

## Gljive i bakterije u biološkoj kontroli uzročnika bolesti biljaka

### Sažetak

Zbog stalnog povećanja upotrebe kemijskih pesticida i njihovog štetnog djelovanja na ljudsko zdravlje i okoliš, sve veće zanimanje pobuđuju metode biološke kontrole uzročnika biljnih bolesti. Biološka kontrola je mjera koja podrazumijeva korištenje mikroorganizama koji smanjuju populaciju štetnika i patogena i na taj način štite biljku i kontroliraju razvoj bolesti. U Hrvatskoj je trenutno na tržištu prisutan samo jedan biofungicid, na bazi bakterije iz roda *Pseudomonas*, za suzbijanje uzročnika bijele noge (*Rhizoctonia solani*) na krumpiru, batatu, čičoki i kineskom jamu te uzročnika srebrolikosti gomolja (*Helminthosporium solani*) na krumpiru. Vrste *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis* i *Pseudomonas fluorescens* su najvažniji predstavnici bakterija uključenih u biokontrolu protiv uzročnika biljnih bolesti. Do danas je na svjetskom tržištu prisutno ili je u procesu registracije 28 sredstava na bazi različitih vrsta roda *Trichoderma*, koji većinom djeluju protiv fitopatogenih gljiva iz rodova *Pythium*, *Rhizoctonia* i *Fusarium*. Najzastupljenije vrste roda *Trichoderma* koje se koriste u biološkoj kontroli su *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride* i *Trichoderma koningii*. Upotreba antagonističkih gljiva i bakterija u biološkoj kontroli brojnih uzročnika bolesti predstavlja važnu alternativu kojom bi se mogli zamijeniti kemijski pesticidi ili u što većoj mjeri smanjiti njihova primjena. Cilj rada je prikazati antagonističke gljive i bakterije koje se koriste u biološkoj kontroli te opisati njihove složene mehanizme djelovanja.

**Ključne riječi:** biološka kontrola, biopesticidi, biostimulatori, antagonistički organizmi

### Uvod

Glavni izazovi s kojima će se u narednim desetljećima suočiti svjetska poljoprivreda su proizvodnja 70% više hrane za rastuću svjetsku populaciju, učinkovitije korištenje rijetkih prirodnih resursa i prilagodba klimatskim promjenama (FAO, 2009). Sve navedeno upućuje na potrebu racionalnijeg korištenja zemlje, vode i energije, uz što manju upotrebu kemijskih gnojiva i pesticida. Zaraza biljaka štetnicima i patogenima predstavlja jednu od glavnih prepreka koja onemogućuje postizanje visokih prinosa i optimalne kvalitete poljoprivrednih kultura. Danas je poznat veliki broj biljnih patogena (viroidi, virusi, bakterije, gljive, oomicete i nematode), a procjenjuje se da bolesti uzrokovane navedenim patogenima godišnje u svijetu uzrokuju gubitke od 40 milijardi dolara (Syed Ab Rahman i sur., 2018). Pravovremena i pravilna zaštita biljaka može očuvati prinos i kvalitetu usjeva te smanjiti velike gubitke uzrokovane bolestima. U zaštiti usjeva od bolesti, kemijska sredstva još uvijek predstavljaju važnu kariku. Zbog stalnog povećanja upotrebe kemijskih pesticida i pojave rezistentnosti na aktivne tvari, sve više raste svijest o njihovom štetnom djelovanju na čovjeka i okoliš (Damalas i Eleftherohorinos, 2011). Upravo zbog štetnog djelovanja kemijskih pesticida i njihovih rezidua, danas se sve veći interes pridaje biološkoj zaštiti u biljnoj proizvodnji.

