botanic.hr/fcd/html/FCD-Manual-2-Jan%202007.pdf> 16.5.2018.)
89. Nikolić T., Mitić B., Milašinović B., Jelaska S. D. (2013). Invasive alien plants in Croatia as a threat to biodiversity of South-Eastern Europe: Distributional patterns and range size (Author's personal copy). *Comptes Rendus Biologies*, 336: 109-121. doi: [org/10.1016/j.crvi.2013.01.003](https://doi.org/10.1016/j.crvi.2013.01.003)
90. Nikolić T., Mitić B., Boršić I. (2014). *Flora of Croatia: Invasive Plants*. Alfa d.d., Zagreb, Croatia, str. 1-296
91. NN 80/2005. Zakon o zaštiti prirode. Narodne novine 80/05, Zagreb
92. NN 90/2006. Naredba o poduzimanju mjera obveznog uklanjanja ambrozije – *Ambrosia artemisiifolia* L. Narodne novine 90/06, Zagreb
93. NN 15/2018. Zakon o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta i upravljanju njima. Narodne novine 15/18, Zagreb
94. Novak N. (2007). Alelopatski utjecaj europskog mračnjaka (*Abutilon theophrasti* Med.) na neke poljoprivredne kulture. MsD. University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Zagreb
95. Novak N., Kravarščan M. (2011). Invazivne strane korovne vrste u Republici Hrvatskoj. Hrvatski centar za poljoprivredu, hranu i selo, Zagreb, Croatia (in Croatian). (Preuzeto s: <https://www.hcphs.hr/files/invazivne-strane-korovne-vrste.pdf> 14.2.2016.)
96. Novak N., Kravarščan M. (2014). Tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) - invasive alien plant species in Croatia. *Glasilo biljne zaštite* 3: 254-261 (in Croatian). (Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/169188> 13.1.2016.)

97. Novak N., Novak M. (2015). Invazivne strane korovne vrste kao prijetnja zaštićenim područjima. In: Marguš D. (ed) Knjiga sažetaka znanstveno-stručnog skupa Vizija i izazovi upravljanja zaštićenim područjima prirode u Republici Hrvatskoj, aktivna zaštita i održivo upravljanje u nacionalnom parku „Krka“, Šibenik, Hrvatska, str. 105-106. (Preuzeto s: <https://www.bib.irb.hr/829872> 18.3.2016.)
98. Novak M., Novak N. (2016). Results of monitoring of invasive alien weed species tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) in the Republic of Croatia. In: Pospišil M., Vnučec, I. (eds) Book of Abstracts 51st Croatian and 11th International Symposium on Agriculture, University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Opatija, Croatia, str. 20-21. (Preuzeto s: http://sa.agr.hr/pdf/2016/impressum_a.pdf 13.5.2016.)
99. Novak M., Novak N. (2017). Distribution of invasive alien species tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) by the croatian counties. Glasilo biljne zaštite 3 (17): 329-337 (in Croatian). Available at: <https://hrcak.srce.hr/189200>
100. Novak N. (2017). Allelopathic potential of segetal and ruderal invasive alien plants, PhD rad, University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Zagreb
101. Novak M., Novak N. (2018). Allelopathic effect of tree of heaven root (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) on the initial growth of the barnyard grass weed species (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.). In: Jug D., Brozović B. (eds) Proceedings and Abstracts 11th International Scientific/professional Conference, Agriculture in Nature and Environment Protection, Agroglas, Vukovar, Croatia, str. 256-257. (Preuzeto s: <http://www.hdpot.hr/images/files/Vukovar%20zbornici/Vukovar%20-%20Zbornik%202018.pdf> 17.6.2018.)
102. Novak N., Novak M., Barić K., Šćepanović M., Ivić D. (2018). Allelopathic potential of segetal and ruderal invasive alien plants. Journal of Central European Agriculture, 19 (2): 389-403. doi: /10.5513/JCEA01/19.2.2116
103. Ostojić Z., Barić K. (1998). Zaštita kukuruza od korova. Gospodarski list 7: 45-52.
104. Pacanoski Z., Velkoska V., Týr, Š., Vereš T. (2014). Allelopathic potential of Jimsonweed (*Datura stramonium* L.) on the early growth of maize (*Zea mays* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Central European Agriculture 15: 198-208. doi:10.5513/JCEA01/15.3.1474.

