

Dinka Grubišić¹, Vedran Grozdanić¹, Lorena Nimac¹, Paula Makjanić¹,
Tara Zamuda¹, Maja Čačija¹, Ivan Juran¹

Pregledni rad

Grinje u tlu kao bioindikatori stanja i promjena u agroekosustavu

Sažetak

Tlo je jedan od najsloženijih ekosustava na Zemlji, a njegova funkcionalnost ovisi o bogatstvu i raznolikosti organizama koji ga nastanjuju. Među grinjama koje nastanjuju tlo, vrstama su najzastupljeniji redovi Acariformes i Parasitiformes, odnosno četiri najvažnija podreda: Prostigmata, Astigmata, Mesostigmata i Oribatida, od kojih svaki ima specifičnu ulogu u tlu. Više od 10 300 vrsta podreda Oribatida, koje pripadaju u 177 različitih porodica, čine najbrojniju skupinu člankonožaca u tlu. Grinje toga podreda jedne su od najvažnijih razlagača organske tvari u tlu, a njihova brojnost i raznolikost vrsta mogu poslužiti kao indikatori stanja ili zdravlja tla. Raznolikost grinja ovisi o brojnim ekološkim faktorima, biljnom pokrovu te antropogenom utjecaju. Njihova otpornost na promjene u okolišu varira ovisno o vrsti, pri čemu su neke populacije izuzetno osjetljive na uznemirenja, dok su druge manje ili više prilagodljive. Smanjenje brojnosti i raznolikosti grinja često se povezuje s primjenom pesticida i umjetnih gnojiva, dok održive poljoprivredne prakse, poput minimalne obrade tla i primjene organskih gnojiva, mogu pridonijeti očuvanju njihovih populacija i funkcionalnosti tla.

Ključne riječi: Oribatida, fauna tla, antropogeni utjecaj, klimatske promjene, održive poljoprivredne prakse, bioraznolikost

Uvod

Svako tlo, obrađeno ili neobrađeno, sadrži u sebi veliki broj životinjskih organizama. Tlo je izvor bioraznolikosti (Coleman i Whitman, 2005, Ritz i sur., 2009), a neki ekolozi i genetičari smatraju ga i najvećim izvorom bioraznolikosti na Zemlji (Lescroart, 2009). U tlu se nalaze brojne vrste člankonožaca (skokunaca, grinja, termita, stonoga, pauka, jednakonožaca, kornjaša). Uz njih u tlu obitavaju alge, bakterije, gljive, praživotinje, gujavice, manji kralježnjaci i nematode. U šaci zemlje mogu se naći bilijuni bakterija i više od 16 km hifa gljiva, a brojnost oklopnih grinja može dosegnuti i 400 000 jedinki/m² (Hoy, 2011. cit. Krivolutsky i Druk, 1986).

Grinje koje obitavaju u tlu jedna su od važnih komponenata ekosustava u kojemu reguliraju ključne funkcionalne procese. One pridonose razgradnji i mineralizaciji organske tvari (Seastedt, 1984,) te reguliraju mikrofaunu i mikrofloru (Seastedt, 1984,). Grinje u tlu pred-

1 prof. dr. sc. **Dinka Grubišić**, **Vedran Grozdanić**, mag. ing. agr., **Lorena Nimac**, univ. bacc. ing. agr., **Paula Makjanić**, univ. bacc. ing. agr., **Tara Zamuda**, univ. bacc. ing. agr., izv. prof. dr. sc. **Maja Čačija**, izv. prof. dr. sc. **Ivan Juran**, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska
Autor za korespondenciju: djelinic@agr.hr

stavljaju četiri najvažnija podreda: Prostigmata, Astigmata, Mesostigmata i Oribatida. Grinje iz podreda Oribatida tamno su obojenoga i čvrstog egzoskeleta te ih se nalazi pod nazivom oklopne grinje ili grinje mahovinarke, s obzirom na jednu od sredina u kojoj žive, a to su mahovine. Te grinje su najbrojniji člankonošci koji žive u tlu (brojem vrsta i brojem jedinki) i čine više od 50 % ukupne populacije mikro-člankonožaca, a njihova brojnost varira od 50 000 /m² u tropskim do 300 000 /m² u borealnim šumskim područjima bogatima organskom tvari (Balogh, 1972, Patel i sur., 2022). Opisano je više od 10 300 vrsta koje pripadaju u 177 porodica (Dhooria, 2016). Vrste podreda Oribatida pronađene su u fosilnim ostacima iz perioda karbona (Vacante, 2016. cit. Labandeira i sur., 1997), a najstariji fosilni ostaci potječu iz perioda devona (Vacante, 2016. cit. Norton i sur., 1988) od kojih su neke vrste pripadnici i danas živućih porodica (Vacante, 2016. cit. Subias i Arillo, 2002).

