

Pahljačniki (Coleoptera: Scarabaeidae) kot gospodarsko pomembni škodljivci in možnosti njihovega zatiranja z entomopatogenimi glivami

Eva PRAPROTNIK^{1,2}, Jaka RAZINGER¹, Stanislav TRDAN³

Received December 23, 2021; accepted February 02, 2022.
Delo je prispelo 23. decembra 2021, sprejeto 2. februarja 2022

Scarab beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) as economically important pests and the possibility of using entomopathogenic fungi for their control

Abstract: Scarab beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) are a cosmopolitan group of beetles found on all continents except Antarctica. Because of their size, vibrant colors, and above all their role in the ecosystem, they are one of the most recognizable and studied taxons of beetles. Most larvae and adult beetles of species belonging to subfamilies Melolonthinae, Rutelinae, Dynastinae and Cetoniinae feed on plant organs such as roots, leaves, flowers and young fruits and are thus considered to be species of economic importance. In this article we describe some of the most economically important species of scarabs, including their most common host plants. Because the use of chemical insecticides to control scarabs is often limited, the implementation of entomopathogenic fungi as biological control agents is an appropriate alternative based on the rational use of microorganisms to maintain an environmentally balanced level of the pest population. Representatives of the genera *Beauveria* and *Metarhizium* are the most commonly used entomopathogenic fungi to control larvae (white grubs) of scarab beetles. Biological control by entomopathogenic fungi has shown to be effective in some cases, however host range is often species-specific. Therefore, in order to effectively use the entomopathogens against scarab beetles, one needs to identify target species in grub-infested area and consequently select strains that are capable of overcoming the host's defences.

Key words: Scarabaeidae; scarab beetles; white grubs; entomopathogenic fungi; biological control

Pahljačniki (Coleoptera: Scarabaeidae) kot gospodarsko pomembni škodljivci in možnosti njihovega zatiranja z entomopatogenimi glivami

Izvleček: Pahljačniki (Coleoptera: Scarabaeidae) so kozmopolitska družina hroščev. Najdemo jih na vseh celinah, z izjemo Antarktike. Zaradi njihove velikosti in živahnih barv, predvsem pa njihove vloge v ekosistemih, so eden izmed najbolj preučevanih in prepoznavnih taksonov hroščev. Večina ličink in odraslih hroščev iz poddružin Melolonthinae, Rutelinae, Dynastinae in Cetoniinae se prehranjuje z rastlinskimi organi, kot so korenine, listi, cvetovi in mladi plodovi, zato jih uvrščamo med gospodarsko pomembne vrste rastlinskih škodljivcev. V prispevku je opisanih nekaj gospodarsko najpomembnejših vrst pahljačnikov, vključno z njihovimi najpogostejšimi gostiteljskimi rastlinami. Ker je uporaba sintetičnih insekticidov za zatiranje pahljačnikov velikokrat omejena, je uvedba entomopatogenih gliv kot biotičnih agensov ustrezna alternativa, saj temelji na racionalni uporabi mikroorganizmov za ohranjanje populacije škodljivca pod pragom gospodarske škode. Za zatiranje ličink pahljačnikov (ogrcv) so najpogosteje uporabljene glive iz rodov *Beauveria* in *Metarhizium*. Biotično zatiranje ogrcev z entomopatogenimi glivami se je v nekaterih zgledih izkazalo za učinkovito, vendar so sredstva za njihovo zatiranje pogosto vrstno specifična. To pomeni, da moramo za učinkovito uporabo entomopatogenih gliv proti pahljačnikom prepoznati tarčne vrste in posledično izbrati seve, ki so sposobni premagati obrambo gostitelja.

Ključne besede: Scarabaeidae; pahljačniki; ogrci; entomopatogene glive; biotično zatiranje

1 Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija

2 Korespondenčni avtor, e-naslov: eva.praprotnik@kis.si

3 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, Slovenija

1 UVOD

V družino pahljačnikov (Coleoptera: Scarabaeidae) uvrščamo več kot 31.000 vrst, kar vključuje približno 91 % predstavnikov naddružine Scarabaeoidea (Jameson in Ratcliffe, 2002; Ratcliffe, 2002). V sistematiki je bila pogosta delitev naddružine v tri družine, in sicer Passalidae, Lucanidae in Scarabaeidae, vendar se je zaradi polifiletske narave družine Scarabaeidae vzpostavila trenutna delitev na 14 družin. Družino pahljačnikov sestavlja 19 poddružin in veljajo za raznoliko, kozmopolitsko skupino, katere hrošči so prilagojeni na širok spekter habitatov (Bouchard in sod., 2011).

Med vrstami pahljačnikov obstajajo pomembne ekološke razlike, saj se pri nekaterih vrstah izmenja več rodov na leto, pri nekaterih le en rod (Wagenhoff in sod., 2014; Gyawaly in sod., 2016), nekatere vrste so aktivne ponoči, druge podnevi (Hanski in Cambefort, 1991), način prehranjevanja pa predstavlja glavni ekološki dejavnik, ki vpliva na vedenje pahljačnikov in je hkrati eden najpomembnejših dejavnikov pri razširjanju odraslih hroščev in ličink. Hrošči poddružin Aegialiinae, Aphodiinae in Scarabaeinae se prehranjujejo z mrhovino, iztrebki, glivami in odmrlim rastlinskim materialom (Bai in sod., 2015), medtem ko so hrošči poddružin Melolonthinae, Rutelinae, Dynastinae in Cetoniinae pretežno fitofagni (Eberle in sod., 2014). Hrošči poddružin Melolonthinae in Rutelinae se prehranjujejo predvsem z listi, cvetovi in mladimi plodovi, hrošči iz poddružine Dynastinae s stebli in koreninami rastlin, hrošči poddružine Cetoniinae pa predvsem z nektarjem ter sokom rastlin in sadežev (Ritcher, 1966). Prehranjevanje ličink med posameznimi poddružinami pa ni tako izrazito razdeljeno, saj se mnoge ličinke saprofagnih in koprofagnih hroščev prehranjujejo z rastlinskimi organi in obratno. Tako se večina ličink poddružine Aphodiinae, podobno kot odrasli, prehranjuje z iztrebki, obenem pa so ličinke rodov *Aphodius* in *Ataenius* znotraj te poddružine pomembni škodljivci na naravnem travinju in tratah (Williamson in sod., 2004). Prav tako so ličinke poddružine Cetoniinae, za razliko od odraslih hroščev, detritivori in se prehranjujejo z organsko snovjo v tleh (Ciss in sod., 2019). Gospodarsko najbolj pomembne vrste pripadajo predvsem poddružini Melolonthinae, saj ličinke le-teh v mnogih delih sveta povzročajo poškodbe na koreninah trav, žit, stročnic, različnih sadnih vrst in drugih lesnatih rastlin (Ritcher, 1966).

2 PAHLJAČNIKI KOT ŠKODLJIVCI NA OBDELOVALNIH ZEMLJIŠČIH, TRAVINJU IN V GOZDOVIH

Ličinke hroščev pahljačnikov se imenujejo ogrci in se prehranjujejo s koreninami rastlin ali odmrlo organsko snovjo, kar predstavlja hrano z majhno hranilno vrednostjo. Učinkovit prevzem energije jim omogoča modificirano zadnje črevo, ki v anaerobnih razmerah hrani večino črevesne mikrobiote in je glavno območje za prebavo (hemi)celuloze (Huang in sod., 2010). To je ličinkam pahljačnikov omogočilo izkoriščanje različnih ekoloških niš, zaradi česar so postali zelo uspešni v številnih habitatih. V primeru, da niša sovpada s človeškimi dejavnostmi, lahko postanejo pomembni škodljivci tudi v njihovem naravnem okolju. Na kmetijskih zemljiščih, posebno na monokulturah, so posledice množičnih izbruhov toliko večje (Jackson in Klein, 2006).