105. Pan E., Bassuk N. (1986). Establishment and distribution of *Ailanthus altissima* in the urban environment. *Journal of Environmental Horticulture* 41: 1-4 (Preuzeto s: [http://www.hort.cornell.edu/uhi/research/articles/jeh4\(1\).pdf](http://www.hort.cornell.edu/uhi/research/articles/jeh4(1).pdf) 3.5.2016.)
106. Pedersini C., Bergamin M., Aroulmoji M., Baldini S., Picchio R., Gutierrez Pesce P., Ballarin L., Murano E. (2011). Herbicide Activity of Extracts from *Ailanthus altissima* (Siomaroubaceae). *Natural Product Communications*, 6 (5): 593-596. Available at: https://www.researchgate.net/publication/260989398_NPC_Herbicides_Ailantus_2011
107. Pérez-Corona M. E., Paloma D. H., Vazquez de Aldana B. (2013). Allelopathic potential of invasive *Ulmus pumila* on understory plant species. *Allelopathy Journal*, 32: 101-112
108. Petrova A., Vladimirov V., Georgiev V. (2013). Invasive alien species of vascular plants in Bulgaria. Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, str. 1-320. (Preuzeto s: http://www.esenias.org/files/IAS_Plants_Bulgaria_2013_En-1.pdf 18.5.2016.)
109. Pisula N. L., Meiners S. J. (2010). Relative allelopathic potential of invasive plant species in a young disturbed woodland. *Journal of the Torrey Botanical Society* 137 (1): 81-87. (Preuzeto s: https://thekeep.eiu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1014&context=bio_fac 17.6.2016.)
110. Pratley A. M. E., Haig T. (1998). Allelopathy from concept to reality. *Enviromental and Analitical Labaratories and Farrer Centre for Conservation Farming*, Charles Sturt University, Wagga Wagga, str. 1-5. (Preuzeto s: <http://agronomyaustraliaproceedings.org/images/sampled/1998/6/314an.pdf> 18.7.2017.)
111. Pyšek P., Richardson D. M., Rejmánek M., Webster G. L., Williamson M., Kirschner J. (2004). Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon* 53 (1): 131-143. (Preuzeto s: http://www.ibot.cas.cz/personal/pysek/pdf/Terminology_Taxon2004.pdf 14.5.2016.)

112. Pyšek P., Richardson D. M., Pergl J., Jarošík V., Sixtová Z., Weber E. (2008). Geographical and taxonomical biases in invasion ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 23: 237-244. doi:10.1016/j.tree.2008.02.002
113. Putnam A. R., Duke W. B. (1978). Allelopathy in Agroecosystems. *Annual Review of Phytopathology* 16: 431-451. doi.org/10.1146/annurev.py.16.090178.002243
114. Putnam A. R. (1988). Allelochemicals from plants as herbicides. *Weed technology* 2: 510-518. doi: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00032371>
115. Quasem J. R., Foy C. L. (2001). Weed Allelopathy, Its Ecological Impacts and Future Prospects. *Journal of Crop Production* 4 (2): 43-119, DOI: 10.1300/J144v04n02_02
116. Radosevich S., Holt J., Ghera C. (1997): *Weed Ecology*. John Wiley & Sons, New York, str. 1-589
117. Rabensteiner V. J., Neuhold P., Berg C. (2017). Morphological differences between the seedlings and the suckers of *Ailanthus altissima*. *Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark* 147: 57-66 (Preuzeto s: https://www.researchgate.net/profile/Christian_Berg11/publication/321728045_Morphological_differences_between_the_seedlings_and_the_suckers_of_Ailanthus_altissima/links/5a2e93af45851552ae800544/Morphological-differences-between-the-seedlings-and-the-suckers-of-Ailanthus-altissima.pdf 16.8.2018.)
118. Reigosa R. M. J., Pedrol N., González L. (2006). *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications*, Springer, Dordrecht, Netherlands
119. Reigosa R. M. J., Sanchez-Moreiras A., Gonzalez L. (1999). Ecophysiological approach in allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18: 577–608. doi: 10.1080/07352689991309405
120. Reinhardt C, Kraus S., Walker F., Foxcroft L., Robbertse P., Hurle K. (2004). The allelochemical parthenin is sequestered at high level in capitate-sessile trichomes on leaf surfaces of *Parthenium hysterophorus*. In: Nordmeyer, H. (ed) *Proceedings of 22nd German Conference on Weed Biology and Weed Control*. *Journal of Plant Diseases and Protection* XIX, Stuttgart-Hohenheim, Germany, str. 253-261.
121. Rice E. L. (1984). *Allelopathy*, Second Edition. Academic Press Inc., Orlando, Florida, str. 1-422

