Alelopatija u ekološkom uzgoju povrća

Vukomanović, Tatjana

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:204:916785

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

ALELOPATIJA U EKOLOŠKOM UZGOJU POVRĆA

DIPLOMSKI RAD

Tatjana Vukomanović

Zagreb, rujan, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:
Ekološka poljoprivreda i agroturizam

ALELOPATIJA U EKOLOŠKOM UZGOJU POVRĆA

DIPLOMSKI RAD

Tatjana Vukomanović

Mentorica: Izv. prof. dr. sc. Ivanka Žutić

Zagreb, rujan, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTICE

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Tatjana Vukomanović**, JMBAG 2223074535, rođena dana 11.05.1990. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

ALELOPATIJA U EKOLOŠKOM UZGOJU POVRĆA

Svojim potpisom jamčim:

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

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Tatjane Vukomanović**, JMBAG 2223074535, naslova

ALELOPATIJA U EKOLOŠKOM UZGOJU POVRĆA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo: potpisi:

1. Izv. prof. dr. sc. Ivanka Žutić, mentorica _____
2. Izv. prof. dr. sc. Božidar Benko, član _____
3. Izv. prof. dr. sc. Željka Zgorelec, članica _____

Sadržaj

1. UVOD 1
2. PREGLED LITERATURE 2
2.1. Alelopatija – karakteristike i mehanizmi djelovanja 2
2.1.1. Alelokemikalije 3
2.1.2. Faktori djelovanja alelopatije 4
2.2. Istraživanja alelopatije 5
2.2.1. Matematičko modeliranje u alelopatiji 7
2.2.2. Alelopatija i kompeticija 7
2.2.3. Značaj doze alelokemikalije na reakciju tretirane biljke 9
2.2.4. Alelopatija u reguliranju rasta 10
2.2.5. Alelokemikalije povrtnih kultura 11
2.2.6. Alelopatija u združenim usjevima 15
2.2.7. Eterična ulja kao izvori alelokemikalija 22
2.3. Klimatske promjene i alelopatija 24
3. ZAKLJUČAK 25
4. LITERATURA 26
ŽIVOTOPIS 30

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Tatjane Vukomanović**, naslova

ALELOPATIJA U EKOLOŠKOM UZGOJU POVRĆA

U alelopatske odnose uključeni su svi dijelovi biljke i u ovom radu su objašnjeni načini na koje se alelokemikalije stvaraju u biljnom organizmu te kako se ispuštaju u okoliš. Osim međusobnog odnosa s drugim biljkama, važni su i odnosi s mikroorganizmima u tlu, a obrađeni su zajedno s ekološkim faktorima čijem utjecaju su alelopatski odnosi također podložni (tlo, oborine, temperatura, osvjetljenje). Uz to su navedene podjele alelokemikalija i alelopatije, ovisno o načinu djelovanja i tipovima. Također se iznosi pregled dosadašnjih istraživanja te čemu se teži u daljnjima. Alelopatija i kompeticija su usko povezane u prirodnim uvjetima i teško ih je razdvojiti, ali postoje brojne razlike među njima koje su navedene u radu. Nadalje, iznosi se uvid u matematički model kao teoretsku disciplinu o mehanizmima alelopatije. Prikazana su istraživanja alelopatskog djelovanja povrtnih kultura na korove, navedeni su primjeri iz već ustaljene prakse združivanja biljaka i smjera njihovog međusobnog djelovanja. U radu se na kraju skreće pažnja na klimatske promjene za koje se očekuje da će utjecati na učinkovitost alelopatskih odnosa.

Ključne riječi: alelokemikalije, kompeticija, matematički model, združivanje.

Summary

Of the master's thesis - student **Tatjana Vukomanović,** entitled

ALLELOPATHY IN ORGANIC PRODUCTION OF VEGETABLES

In allelopathic relationships all parts of the plant are involved and in this paper are explained the ways in which allelochemicals are produced in the plant organism and released into the environment. In addition to the interrelationships with other plants, the relationship with soil microorganisms is also important, which are analysed together with ecological factors that affect allelopathic relationships (soil, precipitation, temperature, illumination). In addition, divisions of allelochemicals and allelopathy are listed, depending on the mode of action and the types. An overview of the current research is also addressed and what is being sought in further research. Allelopathy and competition are closely related in natural conditions and they are difficult to separate, but there are numerous differences among them which are listed in the paper. Furthermore, an insight into the mathematical modelling is given as the theoretical discipline of the mechanisms of allelopathy. The studies of the allelopathic effects of vegetable crops on weeds are presented, examples of companion planting from the already established practice are given and the directions of their interaction are outlined. At the end of the paper, attention is drawn to the climate changes that are expected to affect the effectiveness of allelopathic relationships.

Keywords: allelochemicals, competition, mathematical modelling, companion planting

1. UVOD

U današnje vrijeme, kada se sve više podiže svijest o ljudskom utjecaju na okoliš, pokušavaju se naći alternativna rješenja za nastavak života kakvog znamo, a da u isto vrijeme smanjimo pritisak koji vršimo na okoliš. Poljoprivredna praksa doprinosi velikom zagađenju pa su ekološki prihvatljive metode uzgoja neophodne za daljnji nastavak poljoprivredne proizvodnje. Uz različite sustave kao što su ekološki i biodinamički uzgoj, permakultura i dr., intenzivno se počela istraživati i alelopatija kao bitan čimbenik u održivom uzgoju. Važnost alelopatije u poljoprivrednoj praksi je u tome što daje mogućnost uzgoja biljaka bez ili sa smanjenom upotrebom kemijskih sredstava za zaštitu od štetočinja. Iako je to glavni cilj istraživanja alelopatije, postoje i dodatne prednosti koje ona ima, primjerice međusobno poticanje rasta i razvoja biljaka te obogaćivanje tla. Međutim, bez obzira na njene prednosti, nije se smatrala dovoljno značajnom temom za istraživanje sve do 20. stoljeća, kada je privukla veću pažnju istraživača.

Alelopatija nije pojava koja se nedavno otkrila pa se njeno spominjanje može pratiti daleko u prošlost. Najranije su je spominjali Teofrast (300.p.n.e.) i Plinije II. (1.n.e), koji su skrenuli pažnju na utjecaje slanutka i oraha. U 17. i 19. stoljeću zabilježena je u izvorima nekih anonimnih botaničara te su ove opservacije dovele do stvaranja koncepta alelopatije i prvih pokušaja definiranja ove pojave (Weston, 2005).

Molisch je 1937. godine definirao alelopatiju kao moguće i stimulativan i štetan odnos između biljaka, ali i mikroorganizama. Rice je 1974. predložio drugu definiciju prema kojoj alelopatija podrazumijeva direktni ili indirektni štetni utjecaj jedne biljne vrste na drugu te je isključio njeno moguće pozitivno djelovanje. Ipak, daljnjim istraživanjima otkrio je da većina organskih spojeva koji su štetni u određenim koncentracijama imaju stimulativan učinak u drugim koncentracijama. Konačno, 1996. godine Međunarodno društvo za alelopatiju (IAS) je definiralo alelopatiju kao svaki proces koji uključuje sekundarne metabolite biljaka, mikroorganizama, virusa i gljiva koji utječu na rast i razvoj agrikulturnog i biološkog sustava, uključujući pozitivne i negativne efekte. Inderjit i Weiner predložili su da alelopatija uključuje i tlo kao posrednika u razmjeni kemikalija što može utjecati na cijeli proces (Amb i Ahluwalia, 2016).

Cilj ovog rada je iznošenje informacija kojima se nastoji doprinijeti razumijevanju mehanizama alelopatije i njene uloge u ekosustavima. Uz to se želi dati smjernice za primjenu u ekološkom uzgoju povrća.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Alelopatija – karakteristike i mehanizmi djelovanja

Alelopatija je prvo istraživana u šumskim sustavima, a može utjecati na mnoge odlike biljne ekologije uključujući rast, pojavljivanje, sukcesiju, strukturu biljnih zajednica, dominaciju, raznolikost i biljnu produktivnost. Isprva su mnoge šumske vrste pokazale negativan utjecaj na kultivirane vrste, a 1980.-ih istraživanja su počela identificirati vrste koje imaju pozitivan, neutralan ili selektivan utjecaj na kultivirane biljke. Alelopatska inhibicija je kompleksna i može uključivati interakciju različitih vrsta spojeva tako da mješavine različitih spojeva ponekad mogu imati veći alelopatski utjecaj nego samostalni spojevi. Različiti dijelovi biljaka, uključujući cvjetove, lišće, stabljiku, koru i korijenje, mogu imati alelopatsku aktivnost koja varira kroz sezonu rasta. Ispiranje, isparavanje, izlučivanje preko korijena, razgradnja organskih ostataka samo su neki od načina kako se ovaj proces odvija, kako u prirodnim, tako i u agrikulturnim sistemima (Ferguson i sur., 2009).

Može se reći da negativna alelopatija ima dva oblika. U jednom, biljke koje štite svoj prostor ispuštaju alelokemikalije iz korijena u tlo, a mlade biljke, pokušavajući rasti u blizini tih biljaka, apsorbiraju ispuštene kemikalije, no one im onemogućavaju rast. Drugi oblik negativne alelopatije podrazumijeva djelovanje i na već formirane biljke, a odvija se ispuštanjem kemikalija koje uzrokuju smanjenje koncentracije klorofila u biljci, pa se proces fotosinteze usporava ili zaustavlja. Time dolazi do smanjenja ili izostanka produkcije primarnih metabolita i biljka umire (Kanjir, 2010).

Još jedna podjela alelopatije je na pravi tip i funkcionalni tip. Pravi tip podrazumijeva otpuštanje u okoliš spojeva koji su toksični u nepromijenjenom obliku. Funkcionalni tip podrazumijeva otpuštanje u okoliš tvari koje su toksične nakon metaboliziranja u druge spojeve (Šturlić, 2008).

Prema Whittaker i Feeny (1971), postoje neke opće karakteristike koje označavaju fenomen alelopatije:

1. različiti putovi ispuštanja alelokemikalije – preko oborina ili rose, iz listova i žlijezda, isparavanjem, otpuštanjem iz korijena i razgradnjom organskih ostataka;
2. prisutnost bez obzira na područje – alelopatske aktivnosti su primijećene u divljim i agrikulturnim područjima i u svim vrstama zajednica, od kišnih šuma do pustinjskog raslinja;
3. značaj u biljnim zajednicama – dominantne vrste u sukcesiji mogu alelopatskim potiskivanjem povećati svoju invaziju i usporiti širenje drugih vrsta, osiguravajući sebi dugotrajniju prisutnost na određenom području;

4. kemijske karakteristike alelopatskih spojeva – poznati alelopatski spojevi spadaju u nekoliko glavnih grupa sekundarnih metabolita (fenoli, flavonoidi, terpenoidi, alkaloidi);
5. djelovanje u biljci – općenito alelopatski spojevi se pojavljuju na takav način da štite biljku u kojoj se odvija njihova sinteza od svog djelovanja;
6. autotoksičnost – podrazumijeva toksično djelovanje na biljke ili sjeme iste vrste, a potvrđena je kod brojnih divljih i kultiviranih vrsta (krastavac, rajčica, grašak, paprika).

2.1.1. Alelokemikalije

Alelokemikalije pripadaju sekundarnim metabolitima, dakle, onima koji nisu neophodni za metabolizam rasta i razvoja biljnog organizma. Alelokemikalije sa štetnim djelovanjem su važan dio obrambenog mehanizma biljaka protiv biljojeda, a mogu se zadržati u tlu na način da djeluju ne samo na susjedne biljke, već i na biljke u sukcesiji (Ferguson i sur., 2009).