<sup>1</sup> Magdalena Matić, mag. biol., Tamara Siber, mag. ing. agr., Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek, Hrvatska  
Autor za korespondenciju: tsiber@fazos.hr

Iako se danas sve više govori o biološkoj kontroli i dalje ne postoji suglasnost što sve može biti uključeno u biokontrolu. Prema du Jardin i sur. (2015) biološka kontrola podrazumijeva korištenje mikroorganizama koji smanjuju populaciju štetnika i patogena te tako štite biljku i kontroliraju razvoj bolesti. Uz antagonističke mikroorganizme i produkte njihovog metabolizma (toksine, kristale, spore i antibiotike), biološka kontrola može uključivati i primjenu biljnih ekstrakata i eteričnih ulja (Sharma, 2014). Također se u kontekstu biološke kontrole koriste i termini biopesticid i biostimulator. Pojam biopesticid se odnosi na organizme (bakterije, viruse, gljive, protozoe i nematode) te produkte njihovog metabolizma koji se koriste za suzbijanje populacija biljnih štetnika i patogena (Glare i sur., 2012). Biostimulator je tvar ili mikroorganizam koji kada se primjenjuje ima za cilj poboljšati dostupnost hranjivih tvari, povećati toleranciju biljaka na abiotički stres, što kao rezultat ima bolji rast biljaka te povećanu kvalitetu prinosa (du Jardin, 2015). Primjećuje se kako obje definicije podrazumijevaju upotrebu korisnih antagonističkih mikroorganizama. Glavna razlika između biopesticida i biostimulatora je u tome što biopesticid izravno djeluje na smanjenje populacije biljnih štetnika i patogena, a biostimulator će na neizravan način povećati otpornost i toleranciju biljaka na brojne uzročnike bolesti.

### Primjena biološke kontrole u Republici Hrvatskoj i Europi

Budući da antagonističke gljive i bakterije mogu imati dvojako djelovanje koje je vrlo teško odijeliti, registracija sredstava na bazi antagonističkih mikroorganizama i dalje nije jasno regulirana. Kako bi se izbjegli strogi kriteriji (testovi toksičnosti i učinkovitosti) i visoki troškovi registracije biopesticida, često se sredstva koja sadrže antagonističke mikroorganizme registriraju i prodaju kao promotori rasta, ojačivači bilja i poboljšivači tla (Paulitz i Bélanger, 2001). U Hrvatskoj je 2009. godine bio registriran samo jedan biofungicid na bazi gljive *Trichoderma harzianum* (Trichodex WP), dok su još tri na bazi gljive *Aerobasidium pullulans* (Blossom protect, Boni protect i Botector) bila u procesu registracije (Lučić, 2009). Navedeni biofungicidi više nisu registrirani i nedostupni su za komercijalnu upotrebu. Trenutno je na tržištu prisutan samo biofungicid (Proradix), na bazi bakterije roda *Pseudomonas* (soj DSMZ 13134). Registriran je 2017. godine za suzbijanje uzročnika bijele noge (*Rhizoctonia solani*) na krumpiru, batatu, čičoki i kineskom jamu te za suzbijanje uzročnika srebrolikosti gomolja (*Helminthosporium solani*) na krumpiru. Trenutno je u Hrvatskoj pristan veći broj bioloških sredstava koja se klasificiraju kao ojačivači bilja. Tako su na tržištu dostupna biološka sredstva koja sadrže gljivu *T. harzianum* (Trichostar®, Trianum P i Trianum G) i mješavinu dvije gljive *Trichoderma koningii* i *T. harzianum* (Promot®Plus). Ističe se kako ove vrste proizvode brojne enzime i hormone, koji pospješuju rast i razvoj korijenovog sustava te povećavaju tolerantnost biljaka na razvoj bolesti. Iako se ova sredstva primarno prodaju kao ojačivači bilja, ne izostavlja se činjenica kako antagonističke gljive koje čine njihovu aktivnu tvar izravno djeluju na suzbijanje brojnih fitopatogenih gljiva iz rodova *Botrytis*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Pythium*, *Phytophthora* i *Phomopsis*. Neka od sredstava na bazi antagonističkih mikroorganizama koja su komercijalno dostupna na EU tržištu prikazana su u Tablici 1.

