

***Ailanthus altissima*: invazivna vrsta u savremenim ekosistemima**

Aleksandra Savić

Institut za zaštitu bilja i životnu sredinu
Teodora Drajzera 9, 11070 Beograd, Srbija
e-mail: aleksandra.m.savic@gmail.com

Izvod

Ailanthus altissima je invazivna drvenasta vrsta poreklom iz Kine i severnog Vijetnama, koja se proširila na sve kontinente osim Antarktiku. Zbog brzog rasta, intenzivne vegetativne i generativne reprodukcije, kao i otpornosti na nepovoljne uslove, predstavlja ozbiljan ekološki i ekonomski problem. Širenje ove vrste ugrožava prirodna staništa istiskivanjem autohtonih vrsta i narušavanjem ekološke ravnoteže, dok u urbanim sredinama može izazvati infrastrukturne štete. Suzbijanje otežava sposobnost regeneracije putem korenovih izdanaka i velika produkcija semena koje vetar može raspršiti na velike udaljenosti. Trenutni pristupi suzbijanju uglavnom se oslanjaju na hemijske tretmane ubrizgavanjem herbicida u stablo, ali nijedan od njih nije u potpunosti efikasan. Mehaničko uklanjanje se takođe primenjuje ali često dovodi do još intenzivnijeg rasta. Istraživanja bioloških metoda kontrole, uključujući upotrebu specijalizovanih patogenih i herbivora još uvek nisu dala konačne rezultate. S obzirom na negativne ekološke i ekonomske posledice, neophodno je kontinuirano praćenje populacija ove vrste i sprovođenje integrisanih mera suzbijanja. Efikasna strategija kontrole zahteva kombinaciju hemijskih, mehaničkih i bioloških metoda uz podizanje svesti javnosti o značaju pravovremenog reagovanja u cilju ograničavanja njenog daljeg širenja.

Ključne reči: *Ailanthus altissima*, invazivne vrste, ekološki uticaj, suzbijanje.

Poreklo i globalna distribucija *Ailanthus altissima*

Ailanthus altissima (Mill.) Swingle – pajasen ili kiselo drvo, pripada porodici Simaroubaceae i poreklom je iz severoistočnih i centralnih delova Kine, kao i sa Tajvana i Korejskog poluostrva (Kowarik and Säumel, 2007). Introdukcija ove vrste započela je još tokom 18. veka, kada je seme preneto u Evropu sa ciljem njegovog uzgajanja kao ukrasne biljke. Prvi zvanični zapisi o njenom unošenju u Evropu potiču iz 1740-ih godina, kada je seme doneseno u Pariz tokom kontinentalne ekspedicije kroz Sibir (Sladonja et al., 2015). Ova vrsta je potom prvi put zasađena u Londonu 1751. godine, dok se u Parizu intenzivnije koristi od 1875. godine, naročito kao alternativa platanima za ozelenjavanje gradskih ulica i javnih površina (DAISIE, 2014). U Severnoj Americi, *A. altissima* se pojavila krajem 18. veka, kada je uvedena kao ukrasno drvo koje je prvobitno sađeno u urbanim sredinama, ali se vrlo brzo proširila širom kontinenta, naročito u državama poput Pensilvanije, Ohaja, Viskonsina i Nebraske (Rebeck et al., 2017). Zahvaljujući svojoj sposobnosti brzog rasta i prilagodljivosti, danas je ova vrsta široko rasprostranjena ne samo u Evropi i Severnoj Americi, već i u drugim delovima sveta, uključujući Aziju, Južnu Ameriku, Australiju i Afriku.

Osim prirodne kolonizacije, ova vrsta se u nekim regionima uzgaja na plantažama zbog visokog sadržaja celuloze, a plantažni uzgoj je prisutan u Austriji, istočnoj Evropi, Argentini, Urugvaju, Indiji i na Novom Zelandu (DAISIE, 2014). Pored industrijske eksploatacije, *A. altissima* se u prošlosti koristila za ozelenjavanje industrijskih područja i urbanih sredina sa visokim stepenom zagađenja vazduha, jer pokazuje visoku toleranciju na aerozagađenje i nepovoljne ekološke uslove (Rebbeck et al., 2017). Njena sposobnost prilagođavanja različitim klimatskim uslovima i tipovima zemljišta omogućila joj je izuzetno brzo širenje izvan prirodnog areala. U Evropu je prvobitno uneta sredinom 18. veka pre svega u dekorativne svrhe, ali se ubrzo pokazala kao izrazito invazivna vrsta, koja je u mnogim regionima postala dominantna u odnosu na autohtonu vegetaciju (Sladonja et al., 2015). Danas je prisutna u različitim klimatskim zonama, ali je njena najveća zastupljenost zabeležena u toplijim delovima umerene zone gde uspešno kolonizuje degradirana i antropogeno narušena staništa (Kowarik and Säumel, 2007). Njena otpornost na ekstremne urbane uslove, kao i sposobnost da raste na različitim tipovima zemljišta, dodatno olakšavaju njen ekspanzivni rast i uspešnu adaptaciju na nove ekosisteme (Di Cocco et al., 2024). Jedan od ključnih faktora koji doprinose invazivnom uspehu *A. altissima* jeste njena izuzetna ekološka plastičnost i sposobnost brzog kolonizovanja antropogeno narušenih staništa (Petruzzellis et al., 2019). Ova vrsta se često može pronaći duž saobraćajnica, u urbanim sredinama, na napuštenim poljoprivrednim parcelama, ali i na degradiranim zemljištima gde brzo formira guste zasade koji otežavaju rast drugih biljnih vrsta (Casella and Vurro, 2013). Njeno prisustvo predstavlja ozbiljan problem u gradovima, gde njen snažan korenski sistem može izazvati značajne infrastrukturne štete, uključujući pucanje betonskih površina, destabilizaciju temelja objekata i narušavanje drenažnih sistema, što može dovesti do dodatnih ekonomskih troškova za sanaciju i održavanje urbanih područja (Casella and Vurro, 2013). Osim ekoloških i infrastrukturnih posledica, *A. altissima* može imati i negativne efekte na ljudsko zdravlje. Poznato je da njen polen izaziva alergijske reakcije kod osoba koje su osetljive na aeroalergene, dok kontakt sa njenim listovima može izazvati dermatološke iritacije, poput crvenila i osipa (Ballero et al., 2003). Ovi aspekti dodatno doprinose njenom statusu problematične invazivne vrste, posebno u urbanim i prigradskim sredinama, gde može predstavljati rizik ne samo za ekosistem, već i za stanovništvo. Suzbijanje i eliminacija *A. altissima* predstavljaju ozbiljan izazov za ekološke stručnjake i upravljače zelenim površinama, s obzirom na njenu izuzetnu sposobnost brzog širenja i regeneracije (Giunti et al., 2010). Pored visokog semenskog potencijala, ova biljka se efikasno razmnožava vegetativnim putem, razvijajući snažne bočne korene koji omogućavaju formiranje novih stabala čak i nakon mehaničkog uklanjanja matičnog drveta (Giunti et al., 2010). Njena invazivna prednost dodatno je pojačana alelopatskim efektima; izlučuje hemijske supstance u okolno zemljište koje inhibiraju klijanje i rast autohtonih biljnih vrsta, čime efikasno dominira nad konkurentskim vrstama u ekosistemima koje kolonizuje (Rebbeck et al., 2017).

