

Entomopatogene gljive roda *Fusarium*: potencijal u biološkoj kontroli kukaca

Entomopathogenic Fungi of *Fusarium*: Potential for the Biological Control of Insects

Grgić, S., Ćosić, J., Sarajlić, A.

Poljoprivreda / Agriculture

ISSN: 1848-8080 (Online)

ISSN: 1330-7142 (Print)

<https://doi.org/10.18047/poljo.28.2.7>



Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Poljoprivredni institut Osijek

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Agricultural Institute Osijek

ENTOMOPATOGENE GLJIVE RODA *Fusarium*: POTENCIJAL U BIOLOŠKOJ KONTROLI KUKACA

Grgić, S., Čosić, J., Sarajlić, A.

Pregledni znanstveni članak
Scientific review

SAŽETAK

Uzrokujući direktne ili indirektne štete i prenoseći biljne bolesti, kukci stvaraju višestruke gubitke u poljoprivrednoj proizvodnji, što se očituje smanjenom kvaliteto i prinosem usjeva. Uz primjenu kemijskih insekticida, koji su najčešći u konvencionalnoj poljoprivredi, nastoje se pronaći odgovarajući alternativni načini suzbijanja štetnika koji su okolišno prihvatljivi. Jedan je od takvih načina biološka kontrola kukaca entomopatogenim gljivama, za koje je utvrđena iznimno visoka učinkovitost u suzbijanju mnogih vrsta kukaca. Cilj rada bio je navesti mogućnosti suzbijanja kukaca entomopatogenim gljivama roda *Fusarium* te prikazati njihov potencijal primjene, od tretiranja sjemena, tretiranja kukaca do tretiranja skladišta. Brojne vrste roda *Fusarium* pokazale su visoku učinkovitost suzbijanja kukaca u svim fazama njihovog razvoja te su pogodne za daljnja istraživanja.

Ključne riječi: entomopatogene gljive, *Fusarium*, kukci, biološka kontrola

UVOD

Velika potražnja za hranom i prehrambenim proizvodima zahtijeva maksimalnu produktivnost poljoprivredne proizvodnje, dok je takav intenzitet gotovo nemoguć bez stalne primjene sredstava za zaštitu bilja. Iako su u svojem djelovanju brza i efikasna, kemijska sredstva imaju štetan utjecaj kako na okoliš, tako i na čovjeka (Huffaker, 2012.). Pojavom negativnih utjecaja primjene sredstava za zaštitu bilja, poput rezidua pesticida u hrani i vodi, pojačano je zanimanje za alternativne oblike poljoprivredne proizvodnje. Primjetan je trend porasta broja proizvođača, a također i poljoprivrednih površina u ekološkoj poljoprivredi (Gugić i sur., 2017.). U prilog tome govore i smjernice Europske unije (EU), koja je donijela dva strateška dokumenta – Europski zeleni plan i Strategiju bioraznolikosti, koji za konačan cilj imaju povećati udio ekološke proizvodnje u EU na 25 % do 2030. godine. Također, u istome razdoblju predviđeno je smanjenje uporabe pesticida i mineralnih gnojiva za 50 % (Wrzaszcz i Prandecki, 2020.). Time je jasno određen smjer razvoja kojeg će se pridržavati sve članice EU-a. Prateći trendove, ali i nastojanja zaštite čovjekova okoliša i prirode u globalu, intenzivirala se primjena alternativnih oblika biljne zaštite. Integrirana zaštita bilja predviđa korištenje svih mogućnosti zaštite bilja prije

upotrebe pesticida. U prvome je redu to provedba propisanoga plodoreda i odabir otpornih/tolerantnih sorata i hibrida, kao i provedba ostalih agrotehničkih mjera, uz primjenu mehaničkih, fizikalnih i bioloških mjera zaštite (Bažok i sur., 2014.). Cilj integrirane zaštite bilja jest svesti upotrebu kemijskih sredstava za zaštitu bilja na minimum. Zbog svih navedenih činjenica biološka zaštita od štetnih kukaca dobiva sve više na značenju. Prirodni neprijatelji smanjuju populaciju štetnih kukaca primarno kroz parazitizam ili predatorstvo.

Drugi korisni organizmi su kompetitivni štetnim kukcima ili izlučuju određene supstance koje inhibiraju aktivnost kukaca (antibioza) (Flint i Dreistadt, 1998.). Entomopatogene gljive (EPG) su važni prirodni regulatori populacije kukaca. Primjena EPG-a konstantno raste zbog veće svijesti o okolišu i zabrinutosti, EPG-i su patogeni za gotovo sve redove kukaca, a najčešći su sljedeći: rilčari (Hemiptera), dvokrilci (Diptera), kornjaši (Coleoptera), leptiri (Lepidoptera), pravokrilci (Orthoptera) i opnokrilci (Hymenoptera) (Ramanujam i sur., 2014.). Neki EPG-i imaju ograničen krug domaćina, dok drugi, poput

Slavko Grgić, mag. ing. agr. (slavko.1309@gmail.com), Prof. dr. sc. Jasenka Čosić, Doc. dr. sc. Ankica Sarajlić – Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek, Hrvatska

Bauveria bassiana i *Metarhizium anisopliae*, inficiraju više od 700 vrsta. Istraživanja entomopatogenih gljiva iz roda *Fusarium* počela su oko 1950. godine. Vrste roda *Fusarium* su u prirodi sveprisutne, nalaze se u tlu i u raznim drugim supstratima. Međutim, korištenje vrsta roda *Fusarium* za kontrolu štetnih kukaca, kao i novih izvora insekticidnih spojeva, djelomično je ograničeno zbog otpuštanja toksina u okoliš. Unatoč tomu istraživanja su pokazala da neki izolati roda *Fusarium* uzrokuju visoku smrtnost kukaca te je također utvrđena preferencija prema domaćinu, kao i visoka sigurnost za biljke (Santos i sur., 2019.).