122. Richardson D. M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M. G., Panetta F. D., West C. J. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions, A Journal of Conservation Biogeography*, 6 (2): 93-107. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
123. Richardson D. M., Rejmánek M. (2011). Trees and shrubs as invasive alien species – a global review. *A Journal of Conservation Biogeography, Diversity and Distribution* 17 (5): 788-809. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x>
124. Ridenour W. M., Callaway R. M. (2001). The relative importance of allelopathy in interference. The effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*, 126: 444-450. doi: 10.1007/s004420000533
125. Xuan T. D., Shinkichi T., Hong N. H., Khanh T. D., Min C. I. (2004). Assessment of phytotoxic action of *Ageratum conyzoides* L. (billy goat weed) on weeds. *Crop Protection* 23: 915-922
126. Saxena D. B. (2002). Utilization of Allelopathy In Weed Management, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi 110 012
127. Schenk H. J. (2006). Root competition: beyond resource depletion. *Journal of Ecology* 94: 725-739. doi: 10.1111/j.1365-2745.2006.01124.x
128. SCOPE - Scientific Committee on Problems of the Environment (Preuzeto s: <http://www.scopenvironment.org/> 17.4.2018.
129. Singh H. P., Batish D. R., Kohli R. K. (2008). Allelopathy in Agroecosystems, *Journal of Crop Production*, 4 (2): 1-41. doi: 10.1300/J144v04n02_01
130. Singh H. P., Batish D. R., Kohli R. K. (2010). Allelopathic Interactions and Allelochemicals: New Possibilities for Sustainable Weed Management. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22 (3-4): 239-311. doi: 10.1080/713610858
131. Sisodia S., Siddiqui M. B. (2010). Allelopathic effect by aqueous extracts of different parts of *Croton bonplandianum* Baill. on some crop and weed plants. *Journal of Agricultural Extention and Rural Development* 2 (1): 22-28. (Preuzeto s: http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1379753642_Sisodia%20and%20Siddiqui.pdf 15.5.2016.)