Invazivne vrste predstavljaju jedan od glavnih izazova u očuvanju biodiverziteta i stabilnosti ekosistema, a pravovremena i tačna informacija o njihovom rasprostranjenju, dinamici širenja, biološkim karakteristikama i uticaju na lokalne vrste i staništa ključna je za prepoznavanje problema i preduzimanje adekvatnih mera upravljanja (Kovarik and Säumel, 2007). S obzirom na invazivni karakter ove vrste i njene ozbiljne ekološke, ekonomske i zdravstvene posledice, od suštinskog je značaja objediniti i sistematski predstaviti dostupna saznanja o ovoj vrsti. Ovaj rad ima za cilj da pruži sveobuhvatan pregled osnovnih bioloških i ekoloških karakteristika ove vrste, njenih mehanizama širenja, kao i negativnih posledica koje izaziva u prirodnim i antropogenim sredinama. Poseban akcenat stavljen je na strategije suzbijanja, uključujući mehaničke, hemijske i biološke metode kontrole, kao i na mogućnosti primene integrisanog pristupa u upravljanju njenim populacijama.

Biologija i ekologija *Ailanthus altissima*

Ailanthus altissima odlikuje se izuzetno brzim rastom, pri čemu, u zavisnosti od ekoloških uslova staništa, može dostići visinu u rasponu od 18 do čak 30 metara. Maksimalni životni vek ove vrste procenjuje se na približno 130 godina, iako se u prirodnim populacijama retko beleže primerci stariji od 50 godina (Davies, 1943). Ova činjenica sugerise da različiti ekološki i antropogeni faktori značajno utiču na dugovečnost ove biljke, što dodatno naglašava kompleksnost njenog životnog ciklusa i adaptivnih strategija (Miller, 1990). Listovi su neparno perasto složeni i mogu dostići dužinu između 30 i 100 cm. Svaki listić poseduje specifične žlezdaste zupce pri osnovi, što predstavlja jedan od ključnih taksonomskih karakterakoji omogućavaju preciznu identifikaciju i diferencijaciju ove vrste u odnosu na srodne biljke (Davies, 1943). Cvetovi *A. altissima* variraju u boji, pri čemu se nijanse kreću od blede žućkaste do crvenkaste, a grupisani su u terminalne cvasti, koje postaju naročito uočljive tokom perioda intenzivnog cvetanja. Plod ove biljke je samar, čija boja može varirati od svetlo žućkaste do intenzivno crvene. Njegove morfometrijske osobine, uključujući veličinu, masu i debljinu perikarpa, u velikoj meri zavise od ekoloških faktora specifičnih za stanište u kojem se biljka razvija (Kovarik and Säumel, 2007). Jedno odraslo drvo može proizvesti i do 300 000 semena tokom jedne vegetacione sezone, što ovoj vrsti osigurava visok potencijal za brzo širenje populacije i kolonizaciju novih staništa. Ova vrsta uspeva na širokom spektru zemljišnih tipova, od ekstremno siromašnih i stenovitih supstrata do bogatih aluvijalnih tala, pokazujući izuzetnu toleranciju na različite hemijske karakteristike zemljišta, uključujući visok stepen alkalnosti i prisustvo soli (Kovarik and Säumel, 2007). Pored prilagodljivosti različitim pedološkim uslovima, *A. altissima* pokazuje izuzetnu otpornost na nepovoljne faktore životne sredine, uključujući produžene periode suše, značajne nivoe zagađenja vazduha i zemljišta, kao i niske koncentracije esencijalnih hranljivih materija (Sladonja et al., 2015). Ova sposobnost joj omogućava da opstane čak i u ekstremno nepovoljnim

uslovima u kojima većina drugih biljnih vrsta ne može preživeti (Sladonja et al., 2015). Seme ove vrste odlikuje se visokom klijavošću koja se kreće u rasponu od 64% do čak 98%. Međutim, njegova održivost značajno opada tokom vremena, nakon godinu dana skladištenja prosečna stopa klijanja smanjuje se na približno 75%, dok nakon dve godine dostiže svega 60% (Sladonja et al., 2015). Za razliku od nekih drugih invazivnih biljaka, *A. altissima* skladišti seme koje ostaje održivo samo ograničen vremenski period u zemljištu. Istraživanja ukazuju da se stopa klijanja semena koje je bilo inkubirano u sloju hrastovog lišća tokom petogodišnjeg perioda drastično smanjuje na svega 1,9%, dok se seme skladišteno u mineralnom zemljištu pokazalo značajno otpornijim, zadržavajući prosečnu stopu klijanja od približno 75% (Rebbeck and Jolliff, 2018). Među različitim ekološkim faktorima koji utiču na klijavost semena, temperatura se izdvaja kao jedan od najvažnijih. Istraživanja pokazuju da viši temperaturni raspon pozitivno utiče na proces klijanja, dok prisustvo svetlosti, iako može imati određenu ulogu, nije presudan faktor za uspešno klijanje (Pepe et al., 2020). Optimalni temperaturni raspon za klijanje semena kreće se u intervalu od 25/30°C, pri čemu se na temperaturi 30/20°C postiže značajno viša stopa klijanja u poređenju sa nižim temperaturnim rasponima, poput 15/6°C (Soler and Izquierdo, 2024). Biološki proces disperzije igra ključnu ulogu u dugoročnom opstanku i širenju biljnih vrsta, jer omogućava reproduktivnim strukturama biljaka da se prenesu na udaljenije lokacije od matičnih jedinki, čime se smanjuje kompeticija i otvaraju nove mogućnosti za kolonizaciju staništa. Iako bi se moglo pretpostaviti da je udaljenost koju seme može preći proporcionalna njegovoj masi, istraživanja pokazuju da je ovaj faktor manje značajan u poređenju sa visinom biljke i specifičnim morfološkim adaptacijama koje omogućavaju efikasnu disperziju u različitim ekološkim uslovima (Kovarik and Säumel, 2008). Kod *A. altissima*, primarna disperzija odvija se putem vetra, dok sekundarni mehanizmi uključuju vodu i transport od strane životinja, kao što su ptice i mravi (Bossard et al., 1957; Kaproth and McGraw, 2008; Planchuelo et al., 2016; Thomson et al., 2011). Vetar, kao glavni abiotski faktor u procesu širenja semena, igra dominantnu ulogu u prostornom rasporedu populacija ove vrste (Soler and Izquierdo, 2024). Plodovi samare poseduju specifičnu morfološku strukturu koja im omogućava efikasan transport vetrom na velike udaljenosti. Zahvaljujući maloj masi seme može biti nošeno vazдушnim strujama i preći razdaljine i do 200 metara od matične biljke (Kota, 2024). Pored generativnog načina razmnožavanja, vegetativno razmnožavanje ima veliki značaj u dugoročnom opstanku i širenju *A. altissima*, omogućavajući ovoj vrsti da brzo zauzima nove prostore i ostvaruje kompetitivnu prednost nad autohtonim vrstama u degradiranim ekosistemima (Miller, 1990). Jedan od najznačajnijih aspekata vegetativnog razmnožavanja jeste sposobnost biljke da razvija nove izdanke iz korena, čime se formiraju guste populacije koje dodatno olakšavaju kolonizaciju i stabilizaciju na osvojenim staništima (Miller, 1990). Ovaj oblik razmnožavanja omogućava biljci da preživi čak i kada su nadzemni delovi oštećeni ili uklonjeni, čime se dodatno povećava njena invazivnost i otpornost (Miller, 1990).