Cilj rada je prikazati način djelovanja entomopatogenih gljiva, s naglaskom na mogućnosti primjene roda *Fusarium* u biološkoj kontroli kukaca.

OKOLIŠNO PRIHVATLJIVA POLJOPRIVREDNA PROIZVODNJA

Uz konvencionalnu poljoprivredu, koja koristi sredstva za zaštitu bilja u velikim količinama, sve više se zagovara okolišno prihvatljiva poljoprivredna proizvodnja, to jest korištenje nepesticidnih mjera zaštite u proizvodnji bilja (Forić i sur., 2018.). Uz administrativnu provedbu ovakvih principa, izuzetno je važno omogućiti dovoljno vremena kako bi se poljoprivredni proizvođači uspješno prilagodili novim načinima poljoprivredne proizvodnje i novim tehnologijama. Iako okolišno prihvatljivija, primjena novih tehnologija često za poljoprivredne proizvođače posljedično predstavlja ekonomske probleme, kao i one socijalne prirode (Jones-Garcia i Krishna, 2021.). Okolišno prihvatljivom poljoprivredom nastoji se povezati tri glavna cilja: zdrav okoliš, ekonomski profit te postignuće društvene i ekonomske opravdanosti. Prema Vinkoviću i sur. (2019.), šest je ciljeva okolišno prihvatljive proizvodnje: 1. smanjiti onečišćenje tla, vode i zraka, odnosno očuvati okoliš i prirodna staništa; 2. očuvanje i obnavljanje plodnosti tla; 3. čuvanje i poticanje bioraznolikosti i prirodnih mehanizama koji reguliraju plodnost tla; 4. optimalno koristiti agrokemikalije vodeći računa o nutritivnim i toksikološkim svojstvima hrane; 5. sigurno rukovanje sredstvima za zaštitu bilja; i 6. ekonomičnost proizvodnje. Važno je istaknuti da se u provedbi održive poljoprivrede vodi načelima ekologije, to jest postupci u proizvodnji ni na koji način ne utječu na proizvodne resurse, a cilj je ostvariti dugoročnu korist. Zašita usjeva provodi se metodama koje isključuju upotrebu kemijskih pesticida, a one su sljedeće: agrotehničke, mehaničke, fizikalne, biološke i administrativne.

Biološki načini zaštite neizostavni su u ekološkoj poljoprivredi te se primjenjuju od antičkih vremena, a prvi zapis datira iz vremena oko desetoga stoljeća, pri čemu se opisuje primjena prirodnih neprijatelja, to jest korištenje mrava u zaštiti citrusa (McLaughlin i Dearden, 2019.). Primjenom bioloških pripravaka unaprjeđuje se životni ciklus biljke, poboljšava bioraznolikost te je ekološki otisak veoma nizak. Biološka kontrola definira se na mnoge načine, a zapravo predstavlja ekološki prihvatljive načine suzbijanja štetnih organizama u proizvodnji

bilja. Ipak, definicija, odnosno ujedno i način djelovanja, može se opisati kao primjena jednoga organizma radi smanjenja brojnosti drugoga štetnog organizma u proizvodnji bilja (Bale i sur., 2008.).

ŠTETE OD KUKACA

Kukci kao najraširenija, najraznovrsnija i izuzetno brojna skupina organizama na planetu i glavna su prijetnja poljoprivrednim proizvodima, uzrokujući direktne ili indirektno štete (prenošenje biljnih bolesti) (Douglas, 2018.). Gubitci u poljoprivrednoj proizvodnji uzrokovani štetnim organizmima procjenjuju se na 34 %, pri čemu su u Europi štete od kukaca procijenjene na 10,2 %, Sjevernoj Americi 10,2 % te Oceaniji 10,7 %. Najviši utvrđeni prosjek šteta od kukaca utvrđen je u Africi i iznosi 16,7 % (Sharma i sur., 2017.).

Kukci su dobri pokazatelji trenutačnih klimatskih promjena koje izazivaju ljudi. Oni reagiraju na zagrijavanje, od promjena u fenologiji i distribuciji do podvrgavanja evolucijskim promjenama, jer klima ima snažan izravan utjecaj na njihov razvoj, razmnožavanje i preživljavanje. Laštuvka (2009.) navodi mogućnost prilagodbe štetnih kukaca koji se inače javljaju u zatvorenim prostorima i mogućnost pojave na otvorenome. Također, u sljedećih pedeset godina predviđa brojne promjene u razvoju i ponašanju kukaca (nove invazivne vrste, promjene u broju generacija, druge preferencije prema ishrani), kao i prilagodbe nužne kako bi se očuvala kvaliteta i prinos poljoprivrednih proizvoda (novi načini zaštite, odabir i uzgoj kultura). Uz navedeno, Deutsch i sur. (2018.) predviđaju veće štete od kukaca nastale povećanjem prosječne temperature na globalnoj razini za 2 °C. Stoga navode predviđene gubitke prinosa za pšenicu, kukuruz i rižu u postotcima od 46 %, 31 % te 19 %. Uz navedeno se štete javljaju i u skladišnim prostorima, pri čemu u razvijenim zemljama one iznose i više od 20 % (Batta i Kavallieratos, 2017.).