**Tablica 1.** Sredstva na bazi antagonističkih mikroorganizama na EU tržištu  
**Table 1.** Antagonistic microorganisms-based biocontrol products on the EU market

Naziv sredstva/ Product name	Vrsta antagonističkog mikroorganizma/ Type of antagonistic microorganism	Djelovanje protiv/ Effective against
AQ 10	<i>Ampelomyces quisqualis</i> (izolat M-10)	<i>Erysiphe</i>
Blossom Protect	<i>Aureobasidium pullulans</i> (izolati DSM14941 i DSM14940)	<i>Erwinia amylovora</i> <i>Penicillium expansum</i> <i>Monilia fructigena</i> <i>Botrytis cinerea</i>
Botector	<i>Aureobasidium pullulans</i> (izolati DSM14941 i DSM14940)	<i>Botrytis cinerea</i>
Contans WG	<i>Coniothyrium minitans</i> (izolat CON/M/91-08)	<i>Sclerotinia</i>
Nexy	<i>Candida oleophila</i> (izolat O.)	<i>Botrytis cinerea</i> <i>Penicillium expansum</i>
PRESTOP	<i>Gliocladium catenulatum</i> (izolat J1446)	<i>Fusarium</i> <i>Phytophthora</i> <i>Pythium</i> <i>Rhizoctonia</i>
Proradix	<i>Pseudomonas sp.</i> (izolat DSMZ 13134)	<i>Rhizoctonia solani</i>
Serenade ASO	<i>Bacillus subtilis</i> (izolat QST 713)	<i>Botrytis cinerea</i> <i>Erysiphe heraclei</i> <i>Alternaria dauci</i> <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	<i>Trichoderma asperellum</i> (izolat T34)	<i>Pythium aphanidermatum</i>
Trichomil	<i>Trichoderma harzianum</i> (izolat T-22)	<i>Botrytis cinerea</i>

### Mehanizmi djelovanja antagonističkih gljiva u biološkoj kontroli

Antagonističke gljive mogu izravno ili produktima svojeg metabolizma djelovati na smanjenje populacije biljnih štetnika i patogena i tako štiti biljke od razvoja bolesti. Procjenjuje se da 90% svih antagonističkih gljiva koje se koriste u biološkoj kontroli protiv uzročnika biljnih bolesti pripadaju rodu *Trichoderma* (Benitez i sur., 2004), a kao najzastupljenije vrste ističu se *T. harzianum*, *Trichoderma viride* i *T. koningii*. Danas je na svjetskom tržištu prisutno ili je u procesu registracije 28 sredstava na bazi različitih sojeva ovih vrsta, koji većinom djeluju protiv fitopatogenih gljiva iz rodova *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* i *Sclerotinia* (Sharma, 2014). Błaszczyk i sur. (2014) opisuju mehanizme djelovanja različitih vrsta roda *Trichoderma* protiv fitopatogenih gljiva, a mehanizmi uključuju interakcije hiperparazitizma, antibioze i kompeticije za prostor i hranjive tvari. Naime, različite vrste roda *Trichoderma* proizvode brojne litičke enzime (hitinaze, celulaze, pektinaze i proteaze) kojima razgrađuju komponente stanične stijenke fitopatogenih gljiva i tako sudjeluju u njihovom suzbijanju. Također, litički enzimi omogućavaju lakši prodor različitih sekundarnih metabolita koji pokazuju antifungalno djelovanje. Kompeticija je moguća zahvaljujući sposobnosti nekih sojeva da proizvode siderofore, spojeve s visokim afinitetom za željezo, čime ono postaje nedostupno za brojne fitopatogene gljive. Osim izravnog djelovanja na uzročnike biljnih bolesti, vrste iz roda *Trichoderma* mogu stimulirati rast biljaka tako što u rizosferu izlučuju auksine, male peptide, hlapljive spojeve i druge aktivne metabolite koji potiču grananje korijena i unos hranjivih tvari te tako pozitivno djeluju na rast i prinos (López-Bucio i sur., 2015).

Uz gljive iz roda *Trichoderma*, neke od vrsta koje se također koriste u biološkoj kontroli su: *Fusarium oxysporium*, *Aspergillus sp.* i *Pythium oligandrum* (Fravel i sur., 2003; Benhamou i sur., 2012; Hu i sur., 2016).

