

Bionomija in načini zatiranja japonskega hrošča (*Popillia japonica* Newman, 1841, Coleoptera: Scarabaeidae)

Luka BATISTIČ¹, Stanislav TRDAN^{1,2}, Špela MODIČ³, Žiga LAZNIK¹

Received: December 12, 2024; accepted February 24, 2025
Delo je prispelo 12 december 2024, sprejeto 24. februar 2025

Bionomija in načini zatiranja japonskega hrošča (*Popillia japonica* Newman, 1841, Coleoptera: Scarabaeidae)

Izvleček: Japonski hrošč (*Popillia japonica* Newman, 1841), ki je bil leta 2024 prvič ugotovljen v Sloveniji, je pomemben invazivni škodljivec, ki lahko povzroča obsežno škodo v kmetijstvu. Zaradi sposobnosti hitrega širjenja in prehranjevanja z več kot 300 vrstami rastlin predstavlja resno grožnjo na območjih, kjer se pojavlja in širi, vključno z Evropo in ZDA. Odrasli osebki so škodljivi zaradi skeletiranja listov, medtem ko ogorci, ki so talni škodljivci, objedajo korenine trav in poljščine. V preglednem članku predstavljamo možnosti zatiranja japonskega hrošča. Kemične metode so učinkovite, a na insekticide škodljivci lahko razvije odpornost, škodljivi pa so tudi necljnim organizmom. Biotično zatiranje škodljivca s parazitoidi, entomopatogenimi bakterijami, glivami in ogorčicami, kaže potencial, vendar njihova učinkovitost ni vedno zadovoljiva. Za učinkovito zatiranje japonskega hrošča so potrebne integrirane strategije, ki temeljijo na okoljskih prilagoditvah in nadaljnjih raziskavah.

Ključne besede: japonski hrošč, invazivni škodljivec, polifagni škodljivci, biotično varstvo rastlin, kemično varstvo rastlin, entomopatogene ogorčice, integrirano varstvo rastlin

Bionomics and control methods of the Japanese beetle (*Popillia japonica* Newman, 1841, Coleoptera: Scarabaeidae)

Abstract: The Japanese beetle (*Popillia japonica* Newman, 1841), which was first recorded in Slovenia in 2024, is an important invasive pest that can cause extensive damage in agriculture. Due to its ability to spread rapidly and feed on more than 300 plant species, it poses a serious threat in areas where it occurs and spreads, including Europe and the United States. Adults are harmful by skeletonizing the leaves, while white grubs, which are soil pests, eat the roots of grasses and field crops. This review paper presents the methods for controlling the Japanese beetle. Chemical methods are effective, but the pest can develop resistance to insecticides, and they are also harmful to non-target organisms. Biological control of this scarab beetle with parasitoids, entomopathogenic bacteria, fungi and nematodes has potential, but their effectiveness is not always satisfactory. Integrated strategies based on environmental adaptations and further research are needed for effective control of the Japanese beetle.

Key words: Japanese beetle, invasive pest, polyphagous pest, biological control, chemical control, entomopathogenic nematodes, integrated pest management

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

² korespondenčni avtor: stanislav.trdan@bf.uni-lj.si

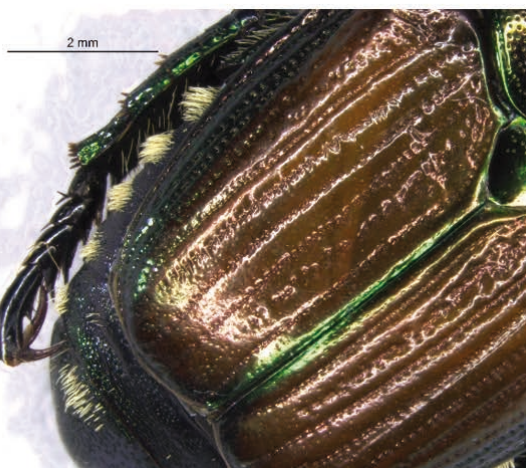
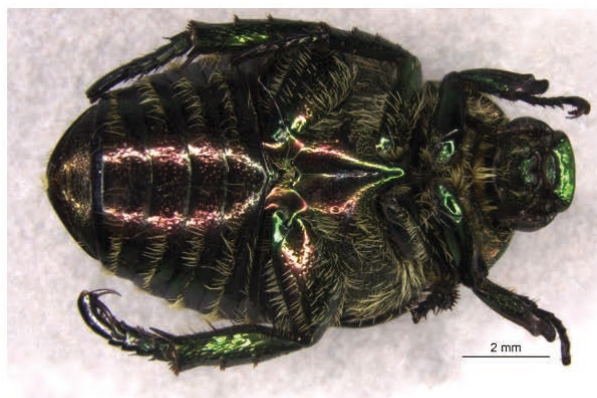
³ Kmetijski inštitut Slovenije, Hacquetova 17, SI-1000 Ljubljana

1 STATUS ŠKODLJIVCA IN NJEGOVA BIONOMIJA

Japonski hrošč (*Popillia japonica* Newman, 1841) izvira iz Japonske, kjer ne velja za škodljivca (Clausen *et al.*, 1927). Ta žuželčja vrsta je pomemben invazivni škodljivec, ki predstavlja resno grožnjo kmetijstvu na območjih, kjer se pojavlja in širi. Uvrščen je med prednostne karantenske škodljivce v Evropski uniji in v številnih drugih državah (Marianelli *et al.*, 2019; Graf *et al.*, 2023). V ZDA je bil vnesen v začetku 20. stoletja (Clausen *et al.*, 1927), iz New Jerseyja pa se je razširil proti zahodni obali, v Kanado ter proti jugu ZDA (Potter in Held, 2002; Frank, 2016). Od leta 2014 je zastopan tudi v celinski Evropi (Marianelli *et al.*, 2019; Graf *et al.*, 2023), kjer se je iz severne Italije (Piemont in Lombardija) razširil v južno Švico (Ticino). Obe državi sta določili območja pojavljanja in uvedli fitosanitarne ukrepe za omejevanje

je njegovega širjenja (Marianelli *et al.*, 2019; Graf *et al.*, 2023). O najdbah japonskega hrošča v Evropi so doslej poročali tudi iz Portugalske, Rusije in Slovenije, vendar le na manjšem številu lokacij, kjer so širjenja škodljivca uspeli omejiti. V Sloveniji je bil škodljivec prvič ugotovljen leta 2024, ko so bili odrasli osebki julija najdeni v feromonskih pasteh na dveh avtocestnih počivališčih - Barje v Ljubljani in Lukovica v smeri jug. Pasti na obeh lokacijah so bile postavljene v okviru programa preiskave, ki se v skladu z EU zahtevami vsako leto izvaja na celotnem območju Slovenije.

