

Biofumigacija - primjena specijaliziranih pokrovnih usjeva u zaštiti bilja

Sažetak

Biofumigacija je metoda suzbijanja štetnih organizama u tlu koja se temelji na uzgoju biljnih vrsta koje proizvode inhibitorne kemijske spojeve, poznate kao sekundarni metaboliti. Biofumigantni učinak utvrđen je u biljaka iz porodice Brassicaceae, koje u svojim tkivima sadrže glukozinolate. U većini slučajeva, biofumigantne vrste siju se i uzgajaju kao pokrovni usjevi u međuvremenu između komercijalnih usjeva, te se u fazi cvatnje usitnjavaju i inkorporiraju u tlo, kako bi u procesu hidrolize došlo do oslobađanja izotiocijanata. Izotiocijanati aktivna su tvar sintetskih pripravaka. Brojna istraživanja ukazuju kako biofumigacija dovodi do značajne redukcije populacija štetnih organizama, simptoma koje oni uzrokuju te povećanja prinosa. Osim sjetve usjeva, u svrhu biofumigacije primjenjuju se i brašna sjemena biofumigantnih vrsta u formulaciji prašiva ili peleta. Uz zaštitu komercijalnih usjeva od štetnih organizama, uzgoj biofumigantnih usjeva osigurava i druge koristi na tretiranoj površini, poput poboljšavanja vodozračnog režima, sprječavanja zbijanja tla ili erozije tla vodom ili vjetrom, poboljšavanja iskorištavanja hranjiva u tlu, obogaćivanja tla organskom tvari i porasta populacija nekih korisnih mikroorganizama. U svrhu što bolje iskoristivosti biofumigacije, potrebno je provesti istraživanja u specifičnim pedoklimatskim uvjetima Republike Hrvatske te edukacije proizvođača, kako bi ovu ekološki prihvatljivu metodu zaštite bilja od štetnika integrirali u ekološku, ali i u integriranu poljoprivrednu proizvodnju.

Gljučne riječi: glukozinolati, izotiocijanati, Brassicaceae, biološko suzbijanje štetnih organizama u tlu

Uvod

Pokrovni usjevi uzgajaju se u pauzi između uzgoja dvaju komercijalnih usjeva. Ti usjevi donose brojne koristi koje uključuju: obogaćivanje tla organskom tvari, povećanje mikrobiološke aktivnosti tla, poboljšanje strukture tla koja omogućuje bolju propusnost za vodu, usvajanje hranjiva koja nisu usvojili prethodni usjevi, sprječavanje erozije tla. Biofumiganti, kao specijalizirani pokrovni usjevi, uzgajaju se u svrhu suzbijanja štetnih organizama u tlu, istovremeno čineći i sve navedene koristi na proizvodnoj površini.

Biofumigacija je termin kojim se u skorije vrijeme opisuje suzbijanje zemljišnih štetnika, patogena i korova uzgojem vrsta najčešće iz roda *Brassica* ili usjeva za zelenu gnojidbu na zaraženim površinama ((Angus i sur., 1994; Kirkegaard i sur., 1993) cit. Kirkegaard i Sarwar, 1998). Ti specijalizirani usjevi, koji su uzgajani, macerirani i inkorporirani u tlo prije sjetve sljedećeg komercijalnog usjeva, suzbijaju štetne organizme toksičnim plinovima nastalima razgradnjom organske tvari u tlu.

Interes za biofumigacijom pojavio se ponajprije u proizvodnji povrćarskih kultura uslijed zabrane primjene nekih djelatnih tvari, ponajviše zemljišnih fumiganata. U ratarskim kulturama, biofumigacija se počela primjenjivati u svrhu suzbijanja fitopatogenih gljiva, sjetvom vrsta kao što su *Brassica napus* ili *Brassica juncea* u plodoredu sa žitaricama ((Angus i sur., 1991; Kirkegaard i sur., 1996) cit. Kirkegaard i Sarwar, 1998). Danas ova metoda nalazi mjesto u ekološkoj, ali i integriranoj poljoprivrednoj proizvodnji u kojoj odlično nadopunjava učinak ostalih primjenjenih metoda za zaštitu bilja.