Genetička varijabilnost

Ailanthus altissima je tetraploidna vrsta sa brojem hromozoma $2n = 64$ (Ivanova et al., 2006), čija genetska varijabilnost među populacijama predstavlja ključni faktor u njenoj sposobnosti prilagođavanja različitim ekološkim uslovima. Proučavanje izoenzimskih frekvencija unutar sekundarnog raspona ove vrste omogućilo je precizniju analizu genetske strukture populacija i istaklo značajne razlike u osobinama semena i visini stabala između različitih geografskih područja (Feret et al., 1974). Ove razlike, koje su prvobitno uočene u okviru severnoameričkih populacija, sugerišu postojanje selektivnih pritisaka koji su oblikovali morfološke i fiziološke karakteristike vrste u invazivnom arealu (Feret et al., 1974). Jedan od najuočljivijih obrazaca varijabilnosti odnosi se na širinu semena i ukupnu biomasu biljaka, koji se menjaju u zavisnosti od geografske širine. Na severu kontinenta, populacije proizvode šire i teže seme u poređenju sa južnijim populacijama, što može predstavljati adaptivni odgovor na specifične uslove klime i dostupnosti resursa (Feret et al., 1974). Istovremeno, istraživanja su pokazala da stabla u zapadnim delovima Severne Amerike, posebno u Kaliforniji, dostižu veću visinu od onih u istočnim regionima, što može ukazivati na razlike u ekološkim faktorima poput količine padavina, tipa zemljišta i konkurencije sa drugim vrstama (Feret et al., 1974). Zanimljivo je da, uprkos ovim varijacijama, analiza nije pokazala jasnu povezanost između specifičnih klimatskih parametara i uočenih morfoloških osobina, što otvara mogućnost da unutrašnji genetski faktori imaju dominantnu ulogu u regulaciji ovih karakteristika (Feret et al., 1974). Uporedna analiza populacija iz Severne Amerike i Kine pružila je dodatne dokaze o značajnim fenotipskim razlikama između ove dve provenijencije. Konkretno, od ukupno 14 ispitivanih osobina rasta 11 je pokazalo značajne varijacije, pri čemu su invazivne populacije u Severnoj Americi imale izraženiju tendenciju ka većoj visini stabala i smanjenoj alokaciji biomase u korenov sistem (Feret and Bryant, 1974). Ovaj obrazac rasta sugerise da su jedinke u novom arealu evoluirale tako da favorizuju strategije brzog rasta i kompetitivne dominacije, što im omogućava efikasnije zauzimanje prostora i nadmetanje sa autohtonim vrstama (Feret and Bryant, 1974). Osim toga, severnoameričke populacije imaju veće listove u odnosu na kineske, što može doprineti većoj fotosintetskoj efikasnosti i ubrzanom metabolizmu biljaka u invazivnom području (Feret and Bryant, 1974). Uprkos činjenici da su severnoameričke populacije najverovatnije potekle iz ograničenog broja početnih unosa semena, nije uočen negativan efekat smanjenja biološke sposobnosti. Ovaj nalaz sugerise da je genetska raznovrsnost u novom arealu ostala na relativno visokom nivou, što je ključno za dugoročnu uspešnost invazivnih populacija (Feret and Bryant, 1974). Pored toga, analiza učestalosti izoenzima između kineskih i severnoameričkih populacija pokazala je izuzetnu sličnost, što ukazuje da nije došlo do značajnog gubitka genetičke varijabilnosti tokom kolonizacije novog staništa. Umesto toga, primećene morfološke promene mogu se objasniti delovanjem selektivnih pritisaka koji su favorizovali određene genotipove sa bržim rastom i većom kompetitivnošću u odnosu na autohtone biljke

(Feret and Bryant, 1974). Feret and Bryant (1974) zaključuju da su, tokom perioda od približno 200 godina od prve introdukcije *A. altissima* u Severnu Ameriku, značajne promene u genetskoj strukturi populacija nastale kao rezultat selekcije jedinki sa najpovoljnijim karakteristikama rasta. Ove promene su verovatno bile podstaknute ljudskim faktorima, s obzirom na to da su biljke sa izraženim poželjnim osobinama, poput bržeg rasta i veće visine, bile češće korišćene za dalje razmnožavanje, čime su dodatno učvršćene selektivne prednosti u invazivnim populacijama (Feret and Bryant, 1974). Dugotrajna studija koja je obuhvatila desetogodišnje ispitivanje semenskih izvora dodatno je potvrdila da među različitim provenijencijama postoji značajna varijabilnost u stopama mortaliteta i ključnim osobinama rasta. Ove razlike sugerišu da je adaptacija *A. altissima* u novim staništima rezultat složene interakcije genetskih i ekoloških faktora, pri čemu oba aspekta imaju ključnu ulogu u oblikovanju fenotipskih osobina biljaka (Feret, 1985). Iako invazivne populacije pokazuju izuzetnu sposobnost prilagođavanja različitim uslovima staništa, ostaje otvoreno pitanje u kojoj meri su ove promene rezultat prirodne selekcije, a u kojoj meri ljudskog uticaja kroz svesno ili nesvesno favorizovanje pojedinih genotipova (Feret, 1985). U kontekstu globalnih promena životne sredine i sve većeg širenja invazivnih vrsta, razumevanje genetskih mehanizama adaptacije *A. altissima* može imati šire implikacije za ekologiju i evoluciju invazivnih biljaka. Nastavak istraživanja u ovoj oblasti mogao bi pružiti dublji uvid u procese koji omogućavaju brzu kolonizaciju novih ekosistema, kao i u potencijalne strategije za upravljanje populacijama ove vrste u područjima gde predstavlja ekološki i ekonomski izazov.

