

Primjena solarizacije u suzbijanju štetnih organizama u tlu

Sažetak

Primjena kemijskih sredstava za zaštitu bilja uglavnom osigurava učinkovitu zaštitu povrća, ratarskih kultura, višegodišnjih nasada te ukrasnih vrsta od štetnih organizama u tlu. Istovremeno, ta su sredstva mogući izvor direktne opasnosti za neciljane organizme te rezidualnog toksičnog učinka kroz onečišćeno tlo i biljke, a svakako predstavljaju i nezanemarljiv financijski izdatak. U svjetlu današnjih trendova smanjenja uporabe sredstava za zaštitu bilja i zabrane pojedinih, istraživanje i primjena nekemijskih alternativa u suzbijanju štetnih vrsta od velike je važnosti. Solarizacija tla je nekemijska mjera zaštite bilja koja učinkovito suzbija veliki broj štetnih patogena, nematoda i korova u tlu, istovremeno inicirajući promjene fizikalnih i kemijskih svojstava tla i pospješujući rast i razvoja biljaka. Solarizacijom se uspješno suzbijaju brojne ekonomski značajne vrste nematoda rodova *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Xiphinema*, vrste *Globodera rostochiensis*, *Heterodera carotae*, *Ditylenchus dipsaci*. Učinkovitost solarizacije dokazana je i u suzbijanju biljnih patogena kao što su *Fusarium spp.*, *Phytophthora spp.*, *Pythium spp.*, *Sclerotium spp.*, *Verticillium spp.*, uzročnika bakterioza *Agrobacterium spp.*, *Clavibacter michiganensis* i *Erwinia amylovora*, te jednogodišnjih korovnih vrsta, dok je učinkovitost u suzbijanju višegodišnjih vrsta nešto niža. Učinak solarizacije moguće je pojačati unošenjem brzo razgradive organske tvari u tlo; biljnih ostataka uzgajanih kultura, stajskog gnoja, otpada prerade maslina ili u tu svrhu posijanih vrsta iz porodice *Brassicaceae*, uz obilno zalijevanje, a prije postavljanja folija na tretiranu površinu. Metoda biosolarizacije učinkovita je modifikacija metode solarizacije, intenzivno proučavana i primjenjivana u posljednjem desetljeću.

ključne riječi: nekemijske mjere suzbijanja štetnika, biljnoparazitske nematode, biljni patogeni, korovi, biosolarizacija

Uvod

Solarizacija se može jednostavno opisati kao postupak primjene PE ili PVC folija na površinu tla, u vrijeme jakog sunčevog zračenja, za najtoplijih mjeseci u godini, prilikom kojega dolazi do porasta temperature u površinskim slojevima tla do visine koja je letalna ili subletalna za biljne patogene, nematode i korove (D'Addabbo i sur., 2009). To je nekemijska mjera suzbijanja štetnih organizama bez potencijalnih opasnosti po zdravlje i sigurnost ljudi te neciljanih organizama. Selektivna je za korisne organizme na čije populacije ponekada djeluje i potencirajuće. Ukoliko je pravilno zbrinuta nakon uporabe, ne onečišćuje okoliš.

Prvi podaci o primjeni solarizacije tla potječu iz 1939. godine kada je istraživani učinak na patogenu gljivu *Thievaliopsis basicola* na rajčici, pamuku i patlidžanu, direktnim izlaganjem tla sunčevoj radijaciji (Groshewoy, 1939 cit. Katan i sur., 1987). Solarizacija tla, kao nova metoda dezinfekcije tla, prvi puta je opisana 1976. godine kada je primijenjena u svrhu suzbijanja korova i patogena u tlu, prekrivanjem tla PE pokrovom (Katan i sur., 1976 cit. Katan i sur., 1987). U navedenim istraživanjima radilo se o suzbijanju vrste roda *Verticillium* na kultiviranim vrstama iz porodice *Solanaceae*. Godine 1977., američki su znanstvenici objavili rezultate o uspješnom suzbijanju vrste roda *Verticillium* na pamuku, što je bio dokaz o uspješnoj široj primjeni solarizacije (Pulman i DeVay, 1977 cit. Katan i sur., 1987). U godinama nakon prve objave, solarizacija tla istražena je u najmanje 24 zemlje, od Ujedinjenog Kraljevstva na sjeveru do Australije na jugu, od najniže točke (- 400 mnv) u Izraelu do najviše točke u Peruu (+ 2000 mnv). Istraživanja su

