

## Rezistencija štetnika na pesticide

### Što je rezistencija i kako nastaje?

Rezistentnost štetnika na pesticide je otpornost jedinki u populaciji štetnika da prežive izloženost letalnim dozama primjenjenog pesticida. Prva pojava rezistentnosti uočena je već s prvim primjenama ovih sredstava u praksi, dakle 50-ih godina prošlog stoljeća.

Rezistentnost je genetski uvjetovana pojava i regulirana je genima za rezistentnost, koji su posljedica genetskih mutacija uzrokovanih dugotrajnom opetovanom primjenom pesticidnih sredstava. Rezistentne jedinke u populaciji se ne razlikuju po vanjskom izgledu (fenotipu) niti po životnim navikama u odnosu na normalno osjetljive jedinke. Može ih se jedino razlikovati po njihovoj toleranciji na ekstremne koncentracije pesticidnog sredstava.

Na terenu se rezistentnost očituje kao postupni gubitak učinkovitosti jednog isprva učinkovitog sredstva, a nastaje nakon što je populacija štetnika bila tijekom dužeg razdoblja tretirana istim sredstvom ili sredstvom istog načina djelovanja čime se ubija većina osjetljivih jedinki, dok rezistentne preživljavaju (**Slika 1**). Ove preživjele jedinke u populaciji imaju genetsku predispoziciju da razviju rezistentnost na primijenjen pesticid, jer će njihovo potomstvo prenijeti genetsku informaciju svojih roditelja. Takvom nenamjernom selekcijom iz generacije u generaciju popravljiva se omjer u korist rezistentnih jedinki. Na kraju one prevladaju i sredstvo više nije učinkovito (Maceljski, 2002).

Također postoji i unakrsna rezistentnost (eng. «cross resistance»), odnosno sposobnost toleriranja učinkovitosti dvije vrste sredstava iz različitih kemijskih skupina istog mehanizma djelovanja, kao i višestruka rezistentnost (eng. “multiple resistance”), odnosno sposobnost toleriranja na više sredstava iz više od jedne kemijske skupine.

Osjetljivost populacija štetnika na neki pesticid, često može varirati. Neki razlozi tome su poznati, dok ostali iziskuju daljnja pojašnjenja. Dva značajna čimbenika su nesumnjivo sezonske promjene klime i utjecaj prehrane.

Kao dio strategije preživljavanja štetnici su razvili brojne i učinkovite mehanizme rezistentnosti i obrane na većinu konvencionalnih kemijskih sredstava posjedovanjem gena za visok stupanj oksidaze, esterase, glutation-s-transferaze, insensitivne acetilkolinesteraze (AChE) te neosjetljivost živčanog sustava na piretroide.

Primjerice, različite skupine insekticida imaju i različite načine stvaranja rezistentnosti od strane insekata. Karbamati i organofosfati imaju isti mehanizam rezistentnosti, dok piretroidi imaju identificirana tri mehanizma stvaranja rezistentnosti, što znatno otežava situaciju. Jedino na što još insekti nisu razvili mehanizam rezistentnosti su regulatori razvoja kukaca, što bi trebalo biti jedno od mogućih rješenja ovog problema (Lyon, 1991).

U pravilu, rezistentnost na pesticide se na terenu može usporiti i spriječiti ako se držimo slijedećih pravila:

- Izbjegavati svaku pretjeranu primjenu kemijskih sredstava
- Pesticide koristiti samo kada je to doista neophodno
- Važno je češće mijenjati kemijsku skupinu upotrebljivanih sredstava
- Primjenjivati kombinirana sredstva koja sadrže dvije i više aktivnih tvari

- Ne prekoračivati preporučene doza
- Po mogućnosti koristiti sredstava koja ne škode prirodnim neprijateljima
- Provoditi zaštitu sukladno integriranim mjerama zaštite

Mjera koja nije preporučljiva je povećanje doziranja pri rješavanju problema rezistentnosti. Takva praksa koja udvostručuje dozu u svrhu postizanja ekonomske koristi samo povećava problem ukoliko nije postignuto potpuno istrebljenje. Svaki štetnik koji je preživio povećane doze može razviti čak i viši stupanj rezistentnosti od one koja bi se pojavila uz uobičajeno preporučeni tretman.