Najvažnije porodice grinja podreda Oribatida i njihovi predstavnici u tlu su: Brachychthoniidae (*Brachychthonius bimaculatus* Willmann), Cosmochthoniidae (*Cosmochthonius* sp.), Camisiidae (*Camisia biurus* (Koch), *Camisia horrida* (Hermann)), Trhypochthoniidae (*Mucronothrus nasalis* Willmann), Gymnodamaeidae (*Gymnodamaeus* sp.), Damaeidae (*Belba* sp.), Eremaeidae (*Eremaeus occidentalis* Behan-Pelletier), Liacaridae (*Dorycranosus* spp.), Carabodidae (*Carabodes* spp.), Oppiidae (*Oppia* spp., *Oppiella* spp.), Scutoverticidae (*Exochocephus eremitus*), Scheloribatidae (*Scheloribates pallidulus* Koch), Oribatulidae (*Oribatula* spp., *Zygoribatula* spp.), Ceratozetidae (*Ceratozetes cuspidatus* Jacot), Mycobatidae (*Mycobates altus*) i Oribatellidae (*Oribatella* sp.) (Dhooria, 2016).

Iako neke vrste Oribatida nastanjuju drveće, a neke žive u akvatičnim ekosustavima, većinom su stanovnici tla, gdje se hrane gljivama i raspadajućim biljnim ostacima u kombinaciji s drvetom, vodenim biljem i lišajevima, mahovinom, oportunistički nematodama i malim mrtvim beskralježnjacima, a mnoge vrste su i posredni domaćini trakavica. Najmanje 47 vrsta iz 32 roda Oribatida prenosi 12 vrsta trakavica koje mogu parazitirati ovce, konje, krave, voluharice i čovjeka, a sisavci ih usvajaju prilikom hranidbe (Hoy, 2011. cit. Haq, 2001). U zaštićenim prostorima i u nekim poljoprivrednim usjevima na otvorenom, vrste podreda Oribatida mogu uzrokovati manje štete hranidbom na korijenju, listovima ili plodovima kultura (Hoy, 2011. cit. (Jeppson i sur., 1975, Zhang, 2003)). Dokazano je i kako jedinke na izbočinama tijela, dlakama i dijelovima usnog aparata mogu prenijeti spore fitopatogenih gljiva s biljke na biljku (Oštrec, 1977. cit. Jacot, 1930). Neke vrste pronađene su uzorkovanjem i na voću, povrću i gljivama u prodavaonicama, a utvrđeno je kako čak 50 % jedinki ostane na površini proizvoda (jagoda, malina i ribiza) i nakon ispiranja (Hoy, 2011. cit. Skubala i sur., 2006).

Antropogene aktivnosti sve su važnije u oblikovanju organizacija biotičkih zajednica (Gan, 2013. cit. Sampson i Groves, 1989). Globalno zagrijavanje izazvalo je nepovratne promjene u strukturama i funkcijama mnogih biljnih i životinjskih zajednica (Gan, 2013. cit. (Korijen i sur., 2003, Memmott i sur., 2007)). Sve je više dokaza koji potvrđuju da klimatske promjene kao i korištenje obradivih površina mogu imati štetne učinke na mnoge skupine životinja u tlu (Gan, 2013. cit. (Blankinship i sur., 2011, Eisenhauer i sur., 2012)). Zajednica grinja u tlu smatra se korisnim bioindikatorom stanja i promjena u ekosustavu (Balogh, 1972, Parisi i sur., 2005).

Grinje podreda Oribatida kao indikatori promjena u tlu

Grinje podreda Oribatida imaju spori razvoj, slabu plodnost i dugotrajan razvoj ličinke te mogu biti korisne u indicaciji dugotrajnih poremećaja. Njihova slaba sposobnost rasprostranjivanja (Gergőcs i Hufnagel, 2009. cit. Lebrun i van Straalen, 1995) također je vrlo važna, bu-

dući da te grinje teško mogu migrirati s mjesta pod utjecajem neke vrste stresa. Brojni istraživači smatraju da je ova skupina grinja prilično obećavajuća jer se može koristiti u razne indikacijske svrhe. Dvije najčešće svrhe su istraživanje pojedinačnih vrsta podreda Oribatida ili njihovih zajednica kroz funkciju dobro definiranih varijabli. Te varijable mogu biti sadržaj vode, temperatura, koncentracija teških metala i količina organske tvari. Druga svrha je, primjerice, utvrđivanje antropogenog utjecaja, kroz usporedbu zajednica Oribatida u različitim staništima ili utvrđivanje razlika između staništa (Gergócs i Hufnagel, 2009).

Utjecaj temperature i vlage, teških metala i organske tvari na populaciju grinja u tlu

Većina grinja nalazi se u površinskih sedam do osam cm tla, a njihova pokretljivost je ograničena, stoga se radi potrebe preživljavanja nepovoljnih uvjeta glede temperature i vlažnosti, često zadržavaju ispod biljaka, biljnih ostataka, u raspadajućem drvetu ili ispod kamenja, gdje je relativna vlaga visoka (Hoy, 2011). Grinje migriraju u dublje slojeve tla tijekom dugotrajnijih promjena vremenskih prilika u svim godišnjim dobima te reagiraju na temperaturni gradijent od svega 0,1 °C (Krivolutsky, 1973). Negativan utjecaj visokih temperatura na vrste Oribatida zabilježen je tek iznad 35 °C. Razina tolerancije usko je povezana s količinom vlage u tlu (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. Hodgkinson i sur., 1996). Također je utvrđen utjecaj ekstremnih dnevnih temperaturnih kolebanja na preživljavanje i reprodukciju nekih vrsta Oribatida (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. Uvarov, 2003). Kolebanje temperatura od 5 do 25 °C imalo je znatan negativan učinak dok je kolebanje od 10 do 20 °C poboljšalo reprodukciju. Promjene u temperaturi nisu imale direktnog učinka na strukturu populacija. Prema tome, ukoliko promjena u temperaturi ima znatan utjecaj u strukturi populacije Oribatida, uzrok tome vjerojatno je indirektan, preko drugog faktora koji je promijenjen zbog razlike u temperaturi, kao što je količina hrane, populacija predatora ili kompetitora (Gergócs i Hufnagel, 2009).