132. Sladonja B., Pohulja D., Sušek M., Dudaš S. (2014). Herbicidal effect of *Ailanthus altissima* leaves water extracts on *Medicago sativa* seeds germination. In: Book of Abstracts of the 3rd Conference with International Participation Conference VIVUS. Biotechnical Centre Naklo Naklo, Slovenia, str. 476-481. (Preuzeto s: http://bib.irb.hr/datoteka/784172.54-Sladonja-Poljuha-Susek-Dudas-NAKLO_2014.pdf 4.6.2016.)
133. Small C. J., White D. C., Hargbol B. (2010). Allelopathic influences of the invasive *Ailanthus altissima* on a native and a non-native herb. The Journal of the Torrey Botanical Society, 137(4): 366-372. doi: <http://dx.doi.org/10.3159/10-RA-034.1>
134. Stephenson, G. R. (2000). Herbicide use and world food production: Risk and Benefits. In: Legere A. (ed) Book of Abstracts of 3rd International Weed Science Congress. Foz Do Iguassu, Brazil, str. 240-240. (Preuzeto s: <http://www.iwss.info/download/iwsc-2000.pdf> 18.10.2016.)
135. Sušić G., Radek V. (2007). Biodiversity of small ponds of the island of Cres. Beli Eko-centar Caput Insulae, str. 1-132 (in Croatian)
136. Steenhagen D. A., Zimdal R. L. (1979). Allelopaty of leafy spurge (*Euphorbia esula*). Weed Science 27: 1-3
137. Šćepanović M., Novak N., Barić K., Galzina N. (2007). Allelepathic effect of two weed species, *Abutilon theophrasti* Med. and *Datura stramonium* L. on germination and early growth of corn. Agronomski glasnik 6: 459-472 (in Croatian). (Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/26590> 17.5.2016.)
138. Takács A. P., Horváth J., Mikulás J. (2004). Inhibitory effect of *Chelidonium majus* extracts. In: Nordmeyer, H. (ed) Proceedings of 22nd German Conference on Weed Biology and Weed Control. Journal of Plant Diseases and Protection XIX, Stuttgart-Hohenheim, Germany, str. 285-292
139. Tanveer A., Rehman A., Javaid M. M., Abbas R. N., Sibtain M., Ahmad A. U. H., Ibin-i-zamir M. S., Chaudhary K. M., Aziz A. (2010). Allelopathic potential of *Euphorbia helioscopia* L. against wheat (*Triticum aestivum* L.), chickpea (*Cicer arietinum* L.) and lentil (*Lens culinaris* Medic.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry 34: 75-81. doi:10.3906/tar-0903-53
140. Tsao R., Romanchuk F. E., Peterson C. J., Coats J. R. (2002). Plant growth regulatory effect and insecticidal activity of the extracts of the Tree of Heaven

(*Ailanthus altissima* L.). BMC Ecology 2: 1. doi: <https://doi.org/10.1186/1472-6785-2-1>

141. Uddin M. N., Robinson R. W. (2017). Allelopathy and resource competition: the effects of *Phragmites australis* invasion in plant communities. Botanical Studies, 58: 29. doi: 10.1186/s40529-017-0183-9
142. Vrchotová N., Šerá B. (2008). Allelopathic properties of knotweed rhizome extracts. Plant Soil and Environment Journal 54 (7): 301-303. (Preuzeto s: <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/01716.pdf> 8.7.2016.)
143. Vuković N. (2015). Ecogeography of the invasive flora of Croatia. PhD. University of Zagreb, Faculty of science, Division of biology, Zagreb
144. Walker B. H., Steffen W. L. (1999). Interactive and integrated effects of global change on terrestrial ecosystems. In: The terrestrial biosphere and global change implications for natural and managed ecosystems (Walker B., Steffen W., Canadell J., Ingram J., eds). Cambridge University Press, Cambridge, str. 329-375
145. Weber E. (2005). Invasive Plant Species of the World. A Reference Guide to Environmental Weeds, First Edition. CABI Publishing, Oxon, United Kingdom, str. 1-548
146. Weidenhamer J. D., Callway R. M. (2010). Direct and Indirect Effects of Invasive Plants on Soil Chemistry and Ecosystem Function. Journal of Chemical Ecology 36: 59-69. doi: 10.1007/s10886-009-9735-0
147. Weston L. A. (1996). Utilization of Allelopathy for Weed Management in Agroecosystems. Agronomy Journal 88: 860-866. doi: 10.2134/agronj1996.00021962003600060004x
148. Wickert K. L., O'Neal E. S., Davis D. D., Kasson M. T. (2017). Seed Production, Viability, and Reproductive Limits of the Invasive *Ailanthus altissima* (Tree-of-Heaven) within Invaded Environments. Forests 8 (226): 1-12. doi: <https://doi.org/10.3390/f8070226>
149. Wilcove D. S., Rothstein D., Dubow J., Phillips A., Losos E. (1998). Quantifying Threats to Imperiled Species in the United States: Assessing the relative importance of habitat destruction, alien species, pollution, overexploitation, and disease. BioScience 48 (8): 607-615. doi: <https://doi.org/10.2307/1313420>

