

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD25070C

INSEKTICIDI UVEDENI U PRAKSU KRAJEM DVADESETOG I POČETKOM DVADESET PRVOG VEKA

INSECTICIDES INTRODUCED IN PRACTICE AT THE END OF THE TWENTIES AND THE BEGINNING TWENTY-FIRST CENTURY

Vitomir Ćupić^{1*}, Mirjana Bartula¹, Svetozar Krstić¹, Indira Mujezinović²,
Andreja Prevendar Crnić³, Dejana Ćupić Miladinović⁴

Kratak sadržaj

Otkrićem i uvođenjem u praksu raznih supstancija koji deluju štetno na insekte, poznatih pod imenom insekticidi, nesumnjivo su ostvareni veliki, a moglo bi se reći i grandiozni rezultati u zaštiti ljudi, životinja i biljaka od brojnih insekata. Kao što je poznato, njihovom primenom su iskorenjene određene zarazne bolesti, olakšano je suzbijanje i lečenje ektoparazitoza kod ljudi i životinja, te je unapređena i povećana poljoprivredna proizvodnja. U cilju povećanja poljoprivredne proizvodnje danas se u svetu na godišnjem nivou koristi velika količina (milioni tona) ovih sredstava. Ovo pre svega iz razloga što je prevladalo mišljenje da je poljoprivredna proizvodnja postala praktično nemoguća bez primene insekticida, ali i drugih pesticida. Upravo navedene činjenice, odnosno ovakva primena insekticida, koja je često i neracionalna, izaziva sve veću zabrinutost. Pored sve većeg razvoja rezistencije, a time i smanjenja efikasnosti insekticida, postoji sve veća zabrinutost i za zagađenje životne sredine. Nisu retki slučajevi svuda, pa i kod nas u našoj zemlji, da stradaju neciljni insekti, odnosno korisni insekti tj. pčele, ali i drugi organizmi u zemljištu i vodi. Cilj ovog rada je upravo da ukaže ne samo na moguće štete neracionalne primene insekticida, već i da se navedu neki od insekticida, koji su se pojavili na tržištu krajem prošlog i početkom ovog veka, te one biljnog porekla kao potencijalne zamene za insekticide, koji se trenutno koriste.

¹ Dr sci. Vitomir Ćupić, redovni profesor; dr sci. Mirjana Bartula, vanredni profesor; dr sci. Svetozar Krstić, redovni profesor; Univerzitet Metropolitan, Fakultet za primenjenu ekologiju - Futura, Požeška 83a, 11000 Beograd, R. Srbija

² Dr sci. Indira Mujezinović, redovni profesor; Univerzitet u Sarajevu, Veterinarski fakultet, Zmaja od Bosne 90, 71000, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

³ Dr sci. Andreja Prevendar Crnić, redovni profesor; Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet, Vjekoslava Heinzela 55, 10000 Zagreb, R. Hrvatska

⁴ Dr sci. Dejana Ćupić Miladinović, asistent; Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za anatomiju, Bulevar oslobođenja 18, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osoba: vitomir.cupic@futura.edu.rs

Ključne reči: insekticidi, pesticidi, ektoparaziti, insekti, poljoprivreda, zagađenje, životna sredina, prošli vek, dvadesetprvi vek

Abstract

The discovery and introduction into practice of various substances that have a harmful effect on insects, known as insecticides, have undoubtedly achieved great, and one might even say grandiose, results in protecting people, animals and plants from numerous insects. As is known, their application eradicated certain infectious diseases, facilitated the suppression and treatment of ectoparasitoses in humans and animals, and improved and increased agricultural production. In order to increase agricultural production, a large amount (millions of tons) of these funds are used in the world on an annual basis. This is primarily due to the prevailing opinion that agricultural production has become practically impossible without the use of insecticides and other pesticides. The facts just mentioned, that is, this kind of application of insecticides, which is often irrational, is causing increasing concern. In addition to the increasing development of resistance, and thus the decrease in the effectiveness of insecticides, there is also a growing concern about environmental pollution. There are not rare cases everywhere, even here in our country, that non-target insects, that is beneficial insects, ie. bees, but also other organisms in soil and water. The goal of this paper is to point out not only the possible harms of irrational use of insecticides, but also to list some of the insecticides that appeared on the market at the end of the last and the beginning of this century, and those of plant origin as potential substitutes for insecticides that are currently used.

Keywords: insecticides, pesticides, ectoparasites, insects, agriculture, pollution, environment, last century, twenty-first century

UVOD

Otkrićem i uvođenjem u praksu hemijskih supstancija poznatih pod imenom pesticidi, nesumnjivo su ostvareni veliki, a moglo bi se reći i grandiozni rezultati u zaštiti ljudi, životinja i biljaka od brojnih štetočina. U svemu ovom značajnu ulogu su svakako odigrali insekticidi, koji se danas veoma često, a u nekim delovima sveta najčešće koriste. Kao što je poznato, njihovom primenom su iskorenjene određene zarazne bolesti, olakšano je suzbijanje i lečenje ektoparazitoza kod ljudi i životinja, te je unapređena i povećana poljoprivredna proizvodnja.

Danas se insekticidi najčešće koriste u poljoprivredi i komunalnoj higijeni za suzbijanje i kontrolu brojnih insekata. Osim toga, određen broj ovih sredstava je našao svoju primenu i veterinarskoj medicini, gde se koriste kao anti-ektoparazitici. Od svih navedenih namena, poljoprivredna proizvodnja je ipak na prvom mestu. Naime, u cilju zaštite useva i postizanja maksimalnih prinosa (pored ostalih „agro” mera) insekticidi su postali jedan od ključnih faktora za povećanje prinosa u poljoprivrednoj proizvodnji. Drugim rečima, oni su postali neophodni za savremenu poljoprivredu, odnosno poljoprivredna proizvodnja je postala

praktično nemoguća bez njihove primene. Ovo pre svega iz razloga što se pokazalo da gubici u prinosima mogu da iznose i do 45% (na godišnjem nivou), ukoliko se ne koriste insekticidi. Takođe, treba istaći da su insekticidi odigrali veliku ulogu, a i danas je imaju u preventivnoj zaštiti ljudi, od brojnih bolesti (na prvom mestu malarije) (Sharma i sar., 2019; Gardarin i sar., 2022; Ćupić i sar., 2024).

U ukupnoj potrošnji pesticida, insekticidi su oduvek imali veliki udeo. Ipak, u nekim regionima u svetu, danas se najviše koriste herbicidi (47,5%), na drugom mestu su insekticidi (29,5%), a tek na trećem fungicidi (17,5%) (Grondona i sar., 2023; Barathi i ar., 2023).