Vlaga u tlu je jedan od najvažnijih faktora koji utječe na život Oribatida. One preferiraju vlažnija staništa i osjetljive su na sušu. U istraživanjima u tropskim predjelima, gustoća populacije Oribatida u uzorcima tla bila je znatno veća u kišnoj sezoni, nego u suhoj (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. (Trueba i sur., 1999, Badejo i Akinwole, 2006)). Prema istraživanjima Gergócs i Hufnagel (2009) cit. Taylor i Wolters (2005) odrasle jedinke mogu tolerirati velik raspon količine vlage, dok su ličinke i nimfe izrazito osjetljive. Također je utvrđeno i da količina vlage ne utječe na grinje direktno, nego preko gljiva i mikroorganizama koji im služe kao hrana (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. Lindberg i sur., 2002, 2006). Masa i raznolikost vrsta gljiva u tlu koje su važan izvor hrane za grinje opada u slučaju suše. Ovipozicija nekih vrsta grinja vezana je za određene vrste gljiva (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. (Hågvar, 1998, Lindberg i sur., 2002)). Vrste koje se razmnožavaju partenogenezom manje su otporne na sušu u odnosu na vrste koje se razmnožavaju spolno (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. Lindberg i Bengtsson, 2005). Također, kretanje grinja na tlu i na lišću drveća prvenstveno nije ograničeno fizičkim preprekama, nego sadržajem vode (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. Lindo i Winchester, 2006), a neke veće vrste u sušnim uvjetima teško prodiru u dublje slojeve tla (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. Lindberg i sur., 2002, 2006). Prema Gergócs i Hufnagel (2009) cit. Taylor i Wolters (2005) sušni uvjeti mogu se manifestirati kroz smanjenje brojnosti ukupne populacije grinja, ali i kroz smanjenje broja vrsta. Samo u rijetkim slučajevima, kao što je utvrđeno kod vrste *Disshorina ornata*, grinje mogu biti tolerantne na sušne uvjete. Prema Tsiafouli i sur. (2005) provedena su kratkoročna istraživanja primjene različitih metoda navodnjavanja i isušivanja površina i utvrđeno je da je suša smanjila raznolikost

vrsta Oribatida i Collembola (razlike u brojnosti nisu bile značajne), dok je navodnjavanje povećalo raznolikost obje skupine. Ovaj fenomen je mogao biti uzrokovan razmnožavanjem rijetkih vrsta nakon navodnjavanja (Tsiafouli i sur., 2005). Populacije grinja podreda Oribatida puno su osjetljivije i sporije se regeneriraju u odnosu na populacije Collembola i Mesostigmata (Lindberg i Bengtsson, 2006).

U umjerenim klimatskim područjima, vrhunac populacije Oribatida utvrđen je kroz je-senske i zimske mjesece, dok sredinom ljeta populacija pada. Prema Dhooria (2016) maksimalna brojnost odraslih oblika utvrđena je kroz ljeto. Općenito, sadržaj vlage i temperatura tla najvažniji su limitirajući faktori populacije grinja, no oni su uvijek povezani s oborinama, vegetacijom i sadržajem organske tvari u tlu.

Brojna istraživanja bavila su se utjecajem teških metala (Zn, Cu, Ni i Pb) na populaciju Oribatida. Prema Gergócs i Hufnagel (2009) cit. (Zaitsev i sur., 2001, Seniczak i sur., 1995) onečišćenje tla teškim metalima prvotno uzrokuje smanjenje brojnosti populacije, dok neki autori tvrde da su pogođene i brojnost i raznolikost populacija (Gergócs i Hufnagel, 2009) cit. (Cortet i sur., 1999, Stamou i sur., 1995, Steiner, 1995, Skubala i Kafel, 2004)). U istraživanjima u blizini tvornice Zn, utvrđeno je kako unatoč iznimno visokim koncentracijama Zn nije došlo do značajnog smanjenja brojnosti populacija Oribatida u usporedbi s kontrolom, te je zaključeno kako Zn nema značajan utjecaj na tu skupinu grinja. Nekoliko istraživanja ukazalo je i na pojavu povećanja brojnosti nekih vrsta pod utjecajem niskih koncentracija teških metala u tlu (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. (Denneman i Van Straalen, 1999, Hopkin i sur., 1985, Gackowski i sur., 1997, Skubala i Kafel, 2004)). U nekim slučajevima na površinama s velikim koncentracijama Zn, Cu, Cd i Pb, utvrđena je najveća raznolikost vrsta Oribatida. Na istim površinama utvrđena je i najviša koncentracija Mg i Ca, a rezultati ukazuju na veći utjecaj tih metala na populaciju Oribatida, nego je to utjecaj teških metala. Kroz brojna provedena istraživanja utvrđeno je da najjači negativan utjecaj na populaciju Oribatida ima Pb, a promjene su uglavnom bile kvalitativne (Gergócs i Hufnagel, 2009).