Ekološka fleksibilnost i invazivni potencijal *Ailanthus altissima*

Izuzetna ekološka prilagodljivost *A. altissima* u kombinaciji sa njenom sposobnošću brzog širenja i efikasne adaptacije na heterogene ekološke uslove, omogućava joj da se uspostavi kao dominantna invazivna vrsta u širokom spektru ekosistema na globalnom nivou (Di Cocco et al., 2024). Ova vrsta ne samo da uspešno kolonizuje degradirane ekosisteme, već i pokazuje visoku otpornost na širok spektar stresnih faktora sredine, uključujući dugotrajne periode suše, intenzivno aerozagađenje, kontaminaciju zemljišta te ekstremno siromašne pedološke uslove, što je čini posebno kompetitivnom u odnosu na autohtone biljne vrste (Knüsel et al., 2019). Na taj način, ne samo da se efikasno takmiči sa autohtonim vrstama, već ih u mnogim slučajevima nadmašuje i potiskuje, čime dolazi do značajnog smanjenja biodiverziteta i promene strukturne dinamike zaraženih ekosistema (Sladonja et al., 2015). Osim što pokazuje izuzetnu toleranciju na različite tipove zemljišta i može opstati čak i u pedološkim uslovima sa ekstremno niskim sadržajem hranljivih materija, ova vrsta ne pokazuje značajan gubitak vitalnosti niti redukciju biološke aktivnosti, što joj omogućava formiranje stabilnih i samoodrživih kolonija ne samo na neplodnim i erodiranim terenima, već i na bogatim aluvijalnim zemljištima, gde uspešno konkuriše

autohtonu flori (Sladonja et al., 2015). Iako je sposobna da preživi i u ekstremnim sušnim uslovima preferira peskovita i dobro drenirana zemljišta, dok pokazuje značajno smanjenu otpornost na dugotrajnu izloženost visokim nivoima vlage, što može limitirati njenu distribuciju u močvarnim i periodično plavljenim područjima. Ova vrsta je izuzetno tolerantna na širok raspon pH vrednosti zemljišta, pri čemu uspeva na blago kiselim, neutralnim i umerenim alkalnim supstratima, dok može podneti prisustvo soli do koncentracije od 0,6%, što je značajno viša granica u poređenju sa mnogim drugim drvenastim vrstama invazivnog karaktera (Medina-Villar et al., 2016; DAISIE, 2014). U svom autohtonom arealu, naročito u severoistočnim oblastima Kine, *A. altissima* je pokazala sposobnost da podnese ekstremno niske temperature do -35°C, dok se na lesnim visoravnima i u planinskim predelima sa dominantnim krečnjačkim supstratima ponaša kao tipična pionirska vrsta, koja efikasno kolonizuje otvorene prostore, doprinosi stabilizaciji supstrata i menja sukcesijske procese unutar ekosistema (Rebbeck et al., 2017). Jedan od ključnih mehanizama koji značajno doprinosi invazivnom potencijalu ove vrste jeste sposobnost aseksualne reprodukcije, što joj omogućava brzo prostorno širenje i efikasno zauzimanje novih staništa (Chuman et al., 2015). Vegetativni izdanci koji se razvijaju iz korenovog sistema mogu formirati guste i dugovečne populacije, koje ne samo da stvaraju senku i značajno smanjuju dostupnost svetlosti drugim biljkama, već i aktivno inhibiraju njihovu regeneraciju kroz fizičku i alelopatsku interakciju sa okolinom (Chuman et al., 2015). Ova osobina daje *A. altissima* značajnu kompetitivnu prednost u odnosu na autohtone biljne vrste, omogućavajući joj da rapidno formira dominantne populacije koje dugoročno menjaju strukturnu i funkcionalnu dinamiku ekosistema (Miller, 1990). Kada su nadzemni delovi biljke oštećeni usled prirodnih faktora, poput požara, jakih vetrova ili mehaničkih oštećenja izazvanih ljudskom aktivnošću, biljka pokazuje izuzetno brzu regenerativnu sposobnost zahvaljujući svom snažno razvijenom korenovom sistemu, koji omogućava gotovo momentalnu obnovu jedinke (Miller, 1990; Sladonja et al., 2015). Ovaj proces regeneracije omogućava biljci ne samo da preživi u nepovoljnim uslovima gde bi mnoge druge vrste imale poteškoća sa dugoročnim opstankom, već i da osigura kontinuiranu prisutnost u zaraženim ekosistemima, čime dodatno doprinosi njenom invazivnom statusu. Novi izdanci koji nastaju iz korenovog sistema i panjeva ubrzano prerastaju u odrasle jedinke, čime se ubrzava zauzimanje novih prostora i širenje u različitim staništima (Miller, 1990; Sladonja et al., 2015). Morfološke karakteristike listova kod novih izdanaka pokazuju značajnu varijabilnost u zavisnosti od toga da li su izdanci proistekli iz korenskih klica ili iz semenki (Hu, 1979; Kovarik and Säumel, 2007). Izdanci koji potiču iz korena često pokazuju širok spektar fenotipske varijabilnosti, uključujući jednostavne listove i perasto složene listove sa pet listića. Za razliku od toga, izdanci razvijeni iz semena u najvećem broju slučajeva formiraju listove sa tri listića. Ovakve morfološke razlike najčešće se javljaju kod mladih izdanaka, dok odrasle biljke tipično razvijaju perasto složene listove sa znatno većim brojem listova (Hu, 1979; Kovarik and Säumel, 2007). Ova morfološka varijabilnost može predstavljati ključni indikator ekološke adaptabilnosti koju *A. altissima*

ostvaruje u različitim stanišnim uslovima. Na primer, u aridnim oblastima biljke sa jednostavnijim listovima mogu imati povećanu sposobnost zadržavanja vode usled smanjene transpiracione površine, što predstavlja adaptivni mehanizam koji doprinosi povećanoj toleranciji na deficit vlažnosti u pedosferi (Hu, 1979; Kovarik and Säumel, 2007). Suprotno tome, u vlažnijim staništima, gde je dostupnost vode veća i evapotranspiracija nije ograničavajući faktor, prisustvo složenijih listova može doprineti optimizaciji fotosintetske efikasnosti i ubrzanju vegetativnog rasta, što dodatno povećava kompetitivni potencijal ove vrste u takvim ekološkim uslovima (Hu, 1979; Kovarik and Säumel, 2007).

