

Sveučilište u Zagrebu

Agronomski fakultet

Borna Glückselig, Jakov Mandić, Mara Stipić

UČINKOVITOST EKOLOŠKI PRIHVATLJIVIJIH INSEKTICIDA I METODA U SUZBIJANJU
KRUMPIROVE ZLATICE

Zagreb, 2018. godina

Ovaj rad izrađen je na Zavod za poljoprivrednu zoologiju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom doc. dr. sc. Maje Čačija i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2017./2018.

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Krumpirova zlatica	1
1.2. Spinosad	4
1.3. Azadiraktin	6
1.4. Ovčja vuna	8
2. Hipoteza i ciljevi rada	9
3. Materijal i metode	10
3.1. Lokalitet istraživanja i uzgoj krumpira	10
3.2. Postavljanje poljskog pokusa	11
3.3. Očitavanje pokusa i obrada podataka	13
4. Rezultati	14
5. Rasprava	17
6. Zaključci	22
7. Zahvale	23
8. Popis literature	24
Sažetak	28
Summary	29

1. Uvod

Krumpirova zlatica (*Leptinotarsa decemlineata* Say) širom svijeta smatra se najvažnijim štetnikom krumpira. Podrijetlom je iz Sjeverne Amerike, a danas je rasprostranjena na području od oko 16 milijuna km² diljem Sjeverne Amerike, Europe i Azije te se nastavlja širiti i dalje (Alyokhin i sur., 2008). Značajan je štetnik zbog šteta koje radi na krumpiru izgrizajući lisnu masu te na nekim srodnim kulturama kao što su patlidžan i rajčica. Značajna je i zbog sposobnosti brzog razvoja rezistentnosti na insekticide koji se koriste za njeno suzbijanje (Kennedy, 2009).

Krumpirova zlatica ima dugu povijest razvoja rezistentnosti na insekticide, a prema Maceljski (1967) u Europi je rezistentnost krumpirove zlatice prvi puta dokazana 1956. godine u Španjolskoj i Portugalu na insekticide na bazi kloriranih ugljikovodika. Prva pojava rezistentnosti krumpirove zlatice je zabilježena sredinom 1950.-ih godina na insekticid DDT (Hare, 1990). U proteklih 60-ak godina, koliko se obavljaju tretiranja krumpirove zlatice kemijskim sredstvima, ona je razvila rezistentnost na 56 različitih djelatnih tvari insekticida različitih mehanizama djelovanja (APRD, 2017). Visoki selekcijski pritisak, zajedno s njenom prirodnom sklonosti brzom prilagođavanju otrovnim tvarima, vremenom je rezultirao velikim brojem rezistentnih populacija krumpirove zlatice (Alyokhin, 2008). S obzirom na rezistentnost, danas se za suzbijanje krumpirove zlatice koriste mnoge antirezistentne strategije koje se baziraju na integriranoj proizvodnji krumpira koja uključuje praćenje štetnika i suzbijanje insekticidima tek nakon prijeđenih pragova štetnosti, te praćenje pojave rezistentnosti i upotrebu insekticida različitih mehanizma djelovanja (Bažok i sur., 2017). S obzirom da je krumpirova zlatica već razvila rezistentnost na mnoge kemijske insekticide, potrebno je istražiti i neke druge insekticide ili metode, posebice one ekološki i ekotoksikološki povoljnije, kao što su derivati mikroorganizama (naturaliti), botanički insekticidi i druge djelatne tvari različitih mehanizama djelovanja.

1.1. Krumpirova zlatica

Krumpirova zlatica (*Leptinotarsa decemlineata* Say) najznačajniji je štetnik krumpira u Hrvatskoj i u svijetu (Bažok, 2013). Podrijetlom je iz Sjeverne Amerike, a tijekom Prvog svjetskog rata se preko Francuske počela širiti po cijeloj Europi. Na području Hrvatske otkrivena je prvi puta 1947. godine u okolici Zaprešića te je do danas proširena po cijeloj državi (Maceljski, 2002).

Odrasle zlatice imaju crne i žute uzdužne pruge i dugačke su oko 10 mm. Ličinke su ružičaste boje s crnom glavom i točkama po tijelu, a narastu od 4 mm do 15 mm. Jaja krumpirove zlatice žute su boje (slika 1). Nalaze se u skupinama od najčešće 25 do 80 jaja na naličju lista (Bažok, 2013). Prezimljuju odrasla zlatica u tlu iz kojeg u proljeće izlazi kada temperatura tla na 10 cm dubine naraste iznad 14.5 °C, a letjeti započinju kada temperatura zraka prijeđe 20 °C. Parenje odraslih zlatica počinje tek nakon ishrane, a kako bi odložile jaja potrebna im je ishrana s više od 20 cm² lisne mase. Ženke zatim odlažu jaja u skupinama na naličje listova, najčešće u svibnju (Maceljski, 2002). Iz odloženih jaja kroz nekoliko dana izađu ličinke koje su jako proždrljive. One se nakon razvoja, koji traje između dva i tri tjedna, spuštaju s biljke na tlu u kojem se kukulje. Početkom srpnja iz kukuljice izlaze odrasle zlatice prve generacije, koje odlažu jaja na već velike i razvijene biljke krumpira. Njihove ličinke se razvijaju tijekom srpnja, a u kolovozu se pojavljuju odrasli oblici druge generacije. Oni se neko vrijeme još hrane prije odlaska na prezimljenje (Bažok, 2013).



Slika 1. Krumpirova zlatica
Snimio: J. Mandić, 2018.

Krumpirova zlatica je tipičan oligofag. Osim krumpirom, zlatica se hrani i patlidžanom, kojeg može jako oštetiti, a može se hraniti i rajčicom (Maceljski, 2002). Posljedica ishrane na listovima može biti potpuna defolijacija, tj. potpuno uništenje cime krumpira, što na kraju dovodi do velikog gubitka prinosa. Kapacitet ishrane odraslih zlatica i ličinki je velik, pa jedan par zlatica zajedno sa svojim potomstvom može uništiti i jedan kvadratni metar lisne površine (Bažok, 2013).

Suzbijanje krumpirove zlatice

Prognoza pojave i potreba za suzbijanjem krumpirove zlatice temelji se na redovitim vizualnim pregledima usjeva. Pregledava se određeni broj biljaka u nizu na način da se prebroje svi razvojni stadiji zlatice (odrasli, ličinke i jaja). Zaraza se izračunava kao broj zlatice po biljci. Odrasle prezimjele zlatice se rijetko pojave u takvom broju da bi napravile štetu. Jedino ako je na svakom busu prisutno više od dvije zlatice, a krumpir je slab, taj stadij zlatice treba suzbijati kemijskim sredstvima. Ličinke je potrebno suzbijati insekticidima kada se prije cvatnje na svakom šestom busu nađe od 10 do 15 ličinki ili otprilike dvije ličinke po biljci. Nakon cvatnje taj prag je veći te se insekticidi primjenjuju kada iz 20 % odloženih jaja izađu ličinke. Pri tome se ne smije čekati da ličinke narastu veće od 4 mm, jer tada insekticidi lošije djeluju te će štete biti mnogo veće (Bažok, 2013). Za suzbijanje krumpirove zlatice u Hrvatskoj dozvolu imaju sredstva na temelju djelatnih tvari klorpirifos, cipermetrin, deltametrin, lambda–cihalotrin, metaflumizon, klorantraniliprol, tiakloprid i spinosad (Bažok, 2018).

Rezistentnost krumpirove zlatice

Krumpirova zlatica je jedan od štetnika koji je među prvima razvio rezistentnost na insekticide. Vrlo brzo se prilagođava i razvija rezistentnost na insekticide koji se koriste za njeno suzbijanje (Bažok i sur., 2017). Prema službenoj bazi podataka Arthropod Pest Resistance Database (APRD) (2017) do danas je zabilježeno 300 slučajeva rezistentnosti krumpirove zlatice, a rezistentnost je utvrđena na 56 djelatnih tvari insekticida. Prema Maceljki (1995a), pojava rezistentnosti zlatice na karbamate i organofosforne (OP) insekticide dokazana je u Hrvatskoj nakon 16 godina njihove šire primjene, a na piretroide nakon sedam godina šire primjene. Godine 1994. rezistentnost na OP insekticide i karbamate bila je proširena na oko 70 % krumpirišta sjeverno od Save i Kupe, a na piretroide na 30 % krumpirišta istog područja (Maceljki 1995b). Osnovni uzrok brzog širenja rezistentnosti ovog štetnika na spomenute insekticide bila je njihova nestručna primjena. Velika prekoračenja propisane doze, korištenje sredstava istog mehanizma djelovanja i prečesta primjena insekticida ubrzali su proces selekcije rezistentnih populacija krumpirove zlatice i time doveli do brzog razvoja rezistentnosti (Maceljki, 1995a).

Do sredine 1990-ih u Hrvatskoj se provodilo sustavno praćenje rezistentnosti krumpirove zlatice. Te informacije su bile vrlo precizne, no uvođenjem insekticida drugačijeg mehanizma djelovanja koji su imali dobro djelovanje na zlaticu mislilo se da je problem rezistentnosti nestao te se praćenje rezistentnosti na te insekticide nije dalje provodilo. Međutim, zlatica je razvila

rezistentnost na većinu tih insekticida samo nekoliko godina nakon njihovog uvođenja te time pokazala da se jako dobro prilagođava svim mjerama suzbijanja koje se provode protiv ne (Bažok i sur., 2017).