¹ Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska

² Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1, 31 000 Osijek, Republika Hrvatska
Autor za korespondenciju: djelinic@agr.hr

Način djelovanja biofumiganata

Biljke iz porodice Brassicaceae (krstašice) u svojim tkivima sadrže glukozinolate bogate šećerom. Vrsta, koncentracija i raspored glukozinolata u biljkama iz porodice Brassicaceae se razlikuju (Mithen, 1992. cit. Kirkegaard i Sarwar, 1998). Glukozinolati se sastoje od lanaca glukoze, dušika i sumpora i nisu toksični. Uslijed oštećenja tkiva biljaka krstašica, njihove stanice oslobađaju glukozinolate i enzim mirozinazu. U prisutnosti vode, u reakciji hidrolize, mirozinaza cijepa glukozinolate, uklanjajući glukozu. Produkti hidrolize glukozinolata su izotiocijanati (ITC), tiocijanati, nitrili, epitionitrili i oksazolidin-tioni. Između produkata hidrolize, ITC se smatraju najtoksičnijima, iako se pojedini međusobno razlikuju u toksičnosti prema različitim štetnim vrstama. Sarwar i sur. (1998) utvrdili su i do 30 puta veću toksičnost pojedinih vrsta ITC u suzbijanju biljnoparazitskih gljiva na žitaricama.

Produkti hidrolize ovise o izvornom glukozinولاتu, a razvrstavaju se u tri skupine: alifatski, aromatski i indolil/indol. Alifatski i aromatski glukozinolati otpuštaju izotiocijanate važne za biofumigaciju, dok ih indol glukozinolati ne otpuštaju te nemaju udjela u biofumigaciji. Zanimljivo je istaknuti kako su se dosadašnja istraživanja i primjena biofumiganata uglavnom temeljili na praćenju alifatskih tipova ITC kao što je metil ITC (identičan komercijalnom fumigantu) ili 2-propenil ITC (Kirkegaard i Sarwar, 1998). U međuvremenu, što je potrebno i dalje istraživati, utvrđeno je kako je 2-feniletil ITC dobiven hidrolizom aromatskih glukozinolata, koji dominiraju u korijenu biljaka, generalno manje volatilan u odnosu na alifatske tipove i u tlu mogu biti dulje perzistentni te tako osigurati bolju učinkovitost na štetnike (Borek i sur., 1995. cit. Kirkegaard i Sarwar, 1998), patogene ((Drobnica i sur., 1967; Sarwar i sur., 1989. cit. Kirkegaard i Sarwar, 1998) i korove (Bialy i sur., 1990. cit. Kirkegaard i Sarwar, 1998).

Izotiocijanati u niskim koncentracijama korisni su za ljudsko zdravlje, a prepoznatljiviji su kao izvor oporosti hrena ili ljutoga okusa senfa. U visokim koncentracijama, generalni su biocidi koji djeluju vrlo slično komercijalnim sredstvima za zaštitu bilja. Pesticidni učinak nekih od aktivnih tvari, poput dazometa ili metama temelji se upravo na izotiocijanatima (Matthiessen i sur., 2004). Međutim, neke vrste (*B. napus*) sadrže glukozinolate koji ne oslobađaju izotiocijanate, dok ih druge (*B. juncea*) oslobađaju u obilju.

Biofumigantni usjevi u svojim tkivima moraju sadržavati ciljne glukozinolate koji će osigurati biofumigantni učinak. Distributeri sjemena trebali bi prikazati vrstu i koncentraciju glukozinolata koje sorta sadrži. Sorte koje potencijalno sadrže koncentraciju glukozinolata od 100 $\mu\text{mol g}^{-1}$ suhe tvari mogu postići zadovoljavajući učinak. Prema Kirkegaard i Sarwar (1998) moguće je odabrati i uzgajati biofumigantne krstašice koje proizvode jednaku ili višu koncentraciju izotiocijanata nego sintetski fumiganti (1500 nmola g^{-1} tla).

Biljne vrste s potencijalom za primjenu u svrhu biofumigacije većinom pripadaju u porodicu Brassicaceae. Najčešće vrste jesu *Brassica oleracea* (brokula, kupus, cvjetača, kelj), *Brassica rapa* (repa), *Raphanus sativus* (rotkvica), *B. napus* (uljana repica) te različite gorušice poput *Sinapis alba* (bijela gorušica) i *B. juncea* (indijska gorušica) (Sarwar i sur., 1998). Komercijalno se proizvode i na tržištu se u svrhu biofumigacije plasiraju različite sorte vrsta *Brassica sativus*, *Brassica nigra*, *B. juncea*, *Brassica carinata*, *B. napus*, *R. sativus*, *S. alba*, ali i kombinacija vrsta na pr. *R. sativus* i *S. alba mix*, *B. nigra* i *B. carinata*, *B. carinata* i *R. sativus*, *R. sativus* i *Eruca sativa* (Duff i sur., 2020).