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

provedena u proizvodnji povrća, ratarskih kultura, ukrasnog bilja te voćarstvu u cilju suzbijanja gljiva, korova i štetnih člankonožaca. Paralelno su istraživane biološke, kemijske i fizikalne promjene koje se događaju u solariziranom tlu za vrijeme i nakon procesa solarizacije. Provedene su i studije s ciljem poboljšanja metode koja je u narednim godinama sve više primjenjivana, posebice u Izraelu, SAD-u i Japanu. Krajem 1990. godine, solarizacija je istražena u 38 država, nakon čega su objavljeni priručnici na različitim jezicima s ciljem edukacije poljoprivrednika diljem svijeta (Katan i sur., 1987), a prema Lamberti i Greco (1991) primjena solarizacije tla u svrhu suzbijanja nematoda izazivala je sve veću pozornost.

Postupak provođenja solarizacije

Priprema tla za solarizaciju otpočinje obradom tla prilikom čega se ono maksimalno usitnjava, površinski poravnava i zaglađuje. U odnosu na suho tlo, vlažno tlo bolje provodi toplinu te ujedno organizme u tlu čini osjetljivijima na zagrijavanje. Kako bi solarizacija bila učinkovitija, tlo ispod folije mora biti zasićeno do 70 % maksimalnog kapaciteta tla za vodu te vlažno do dubine od 60 cm (Elmore i sur., 1997). Obično nakon postavljanja folije na prethodno pripremljeno tlo nije potrebno ponavljati navodnjavanje, no ukoliko se radi o lakšim i pjeskovitim tlima ili ako je zasićenost tla vodom ispod 50 %, naknadnim će se navodnjavanjem pospješiti učinkovitost solarizacije.

Postavljanje folije na tlo provodi se ručno ili strojno, a folija se može postaviti prekrivanjem cijele površine ili prekrivanjem tla u trakama, ukoliko cijela površina neće biti zasijana ili zasađena. Pokrivanje cijele površine preporučljivo je na površinama koje su jako zaražene patogenim mikroorganizmima, nematodama ili višegodišnjim korovima jer su tada površine u cijelosti tretirane te je miješanje netretiranog i tretiranog tla prilikom obrade i navodnjavanja svedeno na minimum. Postavljanjem folije u trakama ostvaruje se ušteda po jedinici površine, ali dugoročno se učinak solarizacije umanjuje radi miješanja netretiranog i tretiranog tla (Elmore i sur., 1997). Folija na tlu ostaje položena četiri do šest tjedana kako bi se ono zagrijalo do što veće dubine. Provodi se kroz najtoplije mjeseci u godini kada je zračenje sunca najjače, a vjetrovi i naoblaka slabi.

Prozirna (transparentna) folija učinkovitija je u odnosu na crnu, smeđu, zelenu ili folije drugih boja, koje slabije zagrijavaju tlo, a koje se uglavnom postavljaju u svrhu reduciranja rasta korova. Što je folija tanja, učinkovitost u zagrijavanju tla je viša. Najučinkovitije su folije debljine 0,025 mm, no one su i najosjetljivije na oštećenja, a u vjetrovitijim područjima, postavljaju se folije debljine barem 0,038-0,050 mm. Folije koje se polažu ručno mogu se koristiti i višekratno, ali treba voditi računa da se iste održavaju čistima i neoštećenima kako bi se održala i njihova učinkovitost.

