

Katarina MARTINKO

Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zavod za fitopatologiju, Odsjek za fitomedicinu

kmartinko@agr.hr

IZAZOVI I PERSPEKTIVE BIOLOŠKIH SREDSTVA ZA ZAŠTITU BILJA NA HRVATSKOM TRŽIŠTU

SAŽETAK

Zbog sve veće zabrinutosti za negativne učinke kemijskih sredstava za zaštitu bilja (SZB) na okoliš, bioraznolikost i ljudsko zdravlje, u posljednjem se desetljeću sve više ističe potreba za održivim pristupima u zaštiti bilja. Među najvažnijim rješenjima nalaze se biološki SZB-ovi, koji uključuju mikroorganizme, biljne derivate, prirodne bioaktivne tvari te korisne organizme poput predatora i parazitoida. Prema podacima Fitosanitarno-informacijskog sustava (FIS), na hrvatskom je tržištu trenutačno registrirano ukupno 20 pripravaka na bazi bioloških čimbenika, što dodatno potvrđuje rastući interes za održivim pristupima u zaštiti bilja. Njihova primjena smanjuje oslanjanje na konvencionalna kemijska sredstva te omogućuje ciljano suzbijanje štetnih organizama uz minimalne negativne učinke na okoliš. U Hrvatskoj je dostupnost bioloških pripravaka u porastu, osobito onih namijenjenih primjeni u zaštićenim prostorima te u integriranim i ekološkim sustavima proizvodnje. Ipak, njihova primjena u praksi još je uvijek relativno ograničena zbog varijabilne učinkovitosti, logističkih i regulatornih izazova te nedovoljne educiranosti proizvođača. Najčešće su u uporabi pripravci na bazi antagonističkih mikroorganizama poput *Bacillus* spp. i *Trichoderma* spp., kao i botanički pripravci na bazi azadiraktina. Unatoč izazovima, biološka sredstva imaju značajan potencijal u smanjenju uporabe kemijskih sredstava, očuvanju zdravlja ljudi i okoliša te povećanju otpornosti poljoprivrednih sustava. Njihov daljnji razvoj i šira primjena zahtijevaju nastavak istraživanja, prilagodbu formulacija lokalnim uvjetima te jačanje edukacije proizvođača i savjetodavnih službi.

Ključne riječi: biološka sredstva za zaštitu bilja, mikrobiološki pripravci, biljni ekstrakti, održiva poljoprivreda, integrirana zaštita bilja

UVOD

Sredstva za zaštitu bilja (SZB) uključuju skupinu prirodnih ili kemijskih spojeva koji se koriste za suzbijanje različitih štetočina, a obuhvaćaju insekticide, herbicide i fungicide (Zhan i sur., 2020.). Njihova široka primjena u međunarodnoj poljoprivredi omogućila je povećanje proizvodnje hrane, smanjenje gubitaka zbog štetnika i produljenje skladišnog vijeka proizvoda.

.....

Međutim, posljedice učestale i nekontrolirane primjene kemijskih SZB-ova uključuju gubitak biološke raznolikosti, akumulaciju njihovih ostataka u okolišu te štetne učinke na ljude i životinje (Sharma i sur., 2019.; Alengebawy i sur., 2021.). Razvoj SZB-ova doživio je nagli pomak pojavom dikloro-difenil-trikloretana (DDT) 1939. godine, čija je primjena omogućila značajan rast poljoprivredne produktivnosti. Zbog utvrđene toksičnosti, njegova je uporaba u SAD-u postupno zamijenjena organofosfatima i karbamatima (Barnhoorn i sur., 2009.). Globalna je potrošnja SZB-ova 2019. procijenjena na 4,19 milijuna tona, pri čemu su kao najveći potrošači sloveli Kina, SAD, Brazil i Argentina (Fernández, 2021.), dok herbicidi čine gotovo polovinu ukupne potrošnje (Gill i Garg, 2014.; Zhang, 2018.). Unatoč pozitivnom doprinosu u povećanju prinosa hrane (Bureau, 1993.) široka primjena SZB-a dovela je do niza ekoloških i zdravstvenih izazova, što je potaknulo potražnju za alternativama koje mogu zamijeniti ili smanjiti uporabu kemijskih sredstava.