Grumer je prvi napravio klasifikaciju djelatnih alelopatskih tvari te ih podijelio na antibiotike, marazmine, fitoncide i koline. Antibiotici i marazmini su tvari koje izlučuju mikroorganizmi, a štetni su za druge mikroorganizme, odnosno, više biljke. Fitoncidi i kolini su tvari viših biljaka koje djeluju štetno na mikroorganizme, odnosno, na razvoj viših biljaka. Od navedenih tvari, najveću važnost za poljoprivrednu praksu imaju kolini, proizvodi viših biljaka koji mogu djelovati i inhibitorno i stimulirajuće na druge više biljke. Po kemijskom sastavu, kolini su najčešće organske kiseline, alkaloidi, aldehidi, glukozidi, vitamini i neke još nedefinirane tvari (Golubić, 2008).

Značajan izvor kolina su biljni ostaci i organska gnojiva koja se unose u tlo. Uglavnom su to ekstrakti korijena, oborinama isprane izlučevine nadzemnih organa, produkti raspadanja, hlapljive tvari itd. Kolini mogu smanjiti ili povećati klijavost sjemena, promijeniti brzinu rasta ili razvoja biljke, utjecati na disanje, fotosintezu, metabolizam. Prema Poropat (2007), Zimdahl smatra da raspadajući biljni ostaci imaju najveći alelopatski utjecaj na druge biljke. Određene alelokemikalije su u toksičnom obliku odmah nakon dospijeća u okoliš, dok druge, kao na primjer juglon, postaju toksične tek nakon modifikacije u tlu.

Alelokemikalije mogu promijeniti protok i propusnost staničnih membrana te prekinuti aktivnost membranskih proteina i enzima unutar stanica, naročito onih u antioksidativnim sistemima. Enzim H^+-ATPaza je dio velikog transportnog sistema biljnih stanica i ima bitnu ulogu u održavanju staničnog turgora, transporta iona i osmoregulaciji. Pokazalo se da neke alelokemikalije (hidroksicinamična kiselina, juglon) uzrokuju brzu inhibiciju aktivnosti H^+-ATPaze u plazmatskim membrana što ima za posljedicu smanjeni rast korijena i smanjeno usvajanje hraniva (Gomes i sur., 2017).

Prema Whittaker i Feeny (1971), nastajanje alelokemikalija je složen proces koji se odvija kroz generacije neke vrste. Oni smatraju da metabolizam biljaka proizvodi otpadne tvari i neke slučajno nastale spojeve koji su možda rezultat mutacije i nisu dio normalnog metabolizma, ali također nisu ni tako nepoželjni pa ih geni, koji ih određuju, ne isključuju odmah iz genetskog

materijala. Neki od ovih spojeva su primjerice nepodnošljivi prirodnim neprijateljima biljke što rezultira njenim boljim opstankom u prirodi. Povezujući smanjenje napada s prisutnošću ovih spojeva selekcijski se povećava njihova koncentracija u sljedećim generacijama. Kada je biljna vrsta „otkrila“ jedan ili više zaštitnih spojeva, a selekcija povećala njihovu koncentraciju, biljka je zaštićena karakterističnim skupom kemikalija – sekundarnim spojevima.

Prema Westonu (2005), u istraživanju koje je proveo Bertholdsson dokazano je da stare sorte pšenice i ječma imaju veću alelopatsku aktivnost te da je potiskivanje korova slabije povezano s novim kultivarima. Iz ovog razloga stare sorte se istražuju u cilju odabira sorti za ekološku proizvodnju s naglaskom na očuvanje alelopatske aktivnosti. Ponovnim proučavanjem starije germplazme može se pomoći oplemenjivačima u razvoju usjeva koji imaju veću sposobnost potiskivanja korova.

2.1.2. Faktori djelovanja alelopatije

Alelopatske interakcije su primjetnije u kontroliranim uvjetima, kada je uključeno samo nekoliko vrsta u istraživanje, nego u prirodi. Razlog tome je što u prirodi različiti faktori utječu na širenje i održavanje alelokemikalija u tlu. Osobine tla kao što su propusnost, poroznost, udio gline i dr. utječu na koncentraciju alelokemikalija u otopini tla. Propusna tla olakšavaju otjecanje alelokemikalija i smanjuju njihovo djelovanje, dok se u nepropusnim tlima zadržavaju pa je njihov učinak izraženiji. Osim karakteristika tla, na pokretnost i dostupnost alelokemikalija utječu i meteorološki uvjeti, kao što su promjene godišnjih doba i abiotički stresovi. Udaljenost između donatorske i ciljane biljke je također jedan od faktora koji određuju u kojoj mjeri će otpuštene alelokemikalije djelovati, jer se s većom udaljenošću smanjuje udio alelokemikalija, što ima za posljedicu slabije djelovanje na ciljanu biljku (Gomes i sur., 2017).

Jedan od načina kako biljke mogu djelovati na konkurentske biljke je poticanje promjene u mikrobiološkom sastavu tla. Izlučivanjem određenih alelokemikalija, donatorske biljke mogu promijeniti udio različitih mikroorganizama u tlu. One mogu smanjiti udio mikroorganizama koji pozitivno djeluju na konkurentske biljke ili pak povećati udio mikroorganizama koji negativno djeluju na njih. S druge strane, ti mikroorganizmi nisu esencijalni za rast i razvoj donatorske biljke, pa promjene u mikrobiološkoj populaciji nemaju utjecaj na nju (Gomes i sur., 2017).

Prema nekim istraživanjima, dokazano je da invazivne biljke imaju značajan utjecaj na lokalne patogene tla. Jedan od primjera je zlatošipka (*Solidago virgaurea* L.) čije alelokemikalije značajno onemogućavaju rast i aktivnost patogena *Pythium ultimum* i *Rhizoctonia solani*. Ova dva patogena djeluju inhibirajuće na rajčicu pa se istraživanjem pokazalo da rajčica ima bolju klijavost na područjima gdje je rasprostranjena zlatošipka. Nadalje, invazivne biljke mogu mijenjati mikrobne zajednice u tlu, pa te promijenjene zajednice mogu poboljšati uvjete za invazivne biljke i naštetiti domaćim biljkama. Iako je malo poznato kako invazivne biljke

mijenjaju mikrobiološki sastav u tlu, sve više dokaza upućuje na alelopatske izlučevine koje se oslobađaju preko korijena (Zhang i sur., 2008).

S druge strane, mikroorganizmi u tlu imaju bitnu ulogu u određivanju djelovanja alelokemikalija u prirodnim uvjetima jer mogu utjecati na njihovo izlučivanje, biodostupnost i translokaciju u tlu, kao i na toleranciju ciljanog organizma. Njihova uloga se sastoji od toga što imaju sposobnost razgradnje kemijskih spojeva te na taj način mogu neutralizirati otrovne spojeve, ali isto tako mogu pretvoriti neaktivne spojeve u toksične (Gomes i sur., 2017).

Također se smatra da mikorizne gljive imaju značajan utjecaj na alelopatsko djelovanje jer povezivanjem biljaka u tlu djeluju kao putevi širenja alelokemikalija pa doprinose povećavanju područja njihovog djelovanja. Jedan od primjera mikoriznog djelovanja je transportiranje juglona u tlu što za rezultat ima smanjen razvoj osjetljivih biljaka na području oko oraha. Zbog toga bi se moglo reći da su mikorizne gljive dodatne saveznice donatorskim biljkama (Gomes i sur., 2017).

2.2. Istraživanja alelopatije

Proučavanje alelopatije kao discipline ima dugotrajnu prošlost. Otkad je Molisch 1937. godine utemeljio izraz, istraživanje alelopatije je preraslo iz nekoliko znanstvenih radova prije 1970. godine u rastuću poddisciplinu kemijske ekologije predstavljene velikim brojem članaka objavljivanim svake godine. Ipak, istraživanja alelopatije imaju reputaciju loše znanstvene kvalitete zbog nedostatka dokaza djelovanja alelokemikalija u poljskim uvjetima. Suvremena istraživanja alelopatije fokusirana su na interakciju između viših biljaka i viših biljaka, viših biljaka i mikroorganizama, mikroba i viših biljaka te mikroba i mikroorganizama (Wang i sur., 2011).

Pretvaranje rastućeg znanja o alelopatiji u tehnologiju kontrole korova u poljoprivredi odvija se vrlo sporo, a zasad postoji jedan dobar primjer otkrića alelokemikalije (leptospermon) koje je dovelo do razvoja herbicida (triketoni). Gotovo je nemoguće postizanje jednakih rezultata istraživanja alelopatije u laboratorijskim i poljskim uvjetima, naročito ako je alelokemikalija nepoznata. Također, teško je znati broj biološki dostupnih alelokemikalija, a ovim se problemima bavila tek nekolicina istraživanja (Duke, 2010).

Časopis Allelopathy Journal pokrenut 1994. godine prva je publikacija posvećena isključivo istraživanjima alelopatije. Od 1995. svake tri godine održava se kongres koji se bavi dosadašnjim saznanjima o alelopatiji te se broj prezentacija i prijavljenih istraživanja alelopatije povećava iz godine u godinu. Europska komisija je 2001. godine financirala možda najveći projekt u dosadašnjem istraživanju alelopatije pod nazivom „FATEALLCHEM“ koji se bavio proučavanjem benzoksazina, a u koji su bile uključene 33 europske zemlje. Mnoge trave i neke druge biljne vrste proizvode različite tipove benzoksazina koji djeluju herbicidno, fungicidno,

antimikrobno i insekticidno. Uloga ovih spojeva u alelopatiji, uključujući sintezu i ponašanje u tlu, možda je najbolje proučena od bilo koje druge grupe alelokemikalija (Duke, 2010).

Povezano s istraživanjem benzoksazina istraživanje je i sorgoleona kojeg proizvodi sirak, a koji spada u grupu benzoksazina. Sorgoleon je istraživan također i u poljskim uvjetima, a rezultati su pokazali da inhibira rast mnogih korova, no njegovo djelovanje je ograničeno samo na klijance. Postoje mišljenja da biljke na neki način osjete prisutnost konkurentske biljke te u tom slučaju izlučuju više alelokemikalija. Prema Duke (2010), Dayan je 2009. svojim istraživanjima dokazao da sorgoleon ne nastaje utjecajem abiotičkih faktora, ali dodavanjem ekstrakta teofrastovog mračnjaka povećava se količina izlučenog sorgoleona kod sirka. Slično tome ustanovljeno je da se uzgojem riže u prisutnosti koštana izlučuje znatno više fitotoksina iz korijena riže nego kad se uzgaja samostalno. Postavlja se pitanje da li je povećana proizvodnja alelokomikalija rezultat stresa zbog prisutnosti konkurentske biljke, odnosno, fitotoksina dotične biljke ili zbog specifičnih kemijskih poticaja od strane konkurentske biljke (Duke, 2010).

Količina i sastav hraniva u tlu značajno utječu na izlučivanje alelokemikalija, pa tako primjerice kukuruz uzgajan na tlu s manjkom hraniva stvara manje alelokemikalija induciranih napadom herbivora. Također i svjetlost ima važnu ulogu u izlučivanju alelokemikalija - dokazano je da nakon mehaničkog oštećenja biljke izlučuju alelokemikalije uglavnom na svjetlu, čak i ako je došlo do oštećenja tijekom noći. Alelokemikalije imaju bolji utjecaj u gustoj vegetaciji jer se lakše doseže fiziološki djelotvorna koncentracija (Zeman i sur., 2011).