ENTOMOPATOGENE GLJIVE

Jedan od načina prirodnoga suzbijanja štetnih kukaca jest i korištenje entomopatogenih gljiva, od kojih se mnoge komercijalno proizvode te se koriste kao oblik biološke zaštite folijarnom aplikacijom ili direktnim unošenjem u tlo (Jaber i Ownley, 2017.). Rai i sur. (2014.) navode da je patogeno djelovanje utvrđeno za gotovo 750 vrsta gljiva iz približno 90 rodova, među kojima ih je tek nekoliko najpoznatijih i najraširenijih prema uporabi, a uključuju EPG-e rodova *Beauveria*, *Metarhizium* – 80 % svih komercijalnih pripravaka (Butt i sur., 2016.), te *Isaria*, *Lecanicillium*, *Hirsutella* i *Entomophthorales*. Razlog najčešćem korištenju navedenih rodova leži u njihovoj visokoj učinkovitosti s obzirom na štetne organizme, jednostavnoj proizvodnji, primjeni i životnome vijeku (Gul i sur., 2014.). Generalno se dijele u dvije kategorije: 1. fakultativni saprofiti, to jest oni koji napadaju i razvijaju se na/u živim organizmima, ali mogu preživjeti i razvijati se i na mrtvome tkivu; 2. obligatni paraziti, oni

kojima je potreban živ domaćin za preživljavanje (Skinner i sur., 2014.). Ovi organizmi uzrokuju smrt kod kukaca (Litwin i sur., 2020.), a djeluju izravno kroz kutikulu kukca. Približno 80 % bolesti koje se javljaju kod kukaca uzrokovane su djelovanjem EPG-a (Kovač, 2021.). Prilikom zaraze spore prijanjaju na površini kutikule te pomoću apresorija, uz djelovanje hidrolitičkih enzima (Ortiz-Urquiza i Keyhani, 2013.), prodiru u kukca. Kada se nađu u tijelu kukca, gljive rastu i produciraju nove spore koristeći se hranjivim tvarima i uzrokujući deficijenciju nutrijenata (Solanki i sur., 2020.), šire se u tjelesnim i krvnim stanicama kukca te ih tako razaraju (Altinok i sur., 2019.; Showket i sur., 2017.; Mora i sur., 2017.; Sinha i sur., 2016.). Korištenje EPG-a kontinuirano raste, sigurnije su za korisne i ne ciljane organizme od konvencionalnih insekticida, ne postoji opasnost od zagađenja okoliša, smanjuje se mogućnost rezistentnosti, dolazi do povećanja bioraznolikosti te imaju visoku učinkovitost, uz mogućnost suzbijanja kukaca u svim razvojnim stadijima (Asi i sur., 2013.; Sultana i sur., 2017.; Araujo i Hughes, 2016.). Uz navedene prednosti uočeni su i određeni nedostaci primjene EPG-a. Singh i sur. (2017.) primjerice navode duže vrijeme potrebno za uništavanje kukaca, pri čemu je gljivama potrebno 2 - 3 tjedna, a kemijskim insekticidima 2 - 3 sata, te su potrebne dodatne mjere u suzbijanju zbog specijaliziranosti nekih vrsta i skupoće proizvodnje sredstava na osnovi EPG-a, koja je viša u odnosu na kemijska sredstva (odnos cijene i učinka, Jaronski, 2014.), uz potrebne posebne uvjete skladištenja gljiva te njihovo kraće vrijeme uporabe. Također, navodi se kompleksnija primjena, različito djelovanje na brojne vrste štetnika, ali i potencijalne opasnosti s kojima se mogu susresti osobe sa slabijim imunitetom pri samoj primjeni sredstava. Kako bi se pojačalo djelovanje EPG-a, Rumbos i Athanassiou (2017.) naveli su mogućnosti kombinacije više vrsta EPG-a u suzbijanju kukaca, primjenu s dijatomejskom zemljom i drugim insekticidima, kao i korištenje spora gljiva u lovnim klopama. Lu i St. Leger (2016.) utvrdili su kako socijalne vrste kukaca, poput mrava, osa ili pčela, imaju sposobnost izbjegavanja zaraženih biljaka u svojem hranjenju ili polijeganju jajašaca, kao i odstranjivanja ili čišćenja drugih pripadnika kolonije kako bi izbjegli širenje zaraze. Na evolucijskoj skali EPG-i svojim insekticidnim djelovanjem zapravo potiču obrambene mehanizme kod kukca te su tako važan čimbenik u njihovu razvoju (Chandler, 2017.).