Prema Gergócs i Hufnagel (2009) cit. Seniczak i sur. (1995) vrste Oribatida, s obzirom na prisutnost teških metala u tlu, svrstane su u kategorije: više osjetljive, manje osjetljive i tolerantne. Neke vrste Oribatida mogu akumulirati velike količine teških metala, ali između vrsta postoje velike razlike (Zaitsev i van Straalen, 2001). Veliki dio Oribatida jesu fungivore, a gljive mogu vrlo učinkovito usvajati teške metale iz tla te ih akumulirati, a posljedično ih usvajaju i akumuliraju i grinje.

Brojna istraživanja utvrdila su korelaciju između sadržaja organske tvari i struktura zajednica Oribatida. Utvrđena je pozitivna korelacija prvenstveno između postotka sadržaja ugljika u tlu i brojnosti populacija (Kováč i sur., 2001) kao i raznolikosti vrsta Oribatida (Scheu i Schultz, 1996). Utvrđeno je i kako sadržaj dušika u tlu može biti odlučujući, u nekim slučajevima čak i više nego ugljik (Mitchell i sur., 2007).

Prema nekim istraživanjima (Gergócs i Hufnagel, 2009. cit. (Osler i Murphy, 2005, Cepeda-Pizarro i sur., 1996, Salmon i sur., 2006, Cole, 2008)) sadržaj organske tvari u tlu (nakon dodavanja C, N i P) nije imao značajan utjecaj na brojnost i raznolikost zajednice Oribatida.

Istraživanja je često teško uspoređivati, a kako bi se došlo do točnijih zaključaka, trebalo bi standardizirati metode uzorkovanja tla i utvrditi koji faktori ili komponente sadržaja organske tvari u tlu imaju najveći utjecaj na grinje. Određivanje ukupnog C (%) u tlu može se smatrati prikladnom metodom, ali u nekim slučajevima to nije dovoljno. Podaci o primjeni gnojidbe također nisu dovoljni. Bilo bi korisno mjeriti sadržaj organske tvari pri uzimanju uzoraka tla za potrebe izdvajanja grinja (Gergócs i Hufnagel, 2009).

Promjene u strukturi zajednica Oribatida u agroekosustavima

Agroekosustav je sustav stvoren i održavan djelovanjem čovjeka. Osim što je izuzetno uznemiren u smislu fizikalnih i kemijskih utjecaja, on sadrži i „neprirodne“ biljne zajednice, također formirane djelovanjem čovjeka (Crossley i sur., 1992). Prema procjenama U.S. Department for Agriculture Natural Conservation Service, šumska tla sadrže 10 000 – 25 000 člankonožaca po 0.093 m², dok ih poljoprivredna tla sadrže samo 100 (Hoy, 2011). Obrada tla, plodored, monokultura, primjena pesticida i umjetnih gnojiva, ubrzo eliminiraju vrste osjetljive na uznemirenje, isušivanje ili destrukciju njihovih staništa, posebno one vrste koje imaju dugi životni ciklus, poput Oribatida. Istovremeno mogu ubrzati umnožavanje preostalih grupa člankonožaca, poput Prostigmata. Iako su često zastupljene u velikom broju u tlima koja se obrađuju, puno se veći broj vrsta Oribatida nalazi u tlima obližnjih šuma. Na poljoprivrednoj površini u Švedskoj na kojoj su uzgajane kulture 100 godina, podred Oribatida bio je zastupljen sa svega tri vrste, *Oppiella nova*, *Oppia spp.* i *Tectocepheus spp.* (Lagerlöf i Andrén, 1988), dok je pronađeno 10 vrsta Mesostigmata i osam vrsta Prostigmata. Slično, na obradivim površinama u Alberti, ostavljenima na ljetnom ugaru, utvrđeno je samo dvije vrste Oribatida (*Tectocepheus velatus* i *O. nova*) dok je u istom tlu utvrđeno po sedam vrsta Mesostigmata i Prostigmata (Berg i Pawluk, 1984). To ukazuje na generalno nisku metaboličku stopu, spor razvoj i nisku plodnost Oribatida koje nakon uznemirenja ne mogu brzo odgovoriti porastom populacija. Po uznemirenju tla, njihove populacije opadaju brzo, što je karakteristika koja omogućuje potvrdu degradacije okoliša (Lebrun i Van Straalen, 1995).

U istraživanjima utjecaja dušika na zajednicu Oribatida u tlu, utvrđeno je kako je većina preživjelih jedinki (71%) identificirana kao *O. nova*, koja ima najizraženiji kozmopolitski karakter od svih vrsta podreda Oribatida i smatra se pionirskom vrstom i dominantnom vrstom u visokozniznim ekosustavima (Gan, 2013. cit. (Marshall i sur., 1987, Siepel, 1996)).