Prehranjevalne navade japonskega hrošča se med odraslimi osebki in ličinkami močno razlikujejo, vendar oba razvojna stadija povzročata estetsko škodo in izgube pridelka pri okrasnih rastlinah, travah in gojenih vrstah rastlin (Graf *et al.*, 2023). Odrasli hrošči so izrazito polifagni in se prehranjujejo z listi, cvetovi in plodovi več kot 300 rastlinskih vrst, vključno z lesnatimi oz. okrasnimi



Slika 1: Odrasel osebek japonskega hrošča: hrbtna stran (zgoraj levo), trebušna stran (zgoraj desno), pet šopov belih dlak na levi strani zadka (spodaj levo), velikostna primerjava s kovancem za 1 evro (foto: Š. Modic). Hrošč je bil najden 10. julija 2024 v feromonski lijakasti pasti z zelenim pregradnim križem, pokrovom in lijakom ter prozornim vedrom (Pherobank, Nizozemska, št. art. 30251) na avtocestnem počivališču Lukovica.

rastlinami (breza, brest, javor, jerebika, vrtnica, cinija), sadnimi vrstami (jablana, marelica, češnja, sliva), jagodičjem (borovnica, malina), zelenjadnicami (šparglji), vinsko trto ter poljščinami (koruza, soja) (Fleming, 1972; Ladd, 1987, 1989). Poškodbe, ki jih povzročijo odrasli osebk, so hitro prepoznavne, saj se hranijo z mehкими deli listov in za seboj puščajo le listne žile (t. i. skeletiranje listov). Odrasli hrošči lahko z objedanjem zmanjšujejo tudi kakovost plodov nekaterih rastlinskih vrst (Bragard et al., 2018).

Japonski hrošč je prepoznaven po svoji velikosti (8-11 mm dolžine in 5-7 mm širine) (Slika 1, spodaj desno) ter značilni barvi – kovinsko zeleni glavi in oprsju ter bakreno obarvanih pokrovkah, ki zadka ne pokrivajo v celoti (Slika 1, zgoraj levo). Na obeh bočnih straneh zadka ima pet šopov značilnih belih dlačic (Slika 1, spodaj levo) ter dva šopa belih dlačic na pigidiju. Zaradi teh lastnosti ga splošna javnost zlahka prepozna kot škodljivca. Samce lahko ločimo od samic po obliki golenskih trnov, pri čemer so trni samcev bolj koničasti kot pri samicah (Fleming, 1972). Odrasel osebek japonskega hrošča je podoben vrtnemu hrošču (*Phyllopertha horticola* [L., 1758]), vendar se od slednjega loči po zgoraj navedenih morfoloških znakih.

Ličinke (ogrci), ki prebivajo v tleh, se prehranjujejo s koreninami številnih rastlinskih vrst, vključno s pleveli, okrasnimi rastlinami in poljščinami, vendar najraje napadajo korenine trav (Graf et al., 2023). Prehranjevanje ličink s koreninami lahko povzroči škodo na tratah, igriščih za golf, travnikih in pašnikih. Ličinke, ki v dolžino ne presežejo 25 mm, so značilno bele, so značilno zavite v obliko črke C, imajo rumenorjavo glavo in so podobne ličinkam drugih evropskih predstavnikov družine pahljačnikov (Scarabaeidae) le da so nekoliko manjše. Leta 2002 je bila škoda, ki jo je japonski hrošč povzročil na tratah in okrasnih rastlinah v ZDA, ocenjena na kar 450 milijonov ameriških dolarjev (Potter in Held, 2002).

Japonski hrošč je v večini območij njegovega naravnega habitata in območij, kjer se je razširil naknadno, univoltilna vrsta, čeprav lahko njegov razvojni krog na severnejših območjih traja tudi dve leti (Clausen et al., 1927). Odrasli hrošči navadno prilezejo iz tal konec junija ali v začetku julija in živijo do 40 dni (Hadley in Hawley, 1934). Samci in samice se združujejo in zadržujejo na gostiteljskih rastlinah, ki jih prepoznajo kot ustrezne za prehrano na podlagi hlapnih snovi, ki jih rastline sproščajo ob poškodbah zaradi hranjenja, ter snovi, ki jih izločajo sami hrošči, vključno z agregacijskimi feromoni (Loughrin et al., 1995, 1996; Sara et al., 2013). Samice se lahko pari večkrat v rastni dobi, pri čemer parjenje s samci lahko traja tudi do dve uri (Barrows in Gordh, 1978). Jajčeca odlagajo posamezno v zgornjo plast tal do 7,5 cm globoko, pri čemer vsaka samica v življenju odloži

do 60 jajčec (Fleming, 1972; Dalthorp et al., 2000). Iz jajčec se izležejo ličinke po približno dveh tednih (Fleming, 1972). Ličinke se hranijo s koreninami in se levijo, dokler ne dosežejo tretje razvojne stopnje. Aktivnost ličink se ustavi, ko temperatura tal doseže približno 10 °C. Oktobra se začnejo pripravljati na prezimovanje in se zarijejo v tla na globino 20-25 cm. Spomladi se vrnejo na površje, ponovno začnejo s hranjenjem, se zabubijo ter nato izletijo kot odrasli hrošči.