Za rutinski nadzor s ciljem detekcije početne pojave rezistentnosti u prirodnim populacijama štetnika prikladno je primijeniti tzv. diskriminativnu dozu za koju se očekuje da će uništiti sve osjetljive primjerke. Odabrana doza odgovara dozi nešto iznad LD(99.9) dobivenoj od linije regresije za osjetljive vrste. Pri redovnom nadzoru rezistentnosti trebao bi biti detektiran čak i mali broj prisutnih rezistentnih jedinki. Po uzorku bi trebalo biti minimum 100 insekata u dvije serije od 50. Ograničen broj insekata možda neće biti dovoljan za detekciju niske razine rezistentnosti. Stoga, ako je moguće, treba dobiti dodatne uzorke. Ako, međutim, postoji sumnja ozbiljne rezistentnosti (npr. zbog propusta u tretmanu) jedan test s malim brojevima (10 do 20) može osigurati neprocjenjivu ranu indikaciju. Ako su svi insekti uništeni na kraju razdoblja održavanja podtretmana, uzorak može biti klasificiran kao „neutvrđena rezistentnost“. S druge strane, prisutnost preživjelih insekata na kraju ovog testa treba smatrati kao dokaz rezistentnosti i dalje istraživati.

Za potvrđivanje moguće rezistentnosti sa terena provode se biotestovi u laboratorijskim uvjetima. Pojava štetnika na koje nije bilo utjecaja u diskriminativnom testu može biti posljedica prisutnosti neuobičajeno tolerantnih jedinki normalne populacije. Ukoliko su uvjeti ekspozicije, fiziološki status štetnika i doziranje konzistentni, vjerojatnost jednog štetnika u seriji od 100 na kojeg ne bi bilo utjecaja je manja od 0.1 (odnosno, manje od jednog u 10 testova). Važno je utvrditi je li ta necjelovita reakcija posljedica ovakvih uzroka ili prave rezistentnosti.

Po pitanju pojave rezistentnosti na rodenticide, problem je uglavnom vezan uz jednu grupu rodenticida, najčešće antikoagulanata (tzv. „antikoagulacijska rezistentnost“). Unazad pedesetak godina pokazalo se da primjena antikoagulacijskih rodenticida predstavlja najučinkovitiju metodu suzbijanja populacija štetnih glodavaca. Međutim, stalna primjena istog antikoagulant dovela je do razvoja rezistentnosti u nekih vrsta štetnih glodavaca. Takva je rezistentnost geografski ograničena, a definiramo je kao značajniji gubitak učinkovitosti antikoagulant u praktičnim uvjetima, kada je isti primijenjen pravilno, a gubitak učinkovitosti je posljedica prisutnosti vrsta glodavaca s nasljedno reduciranom osjetljivošću na taj antikoagulant (Greaves, 1994).

Dakle, antikoagulacijska rezistentnost je sposobnost glodavaca unutar populacije na terenu, da se nastave hraniti antikoagulacijskim mamcima tijekom više tjedana, a da ne dođe do njihova ugibanja. Nije riječ o odbijanju glodavaca da se hrane mamcima.

Stalno hranjenje antikoagulacijskim mamcima ne mora biti isključivo posljedica rezistentnosti, već može biti izazvano premalom količinom mamka i imigracijom. Ipak, jednom kad se ove mogućnosti isključe, velika je vjerojatnost da je aktivnost stalnog hranjenja antikoagulacijska rezistentnost.

Za tehničare na terenu prvi dokaz praktične rezistentnosti bit će podaci o visokom konzumiranju mamaca od trećeg i narednih tjedana tretmana (**Slika 2**).

Važno je imati suradnju između osoba koje organiziraju, provode i nadgledaju postupke suzbijanja glodavaca na terenu, te laboratorija gdje se provode standardni testovi

rezistentnosti na rodenticide. Vrlo bitno je imati što pouzdaniju informaciju o kronologiji primjene rodenticida na nekom području, poznavati mehanizam rezistentnosti i genetiku. Na terenu je potrebno izmjenjivati različite skupine rodenticida ciljajući različite mehanizme suzbijanja, ne koristiti rutinski antikoagulacijske rodenticide kao stalne mamce, već samo kada je precizno utvrđen rizik migriranja ili najezde glodavaca, ili kada se zaštita provodi na visoko rizičnim područjima, bilježiti podatke o tretmanu, te temeljito primijenite postupke integriranih mjera zaštite.

### **Primjeri rezistencije na javnozdravstvene i skladišne štetnike kod nas (Europa) i u svijetu**

Novija istraživanja ukazuju da do danas postoji preko 500 vrsta insekata rezistentnih na insekticide (**Slika 3**). Višestruka rezistentnost (eng. "multiple resistance") rapidno se povećava. Postoji više od 1000 vrsta insekata rezistentnih po kombinacijama insekticida i više od 17 vrsta insekata rezistentnih na sve glavne skupine insekticida (Bellinger, 1996).