V centralni Braziliji sta vrsti *Phyllophaga capillata* Blanchard, 1851 in *Aegopsis bolboцерidus* (Thomson, 1860) (Coleoptera: Melolonthidae) najpomembnejša škodljivca soje in koruze. Ogrci se pojavijo v začetku pomladi, v času setve soje in koruze, z njihovimi koreninami pa se prehranjujejo do konca poletja. Poškodbe korenin se na rastlinah kažejo v zapozneli rasti, porumenelosti in venenju, lahko pa pride tudi do propada rastlin (Oliveira in Frizzas, 2013). Poškodbe korenin, ki jih povzročijo ogrci prve in druge larvalne stopnje, so sorazmerno majhne. Največjo škodo povzročijo ogrci tretje larvalne stopnje, saj lahko zmanjšajo koreninski sistem pri soji za približno 25 % in 64 % pri koruzi (Oliveira in Frizzas, 2021). Pomemben škodljivec soje in koruze je tudi japonski hrošč (*Popillia japonica* Newman, 1841). Japonski hrošč izvira iz Japonske, kjer pa ne doseže takšne številčnosti in posledično tudi ne povzroča takšne škode kot v državah, kjer ni avtohton. Japonski hrošč je posebno škodljiv zaradi njegovega generalističnega načina prehranjevanja z listi, cvetovi in plodovi več kot 300 različnih rastlinskih vrst (Fleming, 1972). Hrošči se hranijo podnevi, domnevno zaradi večje koncentracije sladkorjev v rastlinah, ki so bolj izpostavljene svetlobi (Bernays in Chapman, 1994). Prehranjujejo se na zgornji strani listov, na katerih žvečijo tkivo med žilami. Vendar ima pri koruzi večji gospodarski pomen obžiranje koruzne svile, kar preprečuje oprasevanje in ima za posledico nepravilno oblikovana zrna in zmanjšan pridelek (Shanovich in sod., 2019). Ostale pomembne gostiteljske rastline japonskega hrošča so med drugimi tudi koščičarji iz rodu *Prunus*, beluši, jablana, robida, vinska trta, jagode, vrtnice in

druge okrasne rastline (Bragard in sod., 2018). Ličinke japonskega hrošča se primarno hranijo s koreninami trav, s čimer povzročajo znatno škodo na pašnikih, travnikih in igriščih za golf. Poškodbe korenin zmanjšujejo sposobnost trave, da prevzame zadostno količino vode, kar posledično privede do zaplat odmrle trave. Največ škode nastane pozno poleti in zgodaj jeseni, ko ogrci dosežejo drugo in tretjo larvalno stopnjo (Fleming, 1972). Do sekundarnih poškodb travišč pogosto pride tudi pri gostotah ogrcev, ki same po sebi ne bi nujno povzročile škode, vendar druge živali iščejo ogrce in tako prekopavajo travno rušo (De Goffau, 1996; Laznik in Trdan, 2014). S koreninami trav se prehranjujejo tudi ličinke drugih vrst pahljačnikov, in sicer predstavniki rodov *Phyllophaga*, *Phyllopertha*, *Cotinis*, *Cyclocephala*, *Rhizotrogus*, *Anomala* in druge (Hann in sod., 2015; Gyawaly in sod., 2016). Poženel (2007) opisuje znaten porast populacije poljskega majskega hrošča (*Melolontha melolontha* L., 1758) na Idrijskem, kjer je leta 2005 populacija ogrcev narasla na 226 ogrcev na m². Znatno škodo travne ruše so povzročali ogrci vseh treh larvalnih stopenj, odrasli hrošči pa so objedali listje gozdnega drevja. Znatne poškodbe travišč je poljski majski hrošč med letoma 1989 in 1995 povzročil tudi v Nemčiji (Fröschle, 1996).

V mnogih delih sveta ogrci predstavljajo tudi pomembne škodljivce krompirja. Večina najpomembnejših škodljivcev v Indiji pripada rodovom *Anomala*, *Brahmina*, *Melolontha*, *Holotrichia* in *Lepidiota*, v Ameriki rodu *Phyllophaga*, na Kitajskem pa sta najpomembnejša rodova *Holotrichia* in *Amphimallon* (Radcliffe in Lagnaoui, 2007; Xu in sod., 2013; Chandel et al., 2015). Po izleganju se mladi ogrci orientirajo proti koreninam, vendar največjo škodo na krompirju povzročijo ličinke



Slika 1: Poškodbe na gomoljih krompirja, ki so nastale zaradi ogrcev (foto: Eva Praprotnik)

Figure 1: Damage to potato tubers made by white grubs (photo: Eva Praprotnik)

druge in tretje larvalne stopnje. Hranijo se s koreninami in stblom krompirja, zaradi česar odmrejo novo nastale rastline. Prehranjujejo se tudi z gomolji (Slika 1), ki so posledično neprimerni za trženje. V primeru poškodb gomoljev rastlina ne izrazi nikakršnih simptomov, zato se pridelovalci največkrat šele ob spravilu pridelka zavejo škode, ki so jo povzročili ogrci (Chandel in sod., 2013; Xu et al., 2013).

Pahljačniki prav tako veljajo za pomembne škodljivce arašidov v južni Afriki, Aziji in Avstraliji (Wightman in sod., 1994), vinske trte in breskev (Heath in sod., 2002), listov kakavovca (Calcetas in sod., 2021), kokosovih palm v Srednji Ameriki in Aziji (Mariau, 2001; Maniania in sod., 2017), lesk v Turčiji (Sevim in sod., 2010), pšenice v Keniji (LePelley in Goddard, 1952), sladkornega trsa v Afriki in Južni Ameriki (Cock in Allard, 2013), listov jablan in orehov (Pathania in Chandel, 2017), listov evkaliptusa v Avstraliji (Carne in sod., 1974), korenin zelenjadnic (Oliveira in Frizzas, 2013), jagod (Malusá in sod., 2020) in mnogih drugih rastlinskih vrst.

3 ENTOMOPATOGENE GLIVE

Pahljačnike so v preteklosti zatirali z obstojnimi sintetičnimi insekticidi (Burkhardt, 1955; Miah in sod., 1986), vendar pa se je zaradi razvoja odpornosti škodljivcev, negativnih vplivov na (agro)ekosisteme in gospodarskih razlogov začelo spodbujati alternativne načine njihovega omejevanja z ustrezno oskrbo tal, uporabo feromonov, izborom kultivarjev, biotičnim varstvom in podobno (Frew in sod., 2016). Pahljačniki del njihovega življenja kot ličinke preživijo v tleh in so tako tesno povezani z rezervoarjem talnih mikrobov, vključno s številnimi vrstami entomopatogenih gliv. To so glive, ki so patogene za žuželke in pršice. Množijo se v mehkih tkivih gostitelja, smrt gostitelja pa navadno nastopi v nekaj dneh po okužbi zaradi izgube vode, pomanjkanja hranil, mehanskih poškodb ali delovanja toksinov (Hajek in St. Leger, 1994; Qu in Wang, 2018). Sledi sporulacija in okužba novih gostiteljev (Lovett in St. Leger, 2017). Za zatiranje pahljačnikov so najpogosteje uporabljeni predstavniki rodov *Beauveria* in *Metarhizium*. Entomopatogene glive se uporabljajo za zatiranje tako odraslih hroščev kot tudi ogrcev, pri katerih pa so prve in druge larvalne stopnje pogosto dozretnejše za okužbo kot ogrci tretje larvalne stopnje (Erler in Ates, 2015; Laznik in Trdan, 2015; Kim in sod., 2020). S pahljačniki je povezano veliko število patogenov žuželk, zato zastopanost drugih (patogenih) mikrobov (bakterije, virusi), ogorčic in protozojev lahko še dodatno pospeši in poveča občutljivost ličink na okužbo (Marchal, 1976; Ferron, 1978).