2 ZATIRANJE JAPONSKEGA HROŠČA

Zatiranje japonskega hrošča je zahtevna naloga (Potter in Held, 2002; Shanovich et al., 2019) iz več razlogov: (i) škodo na gostiteljskih rastlinah povzročajo tako ličinke kot odrasli hrošči, (ii) ličinke in odrasli hrošči naseljujejo različne habitate, (iii) velike skupine mobilnih odraslih osebkov lahko hitro povzročijo obsežno škodo, in (iv) na območjih, ki jih je škodljivec na novo naselil, navadno ni njegovih učinkovitih naravnih sovražnikov. Zatiranje japonskega hrošča temelji na kombinaciji kemičnih, mehanskih in biotičnih strategij, katerih cilj je zmanjšati število ličink in odraslih hroščev pod raven, ki bi lahko povzročila gospodarsko pomembno škodo.

2.1 KEMIČNO ZATIRANJE

Tuja literatura navaja, da je bilo za zatiranje japonskega hrošča v nekaterih državah registriranih več insekticidov, med drugim tudi tisti, ki vsebujejo aktivne snovi, kot so acetamiprid, klorantraniliprol, ciantraniliprol, fenpropatrin, imidaklopid, novaluron in fosmet (Gagnon in sod., 2023); vendar nekatere od teh aktivnih snovi v EU niso več dovoljene. V Sloveniji so na voljo pripravki na podlagi aktivnih snovi, ki so po podatkih iz Italije učinkoviti proti odraslim hroščem: piretrin, deltametrin, klorantraniliprol, acetamiprid in lambda cihalotrin, vendar bi bilo zanje treba pridobiti dovoljenje oziroma razširitve dovoljenja za zatiranje japonskega hrošča.

Za zatiranje ličink ali ogrcev insekticide uporabljamo od sredine julija do sredine septembra, ko se ličinke hranijo s koreninami rastlin blizu površja tal, pri čemer je potrebno tudi naknadno namakanje. Ti širokospektralni insekticidi zmanjšajo populacije ličink japonskega hrošča, vendar imajo lahko škodljive učinke tudi na druge neciljne organizme. Odrasle osebk lahko ciljno zatiramo z insekticidi prek foliarnih nanosov (Gotta in sod., 2023).

Eden od načinov zatiranja japonskega hrošča je tudi uporaba ‚LLIN‘s‘ ali dolgo trajajočih z insekticidom tretji-

ranih mrež. Največkrat so te tretirane s piretroidi, so tudi bolj selektivne (manj vpliva na ostale koristne ali druge vrste). Uporabijo se lahko ob napadenih območjih in nasadih. Največkrat so postavljene skupaj z rastlinskim privabilom ter feromonom, ki privabi samce japonskega hrošča na mrežo (Gotta in sod., 2023).

Na poljščinah, kot sta soja in koruza, sta že določena oba gospodarska pragova škodljivosti (Russin, 1989; Steckel in sod., 2013). Učinkovitost kemičnega zatiranja se lahko tekom uporabe zmanjša zaradi nenadne selitve in migracije odraslih hroščev na netretirano območje (Potter in Held, 2002; Calderwood in sod., 2015).

Ogri japonskega hrošča so že razvili odpornost na več vrst aktivnih snovi, ki se uporabljajo za namene varstva rastlin (Niemczyk in Lawrence, 1973; Ahmad in Ng, 1981). Zato morajo pridelovalci izvajati kemično zatiranje v sklopu integriranega varstva rastlin, kar omogoča omejevanje hroščev in ličink na okolju prijaznejši način ter preprečuje razvoj odpornosti na preostale aktivne snovi, ki so še v uporabi (Shanovich in sod., 2019).

2.2 MEHANSKO ZATIRANJE

Kljub temu, da so ličinke in odrasli osebki vrste *P. japonica* polifagi, do določene mere izkazujejo preferenco do nekaterih rastlinskih vrst in kultivarjev (Fleming, 1972; Potter in Held, 2002). Vzorčenje na terenu je pokazalo pomembne razlike v številčnosti odraslih osebkov in stopnji defoliacije med različnimi sortami jablan v Minesoti, ZDA (Shanovich in sod., 2021).

Mehansko zatiranje so doslej večinoma preizkušali v kontekstu zatiranja ogrcev v travni ruši, obravnavanja v poskusih pa so vključevala različne načine namakanja, gnojenja, oranja in puščanja višje travne ruše po vsaki košnji (Potter in Held, 2002). Gotta in sod. (2023) poročajo o preučevanju učinkovitosti različnih zastirk pri zatiranju plevela. V raziskavi so ugotavljali katera od zastirk lahko samicam vrste *P. japonica* prepreči ovipozicijo v loncih, v katerih je bila posajena vinska trta. Preizkušali so zastirke iz kokosovih vlaken, jute in lesnih sekancev, pri čemer se je kokosova zastirka izkazala za najbolj učinkovito, saj je znatno zmanjšala odlaganje jajčec in razvoj ličink japonskega hrošča (Gotta in sod., 2023).

Kot zgled mehanskega zatiranja japonskega hrošča lahko izpostavimo tudi močno napadeno drevnico v Lombardiji, kjer so preizkušali tri tipe mrež: navadno protitočno mrežo, protitočno mrežo, obdelano s permetrinom, in protiinsektno mrežo z manjšim premerom odprtin. Mreže so služile kot fizične ovire za zaščito vinske trte v loncih pred odraslimi hrošči vrste *Popillia japonica*. Vse vrste mrež so učinkovito ščitile rastline skozi celotno trajanje poskusa, pri čemer so se navadne protitoč-

ne mreže izkazale za najgospodarnejšo rešitev (Gotta in sod., 2023).