Osim krstašica, za potrebe biofumigacije siju se i sorte sirka (*Sorghum bicolor*) i hibridi sirka i sudanske trave (*S. bicolor* x *Sorghum sudanense*) koje sadrže durin, a koji se transformira u toksičan cijanovodik (de Nicola i sur., 2011. cit. Vincent i de Cara García, 2020). Obje vrste podnose visoke temperature te se mogu sijati i u zaštićenom prostoru tijekom ljeta, a kao vrste iz porodice trava, pogodne su i u plodoredu s povrtlarskim kulturama.

Uzgoj i njega biofumigantnih usjeva

Ljetni uzgoj

Prema Back i Wats (2019) optimalno vrijeme za sjetvu biofumigantnih vrsta je od sredine srpnja do sredine kolovoza. Usjevi se uzgajaju 8-14 tjedana do inkorporacije u tlo početkom studenoga. U ovom periodu biofumiganti se siju nakon ranije požetog usjeva i ostavljaju dovoljno vremena za sjetvu ozimih usjeva, kao što je ozima pšenica. U ljetno-jesenskom periodu, usjevi imaju dugi dan te jako UV zračenje važno za proizvodnju glukozinolata i biomase. Inkorporacija biofumigantnog materijala provodi se u toplo tlo ($>10^{\circ}\text{C}$) što plinovima izotiocijanata olakšava kretanje kroz tlo. Za uzgoj se preporučuju vrste *B. juncea* ili *E. sativa* ili mješavina vrsta. Maksimalan učinak biofumigacije je 40-70 %.

Zimski uzgoj

Biofumigantni usjevi posijani u jesen, kako bi prezimjeli, imaju niži biofumigantni potencijal, koji je posljedica kraćih dana, slabijeg UV zračenja i limitirane prihrane. Niske temperature tla i vlažno tlo također umanjuju njihov učinak. U ovom periodu s uspjehom se uzgaja vrsta *R. sativus* koju je moguće posijati početkom do sredine rujna. U svome korijenu uspješno pohranjuje glukozinolate koje tijekom zime ispušta u tlo. Ovi usjevi najčešće se inkorporiraju u tlo prije sjetve krumpira (ožujak - travanj) te tako kroz dugi period izlučuju izotiocijanate djelujući na štetne organizme u tlu. Maksimalni učinak biofumigacije u ovom uzgoju je 10-30 % (Back i Watts, 2019).

Proljetni uzgoj

Sjetva proljetnih biofumigantnih usjeva moguća je samo ako proizvođači uzgajaju usjeve koji se beru rano u proljeće. S obzirom na duljinu dana i jačinu UV zračenja, očekuje se dobra učinkovitost biofumigacije. Uz dovoljnu količinu vode i gnojidbu dušikom, usjevi bi mogli postići svježiu biomasu od 50 t ha^{-1} (Back i Watts, 2019).

Biofumigantne vrste trebaju razviti snažnu biomasu. Tako biljke visine 1,2 do 2 m proizvedu oko 50 t svježe biomase po ha. Što je proizvedeno više biomase, više je glukozinolata i jači je biofumigantni učinak. U svrhu potenciranja razvoja biomase, usjeve je potrebno prihranjivati. Preporučuje se primjenjivati dušična gnojiva ($100\text{--}150\text{ kg ha}^{-1}$) te sulfate ($25\text{--}50\text{ kg ha}^{-1}$) jer se i koncentraciju glukozinolata u tkivima može modificirati odgovarajućom prihranom.

Biljke trebaju biti zelene i dobro hidrirane posebno od početka do sredine perioda cvatnje, kako bi se olakšalo usitnjavanje biomase. Dušik pospješuje bujanje i grananje biomase koja je krhka i lako se lomi. Navodnjavanje također pomaže i da ne dođe do ranijeg sušenja biomase.