U dosadašnjim je istraživanjima alelopatija bila teško dokazana u tlu. Mnogi spojevi koji se smatraju alelokemikalijama imaju malu ili nemaju biološku aktivnost u tlu zbog njihove nestabilnosti, brze razgradnje od strane mikroba ili drugih interakcija s tlom. Mnogi spojevi koji se lako tope u vodi brzo otječu iz zone korijena potencijalnih ciljanih biljaka. Ipak, neke alelokemikalije su jasno aktivne u tlu. Istraživanja su pokazala da, u kombinaciji s drugima, jedan spoj može povećati biodostupnost drugih spojeva u tlu. Također se zna da mikroorganizmi u tlu mogu transformirati slabo fitotoksične spojeve u jače fitotoksične spojeve i/ili u slabije fitotoksične metabolite. Potrebna su još mnoga istraživanja da bi se ustanovilo da li se mikroorganizmi u tlu prilagođavaju kako bi efikasnije razlagali alelokemikalije kojima su izloženiji i da li alelokemikalije mijenjaju populaciju mikroflore tla. Ove teme ostavljaju dosta prostora za daljnja istraživanja (Duke, 2010).

U daljnjem su tekstu kratko prikazana neka istraživanja tema vezanih za alelopatiju.

2.2.1. Matematičko modeliranje u alelopatiji

Matematičko modeliranje u znanstvenim istraživanjima bazira se na promatranju pojava koje se odvijaju u realnom svijetu, analiziranju dobivenih podataka i predviđanju budućih rezultata koji još nisu postignuti. Prilikom modeliranja potrebno je identificirati koja je potreba za modeliranjem, koji su podaci već poznati a koji se traže, koje će se formule i izračuni koristiti te predvidjeti moguće rezultate izračuna. Na kraju je potrebno testirati model kako bi se provjerilo da li se slaže s pretpostavkama i da li je primjenjiv u realnosti (Dym i Ivey, 2004). Među disciplinama uključenim u istraživanja alelopatije matematičko modeliranje ima sve veći i značajniji doprinos. Taj doprinos se odnosi na odvajanje alelopatije od kompeticije, opisivanje alelopatije i njenih ekoloških uloga, objašnjavanje osnova alelopatije, simuliranje određenih slučajeva, npr. alelopatija preko biljnih ostataka i alelopatija planktona te model utjecaja vanjskih faktora kao što je gustoća ciljanih biljaka (An, 2005).

2.2.2. Alelopatija i kompeticija

Jedan od glavnih izazova s kojim se susreću istraživači u području alelopatije je nedostatak odgovarajućih istraživačkih tehnika za razdvajanje alelopatije od drugih mehanizama međusobnog ometanja biljaka, naročito kompeticije. Kako je prikazano u tablici 2.2.2.1., razlike između alelopatije i kompeticije su brojne, ali je ipak vrlo teško odvojiti ove pojave u poljskim uvjetima (Qasem i Foy, 2001). Međutim, oba područja su dobro istražena u kontroliranim uvjetima. Neki autori misle da štetni alelopatski učinak dolazi do izražaja tek kao posljedica kompeticijskog pritiska, odnosno da biljka koja nema dovoljno svjetla, vode i hranjiva oslabi i postaje žrtva alelopatskog napada (Turk, 2008).

Tablica 2.2.2.1. Razlike između alelopatije i kompeticije

Alelopatija	**Kompeticija**
Odvija se preko kemijskih spojeva ispuštenih u okoliš	Nastaje zbog smanjenja zaliha okolišnih faktora
Nema specifičnih karakteristika kod biljaka za alelopatiju	Postoje određene osobine kod biljaka natjecateljica
Može imati učinak u bilo kojem stadiju rasta donatorske vrste i toksični spojevi su najviše koncentrirani za vrijeme cvatnje i u kasnim stadijima rasta	Utjecaj je intenzivniji u ranim fazama rasta i tijekom kritičnih perioda zakorovljenosti
Ne može se savladati niti preokrenuti povećanjem opskrbljenosti faktora rasta	Može biti obrnuta u određenim fazama rasta povećanjem faktora rasta u okolišu
Karakterizira određene biljne vrste i najčešće višegodišnje i agresivne jednogodišnje korove	Sve biljne vrste mogu uzrokovati kompeticiju, ali u određenoj gustoći
Može se odvijati bez prisutnosti donatorske	Natjecateljske vrste moraju biti zajedno u

vrste koja ne mora biti na istom mjestu u isto vrijeme s ciljanom vrstom (isparavanje, ispiranje, biljni ostaci…)	vremenu i prostoru
Veliki utjecaj imaju mikroorganizmi tla i drugi faktori tla. Mikroorganizmi mogu pojačati ili smanjiti utjecaj alelopatije	Manje pogođena faktorima tla, naročito mikroorganizmima, koji svojim utjecajem ne mogu spriječiti kompeticiju, ali mogu smanjiti utjecaj većom opskrbom hranjivima, naročito bakterije koje fiksiraju dušik.
Ne zahtijeva određenu gustoću donatorske vrste za odvijanje	Potrebna je određena gustoća da bi nastala
Pogođene vrste pokazuju morfološke, fiziološke i anatomske simptome	Utjecaj se uglavnom odražava na općeniti izgled svih uključenih vrsta
Samo ciljana biljka je pogođena djelovanjem alelopatije	Sve natjecateljske biljke su negativno pogođene, ali u različitim stupnjevima, ovisno o njihovim natjecateljskim sposobnostima
Može biti uzrokovana živim ili mrtvim biljkama	Odvija se samo između živih organizama
Smanjenjem rasta ili veličinom biljke toksični spojevi postaju jače koncentrirani i učinkovitiji	Sa smanjenjem rasta i veličine biljke kompeticija se smanjuje
Simptomi se pokazuju u obliku trovanja, smanjenja rasta, postepene smrti stanica i tkiva ili potpunog, nepopravljivog kolapsa cijele biljke	U većini slučajeva prisutni su simptomi nedostatka minerala, ali uglavnom biljke mogu završiti svoj životni ciklus
Neke alelopatske vrste imaju aromatične ili specijalne mirise ili proizvode hlapljive spojeve	Miris i hlapljive tvari nemaju bitan utjecaj
Prekomjerna količina faktora rasta ne uzrokuje alelopatiju niti pomaže prevladavanju njenog utjecaja	Prekomjerna količina faktora rasta vodi do trovanja ili negativnog utjecaja
Može utjecati na klijanje sjemena	Ne utječe na klijanje ali utječe na razvoj, rast i prinos
Poljoprivredna praksa ne može ukloniti utjecaj nakon uklanjanja donatorske biljke	Poljoprivredna praksa može potpuno ukloniti kompeticiju uklanjanjem jedne natjecateljske vrste
Može biti selektivna	Nije selektivna i sve vrste mogu biti pogođene
Ima unutrašnji i vanjski utjecaj na ciljanu biljku ili se unutrašnji utjecaj odražava na vanjski izgled biljke	Utjecaj je uglavnom vanjski, ali se može odražavati unutrašnje
Može biti demonstrirana samo na jednoj biljci	Više biljaka mora biti uključeno da bi nastao i pokazao se utjecaj
Izraženija je kod divljih vrsta	Najčešće je pronađena i ima jak utjecaj među kultiviranim vrstama

Izvor: Qasem i Foy (2001)

2.2.3. Značaj doze alelokemikalije na reakciju tretirane biljke

Pretpostavlja se da alelokemikalija ima dvije osobine koje se upotpunjuju: stimulacija i inhibicija. Reakcije organizama karakterizirane su koncentracijom alelokemikalije kao što je, primjerice, stimulacija ili privlačenje pri nižim koncentracijama ili inhibicija i odbijanje prilikom povećanja te koncentracije. Ove osobine se ponašaju tako da su antagonističke jedna prema drugoj, ali su također i koegzistirajuće unutar jedne alelokemikalije. Tako se promjenom koncentracije mijenja i relativna dominacija stimulacije/inhibicije. Najveća inhibicija se odvija u ranim fazama razgradnje ostataka te fitotoksičnost dovodi do maksimuma inhibicije ubrzo nakon početka razgradnje. Ovaj period je relativno kratak i ubrzo inhibicija opada dok stimulacija polako započinje. Prema tome, raspolaganjem saznanjima o dinamici razgradnje ostataka može se izbjeći inhibitorni period i tako smanjiti negativni utjecaj te čekati stimulativni utjecaj biljke. Isto tako može se produžiti inhibitorni utjecaj i na taj način kontrolirati korov. Također se smatra da se intenzitet inhibicije smanjuje, a stimulativni period počinje ranije, ako se povećava gustoća populacije ciljane biljne vrste (An, 2005).

Baličević i sur. (2015) dokazali su da se s povećanjem koncentracije ekstrakta (0<10<50<100 g/l) povećava inhibitorni učinak vodenog ekstrakta suhog nadzemnog dijela šćira, crne pomoćnice i sirka na klijavost sjemena i rast klijanaca luka. Utjecaj je slabije izražen na klijavost, a jače na rast klijanaca, pri čemu ekstrakti šćira i crne pomoćnice smanjuju dužinu klijanaca luka za više od 50 %, a ekstrakt sirka za 25 %. Ustanovljeno je da promatrane korovne vrste imaju izražen alelopatski potencijal, inhibitorni, kao i stimulativni, a pravac djelovanja ovisi o koncentraciji ekstrakta i sorti luka.

Brozović i sur. (2017) proveli su istraživanje utjecaja unošenja zimskih pokrovnih usjeva na zakorovljenom usjevu kukuruza u ekološkoj proizvodnji. Ovim pokusom su pokušali dokazati da ostaci pokrovnih usjeva (raž, pšenica, grahorica) mogu djelovati toksično na korove zbog alelopatskih spojeva izlučenih prilikom razgradnje. Ipak, suprotno od očekivanog, unošenje ostataka pokrovnih usjeva dovelo je do povećanja zakorovljenosti, što se razlikovalo od prijašnjih istraživanja koje su proveli Dyck 1995. i Caporali 2004., a koja su pokazala smanjenje zakorovljenosti. Razlike u ovim istraživanjima mogu se objasniti upravo promjenom dinamike razgradnje, odnosno moguće je da su se različita istraživanja odvijala u različitim stadijima razgradnje te je negdje došlo do stimulacije, a negdje do inhibicije. Također je moguće da je postojala razlika u gustoći korova zbog čega je ranije nastupio stimulirajući period u jednom slučaju ili se produžio inhibirajući u drugom.

Također alelopatija može imati dvije funkcije u biljci, fitotoksičnu i autotoksičnu. Pod jakim stresom, koji je iznad sposobnosti prilagođavanja biljke, kao što je veliki napad patogena ili ozbiljan nedostatak minerala, alelopatija može djelovati autotoksično kako bi smanjila populaciju donatorske biljke, što može biti najbolji način preživljavanja za tu biljnu zajednicu jer bi se time spriječilo širenje patogena ili smanjila konkurencija za hranjive tvari. Uz to,

alelokemikalije mogu uzrokovati brzu smrt nekih stanica u biljkama koje su napadnute bolešću te na taj način ograničiti patogen na određeno područje i tako smanjiti štetu (An, 2005).

2.2.4. Alelopatija u reguliranju rasta

U modernoj poljoprivredi manipuliranje rastom biljaka ima veoma važnu ulogu, a provodi se primjenom regulatora biljnog rasta. To su spojevi koji, prisutni u vrlo niskim koncentracijama, kontroliraju fiziološke i biokemijske procese u biljci. Fiziološki procesi na koje regulatori rasta djeluju uključuju razvoj, cvatnju, regulaciju kemijskih spojeva biljke i kontrolu usvajanja minerala iz tla. Regulatori rasta mogu biti biljnog, životinjskog, mineralnog i sintetičkog porijekla, a uključuju široku lepezu kemijskih spojeva. Biljni regulatori rasta su alelokemikalije koje pri niskim koncentracijama poboljšavaju rast i prinos usjeva stimulirajući regulatorni sustav prirodnog rasta (Subtain i sur., 2014).