Svjetska zdravstvena organizacija (WHO, World Health Organization) klasificira spojeve SZB-ova prema toksičnosti i učincima na okoliš i čovjeka, ističući važnost njihove pravilne i racionalne uporabe (WHO, 2015.), a razumijevanje njihovih karakteristika i toksikoloških profila omogućuje primjenu na najmanju potrebnu razinu (United States Environmental Protection Agency, 2004.). Zabrinutost zbog negativnih posljedica kemijskih SZB-ova potaknula je intenzivan razvoj bioremedijacije, koji uključuje korištenje mikroorganizama (bakterija, gljiva, mikroalgi) za razgradnju kontaminanata iz okoliša (Kafilzadeh i sur., 2015.; Pathak, 2022.). Mikrobna razgradnja SZB-a temelji se na djelovanju kataboličkih enzima, a takvi biološki procesi smatraju se ključnima u upravljanju kontaminiranim tlima i vodnim ekosustavima (Gyawali, 2018.; Abubakar i sur., 2020.).

Zbog sve veće zabrinutosti za negativne učinke kemijskih SZB-ova na okoliš, bioraznolikost i ljudsko zdravlje, u poljoprivrednoj se proizvodnji sve više ističe potreba za održivim strategijama zaštite, uključujući primjenu bioloških sredstava za zaštitu bilja (Pathak, 2022.). Biološka sredstva obuhvaćaju mikroorganizme, biljne derivate, prirodne bioaktivne spojeve te korisne organizme poput predatora i parazitoida, koji djeluju tako da reduciraju populacije štetnih organizama i patogena te smanjuju oslanjanje na konvencionalne kemijske SZB-ove (Thilagam i sur., 2023.; Villavicencio-Vásquez i sur., 2025.).

U skladu s time, biološki pripravci i strategije integrirane zaštite bilja stavljeni su u fokus suvremene proizvodnje. Ekonomika bioloških pripravaka važan je čimbenik njihove šire prihvaćenosti. Iako biološka sredstva donose dugoročne koristi, uključujući smanjenje ostataka SZB-ova, poboljšanje bioraznolikosti i veću održivost poljoprivrede, njihova primjena često zahtijeva veća početna ulaganja u razvoj, formulaciju i edukaciju proizvođača (Lee i sur., 2024.). Osim toga, učinci biološkog suzbijanja često se manifestiraju sporije nego u kemijskih

rješenja, što otežava izravnu ekonomsku usporedbu. Kako navode Lee i sur. (2024.), postoje ograničenja u dostupnosti ekonomskih pokazatelja, poput analiza troškova i koristi ili povrata ulaganja, što otežava donošenje investicijskih odluka proizvođača. Također, uspješnost bioloških pripravaka u značajnoj mjeri ovisi o okolišnim uvjetima, pravodobnoj primjeni i kvaliteti formulacije, što dodatno ističe potrebu za širokim pristupom koji uključuje stručnu edukaciju i savjetovanje.

Iako su regulatorni zahtjevi za registraciju SZB-ova u Europskoj uniji usporedivi s kemijskim i biološkim pripravcima, primjena mikrobioloških sredstava u praksi i dalje ne odražava njihov pun potencijal (Villavicencio-Vásquez i sur., 2025.). U Hrvatskoj je stanje zaštite bilja dobro dokumentirano, no već je prije istaknuta potreba za iscrpnijim razmatranjem tržišne strukture i praktične primjene bioloških pripravaka (Cvjetković i sur., 2015.), što ostaje aktualno zbog njihova postupnoga, ali stabilnoga, povećanja udjela u integriranoj i ekološkoj proizvodnji.

Status i dostupnost bioloških sredstava na hrvatskom tržištu

U Hrvatskoj su regulatorni mehanizmi usklađeni s propisima Europske unije, što znači da biološki SZB-ovi prolaze vrlo sličan postupak odobravanja kao i konvencionalna kemijska sredstva (Republika Hrvatska, 2014.). Taj proces uključuje zahtjevne toksikološke, ekotoksikološke i ekonomske procjene, koje mogu rezultirati dugotrajnim postupcima registracije i ograničenom dostupnošću na tržištu (Damalas, 2018.). Posljedično, iako je interes za biološke pripravke rastući, njihova je zastupljenost u Hrvatskoj još uvijek manja od zastupljenosti kemijskih sredstava, osobito u konvencionalnoj proizvodnji. Najveći potencijal primjene zabilježen je u zaštićenim prostorima, gdje su okolišni uvjeti stabilniji i pogodniji za primjenu mikrobioloških čimbenika (Ivezić i sur., 2025.).