Rodovi podreda Oribatida koji su utvrđeni u kultiviranim tlima također su nalaženi i u teško uznemirenim tlima kao što su nalazišta ruda (Behan - Pelletier, 1999). Neke od vrsta nalaženih na tim staništima pripadaju porodicama Brachychthoniidae, Tectocepheidae i Oppiidae. Neki od primarnih kolonizera na poljoprivrednim površinama su vrste rodova *Brachychthonius*, *Tectocepheus*, *Oppia* i *Suctobelba* (Karg, 1978). Na tlima uz prometnice u Japanu zabilježeni su rodovi *Oppia*, *Quadroppia*, *Tectocepheus*, *Oribatula* i *Eremulus* (Aoki i Kuriki, 1980), a mnoge vrste unutar ovih rodova također su pionirske, prilagođene sušnim uvjetima ili otporne na isušivanje.

Za razliku od Oribatida, grinje podreda Astigmata dobro su zastupljene na obradivim površinama. One su specijalisti za iskorištavanje prostorno i vremenski ograničenih mikro-staništa (Norton i sur., 1993) te su i brojčano i s raznolikošću vrsta prisutne u agroekosustavima. Njihove populacije značajno rastu kao rezultat aktivnosti čovjeka, kao što su obrada tla ili primjena gnojidbe. Njihov porast moguće je povezan s opadanjem populacije predatora, njihovim kratkotrajnim životnim ciklusom i brzim razvojem novih generacija te hypopus stadijem koji je pogodan za rasprostranjivanje.

Pojava i raznolikost grinja u tlu opada s porastom dubine tla, a uvelike je i pod utjecajem načina obrade tla. Dublja i češća obrada tla reducira brojnost organizama u tlu, dok reducira obrada ili obrada tla u trakama održava brojnost i raznolikost vrsta (Hoy, 2011). Prema Hulsmann i Wolters (1998) raznolikost i brojnost grinja ovise o vrsti i trajanju obrade te je utvrđeno kako je ukupna brojnost grinja smanjena za više od 50%, dok je raznolikost pala za oko 30%.

Zanimljivo je istaknuti kako se zajednice grinja na površinama koje graniče s obradivim površinama kao što su živice, neobrađeni jarci, zatravljeni rubovi parcela ili međe, mogu bitno razliko-

vati. One mogu imati drugačiju strukturu i brojnost populacija grinja. Te granične nekultivirane površine mogu funkcionirati kao izvori bioraznolikosti i izvor kolonizirajućih vrsta u poljoprivrednom krajoliku (Behan – Pelletier, 1999. cit. (Paoletti, 1988, Miko, 1993, Sgardelis i Usher, 1994)).

Za razliku od grinja podredova Astigmata, Mesostigmata i Prostigmata, čije populacije rekoloniziraju uznemirene površine unutar nekoliko mjeseci, grinje podreda Oribatida trebaju značajno duže vrijeme. Prema Karg (1978) vrste podreda Oribatida su nanovo naselile površine pod travnjakom kroz četiri do sedam, pa čak i do 10 godina. Ako uzmemo u obzir kako normalna praksa plodoreda traje tri do sedam godina, vrlo je teško očekivati da će se zajednica Oribatida stabilizirati ili vratiti na razinu prije uznemirenja.

S obziroma da nematode podreda Oribatida dosta predvidivo reagiraju na brojna uznemirenja poljoprivrednih tala, njihove zajednice mogu poslužiti kako bi se odredila kvaliteta tla, odnosno je li ono poboljšano ili mu je kvaliteta narušena. Prilikom te procjene dobro je utvrditi i fizikalno - kemijsko stanje tla.

Učinak pesticida i gnojidbe na zajednicu Oribatida

Kao i na druge beskralježnjake, i na grinje podreda Oribatida pesticidi mogu djelovati različito. Tako su prema Al-Assiuty i sur. (2014) cit. Stark (1992) vrste Oribatida bile neosjetljive na insekticide (klorpirifos), dok su azadirahthin kao i niske razine bakra, 2,4,6 - trinitrotoluen i p - nitrophenol na njih imali negativan učinak (Al-Assiuty i sur., 2014. cit. Parmelee i sur., 1993). Istraživanje utjecaja regulatora rasta na ekološki značajnu grinju *Scheloribates laevigatus* provedeno je u laboratorijskim uvjetima korištenjem četiri regulatora rasta: indoksikarba, klorfluazurona, triflumurona i flufenoksurona. Rezultati su pokazali značajan utjecaj na životne parametre ove grinje, a došlo je do smanjene stope preživljavanja, smanjene reprodukcije i produljenja razvojnih faza, što ukazuje na to da dugotrajna primjena ovih spojeva može imati ozbiljne posljedice na ekosustave tla (Heba i sur., 2023). Silva i sur. (2017) istraživali su toksičnost imidakloprida i tiakloprida na grinju *Oppia nitens*. Rezultati su potvrdili visoku tolerantnost i neosjetljivost ove grinje čak i pri koncentracijama iznad 1000 mg kg⁻¹ suhe mase. Laboratorijska testiranja acetamiprida nisu pokazala osjetljivost grinja na ovaj neonikotinoid. Sedam dana nakon primjene zabilježeno je povećanje populacije grinja do 26,1 % pri višim dozama, dok se nakon 56 dana populacija i dalje povećavala, dosegnuvši rast od 42,2 % (Ligtelijn i sur., 2024). Deltametrin, sintetski piretroid široke primjene, testiran je na populacije grinja iz podreda Oribatida u konvencionalnoj obradi tla i sustavu bez obrade (no-till). Rezultati su pokazali da se deltametrin brzo razgrađuje te ima minimalan utjecaj na grinje, što potvrđuje njihovu otpornost. Pritom je obrada tla imala veći utjecaj na brojnost populacije, nego sama primjena insekticida. Iako deltametrin nema izravne štetne učinke na grinje, može neizravno utjecati na njihov ekosustav kroz promjene u dostupnosti hrane i interakcije s drugim organizmima u tlu (Filho, 2007). Istraživanja su također pokazala da biološki insekticid Dipel® WP, čija je aktivna tvar *Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki*, nema štetan učinak na ciljani organizam – u ovom slučaju grinju *Scheloribates praeincisus* iz podreda Oribatida (Oliveira i sur., 2007).