ENTOMOPATOGENE GLJIVE RODA *Fusarium*

Rod *Fusarium* prvi je put opisao Link prije više od 200 godina (Nesic i sur., 2014.), a uključuje preko 1000 vrsta koje se mogu pronaći u gotovo svim klimatskim uvjetima. Predstavnici roda vrlo su česti u okolišu, nalaze se u zraku, vodi, tlu i u brojnim drugim supstratima (Sharma i Marques, 2018.), poput raspadnute organske tvari ili u asocijaciji sa životinjama, biljkama i drugim organizmima u patogenome ili nepatogenom obliku. Proizvode sekundarne metabolite (Toghueo, 2020.), uključujući mikotoksine, koji imaju štetan učinak na zdravlje ljudi i životinja. Pretpostavlja se da postoji puno

veći broj vrsta roda *Fusarium*, a ovisno o biljnoj vrsti zarazu mogu prouzročiti u različitim fazama njezina razvoja (Ilić i sur., 2012.; Chehri, 2017.).

Utvrđeno je da mnoge vrste roda *Fusarium* imaju entomopatogeno djelovanje, to jest posjeduju zadovoljavajuće karakteristike u kontroli šteta od kukaca u poljoprivrednoj proizvodnji. Zabilježena je visoka stopa smrtnosti, jaka sporulacija i brzo djelovanje (De H. C. Maciel i sur., 2021.). Batta i sur. (2012.) istražili su entomopatogeni utjecaj gljive *F. avenaceum* na odrasle kukce žitnoga žiška – *Sitophilus oryzae*, skladišnoga štetnika žitarica, koristeći se suspenzijom konidija koncentracije $4,0 \times 10^4$ konidija/ml, uz utrošak 2,0 ml po uzorku. Nakon provedena tri tretmana najviša smrtnost utvrđena je pri direktnome nanošenju otopine na kukce (94,86 %). Smrtnost od 68,88 % zabilježena je pri tretiranju pšenice u posudama, prije negoli su zaražene kukcima, dok je smrtnost od 52,22 % ustanovljena pri tretiranju unutarnje površine posuda prije unošenja sjemena i kukaca. U kontrolnome uzroku smrtnost žižaka bila je svega 5 %. Nadalje, inkubacijom uginulih kukaca pri uvjetima visoke vlage i temperaturi $20 \pm 1^\circ\text{C}$ nakon tri dana utvrđena je pojavnost bijeloga do blijedožutog micelija tipičnoga za gljivu *F. avenaceum*. Sharma i Marques, (2018.) radili su pokuse primjenjive u poljskim uvjetima, uz uvjet ispunjavanja Kochovih postulata, te utvrdili entomopatogenu aktivnost (sa smrtnim ishodom) *F. avenaceum* (0-26,7 %), *F. heterosporum* (18 %), *F. verticillioides* (30 %), *F. oxysporum* (0-93,3 %), *F. semitectum* (16 - 33 %), *F. solani* (0 - 86,7 %) i *F. redolens* (26,7 %) koristeći se ličinkama voskova moljca. Dodatno navode da u suzbijanju ličinka voskova moljca veliku ulogu ima i temperatura pri kojoj se suzbijanje odvija, pa je tako manje vremena bilo potrebno gljivi da ubije štetnoga kukca pri 30°C nego pri 37°C . Pelizza i sur. (2011.) proveli su istraživanje utjecaja *F. verticillioides* na skakavcima kao važnim štetnicima na usjevima sjevernoga dijela Argentine. Nakon hvatanja i uginuća skakavaca *Tropidacris collaris* u periodu od 10 dana s uginulih kukaca prikupljeni su izolati gljive *F. verticillioides*. Izolati su pokazali učinkovitost EPG-a na vrstu *Ronderosia bergi*, i to u postotku od $58 \pm 6,53\%$ - 10 dana nakon inokulacije. Al-Ani i sur. (2018.) također su potvrdili važnu ulogu roda *Fusarium* u suzbijanju kukaca. Provedenim istraživanjem suzbijene su odrasle jedinice maloga brašnara (*Tribolium confusum*) primjenom *F. proliferatum* u postotku od 14,01 do 74,01 % u koncentraciji konidija 10^6 /ml nakon 3, 7, 15 i 20 dana. Pri koncentraciji od 10^4 konidija/ml smrtnost je iznosila od 1,23 do 51,34 %. Santos i sur. (2019.) proveli su jedno od opsežnijih istraživanja roda *Fusarium* na području entomopatogenoga djelovanja na kukce. Prvenstveno je naglašena važnost procjene pozitivnih i negativnih čimbenika njihove primjene u biološkoj zaštiti, s ciljem veće učinkovitosti gljiva i minimalnim utjecajem na okoliš. Pregledom četrdeset znanstvenih radova u dvadeset jednome od njih utvrđena je smrtnost kukaca preko 80 %, dok je u trinaest radova utvrđena smrtnost iznosila preko 90 %, s također utvrđenom višom virulencijom i bržim djelovanjem gljive. Vrste roda *Fusarium* pokazale

su patogenost i moguću primjenu na kukce iz sljedećih redova: Blattodea, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Orthoptera i Thysanoptera, dok najviše patogenih vrsta roda *Fusarium* dolazi iz kompleksa ovih vrsta: *F. incarnatum-equiseti*, *F. fujikuroi*, *F. solani* i *F. oxysporum*. Bamisile i sur. (2018.) istraživali su djelovanje *F. oxysporum* na graškova lisnog minera (*Liriomyza huidobrensis*) inokulacijom sjemena graška, čime se gljiva raširila u sve dijelove biljke te je bila patogena za kukca u različitim fazama razvoja. *Fusarium* sp. djelovale su i na vrstu *Thrips tabaci* inokulacijom sjemena luka, pri čemu se inokulacija sjemena pokazala učinkovitijom od inokulacije sadnica. Zabilježeno je odlaganje manjega broja jajašaca i manja oštećenja na biljci.