Alelopatski potencijal

Ailanthus altissima predstavlja jednu od najinvazivnijih biljnih vrsta u svetu, a njegova sposobnost širenja i dominacije u različitim ekosistemima u velikoj meri se oslanja na proizvodnju širokog spektra bioaktivnih jedinjenja (Heisey, 1990). Ove hemijske supstance omogućavaju mu ne samo efikasnu odbranu od biljojeda i patogena, već i izražen alelopatski efekat koji negativno utiče na rast i razvoj drugih biljaka koje se nalaze u njegovoj blizini (Lawrence et al., 1991). Ova osobina čini ga veoma uspešnim u kolonizaciji novih područja i potiskivanju autohtone vegetacije, čime menja ekološku ravnotežu u ekosistemima u koje je unet. Među ključnim jedinjenjima koja doprinose ovom procesu posebno se izdvaja ailanton, poznat po svojoj visokoj fitotoksičnosti i snažnom uticaju na mnoge biljne vrste (Mergen, 1959; Heisey, 1990, 1996; Lawrence et al., 1991). Najveće koncentracije ailantona prisutne su u kori korena, odakle se ova supstanca oslobađa u okolno zemljište putem korenovih izlučevina. Ovaj mehanizam omogućava *A. altissima* da značajno utiče na vegetaciju u svojoj neposrednoj okolini, stvarajući nepovoljne uslove za klijanje i rast drugih biljnih vrsta (Heisei, 1996). Alelopatske supstance koje luči mogu delovati direktno na semena i sadnice drugih biljaka, smanjujući njihovu klijavost, brzinu rasta i sposobnost usvajanja hranljivih materija iz zemljišta. Prema istraživanju koje je sproveo Heisei (1996), ailanton je identifikovan kao najefikasnija fitotoksična komponenta ove biljke. Eksperimentalni podaci pokazali su da čak i pri relativno niskim koncentracijama, poput 0,7 ml/L, ailanton može izazvati inhibiciju rasta korenovog sistema za 50% kod osetljivih biljnih vrsta (Thompson, 2008). Takvi rezultati naglašavaju značajnu kompetitivnu prednost ove vrste u odnosu na druge biljke, jer sprečava njihovu regeneraciju i održava dominaciju na osvojenim područjima. Osim hemijskog uticaja, *A. altissima* može prouzrokovati i promene u fizičko-hemijskim karakteristikama zemljišta, što dodatno otežava rast drugih biljnih vrsta u njegovom okruženju. Istraživanja su pokazala da ova vrsta može značajno uticati na pH vrednost zemljišta, često ga čineći kiselijim, što negativno utiče na biljke koje preferiraju neutralne ili alkalne uslove (Hu, 1979; Kovarik and Säumel, 2007). Povećana kiselost tla može ometati usvajanje esencijalnih hranljivih elemenata kod biljaka koje nisu tolerantne na ovakve promene. Takođe, smanjuje dostupnost ključnih hranljivih materija, uključujući azot

i fosfor, čime se stvaraju dodatno nepovoljni uslovi za rast ne samo biljaka već i mikroorganizama u tlu koji zavise od ovih resursa (Hu, 1979; Kovarik and Säumel, 2007). Ova degradacija kvaliteta zemljišta dovodi do dugoročnih promena u biljnim zajednicama, smanjujući biodiverzitet i menjajući ekosistemsku dinamiku. Terenska istraživanja su potvrdila da alelopatske supstance koje oslobađa *A. altissima* mogu značajno inhibirati rast biljaka u njegovoj neposrednoj okolini (Lawrence, 1991). Međutim, rezultati studija koje su se bavile fenomenom autotoksičnosti ove vrste su neujednačeni. Dok su neki eksperimenti pokazali da zalivanje sadnica ekstraktom lista *A. altissima* dovodi do slabijeg rasta, istraživanje Heisei (1996) nije zabeležilo nikakve negativne efekte na sadnice koje su tretirane aiantonom. Ove razlike mogu biti posledica varijabilnosti u sastavu i koncentraciji bioaktivnih jedinjenja, koji zavise od faktora kao što su starost biljke, godišnje doba ili specifični uslovi životne sredine. Moguće je i da različiti delovi biljke proizvode različite kombinacije hemijskih jedinjenja što dodatno komplikuje tumačenje njihovog uticaja na biljni svet. Brojna naučna istraživanja potvrdila su da ekstrakti korena, stabla i lišća *A. altissima* mogu značajno inhibirati klijanje i rast različitih biljnih vrsta u eksperimentima izvedenim u kontrolisanim uslovima staklenika i biotestova (Mergen, 1959; Voigt and Mergen, 1962; Heisei, 1990; De Feo et al., 2003). Hemijske analize su otkrile prisustvo različitih metabolita u tkivima ove biljke (Ogura et al., 1977). Među najzastupljenijim jedinjenjima izdvajaju se β -karbolini, katin-6-on alkaloidi, kumarini i kvasinoidi. Njihova biološka uloga može uključivati ne samo alelopatske efekte već i zaštitu biljke od biljojeda i patogena, čime se dodatno osigurava njena uspešnost u invaziji novih staništa. Najveće koncentracije toksičnih jedinjenja pronađene su u korenu biljke, dok su umereni nivoi prisutni u mladim izdancima (Heisei, 1990; Lawrence et al., 1991). Suprotno tome, najmanja količina ovih supstanci zabeležena je u drvetu, kori stabla i sitnim cvastima. Interesantno je da toksičnost listova varira u zavisnosti od godišnjeg doba, kako listovi stare, njihova fitotoksičnost se smanjuje, što je u korelaciji sa redukcijom nutritivnog sadržaja (Heisei, 1990; Lawrence et al., 1991). Ova sezonska promena može biti evolucijski mehanizam koji optimizuje alokaciju resursa u biljci i prilagođava njenu hemijsku odbranu ekološkim uslovima. Sve ove karakteristike potvrđuju da prisustvo fitotoksičnih jedinjenja u *Ailanthus altissima* omogućava ovoj vrsti ne samo da se efikasno brani od biljojeda i patogena, već i da značajno utiče na vegetaciju u svom ekološkom okruženju. Smanjenjem klijanja i rasta konkurentskih biljnih vrsta, ona stvara uslove za sopstvenu dominaciju u ekosistemima u koje je unesena. Ovi mehanizmi, u kombinaciji sa sposobnošću prilagođavanja različitim ekološkim uslovima, čine *Ailanthus altissima* jednom od najinvazivnijih biljaka u mnogim delovima sveta (Heisei, 1990; Lawrence et al., 1991).