Potrebno je odabrati prikladne vrste za određeni period uzgoja. Lisnati biofumiganti poput indijske gorušice (*B. juncea*) lakše se maceriraju. Usjevi s velikim korijenjem, kao što je uljana rotkva (*Raphanus sativus* var. *oleifera*), ne usitnjavaju se lako. Poznato je i da korijenje krstašica otpušta glukozinolate u tlo tijekom rasta, što se smatra djelomičnom biofumigacijom.

Biofumigantni usjevi osjetljivi su na napad štetnih organizama kao i uobičajeni "komercijalni" usjevi, međutim, prilikom njihovoga uzgoja nije nužna zaštita pod svaku cijenu, s obzirom na to da cilj nije postizanje prinosa/ uroda. Istovremeno, primijećeno je i da neke vrste pod stresom poput napada štetnika ili nedostatka vode, proizvode veće koncentracije glukozinolata (Duff i sur., 2020).

Ukupni troškovi od oko 2400 kn ha^{-1} za zimski uzgoj, pri kojemu se očekuje učinkovitost od 10-30 %, odnosno $3500\text{--}4000\text{ kn ha}^{-1}$ za proljetni ili ljetni uzgoj, pri kojemu se očekuje učinkovitost od 40-70 % za očekivati su, temeljem iskustava u UK. Postupak biofumigacije zahtjevniji je i dugotrajniji od primjene sintetičkih pripravaka za zaštitu bilja te ovisi o pedoklimatskim uvjetima.

Usitnjavanje i inkorporacija biofumiganata u tlo

Najviše koncentracije glukozinolaza nalaze se u biljkama sredinom fenofaze cvatnje. Usjev je potrebno inkorporirati prije pune cvatnje (najbolje dva tjedna nakon početka cvatnje), kako bi se spriječilo formiranje sjemena te potencijalna opasnost od osjemenjivanja te nicanja biljaka kao korova u sljedećim usjevima. Prema Duff i sur. (2020) usjev je optimalno inkorporirati kada je postignuto 25 % ukupne cvatnje. S početkom formiranja sjemena, naglo opada i količina glukozinolata u biljkama.

Za postizanje maksimalnog biofumigantnog učinka, biljke je potrebno usitniti i inkorporirati u vlažno tlo. Tlo ne smije biti prevlažno, kako ne bi došlo do njegovog zbijanja prolaskom mehanizacije. U pjeskovito ilovastim tlima zadovoljavajuće je 25-75 % zasićenosti tla s vodom. Ukoliko se zaoravaju usjevi nižeg habitusa, kapacitet može biti 25-50 %, dok je za usjeve višeg habitusa potrebna zasićenost od 75 %. U prosušenom tlu, ne postiže se učinkovita hidroliza, a plinovi se u takvom tlu ne zadržavaju koliko i u vlažnom (Back i Watts, 2019). Biomasa se mora unijeti u tlo istovremeno s usitnjavanjem i ne smije uvenuti, s obzirom na to da je oko 80 % fumigantnih plinova oslobođemo u prvih 20 minuta nakon košnje (Srivastava i Ghatak, 2017). Uobičajeno korišteni usjevi za zelenu gnojdbu usitnjavani su i unošeni u tlo frezom u jednom postupku. Istraživanjima je utvrđeno kako se u tim uvjetima iz biljnog tkiva u tlu oslobađalo manje od 1 % potencijalnih izotiocijanata (Morra i Kirkegaard, 2002). Laboratorijskim istraživanjima (Morra i Kirkegaard, 2002), a kasnije i u poljskim uvjetima (Matthiessen i sur., 2004) dokazana je važnost maceracije biljnog tkiva na staničnoj razini, u prisutnosti obilja vode, kako bi se iz njega učinkovito oslobodila maksimalna koncentracija izotiocijanata. Maceraciju je najbolje provesti uređajima za maceriranje koji imaju čekiće umjesto noževa (Matthiessen i sur., 2004). Temperature tla više od 12 °C pospješuju oslobađanje izotiocijanata. Inkorporaciju u tlo je najbolje provesti u jutro ili na večer. Biomasi u tlo najbolje je unijeti na dubinu od 15-20 cm te treba paziti na odabir mehanizacije. Po završetku inkorporacije, površinu je potrebno poravnati, a prema mogućnosti i prekriti pokrovom, kako bi se plinovi što duže zadržali u tlu (Kirkegaard i Matthiessen, 2004). Po završetku inkorporacije, tlo treba ostaviti u mirovanju 14 dana, kako bi se sav biljni materijal mogao razgraditi. Istovremeno, oslobođeni izotiocijanati mogu djelovati štetno na prerano posijan usjev. Ukoliko je temperatura tla niža od 10 °C, postinkorporacijski period potrebno je produljiti, kako bi se sav biljni materijal razgradio, a biofumigantni plinovi oslobodili (Srivastava i Ghatak, 2017).