Spojevi koji se smatraju djelotvornima u svrhu reguliranja rasta su lepidimoid (LM) iz kres salate (*Lepidium sativum* L), lepidimoična kiselina (LMA) iz Talijinog uročnjaka (*Arabidopsis thaliana* L.) te arktigenin i arktigenska kiselina iz čička (*Arctium lappa* L). Provođena su istraživanja vezana uz ove spojeve, a dokazano je da LM i LMA potiču nakupljanje klorofila u supkama suncokreta i krastavaca (Abbas i sur., 2017).

Utjecaj alelokemikalija na rast biljaka može se koristiti na različite načine, primjerice uključivanjem biljaka sa stimulativnim djelovanjem u plodosmjenu, kao i folijarnom primjenom njihovih vodenih pripravaka. Dokazano je stimulativno djelovanje vodenih pripravaka nekih kupusnjača na određene biljne vrste (kukuruz, riža, grah). Spoj koji se smatra odgovornim za ovakvo djelovanje je prirodni hormon brasinolid (Subtain i sur., 2014). Nakon tretiranja graha brasinolidom primijećeno je da su tretirane biljke otpornije na vodni stres. Uz to je prisutna i veća nodulacija korijena, s kojom je povezana i bolja fiksacija dušika, ali i veći prinos mahuna. Također je utvrđeno da sjeme rotkvice tretirano brasinolidom ima veću toleranciju na toksični utjecaj kadmija u tlu koji inhibira klijanje i rast klijanaca rotkvice (Rendulić, 2015).

Dostupno je relativno malo informacija o stimulativnom djelovanju alelokemikalija, jer su istraživanja uglavnom fokusirana na njihovo inhibitorno djelovanje (du Jardin, 2015). Ipak, rezultati koji su postignuti istraživanjem stimulativnog djelovanja pokazuju da biljni regulatori rasta mogu pronaći svoju primjenu u poljoprivredi. Primjerice, dokazano je da tretmani ekstraktom listova konjske rotkvice (*Moringa oleifera* L.) potiču rast rajčice u ranoj vegetativnoj fazi te dovode do povećanja prinosa za 20 do 35 % (Abbas i sur. 2017). Prilikom primjene tretmana u svrhu poticanja rasta potrebno je obratiti pažnju na određene faktore. Alelopatsko djelovanje je selektivno, pa se samo kod određenih vrsta može postići stimulacija. Također je važno vrijeme primjene, jer tretirane vrste ne reagiraju jednako na tretman u svim fazama rasta. Uz navedeno, važni su i temperatura, udio mineralnih soli u tlu te kompeticija. Pri temperaturi između 18 i 24 ºC dokazano je da invazivna vrsta *Parthenium hysterophorus* L. povećava razvoj

salate za 61 %, dok se pri višim temperaturama ovo djelovanje znatno smanjuje. Suprotno od ovog primjera, vodeni ekstrakti vrste *Ipomoea cairica* L. povećavaju klijanje i rast rotkvice pri povišenim temperaturama. Iako se može reći da se alelokemikalije mogu koristiti kao stimulatori rasta, potreban je oprez jer isto tako mogu poticati rast neželjenih vrsta. Stoga su neophodna daljnja istraživanja, kao i bolje razumijevanje alelokemikalija s potencijalom stimulativnog djelovanja (Abbas i sur. 2017).

2.2.5. Alelokemikalije povrtnih kultura

Prema Johnu i sur. (2010) istraživanja alelopatije povrtnih vrsta trebala bi se fokusirati na nekoliko značajnih tema:

1. odvajanje alelopatskih odnosa od kompeticije,
2. pretraživanje germplazme povrtnih vrsta u svrhu otkrivanja alelopatskog potencijala i stvaranja novih kultivara s jačom alelopatskom aktivnošću,
3. iskorištavanje alelopatskog potencijala povrtnih vrsta u kontroli korova i općenito u zaštiti biljaka,
4. određivanje kritičnih koncentracija alelokemikalija u povrtnim kulturama kako bi se otkrili njihovi inhibitorni i stimulativni utjecaji,
5. identificiranje kompatibilnih susjedskih odnosa s drugim korisnim biljnim vrstama,
6. određivanje štetnih i korisnih djelovanja alelopatije povrtnih vrsta u tlu i uzgoju u posudama.

Velik broj istraživanja vezan je prvenstveno za iskorištavanje alelopatskog potencijala povrtnih vrsta u kontroli korova, ali i općenito u zaštiti biljaka. Ipak, razvijanje novih pripravaka za upotrebu kao sredstava za zaštitu bilja proces je koji zahtijeva veliki ulog istraživačkog rada, vremena i materijalnih sredstava. Također je i izolacija alelokemikalija iz biljke dugotrajan i skup proces te je u budućnosti zbog toga potrebno tražiti spoj s jednostavnom kemijskom strukturom i jakom aktivnošću (Amb i Ahluwalia, 2016). Iako bioherbicidi imaju nedostatak da uglavnom djeluju na ograničen broj korova, oni se mogu koristiti protiv neke izrazito opasne vrste korova i dobra su alternativa za ekološku proizvodnju, zbog čega nalaze svoje mjesto u poljoprivredi (Pejić, 2013).

Većina ekonomski značajnih korovnih vrsta razmnožava se generativno (sjemenom) pa je značajno istražiti eventualni utjecaj usjeva na klijanje korova. Qasem i Issa (2018) proveli su vrlo kompleksno istraživanje alelopatskog utjecaja nekih povrtnih usjeva na klijanje i rast određenih korova. U seriji laboratorijskih i stakleničkih pokusa koristili su vodene ekstrakte svježe zeleni, iscjedak svježih listova, te usitnjenu suhu, kao i trulu biljnu masu različitih povrtnih kultura (cvjetača, grah, krumpir, kupus, paprika, patlidžan, rajčica, rotkvica) koje su primijenili na sjeme korovnih vrsta: *Amaranthus retroflexus* (šćir), *Chenopodium murale* (loboda), *Eruca sativa* (rikula), *Malva sylvestris* (sljez), *Portulaca oleracea* (portulak) i *Solanum nigrum* (crna pomoćnica).

Za izradu vodenog ekstrakta svježe zeleni i iscjetka listova Qasem i Issa (2018) upotrijebili su biljke navedenih povrtnih vrsta stare dva mjeseca, a za pripravke u tretmanima suhim i trulim biljnim ostacima korištene su biljke u fazi cvatnje. Vodeni ekstrakt pripremljen je kao filtrat usitnjene zeleni močene u destiliranoj vodi (300 g/L), a korišten je u koncentracijama 20, 40, 60, 80 i 100 %. Iscjedak listova pripremljen je potapanjem listova u destiliranu vodu (1:1 w/v) te filtriranjem nakon pola sata. Za pripravak suhih biljnih ostataka biljke su sušene na temperaturi 75 ^{o}C tijekom 48 sati i samljevene u fini prah, koji je zatim izmiješan sa supstratom u lončićima (16 g/kg supstrata) neposredno pred sjetvu sjemena korova. Pripravci za tretman s razgrađenim biljnim ostacima izrađeni su na isti način i primijenjeni u istoj dozi kao i prethodni, ali su uneseni u supstrat i redovito zalijevani 40 dana prije sjetve korova.

U navedenom istraživanju svojstva promatrana na korovnim vrstama u laboratorijskim uvjetima (klijavost sjemena, duljina korijena i stabljike klijanaca) očitana su 14. dana nakon inkubacije, dok su u stakleničkim uvjetima klijavost sjemena i duljina stabljike analizirane pet/šest tjedana nakon nicanja korova (tablice 2.2.5.1. - 2.2.5.5).

Tablica 2.2.5.1. Fitotoksično djelovanje vodenog ekstrakta zeleni povrtnih vrsta na klijavost i rast klijanaca korova 14. dana nakon inkubacije

Korovna vrsta	**Promatrani parametar**	**Povrtna vrsta s izraženim fitotoksičnim djelovanjem**
Amaranthus retroflexus	Klijavost (1)	Patlidžan, paprika
	Duljina korijena (2)	Sve testirane povrtne vrste
	Duljina stabljike (3)	
Chenopodium murale	1, 2, 3	Cvjetača, paprika, krumpir, rotkvica, rajčica
Eruca sativa	Klijavost	Cvjetača, kupus, patlidžan, rotkvica, rajčica
	Duljina korijena	Cvjetača, kupus, paprika, krumpir, rotkvica
	Duljina stabljike	Cvjetača, paprika
Malva sylvestris	1, 2, 3	Sve osim paprike i krumpira koji djeluju stimulativno
Portulaca oleracea	1, 2, 3	Sve osim paprike i krumpira koji djeluju stimulativno
Solanum nigrum	Klijavost	Kupus, patlidžan
	Duljina korijena	Sve testirane povrtne vrste
	Duljina stabljike	Sve osim krumpira i rotkvice koji djeluju stimulativno

Izvor: Qasem i Issa (2018)

Tablica 2.2.5.2. Fitotoksično djelovanje iscjetka listova povrtnih vrsta na klijavost i rast klijanaca korova 14. dana nakon inkubacije

Korovna vrsta	Promatrani parametar	Povrtna vrsta s izraženim fitotoksičnim djelovanjem
Amaranthus retroflexus	Klijavost (1)	Sve osim kupusa (djeluje stimulativno)
	Duljina korijena (2)	
	Duljina stabljike (3)	
Chenopodium murale	Klijavost	Sve testirane povrtne vrste
	Duljina korijena	
	Duljina stabljike	
Eruca sativa	Klijavost	Sve testirane povrtne vrste
	Duljina korijena	
	Duljina stabljike	
Malva sylvestris	Klijavost	Sve osim rajčice (djeluje stimulativno na duljinu stabljike)
	Duljina korijena	
	Duljina stabljike	
Portulaca oleracea	Klijavost	Patlidžan
	Duljina korijena	Sve testirane povrtne vrste
	Duljina stabljike	
Solanum nigrum	Klijavost	Sve osim rotkvice (djeluje stimulativno na duljinu korijena i stabljike)
	Duljina korijena	
	Duljina stabljike	

Izvor: Qasem i Issa (2018)

Tablica 2.2.5.3. Fitotoksično djelovanje suhih ostataka povrtnih vrsta na klijavost i rast korova 6 tjedana nakon nicanja

Korovna vrsta	Promatrani parametar	Povrtna vrsta s izraženim fitotoksičnim djelovanjem
Amaranthus retroflexus	Klijavost	Sve testirane povrtne vrste su bez učinka
	Duljina stabljike	Kupus, grah
Chenopodium murale	Klijavost	Kupus, rotkvica, cvjetača
	Duljina stabljike	Kupus, rotkvica, cvjetača Rajčica i paprika djeluju stimulativno
Eruca sativa	Klijavost	Rotkvica, patlidžan Krumpir djeluje stimulativno
	Duljina stabljike	Rotkvica, cvjetača, grah, patlidžan
Malva sylvestris	Klijavost	Sve testirane povrtne vrste su bez učinka
	Duljina stabljike	
Portulaca oleracea	Klijavost	Rotkvica, cvjetača, grah
	Duljina stabljike	Rotkvica, cvjetača
Solanum nigrum	Klijavost	Sve osim rajčice i krumpira
	Duljina stabljike	

Izvor: Qasem i Issa (2018)

Tablica 2.2.5.4. Fitotoksično djelovanje razgrađenih ostataka povrtnih vrsta na klijavost i rast korovnih vrsta 5 tjedana nakon nicanja

Korovna vrsta	Promatrani parametar	Povrtna vrsta s izraženim fitotoksičnim djelovanjem
Amaranthus retroflexus	Klijavost	Grah, kupus, cvjetača
	Duljina stabljike	Kupus, cvjetača, grah Krumpir i paprika djeluju stimulativno
Chenopodium murale	Klijavost	Sve testirane povrtne vrste su bez učinka
	Duljina stabljike	Kupus, grah, rajčica, patlidžan
Eruca sativa	Klijavost	Sve testirane povrtne vrste su bez učinka
	Duljina stabljike	Rotkvica, patlidžan, krumpir, rajčica
Malva sylvestris	Klijavost	Rajčica
	Duljina stabljike	
Portulaca oleracea	Klijavost	Cvjetača
	Duljina stabljike	Sve osim paprike i graha
Solanum nigrum	Klijavost	Sve testirane povrtne vrste su bez učinka
	Duljina stabljike	Paprika

Izvor: Qasem i Issa (2018)

U svim načinima primjene (vodeni ekstrakt, iscjedak listova, suhi ostaci, razgrađeni ostaci) alelopatski pripravci kupusa, cvjetače i paprike djeluju vrlo toksično na sve promatrane vrste korova uzrokujući najslabiju klijavost sjemena i rast klijanaca, dok su pripravci na osnovi krumpira najmanje toksični za sve korove (Qasem i Issa, 2018).