Metode suzbijanja

Herbicidi su najčešće korišćena i najučinkovitija metoda za suzbijanje *A. altissima*, što potvrđuju brojne studije koje su analizirale efikasnost različitih aktivnih supstanci (Tjosvold and McHenri, 1986; EPPO, 2020; Kok et al., 2008). Efikasnost tretmana u velikoj meri zavisi od koncentracije aktivnog sastojka, načina aplikacije i vremenskih uslova tokom tretmana. Različite hemijske supstance, kao što su triklopir (samostalno ili u kombinaciji s fluroksiprom ili aminopiralidom) i glifosat pokazale su visoku stopu mortaliteta tretiranih jedinki (DiTomaso and Kyser, 2007; Fogliatto et al., 2020). Ovi herbicidi se mogu primenjivati različitim tehnikama, uključujući direktno ubrizgavanje u stabla i prskanje folijarnih delova biljke. Pored direktne aplikacije herbicida, mehaničke metode u kombinaciji sa hemijskim tretmanima mogu značajno doprineti eradikaciji *A. altissima*. Tehnike poput bušenja stabala i ubrizgavanja herbicida specijalizovanim sistemima, kao što su E-Z-Ject Lance (ubrizgavanje herbicidnih kapsula) ili metoda Hack and Squirt (prskanje herbicida direktno na rezove izvedene na stabljici), pokazale su se relativno efikasnim u kontroli ove vrste (DiTomaso and Kyser, 2007; Kok et al., 2008). Najpouzdaniji rezultati postignuti su primenom nerazređenog glifosata, koji se pokazao kao najefikasniji herbicid za suzbijanje ove vrste (Tjosvold and McHenri, 1986). Nasuprot tome, triklopir primenjen metodom hack-and-squirt nije dao zadovoljavajuće rezultate, jer nije postignuta potpuna eradikacija biljke (DiTomaso i Kyser, 2007). Efikasnost aplikacije herbicida na bazalni deo kore zavisi od prečnika stabala. Istraživanja su pokazala da je razblaženi triklopir imao visok stepen uspešnosti kod stabala manjeg prečnika (Tjosvold and McHenri, 1986; Burch and Zedaker, 1970; Johnson, 2011; Eck and McGill, 2007; Bowker and Stringer, 2010), dok su mešavine triklopira + fluroksipira, aminopiralida + fluroksipira i glifosata bile manje efikasne kod stabala većih dimenzija (DiTomaso and Kyser, 2007; Fogliatto et al., 2020). Međutim, primena nerazređenih formulacija ovih herbicida značajno je povećala njihovu efikasnost (Tjosvold and McHenri, 1986; Fogliatto et al., 2020; DiTomaso and Kyser, 2007). Fizičko uklanjanje stabala, uključujući sečenje panjeva, ne predstavlja dugoročno održivu metodu kontrole populacije *A. altissima*. Constán-Nava et al. (2010) utvrdili su da čak i kontinuirano uklanjanje panjeva tokom nekoliko godina nije dovelo do trajnog suzbijanja populacije. Kombinacija mehaničkih i hemijskih tretmana nije značajno smanjila broj novih izdanaka u petogodišnjem periodu, ali je dovela do redukcije biomase, visine i broja listova preostalih jedinki (DiTomaso and Kyser, 2007; Constán-Nava et al., 2010). Kako bi se povećala efikasnost eradikacije *A. altissima* i smanjila njena kompetitivna prednost u ekosistemu, Constán-Nava et al. (2010) preporučuju strategiju integrisanog pristupa, koja obuhvata kombinovanu primenu sečenja panjeva, tretiranja herbicidima (glifosat) i pošumljavanja autohtonim vrstama u okviru programa ekološke restauracije. Očekuje se da bi ovakva multifaktorijalna strategija smanjila sposobnost invazivne vrste da kolonizuje obnovljene ekosisteme, istovremeno podstičući regeneraciju autohtone vegetacije i dugoročnu ekološku

stabilnost područja (DiTomaso and Kyser, 2007; Constán-Nava et al., 2010). Pored mehaničkih i hemijskih metoda suzbijanja, biološka kontrola predstavlja potencijalno održivo rešenje za regulaciju populacije *A. altissima*. Istraživanja ukazuju da grinje iz roda *Aculus* spp., specijalizovani fitofagni organizmi koji se hrane listovima *A. altissima*, mogu imati značajnu ulogu u biološkoj kontroli ove invazivne vrste (Marini et al., 2021; Skvarla et al., 2021; De Lillo et al., 2022; Kashefi et al., 2022). Takođe, kornjaši *Eucryptorrhynchus brandti* i *Eucryptorrhynchus chinensis* pokazali su visok stepen preferencije prema *A. altissima* u odnosu na druge biljne vrste (Ding i et al., 2006). Gljive igraju ključnu ulogu u biološkoj kontroli *A. altissima*, pri čemu su određeni patogeni iz rodova *Verticillium*, *Alternaria* i *Cercospora* pokazali visok potencijal u suzbijanju ove invazivne vrste (Ding et al., 2006).

Suzbijanje *A. altissima* zahteva multifaktorijalni pristup koji uključuje kombinaciju hemijskih, mehaničkih i bioloških metoda. Iako su hemijski tretmani, prvenstveno primena herbicida, najefikasniji način kontrole, njihova primena mora biti pažljivo planirana i prilagođena prečniku stabala, vrsti tretmana i koncentraciji aktivnog sastojka kako bi se postigli optimalni rezultati. Mehaničke metode, poput sečenja stabala i uklanjanja panjeva, imaju ograničenu efikasnost kada se koriste samostalno, jer *A. altissima* poseduje snažnu sposobnost ponovne regeneracije putem adventivnih izdanaka. S druge strane, biološka kontrola, koja podrazumeva korišćenje prirodnih neprijatelja poput insekata i patogenih gljiva, predstavlja dugoročno održivo rešenje koje može doprineti značajnom smanjenju populacije ove vrste. Stoga je integrisana strategija suzbijanja važna za očuvanje ekološke stabilnosti i zaštitu autohtonih ekosistema, jer omogućava kombinovanje različitih metoda radi povećanja njihove efikasnosti i smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu. Dalja istraživanja biološke kontrole i integrisanih metoda suzbijanja *A. altissima* su neophodna kako bi se razvile efikasne, ekološki prihvatljive i dugoročno održive strategije.