Primjena solarizacije u zaštićenim prostorima postiže značajno višu učinkovitost, nego primjena na otvorenom. Provodi se također kada je sunčeva radijacija najjača. Nakon postavljanja folije, prostor je potrebno zatvoriti na četiri ili više tjedana, kako bi se postigla i održala željena temperatura. Pri temperaturi od oko 70 °C, tlo može biti uspješno solarizirano već nakon jednoga tjedna. Na području južne Europe, solarizacija se vrlo često primjenjuje u staklenicima za suzbijanje bolesti rajčice, patlidžana, tikvica i jagode (Elmore i sur., 1997).

Učinci solarizacije na tlo i zajednice organizama u tlu

Zagrijavanje tla najjače je pri površini i opada s dubinom. Učinkovitost solarizacije tako je najviša na dubini 10-30 cm. Prema Elmore i sur. (1997) najviše temperature, 42-55 °C, postignute su na dubini do 5 cm tla, dok je na dubini od 45 cm izmjereno 32-37 °C. Temperature u staklenicima dosežu i više vrijednosti te je tako zabilježeno 60 °C na 10 cm i 53 °C na 20 cm dubine tla. Al-Asad (1990) cit. Oštrec (2002) pod prozirnim folijama utvrdio je zagrijavanje tla od 50 °C na dubini od 10 cm, te 44 °C na 20 cm dubine. Istovremeno je tlo pod crnom folijom na 10 cm bilo zagrijano na 42 °C, a na dubini od 20 cm na 40 °C. U istraživanjima u Iranu (Hasson i Husain,

1986 cit. Oštrec, 2002), neposredno ispod folije na površini tla, postignuto je zagrijavanje od 64 °C, na dubini tla od 5 cm 55 °C, a na dubini od 10 cm 49 °C. Na nesolariziranim površinama, temperature su bile niže za 7-11 °C, ovisno o dubini tla.

Solarizacija inicira promjene fizikalnih i kemijskih svojstava tla, a koje pospješuju rast i razvoja biljaka. S povišenjem temperature tla, dolazi do ubrzane razgradnje organske tvari u tlu te dolazi do otpuštanja topljivih oblika dušika, kalcija, magnezija, kalija i fulvične kiseline čime isti postaju dostupniji biljkama. Određene kemijske promjene u tlu, koje se događaju uslijed solarizacije, također mogu djelovati letalno ili oslabiti štetne organizme u tlu. Gruenzweig i sur. (1993) zabilježili su te povezali intenzivniji rast biljaka na solariziranim površinama s fiziološkim promjenama kao što je pojačana fotosintetska aktivnost i sadržaj proteina, a koji su usporili sušenje biljaka u kasnijim razvojnim stadijima. Utvrdili su i povezali povećanu suhu tvar listova s višom koncentracijom giberelina te su sugerirali kako se radi o stimulaciji hormonalne aktivnosti biljaka uzgajanih na solariziranim površinama. Kako je pojava intenzivnijeg rasta biljaka utvrđena i na solariziranim površinama koje nisu bile zaražene različitim biljnim patogenima, brojni autori smatraju kako su za to zaslužne promjene u tlu, pospješene solarizacijom, u vidu bolje dostupnosti mineralnih nutrijenata, mineralizirane organske tvari, poboljšane mikrobiološke aktivnosti tla te opisane promjene unutar samih biljaka (D'Addabbo i sur., 2009).