3.1 *BEAUVERIA* SPP.

Rod *Beauveria* velja za enega od najpomembnejših taksonov entomopatogenih gliv, predvsem zaradi njegove kozmopolitske razširjenosti, enostavne identifikacije, širokega spektra gostiteljev in enostavne izolacije (Goettel in sod., 1990). V kulturi na petrijevki *Beauveria* (Slika 2) navadno proizvede bel micelij in konidije, nekateri izolati pa se lahko pozneje obarvajo tudi rumenkasto. Najbolj izrazita morfološka značilnost rodu so simodialni skupki pogosto cikcakasto rastočih konidiogenih celic, ki tvorijo enocelične, hialinske, holoblastične konidije (Rehner, 2005).

Beauveria bassiana (Bals.-Criv.) Vuill. je najbolj razširjena vrsta tega rodu z velikim številom gostiteljskih žuželčjih vrst (Zimmermann, 2007). V poskusih zatiranja je gliva povzročila 65-80 % smrtnost ogrcev tretje larvalne stopnje pahljačnika *Cyclocephala signaticollis* Burmeister, 1847 (*B. bassiana* sev Bb 53; Berón in Diaz, 2005), mlinarja *Polyphylla fullo* (Linnaeus, 1758) (*B. bassiana* sev PPRI 5339; Erler in Ates, 2015), ter odraslih osebkov japonskega hrošča (*B. bassiana* sev INRS 236; Giroux in sod., 2015). Ni pa se izkazala za uspešno pri zatiranju avstralskega avtohtonega pahljačnika *Adoryphorus coultonii* (Burmeister, 1847) (Rath in sod., 1995) ter pri pahljačniku vrste *Phyllophaga anxia* (LeConte, 1850) (Poprawski in Yule, 1991). *B. bassiana* sev ATCC 74040 je tudi aktivna učinkovina bioinsekticida Naturalis[®], ki uspešno zatira predvsem prve larvalne stopnje vrste *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus* Fairmaire, 1896 (Ibrahim, 2017).

Spekter gostiteljev vrste *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch je precej ožji v primerjavi z vrsto *B. bassiana*

in uspešno deluje predvsem proti talnim hroščem družin Scarabaeidae in Curculionidae. Gliva *B. brongniartii* (sevi Bt96, Bt106, Bt107, Bt110, Bt112, Bt113 in Bt114) se je izkazala za uspešno pri zatiranju pahljačnika *Hoplochelus marginalis* (Fairmaire, 1889), ki je pomemben škodljivec sladkornega trsa (Neuvéglise in sod., 1994), ter pri zatiranju pahljačnika *Holotrichia serrata* (Fabricius, 1781) na plantažah betlovih palm (Ranganathiah in sod., 1973). Na območju severozahodnega dela Italije (Dolci in sod., 2006), prav tako v Švici (Keller, 2000; Enkerli in sod., 2004) in Avstriji (Mayerhofer in sod., 2015) pa so bili sevi *B. brongniartii* F, 1871-1875 in BIPESCO 2 izolirani iz poljskega majskega hrošča uspešni pri zatiranju ogrcev omenjene vrste v sadovnjakih, na njivah in travnikih. Zastopanost poljskega majskega hrošča pomembno vpliva na preživetje glive *B. brongniartii* v tleh, saj zmanjšanje količine glive v odsotnosti gostitelja potrjuje visoko specifičnosti glive. Hkrati je razmnoževanje glive brez gostitelja malo verjetno (Kessler in sod., 2004). *B. brongniartii* sev IMBST 95.031 je tudi aktivna učinkovina bioinsekticida Melocont Pilzgerste[®], ki je bil uspešno uporabljen za zatiranje poljskega majskega hrošča na Idrijskem (Požanel, 2007), Łabanowska in Bednarek (2011) sta poročala o visoki učinkovitosti tega sredstva proti pahljačnikom v sadovnjakih, Laengle in sod. (2005) pa v krompirju. Obratno pa v gozdnih ekosistemih rezultati pogosto niso bili zadovoljivi (Sierpińska in sod., 2015; Niemczyk in sod., 2019). Izolati teh gliv so namreč v večini zgledov asociirani s kmetijskimi zemljišči, kar lahko vpliva na njihovo sposobnost preživetja in obstojnost v različnih habitatih, kot so na primer naravna gozdna tla.

3.2 *METARHIZIUM* SPP.

Metarhizium je izredno raznolik rod in ta pestrost je rezultat različnih habitatov, podnebnih razmer ter gostiteljskih rastlinskih in žuželčjih vrst, na katerih se ta rod pojavlja (Brunner-Mendoza in sod., 2019). V kulturi *Metarhizium* navadno proizvede temno zelene, svetlo zelene, rumenkaste ali rjavkaste kolonije z belim robom. Konidiji so hialinski in tvorijo verigi podobno tvorbo. Konidiji se razlikujejo po velikosti in obliki in znotraj rodu predstavljajo pomemben morfološki znak (Sinha in sod., 2016).

Konidiji vrste *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin so v tleh zelo stabilni, njihovo število pa se lahko več let ohrani brez večjih izgub (Rath in sod., 1995). Moslim in sod. (1999) ter Gopal in sod. (2006) so poročali, da je uporaba glive *M. anisopliae* (seva Bp in MO pri Moslim. in sod. (1999)) znatno zmanjšala populacijo odraslih hroščev, zlasti pa ličink vrste *Oryctes rhinoceros* (Linnaeus, 1758), ki ji glavni vir hrane predstavljajo cve-



Slika 2: *Beauveria bassiana* na PDA gojišču (foto: Špela Modic)

Figure 2: *Beauveria bassiana* on PDA medium (photo: Špela Modic)

tovi kokosove in oljne palme. Prav tako je vrsta *M. anisopliae* uspešna pri zatiranju pahljačnika *Protaetia brevitarsis* (Lewis, 1879) (sev JEF-314; Kim in sod., 2020), japonskega hrošča (sev INRS 705; Giroux in sod., 2015) ter pahljačnikov rodu *Phyllophaga*. Pri slednjih sta Poprawski in Yule (1991) testirala različne poti vnosa patogena v gostitelja, pri čemer se je izkazalo, da so ličinke relativno odporne na oralno okužbo in bolj dovzetne na okužbo z glivami, apliciranih v tla, kar sovpada z naravnimi potmi kolonizacije entomopatogenih gliv, in sicer preko kutikule žuželčjega gostitelja.

