Biofumigacija u suzbijanju nematoda

Vrkić, Roberta

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:204:826896

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

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Biofumigacija u suzbijanju nematoda

DIPLOMSKI RAD

Roberta Vrkić

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Diplomski studij:

Fitomedicina

Biofumigacija u suzbijanju nematoda

DIPLOMSKI RAD

Roberta Vrkić

Mentor:

prof. dr. sc. Dinka Grubišić

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Roberta Vrkić**, JMBAG 0178106815, rođena 24.02.1997. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

Biofumigacija u suzbijanju nematoda

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 odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

_____
Potpis studentice

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Roberte Vrkić**, JMBAG 0178106815, naslova

Biofumigacija u suzbijanju nematoda

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:			potpisi:
1.	prof. dr. sc. Dinka Grubišić	mentor	_____
2.	doc. dr. sc. Ivan Juran	član	_____
3.	doc. dr. sc. Martina Grdiša	član	_____

Sadržaj

1. Uvod 1

1.1. Cilj rada 1

2. Biofumigacija 2

2.1. Biofumiganti 3
2.2. Štete na biofumigantnim usjevima uzrokovane bolestima i drugim štetnim organizmima 7

3. Uzgoj biofumiganata 9

3.1. Ljetni uzgoj 9
3.2. Zimski uzgoj 9
3.3. Proljetni uzgoj 9
3.4. Provedba biofumigacije 10
3.5. Maceracija i inkorporacija u tlo 11

4. Biofumigacija u suzbijanju nematoda 13

4.1. Suzbijanje zlatne krumpirove cistolike nematode (*Globodera rostochiensis*, Wollenweber, 1923) 13
4.2. Suzbijanje nematoda korijenovih kvržica 15
4.3. Suzbijanje ostalih biljnoparazitskih nematoda 16
4.4. Prednosti i nedostaci biofumigacije 27

5. Zaključak 29

6. Popis literature 30

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Roberte Vrkić**, naslova

Biofumigacija u suzbijanju nematoda

S tržišta pesticida se povlači sve više sredstava za zaštitu bilja pa tako i određeni nematocidi. Iz ekotoksikoloških razloga, sve više se primjenjuju alternativne mjere suzbijanja štetnika u poljoprivredi. Jedna od nekemijskih mjera suzbijanja nematoda je biofumigacija. Biofumigacija se temelji na suzbijanju biljnoparazitskih nematoda uzgojem biljnih vrsta s nematocidnim učinkom. Biljne vrste koje se primjenjuju u biofumigaciji pripadaju porodici kupusnjača (Brassicaceae). Najčešće se koriste gorušica, rotkvica i rukola koje se siju u proljetnom, ljetnom ili jesenskom roku. Žetva biofumigantnih usjeva se provodi u fazi cvatnje te se ostaci nakon žetve inkorporiraju u tlo. Maceracijom njihovoga tkiva luči se kemijski spoj izotiocijanat (ITC) koji suzbija nematode prisutne u tlu. Učinkovitost u suzbijanju nematoda iznosi i do 70 %. Biofumigacija kao mjera suzbijanja još nije istraživana u Hrvatskoj. Cilj ovoga rada je prikazati biljne vrste koje su primjenjivane u svrhu biofumigacije, agrotehniku njihovog uzgoja i inkorporacije u tlo, utvrditi učinkovitost biofumigacije u suzbijanju nematoda te prednosti i nedostatke ove nekemijske mjere suzbijanja.

Ključne riječi: biljnoparazitske nematode, Brassicaceae, GSL, ITC, nekemijsko suzbijanje

Summary

Of the master's thesis – student **Roberta Vrkić,** entitled

Biofumigation in the control of nematodes

More and more plant protection products are being withdrawn from the pesticide market, including some nematicides. For ecotoxicological reasons, alternative pest control measures are increasingly being applied in agriculture. One of the non – chemical nematode control measure is biofumigation. Biofumigation is based on the control of plant parasitic nematodes by growing plants with a nematocidal effect. Plant used in biofumigation are from the cabbage family (Brassicaceae). The most used plants are mustard, radish and rocket that are sown in spring, summer or autumn. Harvesting of biofumigant crops is done in flowering phase and after harvest they are incorporated into the soil. Maceration of their tissue secrets the chemical compound isothiocyanate (ITC) which suppresses nematodes present in the soil. The effectivness in controlling nematodes is up to 70 %. Biofumigation as a control measure has not yet been investigated in Croatia. The aim of this paper is to present plant species used for biofumigation, agrotechnics of their cultivation and incorporation into soil, determine the effectiveness of biofumigation in the control of nematodes and the advantages and disadvantages of this non-chemical control measure.

Keywords: plant parasitic nematodes, Brassicaceae, GSL, ITC, non-chemical control

1. Uvod

Biljnoparazitske nematode uzrokuju značajne ekonomske štete na velikom broju usjeva u svijetu. Kao osnovna mjera suzbijanja primjenjuju se nematocidi jer su jednostavni i učinkoviti za primjenu. Zbog ekotoksikoloških razloga sve se više sredstava za zaštitu bilja povlači s tržišta. Nematocidi uzrokuju onečišćenje okoliša i ugrožavaju zdravlje ljudi. Osim toga, javlja se sve veći problem rezistentnosti na veliki broj sredstava za zaštitu bilja što ujedno potiče proizvođače da se okrenu drugim mjerama suzbijanja. Alternativne mjere suzbijanja nematoda su agrotehničke (plodored, obrada tla, navodnjavanje, odabir zdravog sjemena i sadnog materijala, sjetva otpornih kultivara, uništavanje i uklanjanje zaraženih biljnih ostataka), fizikalne (solarizacija, termička sterilizacija i obrada biljnog materijala) te biološke mjere (uporaba mikrobioloških sredstava za zaštitu bilja, uporaba biljnih vrsta s nematocidnim/nematostatičkim učinkom). Osim navedenih mjera, u novije vrijeme se javlja interes za još jednu biološku mjeru suzbijanja nematoda, a to je biofumigacija. Biofumigacija je biološka mjera suzbijanja koja zahtijeva puno vremena kako bi se postigao željeni učinak. Mjera se temelji na inkorporaciji biljnih vrsta iz porodice kupusnjača u tlo kada su u fazi pune cvatnje. U tom trenutku sadrže najveću količinu kemijskog spoja koji djeluje letalno na nematode. Biofumigacija je novija mjera koja se istražuje zadnjih 30-ak godina. Istraživanja pokazuju kako veliki broj biljnih vrsta iz porodice kupusnjača uspješno suzbija veliki broj nematoda u ratarskim usjevima, voćnjacima, vinogradima te ukrasnom bilju. Pokusi su uspješno provedeni u poljskim uvjetima i u laboratorijima. Biofumigacijom su uspješno suzbijene ekonomski važne vrste nematoda kao što su krumpirove cistolike nematode i nematode korijenovih kvržica. Biofumigantni usjevi se uzgajaju jednako kao i ostali usjevi, uz malo više navodnjavanja i prihrane. Sjetva se može odvijati na proljeće, ljeto ili jesen s tim da je najučinkovitija ljetna sjetva biofumiganata. Uz niz prednosti ova mjera suzbijanja ima i nedostatke. Najveći nedostatak ove mjere je da su biofumiganti i sami domaćini drugim štetnim organizmima, a posebice nekim vrstama biljnoparazitskih nematoda. Istraživanja se i dalje provode kako bi se otkrile što učinkovitije metode uzgoja biofumigantnih usjeva te kako bi se reducirali svi nedostaci ove mjere, a učinkovitost bila veća. Budući da je biofumigacija kao mjera relativno nova u Hrvatskoj, u radu su obrađena istraživanja iz drugih zemalja, što ujedno daje informaciju o uspješnosti ove mjere u drugim klimatskim područjima i agroekološkim uvjetima.