1.2. Spinosad

Spinosad je djelatna tvar koju ubrajamo u skupinu spinosina, a prema mehanizmu djelovanja alosterički je aktivator nikotinskog acetilkolinskog receptora (Bažok, 2018). Spinosini su naturaliti, odnosno derivati mikroorganizama, što znači da djelatna tvar potječe iz prirodnih procesa poput fermentacije u bakterijama. Ubraja se u biološke insekticide. Spinosad kao djelatnu tvar čini smjesa dvaju jednako učinkovita spinosina, spinosina A i spinosina D, tvari koje nastaju aerobnom fermentacijom aktinomicete *Saccharopolyspora spinosa*. Ta rijetka vrsta bakterije nađena je u tlu na Karipskom otočju 1982. godine (Mertz i Yao, 1990). Spinosad je insekticid šireg spektra i brzog djelovanja, djeluje želučano i kontaktno na kukce s usnim ustrojem za žvakanje (Salgado i sur., 1998). Primarno se koristi za suzbijanje gusjenica leptira (Lepidoptera). Mehanizam djelovanja na kukca temelji se na aktivaciji živčanog sustava i gubitka mišićne kontrole. Spinosad djeluje na nikotinske acetilkolinske receptore, ali na drukčiji način od ostalih grupa insekticida koji aktiviraju isti receptor. Stalna aktivacija motornih neurona uzrokuje tremor mišića, paralizu i brzo iscrpljivanje kukca do smrti (unutar jednog do dva dana) (Salgado i sur., 1998). Sekundarni učinak spinosada je da djeluje kao agonist GABA (gama aminobutrična kiselina), to jest pojačivač pri prijenosu signala (Bažok, 2018). Zbog jedinstvenog načina djelovanja ne pokazuje unakrsnu rezistentnost sa piretroidima, organofosforinim insekticidima i regulatorima rasta i razvoja kukaca (Roe i sur., 2010).

Otrovnost i opasnost za čovjeka i životinje

Spinosad je vrlo nisko akutno otrovan za sisavce. Oralni LD₅₀ (srednja letalna doza) u mužjaka štakora iznosi 3738 do > 5000 mg/kg, te je on podjednak kao i kod ženki. Akutne dermalne doze u zečeva su > 2000 mg/kg, a inhalacijski LC₅₀ (srednja letalna koncentracija) u štakora je > 5,18 mg/l (Jachetta, 2001, Dow AgroSciences, 1997). Spinosad se brzo apsorbira i metabolizira u štakora, pri čemu se 60 % do 80 % spinosada ili njegovih metabolita izlučuje urinom ili fecesom (Dow AgroSciences, 1997). Ne pokazuje kancerogeno, mutageno ili neurotoksično djelovanje na sisavcima ni pri najvećim testiranim dozama, iako je moguće da ima neke učinke na GABA i druge receptore u mozgu sisavaca (Thompson i sur., 2000, Salgado i sur., 1998). Ubraja se u

Grupu III prema otrovnosti. Malo je otrovan za ptice te umjereno otrovan za ribe i vodene beskralješnjake. U laboratorijskim testovima pokazao se jako otrovnim za kamenice i druge mekušce (Jachetta, 2001).

Ponašanje u okolišu

Spinosad je relativno perzistentan u tlu: mikroorganizmi ga razgrađuju u druge spinosine koji mogu ostati biološki aktivni i nekoliko mjeseci. Ponovljena primjena također može dovesti do manjeg nakupljanja spinosina u tlu. Iako je spinosin A više topljiv u vodi od spinosina D, jače se veže uz čestice tla te ima slabu mobilnost u tlu. Desetomjesečno istraživanje u SAD-u pokazalo je da se produkti razgradnje spinosada ne mogu naći u tlu ispod 60 cm (Saunders i Bret, 1997). Spinosad je hidrolitički stabilan, no uz svjetlost u vodi se brzo razgrađuje. Bez utjecaja svjetla vrijeme poluživota spinosina A i D u vodi je najmanje 200 dana. Na površini listova spinosad je slabo perzistentan jer je fotolabilan: vrijeme poluraspada (DT_{50}) za spinosin A je 1,6 do 16 dana, ovisno o količini svjetla. Važno je napomenuti da su rezidue spinosada na suhoj površini vrlo malo štetne za vrste kukaca koji se ne hrane biljkama (Saunders i Bret, 1997).

Opasnost za korisne organizme

Spinosad je jako otrovan za pčele (Bret i sur., 1997) i štetan je za osice roda *Trichogramma* i druge parazitoide (Bret i sur., 1997; Suh i sur., 2000; Tillman i Mullrooney, 2000). Kada se rezidue osuše (nakon par sati) mnogo je manje otrovan za pčele i druge korisne organizme. U istraživanju na kukuruzu spinosad se pokazao vrlo učinkovitim protiv kukuruznog moljca i pritom pošteđuje njegove prirodne neprijatelje (Musser i Shelton, 2003). Za razliku od toga, Cisneros i sur. (2002) utvrdili su da male do umjerene doze spinosada uzrokuju smrtnost nekoliko vrsta prirodnih neprijatelja, što se ne slaže s izjavom tvrtke Dow AgroSciences AgroScience o sigurnosti spinosada za takve kukce (Thompson i Hutchins, 1999). Primjena u dozama od 25 do 150 g/ha ne uzrokuje značajne učinke na respiraciju mikroflora u tlu. Nema značajnog učinka na gujavice ($LD_{50} > 970$ mg/kg) (Jachetta, 2001). Malo je istraživani učinak spinosada na detritivorne vrste kukaca u tlu i njihove predatore, uključujući mrave i skokunce. Međutim, kako se neki pripravci spinosada koriste protiv vatrene mrava („soil dwelling“ vrste u tlu), vjerojatno je da ima učinka na takvu faunu tla (Jachetta, 2001).

Metabolizam na biljci

Spinosad je lokalni sistemik. Djelomično ulazi u biljku preko listova, a to pojačava njegovo djelovanje tijekom vremena. Kada se osuši na listu, malo je učinkovit za vrste kukaca koje nisu

fitofagne. Folijarnom primjenom u preporučenim dozama nije fitotoksičan za biljke. U Hrvatskoj se primjenjuje folijarno, to jest prskanjem pripravka po listu, a karenca iznosi 3 dana za krastavce, 7 dana za krumpir i papriku, 14 dana za maslinu i 21 dan za jabuku i vinovu lozu (Bažok, 2018).

Djelotvornost na štetnike i spektar primjene

Iako je spinosad najdjelotvorniji protiv gusjenica leptira, laboratorijska istraživanja dokazala su da vrlo dobro djeluje i na ostale štetnike povećavanjem doza (Crouse i sur., 2001). Učinkovito suzbija štetnike iz redova Lepidoptera (kukuruzni moljac, kupusni moljac, jabučni savijač, kupusni bjelac), Diptera (muhe-lisni mineri, maslinina muha, mediteranska voćna muha), Isoptera, Hymenoptera, Thysanoptera i Coleoptera (krumpirova zlatica). Također djeluje i na neke lisne minere, jer je lokalni sistemik te ulazi do određene mjere u list biljke. U SAD-u dobiva veliko značenje u suzbijanju stjenice *Cimex lectularius* L., hematofagne vrste koja siše krv ljudi te prenosi viruse i bakterije (Hamm i sur., 2015). U preporučenim dozama spinosad nije učinkovit protiv grinja (Thompson i sur., 2000), iako u višim dozama (ili u kombinaciji s nekim pojačivačima) ima akaricidno djelovanje. Djelovanje protiv grinja iskazuje u zaštićenim prostorima, a u polju je djelovanje slabo (zbog fotolabilnosti i slabog prodora u grinje) (Crouse i sur., 2001). Spinosad je u Hrvatskoj registriran za primjenu na vinovoj lozi, jabuci, krumpiru, paprici, krastavcu, rajčici, gerberima, kupusnjačama, lukovičastom povrću i brojnim drugim kulturama. Koristi se za suzbijanje krumpirove zlatice, grozdova moljca, minera okruglih mina, savijača kože, kalifornijskog tripsa, lisnih minera i drugih štetnika (Bažok, 2018). Ne smije se koristiti u krmnim usjevima jer se lako nakuplja u mlijeku i masnom tkivu. Pripravak Laser SC (24 % spinosada) koji je registriran u Hrvatskoj u 2018. godini primjenjuje se za suzbijanje krumpirove zlatice u krumpiru u preporučenim dozama od 0,1 do 0,15 l/ha, uz najviše tri tretiranja u vegetacijskoj sezoni (Bažok, 2018).

1.3. Azadiraktin

Azadiraktin je botanički insekticid i jedan od prvih aktivnih sastojaka izoliranih iz stabla neema (Ketkar, 2000). Stablo neema (*Azadirachta indica*) pripada porodici Meliaceae. Porijeklom je iz južne i jugoistočne Azije, a danas ga nalazimo u tropskim i u subtropskim područjima Afrike, Sjeverne i Južne Amerike i Australije (Grdiša i Gršić, 2013). U Indiji je već tisućama godina poznat po insekticidnom djelovanju. Djelatna tvar azadiraktin dobiva se iz listova, kore, plodova i

sjemenki stabla neema, no najveća količina insekticidnog sastojka prisutna je u sjemenkama (Bezjak i sur., 2006). One sadrže brojne analoge azadiraktina, ali glavni oblik je azadiraktin A ili samo azadiraktin (FAO, 2018). Azadiraktin na tretiranu biljku djeluje kao sistemik tako da cijela biljka postane otporna na štetnike. Kao sistemičan insekticid djeluje na sve štetnike koji grizu i sišu na biljci. Na štetne kukce djeluje repelentno, ometa ishranu, djeluje kao regulator rasta i razvoja, ometa ovipoziciju, utječe na plodnost i pokretljivost kukaca (Grdiša i Gršić, 2013). Ulje neema koristi se i kao botanički fungicid. Može poslužiti kao prevencija ili kod prvih znakova bolesti tako da štiti površinu lista i sprječava klijanje spora. U zaštiti uskladištenih proizvoda ulje ili prah od neema mogu održati proizvode zdravima i kvalitetnima (Natureneem, 2018).