Kako su insekti postali rezistentniji, tako su se primjenjivale više doze insekticida tako da se danas u SAD-u na njih troši više od milijarde funti godišnje. Rezistentnost je učinila nužnim razvoj novih insekticida svaki po prosječnoj cijeni tijekom 8 – 10 godina i to 20 do 40 milijuna \$ za istraživanje i razvoj. Evolucija kukaca nametnula je veliki ekonomski teret (oko 118 milijuna \$ godišnje samo u SAD-u) i povećanu opasnost za okoliš od kemikalija koje mogu ugroziti ljudsko zdravlje i prirodne eko-sustave. Štoviše, neke vrste koje su bile rijetke, postale su ozbiljni štetnici jer su primjenom insekticida uništeni njihovi prirodni neprijatelji.

Od praćenja rezistentnosti na DDT-a 1940-ih i rane 1950. godine, broj znanstveno dokumentiranih slučajeva opće rezistentnosti na insekticide u insekata naglo je porastao, no kućna muha vjerojatno drži rekord kao vrsta koja je pokazala najveću sposobnost razvoja rezistentnosti na insekticide (**Slika 4.**) Neke su populacije muha rezistentne na gotovo sve insekticide. Rezistentne populacije raširene su po cijelom svijetu i poseban su problem tamo gdje su insekticidi korišteni dugo vremena.

Porast insekticidne rezistentnosti njemačkog žohara (*Blatella germanica* L.) predstavlja glavni problem za kemijsku industriju i proizvodnju insekticida (Lee et al. 2000). Ova vrsta je multi rezistentna na sve glavne skupine insekticida (Cornwell, 1976; Cochran, 1995). Mehanizam djelovanja rezistentnosti kod ove vrste žohara uključuje dva povećana metabolizma (podizanje aktivnosti monooksigenaze, esteraze i glutation S-transferaze (GST)) i promjena mjesta intenziviranja acetilkolinesteraze (AChE) te transport natrija (kdr-type). Ovakav mehanizam imaju vrste njemačkog žohara rezistentne na DDT, organofosfate, karbamate i piretroide (Siegfried et al. 1990; Hemingway et al. 1993).

Kod socijalnih insekata, kao što su mravi, insekticidna rezistentnost je rjeđa pojava, stoga što je reproduktivna samo kraljica. Kod nesocijalnih vrsta insekata, poput buha, svaka individua je reproduktivna i mogućnost brze evolucije insekticidne rezistentnosti je znatno veća. Također, razvojni ciklus do reproduktivne forme je znatno kraći, kod buhe za 21-28 dana, a kod mrava za 10-12 mjeseci te će kraći razvojni ciklus pogodovati bržem razvoju insekticidne rezistentnosti (Lyon, 1991).

Kod najznačajnijih vrsta skladišnih štetnika u svijetu je do sada dokazano postojanje rezistentnost na znatan broj insekticida uključujući: bioresmetrin, karbaril, klorpirifos, klorpirifos-metil, cianofos, ciflutrin, cialotrin, cipermetrin, DDT, deltametrin, diazinon, diklorovos, etilen dibromid, fenitrotrion, lindan, malation, metal bromid, permetrin, fosfin, foxim, pirimifos-metil, promekarb, propoksur, na piretrine, temefos, tetraklorinfos (DARP, 2003). Razlog tome je sve veći transport i tržište žitaricam diljem svijeta čime se i distribucija skladišnih štetnika te njihovih rezistentnih populacija sve više širi (Talukder, 2009). U prilog

tome (**Slika 5**) govore i podaci APRD – a (Arthropod Pesticide Resistance Database) o sve većem broju rezistentnosti na insekticide. Najveću rezistentnost na čak 34 insekticida razvila je vrsta kestenjasti brašnar (*Tribolium castaneum* Herbst). Potom surinamski brašnar (*Oryzaephilus surinamensis* L.) na 11 insekticida, zatim slijede rod *Sitophilus* - pšenični, rižin i kukuruzni žižak (rezistentnost na 10, 8 i 9 insekticida, slijedom). Žitni kukuljičar (*Rhyzopertha dominica* F.) ima razvijenu rezistentnost na 8 insekticida, mali brašnar (*Tribolium confusum* DuVal) na 5, dok najmanji stupanj razvijene rezistentnosti pokazuju: četevrotočkasti žižak (*Callosobruchus maculatus* F.) na 2 insekticida, te rđasti brašnar (*Chryptolestes ferrugineus* Steph.) i duhanar (*Lasioderma serricorne* F.) na 1 insekticid.