Vrste iz roda *Fusarium* najpoznatije su kao fitopatogene gljive, no u njihovo biološko suzbijanje mogu biti uključeni nepatogeni sojevi vrste *F. oxysporum* (Fravel i sur., 2003). Nepatogeni sojevi se u tlu natječu za hranjive tvari i prostor te tako inhibiraju klijanje spora patogenih vrsta. Sličan način djelovanja ima *Aspergillus* sp., za kojeg je utvrđeno antifungalno djelovanje protiv fitopatogene gljive *Sclerotinia sclerotiorum* inhibiranjem klijanja sklerocija (Hu i sur., 2016). Osim toga, *Aspergillus* sp. izlučuje litičke enzime ( $\beta$ -glukanaza i hitinaza) koji sudjeluju u razgradnji komponenti stanične stijenke fitopatogene gljive. Nadalje, vrste iz roda *Pythium* važni su predstavnici oomiceta koji naseljavaju korijen biljaka, a najveći broj predstavnika pripada fitopatogenim vrstama. Ipak, vrsta *Pythium oligandrum* ističe se kao važan nepatogeni predstavnik koji se koristi u biološkoj kontroli protiv uzročnika biljnih bolesti. *P. oligandrum* izravno parazitira druge fitopatogene gljive, stimulira rast biljaka izlučivanjem auksina te izaziva induciranu rezistentnost u biljkama (Benhamou i sur., 2012).

### Mehanizmi djelovanja antagonističkih bakterija u biološkoj kontroli

Rodovi bakterija *Pseudomonas*, *Bacillus* i *Streptomyces* pripadaju najzastupljenijim rodovima pronađenim u rizosferi mnogih biljnih vrsta (Sharma, 2014), stoga ne čudi kako se u biološkoj kontroli koriste upravo vrste ovih rodova. Mehanizmi djelovanja antagonističkih bakterija protiv uzročnika bolesti uključuju interakcije antibioze, kompeticije, parazitizma i inducirane rezistentnosti (Pal i Gardener, 2006).

Vrste *B. thuringiensis* i *B. subtilis* najvažniji su predstavnici gram pozitivnih bakterija, proizvode različite spojeve uz pomoću kojih djeluju na uzročnike biljnih bolesti. *B. thuringiensis* tijekom sporulacije proizvodi kristalni protein ( $\delta$ -endotoksin), najpoznatiji zbog svog jakog insekticidnog djelovanja (Mnif i Ghribi, 2015). Osim insekticidnog,  $\delta$ -endotoksin pokazuje i antifungalno djelovanje protiv fitopatogenih gljiva iz rodova *Phytophthora* i *Fusarium* (Kamenek i sur., 2012). Antifungalno djelovanje posjeduju i lipopeptidi, a dokazano je djelovanje lipopeptida bakterije *B. subtilis* protiv uzročnika bolesti iz rodova *Fusarium*, *Aspergillus* i *Bipolaris* (Velho i sur., 2011). Također, različite vrste i sojevi roda *Bacillus* proizvode litičke enzime koji pokazuju antifungalno djelovanje jer razgrađuju stanične stijenke fitopatogenih gljiva. Egzohitinaza bakterije *B. thuringiensis* djeluje protiv fitopatogenih gljiva kao što su *Sclerotium rolfsii*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Nigrospora* sp., *Rhizopus* sp. i *Fusarium* sp. (Reyes-Ramirez i sur., 2004). Vrsta *B. subtilis* svojim enzimima (hitinaze, proteaze,  $\beta$ -1-3-glukanaze, celulaze) razgrađuje stanične stijenke fitopatogenih gljiva iz rodova *Rhizoctonia*, *Aspergillus*, *Colletotrichum* i *Fusarium* (Mnif i Ghribi, 2015). Osim toga, iz brojnih sojeva *B. thuringiensis* izolirani su različiti bakteriocini koji su uključeni u zaštitu biljaka od fitopatogenih bakterija (Mnif i Ghribi, 2015).