Među regione sa najvećom potrošnjom pesticida spada Azija. Kina i Indija su dve zemlje sa izuzetno velikom potrošnjom insekticida i ukupno gledano svih pesticida. Indija je posle Kine, najveći proizvođač insekticida u Aziji, a na 12. mestu u svetu je po potrošnji insekticida (Shahid i Khan, 2022). Inače, udeo insekticida u ukupnoj potrošnji pesticida u Indiji je drugačiji od onog u drugim zemljama. Naime, u Indiji najveći broj pesticida čine insekticidi (62,2%), na drugom mestu su fungicidi (19,2%), a tek na trećem mestu su herbicidi (14,4%) i potom slede ostali pesticidi (4,2%). U Indiji ima više od 200 fabrika za proizvodnju pesticida i preko 4000 objekata za proizvodnju aktivnih supstancija, dok u Kini ima preko hiljadu fabrika za proizvodnju pesticida. Prema nekim podacima u svetu je danas komercijalno dostupno nekoliko desetina hiljada hemijskih supstancija, različitih hemijskih grupa sa insekticidnim delovanjem (Rajmohan i sar., 2020). Već pre desetak godina bilo ih je u svetu preko 80000 (Ansari i sar., 2014).

Upravo navedene činjenice, odnosno ovakva primena insekticida, koja je često i neracionalna, izaziva sve veću zabrinutost. Pored sve većeg razvoja rezistencije, a time i smanjenja efikasnosti insekticida, postoji sve veća zabrinutost i za zagađenje životne sredine. Nisu retki slučajevi svuda, pa i kod nas u našoj zemlji, da stradaju neciljni insekti, odnosno korisni insekti tj. pčele, ali i drugi organizmi u zemljištu i vodi (Ren i sar., 2023). Koliko je ova potrošnja velika, najbolje pokazuje podatak da su u nekim zemljama (Južna Koreja, Južna Afrika, Kanada, Turska, Indija, Tanzanija) zabeleženi čak i smrtni ishodi akutnog trovanja insekticidima kod dece (Islam i sar., 2022).

To je svakako uticalo da se donesu određeni propisi koji se odnose na registraciju, upotrebu, uvoz i izvoz insekticida. Tako je na primer (usled toksičnih efekata, ali i neurokognitivnih problema i oštećenja mozga kod dece), povučena upotreba hlorthirifosa u Evropskoj uniji, 2020. godine, a dve godine kasnije i u SAD (Anonymous, 2024).

Cilj ovog rada je da ukaže ne samo na moguće štete neracionalne primene insekticida, već i da se navedu neki od insekticida, koji su se pojavili na tržištu krajem prošlog i početkom ovog veka, te one biljnog porekla kao potencijalne zamene za insekticide, koji se trenutno koriste.

ŠTETNI EFEKTI INSEKTICIDA NA LJUDE, DOMAĆE ŽIVOTINJE I ŽIVOTNU SREDINU

Poznato je da mnogi insekticidi, naročito oni starijeg datuma, mogu izazvati niz štetnih efekata kod ljudi i domaćih životinja. Skoro da ne postoje insekticidi koji ne mogu izazvati bar iritaciju kože kod ljudi koji njima rukuju. Nažalost postoje i oni, koji mogu (naročito ukoliko se ne postupa prema Uputstvu za upotrebu), a što podrazumeva i nošenje zaštitne opreme izazvati i mnogo ozbiljnije efekte, računajući i na one štetne efekte, koji se odnose na pojedine organske sisteme.

Usled preterane i često neracionalne potrošnje insekticida, poslednjih godina sve više se razmatra i analizira koliki je potencijal ovakve primene insekticida za kontaminaciju zemljišta, podzemnih i površinskih voda, te životne sredine. Studije su pokazale da Azija (sa površinom od 1,9 miliona kvadratnih milja) i u njoj Kina (koja čini preko 50% od ove površine), predstavlja danas najveći region u svetu sa najvećim rizikom od zagađenja životne sredine. Naučnici se sve više opravdano brinu da će prekomerna upotreba insekticida (ako se ovako nastavi) uskoro preokrenuti ravnotežu na vagi, u pravcu značajnijeg razaranja ekosistema, a time i oštećenja, pre svega kvaliteta vode, koja je (kao što znamo) neophodna za opstanak ljudi i životinja (Tang i sar., 2021). Stoga je, u cilju zaštite svojih građana od štetnog dejstva insekticida, vlada u Kini donela strožije zakone o primeni insekticida i uspostavila preporučene standarde (Malla i sar., 2023).

Inače, široka primena insekticida i drugih nerazgradivih toksičnih supstanacija u poljoprivredi u poslednjih nekoliko decenija izazvala je (negde više, a negde manje) kontaminaciju podzemnih voda i zemljišta, što svakako predstavlja značajnu opasnost za ekološku poljoprivredu, a time i zdravlje ljudi (Barathi i sar., 2024).

INSEKTICIDI UVEDENI U PRAKSU KRAJEM PROŠLOG I POČETKOM DVADESET PRVOG VEKA

Već duže vreme se radi na dobijanju insekticida, koji će imati zadovoljavajuću efikasnost, dobru selektivnost i pri tome što manju toksičnost za sisare i životnu sredinu. Ovakva svojstva bi iste kvalifikovala, odnosno učinila pogodnim i atraktivnim da mogu zameniti već dobro poznate (ali i toksične) insekticide, kao što su: organohlorni insekticidi, organofosforni, karbamati i piretroidni insekticidi (Cardwell i sar., 2005; Shakya i sar., 2021; Umetsu i Shirai, 2020).

Iako su u prethodnom periodu uvedeni brojni novi insekticidi, ne možemo sa sigurnošću tvrditi da u potpunosti ispunjavaju gore navedene uslove. U ovom radu će biti izložene ukratko osnovne karakteristike insekticida, koji su uvedeni u praksu tokom dvadesetog i dvadesetprvog veka. To su pre svega: *neonikotinoidi*, *fenilpirazoli*, *oksadiazini*, *antranilni diamidi*, *piridin azometini*, *piridin karboksamidi*, *derivati benzoilfenil uree*, *triazapentadieni*, *tiadiazini*, *derivati tiouree*, *kvinazolini*, *piridazinoni*, *pirazoli*, *piridalil*, *tiazolidini*, *diacilhidrazini*, *triazini*, *tetranska*

kiselina i njeni derivati, karbazatni miticidi, pirol, diamidi ftalne kiseline, piridini, ciklični ketoenoli i sulfoksimini.

Insekticidi prirodnog porekla, kao što su spinosini, avermektini, nim ulje (azadirahthin), piretrum, rotenon itd., biće posebno navedeni (Umetsu i Shirai, 2020; Shakia i sar, 2021).

Prema drugom izvoru u novije insekticide spadaju: a) nikotinski insekticidi, gde spadaju neonikotinoidi, sulfoksimini (sulfoksaflor), butenolidi (flupiradifuron) i mezoioniksi (triflumezopirim i dihloromezotiaz); b) Diamidni insekticidi (flubendiamid, hlorantraniliprol, ciantraniliprol, ciklaniliprol, tetraniliprol, cihalodiamid, tetrahlorantraniliprol) i c) Ostali (piriflukvinazon, flometokvin, fluksametamid) (Umetsu i Shirai, 2020).

Neonikotinoidi

Neonikotinoidi su sintetički analozi nikotina. Način delovanja neonikotinoida je sličan prirodnom alkaloidu nikotinu, koji deluje na centralni nervni sistem. Neonikotinoidi stupaju u interakciju sa post sinaptičkim nikotinskim receptorima u centralnom i perifernom nervnom sistemu, što dovodi najpre do ekscitacije, a potom do paralize insekta, praćene uginućem. Imaju mnogo veći afinitet i selektivnije deluju na ove receptore kod insekata, nego kod sisara (Čupić i sar, 2019).