Poseban problem je sve veća rezistentnost skladišnih štetnika na fosfin, s čim su suočeni najveći svjetski izvoznici žitarica, kao što su Australija, Kina i SAD. Da se radi o uzlaznom trendu porasta rezistentnih populacija glavnih skladišnih štetnika, najbolje govore podaci dr. Newmana za Zapadnu Australiju, gdje su u zakonskoj regulativi definirani modeli strategije koji će limitirati razvoj i distribuciju rezistentnih vrsta na fosfin (**Slika 6**).

Da bi se bolje razradili modeli i mogućnosti upravljanja rezistentnošću, u svijetu se determinacija vrsta sve više ispituje na molekularnoj razini, te se prave svjetske baze za gen karte bioraznolikosti, te identificiraju molekularni markeri za pojedine vrste štetnika i njihovih rezistentnih oblika. Trenutno se najviše molekularnih istraživanja provodi na kestenjastom brašnar i prašnim ušima (*Psocoptera*) (IWCSPP, 2010).

### Zaključak

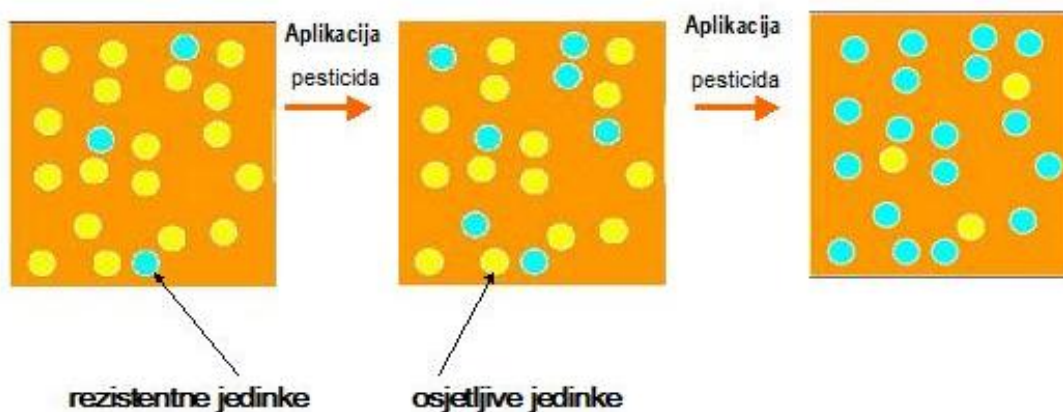
Najbolji način kako bi se spriječila pojava rezistentnosti na pesticide jest što bolja implementacija svih načela integriranih mjera zaštite u praksu.

Najopasnije je udvostručavanje doze pesticida u svrhu postizanja isključivo ekonomske koristi na terenu. Time se samo povećava problem ukoliko nije postignuto potpuno istrijebljenje štetnika, jer svaka jedinka koja preživi povećane doze, može razviti čak i viši stupanj rezistentnosti od one koja bi se pojavila uz uobičajeno preporučeno tretman. Rezistentnost je također, i jedan od razloga što se određen broj primjenjivanih pesticida više ne nalazi na listi dozvoljenih sredstava.