Zagrijavanje tla može djelovati letalno na biljne patogene, nematode, sjemenke korova ili njihove klijance. Iako mnoge vrste ugibaju pri temperaturama 30-33 °C, navedeni organizmi u tlu značajno se razlikuju u osjetljivosti prema zagrijavanju. Prema Stapleton i DeVay (1995) termalni prag štetnosti je pri 39-40 °C za većinu mezofilnih organizama u tlu, dok termofilni i termotolerantni organizmi podnose temperature postignute solarizacijom. Subletalne temperature mogu oštetiti biljne patogene, reducirati klijanje spora i njihovu agresivnost te povećati njihovu osjetljivost na druge biotske i abiotske čimbenike (Freeman i Katan, 1988). Neki štetni organizmi tako postaju podložniji parazitaciji prirodnih neprijatelja (gljiva, bakterija) koji preživljavaju solarizaciju i često vrlo brzo rekoloniziraju tlo. Korisne vrste gljiva iz rodova *Trichoderma*, *Talaromyces* i *Aspergillus* preživljavaju solarizaciju, a populacije se čak i povećavaju (Elmore i sur., 1997). Mikorizne gljive manje su pogođene solarizacijom te u tlu opstaju u populaciji dovoljno da ponovno koloniziraju korijenje biljaka.

Populacije korisnih bakterija rodova *Bacillus* i *Pseudomonas* reducirane su tijekom solarizacije, ali ubrzo rekoloniziraju tlo. Populacije *Rhizobium* spp. mogu biti značajno reducirane i potrebno ih je ponovno unositi inokuliranim sjemenom. Populacije drugih nitrifikacijskih bakterija također su reducirane solarizacijom.

Utjecaj na gujavice nije sustavno praćen, ali se smatra kako one migriraju u niže slojeve tla te tako izbjegavaju nepovoljan učinak solarizacije.

*Solarizacija uspješno suzbija patogene gljive i bakterije poput *Verticillium dahliae*, neke vrste roda *Fusarium*, vrste *Phytophthora cinnamomi*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Clavibacter michiganensis* i *Streptomyces scabies*, ali ne i vrste koje dobro podnose visoke temperature poput nekih gljiva iz rodova *Macrophomina* i *Pythium* ili bakterije *Pseudomonas solanacearum* (Elmore i sur., 1997).*

Učinak solarizacije u suzbijanju patogenih gljiva dugoročniji je nego u suzbijanju nematoda i korova i najčešće traje barem dvije godine nakon tretmana (D'Addabbo i sur., 2009).

Solarizacija se primjenjuje za suzbijanje mnogih vrsta nematoda u ekološkoj proizvodnji te kao jedna od mjera u integriranoj zaštiti bilja od štetnika. Najviša učinkovitost postiže se na dubini do 30 cm tla te je kao mjera pogodna za suzbijanje štetnih vrsta nematoda pliče ukorijenjenih biljnih vrsta kraćeg životnog ciklusa. Vrste koje nastanjuju dublje slojeve tla mogu preživjeti te oštetiti biljke koje korijenje razvijaju na istim dubinama. Stapleton i DeVay (1986) pretpostavljaju da je reduciranje populacije nematoda na dubini 46-91 cm moguća posljedica drugih supresivnih faktora, kao što je oslobađanje volatilnih toksičnih plinova nastalih tijekom solarizacije.

Lamberti i Greco (1991) utvrdili su da različite vrste nematoda ugibaju pri različitim tempe-

raturama, ali i duljini ekspozicije, pa tako temperature iznad 55 °C ubijaju najveći dio nematoda kroz nekoliko minuta, dok kod 90 °C uginu trenutno. Prema Heald i Robinson (1987) i prolongirano djelovanje temperatura viših od 35 °C djeluje letalno na biljnoparazitske nematode, reducira njihovu infektivnost ili povećava njihovu osjetljivost na biotski ili abiotski stres. Greco i sur. (1998) te D'Addabbo i sur. (2005) navode kako se termalni učinak solarizacije na nematode najčešće drži strogo specifičnim za pojedine vrste.

Učinak solarizacije u suzbijanju nematoda kratkoročniji je u odnosu na učinak u suzbijanju biljnih patogena, a posljedica je brze rekolonizacije tretiranoga tla nematodama. Ponovljeni tretmani solarizacijom ipak mogu usporiti rekolonizaciju tla i dugoročno reducirati populaciju nematoda ispod ekonomskog praga štetnosti (Candido i sur., 2008).