1.1. Cilj rada

Cilj ovog rada je prikazati biljne vrste koje su primjenjivane u svrhu biofumigacije, agrotehniku njihovog uzgoja i inkorporacije u tlo, utvrditi učinkovitost biofumigacije u suzbijanju nematoda te prednosti i nedostatke ove nekemijske mjere suzbijanja.

2. Biofumigacija

Pojam biofumigacija uveo je J. A. Kirkegaard kako bi opisao proces rasta, maceracije i inkorporacije u tlo određenih biljnih vrsta iz porodice kupusnjača (Brassicaceae) (slika 2.1.) u svrhu suzbijanja biljnih patogena prisutnih u tlu (Srivastava i Ghatak, 2017). Biofumigacija je nekemijska metoda zaštite bilja koja se primjenjuje u suzbijanju štetnih organizama prisutnih u tlu, biljnih patogena i korova (Back i Watts, 2019). Najčešće biljne vrste koje se koriste u biofumigaciji su smeđa gorušica (*Brassica juncea* L.), rukola (*Eruca sativa* L.) i rotkvica (*Raphanus sativus* L.) (Back i Watts, 2019). Biofumiganti proizvode kemijske spojeve koji su poznati kao sekundarni metaboliti biljke. Kemijski spoj koji se nalazi u netaknutom biljnom tkivu se naziva glukozinolat (GSL). Prilikom oštećenja tkiva dolazi do hidrolize GSL-a gdje enzim mirozinaza oslobađa spoj izotiocijanat (ITC). ITC djeluje toksično na štetočinje u tlu te ih na taj način suzbija (Srivastava i Ghatak, 2017). Vrijeme rasta biofumiganata je od sredine srpnja do sredine studenoga, kroz razdoblje 8 – 14 tjedana. Žetva biofumiganata se odvija u sredini cvatnje, nakon čega se uz dovoljnu količinu vlage inkorporiraju u tlo (Back i Watts, 2019). Prema tome, biofumigacija se definira kao proces uzgoja specifičnih pokrovnih kultura koje se inkorporiraju u tlo u svrhu suzbijanja štetnih organizama prisutnih u tlu. Visoka biomasa lišća i korijenja biofumiganata ima učinak na tlo kao i zeleni stajski gnoj što dodatno doprinosi sastavu tla (Srivastava i Ghatak, 2017).



Slika 2.1. Maceracija i inkorporacija smeđe gorušice u tlo
Izvor: Back i Watts (2019)

2.1. Biofumiganti

Biljne vrste kao što su smeđa gorušica (slika 2.1.1.), rukola (slika 2.1.2.), rotkvica (slika 2.1.3.), bijela gorušica (slika 2.1.4.), brokula, cvjetača, uljana repica i hren sadrže organsku tvar koja se naziva glukozinolat (GSL). Nakon što se tkivo biljaka tijekom žetve ošteti, dolazi do otpuštanja biološki aktivnih kemijskih spojeva među kojima je najvažniji ITC. Ono što gorušici i hrenu daje ljutkast i gorak okus je upravo taj kemijski spoj. U niskim količinama ITC nije štetan za ljudsko zdravlje. U viskom količinama ITC dobiva biocidno djelovanje, a otrovnost se može usporediti s uobičajenim pesticidima. Neki komercijalni pesticidi kao što su Dazomet, Vapam i Vorlex sadrže aktivnu tvar koja je slična ITC-u (Srivastava i Ghatak, 2017).



Slika 2.1.1. Smeđa gorušica (*Brassica juncea*)
Izvor: Back i Watts (2019)



Slika 2.1.2. Rukola (*Eruca sativa*)
Izvor: Back i Watts (2019)



2.1.3. Rotkvica (*Raphanus sativus*)

Izvor: Back i Watts (2019)



2.1.4. Bijela gorušica (*Sinapis alba*)

Izvor: Back i Watts (2019)

Patogene koji su prisutni u tlu je sve teže kontrolirati zbog duljine njihovog opstanka i ograničene uporabe sredstava za zaštitu bilja. Gorušica je biofumigant koji se do sada najviše proučavao. Zajedno s ostalim vrstama iz porodice kupusnjača ubraja se u najčešće korištene biofumigante (tablica 2.1.). Nakon žetve, GSL iz biofumiganata u doticaju s vodom i aktivacijom enzima mirozinaze proizvodi ITC koji daje biljkama 'biofumigantnu moć' (Srivastava i Ghatak, 2017). ITC nastao iz gorušice naziva se alil izotiocijanat (AITC) i ima slično djelovanje kao i metil-izotiocijanat koji se koristi u nekim komercijalnim pripravcima za zaštitu bilja (Back i Watts, 2019).

Tablica 2.1. Najčešće korišteni biofumigantni usjevi te pripadajuće vrste GSL-a i ITC-a

Naziv	**GSL**	**ITC**
smeđa gorušica (*Brassica juncea*)	sinigrin	2-propenil-ITC (= alil-ITC)
crna gorušica (*Brassica nigra*)	sinigrin	2-propenil-ITC (= alil-ITC)
bijela gorušica (*Sinapis alba*)	sinigrin	4-hidroksibenzl-ITC
rotkvica (*Raphanus sativus*)	glukorafanin	4-metilsulfinil-3-butenil-ITC
rukola (*Eruca sativa*)	glukoerucin	4-metiltiobutil-ITC

Izvor: Clarkson i sur. (2016)

Nisu sve biofumigantne vrste jednake. Razlikuju se u količini GSL-a u tkivu. Neke vrste kupusnjača proizvode više GSL-a od ostalih kao što je u slučaju s vrstama gorušica. Kako bi se postigla maksimalna učinkovitost biofumigacije, potrebno je usitniti i inkorporirati tkivo u tlo kada je lišće bujno i zeleno. Najviša proizvodnja GSL-a je kada je biljka u punoj cvatnji. Najviše GSL-a se nalazi u listovima, ali se dovoljna količina nalazi i u korijenu biljke. Neke vrste gorušica toleriraju temperature do -7° C te se koriste kao kasno jesenski ili rano proljetni biofumiganti (Srivastava i Ghatak, 2017).

Sjeme biofumiganata se u nekim zemljama u svrhu provođenja biofumigacije prodaje kao gotov proizvod u pakiranjima (Integrated Crop Protection. SoilWealth, 2015):

- Caliente 199™ (gorušica) (slika 2.1.5.)
- Fumig8or™ (sirak)
- Nemat™ (rukola)
- Nemclear™ (gorušica)



Slika 2.1.5. Sjeme gorušice za biofumigaciju Caliente 199™

Izvor: BioSustainable Solutions (2020)