Od momenta uvođenja u praksu, pa do danas ovi insekticidi spadaju među najviše korišćene u svetu. Godine 2016. potrošnja neonikotinoida je iznosila oko 30% u odnosu na sve ostale insekticide. Deluju na centralni nervni sistem insekata i imaju nisku toksičnost za sisare. Međutim, ono što ih čini manje vrednim, je svakako njihova toksičnost prema medonosnoj pčeli, zbog čega su neki i zabranjeni.

U zavisnosti od hemijske strukture, neonikotinoidi su klasifikovani u tri grupe ili klase: a) hloronikotinili, b) tianikotinili i c) furanikotinili. Predstavnici neonikotinoida su uglavnom uvedeni u praksu, odnosno registrovani pre 2000 godine.

A) Hloronikotinili

Hloronikotinili su neonikotinoidi prve generacije. Predstavnici ove podgrupe su: *imidakloprid, acetamiprid, tiakloprid i nitenpiram.*

Imidakloprid

To je prvi komercijalni insekticid ove grupe, koji je uveden u praksu od strane firme Bayer Crop Sciences 1991. godine. Vezivanjem za nikotinske receptore blokira delovanje neurotransmitera acetilholina. Imidakloprid je (zbog toksičnih efekata) zabranjen 2020. godine u poljoprivredi, ali nije u veterinarskoj medicini. Do tada je bio jedan od najviše korišćenih insekticida širom sveta i formulisana za tretman semena, za zemljišnu i folijarnu primenu protiv lisnih vaši, bele mušice, tripsa i drugih insekata (Buffin, 2005).

Acetamiprid

Acetamiprid je uveden u prasku od strane firme Nippon Soda Co. Ltd. 1995. godine za zemljišnu i folijarnu primenu. Najčešće se koristi protiv insekata povrća, voća, čaja itd. Efikasan je pre svega protiv bele mušice, lisnih uši i tripsa (Reddi, 2010). Zbog svog mehanizma delovanja, visoke efikasnosti, relativno niske toksičnosti (posebno kada su pitanju pčele), te bez dokaza o mutagenosti, kancerogenosti i neurotoksičnosti ili štetnog delovanja na endokrini sistem, acetamiprid je, kao takav danas konkurentan i povoljan insekticid. U zemljama Evropske unije i u Srbiji acetamiprid je odobren do 28. 02. 2033. godine.

Tiakloprid

Tiakloprid je u praksu uvela firma Bayer Crop Sciences 2000. godine. Deluje na prenos nervnih impulsa i efikasno deluje na širok spektar insekata, među kojima su najosetljiviji oni koji se hrane sisanjem i grizenjem. Namenjen je za folijarnu primenu (Dhivahar i Dhandapani, 2003). Na osnovu visoke insekticidne aktivnosti i povoljnog ekološkog profila, smatra se veoma značajnim insekticidom ove grupe. Posebno je koristan u hortikulturi kao i u zaštiti brojnih useva (Schuld i Schmuck, 2002). Čak i pri najvećim koncentracijama nije utvrđeno da ima fitotoksična svojstva (Elbert i sar., 2000). Ipak, zbog pretpostavke da isti može delovati štetno na reprodukciju i razvoj deteta za vreme graviditeta kod žena, ovaj neonikotinoid je u zemljama Evropske unije zabranjen 2020. godine.

Nitenpiram

Nitenpiram je neonikotinoidni insekticid, koji je registrovala firma Takeda Chemical Industries Ltd. 1995. godine. Nitenpiram je insekticid koji se koristi u poljoprivredi za zaštitu bilja od insekata i veterinarskoj medicini za suzbijanje ektoparazita na životinjama (divljim i farmskim životinjama, kao i kućnim ljubimcima). Nitenpiram ne deluje ubitačno na jaja insekata i nije aktivan u dužem vremenskom periodu. U veterinarskoj medicini se obično koristi za uništavanje buva na zaraženoj životinji. Više nije odobren za primenu u poljoprivredi, a jeste još u veterinarskoj medicini.

B) Tianikotinili

Tianikotinili su neonikotinoidi druge generacije i nazivaju se još nitroguanidini. Najvažniji predstavnici ove podgrupe neonikotinoida su: tiametoksam i klotianidin.

Tiametoksam

Tiametoksam je najkorisniji insekticid, koji je uveo u praksu Novartis u toku 1998. godine. Koristio se protiv brojnih insekata, a naročito za suzbijanje bele mušice, lisne vaši i drugih insekata, koji napadaju pirinač, pamuk, pšenicu, bamiju, mango, krompir, čaj, citrusne itd. Može se koristiti i za tretman semena i za folijarni tretman (Reddi, 2010). Ovo je sistemski insekticid (Acda, 2007).

Tiametoksam je zbog toksičnosti za pčele i druge oprašivače, zabranjen da se koristi u zemljama Evropske unije 2019. godine.

Klotianidin

Klotianidin su registrovale zajedno dve firme „Takeda Chemical Industries” i „Bayer Crop Sciences” 2002. godine. Klotianidin je veoma efikasan sistemski i kontaktni insekticid i ima nisku toksičnost za sisare (Kando i sar., 1991). Efikasan je protiv brojnih insekata, a pre svega protiv hemiptera, mnogih predstavnika holeoptera i nekih predstavnika lepidoptera (Ohkawara i sar., 2002). Efikasno deluje, kako nakon tretmana semena, tako i nakon folijarnog tretmana, odnosno navodnjavanja zemljišta.

Pošto je klotianidin sistemski pesticid koji biljka apsorbira, postoji potencijalna mogućnost za toksično deovanje nakon hroničnog izlaganja, koje se ogleda pre svega u toksičnim efektima na pčele i druge oprašivače, zbog ostataka klotianidina u polenu i nektaru. Upravo iz tog razloga klotianidin je u zemljama Evropske unije zabranjen u poljoprivredi 2019. godine.

Klotianidin je umereno toksičan za sisare, nakon kratkotrajnog izlaganja, ali nakon dugotrajnog peroralnog unošenja mogu nastati štetni i toksični efekti na procese reprodukcije i razvoj ploda.

C) Furanikotinili

Ovo su neonikotinoidi treće generacije. Najvažniji predstavnik ove podgrupe neonikotinoida je dinotefuran.

Dinotefuran

Dinotefuran je predstavnik neonikotinoida, koji je prvi put registrovala firma „Mitsui chemicals” u Japanu, 2002. godine pod trgovačkim imenima Starkle i Albarin. Dinotefuran pripada trećoj generaciji nikotil grupe neonikotinoidnih insekticida, koji deluje protiv brojnih vrsta insekata, koji napadaju biljne useve, ali se koristi i protiv ektoparazita kod životinja. To je visoko sistemsko jedinjenje (Reddi, 2010). Ima veoma nisku fitotoksičnost, tako da se može koristiti protiv štetočina mnogih vrsta useva. Dinotefuran je rastvorljiv u vodi i ima odlično sistemsko i translaminarno delovanje u mnogim biljkama. U zemljama Evropske unije dinotefuran je takođe zabranjen da se koristi u poljoprivredi, ali ne i u veterinarskoj medicini.