Vrste roda *Meloidogyne* uspješno su suzbijene solarizacijom i na prostoru Republike Hrvatske gdje se u staklenicima tijekom srpnja i kolovoza primjenom folije debljine 0,015 mm (ispod koje se na dubini od 10 cm postigla temperatura od 41 °C) postigla 100 % tna učinkovitost. Istovremeno su ostale biljnoparazitske vrste suzbijene s učinkovitošću od 99 % (Oštrec, 1993). Potpuno suzbijanje (100 %) populacije vrsta roda *Meloidogyne*, ali i ostalih biljnoparazitskih vrsta u istim staklenicima postignuto je i sljedeće godine nakon dva, kao i nakon tri mjeseca od pokrivanja tla PE folijom (Oštrec, 2002; Oštrec i Grubišić, 2003). Krumpirove cistolike nematode vrste *G. rostochiensis* suzbijene su solarizacijom s učinkovitošću 100 %, 68 %, i 59 %, na 5, 10 i 15 cm dubine tla, u odnosu na netretirano tlo (LaMondia i Brodie, 1984). Prema D'Addabbo i sur. (2009), solarizacijom se učinkovito suzbijaju mnoge ekonomski značajne vrste nematoda među kojima su i *Criconemella* spp., *Ditylenchus dipsaci*, *G. rostochiensis*, *Helicotylenchus* spp., *Heterodera carotae*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne xenoplax*, *Pratylenchus penetrans*, *Pratylenchus thornei*, *Pratylenchus vulnus*, *Radopholus similis*, *Rotylenchulus reniformis*, *Tylenchulus semipenetrans*, *Xiphinema* spp.

Mnoge vrste jednogodišnjih i višegodišnjih vrsta korova uspješno se suzbijaju solarizacijom. Međutim, postoje i vrste koje su umjereno otporne na visoke temperature. Ozimi jednogodišnji korovi posebno su osjetljivi na solarizaciju, a metoda je vrlo učinkovita u jesenskim nasadima luka, češnjaka, salate, brokule i ostalih vrsta iz porodice Brassicaceae. Jare jednogodišnje korovne vrste, iako manje osjetljive na visoke temperature, također se dosta dobro suzbija ovom metodom. Solarizacija teže suzbija višegodišnje korove s dublje položenim korijenjem i rizomima iz kojih biljke ponovno niknu. Sjeme vrsta *Cynodon dactylon*, *Sorghum halepense* i *Convolvulus arvensis* uspješno se suzbijaju solarizacijom, kao i pliće položeni rizomi, dok solarizacija kao jedina mjera nije uspješna u suzbijanju rizoma vrste *Convolvulus arvensis* (Elmore i sur., 1997).

Biosolarizacija

Biosolarizacija se istražuje, ali i primjenjuje na području Europe posljednjih deset godina (de Cara Garcia i Vincent, 2020). Podrazumijeva kombinaciju metode solarizacije i primjene pilećeg i ovčjeg svježeg gnoja i/ili zaoravanja biljnih ostataka prethodno uzgajanih kultura (paprika, rajčica, cvijeće, gorušica i druge vrste iz porodice Brassicaceae). Zadovoljavajući rezultati tako su postignuti u suzbijanju patogenih gljiva, nematoda i korova u nasadima jagoda, cvijeća, paprike i rajčice. U nasadu jagoda s uspjehom su suzbijene patogene gljive (*Fusarium oxysporum* i *Macrophomina phaseolina*) kombinacijom solarizacije i primjene svježeg pilećeg gnoja (López-Aranda i sur., 2012). Potpuno suzbijanje vrste *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* postignuto je kada je kombinacija svježega pilećeg gnoja i svježih ostataka cvijeća inkomporirana u tlo, uz duboko navodnjavanje i solarizaciju PE folijom (García-Ruiz i sur., 2012 cit. de Cara Garcia i Vincent, 2020). Uspješno suzbijanje fuzarijskog venuća karanfila i vrste *M. incognita*, postignuto je primjenom samo 5 kg m⁻² svježeg pilećeg gnoja (Melero-Vara i sur., 2012 cit. de Cara Garcia i Vincent, 2020). Ros i sur. (2008) navode uspješno suzbijanje vrste *M. incognita* na paprici, podjednako onome postignutom metil bromidom, primjenom kombinacije pilećeg i

