

ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΑ

**ΧΗΜΕΙΑ, ΔΡΑΣΕΙΣ, ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ
ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Ιστορική αναδρομή

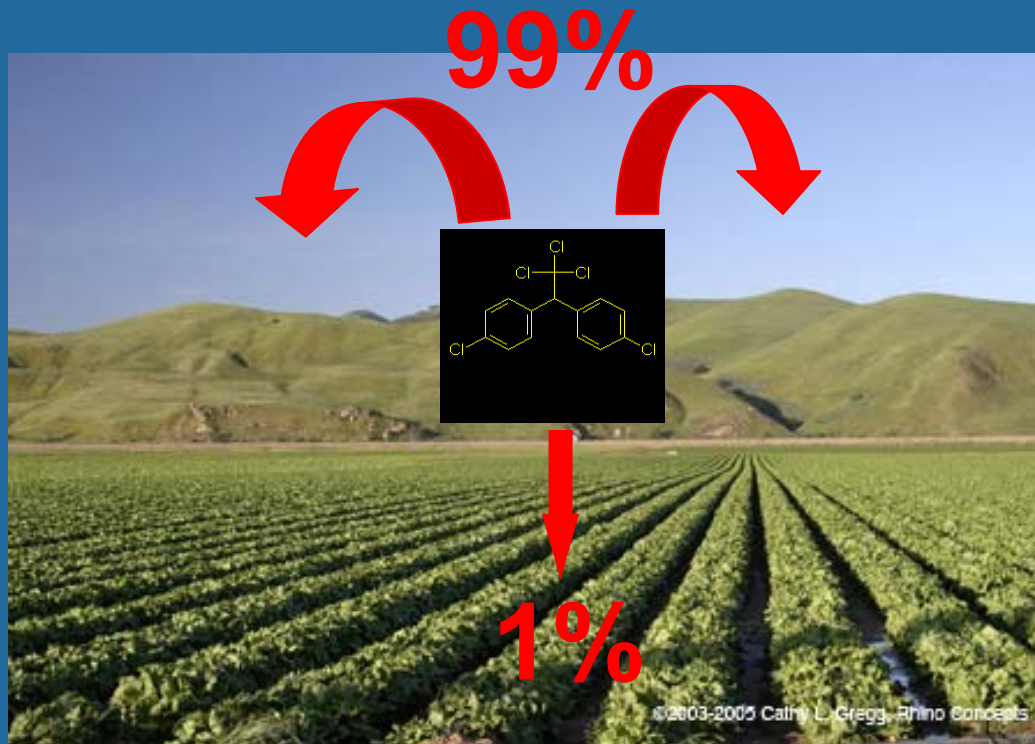
- Χρήση S από αρχαίους Σουμέριους το 2500πΧ.
- Χρήση εντομοκτόνων από βότανα και λάδια από αρχαίους Αιγυπτίους και Κινέζους για την προστασία σπόρων.
- 300πΧ: σωστός χρονισμός της σποράς για αποφυγή απωλειών. Αναγνώριση φυσικών εχθρών: χρήση μυρμηγκιών για την αντιμετώπιση καμπιών και σκαραβαίων στις λεμονιές.

- Μεσαίωνα: χρήση σαπουνιού, εκχυλισμάτων καπνού και άλλων βοτάνων, αρσενικού.
- Μέχρι το 1800: νέες ουσίες από νέες χώρες.
- 1880: ο πρώτος εμπορικός ψεκαστήρας.
- 1920: χρήση αεροπλάνων για ψεκασμούς.
- Στα 1920 και 1930 τα περισσότερα εντομοκτόνα ήταν πολύ αναποτελεσματικά (με βάση τα σημερινά δεδομένα).

Η εποχή των εντομοκτόνων

- 1939-1962: ανακάλυψη "θαυματουργών" εντομοκτόνων.
- DDT: πρώτη σύνθεση από τον Γερμανό μεταπτυχιακό Othmar Zeidler που δεν κατάλαβε την εντομοκτόνο δράση του (1873).
- 1930: ο Ελβετός χημικός Paul Müller (Geigy Corp.) αποκάλυψε τη δράση του.
- Ευρεία χρήση κατά της ελονοσίας και του τύφου κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.
- 1948: Nobel στον Müller.
- 1962: Rachel Carson's *Silent Spring*

Οικοτοξικολογία



Non-target



Oldfield mouse

© SCDNR

© Cirrus Digital Imaging 2003





Earthworms

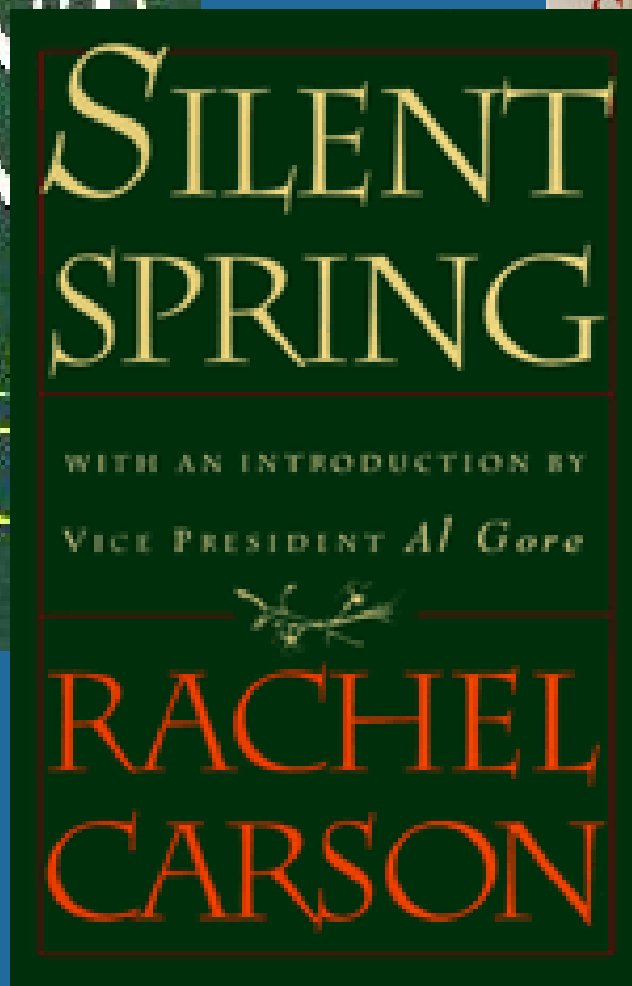
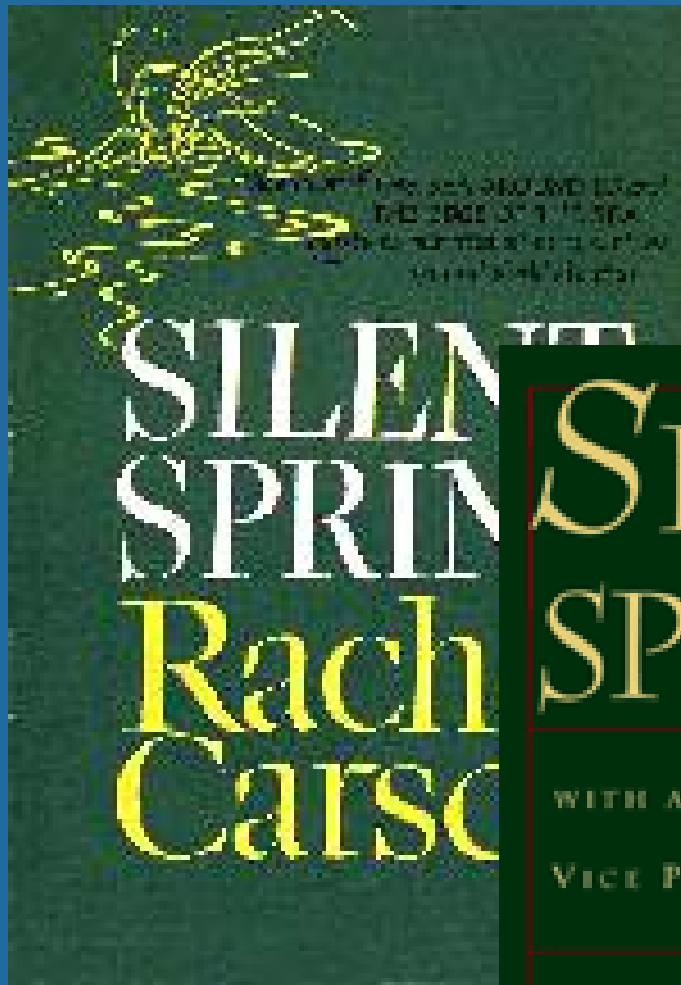