Ponašanje u okolišu i opasnost za korisne organizme

Azadiraktin se razgrađuje u vodi ili na svjetlu za 100 sati. Nepokretan je u tlu i manje toksičan na toplokrvne organizme. Letalna doza (LD_{50}) za štakora koji azadiraktin unese oralno iznosi > 5000 mg/kg (Korunić i Rozman, 2012). Zbog slabe kontaktne otrovnosti pošteduje prirodne neprijatelje (Bezjak i sur., 2006). Bezopasan je za oprašivače, pčele, sisavce i gujavice u tlu (Natureneem, 2018).

Djelotvornost na štetnike i spektar primjene

Azadiraktin je botanički insekticid širokog spektra djelovanja, djeluje na oko 200 vrsta kukaca, grinja i nematoda (Korunić i Rozman, 2012). Ulazeći u tijelo kukca, azadiraktin blokira pravilan rad hormona što rezultira time da kukci više ne žele jesti, letjeti, pariti se niti polagati jaja, čime se prekida njihov životni ciklus (Pro-eco, 2018). Kivan (2005) navodi da kada se primjeni smanjena koncentracija azadiraktina, ličinke uspijevaju prijeći u idući stadij, ali na kraju ugibaju. Ako slučajno kukci dođu do odraslog stadija, biti će deformirani i sterilni bez mogućnosti za daljnju reprodukciju. Uspješnost djelovanja insekticida ogleda se u prestanku šteta na kulturama. kukci se prestaju hraniti, kopulirati i odlagati jaja, a ona koja su odložena bivaju sterilna. Prema Pro-eco (2018) pripravak NeemAzal® TS koji sadrži ovu djelatnu tvar koristi se u velikom broju kultura kao što je povrće, agrumi, vinova loza, koštičavo i jezgričavo voće (osim kruške), malina, kupina, borovnica, ribiz, ogrozd, jagoda, maslina, smokva, badem lijeska, orah i kesten te ukrasno bilje. Primjenjuje se protiv lisnih uši, štitarstih moljaca, muha lisnih minera, sovica, tripsa, krumpirove zlatice, lukove muhe, leptira, lisnih minera agruma, groždanih moljaca, cvrčaka, malog mrazovca, medećeg cvrčka, maslinovog moljca, stjenica i drugih štetnika. Sredstvo NeemAzal TS na bazi azadiraktina ima dozvolu za suzbijanje krumpirove zlatice u Republici Hrvatskoj u 2018. godini i primjenjuje se tijekom sezone u količini 2 do 3 l/ha (FIS baza, 2018).

1.4. Ovčja vuna

Vuna je jedan od najvažnijih proizvoda ovaca, često korištena u domaćinstvu i u tekstilnoj industriji. Zadnjih nekoliko desetljeća smanjen je interes za vunom, osobito onom lošije kvalitete. Često se događa da bude nekontrolirano bačena u prirodi kao otpad. U posljednje vrijeme sve se više istraživanja radi s ciljem pronalaženja rješenja za održivu upotrebu vune lošije kvalitete i mogućnosti njezinog korištenja u poljodjelstvu. Prema Mioč i sur. (2017) najjednostavniji i najjeftiniji način upotrebe ne prerađene ovčje vune jest u izvornom obliku bez pranja i prerade, u neposrednoj blizini mjesta striže, prekrivanjem gredica u biljnoj proizvodnji, odnosno za malč. Vuna korištena kao malč dobro prekriva gredicu i učinkovito sprječava rast korova, umanjuje evaporaciju te time umanjuje potrebne količine vode za navodnjavanje. Osigurava povoljnu strukturu tla te sprječava stvaranje pokorice. Kao dobar izolator vuna umanjuje temperaturne oscilacije u površinskom sloju tla i osigurava povoljnu temperaturu za rast biljaka, djeluje repelentno na divljač, a razgradnjom otpušta hranjive tvari u tlo (O'Briant i Charlton-Perkins, 2012.; cit. Mioč i sur., 2017). Glavni organski sastojci vanskog vlakna jest ugljik (50-52 %), te kisik (22-25 %), dušik (10-17 %), vodik (6,5-7,5 %) i sumpor (3-4 %) (Nikolić i Simović, 1977.; cit. Mioč i sur., 2007). Adi i Pacurar (2015) tvrde da ovčja vuna, kada se unese u tlo, ima velik kapacitet apsorpcije i zadržavanja vode u tlu što sprječava njegovo isušivanje te smanjuje mogućnost erozije. Autori još navode da se sporim otpuštanjem hranjiva iz vune smanjuje mogućnost pretjerane ishranjenosti biljke tijekom sezone te da je velika prednost korištenja peleta u tome što razrahljuju tlo te tako osiguravaju lakši rast korijenove mase i razvoj korijenovih dlačica. Prema Dessureault (2012) pelete bi trebalo unositi u tlo jednom godišnje.

Pelete od ovčje vune registrirane kao organsko gnojivo mogu se naći na tržištima Njemačke, Austrije, Kanade, Italije i SAD-a (Böhme i sur., 2012.; cit. Mioč i sur., 2017). Vunu možemo koristiti u obliku supstrata za hidroponski uzgoj. Testiranjem su utvrđeni bolji rezultati (19 % do 42 %) u ostvarenom prinosu. Ovčja vuna u početku primjene ima veći zračni kapacitet (70 %) od ostalih supstrata, ali se nakon zasićenja vodenom otopinom početni kapacitet znatno smanjuje (Böhme i sur., 2012.; cit. Mioč i sur., 2017). Korištenjem vune kao gnojivo biljke imaju produljenu vegetacijsku sezonu te su otpornije na napad štetnika (Seibold i sur., 2015.; cit. Mioč i sur., 2017).

2. Hipoteza i ciljevi rada

Hipoteza ovoga rada je da naturalit spinosad i botanički insekticid azadiraktin imaju insekticidno djelovanje na ličinke krumpirove zlatice i time uzrokuju smanjenje populacije ovog štetnika na usjevu krumpira, a ovčja vuna u obliku runa i filca može služiti kao fizička barijera i time spriječiti dolazak krumpirove zlatice na krumpir. Cilj istraživanja bio je u poljskim uvjetima utvrditi učinkovitost ekološki prihvatljivijih insekticida i metoda suzbijanja i (spinosad, azadiraktin i ovčja vuna) te usporediti s učinkovitošću standardnih kemijskih insekticida protiv krumpirove zlatice.

3. Materijal i metode

3.1. Lokalitet istraživanja i uzgoj krumpira

Poljski pokus proveden je na pokušalištu Maksimir Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Na pokusnoj parceli veličine oko 1800 m² dvorednom sadilicom zasađen je početkom travnja (4.4.2017.) krumpir sorte Cleopatra (Slika 2 i Slika 3). Sveukupno je posađeno 24 reda krumpira. Pri uzgoju krumpira obavljane su agrotehničke mjere: gnojidba prije sadnje (31.3.2017. NPK 7-20-30, 200 kg) te primjena herbicida (11.5.2017. split-aplikacija Basagran SL 480 (1 l/ha) i Sencor SC 600 (0,3 l/ha) te 26.5.2017. Targa (4 l/ha)).



Slika 2. Sadnja krumpira na pokusnoj parceli pokušališta Maksimir u travnju 2017.

Snimila: H. Virić Gašparić



Slika 3. Pokusno polje krumpira na pokušalištu Maksimir u svibnju 2017.

Snimila: Z. Drmić

3.2. Postavljanje poljskog pokusa

Od ukupne veličine polja (oko 1800 m²) za poljski pokus korišteno je 1085 m². Pokus je proveden prema EPPO standardima PP 1/12(4) (EPPO, 2012) i postavljen prema slučajnom blok rasporedu. Sredinom svibnja 2017. kolcima i špagama označene su manje parcele duljine 9 m i širine 2,8 m koje čine jedan blok od oko 25 m². Sveukupno je postavljeno četiri takva bloka u šest ponavljanja, s razmakom od 1 m između ponavljanja, što čini ukupno 24 pokusne parcele (Slika 4). Svaka pokusna parcela imala je četiri reda krumpira, a na rubnim dijelovima polja ostavljena su također četiri reda krumpira (2,8 m) koja su služila kao prostorna izolacija od susjednih polja na pokušalištu.

Sredinom svibnja 2017. obavljena je umjetna zaraza pokusnog polja odraslim krumpirovim zlasticama koje su ispuštane na svaku pokusnu parcelu (oko 30 zlatice na četiri reda pokusne parcele). Zlatice korištene u istraživanju prikupljene su u okolici Zagreba.

Varijante, odnosno pripravci i doze korišteni u poljskom pokusu prikazani su u Tablici 1. Od ekološki prihvatljivih insekticida i metoda korišteni su spinosad, azadiraktin te ovčja vuna u obliku runa i filca, a od kemijskih insekticida djelatne tvari klorantraniliprol i metaflumizon.

Tablica 1. Varijante u poljskom pokusu s krumpirovom zlasticom, pokušalište Maksimir, 2017.