ovčjeg gnoja. U nasadima rajčice i krastavca, nematode roda *Meloidogyne*, vrste *Phytophthora parasitica*, *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* i *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* uspješno su suzbijene unošenjem u tlo svježeg organske tvari (uglavnom mješavine biljnih ostataka i svježeg gnoja) te potom dubokim navodnjavanjem i prekrivanjem tla transparentnim PE pokrovom (García-Raya i sur., 2019 cit. de Cara Garcia i Vincent, 2020). Gómez-Tenorio i sur. (2018) na području jugoistočne Španjolske postigli su učinkovito suzbijanje *Meloidogyne* sp. na rajčici zaoravanjem 2 kg m⁻² biljnih ostataka rajčice i 4 kg m⁻² svježeg ovčjeg gnoja, biosolarizacijom u trajanju od tri mjeseca (lipanj-kolovoz). Kaskavalci (2007) u istraživanjima u Turskoj utvrdio je statistički značajno bolji učinak biofumigacije kombinacijom solarizacije i pilećeg gnoja (10 t ha⁻¹) i organskom otpadu od prerade maslina (30 t ha⁻¹) na ekspresiju simptoma kvržičavosti korijena rajčice, u usporedbi sa samom solarizacijom, a pogotovo samostalnom primjenom a.t. dazomet (Basamid[®] 485 kg ha⁻¹). Temperature solariziranoga tla na dubini od 15 cm bile su u prosjeku 10 °C više u odnosu na kontrolu. Primjena solarizacije ili njena kombinacija s primjenom pilećeg gnoja ili organskim ostacima prerade maslina učinkovito suzbijaju *M. incognita* te osiguravaju povećanje prinosa rajčice jednako kao i primjena a.t. dazomet. Primjer je ovo ekološke, ali prema Kaskavalci (2007) i ekonomske alternative kemijskom suzbijanju.

Zaključak

Primjena solarizacije širom svijeta bilježi gotovo 100 godišnju tradiciju. U svjetlu današnjeg trenda reduciranja i zabrane primjene brojnih kemijskih sredstava za zaštitu bilja, kao visoko učinkovita nekemijska mjera suzbijanja biljnih patogena, nematoda i korova, solarizacija ponovno pobuđuje interes proizvođača. Na nama bliskim europskim prostorima, ova mjera inženjivnije je primjenjivana na području južne Europe, koje obiluje dugim sunčanim periodima. S globalnim zatopljenjem te porastom temperature i izrazito vrućim i sunčanim ljetima, solarizacija postaje primjenjivija i na prostoru središnje Europe. U Republici Hrvatskoj visoka učinkovitost solarizacije u suzbijanju biljnoparazitskih nematoda dokazana je i znanstvenim istraživanjima. Učinkovitost postupka solarizacije može se povećati primjenom metode biosolarizacije, dodavanjem lako razgradive organske tvari u tlo te obilnim zalijevanjem prije postavljanja folija na tretiranu površinu. Biosolarizacija se intenzivno i s uspjehom primjenjuje u praksi posljednjih desetak godina, a proizvođači kombiniraju zaoravanje biljnih ostataka usjeva sa svježim stajskim gnojem, ali i u tu svrhu s, na površinama uzgojenima, vrstama iz porodice Brassicaceae. U područjima u kojima ova metoda još nije dobila mjesto u primjeni, svakako je potrebno raditi na edukaciji proizvođača.