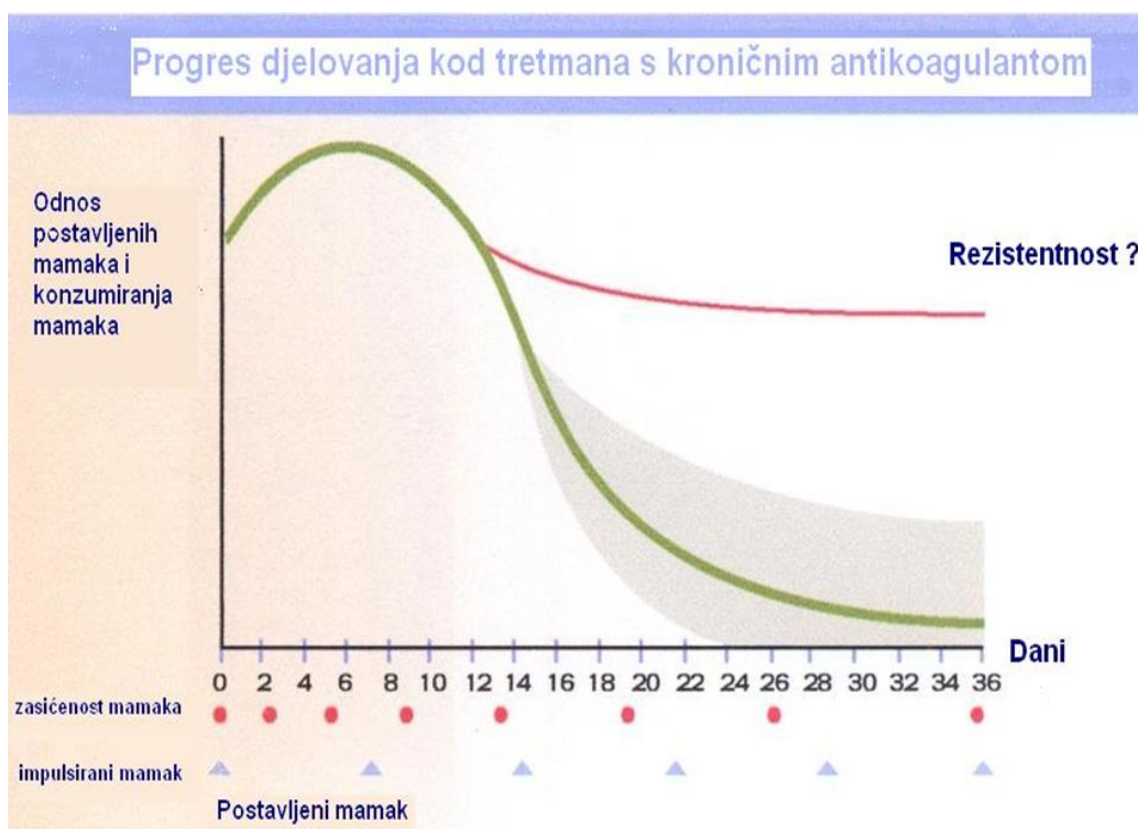
### Literatura

- APRD, (2007): Arthropod Pesticide Resistance Database. USA. Web: <http://www.pesticideresistance.org/>
- Bellinger, R.G. (1996): Pest Resistance to Pesticides, publication, Department for Entomology, Clemson University. [www.ipm.nesu.edu/safety/factsheets/resistance.pdf](http://www.ipm.nesu.edu/safety/factsheets/resistance.pdf)
- Carvalho, M. O., Fields, P. G., C. S. Adler, F. H. Arthur, C. G. Athanassiou, J. F. Campbell, F. Fleurat-Lessard, P. W. Flinn, R. J. Hodges, A. A. Isikber, S. Navarro, R. T. Noyes, J. Riudavets, K. K. Sinha, G. R. Thorpe, B. H. Timlick, P. Trematerra, N. D. G. White (2010): „Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored Product Protection“ IWCSPP 2010. Izdavač: Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)
- Cochran, D.G. (1995): Insecticide resistance. *Understanding and controlling the German cockroach*. (ed. By M. K. Rust, J. M. Owens and D. A. Reiersen), pp. 171-192. Oxford University Press, New York.
- Cornwell, P.B. (1976): *The Cockroach. Insecticide and cockroach control, II*. Associated Business Programmes, London.