Kao najvažniji predstavnik gram negativnih bakterija uključenih u biokontrolu navodi se bakterija *Pseudomonas fluorescens*. Tijekom kolonizacije korijena, sojevi vrste *P. fluorescens* proizvode različite spojeve (npr. fenazine, cikličke lipopeptide i vodikove cijanide) koji pokazuju antimikrobno djelovanje te izazivaju induciranu sistemičnu otpornost u biljkama (Haas i Défago, 2005). Utvrđeno je da neke vrste roda *Bacillus* i *Pseudomonas* proizvode i siderofore, spojeve s visokim afinitetom za željezo, čime željezo postaje nedostupno za brojne fitopatogene organizme (Haas i Défago, 2005; Yu i sur., 2011). Djelotvornost siderofora ovisna je o pH vrijednosti tla i izraženija je u alkalnim tlima, gdje je željezo slabije topljivo i tako manje dostupno (Haas i Défago, 2005). Osim što izravno mogu djelovati na smanjenje populacije štetnika i patogena, antagonističke bakterije mogu pozitivno djelovati na rast biljaka te na povećanje dostupnosti hranjivih tvari. Dokazano je kako različite vrste i sojevi iz roda *Bacillus* proizvode regulatore rasta (indol-3-octena kiselina i galna kiselina) kojima utječu na rast biljaka, a mehanizmi koji im omogućuju povećavanje hranjivih tvari uključuju fiksaciju dušika i otapanje teško topivog i nedostupnog fosfora (Haas i Défago, 2005).

## Prednosti i nedostaci upotrebe antagonističkih gljiva i bakterija u biološkoj kontroli

Brojne su prednosti upotrebe antagonističkih gljiva i bakterija u biološkoj kontroli protiv uzročnika bolesti. Antagonistički mikroorganizmi koji se koriste u biološkoj kontroli nemaju toksično djelovanje na ljude, ne-ciljane organizme i okoliš, proizvode malo ili nimalo toksičnih ostataka i brzo se razgrađuju čime se smanjuje štetno djelovanje na okoliš (Sharma, 2014). Razlog tome je što su takvi mikroorganizmi visoko selektivni i utječu samo na ciljane organizme, za razliku od kemijskih pesticida koji mogu utjecati na različite organizme kao što su ptice, kukci i sisavci. Pozitivno djeluju na rast biljaka i na povećanje dostupnosti hranjivih tvari te na taj način sudjeluju u povećanju prinosa (Berg, 2009.) i povećanju tolerancije biljaka na brojne uzročnike bolesti. Prednost biološke kontrole je i smanjenje rezistentnosti na aktivne tvari koja se javlja kao odgovor pojedinih štetnika i patogena na više puta ponovljenu upotrebu kemijskih pesticida s istim mehanizmom djelovanja (Copping i Menn, 2000).

Iako je visoka specifičnost jedna od glavnih prednosti biološke kontrole, upravo ona može predstavljati i nedostatak. Populacija patogena na nekom području može biti raznolika, stoga pojedinačne vrste antagonističkih mikroorganizama neće jednako djelovati na sve patogene koji su prisutni na nekom zaraženom području (Schisler i sur., 2000). Ukoliko su na nekom području prisutne i druge vrste uzročnika bolesti na koje primijenjeni antagonistički mikroorganizmi ne mogu djelovati, te vrste će preživjeti i nastaviti uzrokovati oštećenja i bolesti. Ovaj nedostatak može se prevladati upotrebom sredstava na bazi više antagonističkih mikroorganizama koji će na taj način imati širi spektar djelovanja. Visoka specifičnost antagonističkih mikroorganizama nedostatak je i s ekonomskog stajališta, budući da je potencijalno tržište proizvoda za biokontrolu na taj način ograničeno (Chandler i sur., 2011). Budući da se radi o živim organizmima, još jedan od nedostataka je i kratak rok trajanja takvih sredstava. Klimatski čimbenici, kao što su visoka temperatura, nedostatak vlage i ultraljubičasto zračenje također mogu negativno djelovati na učinkovitost brojnih antagonističkih mikroorganizama (Mnif i Ghribi, 2015). Ovi nedostaci mogu se prevladati upotrebom mikroorganizama koji imaju sposobnost proizvodnje spora, koje su puno trajnije i otpornije na brojne nepovoljne uvjete okoliša.