ORCID

Aleksandra Savić <https://orcid.org/0000-0003-0741-8453>

Zahvalnica

Finansiranje je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (451-03-136/2025-03/ 200010)

Literatura

- Ballero, M., Ariu, A., Falagiani, P. 2003. Allergy to *Ailanthus altissima* (tree of heaven) pollen. *Allergy*, 58(6).
- Bossard, C.C., Randall, M.J., Hoshovsky, C.M. 1957. Invasive Plants of California's Wildlands. Univ of California Press: California, UK.

- Bowker, D., Stringer, J. 2010. Efficacy of herbicide treatments for controlling residual sprouting of tree-of-heaven. In Proceedings of the 17th Central Hardwood Forest Conference, Lexington, KY, USA, 5–7 April 2010; Fei, S., Lhotka, J., Stringer, J., Gottschalk, K., Miller, G., Eds.; Gen. Tech. Rep. NRS-P-78. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: Newtown.
- Burch, P., Zedaker, S. 2003. Removing the invasive tree *Ailanthus altissima* and restoring natural cover. J. Arboric., 29, 18–24.
- Casella, F., Vurro, M. 2013. *Ailanthus altissima* (tree of heaven): Spread and harmfulness in a case-study urban area. *Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry*, 35(3), 172–181.
- Chuman, M., Kurokuchi, H., Saito, Y., Ide, Y. 2015. Expansion of an invasive species, *Ailanthus altissima*, at a regional scale in Japan. *Journal of Ecology and Environment*, 38(1), 47–56.
- Constán-Nava, S., Bonet, A. 2012. Genetic Variability Modulates the effect of habitat type and environmental conditions on early invasion success of *Ailanthus altissima* in Mediterranean ecosystems. *Biol. Invasions*, 14, 2379–2392
- Constán-Nava, S., Bonet, A., Pastor, E., Lledó, M. J. 2010. Long-term control of the invasive tree *Ailanthus altissima*: Insights from Mediterranean protected forests. *Forest Ecology and Management*, 260(6), 1058–1064.
- DAISIE. 2014. Delivering alien invasive species inventories for Europe (DAISIE). Available at: <http://www.europe-aliens.org/default.do>. Accessed 15 June 2014.
- Dallas, J.F., Leitch, M.J.B., Hulme, P.E., 2005. Microsatellites for tree of heaven (*Ailanthus altissima*). *Mol. Ecol. Notes* 5, 340–342.
- De Feo, V., De Martino, L., Quaranta, E., Pizza, C. 2003. Isolation of phytotoxic compounds from tree-of-heaven (*Ailanthus altissima* Swingle). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1177–1180.
- De Lillo, E., Marini, F., Cristofaro, M., Valenzano, D., Petanović, R., Vidović, B., Cvrković, T., Bon, M.C. 2022. Integrative taxonomy and synonymization of *Aculus mosoniensis* (Acari: Eriophyidae), a potential biological control agent for Tree of Heaven (*Ailanthus altissima*). *Insects*, 13, 489.
- Di Cocco, A., Panero, I., Fabrini, G. 2024. Effects of ecological factors and reproductive strategies on germination capability of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Annali di Botanica*, 14(1).
- Ding, J., Wu, Y., Zheng, H., Fu, W., Reardon, R., Liu, M. 2006. Assessing potential biological control of the invasive plant, tree-of-heaven, *Ailanthus altissima*. *Biocontrol Sci. Technol.*, 16, 547–566.
- DiTomaso, J. M., Kyser, G. B. 2007. Control of *Ailanthus altissima* using stem herbicide application techniques. *Arboriculture & Urban Forestry*, 33(1), 55–63.
- Eck, W., McGill, D. 2007. Testing the Efficacy of Triclopyr and Imazapir Using Two Application Methods for Controlling Tree-of-Heaven along a West Virginia Highway. e-Gen. Tech. Rep. SRS-101. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station: Asheville, NC, USA, pp. 163–168.
- EPPO. 2020. PM 9/29 *Ailanthus altissima*. OEPP/EPPO Bull., 50, 148–155.
- Fedorov, A.A., 1969. Chromosome Numbers of Flowering Plants. Komarov Botanical Institute, Academy of sciences of the USSR, Leningrad.

- Feret, P.P., 1985. *Ailanthus*: variation, cultivation and frustration. J. Arboricult. 11, 361–368.
- Feret, P.P., Bryant, R.L., 1974. Genetic differences between American and Chinese *Ailanthus* seedlings. Silvae Genet. 23, 144–148.
- Feret, P.P., Bryant, R.L., Ramsey, J.A., 1974. Genetic variation among American seed sources of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Sci. Hortic. 2, 405–411.
- Fogliatto, S., Milan, M., Vidotto, F. 2020. Control of *Ailanthus altissima* using cut stump and basal bark herbicide applications in an eighteenth-century fortress. Weed Res., 60, 425–434.
- Heisey, R.M. 1990. Allelopathic and herbicidal effects of extracts from tree of heaven (*Ailanthus altissima*). Am. J. Bot., 77, 662–670.
- Heisey, R.M. 1996. Identification of an allelopathic compound from *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae) and characterization of its herbicidal activity. Am. J. Bot., 83, 192–200.
- Hu, S.Y. 1979. *Ailanthus*. Arnoldia, 39, 29–50.
- Ivanova, D., Dimitrova, D., Vladimirov, V. 2006. Chromosome numbers of selected woody species from the Bulgarian flora. Phytol. Balcan., 12, 79–84.
- Johnson, J.M. 2011. An Evaluation of Application Timing and Herbicides to Control *Ailanthus altissima*. Master's Thesis, The Pennsylvania State University, The Graduate School College of Agricultural Sciences, University Park, PA, USA.
- Kaproth, M., McGraw, J. 2008. Seed viability and dispersal of the wind-dispersed invasive *Ailanthus altissima* in aqueous environments. For. Sci., 54, 490–496.
- Kashefi, J., Vidović, B., Guermache, F., Cristofaro, C. 2022. Occurrence of *Aculus mosoniensis* (Ripka, 2014) (Acari; Prostigmata; Eriophyoidea) on Tree of Heaven (*Ailanthus altissima* Mill.) is expanding across Europe. First record in France confirmed by barcoding. Phytoparasitica, 50, 391–398.
- Knüsel, S., Conedera, M., Zweifel, R., Bugmann, H., Etzold, S., Wunder, J. 2019. High growth potential of *Ailanthus altissima* in warm and dry weather conditions in novel forests of southern Switzerland. Trees, 33, 395–409.
- Kok, L.T., Salom, S.M., Yan, S., Herrick, N.J., McAvoy, T.J. 2008. Quarantine evaluation of *Eucryptorrhynchus brandti* (Harold) (Coleoptera: Curculionidae), a potential biological control agent of tree of heaven, *Ailanthus altissima*. Proc. XII Int. Symp. Biol. Control Weeds, CAB Int., Wallingford, UK, 292–300.
- Kowarik, I., Säumel, I. 2007. Biological flora of central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst., 8, 207–237.
- Kreitman, D., Keena, M.A., Nielsen, A.L., Hamilton, G. 2021. Effects of temperature on development and survival of Nymphal *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae). Environ. Entomol., 50, 183–191.
- Kowarik, I., Säumel, I. 2008. Water dispersal as an additional pathway to invasions by the primarily wind-dispersed tree *Ailanthus altissima*. Plant Ecol., 198, 241–252.
- Lawrence, J. G., Colwell, A., Sexton, O. J. 1991. *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae) American Journal of Botany, 78(7), 948–958.