Primjena kemijskih fungicida na bazi metalaksila i bakarnog oksiklorida te mankozeba i dva biološka fungicida na osnovu antagonističke gljive *Trichoderma harzianum* i parazitske vrste *Pythium oligandrum*, pokazala je kako su biofungicidi imali manji negativan učinak na brojnost populacije i strukturu zajednica Oribatida, nego kemijski fungicidi. Rezultati ukazuju kako su biofungicidi poželjnija opcija ako nam je cilj spriječiti negativne nuspojave na osjetljive skupine Oribatida (Al-Assiuty i sur., 2014).

Istraživan je i utjecaj nekoliko pre-em herbicida na bazi aktivnih tvari azafenidin, oksifluorfen te kombinacije imazakina i pendimetalina na brojnost i strukturu zajednice grabežljivih grinja iz podreda Gamasina te saprofagnih i/ili mikofagnih grinja iz podreda Oribatida. Najveći negativan učinak na brojnost i raznolikost grinja iz podreda Oribatida imali su herbicidi na bazi azafenidina i oksifluorfena. Posebno su bile pogođene dvije vrste grinja iz ovoga podreda – *Sellnickochthonius immaculatus* i *Liochthonius lapponicus*, čija je brojnost značajno smanjena na svim tretiranim parcelama. S druge strane, pokrovni usjevi ublažili su negativne učinke herbicida. Osjetljivost grinja iz podreda Oribatida na herbicide može biti posljedica neizravnog utjecaja ovih kemikalija na mikrofaunu tla (Minor i Norton, 2008).

Studije utjecaja gnojidbe na zajednice Oribatida donose različite učinke; od porasta populacija po primjeni NPK gnojiva do negativnih učinaka. Tako je u istraživanju Gan (2013), a po dodavanju N u različitim koncentracijama u tlo, zabilježena smanjena brojnost populacija mikročlankonožaca (Oribatida, Collembola i Mesostigmata) za 44 %. Iako nije došlo do promjena u bioraznolikosti populacija mikročlankonožaca, došlo je do povećanja brojnosti pojedinih vrsta unutar populacije Oribatida, kao posljedica specifičnog odgovora vrsta na povećanu koncentraciju N. Značajne promjene u brojnosti Oribatida upozoravaju na potencijalni negativan utjecaj na razgradnju organske tvari u tlu i funkcioniranje ekosustava.

Primjena vapna također je uzrokovala pad populacije Oribatida (Dhooria, 2016), za razliku od primjene stajskog gnojiva koja dovodi do porasta populacije Oribatida i ostalih grinja u tlu (Tomlin i Miller, 1987).

Zaključak

Grinje podreda Oribatida smatraju se najvažnijom skupinom člankonožaca koji sudjeluju u formiranju i održavanju strukture tla. One su važni dionici u razgradnji organske tvari u tlu, koji svojom aktivnošću, a posebice kroz produkciju i izlučivanje granulica izmeta pozitivno utječu na strukturu tla i dostupnost hranjiva. Mnoge vrste Oribatida ugrađuju kalcij i druge minerale u svoju kutikulu te njihova tijela mogu činiti važan izvor hranjiva u nekim hranjivima ograničenim uvjetima. Vrste porodica Brachychthoniidae, Tectocephidae i Oppiidae indiciraju nedavno uznemirenje, iako ne i specifičan uzrok. Ljudske aktivnosti, osobito intenzivne poljoprivredne prakse, mogu značajno promijeniti brojnost i strukturu zajednica grinja u tlu. Obrada tla, primjena pesticida i mineralnih gnojiva često dovode do smanjenja populacija osjetljivih vrsta, posebice grinja podreda Oribatida, dok populacije grinja iz podreda Prostigmata, Mesostigmata i Astigmata mogu pokazivati otpornost i prilagodbu promjenama u okolišu. Održive poljoprivredne tehnike, poput minimalne obrade tla, primjene organskih gnojiva i biološke zaštite bilja, mogu pozitivno utjecati na očuvanje populacija korisnih grinja te poboljšati biološku raznolikost tla. Budući da grinje u tlu izravno utječu i na mikrofloru i mikrofaunu tla, one imaju ključnu ulogu u održavanju ekološke ravnoteže tla. Njihova osjetljivost na promjene u okolišu, poput onečišćenja, intenzivne obrade tla ili primjene kemijskih sredstava, omogućuje njihovu upotrebu u procjeni utjecaja ljudskih aktivnosti na tlo i ekosustave. Održavanje populacija grinja u tlu ključno je za dugoročno očuvanje plodnosti tla i stabilnosti ekosustava. Njihova uloga u biogeokemijskim ciklusima, uključujući kruženje ugljika i dušika, ima značajan utjecaj na globalne procese, uključujući klimatske promjene. Stoga bi daljnja istraživanja trebala biti usmjerena na bolje razumijevanje utjecaja okolišnih čimbenika i ljudskih aktivnosti na populacije grinja te na razvoj održivih strategija koje će omogućiti njihovo očuvanje.