Br. varijante	Varijanta	Djelatna tvar	Doza (l/ha)
1.	Laser SC	spinosad	0,15
2.	Coragen 20 SC	klorantraniliprol	0,06
3.	Alverde	metaflumizon	0,25
4.	NeemAzal TS	azadiraktin	2,50
5.	Ovčje runo	/	/
6.	Ovčji filc	/	/
7.	Kontrola	čista voda	/

Varijante su postavljene krajem svibnja (30.5.2017.), u vrijeme izlaska ličinki iz jaja, pri čemu su varijante 1. do 4. i kontrola primijenjene folijarno na sva četiri reda pokusne parcele. Ovčja vuna, odnosno runo i filc postavljani su na istoj pokusnoj parceli na način da svaki prekrije tlo u dva reda biljaka (tlo između redova i tlo uz same biljke) (Slika 5). Svih sedam varijanti u poljskom pokusu postavljeno je u četiri ponavljanja (Slika 4).

		BLOK I	BLOK II	BLOK III	BLOK IV		
4 r e d a r u b		6. KONTROLA	3. ALVERDE	2. CORAGEN	5. RUNO + FILC	4 r e d a r u b	
		5. RUNO + FILC	2. CORAGEN	1. LASER	3. ALVERDE		
		4. NEEMAZAL	5. RUNO + FILC	6. KONTROLA	1. LASER		
		3. ALVERDE	1. LASER	4. NEEMAZAL	2. CORAGEN		
		2. CORAGEN	4. NEEMAZAL	5. RUNO + FILC	6. KONTROLA		
1 m razmaka							
9 m		1. LASER	6. KONTROLA	3. ALVERDE	4. NEEMAZAL		
	2,8 m (4 reda)						

Slika 4. Shematski prikaz postavljenog poljskog pokusa utvrđivanja učinkovitosti različitih insekticida i metoda na krumpirovu zlaticu (pokušalište Maksimir, 2017.)



Slika 5. runo i filc postavljeni su na istoj pokusnoj parceli (pokušalište Maksimir, 2017.)

Snimila: Z. Drmić

3.3. Očitavanje pokusa i obrada podataka

Na svakoj varijanti očitavana je brojnost živih ličinki krumpirove zlatice i to na dva unutarnja reda svake pokusne parcele. Na početku pokusa (prije tretiranja insekticidima i postavljanja vune) obavljeno je očitavanje početne brojnosti ličinki krumpirove zlatice na svih sedam varijanti. Brojnost je izražena kao prosječan broj ličinki po biljci. Nakon primjene tretmana, brojnost živih ličinki na svakoj varijanti očitana je treći, šesti i deveti dan od prvog tretiranja, kako bi odredili učinkovitost ekološki prihvatljivijih insekticida i metoda te kemijskih insekticida. Učinkovitost je izračunata po Henderson-Tilton-u:

$$\text{učinkovitost (\%)} = (1 - Ta \times Cb/Tb \times Ca) \times 100,$$

pri čemu je:

Ta – broj na tretmanu nakon tretiranja,

Tb – broj na tretmanu prije tretiranja,

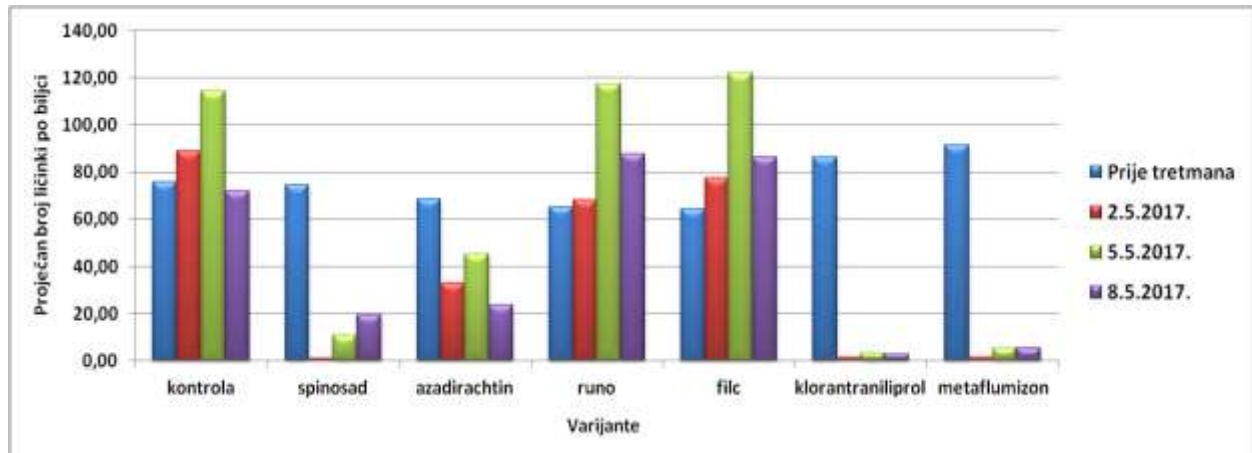
Ca – broj na kontroli poslije tretiranja,

Cb – broj na kontroli prije tretiranja.

Podatci o učinkovitosti insekticida i metoda na brojnost ličinki krumpirove zlatice statistički su obrađeni analizom varijance (ANOVA) i rangirani pomoću Tukey-eva HSD testa ($P=0,05$). Za statističku analizu upotrijebljen je programski paket ARM 9[®] (Gylling Data Management, 2015).

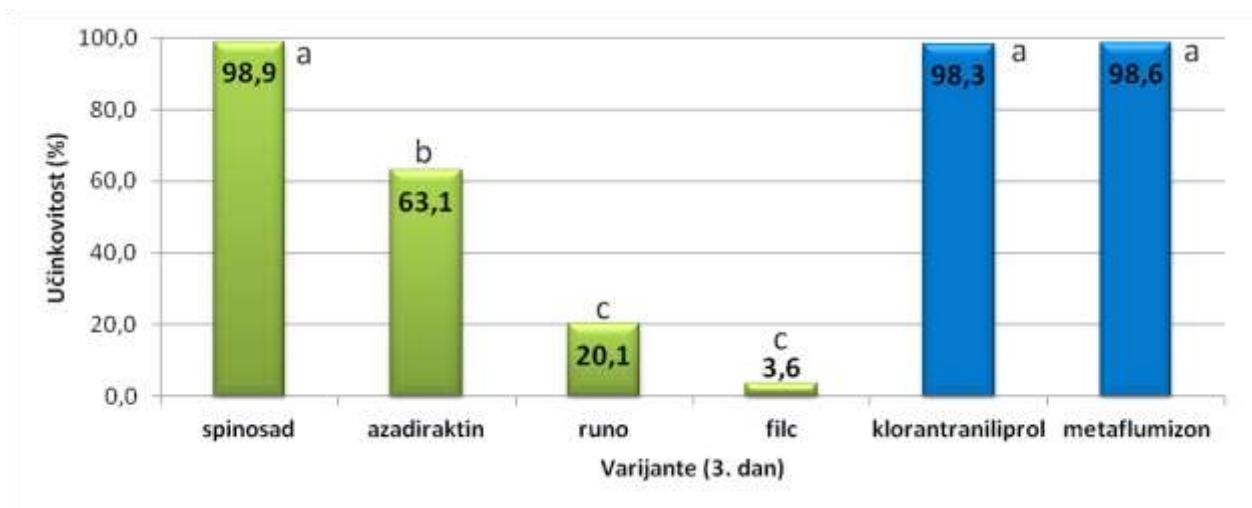
4. Rezultati

Brojnost ličinki krumpirove zlatice po varijantama, utvrđena na početku pokusa (prije tretiranja) te treći, šesti i deveti dan nakon tretiranja prikazana je na Slici 6.



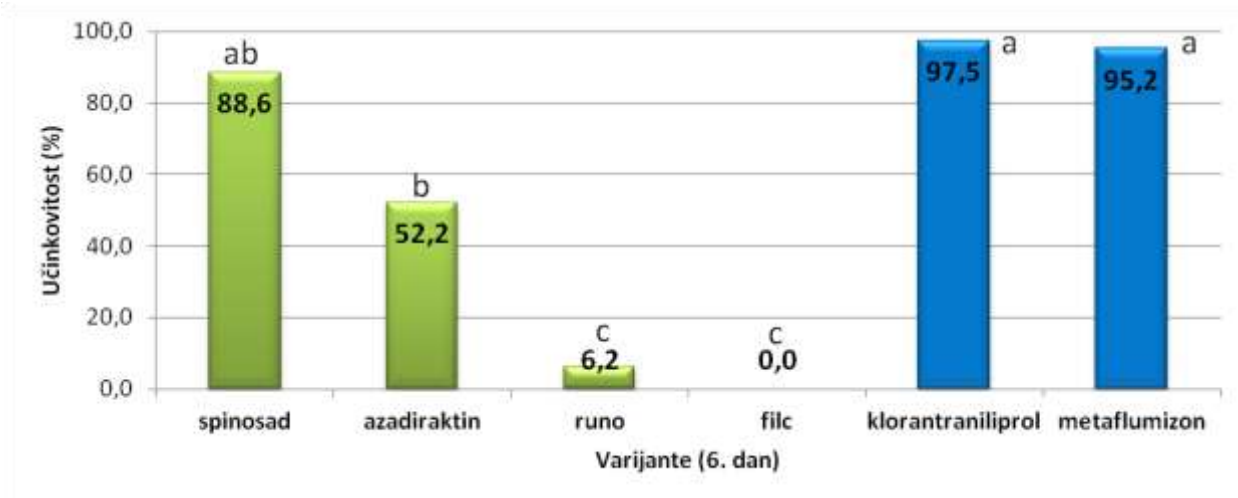
Slika 6. Brojnost ličinki krumpirove zlatice po varijantama prije tretiranja (pokušalište Maksimir, 2017.)