Gliva *M. anisopliae* sev KTU-27 je pokazala visoko insekticidno aktivnost tudi proti poljskemu majskemu hrošču v regijah Turčije, kjer gojijo lešnike (Sevim in sod., 2010), nasprotno pa Putnoky-Csicsó in sod. (2020) poročajo o neučinkovitosti glive *M. anisopliae* sev NCAIM 362 za zatiranje poljskega majskega hrošča v sladkem krompirju. Nizko stopnjo virulence so izolati *M. anisopliae* pokazali tudi v primeru zatiranja pahljačnika *C. signaticollis* (sev Ma 8; Berón in Diaz, 2005) in junijskega hrošča (*Amphimallon solstitiale* (Linnaeus, 1758)) (sev MaF; Fätu in sod., 2018). *M. anisopliae* je tudi aktivna učinkovina bioinsekticidov, kot sta BioGreen[®] in BioCane[®] (sev FI-1045). Slednji se uporablja za zatiranje pahljačnika *Dermolepida albohirtum* (Waterhouse, 1875), z njegovo uporabo pa so Logan in sod. (2000) uspešno zatrli 50–60 % populacije v šestih mesecih. *D. albohirtum* je pomemben škodljivec korenin sladkornega trsa, saj na letni ravni povzroči škodo v vrednosti 10 milijonov dolarjev (Sallam in sod., 2007). BioGreen pa je v Avstraliji registriran za zatiranje avtohtonega pahljačnika *A. coulunii* (Burmeister, 1847), katerega ličinke so pomembni škodljivci korenin poljščin in trav ter ostalih rastlin na travnikih in pašnikih (Bullard in sod., 1993).

3.3 CORDYCEPS SPP.

Rod *Cordyceps* spada v isto družino parazitskih gliv kot rod *Beauveria*. Mnoge vrste rodu *Cordyceps* lahko rastejo na umetnih gojiščih, nekatere pa lahko izoliramo le iz tal. Izolati so navadno vrstno specifični, saj vsak parazitira le eno vrsto ali skupino sorodnih vrst gostitelja (Dworecka-Kaszak, 2014). Skupaj te glive okužujejo mnogo vrst žuželk, najpogosteje predstavnik redov Lepidoptera in Coleoptera. Pahljačniki so gostitelji vsaj sedmih vrst iz rodu *Cordyceps*, med katerimi jih večina parazitira ličinke in le ena vrsta odrasle hrošče (Willis, 1959; Shrestha in sod., 2016). *Cordyceps fumosorosea* (Wize) Kepler, B. Shrestha & Spatafora (včasih *Isaria fumosorosea* Wize) je tudi aktivna učinkovina bioinsekticida PreFeRal[®], ki povzroči do 50 % smrtnost prve larvalne stopnje vrste *O. agamemnon* subspp. *arabicus* (Faimaire),

pomembnega škodljivca kokosove, cikas in datljeve palme (Ibrahim, 2017).

3.4 OPHIOCORDYCEPS SPP.

Večina vrst tega rodu je temno pigmentiranih, glavnino njihovih gostiteljev pa predstavljajo ličinke hroščev v tleh ali v razpadajočem lesu, vendar obstajajo izjeme, saj nekatere vrste parazitirajo odrasle stadije mravelj in os (Kornsakulkarn in sod., 2018; Lin in sod., 2020). Anamorfnе oblike družine Ophiocordycipitaceae so načeloma počasi rastoče glive, ki jih je pogosto težko gojiti v laboratoriju (Dworecka-Kaszak, 2014). Pahljačniki predstavljajo gostitelja vsaj 18 vrstam *Ophiocordyceps* spp., večina med njimi so naravni patogeni ličink (Shrestha in sod., 2016).

3.5 AKANTHOMYCES SPP.

Vrste rodu *Akanthomyces* (včasih *Lecanicillium*) so pogosto mikrobnо sredstvo za biotično zatiranje in se v veliki meri uporabljajo proti sesajočim škodljivim žuželkam, kot so listne uši, ščitkarji, kaparji in drugi (Reddy, 2020). Vsaj 15 pripravkov na osnovi *Akanthomyces* spp. je bilo ali pa so v postopku komercializacije, med katerimi sta tudi bioinsekticida Vertalec[®] z aktivno učinkovino *Akanthomyces longisporum* B. Huang, S.B. Wang, M.Z. Fan & Z.Z. Li, sev HRI 1.72 (včasih *Lecanicillium longisporum* (Petch) Zare & W. Gams) in Mycotal[®] z aktivno učinkovino *Akanthomyces muscarium* (Petch) Spatafora, Kepler & B. Shrestha, sev Ve6 (včasih *Lecanicillium muscarium* (Petch) Zare & W. Gams). Bioinsekticida se nista izkazala za uspešna pri zatiranju odraslih osebkov japonskega hrošča, prav tako sta imela le minoren vpliv na njihove ličinke (Giroux in sod., 2015). Tudi *Akanthomyces lecanii* (Zimm.) Spatafora, Kepler & B. Shrestha (včasih *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Zare & W. Gams) se pri zatiranju vrste *O. agamemnon* ni izkazal za uspešnega, saj je povzročil manj kot 30 % smrtnost ličink tretje larvalne stopnje (Saleem in Ibrahim, 2019).

3.6 FUSARIUM SPP.

Glive rodu *Fusarium* naseljujejo različne ekološke niše. Lahko so endofiti, saprofiti ter rastlinski in živalski patogeni. Vrste so občasno izolirane iz mrtvih ali živih žuželk in veljajo za oportunistične patogene žuželk. Visoko smrtnost povzročajo predvsem pri škržatkih, kaparjih in dvokrilcih (Teetor-Barsch in Roberts, 1983). Zaradi uspešnega obstanka v tleh kot saprofiti, vrstne specifič-

nosti do gostitelja in enostavnega gojenja v laboratoriju, je rod *Fusarium* kot agens za biotično zatiranje učinkovit, vendar pa so lahko določeni izolati zelo škodljivi patogeni rastlin (Sharma in Marques, 2018). *Fusarium* sp. velja za naravnega patogena pahljačnika vrste *Costelytra zealandica* (White, 1846) in se je v laboratorijskih poskusih izkazal za učinkovitega pri zatiranju te vrste (Goh in sod., 1991).

3.7 *PENICILLIUM* SPP.

Glavni pomen predstavnikov rodu *Penicillium* v naravi je razgradnja organskih materialov. Povzročata rastlinsko gnilobo, ob čemer lahko sprošča širok spekter mikotoksinov (Visagie in sod., 2014). *Penicillium* je lahko patogen za členonožce, velja pa za oportunističnega sekundarnega patogena ali saprofita, ki nima vrstno specifičnih gostiteljev (Sosa-Gómez in sod., 2010). Rod je poznan po proizvajanju toksičnih sekundarnih metabolitov, ki lahko predstavljajo strategijo za hitro zastrupitev gostiteljske žuželke za poznejše saprofitsko prehranjevanje (Mora in sod., 2018).

3.8 *ASPERGILLUS* SPP.