- Marini, F., Profeta, E., Vidović, B., Petanović, R., de Lillo, E., Weyl, P., Hinz, H.L., Moffat, C.E., Bon, M.-C., Cvrković, T., et al. 2021. Field Assessment of the host range of *Aculus mosoniensis* (Acari: Eriophyidae), a biological control agent of the Tree of Heaven (*Ailanthus altissima*). *Insects*, 12, 637.
- Medina-Villar, S., Rodríguez-Echeverría, S., Lorenzo, P., Alonso, A., Pérez-Corona, E., Castro-Díez, P. 2016. Impacts of the alien trees *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle and *Robinia pseudoacacia* L. on soil nutrients and microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 96, 65-73.
- Mergen, F. 1959. A toxic principle in the leaves of *Ailanthus*. *Bot. Gaz.*, 121, 32-36.
- Miller, J. H. 1990. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Ailanthus*. *Silv. N. Am.*, 2, 101–104.
- Pepe, M., Gratani, L., Fabrini, G., Varone, L. 2020. Seed germination traits of *Ailanthus altissima*, *Phytolacca americana* and *Robinia pseudoacacia* in response to different thermal and light requirements. *Plant Species Biology*, 35(4), 300-314.
- Petrzellis, F., Peng, G., Tyree, M. T., Tonet, V., Savi, T., Torboli, V., Nardini, A. 2019. Plasticity of functional traits of tree of heaven is higher in exotic than in native habitats. *Trees*, 33, 411-420.
- Planchuelo, G., Catalán, P., Delgado, J.A. 2016. Gone with the wind and the stream: Dispersal in the invasive species *Ailanthus altissima*. *Acta Oecologica*, 73, 31–37.
- Rebbeck, J., Hutchinson, T., Iverson, L., Yaussy, D., Fox, T. 2017. Distribution and demographics of *Ailanthus altissima* in an oak forest landscape managed with timber harvesting and prescribed fire. *Forest Ecology and Management*, 401, 233-241.
- Rebbeck, J., Jolliff, J. 2018. How long do seeds of the invasive tree, *Ailanthus altissima* remain viable? *Forest Ecology and Management*, 429, 175-179.
- Skvarla, M.J., Ochoa, R., Ulsamer, A., Amrine, J. 2021. The eriophyid mite *Aculops ailanthic* Lin, Jin, and Kuang, 1997 (Acariformes: Prostigmata: Eriophyidae) from tree of heaven in the United States new state records and morphological observations. *Acarologia*, 61, 121–127.
- Sladonja, B., Sušek, M., Guillermic, J. 2015. Review on invasive tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) conflicting values: assessment of its ecosystem services and potential biological threat. *Environmental Management*, 56, 1009-1034.
- Soler, J., Izquierdo, J. 2024. The invasive *Ailanthus altissima*: A biology, ecology, and control review. *Plants*, 13, 931.
- Thompson, J. S. 2008. Pollination biology of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (tree-of-heaven) in the mid-Atlantic United States. Doctoral dissertation, Virginia Tech.
- Thomson, F.J., Moles, A.T., Auld, T.D., Kingsford, R.T. 2011. Seed dispersal distance is more strongly correlated with plant height than with seed mass. *J. Ecol.*, 99, 1299–1307.
- Tjosvold, S.A., McHenry, W.B. 1986. How to kill unwanted trees, shrubs, and resprouting stumps in the landscape. *Coop. Ext. Univ. Calif., Div. Agr. Nat. Res. Publ.*, 7166.
- Voigt, G.K., Mergen, F. 1962. Seasonal variation in toxicity of *Ailanthus* leaves to pine seedlings. *Bot. Gaz.*, 123, 262–265.

***Ailanthus altissima*: an invasive species in modern ecosystems**

Aleksandra Savić

Institute for Plant Protection and Environmental Protection

Teodora Drajzera 9, 11070 Belgrade, Serbia

e-mail: aleksandra.m.savic@gmail.com

Abstract

Ailanthus altissima is an invasive woody species native to China and northern Vietnam, which has spread to all continents except Antarctica. Due to its rapid growth, intensive vegetative and generative reproduction, and resistance to unfavourable conditions, it poses a serious ecological and economic problem. The spread of this species threatens natural habitats by displacing native species and disrupting ecological balance, while in urban areas, it can cause infrastructural damage. Its control is complicated by its ability to regenerate through root suckers and the high production of seeds that can be dispersed over long distances by wind. Current control approaches mainly rely on chemical treatments by injecting herbicides into the trunk, but none of these methods are entirely effective. Mechanical removal is also used but often leads to even more vigorous growth. Research on biological control methods, including the use of specialized pathogens and herbivores, has yet to yield definitive results. Given the negative ecological and economic consequences, continuous monitoring of this species' populations and the implementation of integrated control measures are necessary. An effective control strategy requires a combination of chemical, mechanical, and biological methods, along with raising public awareness of the importance of timely action to limit its further spread.

Key words: *Ailanthus altissima*, invasive species, ecological impact, suppression

Received 21.03.2025

Revised 30.06.2025

Accepted 30.06.2025