Photograph by Cal Sandfort, The Peregrine Fund





tnpsc.com



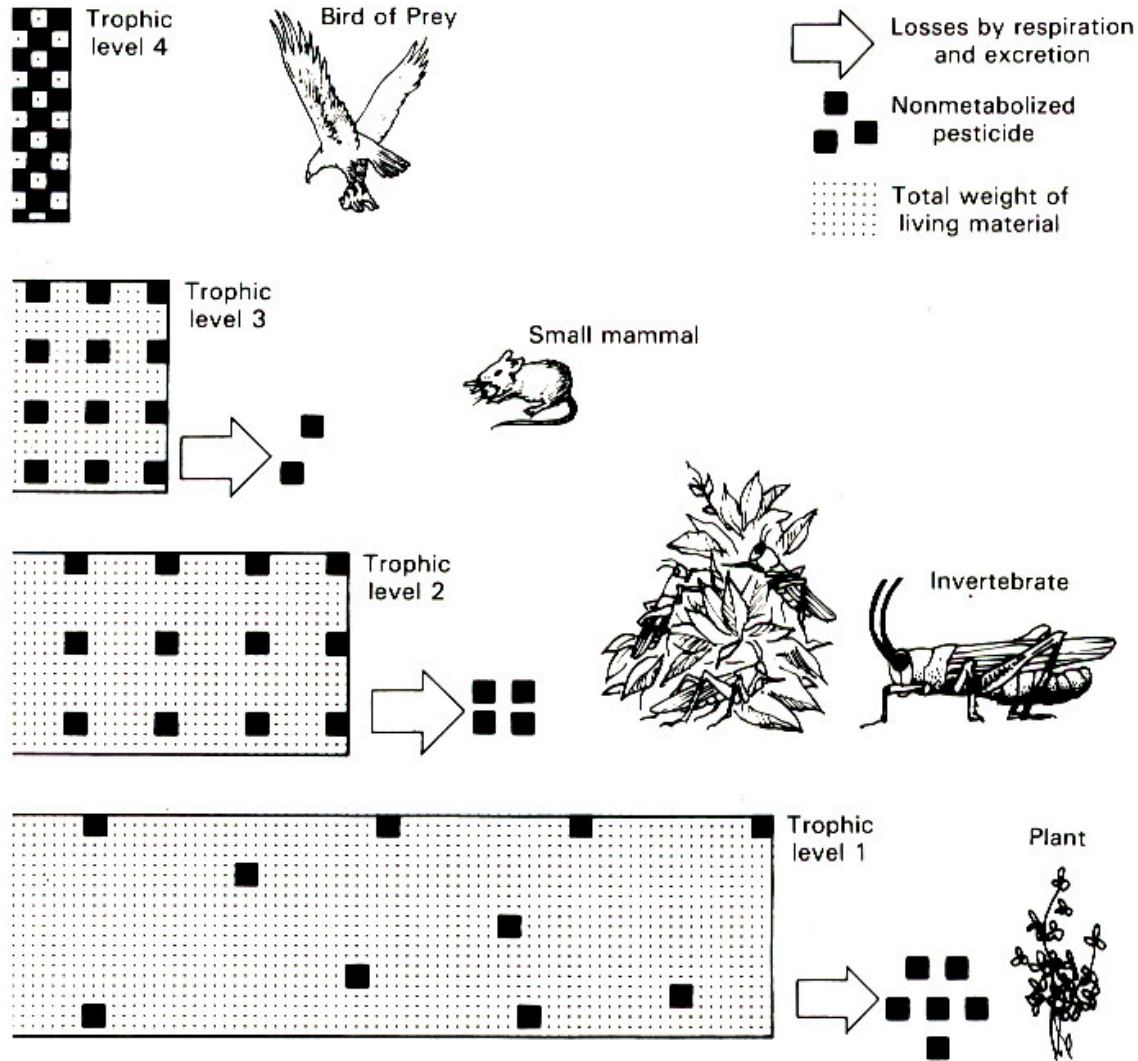
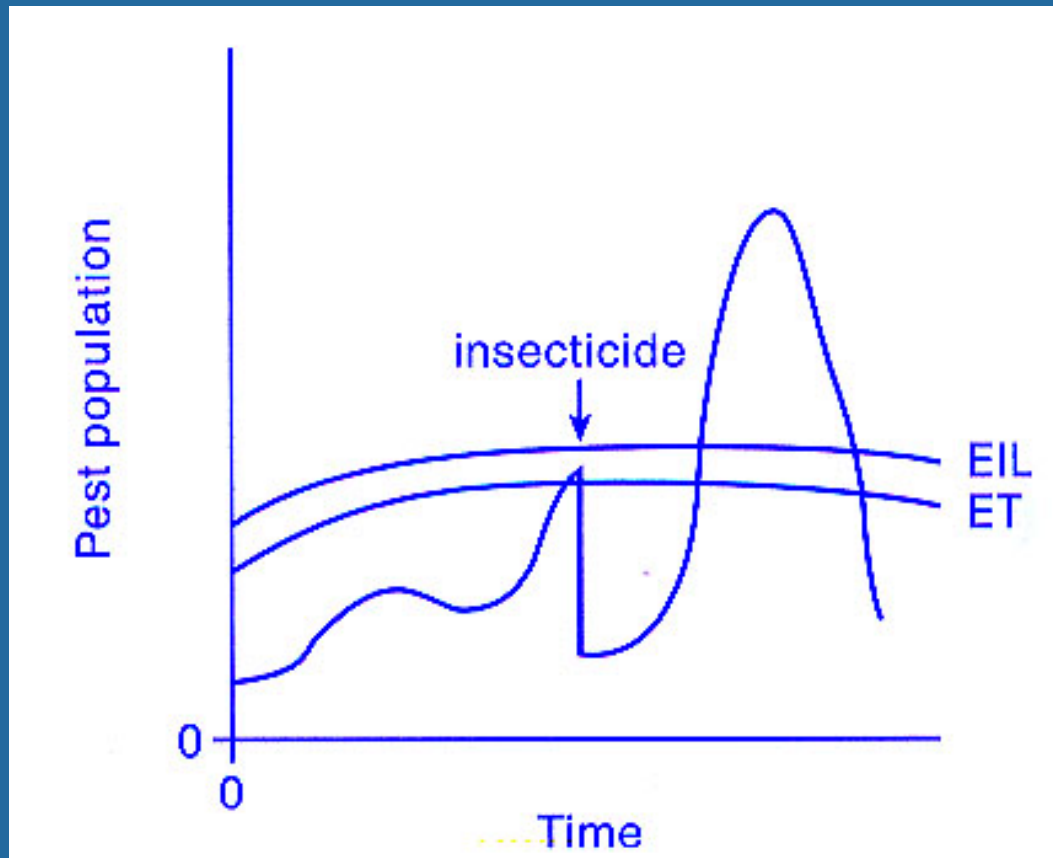


Figure 11.4 Graph showing the accumulating levels of nonmetabolized pesticide residue as trophic levels are ascended. The size of the bars in the graph represents total biomass at a trophic level. Such is an example of biomagnification.