Fenilpirazoli

U ovu grupu spadaju pesticidi, uglavnom sa herbicidnim delovanjem. Najvažniji predstavnik je fipronil.

Fipronil

Fipronil je razvila poznata firma „Bayer Crop Sciences”, tokom 1985. godine, a u praksu, odnosno tržište je uveden 1993. godine. Fipronil sadrži trifluorometilsulfonil grupu, koja je veoma važna za delovanje protiv velikog broja insekata.

Međutim, fipronil (pored insekticidnog) ima i herbicidno delovanje. To je insekticid sa kontaktnim, digestivnim i sistemskim delovanjem. Veoma je efikasan protiv larvi lepidoptera i larvi holeoptera u zemljištu, kao i drugih insekata, najčešće u usevima šećerne trske, pamuka i pirinča (Ellis i Ecknrode, 1997). Može se primeniti, prskanjem folijarno, zatim tretmanom semena i preko zemljišta. Pored poljoprivrede, fipronil se koristi i protiv ektoparazita domaćih životinja.

Fipronil na insekte, odnosno ektoparazite deluje blokadom gama-amino-buterne kiseline (GABA), tj. blokadom hloridnih kanala u neuronima. Fipronil (zbog toksičnog delovanja na oprašivače) nije više odobren da se koristi u poljoprivredi, ali jeste u veterinarskoj medicini.

Oksadiazini

Indoksakarb

Indoksakarb je insekticid koji proizvodi firma „DuPont” i isti je registrovala 2000. godine. Kod insekata inhibira protok jona natrijum u nervnu ćeliju i usled toga izaziva paralizu i smrt insekta. U organizam insekta ulazi na dva načina, peroralno (gutanjem tretiranog lišća) i preko kutikule. Ovaj proinsekticid se bioaktivira u insektima enzimskim delovanjem, odnosno N-dekarbometoksilacijom, stvarajući se aktivniji metabolit sa visokom insekticidnom aktivnošću (Lapied i sar., 2001).

Terenske studije u pamučnom pojasu u SAD otkrile su da indoksakarb deluje efikasno protiv brojnih insekata, koji napadaju useve kupusa, soje i drugih biljaka (Sanchis i sar., 1999). Pored poljoprivrede, indoksakarb se koristi i u veterinarskoj medicini. Od 2021. godine, indoksakarb nije više odobren za primenu u poljoprivredi, ali jeste i dalje u veterinarskoj medicini. U nekoliko studija su utvrđena neurotoksična delovanja indoksakarba.

Antranilni diamidi

Rinaksipir

Rinaksipir je prvi insekticid iz grupe antranilnih diamida. Efikasno deluje protiv gotovo svih ekonomski važnih insekata. Zbog svoje jedinstvene hemijske strukture i novog načina delovanja, rinaksipir se pokazao kao odličan insekticid za kontrolu populacije insekata, a naročito onih koji su stekli rezistenciju na druge insekticide. Rinaksipir ima svojstva translokacije, odnosno zahvaljujući translaminarnoj aktivnosti, otporan je na kišu. Osim toga poseduje visoku insekticidnu aktivnost, i otporan je na fotodegradaciju. Sve su to karakteristike koje ga kvalifikuju da se upešno može koristiti u dužem vremenskom periodu za zaštitu brojnih useva.

Rinaksipir aktivira rijanodinske receptore insekata. Ovi receptori igraju ključnu ulogu u funkcionisanju mišića. Kontrakcija mišićnih ćelija zahteva regulisano oslobađanje kalcijuma iz unutrašnjih skladišta (sarkoplazmatični retikulum) u ćelijsku citoplazmu. Nakon delovanja rinaksipira dolazi do brzog

oslobađanja velike količine jona kalcijuma i mišićna ćelija se više ne može kontrahovati, nastaje paraliza i smrt insekta. Rijanodinski receptori se nalaze i kod sisara, samo što su za oko 350 puta manje osetljivi, u odnosu na one kod insekata. Osim toga, kod tretiranih insekata brzo prestaje hranjenje, nastaje letargija, regurgitacija i paraliza mišića, što na kraju dovodi do smrti (Andaloro i sar., 2010). U ovu grupu insekticida spsadaju još i hlorantraniliprol (uvedenupraksu 2009. godine), flubendiamid (uvedenupraksu 2007. godine), ciantraniliprol (registrovan 2014. godine), ciklaniliprol (2017. god.), tetraniliprol, cihalodiamidi-tetrahlorantraniliprol.

Piridin azometini

Pimetrozin

Pimetrozin ne deluje direktno toksično na insekte već blokira funkciju stileta, koje inače služe insektima za probadanje i sisanje. Ovo izaziva trenutni prestanak hranjenja kod insekata, koji potom uginjavaju. Utvrđeno je da je efikasan upravo protiv insekata, koji sišu, odnosno koji se hrane sisanjem. Može se primeniti folijarno i na zemljište (Reddi, 2010).

Gore navedeni efekat pimetrozin postiže delovanjem na neuromuskularnu spojnicu ili sinapsu. Usled te inhibicije pimetrozin sprečava insekte da ubace svoju stiletu u biljno tkivo, odnosno da započnu hranjenje, što dovodi do promene u njihovom ponašanju i do potpunog prestanka hranjenja u roku od nekoliko sati od momenta prvog kontakta sa insekticidom (Ishaaya i sar., 2007).

Piridin karboksamidi

Flonikamid

Flonikamid ima sistemičnu i translaminarnu aktivnost, koja obezbeđuje kontrolu insekata u toku dužeg vremenskog perioda. Flonikamid brzo utiče na ponašanje u ishrani brojnih insekata, a pre svega lisnih vaši. Flonikamid je jedini molekul ove grupe, koji deluje efikasno i na insekte koji sišu. To je insekticid, koji je razvijen u firmi „Ishihara Sangio Kaisha” 2000. godine.

Flonikamid najefikasnije deluje na lisne vaši, tripse, bele mušice itd. To je antihranidbeni insekticid ili insekticid protiv ishrane, jer selektivno blokira ishranu insekta. Ovaj efekat je posledica modifikacije u ponašanju za vreme ishrane insekata, koji sišu, a što naravno naknadno dovodi do gladovanja i smrti insekata. U zemljama Evropske unije flonikamid je odobren do 30. 11. 2026. godine.

Derivati Benzoilfenil uree

Novaluron

Novaluron je insekticid iz grupe insekticida benzoilfenil uree, pripadnika inhibitora razvoja parazita. Na insekte deluje uglavnom, nakon gutanja, ali određenu aktivnost ima i nakon kontakta sa insektima. To je insekticid, koji inhibira sintezu, odnosno stvaranje hitina na larvama različitih insekata, reda

lepidoptera, holeoptera, homoptera i diptera. Na taj način novaluron sprečava stvaranje egzoskeleta insekta (Cutler i Scott-Dupree, 2007). Predstavnici ove grupe se koriste i u veterinarskoj medicini (lufenuron i diflubenzuron) pre svega za suzbijanje muva kod velikih životinja i buva kod pasa i mačaka (Ćupić i sar., 2019). U zemljama Evropske unije, novaluron nije više odobren u poljoprivredi.