Učinci biofumigacije

Učinci dobro provedene biofumigacije ogledaju se u poboljšanju "zdravlja" tla. Učinkovitost biofumigacije, osim o biofumigantnom potencijalu biljnih vrsta ovisi i o izvedbi te trenutku maceracije i inkorporacije, a koji se mora poklopiti s prisutnošću štetnika, poglavito njegovim osjetljivim stadijem razvoja. Perzistentnost izotiocijanata u tlu također je važno svojstvo koje utječe na učinkovitost, a ovisno je o gubicima uslijed volatilnosti, vezanja za organsku tvar tla, ispiranja i mikrobiološkoj razgradnji (Brown i Morra, 1997. cit. Kirkegaard i Sarwar, 1998).

Biofumigacija utječe na populacije štetnih organizama u tlu, bilo direktno kroz smanjenje populacije, bilo indirektno kroz mijenjanje odnosa između zajednica organizama u tlu. Istovremeno, zabilježen je porast populacija nekih korisnih mikroorganizama uključujući i populacije mikoriznih gljiva. Biofumigantni usjevi u fenofazi cvatnje privlače i brojne vrste kukaca koje se hrane polenom, poput parazitoida ili osolikih muha, važnih opravišača, čije su ličinke korisne kao prirodni neprijatelji štetnika. Izotiocijanati imaju herbicidni učinak te u postupku biofumigacije dolazi do stradavanja klijanaca korova. Prilikom razgradnje biomase u tlu, mikroorganizmi izlučuju ljepljive tvari kojima oblažu čestice tla i formiraju agregate tla što poboljšava vodozračni režim, osigurava strukturalnu stabilnost te ne dolazi do zbijanja tla ili erozije tla vodom ili vjetrom, poboljšava zadržavanje hranjiva u tlu i ishranjenost biljaka i veže toksične elemente (Srivastava i Ghatak, 2017).

U postupku biofumigacije zabilježen je supresivan učinak na bakterije kao što su *Pseudomonas syringae* i *Xanthomonas campestris* (Sotelo i sur., 2015. cit. Eugui i sur., 2022), patogene gljive *Alternaria brassicae*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Pythium* spp. (Sotelo i sur., 2015; Ren i sur., 2018) cit. Eugui i sur., 2022) te *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotium rolfsii*, *Sclerotium cepivorum*. Postoje, međutim, i patogeni poput *Alternaria brassicicola* koji su se adaptirali na prisutnost glukozinolata te biofumigantni usjevi na navedenu vrstu ne djeluju (Buxdorf i sur., 2013. cit. Eugui i sur., 2022). Prema Agriculture, Aquaculture and Fisheries (2015) gorušice imaju odbijajući učinak i na štetne kukce u tlu, osobito žičnjake.

Prema Back i Watts (2019) izotocijanati djeluju učinkovito protiv ličinki krumpirovih cistolikih nematoda koje paraliziraju i usmrćuju ili induciraju njihov izlazak iz jaja te posljedično njihovo ugibanje uslijed nedostatka biljaka domaćina. Vrsta *B. juncea* djelovala je protiv krumpirovih cistolikih nematoda s učinkovitošću 15-95 %, 23-37 % i 45 % ((Ngala i sur., 2014; Watts, 2018; Watts i sur., 2014) cit. Back i Watts, 2019), vrsta *E. sativa* s 30-90 % i 46 % ((Ngala i sur., 2014; Watts i sur., 2014) cit. Back i Watts, 2019), vrsta *R. sativus* sa 65-95% (Ngala i sur., 2014; cit. Back i Watts, 2019) i vrsta *S. alba* s 41 %, 0 % i 16 % ((Watts i sur., 2014; Valdes i sur., 2012; Scholte i Vos, 2000) cit. Back i Watts, 2019). Prema Dutta i sur. (2019) vrsta *B. carinata* smanjila je infekciju krumpira i rajčice vrstom *Meloidogyne chitwoodi* u polju i u stakleniku te brojnost nematoda vrste *Meloidogyne incognita* u nasadu tikvice nakon biofumigacije, čime je postignut viši prinos, nego nakon tretiranja oksamilom. U Italiji je nakon biofumigacije vrstom *E. sativa* u usjevu zaraženom vrstom *M. incognita* smanjena pojava gala na korijenu rajčice. Vrste *B. juncea* i *S. alba* djelovale su učinkovito protiv vrste *M. incognita* u usjevu paprike, a kombinirani učinak je bio bolji, nego učinak pojedinih vrsta. Kombinacija vrsta *R. sativus* i *E. sativa* smanjila je populaciju vrste *M. incognita* i povećala urod u stakleničkom uzgoju krastavaca u Libanonu. Vrsta *B. juncea* djelovala je učinkovito i protiv vrste *Heterodera carotae* u usjevu mrkve u Danskoj.