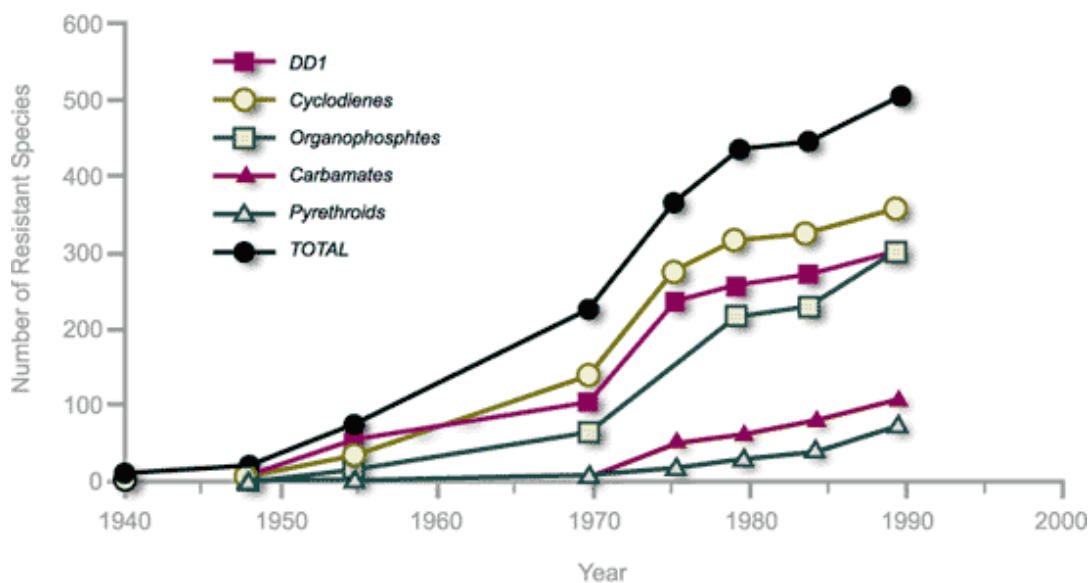
- DARP, (2003): Database of Arthropods Resistant to Pesticides, Resistant Pest Management at Michigan State University. Web: <http://www.pesticideresistance.org/DB/>
- Greaves J. H. (1994): Resistance to Antikoagulant Rodenticides. In: Buckle A.P. i Smith R.H. .“Rodent Pests and their Control,CABI, Wallingford, Oxon, UK, str. 197-217.
- Hemingway, J., Small, G.J. & Monro, A.G (1993): Possible mechanisms of organophosphorus and carbamate insecticide resistance in German cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae) from different geographicak areas. Journal of Economic Entomology, 86, 1631-1630.
- Lee, C.Y., Hemingway, J., Yap, H.H. & Chong, N.L. (2000): Biochemical characterization of insecticide resistance in the German cockroach, *Blatella germanica*, from Malaysia. *Medical and Veterinary Entomology*, 14, 11-18.
- Lyon, W.F. (1991): Pet Pest Management, Bulletin 586, Insect Resistance. [http://ohioline.osu.edu/b586/b586\\_6.html](http://ohioline.osu.edu/b586/b586_6.html)
- Keiding, A.J. & Jespersen, J.B. (1986): Pest and Disease. Proc. Brit. Crop Protection Conf. 1986. Vol. 2: 623-630.
- Maceljiski, M., Cvjetković, B., Igrc barčić, J., Ostojić, Z. (2002): Priručnik iz zaštite bilja; Zavod za zaštitu bilja u poljoprivredi i šumarstvu Republike Hrvatske; Hrvatsko Društvo biljne zaštite Zagreb: 247 str.
- Newman, C.R. (2010): A novel approach to limit the development of phosphine resistance in Western Australia. Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored Product Protection – IWCSPP 2010. Izdavač: Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpfl anzen (JKI):1040-1046.
- Siegfried, B.D. & Scott, j.g. (1990): Properties and inhibition of acetylcholinesterase in resistant and susceptible German cockroaches (*Blatella germanica* L.) *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 38, 122-146.
- Talukder, F. (2009): Pesticide Resistance in Stored-Product Insects and Alternative Biorational Management: A Brief Review. *Agricultural and Marine Science*, 14:9-15.



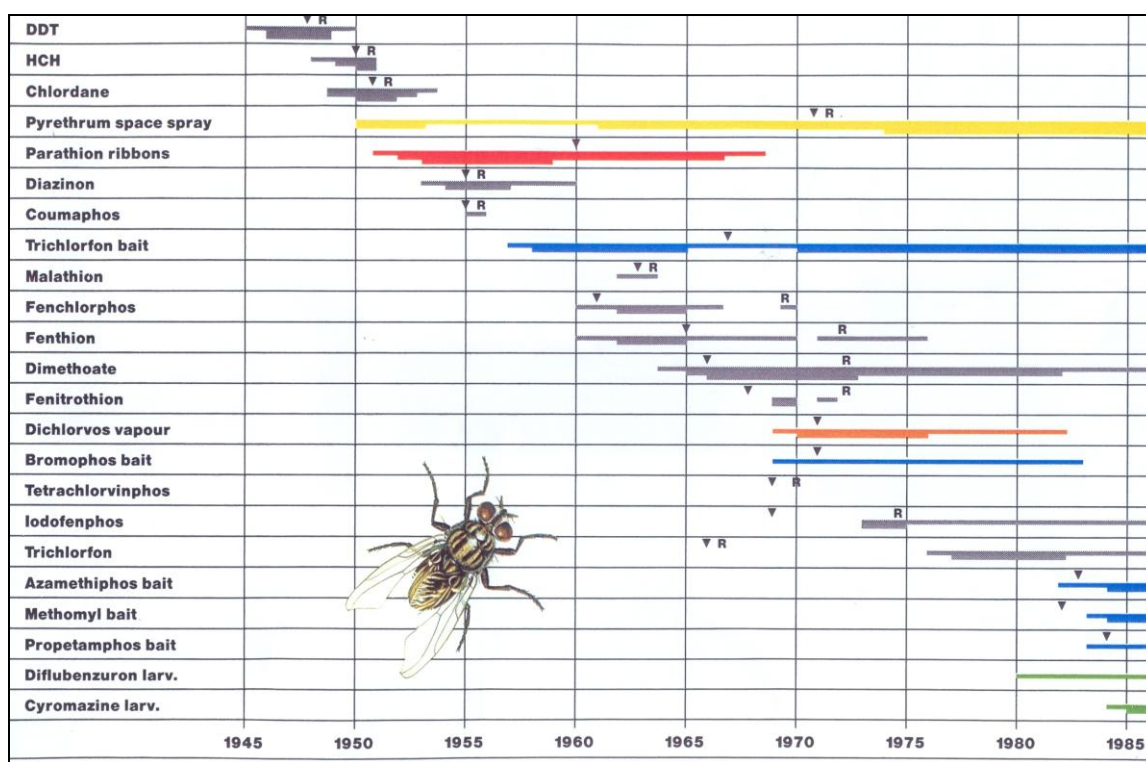
**Slika 1.** Prikaz nastanka rezistencije (izvor: P. Kaufman, D. Rutz, J. K. Waldron: Integrated Pest Management for Fly Pests of Confined Dairy Animals, May 3, 2007)