Triazapentadieni

Amitraz

Amitraz je član formamidinske porodice pesticida. To je akaricid i insekticid. Najpre se počeo koristiti u poljoprivredi za zaštitu biljaka (voća, pamuka, hmelja, krastavaca i maslina) od raznih insekata, a tek kasnije je uveden i u veterinarsku medicinu. Efikasno deluje protiv brojnih insekata u poljoprivredi, kao i za kontrolu infestacija krpeljima, grinjama, vaškama i drugim insekatima kod životinja.

Pored toga, što blokira aktivnost enzima mono-aminooksidaze i inhibicije delovanja serotonina, on zahvaljujući svojoj $\alpha 2$ -adrenomimetičkoj aktivnosti reaguje sa oktopaminskim receptorima u cen-tralnom nervnom sistemu target organizama, pojačava njegovu aktivnost, dovodi do abnormalnog ponašanja i povećanog tonusa muskulature parazita, njegovog odvajanja od domaćina, a potom i uginuća.

Amitraz je zabranjen da se koristi u poljoprivredi, ali ne i u veterinarskoj medicini, gde se koristi protiv ektoparazita kod pasa i pčela (*Varoa destructor*) (Sing i Mandal, 2013; Ćupić i sar., 2019).

Tiadiazini

Buprofezin

Buprofezin je razvila firma „Nihon Nohiaku Co., Ltd.” 1984. godine, a registrovala nekoliko godina kasnije. Spada u grupu inhibitora razvoja insekata. Deluje, posebno efikasno na neke hemiptere (bela mušica krompira). Buprofezin deluje tako što inhibira biosintezu hitina i izaziva smanjenje vitalnosti jaja. Kao rezultat nedostatka hitina, kod larvi nastaje prokutikula, nakon čega larva gubi potrebnu elastičnost i insekt nije u stanju da završi proces razvoja. U zemljama Evropske unije buprofezin je odobren do 15. 12. 2025.

Derivati tiouree

Diafentiuron

Diafentiuron je insekticid koji je razvila firma „Singenta”. Deluje efikasno na insekte koje sišu, kao što su grinje, bele mušice i lisne vaši. To je proinsekticid i fotohemijski se na sunčevoj svetlosti pretvara u njegov derivat karbodimid, koji je efikasniji od diafentiurona (Steinmann i sar., 1990).

U ogledu sa grinjama utvrđeno je da diafentiuron inhibira aktivnost enzima ATPaze. Ne koristi se više u poljoprivredi.

Kvinazolini

Fenazakvin

Ovaj insekticid je u praksu uvela firma „Dov Agro Sciences” u toku 1993. godine. To je akaricid širokog spektra delovanja i veoma efikasan protiv stadijuma jaja kod grinja. Deluje kontaktno. Koristi se protiv grinja, koje napadaju čaj i čili.

Fenazakvin u insektima inhibira mitohondrijski lanac transporta elektrona vezivanjem za kompleks I na koenzimu Q. Ovaj insekticid inhibira sintezu ATP-a, što dovodi do smrti insekata (Nauen i Bretschneider, 2002). Fenazakvin je u zemljama Evropske unije, odobren da se može koristiti u poljoprivredi do 31. 08. 2026. godine.

Piridazinoni

Piridaben

Piridaben je otkrila firma „Nissan Chemical Industries Ltd.” i ista ga je prva uvela na tržište u Belgiji 1990. godine. To je nesistemični insekticid i akaricid. Aktivan je protiv svih stadijuma insekata, a posebno protiv larvi. Na taj način dovodi do brzog uništavanja insekata i ima dugi rezidualni period. Koristi se za suzbijanje grinja, belih mušica, lisnih vaši, skakavaca i tripsa na ratarskim kulturama, voćkama, ukrasnim biljkama i povrću. Na insekte deluje tako što inhibira mitohondrijalni lanac transporta elektrona, odnosno sintezu jedinjenja bogatog energijom adenozin tri fosfata (ATP).

Piridaben je u zemljama Evropske unije odobren do 31. 07. 2026. godine.

Pirazoli

Fenpiroksimat

Ovaj insekticid je u praksu uvela firma „Nihon Nohiaku Co., Ltd.”, tokom 1991. godine. Efikasno deluje protiv crvenih grinja i dve pegave grinje na ukrasnim zeljastim biljkama, žbunju i drveću. Fenpiroksimat je nesistemični, kontakti i digestivni insekticid. I on na insekte deluje tako što inhibira mitohondrijalni lanac transporta elektrona, odnosno sintezu jedinjenja bogatog energijom adenozin tri-fosfata (ATP). Inače, fenpiroksimat je odobren u poljoprivredi i ovo odobrenje važi do 15. 06. 2026. godine.

Piridalil

Piridalil je insekticid koji je razvila firma „Sumitomo Chemical Co.”, i isti prva registrovala 2004. godine kao insekticid u Japanu i Koreji, gde se koristi (prodaje) pod imenom „Pleo flovable”. Efikasno deluje protiv lepidopternih i tizanopternih insekata, koji napadaju useve pamuka i povrće, kao i zasade voća. Piridalil inhibira rast ćelija usled inhibicije proteina (Shakyai sar., 2021).

Piridalil je u zemljama Evropske unije, odobren da se može koristiti u poljoprivredi do 30. 06. 2025. godine.

Tiazolidini

Heksitiazoks

Heksitiazoks je uvela u praksu firma „Nippon Soda Co. Ltd.” i prvi put registrovala 1989. godine. Heksitiazoks je akaricid, koji ima ovicidno i larvicidno delovanje. Naročito je efikasan protiv jaja i larvi grinja i obično se koristi u usevima čaja, jabuke, čilija itd. Može se koristiti i za zaštitu šipka, grožđa, citrusa i ukrasnih kultura.

Heksitiazoks spada u grupu regulatora rasta insekata. On oponaša delovanje juvenilnog hormona, koji je veoma važan za regulaciju razvoja insekta i njegovu metamorfozu. On održava insekte u stadijumu larve i tako sprečava njegovo sazrevanje i prelazak u adultni oblik.

Heksitiazoks je u zemljama Evropske unije, odobren da se može koristiti u poljoprivredi do 31. 01. 2027. godine.

Diacilhidrazini

Metoksifenozyd

Metoksifenozyd je diacilhidrazinski insekticid, koji deluje na insekte kao regulator rasta. I on takođe (kao heksitiazoks) oponaša delovanje juvenilnog hormona, koji je veoma važan za regulaciju razvoja insekta i njegovu metamorfozu.

U zemljama Evropske unije odobren je za primenu u poljoprivredi do 31. 03. 2026. godine.

Triazini

Ciromazin

Ciromazin je triazinski regulator rasta insekata, koji se koristi pre svega kao insekticid, ali poseduje i akaricidno delovanje. Uglavnom se koristi za kontrolu insekata dvokrilaca. Efikasno deluje protiv larvi velikog broja dvokrilaca i lepidoptera (Reynolds i Blakei, 1989). U veterinarskoj medicini, ciromazin se koristi kao antiektoparazitik.

Ciromazin utiče na nervni sistem nezrelih larvi insekata. On oponaša delovanje juvenilnog hormona, koji je veoma važan za regulaciju razvoja insekta i njegovu metamorfozu. On održava insekte u stadijumu larve i tako sprečava njegovo sazrevanje i prelazak u adultni oblik.