Pest management

- Μέχρι το 1950: θανάτωση εντόμων, όχι προστασία καλλιεργειών.
- Μετά το 1960:
 - έλεγχος εντόμων (pest control: use of conventional pesticides [chemical control]) → 100% killing!!
 - διαχείριση εντόμων (pest management: reduce pest impact).



Economic Injury Level and Economic Threshold

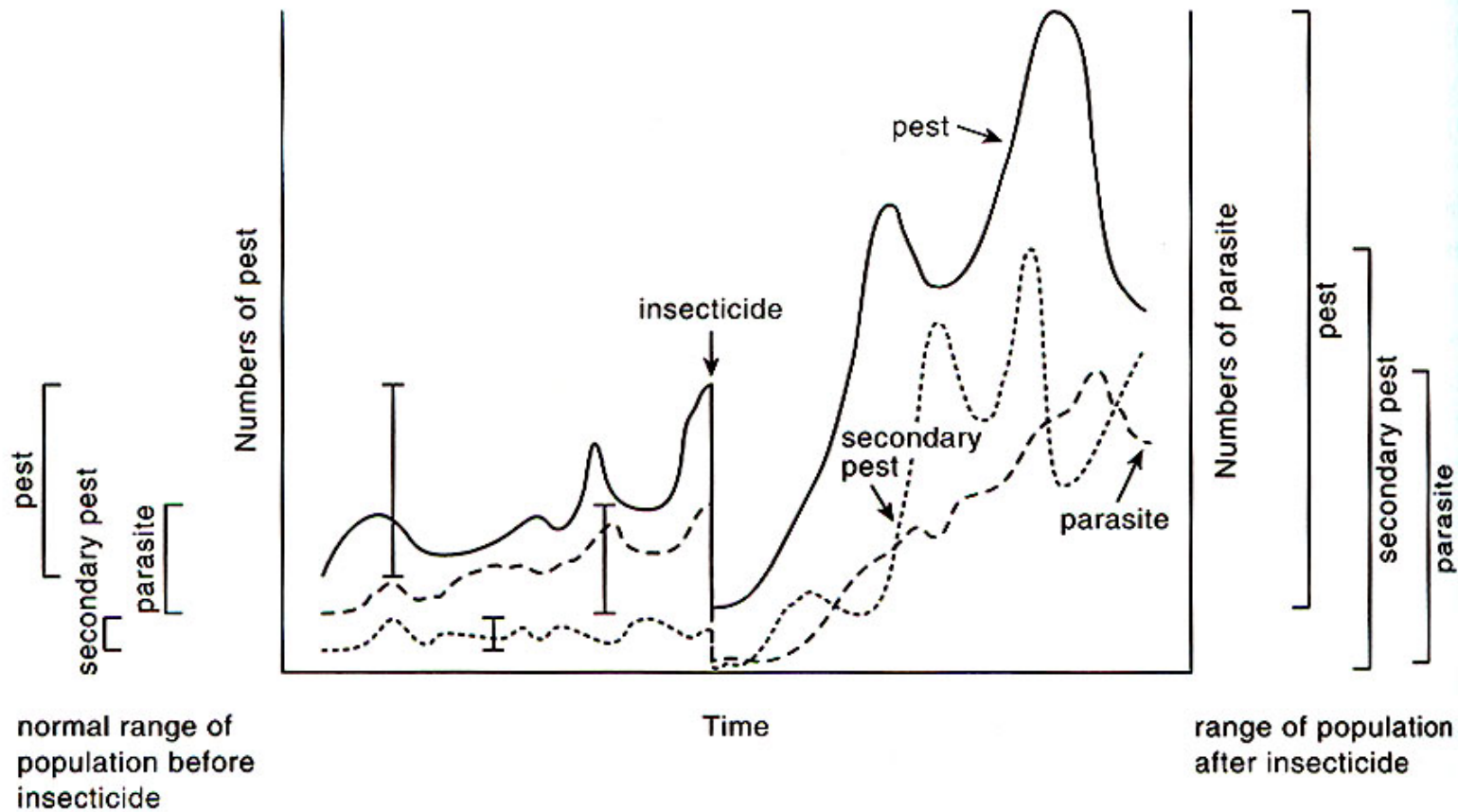


Figure 14.4 Resurgence of pest population (solid curve) due to insecticide treatment (arrow) that severely reduces a key parasite population (dashed curve). Insects that are habitually below injurious levels (dotted curve) can become secondary pests when released from control by natural enemies eliminated by insecticides. Brackets indicate the characteristic abundance (normal range) of the three populations.