Glukozinolat i izotiocijanat

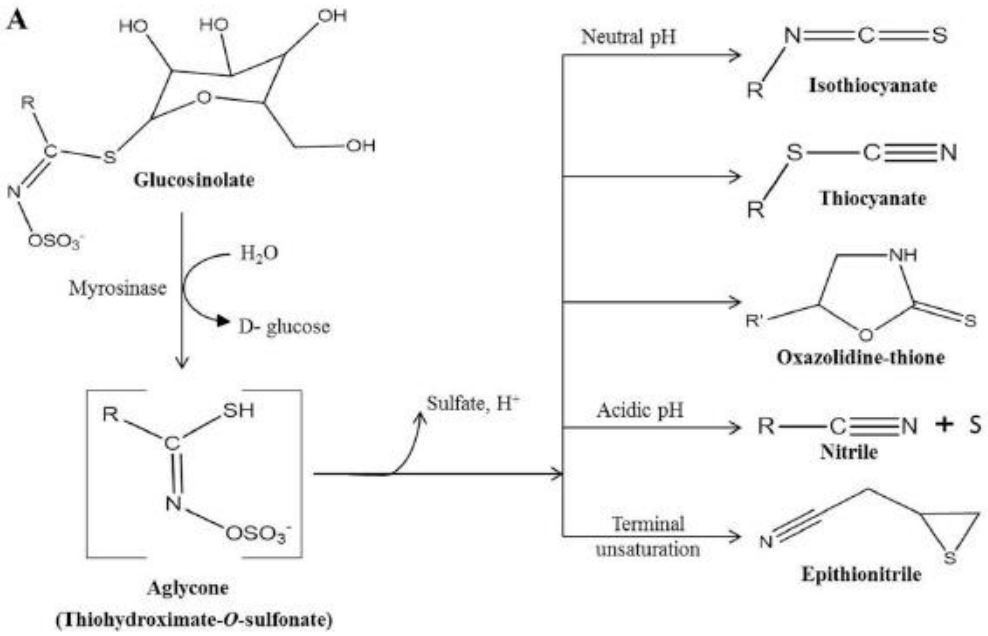
Glukozinolat (GSL) je kemijski spoj koji se nalazi u vakuoli stanica kupusnjača (Dutta i sur., 2019) i bogat je šećerom. Sastoji se od glukoze (β-tioglukozid), dušika (N-hidroksi sulfat), bočne skupine R i sumpornih lanaca (Srivastava i Ghatak, 2017; Back i Watts, 2019). Ovisno o bočnom lancu dijele se na alifatske, aromatske i indole. Alifatski i aromatski GSL-ovi otpuštaju ITC koji suzbija patogene prisutne u tlu. Indoli ne otpuštaju ITC, stoga nisu toksični i nemaju nikakvu ulogu u biofumigaciji. Kada je tkivo kupusnjače oštećeno, oslobađaju se GSL i enzim mirozinaza koji se nalazi u staničnim stijenkama (Dutta i sur., 2019). U doticaju s

vodom, enzim mirozinaza razdvaja GSL mičući glukozu. Taj proces se naziva hidroliza (slika 2.1.6. i 2.1.7.). Produkti hidrolize su izotiocijanati, tiocijanati, nitrili, epitionitrili i oksazolidin-tioni. Produkti hidrolize ovise o matičnom GSL-u te ih ima najmanje 132 (Back i Watts, 2019). Bočna skupina R u GSL-u se zadržava u nastalom ITC-u i utječe na njegovu biološku aktivnost (Srivastava i Ghatak, 2017).



Slika 2.1.6. Proces hidrolize glukozinolata

Izvor: Back i Watts (2019)



Slika 2.1.7. Struktura glukozinolata i produkti hidrolize

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Biofumiganti sadrže različite GSL-ove što rezultira otpuštanjem različitih ITC-ova. Neki biofumiganti sadrže dominantan GSL, dok ostali sadrže mješavinu različitih GSL-ova. Različiti kultivari i različiti dijelovi biljke sadrže različite tipove i vrste GSL-a (Srivastava i Ghatak, 2017). Također, klimatski, edafski i biotički čimbenici utječu na koncentraciju GSL-a u tkivu kupusnjača (Sarwar i Kirkegaard, 1998). Ostali spojevi poput neglukozinolatnog sumpora, masne kiseline, nitrili i ionski tiocijanati utječu na populaciju biljnih patogena u tlu i pokazuju kako i biofumiganti s niskom razinom GSL-a mogu suzbiti biljne patogene prisutne u tlu (Srivastava i Ghatak, 2017).

2.2. Štete na biofumigantnim usjevima uzrokovane bolestima i drugim štetnim organizmima

Kao i svaki drugi usjev, biofumiganti su podložni oštećenjima abiotskih i biotskih čimbenika. Trebalo bi izbjegavati rotaciju usjeva u kojoj su biofumiganti jedni blizu drugih, a posebno izbjegavati da su usjevi uz uljanu repicu. Mraz (slika 2.2.1.) i golubovi (slika 2.2.2.) mogu napraviti velika oštećenja. Kao zaštita od golubova usjev se može prekriti, no to rezultira smanjenom lisnom masom, kašnjenjem usjeva i starenjem biljaka što onemogućava kompeticiju usjeva s korovima (Back i Watts, 2017). Štete čine buhači u početnog fazi razvoja gorušice (Agroklub, 2014) i ličinka kupusne muhe u cvatnji koja se hrani vratom korijena kupusnjača (slika 2.2.3.), a uz nju se mogu pojaviti i neke gljivične bolesti. Kupusnjače su domaćini bolestima kao što su *Sclerotinia sclerotiorum* ((Lib.) de Bary, 1884) koja uzrokuje bijelu plijesan i može kasnije stvarati probleme u krumpiru te *Plasmodiophora brassicae* (Woronin, 1877) koja uzrokuje kvržičavost korijena kupusnjača (slika 2.2.4.). Kvržičavost korijena uzrokuje malformacije korijena kupusnjača te time smanjuje prinos i tržišnu vrijednost usjeva (Srivastava i Ghatak, 2017). Rješenje bi moglo biti sjetva sortimenta otpornog na uzročnika kvržičavosti korijena. Neke sorte uljane repice su otporne dok većina sorata gorušice i rotkvica nije (Back i Watts, 2017).



Slika 2.2.1. Štete od mraza na gorušici (*Brassica juncea*)
Izvor: Back i Watts (2019)



Slika 2.2.2. Štete od goluba na rotkvici (*Raphanus sativus*)

Izvor: Back i Watts (2019)



Slika 2.2.3. Štete od ličinke kupusne muhe na gorušici (*Brassica juncea*)

Izvor: Back i Watts (2019)



Slika 2.2.4. Kvržičavost korijena na gorušici (*Brassica juncea*)

Izvor: Back i Watts (2019)

3. Uzgoj biofumiganata

3.1. Ljetni uzgoj

Optimalno vrijeme za sjetvu biofumiganata kod ljetnog uzgoja je sredina srpnja ili sredina kolovoza. Nakon sjetve rast biofumiganata traje 8 – 14 tjedana, a inkorporacija u tlo se provodi u studenom. Ljetni uzgoj biofumiganata odvija se nakon žetve ljetnih usjeva i ostavlja vremena za osnivanje ozimih usjeva. U ljetnom uzgoju biofumiganti su dulje izloženiji suncu i UV zračenju što utječe na proizvodnju veće količine GSL-a i veće biljne biomase. Inkorporacija u tlo se provodi u studenom kada je temperatura tla >10° C što pomaže ITC-u da se lakše kreće kroz zemlju. Najbolji biofumiganti za ovo razdoblje uzgoja su gorušica i rukola zbog visoke lisne mase. Ako se inkorporacija provodi u pravo vrijeme preporučuje se sijati smeđu gorušicu, no ako inkorporacija kasni, onda se sije rukola ili kombinacija oba biofumiganta. Rukola dozrijeva prije gorušice, ali zato ima manju lisnu masu. Kod inkorporacije u tlo ponekad je potrebna irigacija. Ljetni uzgoj ima najbolju učinkovitost, koja iznosi 40 – 70 % (Back i Watts, 2019).

3.2. Zimski uzgoj

Biofumiganti koji se siju u jesen prezimljavaju i imaju niži potencijal od ostalih biofumigantnih usjeva. Razlozi su kraći dani, kraća izloženost UV zračenju i ograničena primjena gnojiva. Niska temperatura tla i vlažna zemlja također smanjuju biofumigantni potencijal usjeva. Biofumigant koji najviše pogoduje zimskom uzgoju je uljana repica. Uljanu repicu je teže macerirati, ali zato može dobro podnijeti niske temperature i ima visok kapacitet skladištenja GSL-a u korijenu. Sjetva je sredinom rujna, a rastom biljke tijekom zime dolazi do oslobađanja GSL-a iz korijena. Inkorporacija u tlo se vrši u ožujku ili travnju. Učinkovitost zimskog uzgoja biofumiganata iznosi 10 – 30 % (Back i Watts, 2019).

3.3. Proljetni uzgoj

Biofumiganti se siju na proljeće nakon žetve ozimih usjeva. Nema previše podataka o učinkovitosti ovog načina uzgoja biofumiganata. Biofumiganti u ovom uzgoju imaju mogućnost rasta u razdoblju duljeg dana s visokom razinom UV zračenja. Biofumigantni usjevi bi trebali dati prinos 50 t/ha i biti dobro opskrbljeni vodom i dušikom (Back i Watts, 2019).