Zabilježen je i negativan učinak biofumigacije u integriranoj zaštiti bilja u slučaju kada je primjena brašna sjemena vrste *B. carinata* djelovala negativno na populaciju entomopatogenih nematoda *Steinernema feltiae* i *Steinernema riobrave* primijenjenih protiv krumpirove zlatice (Henderson i sur., 2009. cit. Eugui i sur., 2022).

Primjena biljnih biofumigantnih pripravaka

U istraživanjima se, osim uzgoja biofumigantnih usjeva u svrhu biofumigacije u poljskim uvjetima, utvrđivala učinkovitost primjene brašna sjemena vrsta iz porodice Brassicaceae, poput *B. juncea* i *B. carinata* kojim se učinkovito spriječilo izlazak infektivnih ličinki vrsta roda *Globodera* u usjevima krumpira (Dandurand i sur., 2017. cit. Eugui i sur., 2022), infekciju ličinkama *Meloidogyne* sp. u različitim usjevima ((Yu i sur., 2007; Mocali i sur., 2015; Handiseni i sur., 2017) cit. Eugui i sur., 2022) te reduciralo populacije *Pratylenchus* sp. u voćnjacima jabuke (Mazzola i sur., 2007, 2009, 2015. cit. Eugui i sur., 2022). Primjenom brašna sjemenki vrste *S. alba* reducirana je populacija vrste *M. incognita* u nasadima rajčice i paprike ((Meyer i sur., 2011, 2015) cit. Eugui i sur., 2022). Također je primjenjivano i brašno sjemena vrsta *E. sativa*, *Barbarea verna* i *B. nigra* u nasadima rajčice (Curto i sur., 2016. cit. Eugui i sur., 2022).

Ovi pripravci primjenjuju se kao prah i pelete koje se inkorporiraju u tlo, a navodnjavanjem se potiče hidroliza te pretvorba glukozinolata u izotocijanate kao i njihovo širenje tlom.

Zaključak

Biofumigacija kao metoda uzgoja pokrovnih usjeva specijaliziranih za suzbijanje štetnih organizama u tlu pruža višestruka poboljšanja obradivih površina i povoljno utječe na "zdravlje" tla. Mjera je to koja je ekotoksikološki prihvatljivija u odnosu na kemijsko suzbijanje štetnih organizama i koja izaziva sve veći interes proizvođača. Međutim, različitost u učinkovitosti suzbijanja štetnih organizama te manjak provjerenih informacija specifičnih za određena područja, u smislu termina sjetve, sjetvene norme, gnojidbe, odabira odgovarajućih biofumigantnih

vrsta i sorata ili nedostatak istih na tržištu, predstavljaju glavne prepreke široj primjeni. Također, oprema potrebna za provođenje postupka maceracije i inkorporacije u tlo nije uobičajeno dostupna proizvođačima. Unatoč spomenutim problemima, metoda biofumigacije ipak pronalazi svoje mjesto u proizvodnji i integrira se u dobru gospodarsku praksu. Jedan od važnih koraka, u suglasju s trendom smanjene uporabe pesticida, je i provođenje edukacije proizvođača te stvaranje preduvjeta za primjenu ove metode u praksi, istraživanjem učinkovitosti i prilagodbama metode uvjetima u Republici Hrvatskoj.