Rod *Aspergillus*, prav tako kot rod *Penicillium*, uvrščamo v red Eurotiales. Glive izločajo širok spekter encimov, ki jim omogočajo izkoriščanje različnih virov hranil, zaradi česar lahko delujejo bodisi kot saprofiti bodisi kot oportuni patogeni, čeprav pogosto z nizko virulenco. *Aspergillus* spp. na splošno veljajo za oportunistične patogene, ki za kolonizacijo potrebujejo poškodovane ali kako drugače oslABLJENE gostitelje, obrambo gostitelja pa premagajo predvsem z izločanjem toksičnih sekundarnih metabolitov (St. Leger in sod., 2000). *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. in *Fusarium* sp. veljajo za naravne patogene pahljačnika *P. anxia* (LeConte, 1850). Najdeni so bili v asociaciji le z ogrci omenjene vrste, na splošno pa je njihova izolacija redka. *Fusarium* sp. in *Penicillium* sp. sta povzročila 50-60 % smrtnost ogrcev, *Aspergillus* sp. pa le 30 % smrtnost (Poprawski in Yule, 1991). Prav tako veljajo za naravnega patogena pahljačnika *Brahmina coriacea* (Hope, 1831). *Penicillium* je bil redko izoliran iz ogrcev *B. coriacea* in tudi v laboratorijskih poskusih je povzročil manj kot 40 % smrtnost. Nasprotno pa so bili *Aspergillus* spp. in *Fusarium* spp. pogost vzrok naravnih okužb, pri čemer so določene vrste povzročile 60-80 % smrtnost (Sharma in sod., 2012).

4 VRSTNA SPECIFIČNOST ENTOMOPATOGENIH GLIV

Čeprav je raznolikost gliv, povezanih s pahljačniki, velika, v mnogih zgledih slednji kažejo znake odpornosti na določene izolate gliv. Eden izmed možnih razlogov je dolg proces koevolucije ogrcev in mikroorganizmov v tleh, kjer povečanju patogenosti mikroorganizma sledi razvoj odpornosti gostitelja. Talne žuželke, ki se torej razvijajo v mikrobno bogatem mediju, bodo občutljive le na izredno specializirane izolate, ki bodo sposobni izkoristiti določeno fiziološko ali vedenjsko pomanjkljivost svojih gostiteljev (Jackson, 1999). Entomopatogene glive so torej lahko vrstno zelo specifične, zato je za uspešno implementacijo takšnih biotičnih agensov odvisno tudi morfološko poznavanje vrst škodljivcev, ki so zastopani na nekem območju. Odrasle hrošče najhitreje prepoznamo po značilnih pahljačastih tipalkah, saj so zadnji trije segmenti stransko razširjeni (lamelasti). Tipalke so devetčlenaste, zadek pa je sestavljen iz šestih dobro vidnih trebušnih ploščic. Epipleuron (del zunanega roba pokrovk) je ozek in ne doseže vrha pokrovk (Jessop, 1986). Vrstno določevanje odraslih hroščev je enostavnejše od določevanja ličink. Ličinke hroščev pahljačnikov so morfološko bolj podobne ličinkam družine Lucanidae kot pa Passalidae. Od predstavnikov slednje se razlikujejo po tri-, štiri- in lahko tudi petčlenastih antenah, štiričlenastih maksilarnih palpah in podobi telesa v obliki črke C. Od ličink iz družine Lucanidae pa se razlikujejo po prečni, oglati ali Y obliki analne odprtine brez ovalnih rež (ang. oval lobes) ob straneh (Carlson, 1991). Ličinke pahljačnikov dosežejo dolžino od 10 do 125 mm. Telo je pogosto obarvano belo ali rumenkasto, glava pa je v odtenkih rdeče in rjave barve. Pomemben določevalni znak znotraj družine je specifičen vzorec dlačic ali ščetin, ki so prisotne na spodnji strani končnega trebušnega segmenta, imenovan raster (Gibb, 2015).

5 ZAKLJUČEK

Pahljačniki so izjemno pestra skupina hroščev, predvsem zaradi svoje kozmopolitske razširjenosti, poseljavanja različnih habitatov ter prehranjevalnih navad, zaradi katerih so mnoge vrste prepoznane kot gospodarsko pomembni škodljivci. Imajo kriptičen način življenja, saj večina njihovih ličink, imenovanih ogrci, živi v tleh in je zato preučevanje in zatiranje le-teh oteženo. Ogrce, predvsem njihove začetne larvalne stopnje, bi bilo potrebno obravnavati v programih biotičnega varstva, z namenom zmanjšanja škode, ki jo povzročijo na kmetijskih, gozdnih in travnatih zemljiščih. Entomopatogene glive, predvsem iz rodov *Metarhizium* in *Beauveria*, ima-

jo potencial za ohranjanje okoljsko uravnotežene ravni populacije škodljivcev, vendar so močno virulentni izolati relativno redki in v večini primerov specifični za vrsto gostitelja. Zaradi tega je pomembno, da poznamo vrstno sestavo pahljačnikov na ogroženih zemljiščih.