Rezultati učinkovitosti ekološki povoljnijih insekticida (spinosad, azadiraktin) i metoda (ovčja vuna kao runo i filc) te klasičnih kemijskih insekticida (klorantraniliprol, metaflumizon) treći, šesti i deveti dan nakon tretiranja prikazani su slikama 7. do 9. Vrijednosti označene istim malim slovom statistički se značajno ne razlikuju.



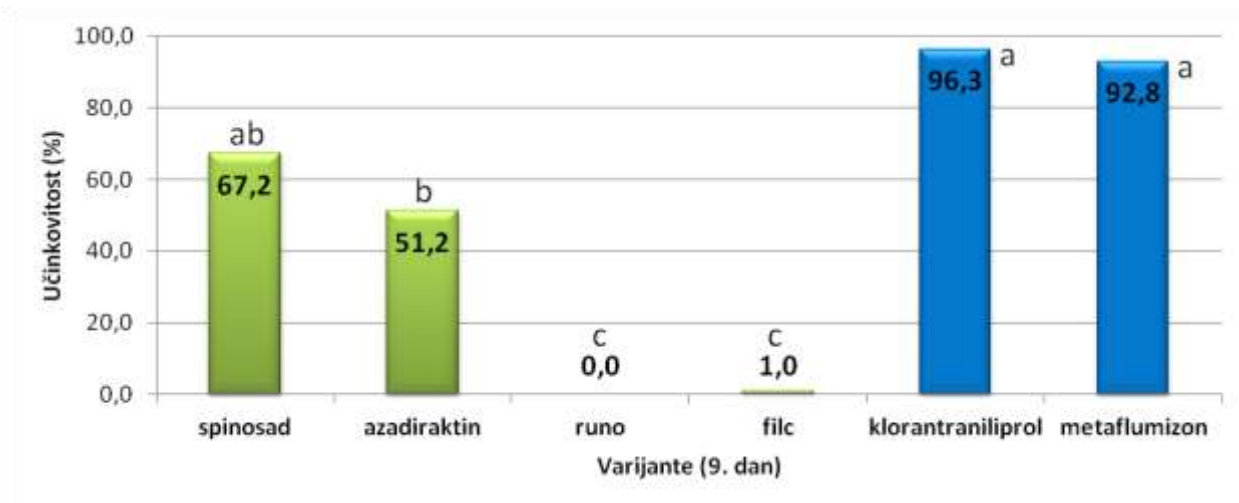
Slika 7. Učinkovitost insekticida i metoda na ličinke krumpirove zlatice tri dana nakon tretiranja u poljskom pokusu (pokušalište Maksimir, 2017.)

Nakon 72 sata, od ekološki prihvatljivih insekticida i metoda najvišu inicijalnu učinkovitost (98,9 %) na ličinke krumpirove zlatice pokazao je spinosad. Azadiraktin je pokazao slabiju učinkovitost (oko 63 %), dok su se runo i filc pokazali najmanje učinkovitima.



Slika 8. Učinkovitost insekticida i metoda na ličinke krumpirove zlatice šest dana nakon tretiranja u poljskom pokusu (pokušalište Maksimir, 2017.)

Šesti dan od primijene tretmana, učinkovitost spinosada se smanjila u odnosu na inicijalno djelovanje, no statistički nije se značajno razlikovala od učinkovitosti kemijskih insekticida. Učinkovitost azadiraktina i dalje je bila značajno manja od učinkovitosti kemijskih insekticida, no statistički nije se značajno razlikovala od učinka spinosada. Učinkovitost ovčjeg runa se nadalje smanjila, dok se filc šesti dan pokazao potpuno neučinkovit u suzbijanju ličinki krumpirove zlatice. Kemijski insekticidi klorantraniliprol i metaflumizon pokazali su visoku učinkovitost (> 95 %) i šesti dan od primijene tretmana.



Slika 9. Učinkovitost insekticida i metoda na ličinke krumpirove zlatice devet dana nakon tretiranja u poljskom pokusu (pokušalište Maksimir, 2017.)

Zadnje očitavanje pokazalo je da, iako se učinkovitost spinosada smanjila do kraja pokusa, pokazao se jednako učinkovit kao i kemijski insekticidi. Djelatna tvar azadiraktin nije pokazala zadovoljavajuću učinkovitost (oko 51 %) na ličinke krumpirove zlatice. Najnižu učinkovitost nakon devet dana pokazala je ovčja vuna, pri čemu niti runo niti filc nisu djelovali na smanjenje brojnosti ličinki krumpirove zlatice. Kao rezultat takve niske učinkovitosti, na varijanti gdje su bili postavljeni runo i filc nastale su biljke su bile gotovo cijele obrštene (Slika 10).



Slika 10. Velike štete na krumpiru od krumpirove zlatice zabilježene u poljskom pokusu na varijanti s ovčjom vunom (pokušalište Maksimir, 2017.)

Snimila: Z. Drmić

5. Rasprava

Krumpirova zlatica (*Leptinotarsa decemlineata* Say) u zemljama gdje je prisutna jedan je od ekonomski najznačajnijih štetnika krumpira. U proteklih šezdesetak godina razvila je rezistentnost na 56 različitih insekticida (APRD, 2017). Antirezistentne strategije suzbijanja krumpirove zlatice danas se temelje na integriranoj proizvodnji krumpira, a ona uključuje praćenje štetnika i suzbijanje tek nakon prijeđenih pragova odluke, te praćenje pojave rezistentnosti i uporabu insekticida različitih mehanizama djelovanja. Osim navedenog, trebale bi se primjenjivati i mjere kao što su plodored, agrotehničke mjere, semiokemikalije, ali i različite biološke mjere suzbijanja (Bažok i sur., 2017). U 2017. godini na pokušalištu Maksimir proveden je poljski pokus u kojem je istražena učinkovitost ekološki prihvatljivijih insekticida i metoda te uspoređena s učinkovitošću standardnih kemijskih insekticida protiv krumpirove zlatice. Od ekološki prihvatljivih insekticida korišteni su naturalit spinosad, botanički insekticid azadiraktin te ovčja vuna u obliku runa i filca. Od kemijskih insekticida korištene su djelatne tvari klorantraniliprol i metaflumizon.

Spinosad

Rezultati provedenog istraživanja pokazali su da je od ekološki prihvatljivijih insekticida i metoda najvišu inicijalnu učinkovitost (oko 99 % treći dan nakon tretmana) na ličinke krumpirove zlatice pokazao spinosad. Pri tome se učinkovitost nije značajno razlikovala od učinkovitosti kemijskih insekticida (klorantraniliprola i metaflumizona) koji su polučili visoku učinkovitost. Šesti dan od primijene tretmana, učinkovitost spinosada se smanjila (na oko 89 %) u odnosu na inicijalno djelovanje, no i dalje se nije značajno razlikovala od učinkovitosti kemijskih insekticida. U zadnjem učitavanju pokusa (deveti dan) učinkovitost spinosada bila je oko 60 %. Iako se učinkovitost smanjila, na kraju pokusa spinosad se pokazao jednako učinkovit kao i kemijski insekticidi. Spinosad je naturalit (derivat mikroorganizama), djeluje kontaktno i želučano na kukce s usnim ustrojem za žvakanje (Salgado i sur., 1998), kao što ga imaju i odrasle jedinke i ličinke krumpirove zlatice. Insekticid je brzog djelovanja na širi spektar štetnika. Brzo djelovanje spinosada pokazalo se i u našem pokusu, gdje je najveća učinkovitost bila u prvom očitavanju, odnosno tri dana nakon tretmana. Slično našim rezultatima poljskog pokusa, u laboratorijskim istraživanjima provedenim 2001. i 2002. učinkovitost spinosada na krumpirovoj zlatici četvrti dan nakon tretiranja bila je 96 % (Bažok i sur., 2008). Također, rezidualno djelovanje spinosada je 10 do 14 dana (UME, 2007), što je vidljivo i iz naših rezultata, jer se nakon devet dana od tretmana učinkovitost spinosada i dalje nije značajno razlikovala od onih klasičnih insekticida. Saunders i Bret (1997) navode da je spinosad slabo perzistentan na površini listova, jer je fotolabilan i ima

vrijeme poluraspada od 1,6 do 16 dana, ovisno o količini svjetlosti, što dijelom možete objasniti smanjenje učinkovitosti tijekom vremena. Spinosad dakle može imati dobra insekticidna svojstva i biti učinkovit protiv krumpirove zlatice, a povoljni ekotoksikološki profil čini ga pogodnim u integriranoj i organskoj proizvodnji. Ekološki je vrlo povoljan, jer je učinkovit u malim dozama i uglavnom pošteđuje korisne kukce (Bažok i sur., 2008).