Prema podacima Fitosanitarno-informacijskog sustava (FIS), na hrvatskom je tržištu trenutačno registrirano ukupno 20 pripravaka na bazi bioloških čimbenika, što odražava rastući interes za održivim pristupima u zaštiti bilja. Struktura dostupnih pripravaka ukazuje na raznolikost bioloških čimbenika: tri pripravka temelje se na azadiraktinu, a dva se pripravka baziraju na narančinu ulju. Od pripravaka na bazi antagonističkih mikroorganizama, jedan je pripravak registriran na bazi bakterija roda *Pseudomonas*, dok je pripravak koji sadrže vrste roda *Bacillus* ukupno 10, što ih čini najzastupljenijom mikrobnom skupinom. Nadalje, tri pripravka temelje se na antagonističkim gljivama roda *Trichoderma*, a samo je jedan pripravak registriran na osnovi pseudogljive iz roda *Pythium* i gljive *Beauveria* (FIS, 2025.). Ovakva raspodjela ukazuje na prepoznat značaj mikroorganizama, osobito bakterija roda *Bacillus* i gljiva roda

.....

Trichoderma, u biološkom suzbijanju štetnih organizama te na sve snažniji interes za primjenom prirodnih bioaktivnih tvari biljnog podrijetla.

Vrste roda *Trichoderma* na globalnom se tržištu izdvajaju kao najzastupljeniji mikrobiološki pripravci koji se koriste u prevenciji patogenih bolesti korijena i stabljike biljaka, zahvaljujući njihovoj sposobnosti kompeticije, mikoparazitizma i indukcije obrambenih odgovora biljaka (Mukherjee i sur., 2013.; Bai i sur., 2023.). Dostupnost takvih pripravaka na hrvatskom tržištu potvrđuje njihovu prepoznatost kao učinkovitu alternativu kemijskim fungicidima. Gljiva *Beauveria bassiana* sve se češće primjenjuje u zaštićenim prostorima, osobito u proizvodnji povrća, gdje se koristi u suzbijanju populacije tripsa i štastih moljaca (FIS, 2025.). Komercijalni proizvodi na hrvatskom tržištu (poput pripravka Velifer) (FIS, 2025.) uspješno koloniziraju kutikulu kukaca, uzrokuju infekciju i posljedičnu smrt, pa su važan alat u integriranim programima zaštite bilja (Ortiz-Urquiza i Keyhani, 2016). Slično tome, pripravci na bazi bakterija *Bacillus subtilis* i *Bacillus amyloliquefaciens* najčešće se primjenjuju u voćarskoj proizvodnji tijekom dozrijevanja plodova, gdje mogu reducirati infektivni potencijal patogena i potaknuti obrambene mehanizme biljaka zahvaljujući sintezi antimikrobnih tvari i siderofora (Shafi i sur., 2017.). Botanički insekticidi (osobito oni temeljeni na azadiraktinu) pronašli su svoju primjenu u povrćarstvu, voćarstvu, vinogradarstvu te u uzgoju ljekovitog i ukrasnog bilja. Djeluju ponajprije kao regulatori rasta kukaca, ometajući njihovo hranjenje i presvlačenje, uz istodobnu nisku toksičnost za okoliš i neciljane organizme. Zbog te se karakteristike preporučuju u ekološkom uzgoju te integriranim sustavima zaštite bilja (Acheuk i sur., 2022.; FIS, 2025.). U Hrvatskoj postoje brojni radovi i savjetodavne preporuke o biološkim pripravcima, no dio istraživanja još je pretežito proveden u kontroliranim (*in vitro*/plasteničkim) uvjetima, uz jasnu preporuku da se rezultati potvrde terenskim pokusima prije šire primjene, a to implicira sporiji prijelaz u komercijalnu praksu (Petrović i sur., 2023.). Istodobno, pregled stanja u zemljama zapadnog Balkana i Hrvatske naglašava da u proizvodnji i dalje dominira uporaba kemijskih sredstava te da je prihvaćenost bioloških pripravaka ograničena regulatornim, formulacijskim i organizacijskim preprekama, unatoč njihovoj dostupnosti i demonstriranoj učinkovitosti u zaštićenim prostorima (Ivezić i sur., 2023.; Ivezić i sur., 2025.). Ključni razlozi za ograničenu upotrebu uključuju neujednačene rezultate u polju, nedovoljnu edukaciju proizvođača, ograničenu dostupnost formulacija prilagođenih lokalnim agroekološkim uvjetima i nedostatak ekonomskih poticaja. Uz to, mikrobiološki pripravci mogu pokazivati smanjenu učinkovitost u uvjetima nepovoljnih okolišnih čimbenika, poput temperaturnih ekstrema, pH vrijednosti tla ili kompeticije s autohtonom mikroflorom, što dodatno ograničava njihovu široku primjenu (Palmieri i sur., 2022.; Villavicencio-Vásquez i sur., 2025.). Regionalne analize za područje zapadnog Balkana (uključujući Hrvatsku) pokazale su da primjena bioloških čimbenika ostaje relativno niska u usporedbi