6 VIRI

- Bai, M., Li, S., Lu, Y., Yang, H., Tong, Y., & Yang, X. (2015). Mandible evolution in the Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) and adaptations to coprophagous habits. *Frontiers in Zoology*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12983-015-0123-z>
- Bernays, E. A., & Chapman, R. F. (1994). Chemicals in plants. In E. A. Bernays & R. F. Chapman (Eds.), *Host-plant selection by phytophagous insects* (pp. 22–23). New York: Chapman and Hall. <https://doi.org/10.1007/b102508>
- Berón, C. M., & Diaz, B. M. (2005). Pathogenicity of hyphomycetous fungi against *Cyclocephala signaticollis*. *BioControl*, 50(1), 143–150. <https://doi.org/10.1007/s10526-004-0586-x>
- Bouchard, P., Bousquet, Y., Davies, A. E., Alonso-Zarazaga, M. A., Lawrence, J. F., Lyal, C. H. C., ... Smith, A. B. T. (2011). Family-group names in Coleoptera (Insecta). *ZooKeys*, 88, 1–972. <https://doi.org/10.3897/zookeys.88.807>
- Bragard, C., Dehnen-Schmutz, K., Di Serio, F., Gonthier, P., Jacques, M. A., Jaques Miret, J. A., ... MacLeod, A. (2018). Pest categorisation of *Popillia japonica*. *EFSA Journal*, 16(11). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5438>
- Brunner-Mendoza, C., Reyes-Montes, M. del R., Moonjely, S., Bidochka, M. J., & Toriello, C. (2019). A review on the genus *Metarhizium* as an entomopathogenic microbial biocontrol agent with emphasis on its use and utility in Mexico. *Biocontrol Science and Technology*, 29(1), 83–102. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1531111>
- Bullard, G., Pulsford, D., & Rath, A. C. (1993). BioGreen - A new *Metarhizium anisopliae* product for the control of pasture scarabs in Australia. In *Society for Invertebrate Pathology XXVI Annual Meeting, Program and Abstracts* (pp. 1–6). Asheville.
- Burkhardt, C. C. (1955). Preliminary studies on control of white grubs in wheat. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 28(2), 60–63.
- Calcetas, O. A., Adorada, J. L., Adorada, J. R., Caoili, B. L., Rosales, A. M., & Dimapilis, E. F. (2021). New records of scarab insect pests of cacao (*Theobroma cacao* L.) in the Philippines. *Philippine Journal of Science*, 150(5), 1197–1206.
- Carlson, D. C. (1991). Order Coleoptera. Lucanidae, Passalidae, Scarabaeidae (Scarabaeoidea). In F. W. Stehr (Ed.), *Immature insects, Volume 2* (pp. 372–384). Iowa: Kendall/Hunt Publishing.
- Carne, P. B., Greaves, R. T. G., & McInnes, R. S. (1974). Insect damage to plantation-grown eucalypts in North Coastal New South Wales, with particular reference to Christmas beetles (Coleoptera: Scarabaeidae). *Australian Journal of Entomology*, 13(3), 189–206. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1974.tb02173.x>
- Chandel, R. S., Chandla, V. K., Verma, K. S., & Pathania, M. (2013). Insect Pests of Potato in India: Biology and Management. In P. Giordanengo, C. Vincent, & A. Alyokhin (Eds.), *Insect Pests of Potato Global Perspectives on Biology and Management* (pp. 227–245). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386895-4.00008-9>
- Chandel, R. S., Pathania, M., Verma, K. S., Bhattacharyya, B., Vashisth, S., & Kumar, V. (2015). The ecology and control of potato whitegrubs of India. *Potato Research*, 58(2), 147–164. <https://doi.org/10.1007/s11540-015-9295-3>
- Ciss, M., Bassène, M. D., Seck, M. T., Mbaye, A. G., Sall, B., Fall, A. G., ... Bouyer, J. (2019). Environmental impact of tsetse eradication in Senegal. *Scientific Reports*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56919-5>
- Cock, M. J. W., & Allard, G. B. (2013). Observations on white grubs affecting sugar cane at the Juba Sugar project, south-western Somalia, in the 1980s, and implications for their management. *Insects*, 4(2), 241–272. <https://doi.org/10.3390/insects4020241>
- De Goffau, L. J. W. (1996). Population development and dispersal of *Melolontha* and other Scarabaeidae in the Netherlands during the past 10 years. *IOBC/WPRS Bulletin*, 19, 9–14.
- Dolci, P., Guglielmo, F., Secchi, F., & Ozino, O. I. (2006). Persistence and efficacy of *Beauveria brongniartii* strains applied as biocontrol agents against *Melolontha melolontha* in the valley of Aosta (northwest Italy). *Journal of Applied Microbiology*, 100(5), 1063–1072. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02808.x>
- Dworecka-Kaszak, B. (2014). Cordyceps fungi as natural killers, new hopes for medicine and biological control factors. *Annals of Parasitology*, 60(3), 151–158.
- Eberle, J., Myburgh, R., & Ahrens, D. (2014). The evolution of morphospace in phytophagous scarab chafers: No competition - No divergence? *PLoS ONE*, 9(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098536>
- Enkerli, J., Widmer, F., & Keller, S. (2004). Long-term field persistence of *Beauveria brongniartii* strains applied as biocontrol agents against European cockchafer larvae in Switzerland. *Biological Control*, 29(1), 115–123. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(03\)00131-2](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(03)00131-2)
- Erler, F., & Ates, A. O. (2015). Potential of two entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Coleoptera: Scarabaeidae), as biological control agents against the june beetle. *Journal of Insect Science*, 15(1), 1–6. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev029>
- Fătu, A., Dinu, M. M., & Andrei, A. M. (2018). Susceptibility of some Melolonthinae scarab species to entomopathogenic fungus *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.). *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 22, 42–49.
- Ferron, P. (1978). Biological control of insect pests by entomogenous fungi. *Annual Review Of Entomology*, 23(1), 409–442. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.23.010178.002205>
- Fleming, W. E. (1972). *Biology of the Japanese Beetle*. Washington, DC.: USDA Technical Bulletin 1449.
- Frew, A., Barnett, K., Nielsen, U. N., Riegler, M., & Johnson, S.

- N. (2016). Belowground ecology of scarabs feeding on grass roots: Current knowledge and future directions for management in Australasia. *Frontiers in Plant Science*, 7(321). <https://doi.org/10.3389/FPLS.2016.00321>
- Fröschle, M. (1996). Occurrence of the common cockchafer (*Melolontha melolontha* L.) in the state of Baden-Württemberg/Germany. *IOBC/WPRS Bulletin*, 19, 1–4.
- Gibb, T. (2015). Pest Insects. In *Contemporary Insect Diagnostics. The Art and Science of Practical Entomology* (pp. 153–245). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-404623-8.00005-3>
- Giroux, F., Lavallée, R., Bauce, É., & Guertin, C. (2015). Susceptibility of the Japanese beetle, *Popillia japonica* (Newman) (Coleoptera: Scarabaeidae), to entomopathogenic Hypocreales fungi. *Phytoprotection*, 95(1), 1–6. <https://doi.org/10.7202/1028399ar>
- Goettel, M. S., Poprawski, T. J., Vendenberg, J. D., Li, Z., & Roberts, D. W. (1990). Safety to nontarget invertebrates of fungal biocontrol agents. In M. Laird, L. A. Lacey, & E. M. Davidson (Eds.), *Safety of Microbial Insecticides* (pp. 210–224). Boca Raton: CRC Press.
- Goh, H. H., Willoughby, B., Prestidge, R. A., & Lyons, S. N. (1991). Pathogenicity of *Beauveria*, *Metarhizium*, *Paecilomyces* and *Fusarium* isolates against early instar grass grub (*Costelytra zealandica*) larvae. In *Proceedings of the 44th New Zealand Weed and Pest Control Conference* (pp. 209–211). <https://doi.org/10.30843/nzpp.1991.44.10834>
- Gopal, M., Gupta, A., & Thomas, G. V. (2006). Prospects of using *Metarhizium anisopliae* to check the breeding of insect pest, *Oryctes rhinoceros* L. in coconut leaf vermicomposting sites. *Bioresource Technology*, 97(15), 1801–1806. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.005>
- Gyawaly, S., Koppenhöfer, A. M., Wu, S., & Kuhar, T. P. (2016). Biology, ecology, and management of masked chafer (Coleoptera: Scarabaeidae) grubs in turfgrass. *Journal of Integrated Pest Management*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmw002>
- Hajek, A. E., & St. Leger, R. J. (1994). Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Annual Review of Entomology*, 39(1), 293–322. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.39.1.293>
- Hann, P., Trska, C., Wechselberger, K. F., Eitzinger, J., & Kromp, B. (2015). *Phyllopertha horticola* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae in eastern Austrian mountainous grasslands and the associated damage risk related to soil, topography and management. *SpringerPlus*, 4(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-0918-6>
- Hanski, I., & Cambefort, Y. (1991). Resource partitioning. In I. Hanski & Y. Cambefort (Eds.), *Dung Beetle Ecology* (pp. 330–350). Princeton: Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400862092>
- Heath, J. J., Williams, R. N., & Phelan, P. L. (2002). Aggregation and male attraction to feeding virgin females in *Macroductylus subspinosus* (F.) (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae). *Environmental Entomology*, 31(6), 934–940. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-31.6.934>
- Huang, S. W., Zhang, H. Y., Marshall, S., & Jackson, T. A. (2010). The scarab gut: A potential bioreactor for bio-fuel production. *Insect Science*, 17(3), 175–183. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2010.01320.x>
- Ibrahim, R. A. (2017). Laboratory evaluation of entomopathogenic fungi, commercial formulations, against the Rhinoceros beetle, *Oryctes agamemnon arabicus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 27(1), 49–55.
- Jackson, T. A. (1999). Factors in the success and failure of microbial control agents for soil dwelling pests. *Integrated Pest Management Reviews*, 4, 281–285. <https://doi.org/10.1023/A:1009697019677>
- Jackson, T. A., & Klein, M. G. (2006). Scarabs as pests: A continuing problem. *The Coleopterists Bulletin*, 60(5), 102–119. [https://doi.org/10.1649/0010-065x\(2006\)60\[102:sapacp\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1649/0010-065x(2006)60[102:sapacp]2.0.co;2)
- Jameson, M. L., & Ratcliffe, B. C. (2002). Series Scarabaeiformia Crowson 1960, Superfamily Scarabaeoidea Latreille 1802. In R. Arnett Jr., M. C. Thomas, P. E. Skelley, & F. Howard (Eds.), *American Beetles, Volume 2: Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea*. Boca Raton: CRC Press.
- Jessop, L. (1986). Dung beetles and chafers Coleoptera: Scarabaeoidea. In P. C. Barnard & R. R. Askew (Eds.), *Handbooks for the Identification of British Insects Vol. 6, Part 11*. London: Royal Entomological Society of London.
- Keller, S. (2000). Use of *Beauveria brongniartii* and its acceptance by farmers. *IOBC/WPRS Bulletin*, 23, 67–71.
- Kessler, P., Enkerli, J., Schweizer, C., & Keller, S. (2004). Survival of *Beauveria brongniartii* in the soil after application as a biocontrol agent against the European cockchafer *Melolontha melolontha*. *BioControl*, 49, 563–581. <https://doi.org/10.1023/B:BICO.0000036441.40227.ed>
- Kim, S., Kim, J. C., Lee, S. J., Lee, M. R., Park, S. E., Li, D., ... Kim, J. S. (2020). Soil application of *Metarhizium anisopliae* JEF-314 granules to control, flower chafer beetle, *Protaetia brevitarsis seulensis*. *Mycobiology*, 48(2), 139–147. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1735765>
- Kornsakulkarn, J., Saepua, S., Veeranondha, S., Rachtawee, P., Isaka, M., & Thongpanchang, C. (2018). Carboline alkaloids and isocoumarins from the wasp pathogenic fungus *Ophiocordyceps sphecocephala* BCC 2661. *Phytochemistry Letters*, 27, 134–138. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2018.07.020>
- Łabanowska, B., & Bednarek, H. (2011). Efficacy of *Beauveria brongniartii* as Melocont in the control of the European cockchafer (*Melolontha melolontha*). *IOBC/WPRS Bulletin*, 66, 179–182.
- Laengle, T., Pernfuss, B., Seger, C., & Strasser, H. (2005). Field efficacy evaluation of *Beauveria brongniartii* against *Melolontha melolontha* in potato cultures. *Sydowia*, 57(1), 54–66.
- Laznik, Ž., & Trdan, S. (2014). Evaluation of different soil parameters and wild boar (*Sus scrofa* [L.]) grassland damage. *Italian Journal of Animal Science*, 13(4), 759–765. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3434>
- Laznik, Ž., & Trdan, S. (2015). Failure of entomopathogens to control white grubs (Coleoptera: Scarabaeidae). *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 65(2), 95–108. <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.968199>
- LePelley, R. H., & Goddard, W. H. (1952). On the control by