3.4. Provedba biofumigacije

Agrotehnika uzgoja biofumiganata jednaka je agrotehnici uzgoja ostalih usjeva. Jedina razlika je što biofumigantni usjevi zahtijevaju više gnojiva i navodnjavanja (Srivastava i Ghatak, 2017).

Kako bi se postigao maksimalni potencijal biofumigacije potrebno je (Srivastava i Ghatak, 2017):

- Izabrati prikladan biofumigant ovisno o vremenu uzgoja i količini GSL-a. Lisnati biofumiganti kao što su gorušica i rukola lakše se maceriraju i instantno ispuštaju ITC. Uljana repica, koja ima veliki korijen, ne macerira se lagano. Unatoč tome, korijen kupusnjača tijekom rasta vrši djelomičnu biofumigaciju (Back i Watts, 2019).
- Posjedovati prikladnu opremu kojom bi se pravilno upravljalo usjevom.
- Provesti pravilnu sjetvu u skladu s rotacijom usjeva.
- Testirati uzorak tla kako bi se utvrdila količina hranjiva koju je potrebno dodati, kako biofumigantnom usjevu, tako i usjevu koji slijedi nakon njega. Dušik bi se trebao dodati u količini od 100 – 150 kg/ha, a sulfati 25 – 50 kg/ha. Dušik pomaže u proizvodnji bujne lisne mase i lako se razgrađuje. Navodnjavanje sprječava rano starenje usjeva (Back i Watts, 2019).
- Provesti maceraciju i inkorporaciju u tlo kada je razina GSL-a u biofumigantima najviša. Biofumiganti su 'najsočniji' i spremni za maceraciju kada su u fazi pune cvatnje. Kao što je već spomenuto, potrebno je imati odgovarajuću razinu GSL-a kako bi biofumigant suzbio ciljani štetni organizam. Trebalo bi izabrati vrstu čija je razina GSL-a u tkivu 100 μmol/g. Dobavljač sjemena bi trebao navesti vrstu i koncentraciju GSL-a u pojedinom biofumigantu. Biofumigant bi trebao proizvesti veliku količinu biomase. Usjevi visine 1.2 – 2 m daju prinos oko 50 t/h, što je željeni rezultat. Što je više biomase proizvedeno, to je potencijal biofumigacije veći (Back i Watts, 2019).
- Macerirati i inkorporirati usjev u tlo kada vlaga tla nije previsoka, inače će struktura zemlje biti oštećena.
- Macerirati i inkorporirati usjev u tlo kada je temperatura tla >12° C, što pomaže boljem formiranju ITC-a.

3.5. Maceracija i inkorporacija u tlo

Maceracija je proces rezanja, uvijanja i trganja tkiva biofumiganata (slika 3.4.1.) s ciljem podjednake raspodjele biljnog materijala po površini tla. ITC isparava unutar jedne minute, stoga je potrebno odmah provesti inkorporaciju u tlo, najkasnije unutar 20 – 30 sekundi. Biofumigante je potrebno podjednako raspodijeliti prilikom inkorporacije u tlo na dubinu 25 – 35 cm. Nakon inkorporacije treba učvrstiti zemlju kako ne bi došlo do isparavanja otrovnih plinova. Treba paziti na broj prolaza strojeva kako ne bi došlo do pomicanja zemlje i gubitka plinova ITC-a (Back i Watts, 2019).

Inkorporacija gorušice se provodi prije pune cvatnje i prije nego krene producirati sjeme iz dva razloga (Srivastava i Ghatak, 2017):

a) proizvodnjom sjemena gorušica postaje potencijalni korov za sljedeći usjev,
b) proizvodnjom sjemena razina GSL-a počinje opadati.

Optimalno vrijeme inkorporacije gorušice je 2 tjedna nakon početka cvatnje, prije pune cvatnje.

Za uspješnu inkorporaciju u tlo potrebno je (Srivastava i Ghatak, 2017):

- Izvršiti inkorporaciju ujutro ili navečer. Treba izbjegavati vruće sunčane dane.
- Inkorporirati u tlo kada je zemlja dovoljno vlažna.
- Prije same inkorporacije potrebno je biljni materijal nasjeckati i usitniti što je više moguće.
- Gorušicu ugraditi odmah nakon košnje. 80 % fumigantnog plina bude oslobođeno u prvih 20 minuta.
- Koristiti alat koji će inkorporirati što više biljnog materijala na dubinu 15 – 20 cm. Ne koristiti plug.
- Nakon inkorporacije učvrstiti zemlju kako plin ne bi ispario iz tla što poboljšava učinak biofumigacije.
- Nakon inkorporacije ostaviti tlo netaknuto 14 dana. Nakon tog razdoblja može se sijati sljedeći usjev. Ako se sljedeći usjev posije prije, može doći do ozljede usjeva i otežanog klijanja. Ako je temperatura tla manja od 10° C biljni materijal u tlu će se teže razgrađivati.



Slika 3.4.1. Kvalitetna i svježa macerirana biomasa kupusnjača

Izvor: Back i Watts (2019)

4. Biofumigacija u suzbijanju nematoda

Biljnoparazitske nematode uzrokuju značajne ekonomske štete na širokom rasponu usjeva (Grubišić i sur., 2018). Godišnje uzrokuju 10 % šteta na globalnoj razini. Budući da se porast stanovništva procjenjuje na oko 35 % do 2050. godine, sve je veća potražnja za hranom (Dutta i sur., 2019). Nematode zajedno s drugim štetočinjama u tlu predstavljaju problem u proizvodnji hrane koji bi mogao uzrokovati velike ekonomske i gospodarske štete ako se pravovremeno ne suzbiju.

Premda su sintetički nematocidi davali zadovoljavajuće rezultate u suzbijanju biljnoparazitskih nematoda, većina ih je povučena s tržišta jer, kao i drugi pesticidi, uzrokuju štete u poljoprivrednom eko sustavu (Grubišić i sur., 2018). Ovisno o klimi, vrsti usjeva, vrsti i gustoći nematoda te ekonomskim čimbenicima, primjenjuju se preventivne mjere zaštite, kao što su izbor zdravog sjemena i sadnog materijala, obrada tla, rotacije usjeva i biološke mjere suzbijanja. Naposljetku, najčešća i najučinkovitija metoda suzbijanja je uporaba nematocida. Uporabom sintetičkih nematocida dolazi do onečišćenja okoliša i narušavanja zdravlja ljudi zbog čega je danas veliki broj kemijskih pripravaka povučen s tržišta. Najpoznatiji fumigant koji se koristio u suzbijanju štetočinja u tlu je bio metil-bromid koji je zabranjen tijekom 80-ih i 90-ih godina u svim državama Europe i SAD-a. Povlačenjem sintetičkih nematocida s tržišta, sve su traženije nekemijske mjere u suzbijanja štetočinja, pa tako i nematoda. Nekemijske mjere suzbijanja moraju biti održive, sigurne za ljude i okoliš te ekonomski prihvatljive. Jedna od mjera koja ispunjava sve ekološki prihvatljive uvjete u suzbijanju nematoda je biofumigacija. Biofumigacija je proglašena kao alternativa metil-bromidu od strane organizacije Methyl Bromide Technical options Committee 1997. godine (Ploeg, 2008).

Nematode se smatraju 'nevidljivim neprijateljima' jer uzrokuju štete koje nisu vidljive ili se teško primijete. Najčešće štete uzrokuju na korijenju kultura u vidu kvržica ili gala, a simptomi se očituju i u smanjenom porastu i kržljavosti biljke. Također, nematode mogu biti vektori virusa ili uzrokuju oštećenja na tkivu i time stvaraju povoljne uvjete za razvoj drugih patogena. Nematode su sveprisutne, različite i lako prilagodljive različitim agro-klimatskim uvjetima (Dutta i sur., 2019).