s kemijskim sredstvima. Ipak, integracija mikrobioloških čimbenika, osobito iz rodova *Trichoderma*, *Beauveria*, *Bacillus* i *Pseudomonas*, prepoznata je kao važan smjer razvoja integrirane zaštite bilja jer omogućuje smanjenje upotrebe kemijskih sredstava, povećanje otpornosti biljaka te poticanje održivosti proizvodnih sustava (Ivezić i sur., 2025.). Međutim, dugoročna primjena zahtijeva poboljšanje formulacijskih tehnologija, razvoj lokalno prilagođenih sojeva te jačanje savjetodavne podrške poljoprivrednicima. S obzirom na trenutačne izazove i potencijalne koristi, biološki pripravci smatraju se perspektivnim alatom u održivoj hrvatskoj poljoprivredi, osobito u sustavima ekološkog uzgoja i integrirane zaštite bilja. Unatoč dostupnosti registriranih pripravaka, trenutačno ne postoje javno dostupni kvantitativni podaci o razini njihove stvarne potrošnje u Hrvatskoj. Takvi bi podaci bili važan temelj za procjenu stupnja prihvaćenosti bioloških sredstava te bi omogućili preciznije planiranje potpora i razvoj strategija za njihovu širu implementaciju.

Izazovi primjene

Unatoč znatnom potencijalu i sve većoj dostupnosti bioloških SZB-ova, njihova se primjena u praksi suočava s brojnim izazovima. Najčešće se navodi da je učinkovitost bioloških pripravaka u terenskim uvjetima varijabilna i nerijetko niža nego u kontroliranim laboratorijskim ili uvjetima plastenika, gdje su okolišni parametri stabilni i prilagođeni optimalnoj aktivnosti mikroorganizama (Villavicencio-Vásquez i sur., 2025.). U polju njihova učinkovitost ovisi o čimbenicima kao što su temperatura, vlažnost zraka i tla, pH, tekstura tla te prisutnost autohtone mikrobiote, koja može ograničiti kolonizacijski potencijal uvedenih sojeva. Osim toga, interakcije s drugim vrstama mikroorganizama i fizičko-kemijskim značajkama okoliša mogu dodatno umanjiti njihovu aktivnost. Važan je problem i stabilnost mikrobnih pripravaka tijekom transporta i skladištenja. Živi organizmi zahtijevaju posebne uvjete kako bi sačuvali vitalnost do trenutka primjene, što povećava logističke zahtjeve i troškove distribucije (Palmieri i sur., 2022.). Primjerice, temperaturna osjetljivost određenih mikrobioloških sojeva otežava njihovu dugotrajnu pohranu, a neadekvatni uvjeti mogu znatno smanjiti učinkovitost pripravaka na terenu. Razvoj naprednih formulacija ključan je korak u prevladavanju tih ograničenja, ali proces je skup i tehnički zahtjevan. Regulatorni zahtjevi također su značajna prepreka bržoj komercijalizaciji bioloških sredstava. Unatoč jasno definiranim europskim pravilnicima, postupci registracije često su dugotrajni i kompleksni, što može obeshrabriti proizvođače i ograničiti pravodobnu dostupnost novih pripravaka na tržištu (Damalas, 2018.). Usporedno s brzim razvojem kemijskih sredstava, koja prolaze kroz tehnički predvidljivije i dobro uhodane postupke evaluacije, biološki pripravci zahtijevaju specifičnu procjenu djelotvornosti i sigurnosti, uključujući mikrobiološke interakcije u okolišu i potencijalne rizike za neciljane