Literatura

- Al-Assiuty, A.-N.I.M., Khalil, M.A., Ismail, A.-W. A., Van Straalen, N. M., Ageba, M. F. (2014)** Effects of fungicides and biofungicides on population density and community structure of soil oribatid mites. *Science of The Total Environment*, 466-467, 412-420.
- Aoki, J.-I., Kuriki, G. (1980)** Soil mite communities in the poorest environment under the roadside trees. U: Dindal, D.L. (Ed.), *Soil Biology as Related to Land Use Practices*. Office of Pesticide and Toxic Substances, EPA, Washington, DC, pp. 226–232 URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/91022XWF.PDF?Dockey=91022XWF.PDF> (3.2.2025)
- Balogh, J. (1972)** The Oribatid genera of the world, Akademiai Kiado, Budapest
- Berg, N.W., Pawluk, S. (1984)** Soil mesofaunal studies under different vegetative regimes in North Central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, 64, 2, 209-223. <https://doi.org/10.4141/cjss84-022>
- Behan-Pelletier, V. M. (1999)** Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: Role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74, 1–3, 411–423. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880999000468?via%3Dihub> (4.2.2025)
- Coleman, D. C., Whitman W.B. (2005)** Linking species richness, biodiversity and ecosystem function in soil systems. *Pedobiologia*, 49, 479-497.
- Crossley Jr., D.A., Mueller, B.R., Perdue, J.C. (1992)** Biodiversity of microarthropods in agricultural soils: relations to processes. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 40, 37–46. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/016788099290082M> (4.2.2025)
- Dhooria, M. S. (2016)** Soil Mites. *Fundamentals of Applied Acarology*, 197–206. URL: https://sci-hub.se/https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-1594-6_10 (1.2.2025.)
- Filho, M. (2007)** Non-target impact of deltamethrin on soil arthropods of maize fields under conventional and no-tillage cultivation. *Journal of Applied Entomology*, 131, 1, 50–58. URL: https://www.academia.edu/17431016/Non_target_impact_of_deltamethrin_on_soil_arthropods_of_maize_fields_under_conventional_and_no_tillage_cultivation (14.2.2025)
- Gan, H. (2013)** Oribatid mite communities in soil: structure, function and response to global environmental change. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Ecology and Evolutionary Biology) University of Michigan. Deep Blue Institutional Repository. URL: <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/102446> (5.2.2025)
- Gergőcs V., Hufnagel L. (2009)** Application of Oribatid mites as indicators (review). *Applied ecology and environmental research*, 7, 1, 79-98.
- Heba, M.F., Abdel-Ghani, M.A., El-Sayed, G.H. (2023)** Biological impact of insect growth regulators (IGRs) on the development of the oribatid mite *Scheloribates laevigatus* (Acari: Oribatida: Scheloribatidae) in the laboratory. *Egyptian Journal of Plant Protection Research Institute*, 6, 4. URL: <https://www.ajol.info/index.php/ejppri/article/view/282975> (14.2.2025.)
- Hoy, M.A. (2011)** *Agricultural Acarology. Introduction to Integrated Mite Management*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, ISBN: 978-1-4398-1751-3
- Hulsmann, A., Wolters, V. (1998)** The effects of different tillage practices on soil mites, with particular reference to Oribatida. *Appl. Soil Ecol.* 9, 327-332.
- Karg, W. (1978)** Milben als indikatoren zur optimierung von pflanzenschutzmassnahmen in apfelintensivanlagen. *Pedobiologia*, 18, 415–425. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031405623006170> (6.2.2025)
- Kováč, L., L'uptáčík, P., Miklíšová, D., Matí, R. (2001)** Soil Oribatida and Collembola communities across a land depression in an arable field. *Eur. J. Soil Biol.*, 37, 285-289.
- Krivolutsky, D.A. (1973)** Oribatoid mite complexes as the soil type bioindicator. *Progress in Soil Zoology, Proceedings of the 5th international colloquium on soil zoology*, Prag: 217-221.
- Lagerlöf, J., Andrén, O. (1988)** Abundance and activity of soil mites (Acari) under four arable crops. *Pedobiologia*,

32, 129 – 145. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031405623002251?via%3Dihub> (3.2.2025.)
 Lebrun, P., Van Straalen, N. M. (1995) Oribatid mites as bioindicators of pollution. *Ecotoxicology*, 4, 4, 259-271. URL: https://www.aloki.hu/pdf/0701_079098.pdf (6.2.2025.)

Lescroart, M. (2009) Exploring the soil's genetic biodiversity. *CNRS International Magazine*, 15, 40.