4.1. Suzbijanje zlatne krumpirove cistolike nematode (*Globodera rostochiensis*, Wollenweber, 1923)

Biofumiganti koji su korišteni u istraživanju suzbijanja zlatne krumpirove cistolike nematode prikazani su u tablici 4.1.1. Tijekom provedbe biofumigacije, ITC blokira stanično disanje i druge funkcije krumpirove cistolike nematode (Back i Watts, 2019). Prema Dutta i sur. (2019) ITC smanjuje jezgru dorzalne faringealne žlijezde, što direktno utječe na parazitaciju nematode. ITC uzrokuje izlazak mladih ličinki iz cista (slika 4.1.1.) ili ih direktno ubija. Ličinke se izlaskom ih cista odvajaju od korijena krumpira i na taj način gube izvor hranjiva i ugibaju. Također, ITC smanjuje vitalnost jaja kod vrste *Globodera pallida* (Stone,

1973), što ukazuje na to da učinak biofumigacije može prodrijeti kroz čvrsti kutikularni sloj cista. Ovicidni učinak kupusnjača može se uočiti i kod nematoda korijenovih kvržica (*Meloidogyne* spp.) (Dutta i sur., 2019). Što se dulje molekule ITC-a zadrže u zemlji, to više nematoda ubiju. Neke molekule ITC-a brzo isparavaju, što znači da imaju manju molekulsku masu i brže se kreću kroz čestice tla. Nasuprot tome, molekule ITC-a koje teže isparavaju iz tla su otrovnije i više se vežu na tkivo nematode. Najotrovniji ITC-i za zlatnu krumpirovu cistoliku nematodu su: alil koji je nastao iz GSL-a sinigrina, 2-fenetil nastao iz GSL-a glukonasturtina i benzil nastao iz GSL-a glukotropeolina. Alil je slične toksičnosti kao i metil-izotiocijanat, plin dobiven iz aktivnih tvari metam-natrija (METAM 510, CERTIS) i dazometa (BASAMID, BASF) (Back i Watts, 2019).

Tablica 4.1.1. Biljne vrste korištene kao biofumiganti u suzbijanju krumpirove cistolike nematode

Biofumigant	**Sorta**	**GSL**	**ITC**	**Učinkovitost (%)**	**Reference**
Brassica juncea (smeđa gorušica)	Caliente (ISCI) 99	sinigrin	2-propenil/alil	15 – 95	Nagala i sur., 2014
		sinigrin	2-propenil/alil	23 – 37	Watts, 2018
	Variety 2	nepoznato	nepoznato	45	Watts i sur., 2014
Eruca sativa (rukola)	Nemat	glukobrazikanapin	4-pentenil	30 – 90	Nagala i sur., 2014
	Trio	nepoznato	nepoznato	46	Watts i sur., 2014
Raphanus sativus (rotkvica)	Bento	glukorafanin	(4-(metilsulfinil)) butil/butil	65 - 95	Nagala i sur., 2014
		glukonasturtin	2-fenetil		
Sinapis alba (bijela gorušica)	Architect	nepoznato	nepoznato	41	Watts i sur., 2014
	Zlata	nepoznato	nepoznato	0	Valdes i sur., 2012
	Metex	nepoznato	nepoznato	0	Scholte i Vos, 2000

Izvor: Back i Watts (2019)



Slika 4.1.1. Ciste zlatne krumpirove cistolike nematode (*Globodera rostochiensis*) na korijenu krumpira

Izvor: Bayer Crop Science UK (2020)

4.2. Suzbijanje nematoda korijenovih kvržica

Prema Mojtahedi i sur. (1991; 1993) utvrđeno je kako je uljana repica kao biofumigant puno učinkovitija u suzbijanju nematoda korijenovih kvržica (*Meloidgyne chitwoodi*, Golden, O'Bannon, Santo i Finley, 1980) od inkorporacije ostataka pšenice i kukuruza kao prethodnih usjeva. Također, biofumigant je učinkovitije djelovao na ličinke drugog stadija, nego na jaja, te je zaštita usjeva od napada nematode trajala šest tjedana. Inkorporacija uljane repice je usmrtila skoro sve ličinke drugog stadija i spriječen je izlazak 6 % ličinki iz jaja (Ploeg, 2008).

Nematoda korijenovih kvržica (*Meloidogyne incognita*, Kofoid i White, 1919) je uspješno suzbijena nakon inkorporacije brokule u kombinaciji s biljnim ostacima prethodnog usjeva, uspješnije nego kada su inkorporirani samo biljni ostaci. Inkorporacija se pokazala uspješnijom uz solarizaciju, kada je temperatura tla iznad 20° C. Utvrđeno je kako se povećanjem temperature tla povećava i učinak biofumigacije. Na taj način su uspješno suzbijene vrste *M. incognita, Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) (Ploeg, 2008).

Prema Lopez-Perez i sur. (2008) utvrđeno je kako brokula trenutačno suzbija nematode korijenovih kvržica na rajčici, povećava prinos usjeva i biljka postaje otpornija na nematode. Međutim, brokula kao biofumigant ne smanjuje značajno populaciju nematoda u tlu. Kao dobar biofumigant u suzbijanju svih nematoda korijenovih kvržica (slika 4.2.1.) se pokazala i rotkvica. Rukola se pokazala kao dobar biofumigant u suzbijanju vrsta *Meloydogine hapla* (Chitwood, 1949), *M. javanica* i *M. chitwoodi* u usjevima rajčice, mrkve i krumpira (Ploeg, 2008).



Slika 4.2.1. Simptomi parazitacije nematoda korijenovih kvržica (*Meloidogyne arenaria*)
Izvor: Jonathan D. Eisenback, Virginia Polytechnic Institute and State Univeristy, Bugwood. (2018) Image Number: 5442345 peanut root-knoot nematode (Neal) Chitwood

4.3. Suzbijanje ostalih biljnoparazitskih nematoda

Halbrendt (1996) je utvrdio smanjenje populacije vrste *Xiphinema americanum* (Cobb, 1913) nakon inkorporacije uljane repice u voćnjaku i smanjenje populacije *Pratylenchus penetrans* (Cobb, 1917) nakon inkorporacije uljane repice i nekih drugih vrsta kupusnjača. Repina nematoda (*Heterodera schachtii*, Schmidt, 1871) uspješno je suzbijena inkorporacijom nekih vrsta kupusnjača. Biofumigantni usjevi se ne moraju nužno koristiti kao primarni usjevi. Mogu se koristiti i kao 'klopke' koje će privući nematode i time smanjiti njihovo razmnožavanje (Ploeg, 2008).

Zasada i sur. (2009) su u svom istraživanju proučavali učinak biofumigacije koristeći tri različite sorte šećerne repe (*Brassica napus* 'Dwarf essex'*, Brassica juncea* 'Pacific Gold' i *Brassica napus* 'Sunrise') i jednu sortu gorušice (*Sinapis alba* 'IdaGold') na ličinke drugog stadija vrsta *M. incognita* i *P. penetrans.* Utvrđeno je da je vrsta *B. juncea* najučinkovitiji biofumigant koji je uzrokovao smrtnost više od 90 % kod obje nematode. Gorušica se pokazala kao biofumigant s najslabijim učinkom kod navedenih nematoda, ali zato uspješnim u suzbijanju repine nematode (*H. schachtii*).

U tablicama 4.3.1., 4.3.2. i 4.3.3. prikazani su rezultati istraživanja (Dutta i sur., 2019) učinkovitosti suzbijanja različitih biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u staklenicima i na polju. Rezultati prikazuju kako je u većini istraživanja biofumigacija uspješno suzbila populaciju nematoda te njihove ličinke, ciste i jaja.