Literatura

- Candido, V., D'Addabbo, T., Basile, M., Castronuovo, D., Miccolis, V. (2008) Greenhouse soil solarization: effect of weeds, nematodes and yield of tomato and melon. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 221–230. DOI:10.1051/agro:2007053
- D'Addabbo, T., Sasanelli, N., Greco, N., Stea, V., Brandonisio, A. (2005) Effect of water, soil temperatures and exposure times on the survival of the sugar beet cyst nematode, *Heterodera schachtii*. *Phytopathology*, 4, 339–344. DOI:10.1094/PHYTO-95-0339
- D'Addabbo, T., Miccolis, V., Basile, M., Candido, V. (2009) Soil Solarization and Sustainable Agriculture. U: Lichtfouse, E., ur. *Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science, Sustainable Agriculture Reviews* 3, 217–274. DOI: 10.1007/978-90-481-3333-8_9.
- de Cara Garcia, M., Vincent, M. (2020) (Bio)solarisation: advantages and disadvantages. Best4soil factsheet. URL: <https://www.best4soil.eu/assets/factsheets/15.pdf> (5.2.2022.)
- DeVay, J.E., Katan, J. (1991) Mechanisms of pathogen control in solarized soils. U: Katan, J., DeVay, J.E., ur. *Soil solarization*. CRC, London, UK, 97–101.
- Elmore, C., Stapleton, J., Bell, C. (1997) Soil Solarization: A Non-pesticidal Method for Controlling Diseases, Nematodes, and Weeds. University of California. UC ANR Publ 21377, 3-7. URL: https://www.researchgate.net/publication/259099571_Soil_Solarization_A_Nonpesticidal_Method_for_Controlling_Diseases_Nematodes_and_Weeds (05.03.2020.)
- Freeman, S., Katan, J. (1988) Weakening effect on propagules of *Fusarium* by sublethal heating. *Phytopathology*, 78, 1656–1661. DOI: 10.1094/Phyto-78-1656
- Gómez-Tenorio, M.A., Lupión-Rodríguez, B., Boix-Ruiz, A., Ruiz-Olmos, C., Marín-Guirao, J.I., Tello-Marquina, J.C., Camacho-Ferre, F., de Cara-García, M. (2018) *Meloidogyne*-infested tomato crop residues are a suitable material for

biodisinfestation to manage *Meloidogyne* sp. in greenhouses in Almería (south-east Spain). *Acta Horticulturae*. 1207, 217–222. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1207.29

Greco, N., D'Addabbo, T., Sasanelli, N., Senhorst, J.W., Stea, V., Brandonisio, A. (1998). Effect of temperature and exposure times on the mortality of the carrot cyst nematode *Heterodera carotae*. *International Journal of Pest Management*, 44, 99–107.

Gruenzweig, J.M., Rabinowitch, H.D., Katan, J. (1993) Physiological and developmental aspects of increased plant growth in solarised soils. *Annals of Applied Biology*, 122, 579–591. DOI:10.1111/j.1744-7348.1993.tb04059.x

Heald, C.M., Robinson, A.F. (1987) Effects of soil solarization on *Rotylenchulus reniformis* in the lower Rio Grande Valley of Texas. *Journal of Nematology*, 19, 93–103.

Kaskavalci, G. (2007) Effects of Soil Solarization and Organic Amendment Treatments for Controlling *Meloidogyne incognita* in Tomato Cultivars in Western Anatolia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31, 159–167.

Katan, J., Grinstein, A., Greenberger, A., Yarden, O., DeVay, J.E. (1987) The first decade (1976–1986) of soil solarization (solar heating): a chronological bibliography. *Phytoparasitica*, 15, 229–255. DOI: 10.1007/BF02979585.