2.3 NAČRTNO SPREMLJANJE IN MNOŽIČNO LOVLJENJE

Večina znanja o širjenju japonskega hrošča izhaja iz raziskav, izvedenih v ZDA, ki kažejo na različne stopnje širjenja, ki so odvisne od trajanja napada in ustreznosti okolja. Zgodnje študije poročajo o povprečni hitrosti širjenja škodljivca od 16 do 24 km/leto po prvem pojavu, medtem ko poznejše raziskave navajajo hitrost širjenja med 3 in 24 km/leto (Fox, 1932). Sodobni modeli kažejo, da se hitrost širjenja s časom povečuje, pri čemer na hitrejšo širjenje vpliva ustreznost habitata (Borgogno Mondino in sod., 2022). Poleg tega na razporeditev in dinamiko populacije škodljivca pomembno vplivajo lastnosti tal in podnebje (Régnière in sod., 1979; Simonetto in sod., 2022).

Za spremljanje pojavnosti, širjenja ter številčnosti japonskega hrošča poznamo zelo učinkovite feromone in pasti, ki so že v uporabi. Pasti so namenjene spremljanju populacij japonskega hrošča in množičnemu lovljenju. Na pasti se namesti sintetični spolni feromon samic ([R,Z]-5-[1-decenil] dihidro-2[3H]-furanon, znan kot »Japonilure«) (Tumlinson in sod., 1977; Doolittle in sod., 1980), ki je kombiniran s prehranskimi vabami, sestavljenimi iz mešanice fenetil propionata, evgenola in geraniola v razmerju 3:7:3 (Ladd in sod., 1981). Pasti so zelo učinkovite pri lovljenju samcev in samic v velikem številu (Ladd in McGovern, 1980) ter zagotavljajo zanesljive ocene številčnosti populacij in drugih parametrov, kot je parazitizem ulovljenih hroščev (Legault in sod., 2024).

Prehranske vabe, še posebno tiste, ki vsebujejo cvetni prah, lahko povzročijo nenameren odlov oprashačev (Hamilton in sod., 1970), zlasti kadar pasti vključujejo komponente, ki so bele barve (Hamilton in sod., 1971; Sipolski in sod., 2019) ali ko so populacije japonskega hrošča majhne ali jih sploh ni. Na nekaterih območjih v Alberti (Kanada), kjer vrsta *P. japonica* še ni bila ugotovljena, so v omenjene pasti na teden ujeli več kot 1000 oprashačev na past (Brodeur in sod., 2024). Nasprotno pa je bil v Quebecu (Kanada), zaradi velikih populacij japonskega hrošča, ulov ostalih oprashačev praktično nič (Brodeur in sod., 2024).

Zaradi splošne učinkovitosti pasti je bila metoda množičnega lovljenja obravnavana kot ena izmed potencialnih metod zatiranja japonskega hrošča, vendar bo za dokončno potrditev ustreznosti te metode potrebnih še več raziskav. Množično lovljenje je bilo kot metoda zatiranja različnih vrst škodljivih organizmov v kmetijskih ekosistemih preizkušano že v tridesetih (Langford

in sod., 1940), sedemdesetih (Hamilton in sod., 1971) in osemdesetih letih prejšnjega stoletja (Gordon in Potter, 1985, 1986). V nekaterih primerih je bila ta metoda uspešna (Langford in sod., 1940), kljub očitnim težavam pri izvajanju lovljenja na večjih območjih in v daljših časovnih obdobjih. Pasti, ki so namenjene masovnemu lovljenju japonskega hrošča, so učinkovite tudi za načrtno spremljanje oz. monitoring (npr. ena pasta za spremljanje pojavnosti).

Rezultati več raziskav pa nas opozarjajo, da zaradi privabljanja hroščev v pasti lahko vplivamo na večjo škodo na rastlinah v njihovi bližini (Gordon in Potter, 1985, 1986; Switzer in sod., 2009). Ena izmed možnih težav je tudi t. i. „spillover“ učinek, kjer prepolne pasti privabljajo hrošče, a v njih ni več prostora za ulov, zato ostanejo na rastlinah v bližini pasti (Piñero in Dudenhoeffer, 2018). Piñero in Dudenhoeffer (2018) z nedavno raziskavo na borovnicah ugotavljata, da kombinacija dveh standardnih vab z velikimi 12-litrskimi posodami omogoča ulov velikega števila odraslih osebkov japonskega hrošča, pri čemer je škoda na okoliškem pridelku minimalna.

2.4 BIOTIČNO ZATIRANJE

V njegovi izvorni domovini na Japonskem ima japonski hrošč številne naravne sovražnike, kar pripomore k ohranjanju majhnih populacij škodljivca in majhne škode na rastlinah (Clausen et al., 1927; Fleming, 1968). V ZDA je bilo za zatiranje japonskega hrošča vnesenih skoraj 50 vrst naravnih sovražnikov iz Azije in Avstralije (Fleming, 1968; Potter in Held, 2002). Med njimi sta trenutno najbolj učinkoviti parazitoidni osici *Tiphia vernalis* Rohwer, 1924 (Hymenoptera: Tiphidae) in *Istocheta aldrichi* (Mesnil, 1953) (Diptera: Tachinidae) (Potter in Held, 2002). Prva vrsta je parazitoid ličink tretje stopnje, druga vrsta pa je parazitoid odraslih osebkov.

Clausen in sod. (1927) ter Fleming (1968) poročajo, da je vrsta *P. japonica* na Japonskem gospodarsko manj pomembna. To pripisujejo biotičnemu zatiranju, ki ga na Japonskem izvajajo naravni sovražniki. Med njimi kot najučinkovitejša izstopa parazitoidna osica *I. aldrichi*. Avtorji so ugotovili, da se letne stopnje parazitizma gibljejo med 20 in 90 % na otoku Hokkaido ter okoli 50 % na otoku Honšu, kar kaže, da populacije vrste *P. japonica* vsaj delno uravnava parazitoidna osica *I. aldrichi*.