Tablica 2.2.5.5. Djelovanje na korovne vrste posijane u isto tlo u kojem su prethodno uzgajane povrtne kulture

Korovna vrsta	Promatrani parametar	Povrtna vrsta s izraženim fitotoksičnim djelovanjem
Amaranthus retroflexus	Klijavost	Sve testirane povrtne vrste su bez učinka
	Duljina stabljike	Cvjetača
Chenopodium murale	Klijavost	Rajčica, rotkvica, kupus, cvjetača, paprika
	Duljina stabljike	
Eruca sativa	Klijavost	Rajčica, cvjetača
	Duljina stabljike	Cvjetača, paprika
Malva sylvestris	Klijavost	Paprika, rotkvica
	Duljina stabljike	
Portulaca oleracea	Klijavost	Kupus
	Duljina stabljike	Rotkvica, cvjetača
Solanum nigrum	Klijavost	Sve testirane povrtne vrste su bez učinka
	Duljina stabljike	Rajčica

Izvor: Qasem i Issa (2018.)

Stupanj inhibicije bio je povezan s koncentracijom ekstrakta, odnosno, stimulativni utjecaj se pokazao pri niskim koncentracijama, a inhibitorni pri visokim koncentracijama pripravaka. Ipak, korištenjem svih ekstrakata i različitih koncentracija najviše je bio pogođen

korijen klice, a stabljika u manjoj mjeri, što može biti rezultat toga da je korijen u direktnom kontaktu s ekstraktima u tlu. Ekstrakti mogu također biti primijenjeni direktno na listove ili uneseni u tlo kako bi se smanjilo klijanje i usporio rast klijanaca. No, ovi laboratorijski eksperimenti nisu uključivali uzgoj na oranici, što bi moglo uzrokovati veliku razliku u primjeni i rezultatima (Qasem i Issa 2018).

U ovom istraživanju hlapljive tvari kupusa pokazale su inhibirajući utjecaj na korijen svih testiranih korova, dok su cvjetača i rotkvica značajno smanjile rast svih korova. Alelopatska aktivnost hlapivih tvari nekih usjeva kao što su rajčica, krstašice i mahunarke već je utvrđena. Kontrola korova može biti sprovedena korištenjem usjeva koji proizvode hlapljive tvari. To se može postići uzgojem donatorskih usjeva u neposrednoj blizini korova ili se korovi mogu prekriti žetvenim ostacima donatorskih usjeva (Qasem i Issa, 2018). Prema Westonu (2005), imajući u vidu nekoliko čimbenika, kao primjerice da su vrste sa sitnijim sjemenkama osjetljivije na alelokemikalije od vrsta s krupnim sjemenkama, te znajući koji se usjevi mogu uzgajati kao pokrovni ili za zelenu gnojidbu, kao i uzimajući u obzir vrijeme i gustoću sjetve, može se učinkovito i selektivno potisnuti korove rano u sezoni rasta.

2.2.6. Alelopatija u združenim usjevima

Alelopatija može imati značajnu primjenu u području poljoprivrede korištenjem usjeva na različite načine, primjerice uzgojem postrnih usjeva koji prekrivaju ili potiskuju korove, inkorporacijom biljnih ostataka, zatim u vidu zelene gnojidbe, u plodoredu ili potiskivanje korova (Pejić, 2013). Česta je praksa združenog uzgoja biljaka s međusobnim povoljnim učinkom, bilo da se uzajamno potiču u rastu i razvoju ili se međusobno štite. Bolje iskorištavanje prostora, poboljšani rast, aroma i okus biljaka te veći prinosi, kao i manja izloženost bolestima i štetnicima postižu se zbog međusobnog djelovanja jednih na druge. Iz ovih razloga u hortikulturi se zahtijeva dobar dizajn i poznavanje međusobnih odnosa biljaka.

Prema Parker i sur. (2013) združeni usjev (konsocijacija) specifičan je oblik polikulture u kojem se zajedno uzgajaju najmanje dvije biljne vrste za koje se zna ili se vjeruje da jedna drugoj sinergistički poboljšavaju rast. No, uglavnom se poboljšanje svodi na zaštitu od štetočinja, koje može biti izravno (onemogućavanjem nastanjivanja šetnika na usjevu, potiskivanjem razvoja korova i dr.) ili neizravno (privlačenjem prirodnih neprijatelja štetnika). Uz glavni usjev može se uzgajati biljna vrsta koja će narušavati potragu štetnika za biljkom-domaćinom (svojim intenzivnim mirisom maskira usjev), zatim vrsta koja privlači štetnika i odvlači ga od usjeva (lovna biljka), vrsta koja odbija štetnika (repelentna biljka) ili pak ona koja fizički blokira pristup usjevu. Biljne vrste sa zaštitnom ulogom mogu se uzgajati u redovima između osnovne kulture ili u pojasevima usijanim u/oko usjeva (lovni, repelentni, ekološki pojasevi).

Izlučevine korijena i mirisi biljaka igraju važnu ulogu za susjedne biljke. Neke se biljke međusobno ne mogu podnijeti zbog mirisa koji otpuštaju te slabo uspijevaju ili uginu ako se

uzgajaju u neposrednoj blizini jedna drugoj. S druge strane, neke se biljne vrste međusobno potiču te zajedno rastu bujnije i zdravije. Ovi se odnosi također mogu zamijetiti i na korijenju, ovisno da li je isprepleteno ili distancirano jedno od drugog. Uz to, susjedne biljke mogu utjecati na promjenu sastava populacije mikroorganizama koji žive u zoni korijena ili ispuštati arome koji privlače ili odbijaju određene insekte (Del Fabro, 2004). Smatra se da je veliki broj biljaka koje se međusobno podnose i stvaraju povoljne međusobne utjecaje, a relativno je mali broj onih koje se ne podnose. Postoji također i treća skupina koja je neutralna na utjecaje drugih biljaka (Kreuter, 2002).

Prema Znaoru (1996), s obzirom na namjenu i rezultate koji se postižu združivanjem biljaka, razlikuju se:

1. biljke koje izravno pomažu jedna drugoj i sade se u neposrednoj blizini jedna pored druge – iako uzroci ovih odnosa nisu u potpunosti jasni, smatra se da su rezultat izlučivanja alelokemikalija putem korijena koje djeluju stimulativno na susjedne biljke;
2. biljke koje uzrokuju antipatiju – neke biljke ne podnose blizinu određenih drugih biljaka;
3. 'pomoć malog omjera' – određene biljke bolje rastu ukoliko su okružene ili izmiješane u vrlo malom omjeru s nekim drugim biljkama, a smatra se da većina aromatičnog bilja ima pozitivan utjecaj na mnoge kulture;
4. biljke koje štite susjede od napada štetnika – štetnici ih izbjegavaju zbog neugodnog mirisa, okusa, boje ili su pak njima privučeni pa napadaju njih umjesto glavne usjeve;
5. biljke koje odbijaju ostale životinje i smanjuju napad bolesti – također izlučivanjem alelokemikalija koje djeluju repelentno ili su otrovne za životinje, a neke od njih također imaju i fungicidno djelovanje. Obrana bilja od herbivora temelji se na prisutnosti različitih kemijskih spojeva, najčešće antranilata i acetofenona koji djeluju na centralni živčani sustav. Neke biljke sintetiziraju oksalate i silikate koji oštećuju usni aparat insekata i otežavaju probavu, a mogu i sintetizirati hormone insekata kako bi onemogućile ili utjecale na pravilan razvoj insekata.

Konsocijacije kultura zasnivaju se radi pozitivnog alelopatskog učinka susjednih biljnih vrsta, što se kolokvijalno naziva 'dobri susjedi'. U te je odnose moguće uključiti biljne vrste iz različitih skupina, a s aspekta povrća kao glavnog usjeva to mogu biti druge povrtne vrste, žitarice, mahunarke te aromatične, začinske, ljekovite, ukrasne i samonikle biljne vrste. U tablici 2.2.6.1. 'dobri i loši susjedi' u povrtnjaku prikazani su sa stanovišta povrtnih vrsta, a u tablici 2.2.6.2. prema vjerojatnom utjecaju aromatičnog, začinskog, ukrasnog i samoniklog bilja na povrtne vrste (prema O'Haganu, 2016). Iako učinak većine ovih susjedskih odnosa nije znanstveno potvrđen, u stručnoj se literaturi navode kombinacije koje su rezultat višegodišnjih promatranja vrtlara - praktičara (Kreuter, 2002), jer se nekad svijet daleko više promatrao nego danas, pa se i zaključivalo temeljem vlastitih opažanja, a rezultati su se prenosili u vidu savjeta i širili se u koncentričnim krugovima u prostoru i vremenu. U prirodi nema monokulture, nego na istom mjestu u isto vrijeme rastu različite biljne vrste (združeno!), koje su prilagođene lokalnim uvjetima i koje se međusobno nadopunjuju i opstaju u zadanim uvjetima, pa se za njih može reći

da su 'dobri susjedi'. Prema Kreuter (2002), kao tipična 'dobrosusjedska' kombinacija navodi se rana mrkva i luk, te kasna mrkva i poriluk, koji se međusobno štite od glavnih štetnika - mrkvine i lukove muhe. Važnim poticajnim kombinacijama povrtnih vrsta smatraju se salata s rotkvicom i korabicom, kupusnjače s grahom te rajčica s peršinom ili celerom. Također prema Kreuter (2002), treba izbjegavati neke izrazito nepovoljne kombinacije, poput graha ili kupusnjača s lukom ili rajčice s krumpirom ili graškom. Iz tablice 2.2.6.1. vidi se da je moguće ostvariti daleko više povoljnih međusobnih kombinacija povrtnih kultura, u odnosu na one nepovoljne.

Pri združivanju usjeva treba voditi računa o tome da se ne smije pojaviti negativna alelopatija i štetni utjecaj alohtonih tvari, te da sekreti korijena ne smiju negativno djelovati na korisne mikroorganizme tla. Također između združenih usjeva ne smije doći do kompeticijskog odnosa u primanju vanjskih (atmosferskih i edafskih) vegetacijskih čimbenika jer se u slučaju natjecanja za fizički prostor, hranive tvari, vodu ili Sunčevu svjetlost gubi glavna svrha združivanja usjeva.