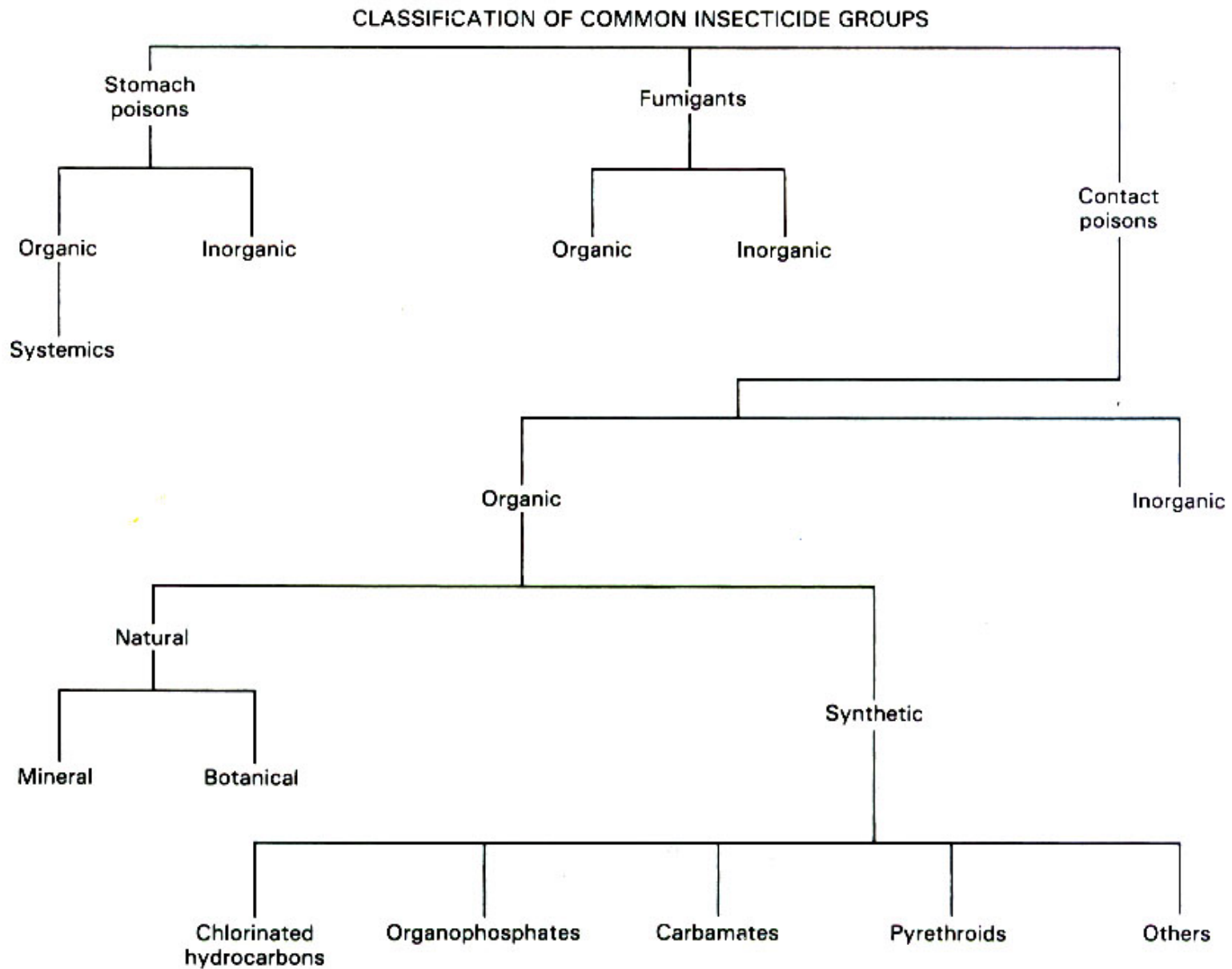


Figure 11.2 Classification of common insecticide groups. Initial divisions are based on site of encounter.

Organophosphates

- Χαρακτηρίζονται από την παρουσία ατόμων άνθρακα και φωσφόρου
- Χημική επιβάρυνση οικοσυστημάτων και επίδραση σε οργανισμούς μη-στόχους
- Τρόπος δράσης διαφέρει στα διάφορα OP
- Γενικά, μικρή υπολειμματικότητα και μικρός χρόνος ημιζωής στο περιβάλλον
- Δυστυχώς, συχνά ευρεία δράση σε ωφέλιμα έντομα

Organophosphates

- Πολλά OP χρησιμοποιούνται για γεωργικούς και δημοσυγειονομικούς σκοπούς
 - Malthion (Malathion and Cythion)
 - Acephate (Orthene)
 - Methyl parathion (Methyl parathion)
 - Diazinon (Diazinon and Spectracide)
 - Chlorpyrifos (Dursban and Lorsban)
 - Azinphos methyl (Guthion)

Συνθετικά πυρεθροειδή

- Τροποποιημένοι εστέρες χρυσανθεμικού, ενός χημικού που προσομοιάζει του βασικού συστατικού των χρυσανθέμων
- Αλλαγές στα όξινα συστατικά προσδίδουν μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής σε σύγκριση με τις φυσικές πυρεθρίνες
- Συχνά επιπρόσθετες τροποποιήσεις βελτιώνουν τη συνεργιστική δράση
- Δόσεις είναι συχνά 10% των δόσεων των OPs

Συνθετικά πυρεθροειδή

- Πολλά έχουν χρησιμοποιηθεί στη δασολογία, γεωργία και δημόσια υγεία
 - Permethrin (Pounce, Ambush, Dragnet)
 - Cypermethrin (Ammo)
 - Esfenvalerate (Asana)
 - Lambda cyhalothrin (Karate)

Καρβαμιδικά

- Παράγωγα του καρβαμιδικού οξέως
- Η τοξικότητα σε μη-στόχους εξαρτάται από τη χημεία του εντομοκτόνου, κυμαινόμενη από χαμηλή σε πολύ ψηλή
- Γενικά, μικρή υπολειμματικότητα και περιορισμένος χρόνος ημιζωής
- Συχνά, υψηλή δραστικότητα έναντι ωφέλιμων εντόμων
- Μερικά κοινά ονόματα
 - Carbaryl (Sevin)
 - Aldicarb (Temik)
 - Methomyl (Lannate)

Οργανοχλωρίνες

- Χαρακτηρίζονται από την παρουσία ατόμων χλωρίου και άνθρακα
- Ισχυρά τοξικά νευρικού συστήματος
- Τα περισσότερα επιδρούν σε μεγάλο φάσμα οργανισμών μη-στόχων
- Ο βιοχημικός τρόπος δράσης τους είναι αμφιλεγόμενος
- Τρόπος δράσης εξαρτάται από τη χημική βάση του εντομοκτόνου
- Μεγάλη υπολειμματικότητα και μεγάλος χρόνος ημιζωής

Οργανοχλωρίνες

- Πολλά χρησιμοποιούνταν στον αγρό
 - DDT
 - Lindane
 - Dicofol (Kelthane)
 - Endosulfan (Thiodan)
- Τα περισσότερα έχουν απαγορευτεί στις ΗΠΑ
- Πολύ λίγα εξακολουθούν να υπάρχουν για χρήση
 - Endosulfan is sometimes used on ornamentals and in seed orchards
 - Lindane is still registered for Southern Pine Beetle control but no product is available in the marketplace

Μορφές τοξικής δράσης στα έντομα

- Φυσικό δηλητήριο
- Γενικό δηλητήριο πρωτοπλάσματος
- Δηλητήριο κυτταρικών ενζύμων
- Δηλητήριο νευρικού συστήματος
- Ρυθμιστής ανάπτυξης
- Παράγοντας πρόκλησης ασθένειας
- Απωθητικό

Τοξικότητα στους ανθρώπους ή σε μη-στόχους

- Τα περισσότερα εντομοκτόνα έχουν δράση σε μη-στόχους
- Όρια τοξικότητας:
 - Highly toxic – LD_{50} 0 – 50 mg/kg
 - Moderately toxic - LD_{50} 50 – 500 mg/kg
 - Low toxicity - LD_{50} 500 – 5,000 mg/kg
 - Nontoxic - LD_{50} >5,000 mg/kg

Τοξικότητα στους φυσικούς εχθρούς των εντόμων

- Τα περισσότερα εντομοκτόνα επιδρούν σε πληθυσμούς ωφέλιμων εντόμων

Τοξικότητα στους φυσικούς εχθρούς των εντόμων

- **Highly toxic** – Οι πληθυσμοί των παρασίτων ανακάμπτουν πολύ γρηγορότερα από τους πληθυσμούς των εχθρών τους
- **Moderately toxic** – Οι πληθυσμοί των παρασίτων ανακάμπτουν σχετικά γρηγορότερα από τους πληθυσμούς των εχθρών τους
- **Low toxicity** – Οι φυσικοί εχθροί επιβιώνουν σε ένα βαθμό και επιτίθενται αποτελεσματικά στους ανακάμπτοντες πληθυσμούς των παρασίτων
- **Nontoxic** – Διατήρηση φυσιολογικών επιπέδων φυσικών εχθρών που επιτίθενται αποτελεσματικά στους ανακάμπτοντες πληθυσμούς των παρασίτων

Περιβαλλοντικός κίνδυνος

- Ο περιβαλλοντικός κίνδυνος εκτιμάται ως συνάρτηση της υπολειμματικότητας του εντομοκτόνου στο περιβάλλον και συχνά συγκρίνεται με την αποτελεσματική δράση του