Izpusti vrste *I. aldrichi* iz Japonske v zvezne države New Jersey, Connecticut in Pennsylvanijo v ZDA so potekali med letoma 1920 in 1931, pozneje pa so se dodatni izpusti parazitoidne osice, namnožene na ameriških populacijah japonskega hrošča, na sverovzhodu ZDA občasno nadaljevali vse do leta 1950 (Fleming, 1968; Potter in Held, 2002). Po teh izpustih so ugotovili, da se je vrhunec

izvalitve osic zgodil približno tri tedne pred razvojem hroščev, kar je pomenilo, da so bile parazitirane (do 28 %; Fleming, 1968) le tiste ličinke hroščev, ki so se razvile predčasno. Osice so bile izpuščene tudi v severnejših državah, da bi izboljšali sinhronizacijo med izvalitvijo parazitoidov in njihovimi gostitelji, vendar od Flemingovega poročila (1968) te težave niso bile temeljito raziskane.

Kumulativne stopnje parazitizma v Minnesoti so bile v letih 2017 in 2018 relativno nizke (manj kot 12 %; Shanovich in sod., 2021), medtem ko sta Klein in McDonald (2007) poročala o 20- do 70-odstotnem parazitizmu japonskega hrošča v Severni Karolini v letih po načrtnih izpustih v to regijo (2000–2005).

Poleg koristnih žuželk, kot so plenilske stenice in parazitoidne osice, lahko tudi drugi biotični agensi pomembno vplivajo na zmanjševanje populacije japonskega hrošča. Te metode temeljijo na uporabi mikroorganizmov, kot so entomopatogene bakterije, entomopatogene glive in entomopatogene ogorčice, ki okužujejo različne razvojne stadije hrošča ter lahko znatno zmanjšajo njegovo populacijo na trajnosten način (Andreadis in Hanula, 1987; Lacey et al., 1994; Potter in Held, 2002).

Med entomopatogenimi bakterijami sta najpogosteje uporabljeni vrsti *Paenibacillus popilliae* Dutky, 1941 in *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915. Vrsta *Paenibacillus popilliae* je bakterija, ki povzroča t. i. „mlečno bolezen“, bolezen, ki okuži ličinke japonskega hrošča in povzroči njihovo smrt. Spore bakterije se v tleh širijo in okužijo ličinke, kar sčasoma zmanjša populacijo hroščev (Petersson et al., 2002). *Bacillus thuringiensis* podvrsta *galleriae* Sakanian et al. 1983 pa je učinkovit bioinsekticid, ki specifično cilja na ličinke hrošča s svojimi kristalnimi toksini, ki poškodujejo črevesje hrošča in povzročijo njegovo smrt (Tanada & Kaya, 1993).

Entomopatogene glive, kot sta *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin in *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill., imajo pomembno vlogo v biotičnem zatiranju odraslih osebkov in ličink japonskega hrošča. Te glive okužijo gostitelja preko kutikule, sprožijo razgradnjo tkiv in povzročijo smrt. Gliva *Metarhizium anisopliae* se je izkazala kot učinkovita pri okužbi ličink, zlasti v vlažnih tleh, kjer se spore gliv hitreje širijo (Shapiro-Ilan et al., 2002). Gliva *Beauveria bassiana* deluje podobno, okuži gostitelja in povzroči njegovo smrt skozi razgradnjo notranjih organov. Obe glivi sta priljubljeni zaradi svoje dolgotrajnosti in učinkovite penetracije v gostiteljevo telo (Lacey et al., 1994).

Entomopatogene ogorčice so pokazale velik potencial kot biotični agensi pri zatiranju populacij japonskega hrošča, vendar pa njihova učinkovitost v naravnih razmerah pogosto niha. V laboratorijskih razmerah je bila smrtnost ogrcev vrste *P. japonica* ob izpostavljenosti vrsti *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1976 večja kot

ob izpostavljenosti vrsti *Steinernema scarabaei* Stock & Koppenhöfer (Simões *et al.*, 1993; Marianelli *et al.*, 2017; Renkema in Parent, 2021). Ta razlika je lahko posledica bioloških značilnosti vrst, kot sta prilagoditev na gostitelja in sposobnost preživetja v različnih okoljskih razmerah.

Kljub obetavnim laboratorijskim rezultatom se učinkovitost entomopatogenih ogorčic v naravnem okolju zmanjša zaradi številnih dejavnikov. Eden ključnih je temperatura, saj so nekatere vrste bolj občutljive na temperaturne spremembe. Na primer, ogorčica *H. bacteriophora* se bolje obnese v toplejših razmerah, medtem ko višje temperature negativno vplivajo na učinkovitost *S. scarabaei* (Koppenhöfer *et al.*, 2006). Poleg temperature ima velik pomen tudi vlažnost tal. Velika vlažnost je ključna za preživetje in gibanje ogorčic, saj jim omogoča lažjo pot do gostitelja (Koppenhöfer in Fuzy, 2007). Sušna obdobja in majhna vlažnost tal pa drastično zmanjšajo učinkovitost ogorčic. Tip tal je še en pomemben dejavnik, ki vpliva na učinkovitost entomopatogenih ogorčic. Peščena tla omogočajo boljše prehajanje ogorčic, vendar slabše ohranjajo vlogo, kar negativno vpliva na dolgoročno učinkovitost zatiranja. Po drugi strani glinena tla bolje zadržujejo vlogo, vendar otežujejo gibanje ogorčic do gostitelja (Koppenhöfer *et al.*, 2006).