## Zaključak

Upotreba antagonističkih gljiva i bakterija u biološkoj kontroli brojnih uzročnika bolesti, predstavlja važnu alternativu kojom bi se mogli zamijeniti kemijski pesticidi ili u što većoj mjeri smanjiti njihova primjena. Primjena biološke kontrole ima brojne prednosti, od kojih se svakako ističu njezina ekološka prihvatljivost i visoka specifičnost. Iako su dostupna brojna istraživanja o djelovanju antagonističkih mikroorganizama u suzbijanju biljnih štetnika i patogena, ponekad je teško uspoređivati podatke o njihovoj učinkovitosti u praksi, jer se u različitim istraživanjima koriste različiti sojevi pojedinih vrsta. U različitim državama, slična sredstva mogu imati različita komercijalna imena s različitim dozama primjene, što također otežava uspoređivanje dobivenih rezultata o učinkovitosti pojedinih sredstava. Kako bi se prevladali mogući nedostaci i omogućila što učinkovitija biološka zaštita bilja od uzročnika bolesti, potrebna su daljnja istraživanja kompleksnih interakcija antagonističkih mikroorganizama s fitopatogenim organizmima, biljkama i tlom.

## Literatura

- Benhamou, N., le Floch, G., Vallance, J., Gerbore, J., Grizard, D., Rey, P. (2012) *Pythium oligandrum*: an example of opportunistic success. *Microbiology*, 158(11), 2679-2694. DOI: 10.1099/mic.0.061457-0
- Benitez, T., Rincon, A.M., Limon, M.C., Codon A.C. (2004) Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, 7(4), 249-260.
- Berg, G. (2009) Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 84, 11-18. DOI: 10.1007/s00253-009-2092-7
- Błaszczyk, L., Siwulski, M., Sobieralski, K., Lisiecka, J., Jędryczka, M. (2014) *Trichoderma* spp. - application and prospects for use in organic farming and industry. *Journal of plant protection research*, 54(4), 309-317. DOI: 10.2478/jppr-2014-0047
- Chandler, D., Bailey, A.S., Tatchell, G.M., Davidson, G., Greaves, J., Grant, W.P. (2011) The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366, 1987-1998. DOI: 10.1098/rstb.2010.0390