Περιβαλλοντικός κίνδυνος

- **High** – Περιβαλλοντική υπολειμματικότητα πολύ μεγαλύτερη από την περίοδο αποτελεσματικής δράσης (> 5 μήνες και συχνά > ένα έτος)
- **Intermediate** – Persists beyond effectiveness (3-5 month half-life)
- **Low** – Persists about the period of effectiveness (up to about 3 months) and then degrades completely over several months
- **Very low** – Persists for short periods (>45 days) and degrades completely

Persistence and Degradation



- **Υπολειμματικότητα** – The resistance of a herbicide to metabolic or environmental degradation or removal; a measure of the duration of retention of activity by a pesticide in the environment
- **Αποδόμηση** – The breakdown of a substance into simpler molecular or atomic components through chemical reaction(s) either in a plant or animal (metabolic degradation) or in the environment (environmental degradation)



Persistence/Degradation: Process Drivers

- Θερμοκρασία
- Σχετική υγρασία / Βροχόπτωση
- pH
- Έκθεση στον ήλιο (insolation)
- Χλωρίδα / πανίδα εδάφους ή νερού
 - Macrophytes
 - Μικροβιακοί πληθυσμοί
 - Σκώληκες και μικρο-πανίδα



Persistence and Degradation: Χρόνος ημιζωής

The time required for half the amount of a substance (such as a herbicide) present in or introduced into a system (living or ecological) to be eliminated, whether by excretion, metabolic degradation, off-site transport, or other natural process

Resistance/Resurgence Hazard

- **The hazard of populations developing resistance and resurging is evaluated for most insecticides**

Resistance/Resurgence Hazard

- **High – Strong potential to develop resistance and resurge**
- **Intermediate – Moderate potential to develop resistance in treated environments**
- **Low – Minimal potential to develop resistance**
- **None – No resistance developed, no resurgence after many treatments**

IPM Attributes

- **IPM is especially important when discussing the use of insecticides due to the potential for the development of resistance and subsequent resurgence of pest populations repeatedly treated with a single insecticide**
- **Repeated treatment with a single pesticide imposes artificial genetic selection on insect populations**

IPM Attributes

- **However, IPM must be effective and so there are several criteria to evaluate**
 - **Effectiveness in controlling pest populations**
 - **Cost of treatment**
 - **Human and nontarget-animal toxicity**
 - **Environmental persistence**

Ανάπτυξη ανθεκτικότητας

Μερικοί ορισμοί

- *Ανθεκτικότητα* ορίζεται ως ‘μια κληρονομήσιμη αλλαγή στην ευαισθησία ενός πληθυσμού επιβλαβών εντόμων που αντικατοπτρίζεται στην κατ’ επανάληψη αποτυχία ενός εντομοκτόνου σκευάσματος να επιτύχει το αναμενόμενο επίπεδο ελέγχου, όταν χρησιμοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή για το συγκεκριμένο είδος’.
- *Διασταυρούμενη ανθεκτικότητα* συμβαίνει όταν η ανθεκτικότητα ως προς ένα εντομοκτόνο σκεύασμα έχει σαν αποτέλεσμα την ανθεκτικότητα και ως προς ένα άλλο, ακόμα και όταν το έντομο δεν έχει εκτεθεί στο διαφορετικό αυτό προϊόν.
- Είναι ξεκάθαρο ότι λόγω του μεγάλου μεγέθους των πληθυσμών των εντόμων και της γρήγορης ανάπτυξής τους, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος εμφάνισης ανθεκτικότητας, ιδιαίτερα όταν τα εντομοκτόνα χρησιμοποιούνται με λάθος ή υπερβολικό τρόπο.

Ανθεκτικότητα ή ανοσία;

Ανθεκτικότητα

Ανοσία

Γεννιέσαι ανθεκτικός

Αποκτάς ανοσία

Αναπτύσσεται σε
πληθυσμό

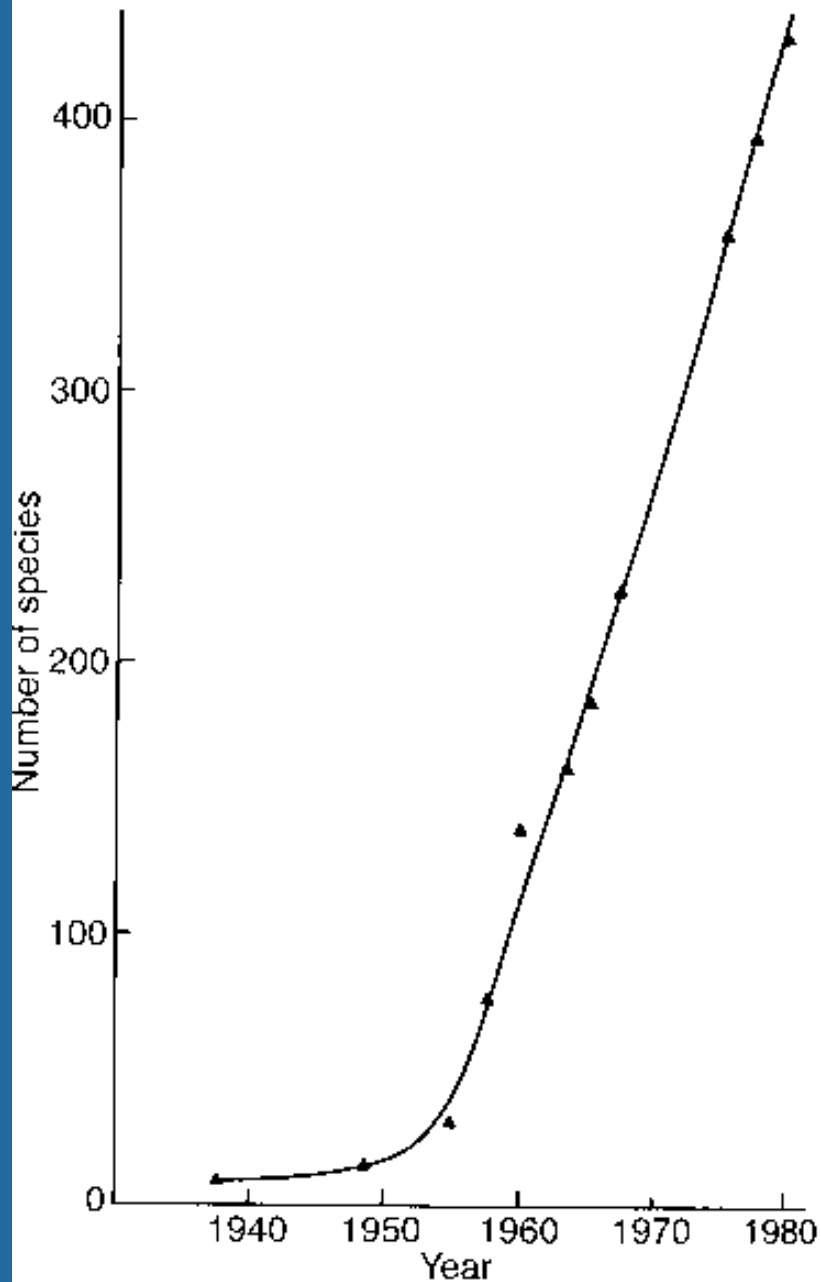
Αναπτύσσεται στο
άτομο

Μεταβιβάζεται στους
απογόνους

ΔΕΝ μεταβιβάζεται

Λίγη ιστορία

- Λίγο μετά την εισαγωγή των συνθετικών οργανικών εντομοκτόνων το 1940, όπως το DDT, εμφανίστηκαν τα πρώτα δείγματα ανθεκτικότητας.
- Μέχρι το 1947 είχε καταγραφεί ανθεκτικότητα της οικιακής μύγας στο DDT.
- Στη συνέχεια, η εισαγωγή οποιουδήποτε εντομοκτόνου νέου σκευάσματος (cyclodienes, organophosphates, carbamates, formamidines, pyrethroids, *Bacillus thuringiensis*, spinosyns και neonicotinoids) συνοδευόταν από την εμφάνιση ανθεκτικότητας μέσα σε 2 έως 20 χρόνια σε έναν αριθμό βασικών εντόμων στόχων.