Kao i u slučaju kemijskih insekticida, učestala primjena spinosada rezultirala je pojavom rezistentnosti. Istraživanja učinkovitosti spinosada i imidakloprida (neonikotinoid) na krumpirovu zlaticu provedena u SAD-u pokazala su da je imidaklopid imao veću učinkovitost od spinosada, ali zlatice koje su pokazale rezistentnost na imidaklopid pokazale su rezistentnost i na spinosad (Mota-Sanchez i sur., 2005). Spinosad bi kao ekološki prihvatljiviji insekticid mogao zamijeniti kemijske pripravke, budući da imaju istu učinkovitost, ali sama zamjena kemijskih insekticida spinosadom u budućnosti neće riješiti najveći problem, a to je pojava rezistentnosti. Kako bi se izbjegla pojava rezistentnosti krumpirove zlatice na spinosad, potrebno je izbjegavati primjenu na slijedećim generacijama kukaca i upotrebljavati naizmjenično neke druge insekticide, posebice one drukčijeg mehanizma djelovanja (Roe i sur., 2010).

Azadiraktin

Drugi ekološki prihvatljiviji insekticid korišten u istraživanju bio je azadiraktin. Azadiraktin je u poljskom pokusu već u prvom očitavanju tri dana nakon tretmana pokazao slabiju učinkovitost (oko 63 %) na ličinke krumpirove zlatice, koja je bila značajno manja od učinkovitosti spinosada te klasičnih insekticida. Šesti dan nakon tretmana, učinkovitost azadiraktina se dalje smanjivala (na oko 52 %), dok je u posljednjem očitavanju deveti dan učinkovitost ostala gotovo jednaka (oko 51 %). U zadnja dva očitavanja, statistički se učinkovitost azadiraktina nije značajno razlikovala od učinkovitosti spinosada, ali su zabilježene značajne razlike u usporedbi s klorantraniliprolom i metaflumizonom. Prema tome, u našem pokusu učinkovitost azadiraktina nije bila zadovoljavajuća. Ovakav rezultat mogao bi se objasniti repelentnim djelovanjem azadiraktina na kukce (Grdiša i Gršić, 2013), zbog čega su se zlatice manje hranile tretiranim lišćem i nisu unijele dovoljnu količinu djelatne tvari u tijelo. Maceljski (2002) navodi također da krumpirove zlatice mogu izdržati dulji period bez hrane te na taj način „izbjeći“ unos insekticida. Nadalje, azadiraktin ima kratkotrajno djelovanje, odnosno zabilježeno je da se na svjetlu razgrađuje za 100 sati (Korunić i Rozman, 2012) pa je i to jedan od mogućih razloga slabije učinkovitosti.

Učinkovitost djelatne tvari azadiraktin prepoznata je još 1959. godine kada je njemački znanstvenik u Sudanu otkrio da je drvo neema ostalo zeleno i netaknuto uslijed napada skakavaca. Neem, odnosno njegova djelatna tvar azadiraktin, danas je jedan od najvažnijih insekticida koji se koristi u ekološkoj proizvodnji. Ima širok spektar djelovanja. Učinkovit je protiv više od 200 štetnih kukaca, dok je za ne ciljane organizme (oprašivači, pčele i sisavci) potpuno bezopasan (Natureneem, 2018). Pripravak NeemAzal TS prodire u list te se unutar lista djelomično sistematski transportira. Sisajući i grizući kukci iz lista uzimaju djelatnu tvar. Ulazeći u tijelo kukaca, azadiraktin blokira pravilan rad hormona. Ovo rezultira time da kukci više ne žele jesti, letjeti, pariti se niti polagati jaja (Pro-eco, 2018). Populacija štetnika koja više ne može niti jesti niti se razmnožavati, polako nestaje jer je njihov životni ciklus prekinut. Zbog posebnog načina djelovanja, uspjeh tretiranja azadiraktinom ne ocjenjuje se brojem uginulih kukaca već se djelovanjem azadiraktina smanjuju štete, budući djeluje na ishranu štetnika. Populacije kukaca još su određeno vrijeme vidljive, no nove populacije se više ne stvaraju (Pro-eco, 2018).

Bezjak i sur. (2006) navode da se, unatoč nižoj polučenoj učinkovitosti, azadiraktin preporuča u ekološkoj zaštiti krumpira od krumpirove zlatice. Rezultati njihovog istraživanja pokazali su da je u laboratorijskim uvjetima postignuta učinkovitost od 62 % do 63 %, a u poljskim uvjetima od 55 % do 87 %. Hiiesaar i sur. (2000) proučavali su djelovanje pripravka NeemAzal TS na različite razvojne stadije krumpirove zlatice. Utvrdili su da je iz jaja tretirana s 0,1 % NeemAzal TS izašlo 47 % ličinki. Primjenom veće doze d 0,5 % NeemAzal TS smanjio se izlazak ličinki iz jaja, a iznosio je 24 %. Tretiranjem listova s 1 % NeemAzal TS utvrdili su da je samo 12 % ličinki četvrtog stadija krumpirove zlatice konzumiralo listove. Rezultati istraživanja Hiiesaar i sur. (2009) pokazali su i da se nakon primjene NeemAzal TS ishrana krumpirove zlatice smanjila za tri do pet puta u usporedbi s kontrolom. Čačija i sur. (2017) utvrdili su u laboratorijskom pokusu sporiju inicijalna učinkovitost azadiraktina na ličinke prvog stadija krumpirove zlatice. Nakon 48 i 72 sata učinkovitost je bila 100 %, neovisno o primijenjenoj dozi. Učinkovitost na ličinke trećeg razvojnog stadija ovisila je pak o primijenjenoj dozi. Doza od 4 l/ha je nakon 96 sati postigla 100 %-tnu učinkovitost. Suprotno tome, pripravak NeemAzal nije pokazao zadovoljavajuću učinkovitost na odrasle jedinke krumpirove zlatice. Istovremeno je u pokusima utvrđeno da odrasli konzumiraju značajno manju količinu lista tretiranog insekticidom u odnosu na netretirane listove (Čačija i sur., 2017). Iako u našem pokusu nije pokazao visoku učinkovitost, azadiraktin je ekološki prihvatljiva djelatna tvar, koja u kombinaciji s ostalim sintetskim insekticidima povećava njihovu djelotvornost (Natureneem, 2018). Budući da biljka neem sadrži više aktivnih spojeva koji mogu djelovati insekticidno, štetni kukci teže razvijaju rezistentnost, što pripravcima na temelju neema/azadiraktina daje veliku prednost (Natureneem, 2018).

Ovčja vuna

U pokusu je bilo pretpostavljeno da bi ovčja vuna mogla fizički spriječiti dolazak zlatice na biljku i njihovo kretanje između redova krumpira. Međutim, ovčja vuna, odnosno ovčje runo i filc pokazali su se u poljskom pokusu neučinkovitima u suzbijanju krumpirove zlatice, jer nisu djelovali na smanjenje brojnosti ličinki te su na parcelama s runom i filcom zabilježene gotovo potpune štete na krumpiru. U prvom očitavanju treći dan runo je pokazalo učinkovitost od 20 %, a filc 3,6 %, dok je zadnjem očitavanju učinkovitost filca bila svega do 1 %. U posljednje vrijeme istražuje se mogućnost upotrebu vune u poljoprivredi, posebice one lošije kvalitete koja se često baca i ne iskoristi. Prema Mioč i sur. (2017), najjednostavniji i najjeftiniji način upotrebe neprerađene ovčje vune u poljoprivredi jest u izvornom obliku bez pranja i prerade, prekrivanjem gredica u biljnoj proizvodnji, odnosno za malč. Vuna korištena kao malč učinkovito sprječava rast korova, umanjuje evaporaciju i time umanjuje potrebne količine vode za navodnjavanje. Također osigurava povoljnu strukturu tla i sprječava stvaranje pokorice. Kao dobar izolator vuna umanjuje temperaturne oscilacije u površinskom sloju tla i osigurava povoljnu temperaturu za rast biljaka, djeluje repelentno na divljač, a razgradnjom otpušta hranjive tvari u tlo (O'Briant i Charlton-Perkins, 2012.; cit. Mioč i sur., 2017). Prema našim rezultatima, ovčja vuna u obliku runa i filca nije polučila zadovoljavajući rezultat te je stoga ne bi preporučili kao alternativnu mjeru suzbijanja krumpirove zlatice. No, budući da je vuna ekološki proizvod, valjalo bi istražiti njen učinak na jačanje biljke krumpira i može li takva uporaba vune kao ojačivača biljke pridonijeti smanjenju šteta od krumpirove zlatice.

Klorantraniliprol

Učinkovitost spinosada, azadiraktina i ovčje vune uspoređivane su u poljskom pokusu s učinkovitosti kemijskih insekticida klorantraniliprola i metaflumizona. Klorantraniliprol je djelatna tvar koji pripada kemijskoj skupini antranilnih diamida. To je insekticid namijenjen za suzbijanje štetnika na voćkama, vinovoj lozi, krumpiru i kukuruzu. Kontaktnog i želučanog je djelovanja, ali odlikuje se i translaminarnim te sistemičnim djelovanjem. Djeluje ovcidno i larvicidno (Bažok, 2018). U našem istraživanju klorantraniliprol je pokazao visoku učinkovitost na ličinke krumpirove zlatice u sva tri očitavanja. Tri dana nakon tretiranja učinkovitost je bila 98,3 %, nakon šest dana 97,5 %, a nakon devet dana 96,3 %. Slični rezultati učinkovitosti ove djelatne tvari dobiveni su u istraživanju u Sloveniji 2008. te u istraživanjima u Istočnoj Europi od 2004. do 2007. godine. U oba istraživanja učinkovitost klorantraniliprola na krumpirovu zlaticu kretala se između 95 % i 99 % (Bassi i sur., 2009). Ova djelatna tvar registrirana je u Hrvatskoj u 2018. godini i ima dozvolu za suzbijanje krumpirove zlatice na krumpiru u količini 50 ml do 60 ml

sredstva/ha, a sredstvo treba primijeniti u vrijeme izlaska ličinki iz jaja (Bažok, 2018). Ima relativno povoljan ekotoksikološki profil, jer pokazuje selektivnost na korisne člankonošce pa se smatra pogodnim za primjenu u integriranoj zaštiti bilja. Malo je opasan za pčele (oralni LD₅₀ je 104 µg/pčela), malo toksičan za ptice, srednje toksičan za ptice i visoko toksičan za vodene beskralješnjake (Bažok, 2018). Upravo zbog navedenih svojstava, kao i zbog mogućnosti razvoja rezistentnosti, valjalo bi voditi računa da se primjena klorantraniliprola s vremena na vrijeme zamjenjuje nekom ekološki povoljnijom djelatnom tvari.