Entomopatogenom potencijalu vrsta iz roda *Fusarium* pogoduje njihova izvrsna sposobnost preživljavanja u tlu kao saprofita, a ponekad sojevi patogeni za kukce ne pokazuju fitopatogenost. Istraživanja koja su se usredotočila na sigurnost korištenja vrsta iz roda *Fusarium* kao entomopatogena pokazala su različite rezultate. Neka prethodna istraživanja dokumentirala su njihovu sigurnost u smislu primjene gljiva na biljkama. Provedeno je istraživanje kako bi se testirala infektivnost *F. oxysporum* na biljkama riže, pamuka i rajčice. Četiri različita tretmana gljivama (tlo, korijen, sjeme i list) korištena su za ispitivanje mogućnosti infekcije. Međutim, rezultati su bili negativni u svim slučajevima, i utvrđeno je da je entomopatogeni soj siguran za biljke. Naprotiv, nekoliko je studija pokazalo patogenost vrsta iz roda *Fusarium* na biljkama. Sojevi *F. oxysporum*, *F. solani* i *F. roseum* izolirani iz vrsta *Sitona hispidula* Fabricius i *Sitona flavescens* Marsh (Coleoptera: Curculionidae) također su bili patogeni za ove ličinke. Međutim, izolirani *F. oxysporum* pokazao je patogenost i na djetelinu *Trifolium pretense* L (Sharma i Marques, 2018.).

U istraživanju Halloutija i sur. (2020.) ukupno 260 izolata gljiva koji pripadaju u 10 rodova s 22 vrste izolirano je s kukuljica sredozemne voćne muhe (*Ceratitis capitata*), od čega su najzastupljenija bila dva roda: *Fusarium* i *Beauveria* s 83 izolata (32 %), odnosno 50 izolata (19,23 %). Postotak infekcije kukuljica kretao se od 3,33 % do 48 %. Test patogenosti izoliranih vrsta pokazao je visoke stope smrtnosti do 91 % za neke sojeve. Analizom glavnih komponenata (PCA) utvrđen je snažan utjecaj podrijetla te fizikalnih i kemijskih svojstava tla na brojnost ovih gljiva. Općenito, gljive povezane s mediteranskom voćnom muhom bile su zastupljenije u tlima s umjerenim pH (7,5 do 8) te visokim sadržajem pijeska i organske tvari. Visoka relativna vlažnost tla negativno je utjecala na brojnost ovih gljiva. Oba čimbenika izravno su utjecala na postotak infekcije kukuljica. Pojava navedenih vrsta gljiva ovisila je i o biljnoj vrsti, te su tla pod drvom argana i šume bile pogodnije za razvoj gljiva u odnosu na nasade citrusa.

U istraživanju Changa i sur. (2021.) autori su pokušali na osnovi već objavljenih podataka učinkovitosti entomopatogenih gljiva na velikog brašnara (*Tenebrio molitor*) prikupiti podatke o vrstama entomopatogenih gljiva s najvišom učinkovitošću te primijeniti te vrste

na novoga štetnika, *Spodoptera litura*. Ukupno je prikupljeno 172 uzorka tla, a među tim izolatima 26 je pokazalo visoku virulentnost (smrtnost = 100 %) na ličinke *T. molitor*. Na temelju rezultata molekularne identifikacije, visoko virulentni izolati pripadali su u sedam rodova: *Beauveria*, *Clonostachys*, *Fusarium*, *Cordyceps*, *Penicillium*, *Purpureocillium* i *Metarhizium*. Kako bi se procijenio potencijal ovih izolata za kontrolu *S. litura*, 12 izolata je odabrano za utvrđivanje patogenosti protiv ličinke *S. litura*. Ukupno šest izolata EPG-a koji pripadaju rodovima *Beauveria* i *Metarhizium* pokazali su brzo djelovanje na ličinke *S. litura*. Stoga se na osnovi ovoga istraživanja može zaključiti da entomopatogene gljive iz roda *Fusarium* imaju različito djelovanje na različite vrste kukaca, te je potrebno ispitati njihovu patogenost na različitim vrstama kukaca i povezati ju s inhibitorima koji su odgovorni za njihovu eventualnu smanjenu učinkovitost.

Navarro-Velasco i sur. (2011.) proučavali su patogenost gljive *F. oxysporum* na biljkama rajčice te su utvrdili učinke različitih gljivičnih mutantnih sojeva na biljku. Brisanje različitih lokusa dovelo je do različitih rezultata u smislu njihove patogenosti prema biljci i ličinkama modelnoga organizma *G. mellonella*. Pojedini mutanti pokazali su marginalnu ili nikakvu infektivnost za biljku rajčice; međutim, svi ovi sojevi pokazali su značajnu entomopatogenost. Stoga se iz ovoga istraživanja može zaključiti da se specifičnim mutacijama može provjeriti fitopatogenost sojeva roda *Fusarium* i prilagoditi ih za biološku kontrolu kukaca.