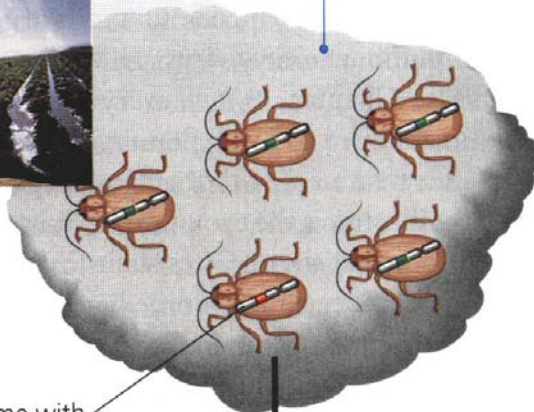
Η αύξηση του αριθμού των ειδών εντόμων που έχουν εμφανίσει ανθεκτικότητα σε ένα τουλάχιστον εντομοκτόνο (Georghiou and Mellon, 1983)

FIGURE 22.12 Evolution of insecticide resistance in insect populations.

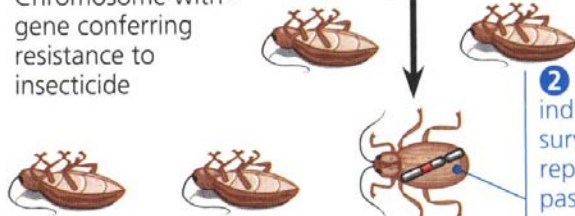


Insecticide application

1 By spraying crops with poisons to kill insects, humans have unwittingly favored the reproductive success of insects with inherent resistance to the poisons.

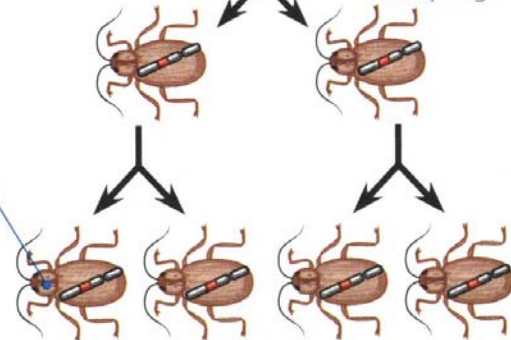


Chromosome with gene conferring resistance to insecticide



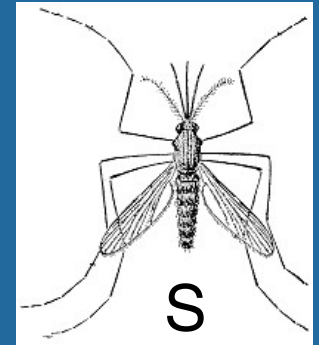
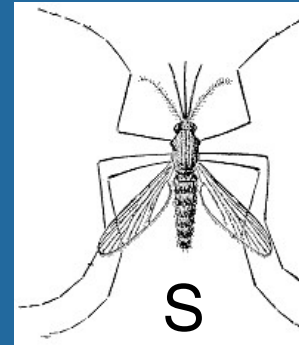
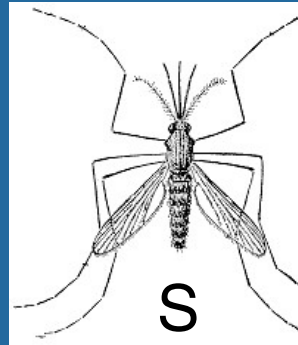
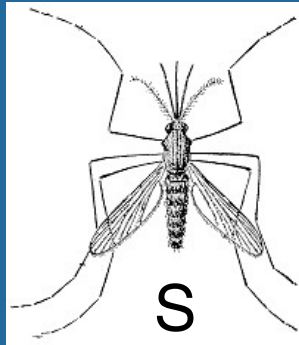
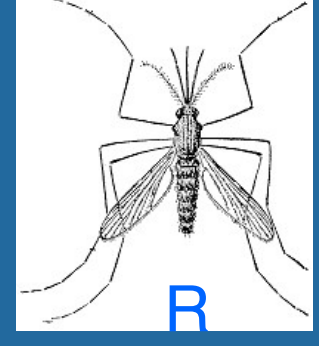
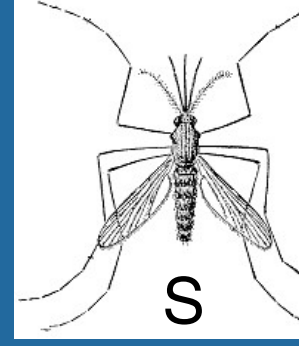
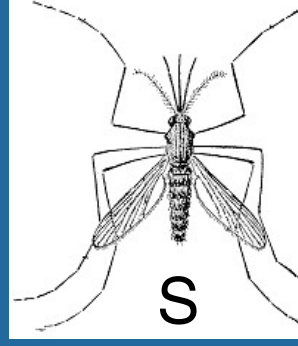
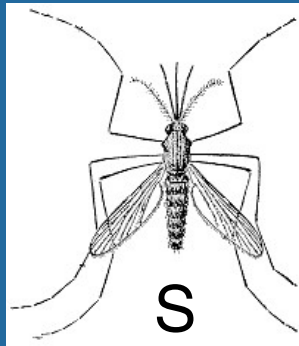
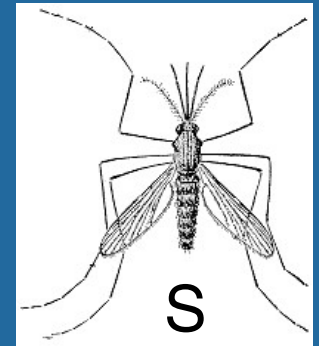
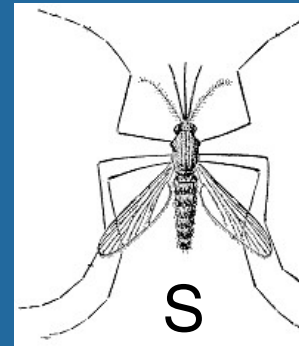
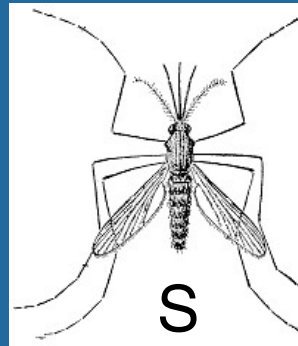
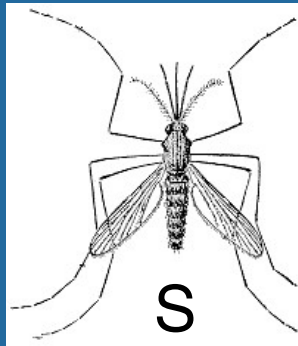
Survivor