organizme. Nedovoljna razina educiranosti proizvođača i savjetodavnih službi o pravilnoj primjeni bioloških sredstava dodatno ograničava njihovu širu uporabu. U praksi se često javljaju poteškoće u odabiru optimalnog pripravka, pravodobnoj primjeni te u usklađivanju bioloških sredstava s ostalim elementima integrirane zaštite bilja (Ivezić i sur., 2025.). Primjena mikrobioloških čimbenika zahtijeva poznavanje njihovih bioloških svojstava, optimalnih okolišnih uvjeta i interakcija s patogenima, što u konvencionalnoj poljoprivrednoj praksi često nije dovoljno zastupljeno (Palmieri i sur., 2022.; Villavicencio-Vásquez i sur., 2025.). Ekonomski čimbenici također mogu značajno utjecati na odluku proizvođača jer biološki pripravci u pojedinim slučajevima zahtijevaju veća početna ulaganja, dok je povrat ulaganja sporiji u usporedbi s konvencionalnim kemijskim sredstvima (Lee i sur., 2024.). Uz to, u određenim situacijama potrebno je ponoviti primjenu bioloških pripravaka, što dodatno povećava troškove i radnu zahtjevnost, osobito u uvjetima proizvodnje s ograničenim resursima (Palmieri i sur., 2022.; Lee i sur., 2024.). To može značiti ograničenje, osobito za manje proizvođače kojima bi ekonomska isplativost trebala biti jasno vidljiva da bi se potaknulo prihvaćanje bioloških alternativa (Villavicencio-Vásquez i sur., 2025.). Primjena bioloških pripravaka zahtijeva i specifično planiranje u sklopu integriranih programa zaštite bilja (Villavicencio-Vásquez i sur., 2025.). Budući da ovise o okolišnim uvjetima i često djeluju sporije od kemijskih sredstava, njihova učinkovitost može biti kompromitirana ako se ne provode preventivno ili u strogo definiranu razdoblju (Palmieri i sur., 2022.). Time se ističe potreba za boljom integracijom bioloških čimbenika u postojeće sustave upravljanja patogenima i štetnicima, ali i za daljnjim istraživanjima koja bi omogućila bolju predikciju njihovih učinaka u varijabilnim prirodnim uvjetima (Villavicencio-Vásquez i sur., 2025.). Iako su ovi izazovi značajni, iskustva brojnih zemalja pokazuju da se odgovarajućom edukacijom, razvojem naprednih formulacija, usmjeravanjem istraživanja na lokalno prilagođene sojeve i poboljšanjem regulatornih procedura može znatno povećati uspjeh primjene bioloških sredstava u praksi (Damalas, 2018.; Ivezić i sur., 2025.). Takav pristup omogućio bi bržu i učinkovitiju integraciju mikrobioloških i botaničkih pripravaka u proizvodne sustave, čime bi se smanjila ovisnost o kemijskim sredstvima i povećala otpornost agroekosustava (Villavicencio-Vásquez i sur., 2025.).

ZAKLJUČAK

Biološka sredstva za zaštitu bilja čine važan element održive poljoprivrede te pridonose smanjenju ovisnosti o kemijskim. Njihova primjena podupire očuvanje agroekosustava, smanjuje negativne učinke na zdravlje ljudi i okoliš te može pridonijeti dugoročnoj poljoprivrednoj produktivnosti. Iako su napredak istraživanja i razvoj bioloških pripravaka intenzivni, njihova se primjena u Hrvatskoj još uvijek odvija postupno. Hrvatska raspolaže temeljnim