Poleg okoljskih dejavnikov omejuje širšo uporabnost entomopatogenih ogorčic v kmetijski pridelavi tudi visoka cena pripravkov. Stroški množičnega gojenja in uporabe entomopatogenih ogorčic so še vedno relativno visoki v primerjavi z drugimi metodami zatiranja škodljivcev, kar otežuje njihovo širšo uporabo v praksi (Georgis *et al.*, 2006). Kljub tem izzivom raziskovalci iščejo načine za izboljšanje učinkovitosti ogorčic, na primer z optimizacijo formulacij in tehnik uporabe ter z integracijo z drugimi metodami biotičnega zatiranja, kot so entomopatogene glive in entomopatogene bakterije (Lacey *et al.*, 1994; Marianelli *et al.*, 2017). Entomopatogene ogorčice imajo torej velik potencial, vendar njihova uporaba zahteva natančno prilagoditev okoljskim razmeram in nadaljnje raziskave za optimizacijo njihove učinkovitosti v naravnih razmerah.

V raziskavah uporabnosti simbiotskih gliv iz rodu *Epichloe* (Clavicipitaceae) na travni ruši, na območju zastopanosti ogrcev japonskega hrošča (Hartley in Gange, 2009), so ugotovili, da glive niso imele opaznega učinka na vitalnost ličink in odraslih osebkov *P. japonica* (Potter in sod., 1992; Richmond in sod., 2004), so pa povečale občutljivost ličink na napad entomopatogenih ogorčic (Grewal in sod., 1995).

3 ZAKLJUČEK

Japonski hrošč velja za gospodarsko škodljivo invazivno žuželčjo vrsto, ki povzroča obsežno škodo v kmetijstvu in okrasnem vrtnarstvu. Zaradi njegove sposobnosti hitrega širjenja in prehranjevanja na širokem spektru rastlinskih vrst predstavlja resno grožnjo v številnih državah. Odrasli osebkovi povzročajo poškodbe s skeletiranjem listov, medtem ko se ličinke hranijo s koreninami trav na tratah, travnikih in pašnikih ter poljščinami. Zatiranje japonskega hrošča je kompleksno, saj zahteva kombinacijo kemičnih, biotičnih in mehanskih metod. Kemične strategije so sicer učinkovite, a imajo negativne vplive na okolje in povzročajo razvoj odpornosti pri škodljivcih. Sledijo mehanske metode, ki vključujejo uporabo najrazličnejših načinov zatiranja z uporabo zastirk, protiinsektnih mrež, različnih agrotehničnih ukrepov, ipd., ter uporabo feromonskih in prehranskih pasti, ki lahko pripomorejo k boljšemu razumevanju načina širjenja japonskega hrošča, v primeru množičnega pojava škodljivca pa tudi v množično lovljenje odraslih osebkov. Biotične metode, ki vključujejo uporabo naravnih sovražnikov, kot so parazitoidne osice, entomopatogene bakterije, entomopatogene glive in entomopatogene ogorčice, kažejo obetavne rezultate, vendar njihova učinkovitost v naravnih razmerah pogosto niha. Uspešno zatiranje japonskega hrošča bo tako zahtevalo nadaljnje raziskave in razvoj celovitih strategij, ki vključujejo prilagoditev metod okolju in integracijo različnih tehnik zatiranja škodljivcev, da bi dosegli trajnostno in učinkovito zmanjševanje njegovega gospodarskega pomena.

4 ZAHVALA

Prispevek je nastal v okviru projekta Euphresco »Methods for outbreak management of *Popillia japonica* in line with EU plant protection legislation (2023-C-423)«, ki je del Programa strokovnih nalog s področja zdravstvenega varstva rastlin, ki ga financira Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Uprava Republike Slovenije za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, in projektov J4-50135, P4-0431 ter programske skupine Hortikultura (P4-0013), financiranih s strani Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije.

5 VIRI

Ahmad, S., Ng, Y. (1981). Further evidence for chlorpyrifos tolerance and partial resistance by the Japanese beetle (*Cole-*