2 Resistant individuals survive and reproduce, passing the gene for insecticide resistance to offspring.

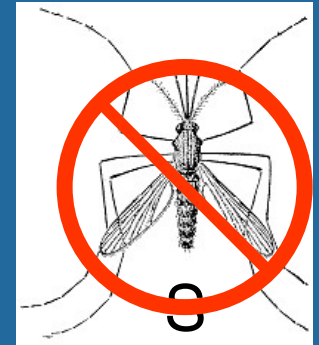
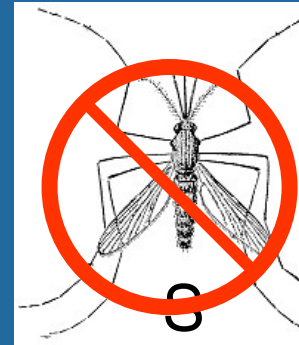
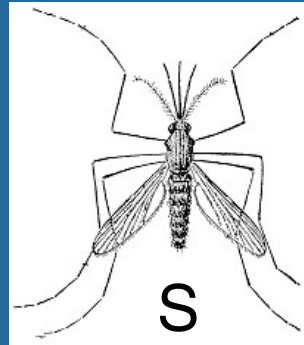
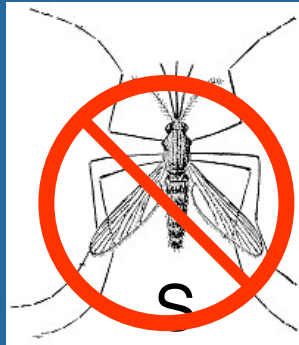
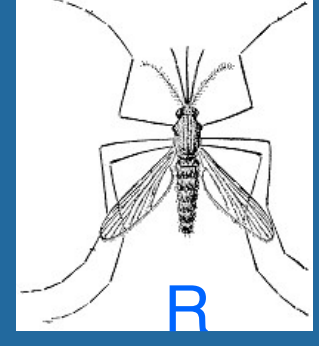
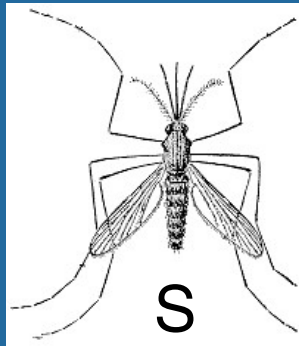
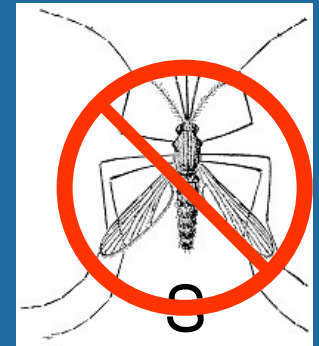
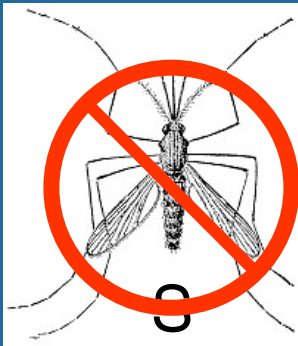


3 Additional applications of the same insecticide will be less effective, and the frequency of resistant insects in the population will grow.

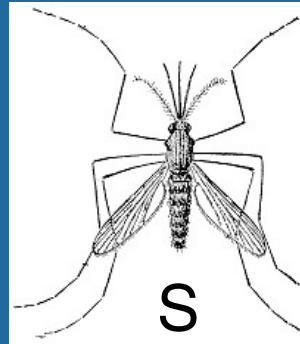
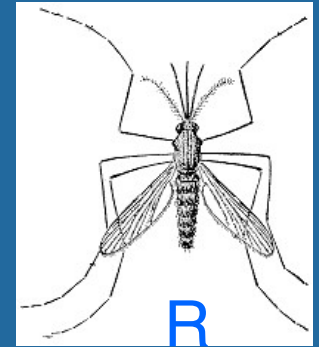
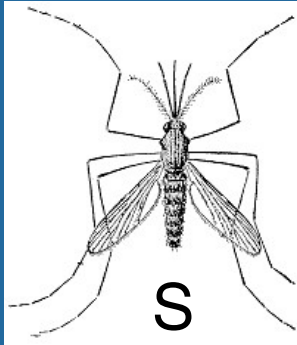
Η ανάπτυξη της ανθεκτικότητας στα έντομα



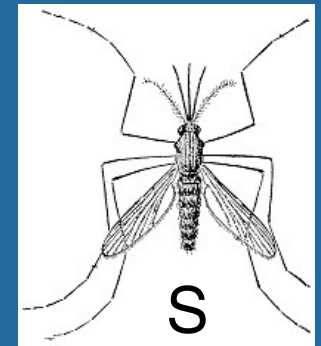
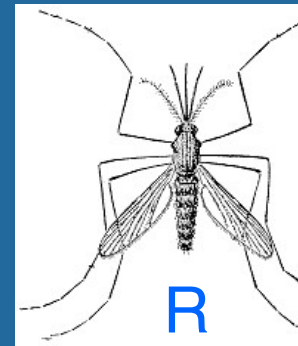
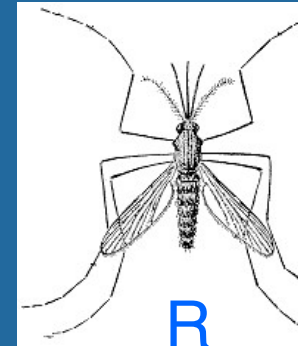
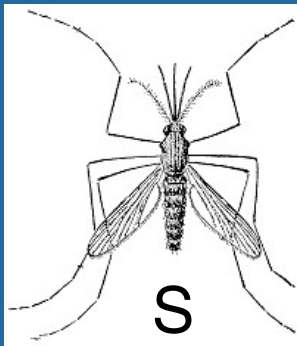
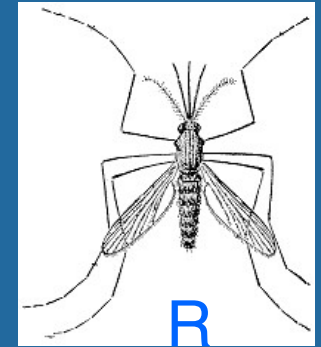
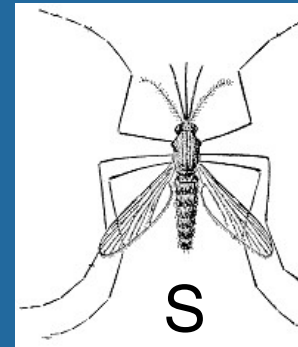
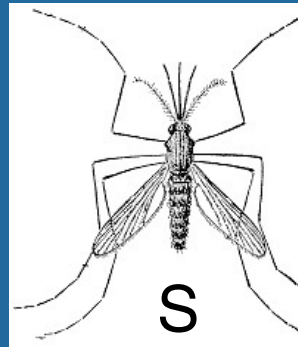
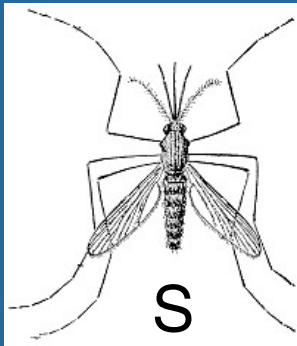
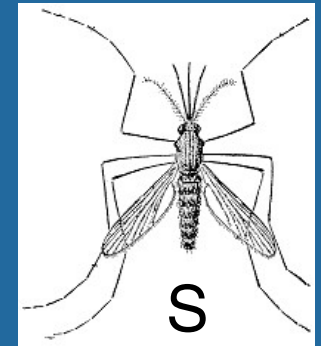
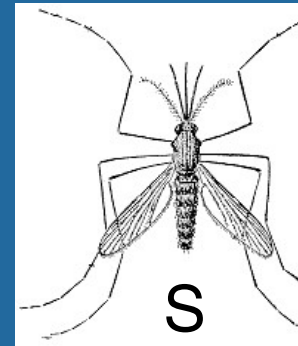
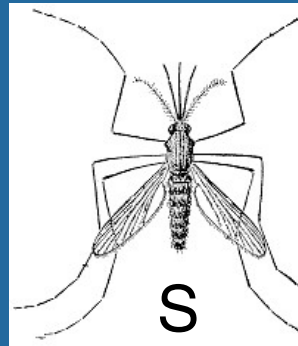
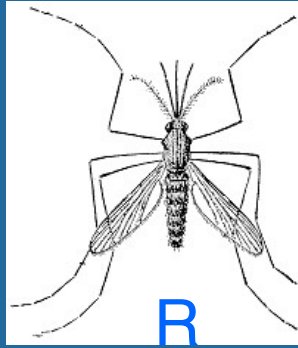
Ένας πληθυσμός κουνουπιών που περιέχει τόσο ανθεκτικά (R) όσο και ευαίσθητα (S) άτομα, πριν από τη χρήση εντομοκτόνου. Η αναλογία του ανθεκτικού R ατόμου είναι $1/12 = 0.083$.