Tablica 2.2.6.1. Dobri i loši susjedi u povrtnjaku (odnosi povrtnih vrsta)

Povrtna kultura	**Dobri susjedi**	**Loši susjedi**
Blitva	Cikla, luk	
Bob	Brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, salata, špinat, krumpir	Luk, češnjak, vlasac, komorač
Brokula	Bob, grah, krastavac, rajčica, cikla, krumpir	
Bundeva		Krumpir
Cikla	Brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, salata, blitva, luk, krumpir	Rajčica
Cvjetača	Bob, grah, krastavac, rajčica, cikla, krumpir, celer	
Češnjak		Bob, grah, grašak, kupus
Grah	Brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, salata, grašak, krastavac, krumpir, mrkva	Luk, češnjak, vlasac, komorač
Grašak	Grah, krastavac, kupus, mrkva, celer, pastrnjak, krumpir	Luk, češnjak, ljutika, vlasac
Kelj pupčar	Bob, grah, krumpir, cikla, krastavac	
Krastavac	Brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, rotkvica, mrkva, celer, salata, grah, grašak	Krumpir
Krumpir	Brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, bob, grašak, grah, patlidžan, cikla, hren, pastrnjak	Celer, krastavac, rajčica
Kupus	Bob, grah, grašak, cikla, celer, luk, krumpir, krastavac, salata, gorušica	Češnjak, rajčica
Luk	Mrkva, pastrnjak, peršin, cikla, poriluk, blitva, salata, kupus, rajčica	Bob, grah, grašak
Ljutika		Grah, grašak
Mrkva	Grah, grašak, salata, luk, poriluk, vlasac, rotkvica, krastavac, rajčica	Pastrnjak

Patlidžan	Grah, krumpir	
Poriluk	Mrkva, celer, luk	
Rajčica	Brokula, cvjetača, mrkva, peršin, celer, pastrnjak, luk, vlasac, šparoga	Cikla, komorač, krumpir
Rotkvica	Mrkva, pastrnjak, krastavac, salata	
Salata	Bob, grah, grašak, krastavac, kupus, rotkvica, cikla, mrkva, luk	Peršin
Šparoga	Peršin, rajčica	
Špinat	Bob	

Izvor: O'Hagan (2016)

Volf (2017) istraživala je utjecaj združivanja usjeva salate i luka na morfološka, gospodarska i kemijska svojstva ovih kultura. Ustanovila je da združivanje usjeva u ovom slučaju nije rezultiralo utjecajem na promatrana svojstva i nije dokazan pozitivan utjecaj ove konsocijacije u odnosu na njihov uzgoj kao samostalnih usjeva. Volf predlaže da se istraživanje proširiti na nekoliko rokova tijekom vegetacije s odgovarajućim sortimentom salate za pojedine rokove uzgoja te da se, zbog znatno duže vegetacije luka u odnosu na salatu, za luk u konsocijaciji sa salatom odaberu sorte pogodne za potrošnju u svježem stanju (kao mladi luk). Također predlaže da se, pored osnovnog mineralnog sastava, istraživanje proširi i na organske spojeve poput flavonoidnih glikozida, organskih kiselina i drugih nutritivno značajnih sastavnica kojima obiluju ove dvije povrtne vrste.

Bolja aroma i bolji okus povrća mogu biti rezultat njegovog združenog uzgoja s vrstama iz skupine aromatičnog i začinskog bilja. Kako se u ekološkom uzgoju nastoji postići ravnoteža i bioraznolikost, važnu ulogu u združivanju s povrćem također ima ukrasno i samoniklo bilje (tablica 2.2.6.2.). Ukrasno bilje, osim što ima estetsku ulogu u hortikulturi, pomaže pri obrani od nametnika, a samoniklo bilje se uz to može koristiti u ljekovite i prehrambene svrhe. U stručnoj se literaturi mogu naći brojni primjeri pozitivnih međusobnih utjecaja biljaka iz navedenih skupina, kao i kako ih uklopiti u dobrosusjedske odnose s povrtnim vrstama. Kreuter (2002) u cilju poboljšanja arome ističe kombinaciju mladog krumpira s kimom i korijandrom, zatim mrkvu i kopar, te rotkvicu i grbicu.

Tablica 2.2.6.2. Susjedski odnosi aromatičnog, začinskog, ukrasnog i samoniklog bilja (AZB) i povrća

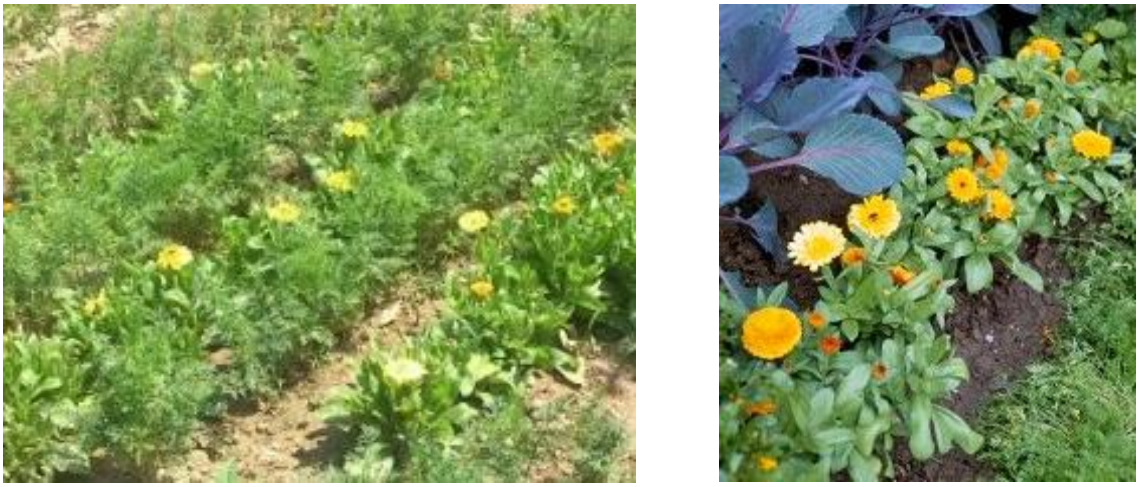
AZB	Dobri susjedi	Loši susjedi
Boreč	Brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, grašak, krastavac, rajčica, vratić	
Bosiljak	Rajčica, krastavac, šparoga, komorač, vlasac	Blitva, ruta
Celer	Grašak, cvjetača, kupus, poriluk, rajčica, mažuran, kopar	Krumpir, pastrnjak
Čubar	Grah, luk,	
Hren	Krumpir, kopriva	
Kadifica	Brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, salata,	

	blitva, grah, mrkva, rajčica, krumpir	
Kadulja	Grah, grašak, kupus, ružmarin	Krastavac, ruta
Kamilica	Kupus	Menta
Komorač	Bosiljak, kopar	Bob, grah, rajčica, korijandar, lavanda
Kopar	Brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, mrkva, celer, pastrnjak, cikla, krumpir, krastavac, korijandar, kopar, komorač, krasuljica	
Kopriva	Rajčica, hren	
Korijandar	Brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, mrkva, pastrnjak, kopar, krasuljica	Komorač
Krasuljica	Češnjak, rotkvica, salata, peršin, korijandar, kopar, stolisnik	
Lavanda	Češnjak, kupus, blitva, mažuran, ružmarin	Komorač
Mažuran	Bob, grah, grašak, brokula, cvjetača, kelj pupčar, kupus, rotkvica, cikla, mrkva, celer, pastrnjak, luk, poriluk, ljutika, vlasac, krumpir, blitva, špinat, salata, krastavac, bundeva, tikvica, rajčica, patlidžan, šparoga, bosiljak, lavanda	
Menta	Kupus, rajčica	Peršin, kamilica
Pastrnjak	Grah, grašak, luk, vlasac, rotkvica, krumpir, salata, rajčica, kopar, mažuran, kadulja	Mrkva, celer
Peršin	Grah, luk, vlasac, rajčica, šparoga, ružmarin	Salata, menta
Potočarka	Brokula, kupus, rotkvica, krastavac, rajčica, tikvica, krumpir,	
Ruta	Mrkva	Brokula, cvjetača, kupus, bosiljak, kadulja
Ružmarin	Grah, češnjak, mrkva, peršin, kupus, kadulja	Krumpir, rajčica
Stolisnik	Krasuljica, vratić	
Timijan	Kupus	
Vlasac	Mrkva, peršin, pastrnjak, rajčica, šparoga, bosiljak, mažuran	Bob, grah, grašak
Vratić	Kupus, krastavac, špinat, boreč, stolisnik	

Izvor: O'Hagan (2016)

Erhatić i sur. (2015) proveli su istraživanje združenog uzgoja mrkve i nevena s pretpostavkom da se uz manji unos hraniva i pesticida može postići veći prinos i kvaliteta mrkve. Rezultati su pokazali da je mrkva najdužeg korijena razvijena izvan konsocijacije (100 % mrkva), no biljke s najvećim i najbrojnijim listovima zabilježene su u konsocijaciji u kojoj je zastupljenost nevena 75 %. Ukoliko je zastupljenost nevena za 10 do 15 % manja od mrkve, ostvaruje se njegov povoljan utjecaj na većinu morfoloških svojstava mrkve, uključujući i razvoj najšireg korijena. Zaključak je da je uzgoj mrkve u konsocijaciji s nevenom ekološki prihvatljiv jer se bez korištenja kemijskih sredstava i mineralnih gnojiva postižu zadovoljavajući prinos i

kvaliteta. U istraživanju provedenom s kupusom, primijećeno da je u usjevu prisutan manji broj štetnika ako se kupusu uzgaja u konsocijaciji s nevenom (Špoljar, 2015). Uz repelenciju štetnika koji napadaju nadzemni dio ovih biljaka, neven preko korijena izlučuje fitoncide koji doprinose smanjenju brojnosti nematoda u tlu, i na taj način neizravno potiče bolji rast usjeva, a time i veći prinos. Združeni usjevi mrkve i nevena te kupusa i nevena prikazani su na slici 2.2.6.1.



Slika 2.2.6.1. Združeni usjev mrkve i nevena (lijevo) te kupusa i nevena (desno)
Izvor: lijevo: https://www.agroklub.com/; desno http://www.dotcomwomen.com

Pored poticanja rasta i utjecaja na aromu, velik broj združenih usjeva povrtnih vrsta s ostalim navedenim skupinama biljaka odnosi se na obranu od štetočinja, prvenstveno insekata i korova. Prema Woodward (2012) mačja metvica (*Nepeta sp.*) sadrži nepetalakton koji odbija neke insekte i imitira jedan od feromona lisnih ušiju što privlači parazitske osice. U Velikoj Britaniji i SAD-u koriste ovu metvicu za privlačenje osica radi povećanja njihove populacije tako da su spremne za parazitiranje ušiju čim one postanu aktivne. S obzirom da ova biljka privlači mačke, ne treba ju saditi ako su mačke nepoželjne u blizini biljaka.

Dokazano je da korijen kadifica izlučuje fitoncide koji priječe razvoj nematoda korjenovih guka. Uz to je ustanovljeno i da njene prirodne aktivne tvari sadrže slične spojeve kao i sintetička sredstva protiv nematoda, koja su proizvod kemijske industrije (Simoni, 2004). Stoga bi češće trebalo prakticirati združivanje povrtnih vrsta s kadificama jer su izlučine njihovog korijena, kao i miris nadzemnog dijela, nepovoljni za razvoj značajnih štetnika povrća - nematoda i lisnih uši. Kadifice su posebno korisne za rajčicu (slika 2.2.6.2.) i krumpir, a mogu biti od pomoći u usjevima kupusnjača, mrkve i graha. Nadalje, *Asparagus officinalis*, *Brassica nigra*, *Sinapis alba*, neke vrste iz rodova Ambrosia, Tagetes i dr. mogu značajno smanjiti napad nematoda (Igrc Barčić i Maceljski, 2001).

Lukić (2016) istraživala je uspješnost nepesticidnih mjera suzbijanja nematoda u usjevu rajčice, gdje je, pored primjene organskih tvari (pileći gnoj, stajski gnoj, piljevina) bila uključena i sadnja biljaka kadifice. Pregledom korijena rajčice nije bilo moguće ocijeniti učinkovitost

primijenjenih tretmana jer nije došlo do razvoja gukavosti korijena rajčice, čemu su razlog mogle biti vremenske prilike, odnosno, temperatura tla i ranija sadnja rajčice na otvorenom. Autorica u ovom slučaju zaključuje da bi ranija sadnja mogla biti jedna od mjera kojima se može utjecati na smanjenje šteta od termofilnih vrsta nematoda kao što su one iz roda *Meloidogyne*.