Literatura

- Agriculture, Aquaculture and Fisheries (2015) Growing Mustard for Biofumigation. URL: <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/10/pdf/Agriculture/GrowingMustardBiofumigation.pdf> (26.05.2022.)
- Back, M., Watts, W. (2019) Biofumigation for management of potato cyst nematodes (PCN). Agriculture and Horticulture Development Board. Stoneleigh Park Kenilworth Warwickshire CV8 2TL, 10 p.p.
- Duff, J., van Sprang, C., O'Halloran, J., Hall, Z. (2020) Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops. Managing soilborne diseases in vegetable production system. DAF. URL: <https://www.publications.qld.gov.au/ckan-publications-attachments-prod/resources/a3694e67-0b1c-4972-a290-b8606a7c7360/guide-to-brassica-biofumigant-cover-crops.pdf?ETag=ffdbfa3f219d346851857a7b5ae9c6ed> (25.05.2022.)
- Dutta, T. K., Khan, R. M., Phani, V. (2019) Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: Current status and future prospects. *Current plant biology*, 17, 17–32. DOI: 10.1016/j.cpb.2019.02.001.
- Eguí, D., Escobar, C., Velasco, P., Poveda, J. (2022) Glucosinolates as an effective tool in plant-parasitic nematodes control: Exploiting natural plant defenses. *Applied Soil Ecology*, 176, 1–13. DOI:10.1016/j.apsoil.2022.104497
- Kirkegaard, J.A., Sarwar, M. (1998) Biofumigation potential of brassicas I. Variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas. *Plant and Soil*, 201, 71–89. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1004364713152> (30.05.2022.)
- Kirkegaard, J.A., Matthiessen, J. (2004) Developing and refining the biofumigation concept. *Agroindustria*, 3, 233–239.
- Matthiessen J.N., Warton B., Shackleton M.A. (2004) The importance of plant maceration and water addition in achieving high Brassica-derived isothiocyanate levels in soil. *Agroindustria* 3 (3), 277–280.
- Morra M.J., Kirkegaard J.A. (2002) Isothiocyanate release from soilincorporated Brassica tissues. *Soil Biology & Biochemistry*, 34, 163–1690. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00153-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00153-0) (30.05.2022.)
- Sarwar, M., Kirkegaard, J.A., Wong, P.T.W., Desmarchelier, J.M. (1998) Biofumigation potential of brassicas. III. In vitro toxicity of isothiocyanates to soil-borne fungal pathogens. *Plant and Soil*, 201:103–112. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1004381129991> (30.05.2022.)
- Srivastava, J. N., Ghatak, A. (2017) Biofumigation: A control method for the soilborne diseases. *International journal of plant protection*, 10 (2), 435–460. DOI : 10.15740/HAS/IJPP/10.2/453-460
- Vincent, M., de Cara García, M. (2020) Biofumigation: practical information, advantages and disadvantages. URL: <https://www.best4soil.eu/assets/factsheets/11.pdf> (26.05.2022.)

Prispjelo/Received: 31.5.2022.

Prihvaćeno/Accepted: 30.6.2022.

Professional paper

Biofumigation – use of specialized cover crops in plant protection

Abstract

Biofumigation is a method of controlling soil-born pests based on the cultivation of plant species that produce inhibitory chemical compounds, known as secondary metabolites. The biofumigant effect was found in plants from the Brassicaceae family, which contain glucosinolates in their tissues. In most cases, biofumigant species are sown as cover crops in the meantime between commercial crops, grown and crushed and incorporated into the soil during the flowering phase, in order to release isothiocyanates in the hydrolysis process. Isothiocyanates are the active substance of synthetic preparations. Numerous studies indicate that biofumigation leads to a significant reduction in pest populations, the symptoms they cause, and increases in yield and quality. For the purpose of biofumigation, seed flours of biofumigant species in the formulation of powder or pellets are also used. In addition to protecting commercial crops from pests, growing biofumigant crops provides other benefits to the treated area, such as improving the soil structure, preventing soil compaction or soil erosion by water or wind, improving nutrient utilization in the soil, enriching the soil with organic matter and increasing populations of some beneficial microorganisms. To improve the use of biofumigation, it is necessary to conduct research in specific pedoclimatic conditions of the Republic of Croatia and education of producers, to integrate this environmentally friendly method of plant protection into organic and integrated agricultural production.

Keywords: glucosinolate, isothiocyanate, Brassicaceae, biological control of soil-borne organisms