Ligtelijn, M., Barmantlo, S.H., van Gestel, C.A.M. (2024). Field-realistic doses of the neonicotinoid acetamiprid impact natural soil arthropod community diversity and structure, *Environmental Pollution*, 359, pp. 124568. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974912401282X#kwrds0010> (14.2.2025)

Lindberg, N., Bengtsson, J. (2006) Recovery of forest soil fauna diversity and composition after repeated summer droughts. *Oikos*, 114, 494-506. DOI:10.1111/j.2006.0030-1299.14396.x

Minor, M.A., Norton, R.A. (2008) Effects of weed and erosion control on communities of soil mites (Oribatida and Gamasina) in short-rotation willow plantings in central New York, *Canadian Journal of Forest Research*. URL: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/X07-207> (14.2.2025)

Mitchell, R.J., Campbell, C.D., Chapman, S.J., Osler, G.H.R., Vanbergen, A.J., Ross, L.C., Cameron, C.M., Cole, L. (2007) The cascading effects of birch on heather moorland: a test for the top-down control of an ecosystem engineer. *Journal of Ecology*, 95, 3, 540-554.

Norton, R.A., Kethley, J.B. Johnston, D.E., OConnor, B.M. (1993) Phylogenetic perspectives on genetic systems and reproductive modes of mites. U: Wrensch, D., Ebbert, M.A. (Eds.), *Evolution and Diversity of Sex Ratio in Insects and Mites*, Chapman & Hall, New York, pp. 8–99. URL: <https://archive.org/details/soilbiologyguide0000unse/page/n1/mode/1up> (4.2.2025)

Oliveira, A.R., Castro, T.R., Capalbo, D.M.F. (2007) Toxicological evaluation of genetically modified cotton (Bollgard®) and Dipel® WP on the non-target soil mite *Scheloribates praeincisus* (Acari: Oribatida). *Experimental and Applied Acarology*, 41, 191–201.

URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10493-007-9059-0#citeas> (14.2.2025)

Oštrec, Lj. (1977) Istraživanje sastava faune Oribatei-a Duges u nekim tipovima šumskih tala. Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu. Poljoprivredni fakultet Zagreb

Parisi, V. C., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, Mozzanica, E. (2005) Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 105, 323–333.

Patel, A., Shukla, A., Patel, K. (2022) Biodiversity of soil oribatid mite (Acari: Oribatidae) in different agro-ecosystems. *Research Gate*. URL: <https://connectjournals.com/03895.2022.25.703> (1.2.2025)

Ritz, K., Black, H.I.J., Campbell, C.D., Harris, J.A., Wood, C. (2009) Selecting biological indicators for monitoring soils: A framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecological Indicators*, 9, 6, 1212-1221.

Seastedt, T.R. (1984) The Role of Microarthropods in Decomposition and Mineralization Processes. *Annual Review of Entomology*, 29, 25-46.

Silva, C. de L. e, Brennan, N., Brouwer, J.M., Commandeur, D., Verweij, R.A., van Gestel, C.A.M. (2017) Comparative toxicity of imidacloprid and thiacloprid to different species of soil invertebrates. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 12, 11040-11050. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10646-017-1790-7> (14.2.2025)

Scheu, S., Schulz, E. (1996) Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of oribatids and saprophagous soil macro-invertebrates. *Biodiversity and Conservation*, 5, 2, 235-250.

Tomlin. A.D., Miller, J.J. (1987) Composition of the soil fauna in forested and grassy plots at Delhi, Ontario. *Canadian Journal of Zoology*, 65, 12, 3048-3055. DOI: <https://doi.org/10.1139/z87-462>

Tsiafouli, M.A., Kallimanis, A.S., Katana, E., Stamou, G.P., Sgardelis, S.P. (2005) Responses of soil microarthropods to experimental short-term manipulations of soil

Moisture. *Applied Soil Ecology*, 29, 1, 17-26.

Vacante, V. (2016) *Handbook of Mites of Economic Plants: Identification, Bio-ecology and Control*, CABI, ISBN-10 : 1845939948

Zaitsev, A.S., van Straalen, N.M. (2001) Species diversity and metal accumulation in oribatid mites (Acari, Oribatida) of forests affected by a metallurgical plant. *Pedobiologia*. 45,5, 467-479.

Prispjelo/Received: 8.3.2025.

Prihvaćeno/Accepted: 8.4.2025.

Review paper

Soil mite communities as bioindicators of conditions and changes in the agroecosystem

Abstract

Soil is one of the most complex ecosystems on Earth, and its functionality depends on the richness and diversity of the organisms that inhabit it. Among the mites that inhabit the soil, the most represented species belong to the orders Acariformes and Parasitiformes, and the four most important suborders: Prostigmata, Astigmata, Mesostigmata and Oribatida, which have a specific role in the soil. More than 10,300 species of the suborder Oribatida, belonging to 177 different families, make up the most numerous group of arthropods in the soil. Mites of this suborder are one of the most important decomposers of organic matter in the soil, and their number and variety of species can serve as indicators of soil health. The diversity of mites depends on numerous ecological factors, plant cover and anthropogenic influence. Their resistance to environmental changes varies depending on the species, with some populations being extremely sensitive to disturbances, while others are more or less adaptable. The decline in the abundance and diversity of mites is often associated with the use of pesticides and artificial fertilizers, while sustainable agricultural practices, such as minimal tillage and the application of organic fertilizers, can contribute to the preservation of their populations and soil functionality.

Key words: Oribatida, soil fauna, anthropogenic influence, climate change, sustainable agricultural practices, biodiversity