Slika 2.2.6.2. Združeni uzgoj kadifica i rajčice
Izvor: https://garden-photos-com.photoshelter.com

Velik broj samoniklih biljnih vrsta smatra se korovima, pa se često zaboravlja njihova uporabna vrijednost za čovjeka. Teofrastov mračnjak, šćir, loboda, kužnjak i druge vrste koje se smatraju korovnima, mogu se također koristiti u prehrani i u ljekovite svrhe. Promatrajući sa stanovišta maksimalnog iskorištavanja tla i smanjene upotrebe različitih resursa za suzbijanje korova, bilo bi korisno kada bi se korovne vrste, kao samoniklo, divlje povrće, moglo uzgajati uz kultivirane vrste. Afolayan i Bvenura (2018) proveli su istraživanje s hipotezom da je takav uzgoj moguć. Proučavali su djelovanje različitih koncentracija vodenih ekstrakata svježe zeleni i svježeg korijena crne pomoćnice na klijavost sjemena rajčice, kupusa i špinata. Ustanovili su da ekstrakt svježe zeleni samo u najnižoj koncentraciji (2 mg/ml) djeluje depresivno i to jedino na klijavost sjemena kupusa, a nema utjecaja na klijavost sjemena rajčice i špinata. Kod ekstrakta korijena klijavost je evidentno smanjena jedino kod rajčice i to uz primjenu najviše koncentracije (10 mg/ml). Brzina klijanja signifikantno je smanjena jedino kod rajčice, primjenom najveće koncentracije obih ekstrakata. Autori zaključuju kako je inhibicija ipak dovoljno niska da se može razmatrati istovremeni uzgoj navedenih povrtnih kultura uz prisutnost crne pomoćnice. Vrlo je vjerojatno da se isti zaključak može primijeniti i na druge korovne vrste.

Istraživanje utjecaja vodenog ekstrakta kamilice, rudbekije i europskog mračnjaka na klijavost sjemena i rast klijanaca (dužina korijenka i epikotila) salate i cikle provela je Golubić (2008). Kod obje su kulture utvrđeni alelopatski učinci na proces klijanja, odnosno, ustanovljen je inhibirajući, ali i stimulirajući utjecaj ovih ekstrakata na promatrane parametre. Kod salate je utvrđen inhibirajući učinak ekstrakta kamilice i rudbekije na klijavost sjemena i rast klijanaca, dok je ekstrakt mračnjaka ograničio samo dužinu korijenka. Kod cikle je jedino ekstrakt mračnjaka inhibirajuće djelovao na sve promatrane parametre, ekstrakt kamilice je ograničio samo rast korijenka, dok je ekstrakt rudbekije stimulativno djelovao na rast klijanaca, bez utjecaja na klijavost sjemena. Zanimljivo je da ekstrakt rudbekije ima suprotni alelopatski učinak na proces klijanja salate i cikle.

Ovaj kratki pregled zorno pokazuje da je područje alelopatije polje na kojem je potrebno provesti još mnoga istraživanja te da se dobiveni rezultati uglavnom ne mogu uopćavati, jer ovise o velikom broju čimbenika.

2.2.7. Eterična ulja kao izvori alelokemikalija

Prirodni proizvodi, uključujući eterična ulja, imaju veliki potencijal za primjenu u poljoprivrednoj proizvodnji, prvenstveno u ekološkom sustavu koji ne dopušta primjenu sintetičkih sredstava za zaštitu bilja. Prednost prirodnih tvari je njihova brza biorazgradivost, bez ostavljanja rezidua na usjevima pa ne uključuju pojam karence. Veoma je značajno i da njihova primjena ne utječe nepovoljno na ljudsko zdravlje, što postaje sve važnija činjenica podjednako i proizvođačima i konzumentima hrane (Ebadollahi, 2013).

Eterična ulja su hlapivi, lipofilni prirodni sekundarni metaboliti biljaka, a karakterizira ih snažan miris. To su smjese organskih spojeva koje se razlikuju prema udjelima pojedinih skupina kemijskih spojeva, ovisno o biljnoj vrsti od koje potječu. Razlike u udjelu pojedinih spojeva odgovorne su za prisutnost karakterističnog mirisa i specifičnosti alelopatskih svojstava. Prema Ebadollahi (2013) kemijski sastav eteričnog ulja prije svega ovisi o biljnoj vrsti, ali i o organu iz kojeg se obavlja ekstrakcija, zatim o razvojnoj fazi biljke u momentu berbe, karakteristikama tla, kao i vremenskim prilikama tijekom uzgoja. Obzirom na kemijski sastav, eterična ulja čine ugljikovodici i oksigenirani ugljikovodični spojevi, a najvećim dijelom to su monoterpeni, seskviterpeni, fenoli, alkoholi, esteri, aldehidi i ketoni. Prema Tripathi i sur. (2009) monoterpenoidi čine 90 % eteričnih ulja i čine mnoštvo spojeva sa čitavom paletom različitih funkcija. To su ugljikovodici s 10 ugljikovih atoma uz koje dolaze acilni alkoholi (linalol, geraniol, citronelol), ciklički alkoholi (mentol, terpineol), diciklički alkoholi (borneol, verbenol), fenoli, ketoni, aldehidi, kiseline i mnogi drugi. Stoga učinak eteričnih ulja na biljne štetočinje (štetnike, uzročnike biljnih bolesti, korove) ovisi o njihovom kemijskom sastavu, odnosno o prevladavajućim sastavnicama.

Prema Dizdar (2012), najveći alelopatski potencijal prema korovima pokazuju biljne vrste bogate eteričnim uljem i to prvenstveno one koje pripadaju porodici Apiaceae (kim, komorač, kopar i korijandar). Stoga se eterična ulja istražuju s ciljem procjene njihovog herbicidnog djelovanja. Iako su sintetički herbicidi ekonomski isplativiji, ekološki herbicidi, bazirani na eteričnim uljima, mogu biti potencijalna alternativa zbog njihove sigurnosti za ljude i okoliš.

Eterična ulja biljaka iz porodice usnjača također imaju djelotvornu herbicidnu aktivnost koja je rezultat prisutnosti vrlo aktivnih spojeva (α-pinen, limonen, 1,8-cineol, karvakrol, kamfor i timol). Istraživanjem djelovanja eteričnog ulja ružmarina, čubra i lovora na šćir (*Amaranthus retroflexus* L.) i krovni ovsik (*Bromus tectorum* L.) pokazalo se da sve tri vrste mogu potpuno zaustaviti klijanje sjemena navedenih korova, što je rezultat inhibicije diobe i izduživanja stanica. Također je dokazano da folijarna primjena nanoemulzije eteričnog ulja čubra na korove značajno smanjuje udio klorofila i pojačava gubitak elektrolita, što rezultira smrću tretiranih biljaka. Isto tako, smatra se da alelokemikalije mijenjaju hormonalnu ravnotežu, staničnu respiraciju i fotosintezu, što sprječava rast stanica. Kod kombinirane primjene eteričnog ulja ružmarina i lovora pokazalo se da zajedno imaju osrednji učinak, dok pojedinačno pokazuju maksimalni ili minimalni alelopatski učinak, ovisno od tretirane vrste. Iz ovoga se vidi da bi herbicidi na bazi pojedinačnih eteričnih ulja mogli biti djelotvorniji od herbicida s kombinacijom eteričnih ulja (Hazrati i sur., 2018).

Kao vrlo jak inhibitor klijanja pokazao se pelin čije eterično ulje potpuno inhibira klijanje sjemena crne pomoćnice i šćira, a kemijskom analizom je utvrđeno da ovaj učinak ima zbog prisutnosti monoterpena piperitona (Afolayan i Bvenura, 2018).

Eterična ulja istražuju se i s aspekta djelovanja na insekte. Ona s letalnim ili subletalnim insekticidnim djelovanjem imaju utjecaj na metaboličke, fiziološke i biokemijske procese i na ponašanje kukaca. Prema Tripathi i sur. (2009), dosadašnja istraživanja pokazala su da se djelovanje očituje kroz skupove utjecaja - toksičnih (ovicidan, larvicidan, pupicidan) i subletalnih (smetnje u ovipoziciji i ishrani, repelentnost). Eterična ulja s toksičnim djelovanjem direktno utječu na ugibanje štetnika, dok eterična ulja koja pokazuju subletalno djelovanje na razne načine neizravno djeluju na odbijanje štetnika. Zato se eterična ulja općenito mogu podijeliti na inhibitore i repelente. Inhibitori mogu djelovati na potrebu za ishranom i parenjem ili ometati prirodna ponašanja kukaca (let, ovipozicija). Primjerice inhibitori ishrane kukaca smanjuju potrebu kukaca za ishranom ili je potpuno uskraćuju. Kukci bi se u takvim okolnostima mogli zadržati u neposrednoj blizini biljaka, ali ne stvaraju štetu i ubrzo ugibaju. Repelenti pak utječu na olfaktorne ili druge receptore kukaca tjerajući ih od biljaka (Ebadollahi, 2013).

2.3. Klimatske promjene i alelopatija

Očekuje se da klimatske promjene imaju utjecaj na alelopatske interakcije djelujući na fizičko-kemijske parametre okoliša kao što su temperatura, oborine i osvjetljenje. Promjene u ovim parametrima mogu uzrokovati stres na terestričke zajednice djelujući primarno na fiziološke procese povezane sa dinamikom alelokemikalija (Gomes i sur., 2017).

Prema Gomes i sur. (2017), temperatura je važan regulacijski faktor primarne produkcije jer kontrolira temeljna funkcionalna svojstva kao što su aktivnost enzima i viskoznost membrana. Podešavanje enzimske aktivnosti bitno je za produkciju i aktivnost alelokemikalija. Promjene temperature mogu utjecati na aktivnost enzima uključenih u proizvodnju alelokemikalija i mogu rezultirati pratećim podešavanjima aktivnosti detoksifikacijskih sustava povećavajući toksičnost alelokemikalija. Temperaturne promjene mogu utjecati na biodostupnost alelokemikalija u otopini tla na način da niže temperature rezultiraju povećanjem njihove koncentracija u tlu zbog smanjene mikrobiološke aktivnosti, a time i smanjene razgradnje, a suprotni uvjeti se mogu očekivati pri višim temperaturama.

Isti autori navode da je zbog trošenja ozona povećan intenzitet osvjetljenja i UV radijacije, a time i njihov utjecaj na ekosustave, što rezultira povećanim oštećenjem stanica i smanjenom fotosintezom. Zbog toga se očekuje da će izloženost većoj UV radijaciji povećati utjecaj alelokemikalija koje su povezane sa proizvodnjom slobodnih kisikovih radikala. Ti radikali pri povećanoj produkciji mogu uzrokovati potpuno uništenje biljke. Ipak, najvažniji utjecaj promjena u Sunčevoj radijaciji povezan je s proizvodnjom alelokemikalija i njihovom razgradnjom. Oštećenje fotosustava zbog veće UV radijacije može rezultirati smanjenom asimilacijom ugljika i smanjenom proizvodnjom alelokemikalija u biljkama. Uz to, koncentracija alelokemikalija ispuštenih na površinu tla, a koje su osjetljive na svjetlost, može biti smanjena pod utjecajem većeg intenziteta svjetlosti.