pretpostavkama za širu primjenu bioloških sredstava, uključujući regulatorni okvir usklađen s europskim propisima, aktivan znanstveni sektor i sve veći interes proizvođača za održivim praksama. Međutim, učinkovitost bioloških sredstava u poljskim uvjetima može varirati zbog interakcije okolišnih čimbenika i autohtone mikrobiote, što naglašava potrebu za boljim odabirom sojeva, prilagodbom formulacija i lokaliziranim pristupom primjeni. Proces registracije novih bioloških pripravaka dugotrajan je i skup, što može ograničiti dostupnost proizvoda, dok nedostatak edukacije proizvođača i savjetodavnih službi otežava njihovu pravilnu primjenu u praksi. Osim toga, početna ulaganja i neizvjestan ekonomski povrat posebno su izazovni za manje proizvođače. Za poticanje šire primjene bioloških pripravaka potrebno je usmjeriti istraživanja na lokalno prilagođene sojeve te ojačati povezanost istraživačkih institucija, savjetodavnih službi i proizvođača. Ubrzavanje registracijskih postupaka te razvoj logističkih i edukacijskih kapaciteta dodatno bi osnažili tržišni potencijal bioloških pripravaka. Usvajanje integriranog pristupa, koji bi uključivao edukaciju, demonstracijske aktivnosti i sustavno praćenje učinaka u praksi, pridonijelo bi većem povjerenju i prihvaćanju među korisnicima. U konačnici, biološki SZB-ovi imaju značajan potencijal u unapređenju održivosti hrvatske poljoprivrede. Njihova šira i učinkovitija primjena mogla bi smanjiti upotrebu kemijskih SZB-ova, povećati otpornost proizvodnih sustava i pridonijeti ostvarenju europskih ciljeva očuvanja okoliša i bioraznolikosti.

CHALLENGES AND PERSPECTIVES OF BIOPESTICIDES ON THE CROATIAN MARKET

SUMMARY

Growing concern over the negative effects of chemical plant protection products (PPPs) on the environment, biodiversity, and human health has increasingly highlighted the need for sustainable crop protection approaches in the past decade. Among the most important alternatives are biological PPPs, which encompass microorganisms, plant-derived substances, natural bioactive compounds, and beneficial organisms such as predators and parasitoids. According to data from the Phytosanitary Information System (FIS), a total of 20 plant protection products based on biological agents are currently registered on the Croatian market, which further confirms the growing interest in sustainable plant protection approaches. Their application reduces reliance on conventional chemical products and enables targeted suppression of harmful organisms with minimal negative effects on the environment. In Croatia, the availability of biological products is increasing, particularly those intended for use in protected cultivation as well as in integrated and organic production systems. However, their practical application is still relatively limited due to variable efficacy,

logistical and regulatory challenges, and insufficient grower education. The most commonly used formulations are based on antagonistic microorganisms such as *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp., as well as botanical preparations containing azadirachtin. Despite existing challenges, biopesticides hold considerable potential for reducing chemical inputs, protecting human and environmental health, and increasing the resilience of agricultural production systems. Further development and wider adoption will require continued research, improved formulation adapted to local conditions, and strengthened education and advisory services for producers.

Keywords: biopesticides, microbial products, plant extracts, sustainable agriculture, integrated pest management.

LITERATURA

Abubakar Y., Abdul-Rahman R. i Omar N. (2020). Chapter 3 – Pesticides, History, and Classification. U: Y. Abubakar (ur.), Pesticides: History, Classification and Mode of Action. dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128193044000038>

Acheuk F., Basiouni S., Shehata A.A., Dick K., Hajri H., Lasram S., Yilmaz M., Emekci M., Tsiamis G., Spona-Friedl M., May-Simera H., Eisenreich W. (2022). Status and prospects of botanical biopesticides in Europe and Mediterranean countries. *Biomolecules*, 12(2), 311. dostupno na: <https://doi.org/10.3390/biom12020311> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

Alengebawy A., Abdelkhalek S., Qureshi S., Wang M.-Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(42), 1–27. dostupno na: <https://doi.org/10.3390/toxics9020042> (pristupljeno: 30. 10. 2025.)

Bai Y., Li Y., Chang Q., Zhang D., Wang Z. (2023). *Trichoderma* spp. as biological control agents: mechanisms and agricultural applications. *Plants*, 12(9), 2217. dostupno na: <https://doi.org/10.3390/plants12092217> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

Barnhoorn I.E.J., van Dyk, J.C., Pieterse, G.M., Bornman, M.S. (2009). Organochlorine pesticide levels in *Clarias gariepinus* from the Crocodile River, South Africa. *Chemosphere*, 75, 432–441.

Bureau J.C. (1993). Economic aspects of pesticide use. *European Review of Agricultural Economics*, 20(2), 231–255.

Cvjetković B., Bažok R., Barić K., Ostojić Z. (2015). Review of plant protection products in Republic of Croatia. *Glasilo biljne zaštite*, 15(1), 9–192.

Damalas C.A. (2018.). Regulation of plant protection products in the EU – implications and limitations. *Current Opinion in Environmental Science i Health*, 4, 1–6. dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.001> (pristupljeno: 30. 10. 2025.)