ZAKLJUČAK

Nastojanjem smanjenja uporabe kemijskih sredstava u zaštiti bilja sve je više bioloških pripravaka koji se koriste u suzbijanju štetnika u poljoprivrednoj proizvodnji. Njihovom aplikacijom unaprjeđuju se životni ciklusi biljaka, poboljšava bioraznolikost te je ekološki otisak minimalan. Korištenje entomopatogenih gljiva predstavlja iznimno učinkovit način biološke zaštite i suzbijanja velikoga broja kukaca i smanjenje šteta koje uzrokuju na proizvodnim površinama i u skladištima. Rod *Fusarium*, kao jedan od sveprisutnih u okolišu, također je pokazao entomopatogena svojstva s visokim postotkom smrtnosti kukaca, do preko 90 %. Utvrđeno je njegovo djelovanje na kukce iz redova Blattodea, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Orthoptera i Thysanoptera, dok najviše patogenih vrsta roda *Fusarium* dolazi iz kompleksa ovih vrsta: *F. incarnatum-equiseti*, *F. fujikuroi*, *F. solani* i *F. oxysporum*. Upravo zbog prikazanih rezultata i velikoga potencijala u suzbijanju kukaca u svim fazama njihova razvoja, potrebno je provoditi daljnja istraživanja učinkovitosti roda *Fusarium* na **štetne** kukce.

LITERATURA

1. Al-Ani, L. K. T., Yonus, M. I., Mahdii, B. A., Omer, M. A., Taher, J. K., Albaayit, S. F. A., & Al-Khoja, S. B. (2018). First record of use *Fusarium proliferatum* fungi

- in direct treatment to control the adult of wheat flour *Tribolium confusum*, as well as, use the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*. *Ecology, Environment and Conservation*, 24(3), 29-34.
2. Altinok, H. H., Altinok, M. A., & Koca, A. S. (2019). Modes of action of entomopathogenic fungi. *Curr. Trends Nat. Sci*, 8(16), 117-124.
 3. Araújo, J. P. M., & Hughes, D. P. (2016). *Diversity of Entomopathogenic Fungi. Advances in Genetics*, 1–39. doi:10.1016/bs.adgen.2016.01.001
 4. Asi, M. R., Bashir, M. H., Afzal, M., Zia, K., Akram M. (2013). Potential of Entomopathogenic Fungi for Biocontrol of *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 23(3): 913-918.
 5. Bale, J. S., van Lenteren, J. C., Bigler, F. (2008). Biological control and sustainable food production; *Phil. Trans. R. Soc. B* (2008) 363, 761–776; doi:10.1098/rstb.2007.2182
 6. Bamisile B. S., Dash C. K., Akutse K. S., Keppanar R., Afolabi O. G., Hussain M., Qasim M., Wang L. (2018). Prospects of endophytic fungal entomopathogens as bio-control and plant growth promoting agents: an insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants, *Microbiological Research*, 34-50. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.08.016>
 7. Batta, Y. A. (2012). The first report on entomopathogenic effect of *Fusarium avenaceum* (Fries) Saccardo (Hypocreales, Ascomycota) against rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.: Curculionidae, Coleoptera). *Journal of Entomological and Acarological Research*, 44(3), 51-55. <https://doi.org/10.4081/jeur.2012.e11>
 8. Batta, Y. A., Kavallieratos, N. G. (2017). *The use of entomopathogenic fungi for the control of stored-grain insects. International Journal of Pest Management*, 1-11. doi:10.1080/09670874.2017.1329565
 9. Bažok, R., Gotlin Čuljak, T. i Grubišić, D. (2014). Integrirana zaštita bilja od štetnika na primjerima dobre prakse. *Glasilo biljne zaštite*, 14 (5), 357-390.
 10. Butt, T. M., Coates, C. J., Dubovskiy, I. M., & Ratcliffe, N. A. (2016). *Entomopathogenic Fungi. Advances in Genetics*, 307–364. doi:10.1016/bs.adgen.2016.01.006
 11. Chandler, D. (2017). *Basic and Applied Research on Entomopathogenic Fungi. Microbial Control of Insect and Mite Pests*, 69–89. doi:10.1016/b978-0-12-803527-6.00005-6