Oborine također utječu na proizvodnju alelokemikalija i njihovu dostupnost u otopini tla. Povećana količina oborina osigurava dobro hidratizirane stanice i ubrzan metabolizam, što je povezano s proizvodnjom alelokemikalija. U isto vrijeme, više oborina će rezultirati povećanim ispiranjem alelokemikalija iz tla te usprkos njihovoj većoj produkciji očekuje se da će njihov utjecaj biti smanjen. S druge strane, pri smanjenim oborinama i sušnim uvjetima pristup otopini tla je ograničen, što također ograničava usvajanje alelokemikalija (Gomes i sur., 2017).

Iako postoje generalizirani mogući rezultati klimatskih promjena, specifični utjecaj alelokemikalija na različite organizme uvelike je otvoren za nagađanja i istraživanja. Kao hipotetski primjer Gomes i sur. (2017) navode da neke biljne vrste u suhim uvjetima mogu povećati proizvodnju alelokemikalija koje utječu na otvaranje puči ciljanih biljaka, uzrokujući time povećanu transpiraciju u uvjetima smanjene dostupnosti vode, što može rezultirati smrću ciljane biljke. Autori zaključuju da, iako je teško predvidjeti utjecaje klimatskih promjena na alelopatske interakcije, te promjene bi svakako trebalo očekivati.

3. ZAKLJUČAK

Alelopatija može predstavljati bitan čimbenik u ekološkom uzgoju povrća, što je vidljivo iz brojnih primjera dobrog združivanja, a koja su već opažena i uvedena u praksu. Postoje različiti načini na koje se alelopatija može primijeniti, ovisno o tome da li je prioritet uklanjanje korova i nametnika, najbolje iskorištavanje prostora ili iskorištavanje proizvodnog potencijala poljoprivredne površine. Na žalost, alelopatski su odnosi podložni utjecajima različitih faktora, što otežava njihovo definiranje pa se teško dolazi do konkretnih znanstvenih rezultata. Za sada se najviše pažnje posvećuje alelokemikalijama ispuštenim putem korijena, ali moguće je da su ove najmanje stabilne, jer često njihova učinkovitost ovisi o odnosu s tlom i mikroorganizmima tla. Zbog toga su možebitno alelokemikalije iz stabljike i listova pogodnije za istraživanja koja se provode s ciljem stvaranja ekološki prihvatljivih sredstava za zaštitu bilja. Uz to, znatne su razlike među rezultatima postignutim u laboratorijskim i poljskim uvjetima i, unatoč sve većem zanimanju za ovu tematiku i povećanjem broja istraživanja, još uvijek postoji previše nepoznanica. To je razlog zbog kojeg trenutno nije moguće učinkovito i u većem obimu zamijeniti sintetička sredstva za zaštitu bilja sa sredstvima na bazi alelokemikalija. Također je tanka granica između stimulativnog i inhibirajućeg djelovanja istih tvari te nije lako utjecati na to kada će jedno djelovanje prestati, a drugo nastupiti, što dodatno otežava primjenu. Ipak, ne može se poreći da alelopatija čini bitnu razliku u ekološkom uzgoju bez obzira koliko se malo zna o njenom kompleksnom djelovanju. Stoga se može očekivati da će se korištenjem bolje tehnologije i daljnjim istraživanjima doći do značajnih dopuna dosadašnjih otkrića, što će omogućiti učinkovitu primjenu alelopatije, jer sa sadašnjim znanjem očigledno je da se radi o moćnom sustavu s velikim potencijalom, koji bi mogao znatno poboljšati poljoprivrednu praksu.

4. LITERATURA

1. Abbas T., Nadeem M.A., Tanveer A., Chauhan B.S. (2017). Can hormesis of plant-released phytotoxins be used to boost and sustain crop production? Crop protection 93: 69-76.
2. Afolayan A.J., Bvenura C. (2018). Essential oil composition and phytotoxicity effects of *Solanum nigrum* L. on seed germination of some vegetables. Applied Ecology and Environmental Research 16(1): 553-561.
3. Amb M. K., Ahluwalia A. S. (2016). Allelopathy: potential role to achieve new milestones in rice cultivation. Rice Science 23(4): 165-183.
4. An M. (2005). Mathematical modelling of dose-response relationship (hormesis) in allelopathy and its application. Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine 3: 153-172.
5. Baličević R., Ravlić M., Čuk P., Šević N. (2015). Allelopathic effect of three weed species on germination and growth of onion cultivars. Proceedings & Abstracts of the 8th International Conference 'Agriculture in Nature and Environment Protection', Baban M., Rašić S. (eds). Glas Slavonije d.d., Osijek: 205-209.
6. Brozović B., Jug D., Đurđević B., Vukadinović V., Tadić V., Stipešević B. (2017). Influence of winter cover crops incorporation on weed infestation in popcorn maize (*Zea mays everta* Sturt.) organic production. Agriculturae Conspectus Scientificus 83(1): 77-81.
7. Del Fabro A. (2004). Mala biblija biološkog vrta : tehnike, gnojenje i prirodna obrana. Leo-Commerce, Rijeka.
8. Dizdar M. (2012). Alelopatski fenomeni u ratarskim, povrtnim i travnjačkim kulturama. Diplomski rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
9. du Jardin P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae 196 (2015) 3-14.
10. Duke S.O. (2010). Allelopathy: current status of research and future of the discipline, a commentary. Allelopathy Journal 25(1): 17-30.
11. Dym C.L., Ivey E. (2004). Principles of mathematical modeling. Elsevier, Burlington.
12. Ebadollahi A. (2013). Plant essential oils from Apiaceae family as alternatives to conventional insecticides. Ecologia Balkanica 5(1): 149-172.
13. Erhatić R., Peremin Volf T., Vukobratović M., Šok E. (2015). Morfološka svojstva mrkve uzgajane u konsocijaciji s nevenom. Zbornik sažetaka sa2015: 133-134.

14. Ferguson J.J., Rathinasabapathi B., Chase C.A. (2009). Allelopathy: how plants suppress other plants. University of Florida, Gainsville.

15. Golubić M. (2008). Alelopatski utjecaj teofrastovog mračnjaka, kamilice i rudbekije na klijavost cikle i salate. Diplomski rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

16. Gomes M.P., Carvahlo Barreto L., Pinheiro Santos L., Figueredo C.C. (2017). Allelopathy: an overview from micro- to macroscopic organisms, from cells to environments, and the perspectives in a climate. Biologia 7 (2): 113-129.

17. Hazrati H., Saharkhiz M.J., Moein M., Khoshghalb H. (2018). Phytotoxic effects of several essential oils on two weed species and tomato. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 13: 204-212.

18. Igrc Barčić J., Maceljski M. (2001). Ekološki prihvatljiva zaštita bilja od štetočinja. Zrinski, Čakovec.

19. John J., Shirmila J., Sarada S., Anu S. (2010). Role of allelopathy in vegegtable crop production. Allelopathy Journal 25(2): 275-312.

20. Kanjir I. (2010). Alelopatski odnosi voćaka. Završni rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

21. Kreuter M.-L. (2002). Bio vrt. Andromeda, Rijeka.

22. Lukić I. (2016). Nekemijsko suzbijanje nematoda korijenovih kvržica (*Meloidogyne* spp.) u proizvodnji rajčice. Diplomski rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

23. Parker J.E., Snyder W.E., Hamilton G.C., Rodriguez-Saona C. (2013). Companion planting and insect pest control. U: Weed and pest control : Conventional and new challenges (Soloneski S. ed). IntechOpen; pp 1-30. http://dx.doi.org/10.5772/55044

24. Pejić T. (2013). Alelopatski utjecaj zajedničkog klijanja sjemena aromatičnog bilja i sjemena korova. Diplomski rad. Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera, Osijek.

25. Poropat A. (2007). Utjecaj europskog mračnjaka (*Abutilon theophrasti* Med.) i kužnjaka (*Datura stramonium* L.) na klijanje sjemena kukuruza. Diplomski rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

26. Qasem J.R., Foy C.L. (2001). Weed allelopathy, its ecological impacts and future prospects. Journal of Crop Production 4(2): 43-119.

27. Qasem J.R., Issa N.N. (2018). Germination and growth management of some common annual weeds by phytotoxicity of selected vegetable crops. Scientia Horticulturae 233: 431-445.

28. Rendulić T. (2015). Uloga brasinosteroida u toleranciji abiotičkog stresa. Seminarski rad. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

29. Simoni E. (2004). Biovrt : prirodne tehnike : kako održati vrt bujnim poštujući prirodu. Leo-Commerce, Rijeka.

30. Subtain M.U., Hussain M., Ali M., Mubushar M. (2014). Role of allelopathy in the growth promotion of plants. Scientia Agriculturae 2(3): 141-145.

31. Šturlić I. (2008). Alelopatski utjecaj ekstrakta podanka pirike (*Agropyron repens* L.) na klijanje salate, mrkve i cikle. Završni rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

32. Tripathi A.K., Upadhyay S., Bhuiyan M., Bhattachary P.R. (2009). A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management. Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy 1(5): 52-63.

33. Turk I. (2008). Utjecaj ekstrakta ploda teofrastovog mračnjaka na klijanje cikle, salate i mrkve. Završni rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

34. Volf J. (2017). Konsocijacija salate i luka u organsko-biološkoj proizvodnji. Diplomski rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

35. Wang C., Zhu M., Chen X., Qu B. (2011). Review on allelopathy of exotic invasive plants. Procedia Engineering 18: 240-246.

36. Weston L.A. (2005). History and current trends in the use of allelopathy for weed management. HortTechnology 15(3): 529-534.

37. Whittaker R.H., Feeny P.P. (1971). Allelochemics: chemical interactions between species. Science 171: 757-770.

38. Woodward P. (2012). Pest-repellent plants. Hyland House, Melbourne.

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

40. Zhang S., Jin Y., Tang J., Chen X. (2008). The invasive plant *Solidago canadensis* L. suppresses local soil pathogens through allelopathy. Applied Soil Ecology 41(2): 215-222.

41. Znaor D. (1996). Ekološka poljoprivreda. Globus, Zagreb.

Izvori s web-stranica

1. Špoljar S. (2015). Mrkvu i neven sadite zajedno. <https://www.agroklub.com/povrcarstvo/mrkvu-i-neven-sadite-zajedno/16270>. Pristupljeno 10. lipnja 2017.
2. O'Hagan A. (2016). Companion planting chart. <http://www.permablitz.net/articles/companion-planting-chart> Pristupljeno 03. kolovoza 2018.

Izvori slika

1. Slika 2.2.6.1. Združeni usjev mrkve i nevena (lijevo) te kupusa i nevena (desno) Izvor: lijevo: https://www.agroklub.com/povrcarstvo/mrkvu-i-neven-sadite-zajedno/16270/; desno: http://www.dotcomwomen.com/home/grow-flowers-with-your-vegetables-how-to-optimize-your-rows/7569/

2. Slika 2.2.6.2. Združeni uzgoj kadifica i rajčice. Izvor: https://garden-photos-com.photoshelter.com/image/I0000WHEp9FUirHY

ŽIVOTOPIS

Tatjana Vukomanović je rođena 11. svibnja 1990. godine u Zagrebu. Ubrzo se s obitelji seli u Bosnu i Hercegovinu gdje je završava 7 razreda osnovne škole. U Zagreb se vraća 2003. godine gdje završava 8. razred u osnovnoj školi „Dr. Vinka Žganca“. Srednju veterinarsku školu upisuje 2004. godine koju završava 2008. godine te potom odlučuje odgoditi daljnje školovanje za godinu dana. Studij povijesti upisuje 2009. godine na Hrvatskim studijima u Zagrebu koji pohađa iduće tri godine, a 2012. godine upisuje preddiplomski studij na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, smjer Biljne znanosti. Ovaj studij završava 2015. godine obranom završnog rada pod nazivom „Samoniklo ljekovito bilje na području Značajnog krajobraza Donji Kamenjak“. Iste godine upisuje diplomski studij, smjer Ekološka poljoprivreda i agroturizam, također na Agronomskom fakultetu u Zagrebu.