- insecticides of *Heteronychus consimilis* Kolbe (Dynastidae), A serious pest of wheat in Kenya. *Bulletin of Entomological Research*, 43(2), 403–406. <https://doi.org/10.1017/S0007485300040578>
- Lin, W. J., Lee, Y. I., Liu, S. L., Lin, C. C., Chung, T. Y., & Chou, J. Y. (2020). Evaluating the tradeoffs of a generalist parasitoid fungus, *Ophiocordyceps unilateralis*, on different sympatric ant hosts. *Scientific Reports*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63400-1>
- Logan, D. P., Robertson, L. N., & Milner, R. J. (2000). Review of the development of *Metarhizium anisopliae* as a microbial insecticide, BioCane™, for the control of greyback canegrub *Dermolepida albohirtum* (Waterhouse) (Coleoptera: Scarabaeidae) in Queensland sugarcane. *IOBC/WPRS Bulletin*, 23, 131–137.
- Lovett, B., & St. Leger, R. J. (2017). The insect pathogens. *Microbiology Spectrum*, 5(2), 1–19. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0001-2016>
- Malusá, E., Tartanus, M., Furmanczyk, E. M., & Łabanowska, B. H. (2020). Holistic approach to control *Melolontha* spp. in organic strawberry plantations. *Organic Agriculture*, 10, 13–22. <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00295-2>
- Maniania, N. K., Ekesi, S., & Dolinski, C. (2017). Entomopathogens Routinely Used in Pest Control Strategies: Orchards in Tropical Climate. In L. A. Lacey (Ed.), *Microbial Control of Insect and Mite Pests: From Theory to Practice* (pp. 269–282). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00018-4>
- Marchal, M. (1976). Sensibilite a *Beauveria brongniartii* (Fungi imperfecti, Moniliales) des larves de *Melolontha melolontha* L. (Col.: Scarabaeidae) parasites par *Pseudomonocystis* sp. (Sporozoaire, Eugregarinaria). *Comptes Rendus Des Seances de La Societe de Biologie*, 170(2), 295–299.
- Mariau, D. (2001). Coleoptera. In D. Mariau (Ed.), *The Fauna of Oil Palm and Coconut: Insect and Mites Pests and Their Natural Enemies* (p. 118). La Librairie du Cirad Montpellier.
- Mayerhofer, J., Enkerli, J., Zelger, R., & Strasser, H. (2015). Biological control of the European cockchafer: persistence of *Beauveria brongniartii* after long-term applications in the Euroregion Tyrol. *BioControl*, 60(5), 617–629. <https://doi.org/10.1007/s10526-015-9671-6>
- Miah, M. A. H., Biswas, M. M., & Mannan, A. (1986). Effects of some insecticides on white grub control and yield of sugarcane. *Tropical Pest Management*, 32(4), 338–340. <https://doi.org/10.1080/09670878609371089>
- Mora, M. A. E., Castilho, A. M. C., & Fraga, M. E. (2018). Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. *Arquivos Do Instituto Biológico*, 84, 1–10. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000552015>
- Moslim, R., Wahid, M. B., Kamarudin, N., Sharma, M., & Ali, S. R. A. (1999). Impact of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) applied by wet and dry inoculum on oil palm rhinoceros beetles, *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Oil Palm Research*, II(2), 25–40.
- Neuvelgise, C., Brygoo, Y., Vercambre, B., & Riba, G. (1994). Comparative analysis of molecular and biological characteristics of strains of *Beauveria brongniartii* isolated from insects. *Mycological Research*, 98(3), 322–328. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80460-7](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80460-7)
- Niemczyk, M., Sierpińska, A., Tereba, A., Sokołowski, K., & Przybylski, P. (2019). Natural occurrence of *Beauveria* spp. in outbreak areas of cockchafer (*Melolontha* spp.) in forest soils from Poland. *BioControl*, 64(2), 159–172. <https://doi.org/10.1007/s10526-019-09927-3>
- Oliveira, C. M., & Frizzas, M. R. (2013). Field biology of the beetle *Aegopsis bolboecidus* in Brazil, with a list of host plants. *Journal of Insect Science*, 13(48). <https://doi.org/10.1673/031.013.4801>
- Oliveira, C. M., & Frizzas, M. R. (2021). Root consumption and damage estimates caused by *Phyllophaga capillata* and *Aegopsis bolboecidus* (Coleoptera, Melolonthidae) larvae in soybean and maize in central Brazil. *Crop Protection*, 146, 105651. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105651>
- Pathania, M., & Chandel, R. S. (2017). Life history strategy and behaviour of white grub, *Brahmina coriacea* (Hope) (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae) an invasive pest of potato and apple agro-ecosystem in northwestern India. *Oriental Insects*, 51(1), 46–69. <https://doi.org/10.1080/00305316.2016.1247756>
- Poprawski, T. J., & Yule, W. N. (1991). Incidence of fungi in natural populations of *Phyllophaga* spp. and susceptibility of *Phyllophaga anxia* (LeConte) (Col., Scarabaeidae) to *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina). *Journal of Applied Entomology*, 112, 359–365. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1991.tb01068.x>
- Požnel, A. (2007). Izkušnje pri zatiranju poljskega majskega hrošča (*Melolontha melolontha* L.) na Idrijskem. In *Zbornik predavanj in referatov 8. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin* (pp. 72–77).
- Putnoky-Csicsó, B., Tonk, S., Szabó, A., Márton, Z., Bogdányi, F. T., Tóth, F., ... Balog, A. (2020). Effectiveness of the entomopathogenic fungal species *Metarhizium anisopliae* strain NCAM 362 treatments against soil inhabiting *Melolontha melolontha* larvae in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Fungi*, 6(116), 1–16. <https://doi.org/10.3390/jof6030116>
- Qu, S., & Wang, S. (2018). Interaction of entomopathogenic fungi with the host immune system. *Developmental and Comparative Immunology*, 83, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2018.01.010>
- Radcliffe, E. B., & Lagnaoui, A. (2007). Insect pests in potato. In D. Vreugdenhil (Ed.), *Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives* (pp. 543–567). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-044451018-1/50067-1>
- Ranganathaiah, K. G., Veeresh, G. K., & Govindu, H. C. (1973). A new entomogenous fungus on the root grub, *Holotricha serrata* F. from Mysore. *Current Science*, 42(12), 432–433.
- Ratcliffe, B. C. (2002). A checklist of the Scarabaeoidea (Coleoptera) of Panama. *Zootaxa*, 32(1), 1–48. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.32.1.1>
- Rath, A. C., Koen, T. B., & Rowe, B. A. (1995). Long-term field efficacy of the entomogenous fungus *Metarhizium anisopliae* against the subterranean scarab, *Adoryphorus couloni*. *Biocontrol Science and Technology*, 5(4), 439–452. <https://doi.org/10.1080/09583159550039639>