Tablica 4.3.1. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u staklenicima

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
B. juncea	*Tylenchus semipenetrans*	*In vivo*	inkorporacija ostataka lišća i sjemena biofumiganata	smanjenje populacije nematoda i promjena omjera spolova	Australija
B. nigra, R. sativus, *B. oleracea*, *B. oleracea var. botrytis*, *B. oleracea var. italica*	*M. incognita*	rajčica	svježi i osušeni (za 7 dana) biljni ostaci inkorporirani u zemlju koja je premještena u testirane posudice	38-100 % i 95-100 % smanjenja gala na korijenu bez solarizacije	SAD
B. napus, B. campestris, B. juncea, B. nigra, B. carinata, B. oxyrrhina, *B. oleracea var. italica*	*Pratylenchus neglectus*	*In vivo*	testirano tlo s ostacima korijenja biofumiganata i tlo s lišćem biofumiganata, njihova učinkovitost u suzbijanju	tlo s ostacima lišća pokazalo visok nematocidni učinak (52.2 – 95.2 %)	Australija
B. oleracea var. italica	*M. incognita*	dinja	nasjeckani biofumiganti ravnomjerno raspoređeni u tlu	smanjena populacija nematoda i gala na korijenju	SAD
B. oleracea var. italica	*M. incognita, M. javanica*	dinja	nasjeckano lišće inkorporirano u tlo zaraženo nematodama u posudice	pri temp višoj od 25° C značajno je smanjen broj gala na korijenju	SAD
B. juncea	*P. penetrans*	kukuruz šećerac	biofumiganti dodani u posudice prije inkoluacije nematoda	značajno smanjenje broja nematoda	Kanada

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Nastavak tablice 4.3.1. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u staklenicima

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
B. rapa, B oleracea, *B. oleracea var. sabauda*, *B. oleracea var. italica*, *B. oleracea var. botrytis*	*G. rostochiensis*	krumpir	posudice s biljkama domaćinima u koje su inokulirane ciste s zemljom u kojoj su biofumiganti	redukcija novoformiranih cista	Portugal
B. carinata	*M. chitwoodi*	krumpir, rajčica	biofumigacija provedena na polju i u staklenicima	smanjena infekcija gomolja u polju i rajčice u stakleniku	SAD
B. carinata	*M. incognita*	tikvice	biofumigacija provedena u polju prije sjetve kulture	smanjenje broja nematoda i bolji prinos usjeva nego nakon tretiranja oksamilom	Italija
B. juncea, B. napus, S. alba	*P. penetrans, M. incognita*	*In vivo*	inokulacija i inkubacija biofumigantne zemlje s nematodama u polistirenske tube	suzbijeno > 90 % nematoda	SAD
B. juncea, R. sativus, E. sativa, B. rapa	*G. pallida*	*In vivo*	lišće podjednako pomiješano s zemljom zaraženom nematodama u posudicama te stavljeno u inkubaciju	mortalitet 95 % jaja u cistama nakon što je zemlja prekrivena polietilenom	Ujedinjeno Kraljevstvo

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Nastavak tablice 4.3.1. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u staklenicima

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
B. juncea	*M. incognita*	rajčica	suho usitnjeno lišće i ostali dijelovi biofumiganata odvojeno su stavljeni u posudice s zemljom zaraženom nematodama gdje se uzgaja rajčica	smanjen broj gala, jaja i jajnih masa na uzgojenim biljkama	Brazil
B. juncea, S. alba	*M. incognita*	paprika	biofumganti dodani u zemlju zaraženu nematodama gdje se uzgaja papar	kombinirani tretman je imao bolji učinak na nematode nego samostalni biofumigant	SAD
R. sativus, E. sativa	*M. incognita*	krastavac	zelena gnojidba u staklenicima	smanjenje populacije nematoda i povećanje uroda	Libanon
B. oleracea	*M. incognita*	rajčica	smrvljeno lišće dodano u posudice prije sjetve rajčice i inokulacije nematoda	smanjenje gala na korijenju i poboljšanje rasta biljke	Egipat
B. juncea	*G. pallida*	*In vivo*	u zemlju su dodani biofumiganti i ciste nematoda	nije se otpustila dovoljna količina ITC-a da bi se postigao dobar učinak	Nizozemska

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Nastavak tablice 4.3.1. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u staklenicima

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
E. sativa	*M. incognita*	rajčica	inokulacija nematoda u zemlju s biofumigantima i presađivanje rajčice	smanjenje indeksa gala i jačanje biljke	Italija

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Tablica 4.3.2. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u polju

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
B. napus	*M. chitwoodi*	krumpir	inkorporacija biofumiganata u zaraženu zemlju	biofumiganti su zaštitili korijenje usjeva od nematoda 6 tjedana	SAD
B. napus	*M. incognita, M. javanica, Criconemella ornata*	tikva	inkorporacija biofumiganata u zaraženu zemlju	nema značajnog smanjenja populacije nematoda	SAD
B. napus, R. sativus	*M. chitwoodi, P. neglectus*	rajčica, krumpir	inkorporacija pare i lisnog tkiva u posude s rajčicom u rotaciji s krumpirom na poljskom mikropokusu	značajno smanjena populacije *M. chitwoodi* za razliku od *P. neglectus,* povećanje tržne vrijednosti krumpira	SAD
B. napus, R. sativus	*M. chitwoodi, P. neglectus*	krumpir	inkorporacija biofumiganata u poljski mikropokus	smanjena populacije obje vrste, bolji rast gomolja nego kada je tretirano aldikarbom	SAD
S. alba	*G. rostochiensis, G. pallida*	krumpir	biofumiganti kao pokrovna kultura	značajno smanjen broj ličinki u cistama	Nizozemska
B. napus, B. oleracea	*M. incognita*	*Vignea subterranea*	biofumigacija u IPM modelu	smanjenje kvržičavosti korijenja	J. Afrika, Bocvana

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Nastavak tablice 4.3.2. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u polju

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
R. sativus	*Paratrichodorus teres*	krumpir, luk	biofumigacija u polju	smanjenje populacije nematoda, povećanje prinosa krumpira i luka	Nizozemska
B. oleracea var. italica	*M. incognita*	rajčica	svježi biofumiganti dodani zajedno s pilećim stajnjakom u posudice i u polje	značajno smanjenje gala pri temperaturi višoj >25° C	SAD
B. juncea, B. rapa, B. napus, R. sativus, B. oleracea var. sabauda	*M. incognita*	tikvica, dinja, rajčica	inkorporacija biofumiganata prije sjetve ciljanog usjeva	smanjenje populacije nematoda tijekom uzgoja kulture, poboljšan prinos i tržna vrijednost	SAD
B. juncea, B. rapa, B. napus, E. sativa	*M. incognita*	rajčica	biofumigacija	smanjenje broja gala i povećanje sjemenki u rajčici	Indija
B. juncea	*Heterodera carotae*	mrkva	biofumigacija	smanjenje broja vitalnih jaja u cistama za vrijeme rasta usjeva	Danska
E. sativa	*M. chitwoodi, M. hapla, P. allius*	krumpir	biofumigacija u polju i stakleniku	smanjen broj nematoda na 0	SAD

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Nastavak tablice 4.3.2. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u polju

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
kemijski sintetizirani ITC	*M. javanica*	krastavac	biofumigacija u zaraženu zemlju prije sjetve krastavca u polju i posudicama	nakon pokusa uočeno nekoliko gala na korijenu, učinkovitost djelovanja slično metam-natriju	Kina
B. juncea, E. sativa	*M. incognita*	krumpir	biofumigacija	porast populacije nematoda	Južna Afrika, Belgija
S. alba	*G. rostochiensis*	krumpir	nasjeckani biofumiganti se inkorporiraju u zaraženo tlo u polju	smanjenje populacije štetnih nematoda i povećanje populacije korisnih nematoda	Belgija
B. juncea, E. sativa, S. alba, B. napus	*M. javanica, Criconemoides xenoplax*	rajčica	macerirani biofumiganti inkorporirani u inokulirano tlo prije sjetve rajčice	značajno smanjenje populacije *M. javanica*, ali ne i *Criconemoides xenoplax* (*B. napus* nije imala nikakav učinak)	Južna Afrika
B. carinata	*M. incognita*	paprika	biofumiganti i stajnjak od ovce dodani u zaraženo tlo	smanjen indeks gala, povećan prinos usjeva	Španjolska