150. Williamson M., Fitter, A. (1996). The varying success of invaders. *Ecology* 77: 1661-1666. (Preuzeto s: http://wiki.cbr.washington.edu/qerm/sites/qerm/images/c/c2/Williamson_fitter_tensr ule.pdf 12.4.2017.)
151. Willis R. L. (2007). *The History of Allelopathy*. First Edition. Springer Netherlands, str. 1-301. doi: 10.1007/978-1-4020-4093-1
152. Zheng W. J. (1978). *Silviculture of Chinese Trees*. China Agriculture Press, Beijing, China
153. Zeng R. S., Luo S. M., Shi Y. H., Shi M. B., Tu C. Y. (2001). Physiological and Biochemical Mechanism of Allelopathy of Secalonic Acid F on Higher Plants. *Agronomy Journal* (93): 72-79. (Preuzeto s: <https://pdfs.semanticscholar.org/27b6/47999805fd0c3bca4a2ddd48f2a40b1eed5a.pdf> 18.8.2016.)
154. Zimdahl R. L. (1999). *Fundamentals of weed science*, 3ed edition. Academic Press, San Diego, str. 1-689. (Preuzeto s: <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Weed/Fundamentals-of-Weed-Science.pdf> 18.3.2017)

8. ŽIVOTOPIS

Maja Novak rođena je 16. ožujka 1983. u Zagrebu. Osnovnu školu završila je 1998. godine u Velikoj Gorici, gdje i živi. U istom gradu završila je 2002. godine Gimnaziju Velika Gorica - opći smjer. Iste godine upisuje Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, smjer Bilinogojstvo. Prilikom upisa u treću akademsku godinu opredjeljuje se za smjer Zaštita bilja. Diplomirala je 10. prosinca 2008. pod mentorstvom dr. sc. Klare Barić.

Na rođendan 2009. godine zapošljava se za stalno u Zavodu za zaštitu bilja u poljoprivredi i šumarstvu Republike Hrvatske (ZZB) na radnom mjestu stručnog suradnika - ekotoksikologa, gdje radi na ocjeni dokumentacije sredstava za zaštitu bilja iz područja ekotoksikologije. Iste godine na matičnom fakultetu upisuje poslijediplomski studij, na smjeru fitomedicina, pod mentorstvom doc. dr. sc. Klare Barić.

Zavod za zaštitu bilja od 1. srpnja 2009. postaje dio Hrvatskog centra za poljoprivredu, hranu i selo. Tijekom 2010. godine, nakon iznenadnog odlaska u mirovinu dva herbologa iz Zavoda za zaštitu bilja, prvo mr. sc. Lodete i nakon njega mr. sc. Flegara, počinje raditi na ocjeni učinkovitosti herbicidnih sredstava. Iste godine uključena je kao stručni suradnik u Program posebnog nadzora „Invazivne strane korovne vrste u Republici Hrvatskoj” koji je pod pokroviteljstvom Ministarstva poljoprivrede proveden 2007.-2014., te u Izvještajno-prognoznim poslovima u Republici Hrvatskoj, koje radi i danas.

Novom sistematizacijom 2012. godine u Hrvatskom centru za poljoprivredu, hranu i selo, koji tada vodi ravnateljica dr. sc. Tatjana Masten Milek, postaje viši stručni savjetnik – dijagnostičar u Laboratoriju za herbologiju.

Od 2009. do danas radi na ocjenjivanju dokumentacije sredstava za zaštitu bilja iz područja ekotoksikologije, a od 2010. na ocjenjivanju dokumentacije iz područja učinkovitosti herbicidnih sredstava te svih ostalih poslova koji se odnose na područje rada herbologije. Trenutno je uključena u provođenje herbološkog dijela projekta „Monitoring rezistentnosti štetnih organizama na sredstva za zaštitu bilja“. Kao autor ili koautor, objavila je 3 znanstvena rada, jedan a1 i dva a2, usko vezana uz temu disertacije.