- Reddy, S. G. E. (2020). *Lecanicillium* spp. for the management of aphids, whiteflies, thrips, scales and mealy bugs: review. In *Arthropods*. IntechOpen.
- Rehner, S. A. (2005). Phylogenetics of the Insect Pathogenic Genus *Beauveria*. In F. E. Vega & M. Blackwell (Eds.), *Insect-Fungal Associations. Ecology and Evolution*. New York: Oxford University Press.
- Ritcher, P. O. (1966). *White grubs and their allies: A study of North American scarabaeoid larvae*. Corvallis, Oregon: Oregon State University Press.
- Saleem, A. R., & Ibrahim, R. A. (2019). Assessment of the virulence and proteolytic activity of three native entomopathogenic fungi against the larvae of *Oryctes agamemnon* (Burmeister) (Coleoptera: Scarabaeidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0120-1>
- Sallam, M. N., Mcavoy, C. A., Samson, P. R., & Bull, J. J. (2007). Soil sampling for *Metarhizium anisopliae* spores in Queensland sugarcane fields. *BioControl*, 52(4), 491–505. <https://doi.org/10.1007/s10526-006-9038-0>
- Sevim, A., Demir, I., Höfte, M., Humber, R. A., & Demirbag, Z. (2010). Isolation and characterization of entomopathogenic fungi from hazelnut-growing region of Turkey. *BioControl*, 55(2), 279–297. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9235-8>
- Shanovich, H. N., Dean, A. N., Koch, R. L., & Hodgson, E. W. (2019). Biology and management of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in corn and soybean. *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1). <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz009>
- Sharma, A., Chandla, V. K., & Thakur, D. R. (2012). Biodiversity and pathogenicity potential of mycoflora associated with *Brahmina coriacea* in potato fields of North-Western Indian Hills. *Journal of Entomology*, 9, 319–331. <https://doi.org/10.3923/je.2012.319.331>
- Sharma, L., & Marques, G. (2018). *Fusarium*, an entomopathogen—a myth or reality? *Pathogens*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/pathogens7040093>
- Shrestha, B., Tanaka, E., Hyun, M. W., Han, J.-G., Kim, C. S., Jo, J. W., ... Sung, G.-H. (2016). Coleopteran and lepidopteran hosts of the entomopathogenic genus *Cordyceps* sensu lato. *Journal of Mycology*, 2016, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2016/7648219>
- Sierpińska, A., Popowska-Nowak, E., & Bednarek, A. (2015). *Beauveria brongniartii* Sacc. (Petch) against *Melolontha* spp. white grubs in forest nurseries with different soil pH. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 57(4), 210–217. <https://doi.org/10.1515/ffp-2015-0021>
- Sinha, K. K., Choudhary, A. K., & Kumari, P. (2016). Entomopathogenic Fungi. In Omkar (Ed.), *Ecofriendly Pest Management for Food Security* (pp. 475–505). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00015-4>
- Sosa-Gómez, D. R., López Lastra, C. C., & Humber, R. A. (2010). An overview of arthropod-associated fungi from Argentina and Brazil. *Mycopathologia*, 170(1), 61–76. <https://doi.org/10.1007/s11046-010-9288-3>
- St. Leger, R. J., Screen, S. E., & Shams-Pirzadeh, B. (2000). Lack of host specialization in *Aspergillus flavus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(1), 320–324. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.1.320-324.2000>
- Teetor-Barsch, G. H., & Roberts, D. W. (1983). Entomogenous *Fusarium* species. *Mycopathologia*, 84, 3–16. <https://doi.org/10.1007/BF00436991>
- Visagie, C. M., Houbraken, J., Frisvad, J. C., Hong, S. B., Klaassen, C. H. W., Perrone, G., ... Samson, R. A. (2014). Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Studies in Mycology*, 78(1), 343–371. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.09.001>
- Wagenhoff, E., Blum, R., & Delb, H. (2014). Spring phenology of cockchafer, *Melolontha* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae), in forests of south-western Germany: Results of a 3-year survey on adult emergence, swarming flights, and oogenesis from 2009 to 2011. *Journal of Forest Science*, 60(4), 154–165. <https://doi.org/10.17221/5/2014-jfs>
- Wightman, J. A., Brier, H. B., & Wright, G. C. (1994). The effect of root damage caused by simulated white grub attack on the growth, yield and water-use of groundnut plants. *Plant and Soil*, 160(2), 267–275. <https://doi.org/10.1007/BF00010152>
- Williamson, R. C., Brandenburg, R., & Thompson, S. (2004). Turfgrass Insects of the United States: Biology and Management. In *Encyclopedia of Entomology* (pp. 2372–2403). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/0-306-48380-7_4440
- Willis, J. H. (1959). Australian species of the fungal genus *Cordyceps* (Fr.) Link (with critical notes on collection in Australian herbaria). *Muelleria*, 1, 68–89.
- Xu, J., Liu, N., & Zhang, R. (2013). Other Pests - China. In P. Giordanengo, C. Vincent, & A. Alyokhin (Eds.), *Insect Pests of Potato Global Perspectives on Biology and Management* (pp. 212–217). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386895-4.00007-7>
- Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(6), 553–596. <https://doi.org/10.1080/09583150701309006>