Metaflumizon

Druga istraživana kemijska djelatna tvar bila je metaflumizon, insekticid iz nove kemijske skupine fenilkarbazoni (Bažok, 2018). Djeluje na ključni enzim i blokira protok iona kroz natrijski kanal u živčanom sustavu kukaca, zbog čega uzrokuje paralizu i smrt kukaca. Ima širok spektar djelovanja te je visoko toksičan za ribe zbog čega mu je primjena ograničena (Bažok, 2018). U 2018. godini u Hrvatskoj ima dozvolu za suzbijanje krumpirove zlatice na krumpiru u količini 0,2 do 0,25 l/ha, a tretiranje treba obaviti kada je oko 20 % ličinki prve generacije izašlo iz jaja (Bažok, 2018). Kao i klorantraniliprol, u našem istraživanju metaflumizon je pokazao visoku učinkovitost na ličinke krumpirove zlatice. U očitavanju tri dana nakon tretiranja, učinkovitost metaflumizona bila je gotovo 99 %, nakon šest dana oko 95 %, a nakon devet dana oko 93 %. Prema istraživanju Hitchner i sur. (2012), metaflumizon je u poljskom pokusu provedenom 2007. godine u SAD-u pokazao visoku učinkovitost na ličinke i odrasle jedinke krumpirove zlatice folijarnom primjenom na krumpiru, što se slaže s rezultatima našeg istraživanja.

6. Zaključci

1. Najvišu učinkovitost na ličinke krumpirove zlatice u poljskom pokusu pokazali su kemijski insekticidi klorantraniliprol i metaflumizon.
2. Od ekološki prihvatljivih insekticida istraživanih u poljskom pokusu, najvišu učinkovitost na ličinke krumpirove zlatice pokazao je spinosad. Iako se učinkovitost spinosada smanjila do kraja pokusa, pokazao se jednako učinkovit kao i kemijski insekticidi klorantraniliprol i metaflumizon.
3. Botanički insekticid azadiraktin nije pokazao zadovoljavajuću učinkovitost na ličinke krumpirove zlatice u poljskom pokusu, no valjalo bi istražiti i učinke na ostale razvojne stadije zlatice, kao i mogućnosti primjene u kombinaciji s drugim insekticidima ili metodama suzbijanja.
4. Najnižu učinkovitost u poljskom pokusu pokazala je ovčja vuna, pri čemu niti ovčje runo niti filc nisu pokazali da mogu spriječiti dolazak zlatice na biljke i time smanjiti brojnost ličinki krumpirove zlatice.
5. Rezultati pokusa ukazuju da se spinosad može koristiti za suzbijanje krumpirove zlatice te predstavlja ekološki prihvatljivu alternativu kemijskim insekticidima. Zbog mogućnosti pojave rezistentnosti, primjenu spinosada trebalo bi izmjenjivati s drugim insekticidima različitog mehanizma djelovanja.
6. Pokusom dokazana mogućnost korištenja ekološki prihvatljivijih insekticida pridonosi novim strategijama suzbijanja krumpirove zlatice kojima se usporava razvoj rezistentnosti.

7. Zahvale

Zahvaljujemo se mentorici doc. dr. sc. Maji Čačija na pruženoj prilici, na velikom strpljenju, pomoći, podršci i stručnom vodstvu u izradi ovoga rada. Također se zahvaljujemo doc. dr. sc. Dariji Lemić, dr. sc. Zrinki Drmić, Heleni Virić Gašparić, mag. ing. agr., Martini Mrganić, mag. ing. agr. i svim kolegicama studenticama koje su sudjelovale u sadnji krumpira, postavljanju i očitavanju poljskog pokusa. Puno se zahvaljujemo Josipu Lakiću, mag. ing. agr., g. Ivici Luketiću i g. Nikoli Lesičaru na osiguravanju mehanizacije, na pomoći pri sadnji krumpira i primjene agrotehničkih mjera prilikom uzgoja.

8. Popis literature

1. Adi M., Pacurar I. (2015). Study on the Use Sheep Wool in Soil and Fertilization as the Mixture into Cubes Nutrients. *ProEnvironment*, 8: 290-292.
2. Alyokhin A., Baker M., Mota-Sanchez D., Dively G., Grafius E. (2008). Colorado potato beetle resistance to insecticides. *American Journal of Potato Research*, 85: 395-413.
3. APRD (2018). *Leptinotarsa decemlineata*. Arthropod Pest Resistance Database. <<https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=141>>, Pristupljeno: 25.4.2018.
4. Bassi A., Rison J. L., Wiles J. A. (2009). Chlorantraniliprole; a new diamide Insecticide for control of Codling moth (*Cydia pomonella*), Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) and European grapevine moth (*Lobesia botrana*). Zbornik predavanj in referatov 9. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin z mednarodno udeležbo, Nova Gorica, 39-45.
5. Bažok R. (2013). Krumpirova zlatica - *Leptinotarsa decemlineata* Say. *Glasilo biljne zaštite*, 13(4): 282-288.
6. Bažok, R. (2018). Zoocidi u 2018. *Glasilo biljne zaštite*, 18(1-2): 13-110.
7. Bažok R., Čačija M., Lemić D., Virić Gašparić H., Drmić Z. (2017). Rezistentnost krumpirove zlatice na insekticide. *Glasilo biljne zaštite*, 17(5): 460-468.
8. Bažok R., Đurek I., Igrc Barčić J., Gotlin Čuljak T. (2008). Interakcije između ekološki prihvatljivijih insekticida za suzbijanje krumpirove zlatice (*Leptinotarsa decemlineata* Say, Coleoptera, Chrysomelidae). *Fragmenta phytomedica et herbologica*, 30(1-2): 47-63.
9. Bezjak S., Igrc Barčić J., Bažok R. (2006). Učinkovitost biljnih insekticida u suzbijanju krumpirove zlatice. *Fragmenta phytomedica et herbologica*, 29(1-2): 13-24.
10. Bret B. L., Larson L. L., Schoonover J. R., Sparks T. C., Thompson G. D. (1997). Biological properties of spinosad. *Down to Earth*, 52(1) :6-13.
11. Crouse G. D., Sparks T. C., Schoonover J. R., Gifford J., Dripps J., Bruce T., Larson L. L., Garlich J., Hatton C., Hill R. L., Worden T. V., Martynow J. G. (2001). Recent advances in the chemistry of spinosyns. *Pest Management Science*, 57: 177-185.
12. Čačija M., Lemić D., Virić Gašparić H., Neral K., Nađ B., Mrganić M., Bažok R. (2017). Mogućnosti primjene botaničkog insekticida azadirachtina u suzbijanju krumpirove zlatice i tripsa. *Glasilo biljne zaštite*, 1/2: 51-52.
13. Dessureault M. (2012). Sheep Help Fertilize Plants. <<http://reseautranstech.qc.ca/.../Biopterre-Sheephelp-fertilize-plants-09-486>>, Pristupljeno 18. travnja 2018.

14. Dow AgroSciences (1997). Spinosad Technical Bulletin. Dow AgroSciences, Indianapolis.
15. EPPO (2012). Design and analysis of efficacy evaluation trials. European and Mediterranean Plant Protection Organization. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, 42 (3): 367-381.
16. FAO (2018). Azadirachtin.
<http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Specs/azadirachtin2006.pdf>, Pristupljeno: 19.4.2018.
17. FIS baza (2018). Popis registriranih sredstava za zaštitu bilja na dan 04.05.2018. <<https://fis.mps.hr/TrazilicaSZB/Default.aspx?lan=hr-Hr>>. Pristupljeno 17. travnja 2018.
18. Grdiša M., Gršić K. (2013). Botanical Insecticides in Plant Protection. Agriculture Conspectus Scientificus, 78(2): 85-93.
19. Gylling Data Management (2015). ARM 9® GDM software, Revision 9.2014.7 January 28, 2015. Brookings, South Dakota, USA.
20. Hamm R. L., Tolley M. P., Chin-Heady E., Foard T. (2015). Toxicity of Selected Insecticides (Spinosad, Spinetoram, and Isoclast Active [Sulfoxaflor]) to Bed Bugs, 2005 and 2009. Arthropod Management Tests, 40(1).
21. Hare J. D. (1990). Ecology and Management of the Colorado Potato Beetle. Annual Review of Entomology, 35: 81-100.
22. Hiiesaar K., Metspalu L., Jõudu J., Kuusik A. (2000). Diverse effects of NeemAzal-T/S revealed by preimaginal stages of colorado potato beetles, *Leptinotarsa decemlineata* Say. Institute of Plant Protection, Estonian Agricultural University, 79-83.
23. Hiiesaar K., Švilponis E., Metspalu L., Jõgar K., Mänd M., Luik A., Karise R.. (2009). Influence of Neem-Azal T/S on feeding activity of Colorado Potato Beetles (*Leptinotarsa decemlineata* Say). Agronomy Research, 7: 251-256.
24. Hitchner E. M., Kuhar T. P., Dively P. G., Youngman R. R., Phillips C. R. (2012). Baseline Toxicity and Field Efficacy of Metaflumizone on Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). Journal of Economic Entomology, 105 (1): 207-213.
25. Jachetta J. J. (2001). Petition for the Inclusion of Spinosad on the National Organic Standards Board List of Approved Organic Substances. Indianapolis: Dow AgroSciences, 1-14.
26. Kennedy G. G. (2009). Chapter 57 – Colorado Potato Beetle. Encyclopedia of insects, 2: 212-213.
27. Ketkar C. M. (2000). Use of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) and its by-products in organic farming. Practice Oriented Results on Use and Production of Neem - Ingredients and Pheromones. Proceedings of the 9th Workshop; Hohensolms, Germany, 31-38.