**Slika 2.** Progres kod konzumacije kroničnog antikoagulanta (izvor: RRAC; <http://www.croplife.org/website/pages/RRAC.aspx>)



Slika 3. Broj rezistentnih vrsta štetnika na insekticide (izvor: Douglas J. Futuyma; [http://evonet.sdsc.edu/evoscisociety/insect\\_pests.html](http://evonet.sdsc.edu/evoscisociety/insect_pests.html))



**Legenda:**

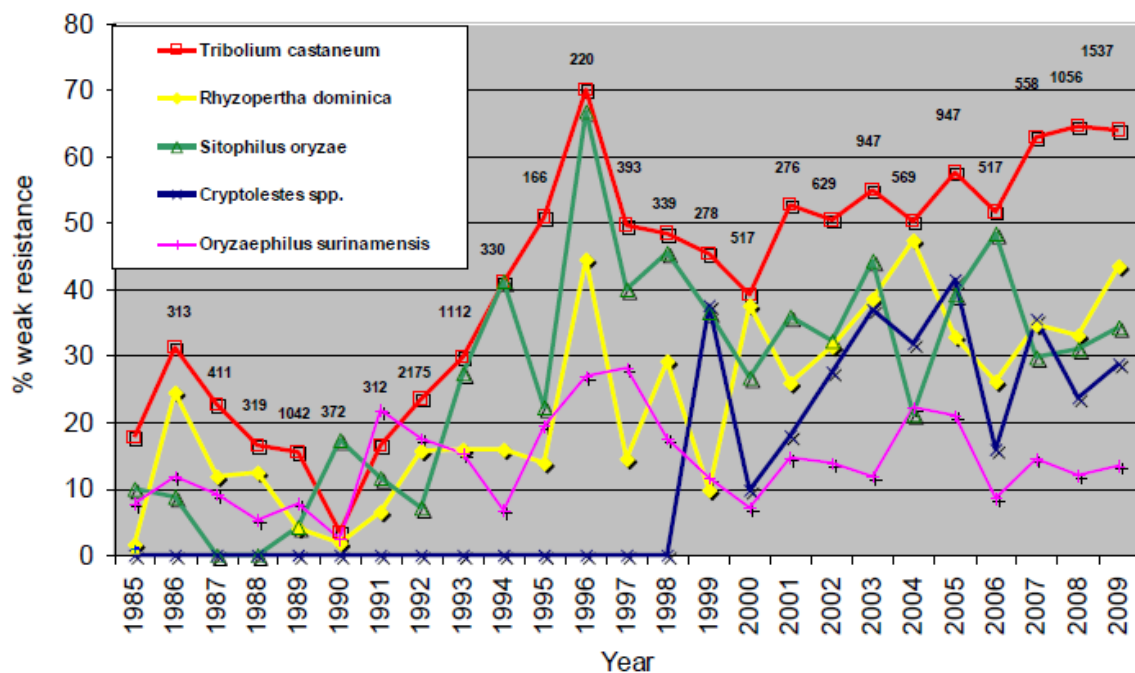
- siva ⇒ insekticidi za rezidualno prskanje
- žuta ⇒ prostorno prskanje
- crvena ⇒ impregnirane trake
- plava ⇒ toksični mamci
- zelena ⇒ larvicidi
- ⇒ nekoliko farmi
- ⇒ mnogo farmi