- optera: Scarabaeidae). *Journal of the New York Entomological Society*, 89, 34–39.
- Andreadis, T. G. & Hanula, J. L. (1987). Ultrastructural study and description of *Ovavesicula popilliae* N.G., N.Sp. (Microsporida: Pleistophoridae) from the Japanese beetle, *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *The Journal of Protozoology*, 34, 15–21.
- Barrows, E. M. & Gordh, G. (1978). Sexual behavior in the Japanese beetle, *Popillia japonica*, and comparative notes on sexual behavior of other scarabs (Coleoptera: Scarabaeidae). *Behavioral Biology*, 23, 341–354.
- Borgogno Mondino, E., Lessio, F., Bianchi, A., Ciampitti, M., Cavagna, B., & Alma, A. (2022). Modelling the spread of *Popillia japonica* Newman (Coleoptera: Scarabaeidae) from a recently infested area. *Entomologia Generalis*, 42. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2022/1370>
- Bragard, C., Dehnen-Schmutz, K., Di Serio, F., Gonthier, P., Jacques, M. A., Miret, J. A. J., Justesen, A. F., Magnusson, C. S., Milonas, P., Navas-Cortes, J. A., Parnells, S., Potting, R., Reignault, P. L., Thulke, H., van Der Werf, W., Civera, A. V., Yuen, J., Zappalà, L., Czwienczek, E. & Macleod, A. (2018). Pest categorisation of *Popillia japonica*. *European Food Safety Authority Journal*, 16, e05438
- Brodeur, J., Doyon, J., Abram, P.K., & Parent, J.-P. (2024). *Popillia japonica* Newman, Japanese Beetle / Scarabée japonais (Coleoptera: Scarabaeidae). In: Mason, P.G., Gillespie, D.R. (Eds.), *Biological Control Programmes in Canada* (pp. 343–347). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781800623279.0037>
- Calderwood, L.B., Lewins, S.A., & Darby, H.M. (2015). Survey of northeastern hop arthropod pests and their natural enemies. *Journal of Integrated Pest Management*, 6, 18.
- Clausen, C.P., King, J.L., & Teranishi, C. (1927). *The parasites of Popillia japonica in Japan and Chosen (Korea) and their introduction into the United States (Department Bulletin 1429)*. United States Department of Agriculture, Washington, DC, USA
- Dalthorp, D., Nyrop, J. & Villani, M. G. (2000). Spatial ecology of the Japanese beetle, *Popillia japonica*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96, 129–139.
- Doolittle, R.E., Tumlinson, J.H., Proveaux, A.T., & Heath, R.R. (1980). Synthesis of the sex pheromone of the Japanese beetle. *Journal of Chemical Ecology*, 6, 473–485.
- Fleming, W. E. (1968). Biological control of the Japanese beetle. *Technical Bulletin*, 1383. Washington, DC, USA: United States Department of Agriculture, Forest Service
- Fleming, W. E. (1972). Biology of the Japanese beetle. *Technical Bulletin*, 1449. Washington, DC, USA: United States Department of Agriculture, Forest Service
- Fox, H. (1932). The Distribution of the Japanese Beetle in 1930 and 1931, With Special Reference to the Area of Continuous Infestation. *Journal of Economic Entomology*, 25(2), 396–407. <https://doi.org/10.1093/jee/25.2.396>
- Frank, K.D. (2016). Establishment of the Japanese beetle (*Popillia japonica* Newman) in North America near Philadelphia a century ago. *Entomological News*, 126, 153–174.
- Gagnon, M.-E., Doyon, J., Legault, S., Brodeur, J. (2023). The establishment of the association between the Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) and the parasitoid *Istocheta aldrichi* (Diptera: Tachinidae) in Québec, Canada. *The Canadian Entomologist*, 155, e32.
- Georgis, R., Koppenhöfer, A. M., Lacey, L. A., Bélair, G., Duncan, L. W., Grewal, P. S., Samish, M., Tan, L., Torr, P., van Tol, R. W. H. M. (2006). Successes and failures in the use of parasitic nematodes for pest control. *Biological Control*, 38(1), 103–123. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.11.005>
- Gordon, F.C., & Potter, D.A. (1985). Efficiency of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) traps in reducing defoliation of plants in the urban landscape and effect on larval density in turf. *Journal of Economic Entomology*, 78, 774–778.
- Gordon, F.C., & Potter, D.A. (1986). Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) traps: evaluation of single and multiple arrangements for reducing defoliation in urban landscapes. *Journal of Economic Entomology*, 79, 1381–1384.
- Gotta, P., Ciampitti, M., Cavagna, B., Bosio, G., Gilioli, G., Alma, A., Battisti, A., Mori, N., Mazza, G., Torrini, G., Paoletti, F., Santoiemma, G., Simonetto, A., Lessio, F., Sperandio, G., Giacometto, E., Bianchi, A., Roversi, P. F., & Marianelli, L. (2023). *Popillia japonica* – Italian outbreak management. *Frontiers in Insect Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/finsc.2023.1175138>
- Graf, T., Scheibler, F., Niklaus, P.A., & Grabenweger, G. (2023). From lab to field: biological control of the Japanese beetle with entomopathogenic fungi. *Frontiers in Insect Science*, 3, 1138427. doi: 10.3389/finsc.2023.1138427
- Grewal, S.K., Grewal, P.S., & Gaugler, R. (1995). Endophytes of fescue grasses enhance susceptibility of *Popillia japonica* larvae to an entomopathogenic nematode. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 74, 219–224.
- Hadley, C. H. & Hawley, I. M. (1934). General information about the Japanese beetle in the United States. *Circular*, 332. Washington, DC, USA: United States Department of Agriculture, Forest Service
- Hamilton, D.W., Schwartz, P.H., & Townshend, B.G. (1970). Capture of bumble bees and honey bees in traps baited with lures to attract Japanese beetles. *Journal of Economic Entomology*, 63, 1442–1445.
- Hamilton, D.W., Schwartz, P.H., Townshend, B.G., & Jester, C.W. (1971). Effect of color and design of traps on captures of Japanese beetles and bumblebees. *Journal of Economic Entomology*, 64, 430–432.
- Hartley, S.E., & Gange, A.C. (2009). Impacts of plant symbiotic fungi on insect herbivores: mutualism in a multitrophic context. *Annual Review of Entomology*, 54, 323–342.
- Klein, M. G. & McDonald, R. C. (2007). Recent IPM advances using Japanese beetle parasitoids. *Entomological Society America Conference, San Diego, California, USA*
- Koppenhöfer, A. M. & Fuzy, E. M. (2007). Soil moisture effects on infectivity and persistence of the entomopathogenic nematodes *Steinernema scarabaei*, *S. glaseri*, *Heterorhabditis zealandica*, and *H. bacteriophora*. *Applied Soil Ecology*, 35, 128–139.
- Koppenhöfer, A. M., Grewal, P. S. & Fuzy, E. M. (2006). Virulence of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis bacteriophora*, *Heterorhabditis zealandica*, *Steinernema scarabaei* against five white grub species (Coleoptera: Scarabaeidae) of economic importance in turfgrass in North America. *Biological Control*, 38, 397–404.