28. Kivan M. (2005). Effects of azadirachtin on the sunn pest, *Eurygaster integriceps* put. (Heteroptera, Scutelleridae) in the laboratory. *Journal Central European Agriculture*, 6(2): 157-160.
29. Korunić Z., Rozman V. (2012). Biljni insekticidi. Zbornik radova seminara DDD i ZUPP. 24. znanstveno–stručno–edukativni seminar, 20.-23. ožujka 2012. Split, Hrvatska. Korunić d.o.o., Zagreb, 269-280.
30. Maceljki M. (1967). Pojava rezistentnosti krumpirove zlatice (*Leptinotarsa decemlineata* Say.) u Jugoslaviji. *Agronomski glasnik*, 10: 891-900.
31. Maceljki M. (1995a). Resistance of the Colorado potato beetle in Croatia. Proc. 2. Slovenian Conference on Plant Protection. Radenci, 47-60.
32. Maceljki M. (1995b). Resistance Management of Colorado Potato Beetle in Croatia 1965 to 1995. *Resistance Pest Management, IRAC and Michigan State University*, 7(2): 5-6.
33. Maceljki M. (2002). Poljoprivredna entomologija. Zrinski d.d., Čakovec.
34. Mertz F. P., Yao R. C. (1990). *Saccharopolyspora spinosa* sp. nov. isolated from soil collected in a sugar mill rum still. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 40: 34-39.
35. Mioč B., Pavić V., Sušić, V. (2007). Ovčarstvo. Hrvatska mljekarska udruga. Zagreb.
36. Mioč B., Tomić M., Dražić, V., Džaja, A., Širić, I. (2017). Mogućnosti korištenja ovčje vune u poljodjelstvu. *Hrvatski veterinarski vjesnik - Hrvatska veterinarska komora*. 1-2: 64-70.
37. Mota-Sanchez D., Hollingworth R. M., Grafius E. J., Moyer D. D. (2006). Resistance and cross-resistance to neonicotinoid insecticides and spinosad in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Pest Management Science*, 62: 30-37.
38. Musser F. R., Shelton. A. M. (2003). Factors altering the temporal and within-plant distribution of coccinellids in corn and their impact on potential intraguild predation. *Environmental Entomology*, 32: 575-583.
39. Natureneem (2018). Neem in Agriculture. <http://www.natureneem.com/index_fichiers/Neem_in_Agriculture.htm>, Pristupljeno: 24.4.2018.
40. Pro-eco (2018). NeemAzal® TS. <<http://www.proeco.hr/proizvod/neemazal-ts>>, Pristupljeno: 20.4.2018.
41. Roe R. M., Young H. P., Iwasa T., Wyss C. F., Stumpf C .F., Sparks T. C., Watson G. B., Sheets J. J., Thompson G. D. (2010). Mechanism of resistance to spinosyn in the tobacco budworm, *Heliothis virescens*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 96: 8-13.

42. Salgado V. L., Joel J. S., Gerald B., Watson A., Schmidt L. (1998). Studies on the Mode of Action of Spinosad: The Internal Effective Concentration and the Concentration Dependence of Neural Excitation. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 103-110.
43. Saunders D. G., Bret B. L. (1997). Fate of spinosad in the environment. *Down to Earth*, 52(1): 14-20.
44. Suh C. P. C, Orr D. B., van Duyn J. W. (2000). Effect of insecticides on *Trichogramma exiguum* preimaginal development and adult survival. *Journal of Economic Entomology*, 93(3): 577-583.
45. Thompson G. D., Dutton R., Sparks T. C. (2000). Spinosad - A case study: An example from a natural products discovery programme, *Pest Management Science*.
46. Thompson G. D., Hutchins S. (1999). Spinosad. *Pesticide Outlook*, 10: 78-81.
47. Tillman P. G., Mulrooney J. E. (2000). Effect of selected insecticides on the natural enemies *Coleomegilla maculata* and *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae), *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Lygaeidae), and *Bracon mellitor*, *Cardiochiles nigriceps*, and *Cotesia marginiventris* (Hymenoptera: Braconidae) in cotton. *Journal of Economic Entomology*, 93, 1638-1643.
48. UME (2007). Colorado potato beetles in home gardens. University of Minnesota Extension. <<https://www.extension.umn.edu/garden/insects/find/colorado-potato-beetles/>>. Pristupljeno 21. travnja 2018.
49. Zehnder G., Warthen J. D. (1988). Feeding inhibition and mortality effects of neem-seed extract on the Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, 81(4): 1040-1044.

Učinkovitost ekološki prihvatljivijih insekticida i metoda u suzbijanju krumpirove zlatice

SAŽETAK

Krumpirova zlatica (*Leptinotarsa decemlineata* Say) jedna je od najvažnijih štetnika krumpira. Zbog intenzivnog suzbijanja tijekom dugog vremena, razvila je rezistentnost na brojne insekticide različitog mehanizma djelovanja pa je potrebno istražiti mogućnosti korištenja drugih, ekološki prihvatljivijih insekticida i metoda. U 2017. u poljskom pokusu istražena je učinkovitost ekološki prihvatljivijih insekticida i metoda te uspoređena s učinkovitošću kemijskih insekticida. Od ekološki prihvatljivih insekticida korišteni su naturalit spinosad i botanički insekticid azadiraktin te ovčja vuna u obliku runa i filca, metoda za koju je pretpostavljeno da bi fizički spriječila dolazak zlatice na biljku. Od kemijskih insekticida korištene su djelatne tvari klorantraniliprol i metaflumizon. Pokus je proveden prema EPPO standardima PP 1/12(4), a svaki tretman primijenjen na 25 m² u četiri ponavljanja, u vrijeme izlaska ličinki iz jaja. Učinkovitost je određena brojanjem živih ličinki krumpirove zlatice tri, šest i devet dana od primjene tretmana. Najvišu učinkovitost u pokusu pokazale su djelatne tvari klorantraniliprol (96 %) i metaflumizon (93 %). Od ekološki prihvatljivih insekticida, najvišu inicijalnu učinkovitost (99 %) pokazao je spinosad. Iako se učinkovitost spinosada smanjila do kraja pokusa, pokazao se jednako učinkovit kao i kemijski insekticidi. Djelatna tvar azadiraktin nije pokazala zadovoljavajuću učinkovitost (51 %) na ličinke krumpirove zlatice. Najnižu učinkovitost pokazala je ovčja vuna, pri čemu niti runo niti filc nisu djelovali na smanjenje brojnosti ličinki. Rezultati pokusa pokazali su da se spinosad može koristiti za suzbijanje krumpirove zlatice i da predstavlja ekološki prihvatljivu alternativu kemijskim insekticidima. Zbog mogućnosti razvoja rezistentnosti, primjenu spinosada trebalo bi izmjenjivati s drugim insekticidima različitog mehanizma djelovanja.

Ključne riječi: *Leptinotarsa decemlineata*, spinosad, azadiraktin, ovčja vuna

**Efficiency of environmentally friendly insecticides and methods in
Colorado potato beetle control**

SUMMARY

Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) is an economically important pest of potato. Due to intensive control during a long period, the pest developed resistance to numerous insecticides with various modes of action, so it is necessary to explore the possibilities of using alternative, more environmentally acceptable insecticides and methods of control. A field experiment was set up to investigate the efficiency of more environmentally friendly insecticides and methods and compared it with efficiency of chemical insecticides against Colorado potato beetle. As environmentally friendly insecticides spinosad and azadirachtin were used, and as an alternative method sheep wool (as fleece and felt) was used, as it was presumed it would prevent the pest from getting onto the plant. Chlorantraniliprole and metaflumizone were used as chemical insecticides. Field experiment was conducted according to EPPO standards PP 1/12 (4), with each treatment applied to 25 m² in four replicates at the time of larvae hatching. The efficiency was determined by counting live larvae three, six and nine days after the treatment. Chemical insecticides showed the highest efficiency: chlorantraniliprole 96% and metaflumizone 93%. Of ecologically acceptable insecticides, spinosad had the highest initial efficiency (99%). Although the efficiency decreased by the end of the experiment, it proved to be as effective as chemical insecticides. Azadirachtin did not demonstrate satisfactory efficiency (51%) on Colorado potato beetle larvae. The lowest efficiency was shown by sheep wool, where either the fleece or the felt did not reduce the number of larvae. The results of the field experiment have shown that spinosad can be used to suppress Colorado potato beetle and to represent an environmentally acceptable alternative to chemical insecticides. Due to the possibility of development of resistance, the use of spinosad should be exchanged with other insecticides of different modes of action.

Key words: *Leptinotarsa decemlineata*, spinosad, azadirachtin, sheep wool