Lamberti, F., Greco, N. (1991) Effectiveness of soil solarization for control of plant parasitic nematodes. U: DeVay, J.E., Stapleton, J.J., Elmore, C.L., ur. Proceedings of the first international conference on soil solarization, Amman, Jordan, 19–25 February 1990. FAO Plant Protection and Production Paper No. 109, FAO, Rome, Italy, 167–172.

LaMondia, J.A., Brodie, B.B. (1984) Control of *Globodera rostochiensis* by solar heat. *Plant Disease*, 68, 474–476.

López-Aranda, J.M., Miranda, L., Domínguez, P., Soria, C., Pérez-Jiménez, R.M., Zea, T., Talavera, M., Velasco, L., Romero, F., De Los Santos, B., Medina-Minguez, J. (2012) Soil Biosolarization for Strawberry Cultivation. *Acta Horticulturae*, 926, 407–413. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.926.57.

Oštrec, Lj. (1993) Suzbijanje nematoda i korova metodom solarizacije. *Fragmenta phytomedica et herbologica*. 21, 1, 31–44.

Oštrec, Lj. (2002) Solarizacija tla u zaštiti povrća od nematoda korijenovih kvržica (*Meloidogyne* spp.). *Glasilo biljne zaštite*, 5, 277–281.

Oštrec, Lj., Grubišić, D. (2003) Effects of soil solarization on nematodes in Croatia. *Journal of Pest Science*, 76, 139–144. DOI:10.1007/s10340-003-0005-6.

Ros, M., García, C., Hernández, M.T., Lacasa, A., Fernández, P., Pascual, J.A. (2008) Effects of biosolarization as methyl bromide alternative for *Meloidogyne incognita* control on quality of soil under pepper. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 37–44. DOI: 10.1007/s00374-008-0307-1.

Stapleton, J.J., DeVay, J.E. (1986) Soil solarization: a non-chemical approach for management of plant pathogens and pests. *Crop Protection*, 5, 190–198. DOI: 10.1016/0261-2194(86)90101-8.

Stapleton, J.J., DeVay, J.E. (1995) Soil solarization: a natural mechanism of integrated pest management. U: Reuve-ni, R., ur. Novel approaches to integrated pest management. Lewis, Boca Raton, FL, USA, 309–322.

Prispjelo/Received: 28.2.2022.

Prihvaćeno/Accepted: 11.4.2022.

Review paper

The use of solarization in the control of soil pests

Abstract

The use of chemical plant protection products mainly ensures effective protection of vegetables, field crops, perennial crops and ornamental species from soil pests. These products are also a possible source of danger to non-target organisms and residual toxic effects through contaminated soil and plants, and represent a significant financial cost. In light of today's trends of reducing the use of plant protection products and banning certain products, research and application of non-chemical alternatives in pest control is of great importance. Solarization of soil is a non-chemical measure that effectively controls a large number of pathogens, nematodes and weeds in the soil, while initiating changes in physical and chemical properties of the soil and promoting plant growth. Solarization successfully controls many economically harmful species of nematodes of the genera *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Xiphinema*, species *Globodera rostochiensis*, *Heterodera carotae*, *Ditylenchus dipsaci*. The effectiveness of solarization has been proven in the control of pathogens such as *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Sclerotium* spp., *Verticillium* spp., causative agents of bacteriosis *Agrobacterium* spp., *Clavibacter michiganensis*, *Erwinia amylovora* so as of annual weeds, while the effectiveness in controlling of perennial species is somewhat lower. The effect of solarization can be enhanced by introducing rapidly degradable organic matter into the soil; plant residues of cultivated crops, manure, olive processing waste or for this purpose sown species of the family *Brassicaceae*, with watering before placing the foil on the treated surface. The biosolarization method is an effective modification of the solarization, intensively studied and applied in the last decade.

Keywords: non-chemical pest control measures, plant parasitic nematodes, plant pathogens, weeds, biosolarization