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Nastavak tablice 4.3.2. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u polju

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
B. oleracea	*Helicotylenchus, Pratylenchus, Meloydogine, Heterodera*	krumpir, rajčica, paprika	biofumiganti inkorporirani u tlo prije sjetve ciljanog usjeva	značajno smanjenje populacije ličinki nekoliko vrsta nematoda	Kenija
B. oleracea	*M. incognita*	rajčica	nefermentirani sirovi ekstrakti lišća inkorporirani u mikropokus u tlo inokulirano nematodama s presađivanjem rajčice	smanjenje broja nematoda, povećanje prinosa usjeva	Južna Afrika
B. juncea	*Tylenchorcinchus, Trichodorus*	nema usjeva	biofumiganti inkorporirani u tlo bez usjeva	nema značajne redukcije populacije nematoda	Njemačka
B. juncea, R. sativus, E. sativa	*G. pallida*	krumpir	inkorporacija isjeckane biomase u tlo i u staklenik	povećanje mortaliteta jaja u cistama osim u tretmanu s *E. sativa*	Ujedinjeno Kraljevstvo
B. juncea, B. oleracea var. italica	*M. incognita*	paprika	pokrovni usjev u polju	smanjenje broja nematoda u prisustvu brokule	SAD
B. napus, R. sativus	*P. penetrans*	mrkva	pokrovni usjev u polju	nije utjecalo na populaciju nematoda do ponovljene sjetve	SAD

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Nastavak tablice 4.3.2. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u polju

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
S. alba, E. sativa	*M. incognita*	francuski grah	inkorporacija biofumiganata u tlo zaraženo nematodama u polju i stakleniku	redukcija 90 % i 67 % broja nematoda u polju i stakleniku	Kenija

Izvor: Dutta i sur. (2019)

Tablica 4.3.3. Učinkovitost biofumiganata iz porodice kupusnjača na različite vrste biljnoparazitskih nematoda u voćnjacima

Biofumigant	Nematoda	Usjev	Način primjene	Rezultati	Država
B. napus	*Xiphinema americanum*	orhideja	inkorporacija u tlo, zatim sjetva	uspješnost dva biofumiganta usporediva s učinkom tretiranja oksamilom	SAD
B. napus, B. rapa, B. juncea, B. oleracea var. sabauda, *R. sativus, S. alba*	*M. javanica*	vinova loza	inkorporacija listova u zemlju i inokulacija drugog juvenilnog stadija (J2) nematoda	svi biofumiganti su pokazali smanjenje broja nematoda	Australija
B. campestris, B. juncea	*Tylenchus semipenetrans, Paratrichodorus* spp.	naranča	biofumiganti dodani u zemlju u posudice	redukcija broja nematoda u tlu	Australija
B. napus	*P. penetrans*	jabuka	biofumiganti dodani u zemlju gdje su orhideje	učinkovito smanjenje populacije nematoda	SAD
B. napus	*Pratylenchus* spp.	jabuka	biofumiganti dodani u zemlju gdje su orhideje	usporedivo s učinkovitošću biofumiganta Telona	SAD
B. juncea	*M. javanica*	vinova loza	inkorporacija biofumiganata i razrezanih izdanaka u tlo u vinogradu	smanjena populacija nematoda u oba slučaja između i unutar redova	Australija
B. juncea, B. napus, S. alba	*P. penetrans*	jabuka	biofumiganti dodani u zemlju gdje su orhideje	dugotrajno i izdržljivo smanjenje populacije	SAD

Izvor: Dutta i sur. (2019)

4.4. Prednosti i nedostaci biofumigacije

Biofumigacija kao i svaka druga metoda suzbijanja ima svoje prednosti i nedostatke. Osnovna prednost je očuvanje okoliša i zdravlja ljudi. Osim nematoda, biofumigacijom se može suzbiti niz patogena koji uzrokuju ekonomske štete u usjevima. Kupusnjače su pokazale dobre rezultate u suzbijanju gljiva *Rhizoctonia* spp. (Kühn, 1858) (uzročnik raka i smeđe kore), *Streptomyces scabies* (Thaxter, 1892) (uzročnik obične krastavosti), *Spongospora subterranea* ((Wallr.) Lagerh., 1892) (uzročnik prašnjave kraste) i *Verticillium dhaliae* (Kleb., 1913) (uzročnik venuća biljaka). Također, značajno je smanjena populacija drugih patogena kao što su *Aphanomices* spp. (de Bary, 1860), *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp. (Link, 1809), *Pythium* spp. (Pringsheim, 1859), *Phytophtora* spp. (de Bary, 1876), *Sclerotinia* spp. te nematoda rodova *Heterodera, Globodera, Pratylenchus, Tylenchus* i *Meloydogine.* Uporaba kupusnjača kao biofumiganata smanjila je i štete uzrokovane klisnjacima.

Osim što biofumigacija smanjuje populaciju štetnih organizama, ova mjera zaštite ujedno poboljšava učinkovitost i produktivnost usjeva. Inkorporacijom biofumiganata mijenja se mikrobiološki sastav tla te se, i na taj način, prekida životni ciklus patogena. Nakon biofumigacije, utvrđeno je povećanje količine mikorize u sastavu tla. ITC oslobođen biofumigacijom ima biocidno djelovanje i na korove (Srivastava i Ghatak, 2017) .
Promjenom mikrobiološkog sastava poboljšavaju se svojstva tla kao što su (Srivastava i Ghatak, 2017):

- infiltracija vode, kapacitet zadržavanja vode i zraka,
- strukturna stabilnost, smanjen rizik od zbijanja,
- krhkost tla, olakšava se obrada tla,
- otpornost tla na eroziju vode i vjetra,
- kapacitet hranjivih tvari,
- ukupna biološka aktivnost tla,
- rast korijenja.

Biofumiganti dubokog korijenja mogu doprijeti dublje u tlo do teže dostupnih hranjiva te ih time dovesti na razinu dostupnu kulturama kraćeg korijenja. Na taj način hranjiva lakše cirkuliraju kroz tlo, biljke ih lakše usvajaju i postaju dostupna sljedećem usjevu. Korištenjem kupusnjača kao biofumiganata povećava se stopa mineralizacije dušika (Srivastava i Ghatak, 2017).

Biofumigacija kao nekemijska mjera suzbijanja ima i nedostatke. Biofumigantni usjevi zahtijevaju više vremena i pažnje prilikom uzgoja, nego uporaba nematocida. Uspjeh biofumigacije ovisi o vremenskim i klimatskim uvjetima za razliku od nematocida koji u većini slučaja garantiraju vrlo dobar uspjeh (Back i Watts, 2019). Nabava sjemena i uzgoj biofumigantnih usjeva zahtijeva velike troškove (Zasada i sur., 2009). Najveća mana

biofumigantnih usjeva je ta što je većina biofumiganata domaćin nematodama kvržičavosti korijena (Ploeg, 2008). Kupusnjače mogu povećati i populaciju nekih patogena. Poznate su kao domaćini uzročnika bijele plijesni (*S. sclerotiorum*) koja kasnije može predstavljati problem u krumpiru. Brokulu kao biofumigant je najbolje sijati nekoliko godina prije ili poslije ciljanog usjeva kako ne bi došlo do pojave kvržičavosti korijena uzrokovane gljivom *P. brassicae.*