Od 31. 12. 2019. godine, ciromazin je zabranjen da se koristi u poljoprivredi u zemljama Evropske unije.

Tetronska kiselina i njeni derivati

Spiromesifen

Spiromesifen je insekticid i akaricid, koji je u praksu uvela firma „Bayer Crop Sciences”. Spiromesifen je posebno efikasan protiv bele mušice (*Bemisia* spp. i *Trialeurodes* spp.) i tetranihida, jedne vrste paukove grinje. Primenjuje se folijarno (Nauen i sar, 2002).

Ovaj insekticid je inhibitor biosinteze lipida. Tretirana grinja ili bela mušica se suši i uginjava (Nauen i Bretschneider, 2002). Deluje na sve razvojne stadijume grinja i bele mušice.

Od 30. 09. 2023. godine, spiromesifen je u zemljama Evropske unije, zabranjen da se koristi u poljoprivredi.

Karbazatni miticidi

Bifenazat

Bifenazat je uveden u praksu 1999. godine. Bifenazat je registrovan za suzbijanje grinja, koje napadaju biljke u plastenicima, rasadnicima, u polju, kao i ukrasne biljke, koje se gaje u zatvorenom prostoru. Neuroaktivan je, ali tačan način delovanja nije poznat.

U zemljama Evropske unije bifenazat je odobren je da se može koristiti u poljoprivredi do 30. 06. 2037. godine.

Piroli

Hlorfenapir

Veoma je efikasan insekticid i akaricid, koji deluje digestivno i kontaktno. Pokazuje dobru translaminarnu aktivnost, ali ograničenu sistemsku aktivnost u biljkama.

Ovo jedinjenje je proinsekticid, tako da njegova biološka aktivnost zavisi od njegove aktivacije i pretvaranja u drugu aktivniju (efikasniju) hemikaliju. Deluje inhibitory na proces oksidativne fosforilacije u mitohondrijama, što dovodi do prekida produkcije adenozin-tri fosfata ATP-a, usled čega insekti uginjavaju (Nauen i Bretschneider, 2002). U zemljama Evropske unije, hlorfenapir nije više odobren za primenu u poljoprivredi.

Diamidi ftalne kiseline

Flubendiamid

Flubendiamid je insekticid, koji su prvobitno otkrili istraživači iz firme „Nihon Nohjaku“, dok ga je u praksu prva uvela firma „Bayer Crop Sciences“. Naročito je efikasan protiv insekata vrste lepidoptera. To je prvi komercijalni član nove klase insekticida, koji u svojoj strukturi sadrže 1,2-benzen dikarboksamid.

Nakon oralnog unošenja, flubendiamid pokazuje veoma dobru larvicidnu aktivnost. On narušava ravnotežu kalcijuma, što dovodi do brzog prestanka hranjenja i potom smrti insekata.

Od 31. 08. 2024. godine, u zemljama Evropske unije, flubendiamid nije više odobren u poljoprivredi.

Piridini

Piriproksifen

Piriproksifen je uveden u SAD 1996. godine. To je insekticid na bazi piridina za koji je utvrđeno da efikasno deluje protiv artropoda. U poljoprivredi se koristi za zaštitu useva pamuka od bele mušice, te zaštitu zasada jabuke, kruške, breskve i drugih biljaka. Takođe, koristi se u veterinarskoj medicini za preveniranje infestacije buvama kod kućnih ljubimaca.

Spada u grupu regulatora rasta. To je analog juvenilnog hormona. Uzrokuje morfološke abnormalnosti i remete normalan razvoj nezrelih stadijuma insekata, što sve dovodi do steriliteta ili smrti (Miyamoto i sar., 1993).

U zemljama Evropske unije, piriproksifen je odobren da se može koristiti u poljoprivredi do 31. 07. 2035. godine.

Ciklični ketoenoli

Spirotetramat

Spirotetramat je insekticid koji pripada hemijskoj grupi ketoenola, derivata tetraminske kiseline. Efikasno deluje protiv širokog spektra insekata, koji se hrane sisanjem, uključujući lisne vaši, brašnaste bube, bele mušice, psilide i odbačene vrste tripsa (Nauen i sar., 2008).

Spirotetramat u organizmu insekata ometa biosintezu lipida, što dovodi do uginuća nezrelih stadijuma insekata u roku od dva do deset dana nakon primene.

Spirotetramat inhibira acetyl CoA karboksilazu, ključni enzim u biosintezi masnih kiselina.

U zemljama Evropske unije spirotetramat je zabranjen u poljoprivredi od 30. 04. 2024. godine.

Sulfoksimini

Sulfoksaflor

Sulfoksaflor je razvila firma „Dov Agro Sciences“. To je sistemik, koji deluje kao neuro-toksin na insekte. Ima širok spektar, brzo deluje i ima rezidualnu aktivnost. Obimnim ispitivanjem nije utvrđeno da postoji ukrštena rezistencija između ovog i bilo kojeg drugog insekticida (Zhu i sar., 2011).

Sulfoksaflor izaziva blokadu nikotinergičkog neuronskog puta, koji vodi do akumulacije neurotransmitera acetilholina, što dovodi do paralize insekata i na kraju uginuća.

Sulfoksaflor je odobren da se može koristiti u poljoprivredi do 18. 08. 2025. godine.

Insekticidi poreklom iz mikroorganizama i biljaka

U ovu grupu insekticida spadaju spinozini (spinosad i spinetoram), avermektini (abamektin, emamektin-benzoat, ivermektin), milbemicini (milbemektin, milbemicin-oksime), nim ulje, piretrum, rotenon itd.

A) Spinozini

Spinozini su bioinsekticidi, makrociklični laktoni, koji su dobijeni fermentacijom iz aktinobakterije *Saccharopolispora spinosa*. Deluju na veliki broj insekata, posebno lepidoptera i dvokrilaca. Više od 20 spinozina i više od 800 sinusoida (polusintetičkih analoga) je do danas izolovano ili sintetisano. Najvažniji predstavnici spinozina su: spinosad i spinetoram (Sparks i sar., 2001).

Spinozad

Spinosad su iz aktinobakterije (*Saccharopolispora spinosa*) dobile dve firme „Dov AgroSciences” i „Eli Lilli”, tokom 1950. godine. Spinosad je mešavina dva aktivna metabolita, Spinozina A (85%) i

Spinozina D (15%). Spinosad se uspešno koristi u zaštiti kupusa, pamuka, šećerne trske i pirinča (Reddi, 2010). Ovaj insekticid je veoma efikasan protiv larvi lepidoptera, diptera, minera i tripsa.

Veoma je značajno spomenuti da spinozini, pa tako i spinozad imaju nisku toksičnost i ekotoksičnost.

Spinosad deluje prvenstveno kao digestivni insekticid, ali poseduje i kontaktnu aktivnost. Karakteriše se dobrom translaminarnom aktivnošću. Pored poljoprivrede, spinozad se koristi i u veterinarskoj medicini, pre svega protiv buva kod pasa.