 12. Chang, J.C., Wu, S.S., Liu, Y. C., Yang, Y. H., Tsai, Y. F., Li, Y. H., Tseng, C. T., Tang, L., C., Nai Y. S. (2021). Construction and Selection of an Entomopathogenic Fungal Library From Soil Samples for Controlling *Spodoptera litura*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. Doi:10.3389/fsufs.2021.596316
 13. Chehri, K. (2017). Molecular identification of entomopathogenic *Fusarium* species associated with *Tribolium* species in stored grains. *Journal of invertebrate pathology*, 144, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.01.003>
 14. De HC Maciel, M., do Amaral, A. C. T., da Silva, T. D., Bezerra, J. D., de Souza-Motta, C. M., da Costa, A. F., ... & de Oliveira, N. T. (2021). Evaluation of Mycotoxin Production and Phytopathogenicity of the Entomopathogenic Fungi *Fusarium caatingaense* and *F. pernambucanum* from Brazil. *Current Microbiology*, 78 (4), 1218-1226. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02387-y>
 15. Deutsch, C. A.; Tewksbury, J. J.; Tigchelaar, M.; Battisti, D. S.; Merrill, S. C.; Huey, R. B.; Naylor, R. L. (2018). *Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. Science*, 361(6405), 916–919. doi:10.1126/science.aat3466
 16. Douglas, A. E. (2018). *Strategies for Enhanced Crop Resistance to Insect Pests. Annual Review of Plant Biology*, 69(1), *annurev-arplant-042817-040248–637-660*. doi:10.1146/annurev-arplant-042817-040248
 17. Flint, M. L., Dreistadt, S. H. (1998). *Natural enemies handbook: The illustrated guide to biological pest control*. UC Division of agriculture and natural resources i University of California, Los Angeles: 1-11.
 18. Forić, N., Sarajlić, A., Vrandečić, K., & Majić, I. (2018). Potencijal entomopatogenih gljiva *Metarhizium* spp. u suzbijanju štetnih kukaca. *Glasnik zaštite bilja*, 41(4), 22-30. <https://doi.org/10.31727/gzb.41.4.7>
 19. Gugić, J., Grgić, I., Dobrić, B., Šuste, M. Džepina M., Zrakić, M. (2017). Pregled stanja i perspektiva razvoja ekološke poljoprivrede u Republici Hrvatskoj; *Glasnik Zaštite Bilja*, 40(3); 20-30. <https://doi.org/10.31727/gzb.40.3.2>
 20. Gul, H. T., Saeed, S., Khan, F. Z. A. (2014). Entomopathogenic Fungi as Effective Insect Pest Management Tactic: A Review. *Applied Sciences and Business Economics Volume 1, Issue 1*, 10-18.
 21. Hallouti, A., Ait Hamza, M., Zahidi, A., Ait Hammou, R., Bouharroud, R., Ait Ben Aoumar, A., Boubaker, H. (2020). Diversity of entomopathogenic fungi associated with Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)) in Moroccan Argan forests and nearby area: impact of soil factors on their distribution. *BMC Ecol*, 20, 64. <https://doi.org/10.1186/s12898-020-00334-2>
 22. Huffaker, C. B. (2012). *Theory and Practice of Biological Control*, eBook; 3-11.
 23. Ilić, J., Ćosić, J., Jurković, D., & Vrandečić, K. (2012). Pathogenicity of *Fusarium* spp. isolated from weeds and plant debris in eastern Croatia to wheat and maize. *Poljoprivreda*, 18(2), 7-11.
 24. Jaber, L. R., & Ownley, B. H. (2017). Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? *Biological Control*, 116, 36–45. doi:10.1016/j.biocontrol.2017.01.018
 25. Jaronski, S. T. (2014). *Mass Production of Entomopathogenic Fungi: State of the Art. Mass Production of Beneficial Organisms*, 357–413. doi:10.1016/b978-0-12-391453-8.00011-x
 26. Jones-Garcia, E. & Krishna, V. V. (2021). Farmer adoption of sustainable intensification technologies in the maize systems of the Global South. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1). 1-20.
 27. Kovač, M. (2021). Prirodni inokulum entomopatogenih gljiva u prezimljavajućoj populaciji hrastove mre-