- Copping, L.G., Menn, J.J. (2000) Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. *Pest Management Science*, 56, 651-676. DOI: 10.1002/1526-4998(200008)56:8<651::AID-PS201>3.0.CO;2-U
- Damalas, C.A., Eleftherohorinos, I.G. (2011) Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1402-1419. DOI: 10.3390/ijerph8051402
- Du Jardin, P. (2015) Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.021
- Fravel, D., Olivain, C., Alabouvette, C. (2003) *Fusarium oxysporum* and its biocontrol. *New phytologist*, 157(3), 493-502. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2003.00700.x
- Food and Agriculture Organization of the United Nations.  
URL: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wfsfs/Summit/Docs/Declaration/WFSFS09\\_Draft\\_Declaration.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wfsfs/Summit/Docs/Declaration/WFSFS09_Draft_Declaration.pdf) (8.4.2019).
- Glare, T.R., Caradus, J., Gelernter, W.D., Jackson, T., Keyhani, N., Köhl, J., Marrone, P., Morin, L., Stewart, A. (2012) Have biopesticides come of age? *Trends in Biotechnology*, 30, 250-258. DOI: 10.1016/j.tibtech.2012.01.003
- Haas, D., D'efago, G. (2005) Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nature reviews microbiology*, 3(4), 307. DOI: 10.1038/nrmicro1129
- Hu, X., Roberts, D.P., Xie, L., Yu, C., Li, Y., Qin, L., Liao, X. (2016) Biological control of Sclerotinia disease by *Aspergillus* sp. on oilseed rape in the field. *Biocontrol science and technology*, 26(11), 1526-1537. DOI: 10.1080/09583157.2016.1218440
- Kamenek, L.K., Kamenek, D.V., Terpilowski, M.A., Gouli, V.V. (2012) Antifungal action of *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin against pathogenic fungi related to *Phytophthora* and *Fusarium*. *Journal of Agricultural Technology*, 8(1), 191-203.
- López-Bucio, J., Pelagio-Flores, R., Herrera-Estrella, A. (2015) *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Scientia horticulturae*, 196, 109-123. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.08.043
- Lučić, K. (2009) Sadržaj sredstava za zaštitu bilja. *Glasnik zaštite bilja*, 1-2, 191-192.
- Mnif, I., Ghribi, D. (2015) Potential of bacterial derived biopesticides in pest management. *Crop Protection*, 77, 52-64. DOI: 10.1016/j.cropro.2015.07.017
- Pal, K.K., McSpadden Gardener, B. (2006) Biological Control of Plant Pathogens. *The Plant Health Instructor*. DOI: 10.1094/PHI-A-2006-1117-02
- Paulitz, T.C. and Bélanger, R.R. (2001) Biological control in greenhouse systems. *Annual review of phytopathology*, 39(1), 103-133. DOI: 10.1146/annurev.phyto.39.1.103
- Reyes-Ramirez, A., Escudero-Abarca, B.I., Aguilar-Uscanga, G., Hayward-Jones, P.M., Eleazar Barboza-Corona, J. (2004) Antifungal activity of *Bacillus thuringiensis* chitinase and its potential for the biocontrol of phytopathogenic fungi in soybean seeds. *Journal of Food Science*, 69, 131-134. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.tb10721.x
- Schisler D.A., Slininger P.J., Hanson L.E. and Loria R. (2000) Potato cultivar, pathogen isolate and antagonist cultivation medium influence the efficacy and ranking of bacterial antagonists of *Fusarium* dry rot. *Biocontrol Science and Technology*, 10, 267-279. DOI: 10.1080/09583150050044547
- Sharma, N. (Ur.). (2014) *Biological Controls for Preventing Food Deterioration: Strategies for Pre- and Postharvest Management*. University of Lucknow, India: Wiley-Blackwell.
- Syed Ab Rahman, S.F., Singh, E., Pieterse, C.M.J., Schenk, P.M. (2018) Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens. *Plant Science*, 267, 102-111. DOI: 10.1016/j.plantsci.2017.11.012
- Vélho, R.V., Medina, L.F., Segalin, J., Brandelli, A. (2011) Production of lipopeptides among *Bacillus* strains showing growth inhibition of phytopathogenic fungi. *Folia microbiologica*, 56(4), 297-303. DOI: 10.1007/s12223-011-0056-7
- Yu, X., Ai, C., Xin, L., Zhou, G. (2011) The siderophore-producing bacterium, *Bacillus subtilis* CAS15, has a biocontrol effect on *Fusarium* wilt and promotes the growth of pepper. *European Journal of Soil Biology*, 47(2), 138-145. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2010.11.001

Prispjelo/Received: 12.4.2019.

Prihvaćeno/Accepted: 13.5.2019.

Scientific review

## Fungi and bacteria in biological control against pathogens

### Abstract

Because of the constant increase in the use of chemical pesticides and their harmful effects on human health and the environment, the growing interest in the use of alternative methods for biological control of plant pathogens is increasing. Biological control is a measure that involves microorganisms that reduce the population of pests and pathogens, thus protect the plant and control the development of the disease. In Croatia, there is only one biofungicide on the market based on the genus *Pseudomonas*, and it was registered in 2017 for the suppression of white foot rot (*Rhizoctonia solani*) on potato, sweet potato, Jerusalem artichoke and Chinese yam and tuber rupture (*Helminthosporium solani*). Species *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* are the most important representatives of the bacteria involved in the biocontrol against plant diseases. To date, there are present or are in the process of registering 28 strains based on different strains of *Trichoderma* species, most of which are active against phytopathogenic fungus from genus *Pythium*, *Rhizoctonia* and *Fusarium*. The most common species of the genus *Trichoderma* used in biological control are *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride* and *Trichoderma koningii*. The use of antagonistic fungi and bacteria in the biological control of many pathogens are an important alternative in substituting chemical pesticides and reducing their application to a greater extent. The aim of this paper is to show latter antagonistic fungi and bacteria used in biological control and describe their complex mechanisms of action.

**Keywords:** biological control, biopesticides, biostimulators, antagonistic organisms