Popis objavljenih znanstvenih i stručnih radova te sudjelovanja na skupovima:

Znanstveni radovi:

Novak N., **Novak M.**, Barić K., Šćepanović M., Ivić D. (2018). Allelopathic potential of segetal and ruderal invasive alien plants. *Journal of Central European Agriculture*, 19 (2): 389-403. doi: /10.5513/JCEA01/19.2.2116

Novak M., Novak N. (2017). Rasprostranjenost invazivne strane vrste pajasena (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) po županijama Republike Hrvatske. *Glasilo biljne zaštite* 3: 329-337

Novak N., **Kravarščan M.** (2014). Pajasen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) – strana invazivna biljna vrsta u Hrvatskoj. *Glasilo biljne zaštite* 3: 254-261

Stručni radovi:

Novak, N., **Novak M.** (2018). Razlike u invazivnosti nekih stranih biljnih vrsta između kontinentalnog i obalnog dijela Hrvatske. *Poljoprivreda* 24 (2): 63-69. doi: 10.18047/poljo.24.2.9

Novak N., **Novak M.** (2017). Invazivne strane korovne vrste kao prijetnja zaštićenim područjima. In: Marguš D. (ed) Zbornik radova Znanstveno-stručni skup Vizija i izazovi upravljanja zaštićenim područjima prirode u Republici Hrvatskoj, Nacionalni park Krka, Šibenik, Hrvatska, str. 833-842

Novak M., Novak N. (2016). Suzbijanje korova u rajčici. *Glasilo biljne zaštite* 5: 521-523

Lodeta V., Novak N., **Kravarščan M.** (2010). Tree of Heaven (*Ailanthus altissima*) – Establishment and invasion in Croatia. In: EPPO Secretariat (ed) Proceedings of 2nd International Workshop on Invasive Plants in the Mediterranean Type Regions of the World, Trabzon, Turska, str. 350-352.

Sudjelovanja na skupovima:

Novak M., Novak N. (2018). Allelopathic effect of tree of heaven root (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) on the initial growth of the barnyard grass weed species (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.). In: Jug D., Brozović B. (eds) Proceedings and Abstracts 11th International Scientific/professional Conference, Agriculture in Nature and Environment Protection, Agroglas, Vukovar, Croatia, str. 256-257

Novak N., **Novak M.**, (2017). The differences in the invasiveness of some alien plant species between continental and coastal part of Croatia. In: Maguas C., Crous C., Costa C. (eds) Book of abstracts of Ecology and Management of Alien Plant, Lisboa, Portugal, str. 163

Novak M., Novak N. (2016). Rezultati monitoringa invazivne strane vrste pajasen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) u Republici Hrvatskoj. In: Pospíšil M., Vnučec, I. (eds) Book of Abstracts 51st Croatian and 11th International Symposium on Agriculture, University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Opatija, Croatia, str. 20-21

Novak N., **Novak M.** (2016). Alelopatski utjecaj invazivnih vrsta *Ambrosia artemisiifolia* L. i *Solidago gigantea* Aiton na rast test-vrsta. In: Pospíšil M., Vnučec, I. (eds) Book of

Abstracts 51st Croatian and 11th International Symposium on Agriculture, University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Opatija, Croatia, str. 22-23

Novak N., **Novak M.** (2015). Invazivne strane korovne vrste kao prijetnja zaštićenim područjima. In: Marguš D. (ed) Knjiga sažetaka znanstveno-stručnog skupa Vizija i izazovi upravljanja zaštićenim područjima prirode u Republici Hrvatskoj, aktivna zaštita i održivo upravljanje u nacionalnom parku „Krka“, Šibenik, Hrvatska, str. 105-106

Novak N., **Kravarščan M.** (2013). Pajasen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) – invazivna biljna vrsta u Hrvatskoj. In: Cvjetković B. (ed) Knjiga sažetaka 57. seminara biljne zaštite, Opatija, Hrvatska, str. 56-57

Novak N., Lodeta V., **Kravarščan M.** (2011). Invazivne strane korovne vrste u Hrvatskoj. In: Cvjetković B. (ed) Knjiga sažetaka 55. seminara biljne zaštite, Opatija, Hrvatska, str. 35

Novak N., Lodeta V., **Kravarščan M.** (2011). Japanese knotweed (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.) – colonization in Croatia. In: Knjiga sažetaka 21th COLUMA Conference, International Meeting on Weed Control, Dijon, Francuska, str. 58