- žaste stjenice *Corythucha arcuata* (Heteroptera, Tingidae). *Entomologia Croatica*, 20 (1), 13-20.
<https://doi.org/10.17971/ec.20.1.3>
28. Laštuvka, Z. (2009). Climate Change and Its Possible Influence on the Occurrence and Importance of Insect Pests. *Plant Protect. Sci.* Vol. 45, Special Issue. 53–62. DOI:10.17221/2829-PPS
 29. Litwin, A., Nowak, M., Rozalska, S. (2020). *Entomopathogenic fungi: unconventional applications. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 23–42. doi:10.1007/s11157-020-09525-1
 30. Lu, H.-L., & St. Leger, R. J. (2016). *Insect Immunity to Entomopathogenic Fungi. Advances in Genetics*, 251–285. doi:10.1016/bs.adgen.2015.11.002
 31. Maina, U. M., Galadima, I. B., Gambo, F. M., Zakaria D. (2018). A review on the use of entomopathogenic fungi in the management of insect pests of field crops. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6 (1): 27-32.
 32. McLaughlin, G. M., & Dearden, P. K. (2019). Invasive insects: management methods explored. *Journal of Insect Science*, 19(5), 17. 1-9.
<https://doi.org/10.1093/jisesa/iez085>
 33. Mora, M. A. E., Castilho, A. M. C., Fraga, M. E. (2017). Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. Review Article. *Arq. Inst. Biol.* 84. 1-10.
<https://doi.org/10.1590/1808-1657000552015>
 34. Navarro-Velasco, G.Y., Prados-Rosales, R.C., Ortíz-Urquiza, A., Quesada-Moraga, E., Di Pietro, A. (2011). *Galleria mellonella* as model host for the trans-kingdom pathogen *Fusarium oxysporum*. *Fungal Genetics and Biology*, 48:1124–1129.
<https://doi.org/10.1016/j.fgb.2011.08.004>
 35. Nestic, K., Ivanovic, S., & Nestic, V. (2014). Fusarial toxins: secondary metabolites of *Fusarium* fungi. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 228*, 101-120. DOI: 10.1007/978-3-319-01619-1_5
 36. Ortiz-Urquiza A, Keyhani N. O. (2013). Action on the Surface: Entomopathogenic Fungi versus the Insect Cuticle. *Insects*. 4(3):357-374.
<https://doi.org/10.3390/insects4030357>
 37. Pelizza, S. A., Stenglein, S. A., Cabello, M. N., Dinolfo, M. I., & Lange, C. E. (2011). First record of *Fusarium verticillioides* as an entomopathogenic fungus of grasshoppers. *Journal of Insect Science*, 11(1). 1-8.
<https://doi.org/10.1673/031.011.7001>
 38. Rai, D., Updhyay V., Mehra, P., Rana M. and Pandey, A. K. (2014). Potential of Entomopathogenic Fungi as Biopesticides. *Ind. J. Sci. Res. and Tech.* 2 (5): 7-13.
 39. Ramanujam, B., Rangeshwaran, R., Sivakmar, G., Mohan, M., Yandigeri, M. S. (2014). Management of Insect Pests by Microorganisms. *Proceedings of Indian National Science Academy*, 80 (2): 455-471.
 40. Rumbos, C. I., Athanassiou, C. G. (2017). *Use of entomopathogenic fungi for the control of stored-product insects: can fungi protect durable commodities?. Journal of Pest Science*, 90(3), 839–854.
doi:10.1007/s10340-017-0849-9
 41. Santos, A. C. S., Diniz, A. G., Tiago, P. V., & de Oliveira, N. T. (2019). Entomopathogenic *Fusarium* species: a review of their potential for the biological control of insects, implications and prospects. *Fungal Biology Reviews*, 34(1), 41-57.
<https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.12.002>
 42. Sharma, S., Kooner, R., Ramesh, A. (2017). Insect Pests and Crop Losses. Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture. 45-66.
DOI: 10.1007/978-981-10-6056-4_2.
 43. Sharma, L., & Marques, G. (2018). *Fusarium*, an entomopathogen—a myth or reality?. *Pathogens*, 7(4), 93. 1-15.
<https://doi.org/10.3390/pathogens7040093>
 44. Showket, A. D., Wani, A. B., Kandoo, A. A. (2017). Insect pest management by entomopathogenic fungi. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 2017; 5(3): 1185-1190.
 45. Singh, D., Raina, T. K., Singh, J. (2017). Entomopathogenic Fungi: An Effective Biocontrol Agent for Management of Insect Populations Naturally. *Pharm. Sci. & Res.* Vol. 9(6), 2017, 830-839.
 46. Sinha, K. K., Choudhary, A. K., & Kumari, P. (2016). *Entomopathogenic Fungi. Ecofriendly Pest Management for Food Security*, 475–505.
doi:10.1016/b978-0-12-803265-7.00015-4
 47. Skinner, M., Parker, B. L., & Kim, J. S. (2014). *Role of Entomopathogenic Fungi in Integrated Pest Management. Integrated Pest Management*, 169–191.
doi:10.1016/b978-0-12-398529-3.00011-7
 48. Solanki, M. K., Kashyap, P. L., & Kumari, B. (Eds.). (2020). *Phytobiomes: Current Insights and Future Vistas*. Springer Singapore. 225-250.
doi:10.1007/978-981-15-3151-4
 49. Sultana, R., Kumar, S., Yanar, D. (2017). Application of Entomopathogenic fungi for insect pests control. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(6), 7-13.
 50. Toghueo, R. M. K. (2020). Bioprospecting endophytic fungi from *Fusarium* genus as sources of bioactive metabolites. *Mycology*, 11(1), 1-21.
<https://doi.org/10.1080/21501203.2019.1645053>
 51. Vinković, T., Popović, B., Stošić, M., Lončarić, Z., Kristek, S., Ivezić, V., Tkalec Kojić, M., Jović, J., Ravnjak, B. (2019). Okolišno prihvatljiva proizvodnja povrća. Osijek, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek. 4-9.
 52. Wrzaszcz, W., & Prandecki, K. (2020). Agriculture and the European Green Deal. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej/ Problems of Agricultural Economics*, (4), 156-179.

ENTOMOPATHOGENIC FUNGI OF *Fusarium*: POTENTIAL FOR THE BIOLOGICAL CONTROL OF INSECTS

SUMMARY

*Insects cause multiple losses in agricultural production by inflicting direct or indirect damage and transmitting plant diseases, which is manifested in a reduced quality and crop yield. With the application of chemical insecticides, being most common in conventional agriculture, the effort is invested to find the appropriate alternative ways to control the pests that are environmentally friendly. One such method is a biological insect control by entomopathogenic fungi that have proven to be extremely effective in controlling many insect species from multiple genera. The aim of this study was to determine the possibilities of insect control by entomopathogenic fungi of the genus *Fusarium* and to show their potential in various forms of application, from a seed treatment, insect specimens, or storage areas. Numerous *Fusarium* sp. have demonstrated a high insect control efficiency at all stages of their development and are thus suitable for further research.*

Key words: *entomopathogenic fungi, Fusarium, insects, biocontrol*

(Received on August 31, 2022; accepted on October 27, 2022 – *Primljeno 31. kolovoza 2022.; prihvaćeno 27. listopada 2022.*)