Fernández C. (2021). Global pesticide use statistics. dostupno na: <https://www.statista.com> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

FIS (2025). Fitosanitarni informacijski sustav Republike Hrvatske – registrirana sredstva za zaštitu bilja. Zagreb: Ministarstvo poljoprivrede.

Gill H.K., Garg, H. (2014). Pesticides: environmental impacts and management strategies. u: *Pesticides – Toxic Aspects*, 187–230.

Gyawali K. (2018.). Biopesticides and their applications in agriculture. *Journal of Agriculture and Environment*, 19, 33–42.

Ivezić A., Skendžić S., Lemić D. (2023.). Predatory mirid *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) as a biological agent in greenhouse tomato production in South East Europe. *Glasilo biljne zaštite*, 23(3).

Ivezić M., Popović T., Trudić B., Krndija J., Barošević T., Sarajlić A., Stojčić I., Kuzmanović B. (2025.). Biological control agents in greenhouse tomato production (*Solanum lycopersicum* L.): possibilities, challenges and policy insights for Western Balkan Region. *Horticulturae*, 11, 155. dostupno na: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11010155> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

Kafilzadeh F., Ebrahimnezhad M., Tahery Y. (2015.). Biodegradation of pesticides by soil microorganisms. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13, 48.

Mukherjee P.K., Horwitz B.A., Herrera-Estrella A., Schmoll M., Kenerley C.M. (2013.). *Trichoderma* research in the genome era. *Annual Review of Phytopathology*, 51, 105–129. dostupno na: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102353> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

Palmieri M.C., Silva-Torres C., Ferreira I.C.F.R., Santos M.-T., Lima-Filho J.E. (2022.). Advances and perspectives in the use of biocontrol agents for fungal plant diseases. *Plants*, 8(7), 577.

Pathak V.M. (2022.). Current status of pesticide effects on environment, human health and related research: a review. *Food Chemistry: X*, 14, 100330. dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100330> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

Shafi J., Jabeen A., Khan M.S. (2017.). *Bacillus* species as potential plant growth-promoting rhizobacteria and biocontrol agents against plant pathogens. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10, 183–194. dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.02.003> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

Sharma A., Kumar V., Shahzad B. (2019.) Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Appl. Sci.* 1, 1446 <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1> (pristupljeno: 01.11. 2025.)

Thilagam R., Selvaraj A., Kumar V., Kesavan, T. (2023.). Advances in microbial-based strategies for plant disease suppression. *Agronomy*, 13, 3105.

Villavicencio-Vásquez M., Espinoza-Lozano F., Espinoza-Lozano L., Coronel-León J. (2025.). Biological control agents: mechanisms of action, selection, formulation and challenges in agriculture. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1578915. dostupno na: <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1578915> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

Lee K., McDermott S., Fernandez, L. (2024.). Using economics to inform and evaluate biological control programs: opportunities, challenges, and recommendations for future research. *BioControl*, 69, 237–252. dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s10526-024-10244-7> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

Zhan, H., Huang, Y., Lin, Z., Bhatt, P., Chen, S. (2020.). New insights into the microbial degradation and catalytic mechanism of synthetic pyrethroids. *Environmental Research*, 182, 109138. dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109138> (pristupljeno: 2. 11. 2025.)

Zhang, W. (2018.). Global pesticide consumption and trends. *Pest Management Science*, 74, 212–222.

Petrović, E., Baličević, R., Ćosić, J., Vrandečić, K., Godena, S. (2023.). Biološka kontrola najznačajnijih uzročnika bolesti masline. Glasilo biljne zaštite, 23(3), 370–382.

Republika Hrvatska (2014.). Zakon o održivoj uporabi pesticida. Narodne novine, 14/2014. dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_04_46_573.html (pristupljeno: 30 listopada 2025.)

Ortiz-Urquiza, A. i Keyhani, N. O. (2016.). Molecular genetics of *Beauveria bassiana* infection of insects. *Advances in Genetics*, 94, 517-553. dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27131326/> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

WHO - World Health Organization (2019.). The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification. Geneva: World Health Organization. dostupno na: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332193> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

EPA - United States Environmental Protection Agency (2021.). What is a pesticide?. Washington DC: U.S. EPA. dostupno na: <https://www.epa.gov/minimum-risk-pesticides/what-pesticide> (pristupljeno: 29. 10. 2025.)

Pregledni rad