Spinosad deluje na nervni sistem insekata. Način delovanja mu je sličan onom kod neonikotinoida, samo što se (za razliku od neoniktinoda) vezuje za druga vezna mesta na nikotinskim receptorima (Salgado, 1998). Kao rezultat delovanja na navedene receptore, nastaje hiperekscitacija, mišićna kontrakcija, a potom paraliza i uginuće insekata.

Spinozad je odobren da se može koristiti u zemljama Evropske unije do 31. 10. 2026. godine.

Spinetoram

Spinetoram je drugi insekticid iz ove grupe, koji takođe ima širok spektar delovanja. To je polusintetički spinozin, sastavljen od spinozina J i L (polusintetički). U praksu ga je uvela firma „Dov AgroSciences” 2005. godine, dok ga je Američka agencija za zaštitu životne sredine (EPA) registrovala u septembru 2007. godine, kao insekticid niske toksičnosti. Pokazuje odličnu translaminarnu aktivnost.

U zemljama Evropske unije odobrenje mu je isteklo 30. 06. 2024. godine.

Avermektini

Avermektini su izolovani iz streptomicete *Streptomyces avermitilis* izolovane iz uzoraka zemlje, koji su poticali sa jednog golf terena u blizini Tokija. Najvažniji predstavnici su: abamektin, emamektin-benzoat i ivermektin. Avermektini deluju na nervni sistem insekata, povećanjem influksa jona hlora u ćelije, na neuromuskularnoj vezi, što rezultira prestankom ishrane i potom nepovratnom paralizom i uginućem. Pored primene u poljoprivrede, neki predstavnici avermektina se koriste i u veterinarskoj medicini protiv ektoparazita.

U zemljama Evropske unije, abamektin je odobren da se može koristiti u poljoprivredi do 31. 03. 2038. godine, a emamektin do 15. 11. 2026. godine.

Milbemicini

Milbemicin su insekticidi i akaricidi, produkti fermentacije aktinomiceta, koji žive u zemljištu. Struktura, biološka aktivnost, kao i namena ovih jedinjenja su slični onima kod avermektina. Najpoznatiji predstavnik je milbemektin.

Milbemektin

Izolovan je iz streptomcete *Streptomyces hygroscopicus* sub sp. *aureolacrimosus*. To je mešavina milbemicina A3 i milbemicin A4 u odnosu 3:7. Koristi se za kontrolu grinja na mnogim biljkama. U zemljama Evropske unije, milbemektin je odobren da se može koristiti u poljoprivredi do 31. 05. 2026. godine.

Nim ulje

Nim ulje se biljno ulje, koje se dobije ekstrakcijom iz drveta Nim, poznatog pod imenom Indijski jorgovan (*Azadirachta indica*)e. Najvažniji ekstrakt, koji (pored brojnih povoljnih efekata) poseduje i insekticidnu, odnosno antiparazit-sku aktivnost je azadirahthin. Na insekte i parazite deluje kao regulator rasta i inhibitor ishrane, a ima i repelentno delovanje (Schmutterer, 1990).

Neem ulje efikasno deluje protiv gusenica, muva i belih mušica, a donekle i protiv lisnih uši.

Piretrum (piretrini)

Piretrum se smeša piretrina, koji se dobijaju iz jedne vrste hrizanteme (*Chrysanthemum* (*Pyrethrum*) *cinerariaefolium treviranus*), koja se još nazivaili buhač u čijem se cvetu se nalaze aktivni principi. Koriste se kao insekticidi i repelenti već više od 100 godina. Piretrini su neurotoksični i deluju na nervni sistem insekata. Često se u praksi koriste u kombinaciji sa sinergistima, kao što su: piperonil-butoksid ili piperonil-ciklonen koji značajno povećavaju efikasnost piretruma (Pedigo i Rice 2008).

Rotenon

Rotenon je takođe insekticid i antiektoparazitik biljnog porekla. To je ekstrakt koji se dobija iz korena tropskih i suptropskih leguminoznih biljaka iz roda *Lonchocarpus* ili *Derris*. Ima širok spektar delovanja protiv brojnih insekata koji napadaju razne biljke, dok se u veterinarskoj medicini koristi protiv buva, vaši i krpelja. Deluje kao kontaktni i degestivni insekticid. Rotenon kod parazita i insekata inhibira ćelijsko disanje (Ćupić, 2019).

ZAKLJUČAK

U cilju zaštite useva i dobijanja većih prinosa, danas se širom sveta koriste brojni pesticidi, a među njima značajan deo zauzimaju insekticidi. Međutim, njihova prekomerna upotreba sve više izaziva zabrinutost, kako zbog mogućeg štetnog uticaja, na same poljoprivredne kulture, tako i na životnu sredinu, odnosno neciljne organizme, uključujući ljude i domaće životinje. Osim toga, pokazalo da prekomerna primena insekticida neminovno dovodi i do razvoja rezistencije kod insekata, što opet iziskuje povećanje potrošnje ovih hemikalija.

Zato se već neko vreme širom sveta predlažu brojne mere i strategije za smanjenje upotrebe postojećih insekticida. Isto tako, radi se na razvoju i sintezi novih ili novijih, manje toksičnih insekticida, sa zadovoljavajućom efikasnošću, kojim bi se zamenili postojeći.

Od onih koji su uvedeni u praksu tokom dvadesetog, odnosno dvadesetprvog veka treba spomenuti: *neonikotinoide, fenilpirazole, oksadiazine, antranilne diamide, piridin azometine, piridin karboksamide, sulfoksimine, derivate benzoil-fenil uree, triazapentadiene, butenolide, kao i one preklom iz mikroorganizama i biljaka.*

LITERATURA

- Acda, M. N. (2007). Toxicity of thiamethoxam against Philippine subterranean termites. *Journal of Insect Science*, 7, 1–6.
- Andaloro, J. T., Porter, A., Slater, R., Senn, R., Chisholm, K., Teixeira, L., et al. (2010). The mode of action of diamides and other lepidopteran insecticides and general rotation recommendations. In *Proceedings of the Sixth International DBM Conference*.
- Anonymous. (2024). Ban of Chlorpyrifos and Chlorpyrifos-methyl in the EU and the USA. Eurofins, Deutschland.
- Ansari, M. S., Moraiet, M. A., & Ahmad, S. (2014). Insecticides: Impact on the environment and human health. In *Environmental Deterioration and Human Health* (pp. 99–123).
- Barathi, S., et al. (2024). Present status of insecticide impacts and eco-friendly approaches for remediation—A review. *Environmental Research*, 2024, Article 116245.
- Barathi, S., Sabapathi, N., Kandasamy, S., & Lee, J. (2023). Present status of insecticide impacts and eco-friendly approaches for remediation—A review. *Science of The Total Environment*, 901, 165911. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165911>
- Buffin, D. (2005). Imidacloprid. *Pesticide Action Network UK (PAN International)*.
- Cardwell, G., Larry, D., & William, E. (2005). Various novel insecticides are less toxic to humans, more specific to key pests. *California Agriculture*, 59, 29–34.
- Čupić, V., Bartula, M., Krstić, S., Mujezinović, I., Prevendar Crnić, A., & Čupić Miladinović, D. (2024). Značaj primene insekticida, njihov uticaj na životnu sredinu i ekološki prihvatljive mere remedijacije. U *Zbornik radova*, 35. Savetovanje DDD – Jedan svet, jedno zdravlje (str. 92–100). Vrnjačka Banja, Srbija.
- Čupić, V., Muminović, M., Kobal, S., & Vele, R. (2019). *Farmakologija za studente veterinarske medicine* (3. izd.). Beograd, Sarajevo, Ljubljana, Skoplje.
- Cutler, G. C., & Scott-Dupree, C. D. (2007). Novaluron: Prospects and limitations in insect pest management. *Pest Technology*, 1, 38–46.
- Dhivahar, P., & Dhandapani, N. (2003). Bioefficacy of the new molecule thiacloprid (Calypso 240 SC) against rice yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker). *Indian Journal of Plant Protection*, 31, 144–145.