5. Zaključak

1. Biofumigacija je nekemijska metoda zaštite bilja koja podrazumijeva uzgoj, maceraciju i inkorporaciju u tlo biljnih vrsta iz porodice kupusnjača (Brassicaceae) u svrhu suzbijanja štetnih organizama prisutnih u tlu.
2. Biljne vrste kao što su gorušica, rukola, rotkva, bijela gorušica, brokula, cvjetača, uljana repica i hren uzgajaju se kao biofumiganti. Biofumiganti sadrže organsku tvar koja se naziva glukozinolat (GSL). Nakon žetve GSL iz biofumiganata u doticaju s vodom i aktivacijom enzima mirozinaze proizvodi spoj izotiocijanat (ITC). ITC djeluje toksično na štetočinje u tlu te ih na taj način suzbija. Biofumiganti se razlikuju u količini GSL-a u tkivu. Najveća proizvodnja GSL-a je u fenofazi pune cvatnje i najviše se nalazi u listovima. Sjeme biofumiganata se u nekim zemljama prodaje kao gotov proizvod u pakiranjima.
3. Optimalno vrijeme za sjetvu biofumiganata kod ljetnog uzgoja je sredina srpnja ili sredina kolovoza. Nakon sjetve rast biofumiganata traje 8 – 14 tjedana, a inkorporacija u tlo se provodi u studenom. Ljetni uzgoj ima najbolju učinkovitost, 40 – 70 %. Biofumiganti koji se siju u jesen prezimljuju i imaju niži potencijal od ostalih biofumigantnih usjeva (10 – 30 %).
4. Agrotehnika uzgoja biofumiganata jednaka je agrotehnici uzgoja ostalih usjeva. Jedina razlika je što biofumigantni usjevi zahtijevaju više gnojiva i navodnjavanja.
5. Pozitivni učinci biofumigacije utvrđeni su u suzbijanju krumpirovih cistolikih nematoda (*Globodera rhostochiensis* i *G. pallida*), nematoda korijenovih kvržica (*Meloidogyne* spp.) te vrstama *Xiphinema americanum, Pratylenchus penetrans* i *Heterodera schachtii.*
6. Prednosti biofumigacije su da je sigurna za okoliš i zdravlje ljudi, osim nematoda suzbija i druge patogene u tlu (gljive, kukci) i korove, pozitivno utječe na mikrobiološki sastav tla, donosi teže dostupna hranjiva u više slojeve tla te poboljšava prinos i urod usjeva.
7. Nedostaci biofumigacije su da biofumiganti iziskuju veći financijski trošak prilikom uzgoja, više pažnje za razliku od drugih usjeva, a uspjeh ovisi o klimatskim i okolišnim čimbenicima. Kao i svaki drugi usjev, biofumiganti su podložni oštećenjima abiotskih i biotskih čimbenika. Domaćini su buhačima, kupusnoj muhi, gljivama *Sclerotinia sclerotiorum* i *Plasmodiophora brassicae* te nematodama kvržičavosti korijena.

6. Popis literature

1. Agroklub (2014). Bijela gorušica kao dobar dodatak greening-u. <https://www.agroklub.com/ratarstvo/bijela-gorusica-kao-dobar-dodatak-greening-u/15352/ > - pristup 5.8.2020.
2. 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. Agriculture and Horticulture Development Board 2019. <https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Potato%20knowledge%20library/BiofumigationGuide3035_190710_WEB.pdf- > - pristup 5.5.2020.
3. Bayer Crop Science UK (2020). Potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* and *G. Pallida* <https://cropscience.bayer.co.uk/threats/pest-and-slugs/potato-cyst-nematode/> - pristup 25.6.2020.
4. BioSustainable Solutions (2020). Home / Caliente 199 Mustard Blend 9.6oz. <https://www.biosustainablesolutions.com/product-page/nemat-caliente-mustard-blend-2-8oz > - pristup 1.6.2020.
5. Clarkson, J., Vincent, M., Neilson, R. (2016). Mini-paper – Biofumigation for the control of soil-borne diseases. Eip-agri agriculture & inovations. <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agrieip/files/9_eip_sbd_mp_biofumigation_final_0.pdf> - pristup 8.6.2020.
6. 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.
7. Grubišić, D., Uroić, G., Ivošević, A., Grdiša, M. (2018). Nematode Control by the Use of Antagonistic Plants. Agriculturae Conspectus Scientificus, 83 (4): 269–275.
8. Halbrendt, J. M. (1996). Allelopathy in the management of plant-parasitic nematodes. Journal of Nematology, 28: 8–14.
9. Jonathan D. Eisenback, Virginia Polytechnic Institute and State University, Bugwood.org. Image Number: 5442345 peanut root-knot nematode (*Meloidogyne arenaria*) (Neal) Chitwood (2018). <https://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5442345> - pristup 27.6.2020.
10. Integrated crop protection. Soil wealth. (2015). Biofumigation. <https://www.soilwealth.com.au/imagesDB/news/SW-ICP-biofumigation-factsheet-150216-FINAL.pdf> - pristup 1.6.2020.
11. Lopez-Perez, J. A., Roubtsova, T., de Cara-Garcia, M., Ploeg, A. T. (2008). Rotation and biofumigation with five winter-growen crops and subsequent root-knot nematode infestation and yield of summer-grown tomato. Agriculture, Ecosystems and Environment, 123, (in press).

12. Mojtahedi, H., Santo, G. S., Hang, A. N., Wilson, J. H. (1991). Suppression of root-knot nematode populations with selected rapeseed cultivars as green manure. Journal of Nematology, 23: 170–170.
13. Mojtahedi, H., Santo, G. S., Wilson, J. H., Hang, A. N. (1993). Managing *Meloidogyne chitwoodi* on potato with rapeseed as green manure. Plant Disease, 77: 42–46.
14. Ploeg, A. (2008). Biofumigation to manage plant. Parasitic nematodes. U: Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crops nematodes (Ciancio A., Mukerji K. G.), str. 239–248.
15. Sarwar, M., Kirkegaard, J.A. (1998). Biofumigation potential of brassicas. Plant and Soil, 201: 91–101.
16. Srivastava, J. N., Ghatak, A. (2017). Biofumigation: A control method for the soil-borne diseases. International journal of plant protection, 10(2): 435–460.
17. Zasada, I. A., Meyer, S. L. F., Morra, M. J. (2009). Brassicaceous seed meals as soil amendments to suppress the plant-parasitic nematodes *Pratylenchus penetrans* and *Meloydogine incognita*. Journal of nematology, 41(3): 221–227.

Životopis

Roberta Vrkić rođena je 24. veljače 1997. godine u Zagrebu gdje živi i danas. Osnovnu školu Rudeš u Zagrebu upisuje 2003. godine i završava 2011. godine. Iste godine upisuje opći smjer XI. gimnazije u Zagrebu koju završava 2015. godine. Agronomski fakultet u Zagrebu, smjer Zaštita bilja, upisuje u srpnju 2015. godine i završava u kolovozu 2018. godine. U listopadu 2018. godine upisuje diplomski studij Fitomedicina na Agronomskom fakultetu u Zagrebu i završava u rujnu 2020. godine. 2018. godine pridružuje se Entomološkoj grupi na Zavodu za poljoprivrednu zoologiju koja 2019. godine osvaja Dekanovu nagradu. U sklopu Entomološke grupe sudjeluje u izvannastavnim aktivnostima: Dani otvorenih vrata, Agro Advent, Dani očaranosti biljkama te piše članke za Gospodarski list. Od ostalih izvannastavnih aktivnosti sudjeluje na Smotri Sveučilišta 2018. i 2019. godine gdje predstavlja Agronomski fakultet. U lipnju 2019. godine upisuje program Pedagoško – psihološko obrazovanje u sklopu odsjeka za Obrazovne studije na Učiteljskom fakultetu u Zagrebu te isti završava u siječnju 2020. godine. U veljači 2020. godine na 55. simpoziju agronoma u Vodicama predstavlja rad ''Utjecaj tri tipa različite obrade tla na zbijenost tla'' s kolegama sa Zavoda za opću proizvodnju bilja. Od stranih jezika se služi engleskim jezikom znanjem B2 razine i njemačkim jezikom A1 razine. Godine 2019. u Sveučilišnom računskom centru Sveučilišta u Zagrebu završava tečajeve iz MS Office za programe Word i Excel iz kojih stječe certifikate. U slobodno vrijeme se bavi plesom.