Slika 4. Upotreba insekticida i razvoj rezistencije kod muha (1945 – 1985). (izvor: After J. Keiding & J.B. Jespersen, 1986)



Common Name	Species	Number of Insecticides Resistant to
Red flour beetle	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst.)	34
Saw-toothed grain beetle	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> (L.)	11
Granary weevil	<i>Sitophilus granarius</i> (L.)	10
Rice weevil	<i>Sitophilus oryzae</i> (L.)	08
Maize weevil	<i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky	09
Lesser grain borer	<i>Rhyzopertha dominica</i> (Fab.)	08
Confused flour beetle	<i>Tribolium confusum</i> (Duval)	05
Cowpea weevil	<i>Callosobruchus maculatus</i> (Fab.)	02
Rusty grain beetle	<i>Cryptolestes ferrugineus</i> (Stephens)	01
Cigarette beetle	<i>Lasioderma serricorne</i> (Fab.)	01

**Slika 5.** Status rezistentnosti na ineskticide za naznačajnije skladišne štetnike (izvor: APRD, 2007)



**Slika 6.** Razvoj rezistentnosti na fosfin na skladišnim vrstama štetnika Zapadne Australiji od 1985 – 2009. (izvor: Newman, 2010)



## Pitanja za samoprovjeru znanja

1. Što je rezistentnost štetnika na pesticide?
  - a) mjera suzbijanja štetnika rezistentnim pesticidima
  - b) mjera eradikacije
  - c) otpornost jedinki u populaciji štetnika da prežive izloženost letalnim dozama primjenjenog pesticida
2. Kako nastaje rezistentnost štetnika na pesticide?
  - a) primjenom sredstva produžene karence
  - b) dužom primjenom istog sredstva ili sredstva istog načina djelovanja
3. Kako se rezistentnost očituje na terenu?
  - a) postupni gubitak učinkovitosti jednog isprva učinkovitog sredstva, tijekom dužeg razdoblja tretiranja štetnika istim sredstvom
  - b) postupni gubitak učinkovitosti sredstva, tijekom dužeg razdoblja tretiranja štetnika sredstvima različitih aktivnih tvari
4. Što je unakrsna rezistencija (cross-resistance)?
  - a) sposobnost toleriranja učinkovitosti dvije vrste sredstava iz različitih kemijskih skupina istog mehanizma djelovanja
  - b) sposobnost toleriranja na više sredstva iz više od jedne kemijske skupine
5. Mjera koja nije preporučljiva pri rješavanju problema rezistentnosti je:
  - a) povećanje doziranja sredstva (udvostručavanje doze)
  - b) konstantna uporaba integriranih mjera zaštite
6. Antikoagulacijska rezistentnost je:
  - a) sposobnost glodavaca unutar populacije na terenu, da se prestanu hraniti antikoagulacijskim mamcima tijekom više tjedana, a da ne dođe do njihova ugibanja
  - b) sposobnost glodavaca unutar populacije na terenu, da se nastave hraniti antikoagulacijskim mamcima tijekom više tjedana, a da ne dođe do njihova ugibanja
7. Za tehničare na terenu prvi dokaz praktične rezistentnosti bit će podaci o:
  - a) visokom konzumiranju mamaca od trećeg i narednih tjedana tretmana
  - b) visokom konzumiranju mamaca od prvog tjedna pa nadalje
  - c) niskom konzumiranju mamaca od trećeg i narednih tjedana tretmana
8. Kućna muha je pokazala najveću sposobnost razvoja rezistentnosti na insecticide.
  - a) Ne
  - b) Da

9. Od skladišnih štetnika razvijenu rezistentnost na najveći broj insekticida ima:

- a) Žitni kukuljičar (*Rhyzopertha dominica*)
- b) Pšenični žižak (*Sitophilus granaries*)
- c) Kestenjasti brašnar (*Tribolium castaneum*)

10. Rezistentnost je također i jedan od razloga što se određen broj pesticida više ne nalazi na listi dozvoljenih sredstava.

- a) Da
- b) Ne

**Točni odgovori: 1c; 2b; 3a; 4a; 5a; 6b; 7a; 8b; 9c; 10a**