13. Elbert, A., Erdelen, C., Kuhnhold, J., Nauen, R., Schmidt, H. W., & Hattori, Y. (2000). Thiacloprid, a novel neonicotinoid insecticide for foliar application. In *Proceedings* (pp. 21–26).
14. Ellis, P. R., & Ecknrode, C. J. (1997). The onion maggot and its control in New York. *New York's Food and Life Science Bulletin (Plant Sciences)*, 79, 4.
15. Gardarin, A., Celette, F., Piva, G., Valantin-Morison, M., Vrignon-Brenas, S., Verret, V., & Médièn, S. (2022). Intercropping with service crops provides multiple services in temperate arable systems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3).
16. Grondona, S. I., Lima, M. L., Massone, H. E., & Miglioranza, K. S. B. (2023). Pesticides in aquifers from Latin America and the Caribbean. *Environmental Research*, 901.
17. Ishaaya, I., Barazani, A., Kontsedalov, S., & Horowitz, A. R. (2007). Insecticides with novel modes of action: Mechanism, selectivity and cross resistance. *Entomological Research*, 37, 148–152.
18. Islam, M. A., Amin, S. M. N., Rahman, M. A., & Juraimi, A. S. (2022). Chronic effects of organic pesticides on the aquatic environment and human health: A review. *Environmental Nano-technology, Monitoring & Management*, 18(1–3).
19. Kando, Y., Uneme, H., & Minamida, I. (1991). Novel intermediates for preparing guanidine derivatives, their preparation and use. EP Patent No. 452782.
20. Lapied, B. F., Grolleau, F., & Sattelle, D. B. (2001). Indoxacarb, an oxadiazine, blocks insect neuronal sodium channels. *British Journal of Pharmacology*, 132, 587–595.
21. Malla, M. A. (2023). Optimization and elucidation of organophosphorus and pyrethroid degradation pathways by a novel bacterial consortium C3 using RSM and GC-MS-based metabolomics. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*.
22. Miyamoto, J., Hirano, M., Takimoto, Y., & Hatakoshi, M. (1993). Insect growth regulators for pest control with emphasis on juvenile hormone analogs: Present status and future prospects. In *Pest Control with Enhanced Environmental Safety* (Vol. 524, pp. 144–168).
23. Nauen, R., & Bretschneider, T. (2002). New modes of action of insecticides. *Pesticide Outlook*, 13, 241–245.
24. Nauen, R., Reckmann, U., Thomzik, J., & Thielert, W. (2008). Biological profile of spirotetramat (Movento®)—a new two-way systemic (ambimobile) insecticide against sucking pest species. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 61, 403–436.
25. Ohkawara, Y., Akayama, A., Matsuda, K., & Andersch, W. (2002). Clothianidin: A novel broad-spectrum neonicotinoid insecticide. In *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Pests and Diseases*.
26. Pedigo, L. P., & Rice, M. (2008). *Entomology and Pest Management* (6th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
27. Rajmohan, K. S., Ramya Chandrasekaran, R., & Varjani, S. (2020). Review on occurrence of pesticides in environment and current technologies for their remediation and management. *Indian Journal of Microbiology*, 60(2), 125–138. <https://doi.org/10.1007/s12088-020-00852-7>
28. Reddy, D. S. (2010). *Applied Entomology*. New Delhi, India: New Vishal Publications.
29. Ren, H., Key, F., Wu, J., Key, F., Lin, T., Yao, Y., & Liu, C. (2023). Research on an intelligent agricultural machinery unmanned driving system. *Agriculture*, 13.
30. Reynolds, S. E., & Blakey, J. K. (1989). Cyromazine causes decreased cuticle extensibility in larvae of the tobacco hornworm, *Manduca sexta*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 35, 251–259.
31. Salgado, V. L. (1998). Studies on the mode of action of spinosad: Insect symptoms and physiological correlates. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 60, 91–102.
32. Sanchis, P., Harder, H. H., Riley, S. L., Cann, M. C., & Irving, S. N. (1999). Indoxacarb—A new insecticide for the control of Lepidoptera in grapevines. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Pests in Agriculture, France* (pp. 377–384).
33. Schmutterer, H. (1990). Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology*, 35, 271–297. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.35.010190.001415>

34. Schuld, M., & Schmuck, R. (2002). Effects of thiacloprid, a new chloronicotinyl insecticide, on the egg parasitoid, *Trichogramma cacoeciae*. *Ecotoxicology*, 9, 197–205. <https://doi.org/10.1023/A:1015443529843>
35. Shahid, M., & Khan, M. S. (2022). Ecotoxicological implications of residual pesticides to beneficial soil bacteria: A review. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104896>
36. Shakya, A., Dwivedi, R. K., Prakash, A. V., & Kumar, S. (2021). New molecules in pest management: Newer insecticides. In A. Mehta & S. Das (Eds.), *Advances in Chemical Sciences* (Chapter 6). New Delhi: Integrated Publications.
37. Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., ... & Bali, A. S. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1, 1446. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
38. Singh, B., & Mandal, K. (2013). Environmental impact of pesticides belonging to newer chemistry. In A. K. Dhawan, B. Singh, M. B. Bhullar, & R. Arora (Eds.), *Integrated Pest Management* (pp. 152–190). Jodhpur, India: Scientific Publishers.
39. Sparks, T. C., Crouse, G. D., & Durst, G. (2001). Natural products as insecticides: The biology, biochemistry and quantitative structure-activity relationships of spinosyns and spinosoids. *Pest Management Science*, 57(10), 896–905. <https://doi.org/10.1002/ps.361>
40. Steinmann, A., Stamm, E., & Frei, B. (1990). Chemodynamics in research and development of new plant protection agents. *Pesticide Outlook*, 3(1), 3–7.
41. Tang, J., Wang, W., Jiang, Y., & Chu, W. (2021). Diazinon exposure produces histological damage, oxidative stress, immune disorders and gut microbiota dysbiosis in crucian carp (*Carrasius auratus gibelio*). *Environmental Pollution*, 269, 116122. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116122>
42. Umetsu, N., & Shirai, Y. (2020). Development of novel pesticides in the 21st century. *Journal of Pesticide Science*, 45(2), 54–74. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D20-054>
43. Zhu, Y., Loso, M. R., Watson, G. B., Sparks, T. C., Rogers, R. B., Huang, J. X., ... & Cordova, D. (2011). Discovery and characterization of sulfoxaflor, a novel insecticide targeting sap-feeding pests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7), 2950–2957. <https://doi.org/10.1021/jf103802a>