- Lacey, L. A., Martins, A. & Ribeiro, C. (1994). The pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* for adults of the Japanese beetle, *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *European Journal of Entomology*, *91*, 313–319.
- Ladd, T.L. Jr., Klein, M.G., & Tumlinson, J.H. (1981). Phenethyl propionate C eugenol C geraniol (3:7:3) and japonilure: a highly effective joint lure for Japanese beetles. *Journal of Economic Entomology*, *74*, 665–667.
- Ladd, T. L. Jr (1987). Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae): influence of favored food plants on feeding response. *Journal of Economic Entomology*, *80*, 1014–1017.
- Ladd, T. L. Jr (1989). Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae): feeding by adults on minor host and nonhost plants. *Journal of Economic Entomology*, *82*, 1616–1619.
- Ladd, T.L. Jr., & McGovern, T.P. (1980). Japanese beetle: a superior attractant, phenethyl propionate C eugenol C geraniol 3:7:3. *Journal of Economic Entomology*, *73*, 689–691.
- Langford, G.S., Crosthwait, S.L., & Whittington, F.B. (1940). The value of traps in Japanese beetle control. *Journal of Economic Entomology*, *33*, 317–320.
- Legault, S., Doyon, J., & Brodeur, J. (2024). Reliability of commercial traps to estimate population parameters of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) and parasitism by *Isto-cheta aldrichi*. *Journal of Pest Science*, *97*, 575–583.
- Loughrin, J. H., Potter, D. A. & Hamilton-Kemp, T. R. (1995). Volatile compounds induced by herbivory act as aggregation kairomones for the Japanese beetle (*Popillia japonica* Newman). *Journal of Chemical Ecology*, *21*, 1457–1467.
- Loughrin, J. H., Potter, D. A., Hamilton-Kemp, T. R. & Byers, M. E. (1996). Role of feeding-induced plant volatiles in aggregative behavior of the Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae). *Environmental Entomology*, *25*, 1188–1191.
- Marianelli, L., Paoli, F., Torrini, G., Mazza, G., Benvenuti, C., Binazzi, F., Sabbatini Peverieri, G., Bosio, G., Venanzio, D., Giacometto, E., Priori, S., Koppenhöfer, A. M. & Roversi, P. F. (2017). Entomopathogenic nematodes as potential biological control agents of *Popillia japonica* (Coleoptera, Scarabaeidae) in Piedmont Region (Italy). *Journal of Applied Entomology*, *142*, 311–318.
- Marianelli, L., Paoli, F., Sabbatini Peverieri, G., Benvenuti, C., Barzanti, G.P., Bosio, G., Venanzio, D., Giacomett, E., & Roversi, P.F. (2019). Long-lasting insecticide-treated nets: a new integrated pest management approach for *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Integrated Environmental Assessment and Management*, *15*, 259–265.
- Niemczyk, H.D., & Lawrence, K.O. (1973). Japanese beetle: evidence of resistance to cyclodiene insecticides in larvae and adults in Ohio. *Journal of Economic Entomology*, *66*, 520–521.
- Pettersson, M., Hagstrum, D., Smith, L., & Jones, T. (2002). *Paenibacillus popilliae* in controlling *Popillia japonica*. *Journal of Applied Microbiology*, *92*(4), 582–590.
- Piñero, J.C., & Dudenhoeffer, A.P. (2018). Mass trapping designs for organic control of the Japanese beetle, *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Pest Management Science*, *74*, 1687–1693.
- Potter, D.A., Patterson, C.G., & Redmond, C.T. (1992). Influence of turfgrass species and tall fescue endophyte on feeding ecology of Japanese beetle and southern masked chafer grubs (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology*, *85*, 900–909.
- Potter, D.A., & Held, D.W. (2002). Biology and management of the Japanese beetle. *Annual Review of Entomology*, *47*, 175–205.
- Régnière, J., Rabb, R. L., & Stinner, R. E. (1979). *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae): a mathematical model of oviposition in heterogeneous agroecosystems. *The Canadian Entomologist*, *111*(11), 1271–1280. <https://doi.org/10.4039/Ent1111271-11>
- Renkema, J. M. & Parent, J.-P. (2021). Mulches used in highbush blueberry and entomopathogenic nematodes affect mortality rates of third-instar *Popillia japonica*. *Insects*, *12*, 907.
- Richmond, D.S., Grewal, P.S., & Cardina, J. (2004). Influence of Japanese beetle *Popillia japonica* larvae and fungal endophytes on competition between turfgrasses and dandelion. *Crop Science*, *44*, 600–606.
- Russin, J.S. (1989). Severity of soybean stem canker disease affected by insect-induced defoliation. *Plant Disease*, *73*, 144.
- Sara, S. A., McCallen, E. B. & Switzer, P. V. (2013). The spatial distribution of the Japanese beetle, *Popillia japonica*, in soybean fields. *Faculty Research & Creative Activity*, *13*, 1–9.
- 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*, 1–14.
- Shanovich, H. N., Ribeiro, A. V. & Koch, R. L. (2021). Seasonal abundance, defoliation, and parasitism of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in two apple cultivars. *Journal of Economic Entomology*, *114*, 811–817.
- Shapiro-Ilan, D. I., Gouge, D. H., & Koppenhöfer, A. M. (2002). Biological control of insects with entomopathogenic nematodes and fungi. *Journal of Nematology*, *34*(3), 245–252.
- Simões, N., Laumond, C. & Bonifassi, E. (1993). Effectiveness of *Steinernema* spp. and *Heterorhabditis bacteriophora* against *Popillia japonica* in the Azores. *Journal of Nematology*, *25*, 480–485.
- Simonetto, A., Sperandio, G., Battisti, A., Mori, N., Ciampitti, M., Cavagna, B., ... & Gilioli, G. (2022). Exploring the main factors influencing habitat preference of *Popillia japonica* in an area of recent introduction. *Ecological Informatics*, *70*, 101749.
- Sipolski, S.J., Datson, S.W., Reding, M., Oliver, J.B., & Alm, S.R. (2019). Minimizing bee (Hymenoptera: Apoidea) bycatch in Japanese beetle traps. *Environmental Entomology*, *48*, 1203–1213.
- Steckel, S., Stewart, S.D., & Tindall, K.V. (2013). Effects of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) and silk

- clipping in field corn. *Journal of Economic Entomology*, 106, 2048–2054.
- Switzer, P.V., Enstrom, P.C., & Schoenick, C.A. (2009). Behavioral explanations underlying the lack of trap effectiveness for small-scale management of Japanese beetles (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology*, 102, 934–940.
- Tanada, Y. & Kaya, H. K. (1993). *Insect Pathology*. Academic Press, San Diego, USA
- Tumlinson, J.H., Klein, M.G., Doolittle, R.E., Ladd, T.L., & Proveaux, A.T. (1977). Identification of the female Japanese beetle sex pheromone: inhibition of male response by an enantiomer. *Science*, 197, 789–792.