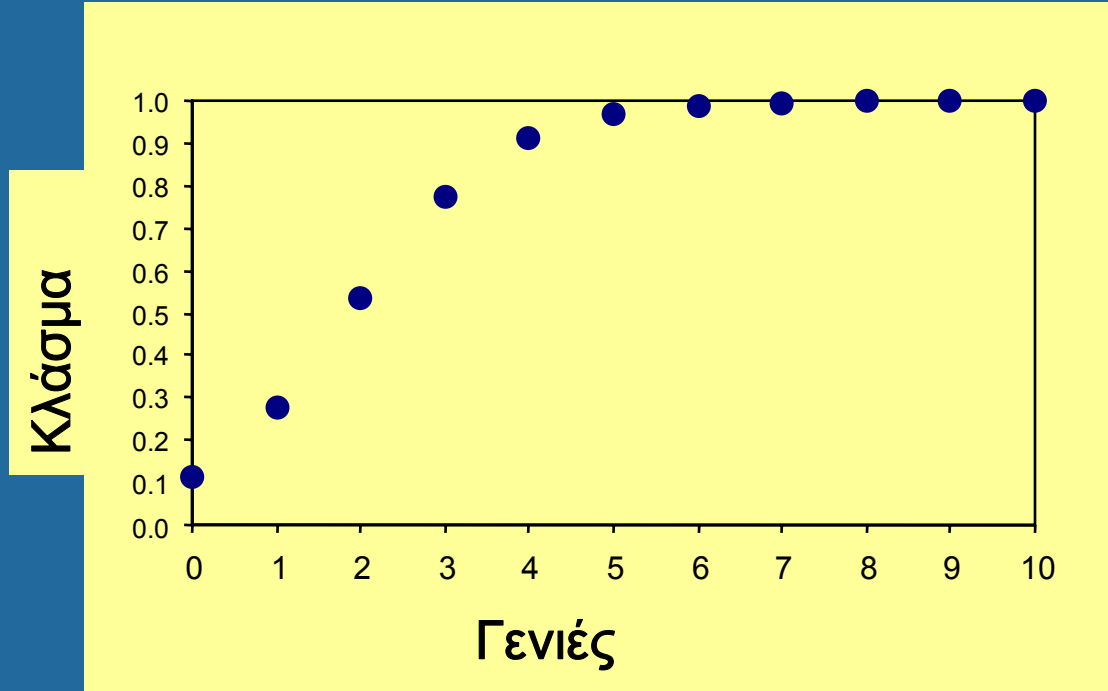
Μετά τη χρήση του εντομοκτόνου θα επιβιώσουν τα ανθεκτικά άτομα (R) και μερικά από τα ευαίσθητα (S).



Η αναλογία των ανθεκτικών (**R**) ατόμων είναι τώρα $1/3 = 0.333$.



Αν το ανθεκτικό R άτομο αναπαράγεται όπως και το S, στην επόμενη γενιά η αναλογία των R ατόμων θα είναι όση και στους επιζήσαντες της προηγούμενης γενιάς, δηλαδή 0.333.

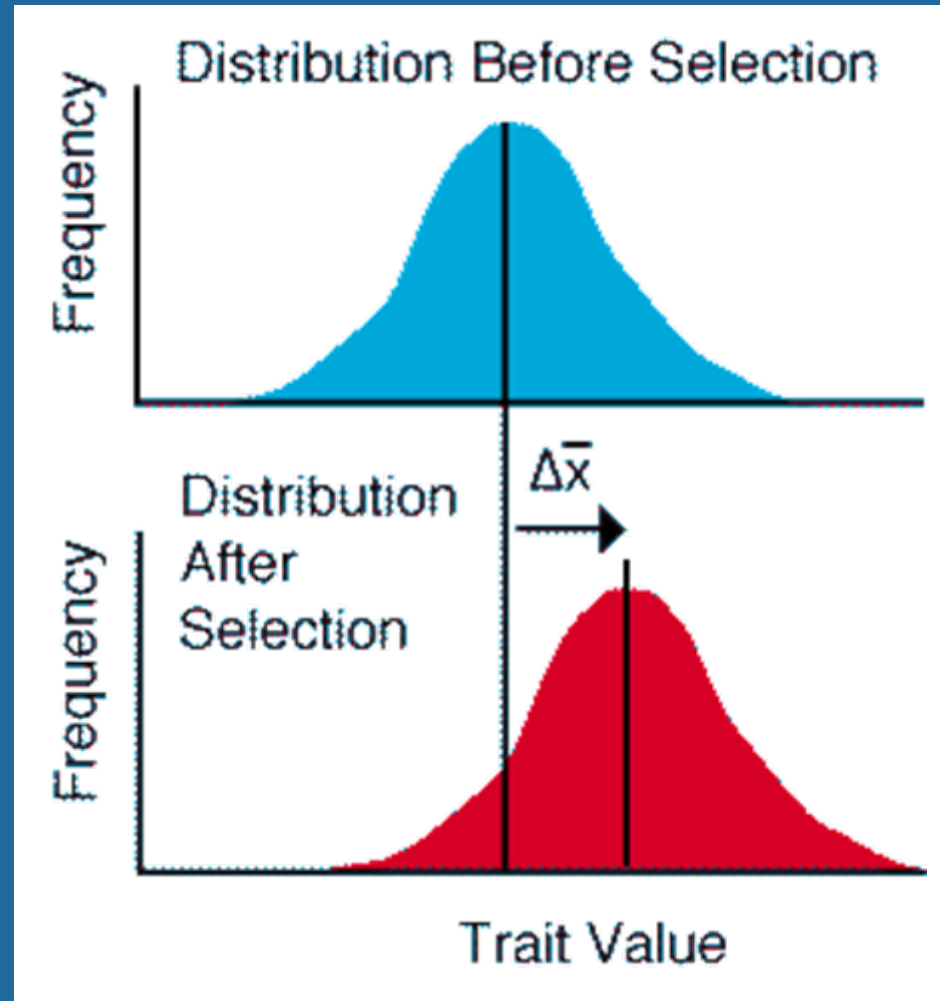


Επαναλαμβανόμενη, σταθερή επιλογή ανθεκτικότητας έχει σαν αποτέλεσμα πληθυσμό αποκλειστικά ανθεκτικών (**R**) ατόμων.

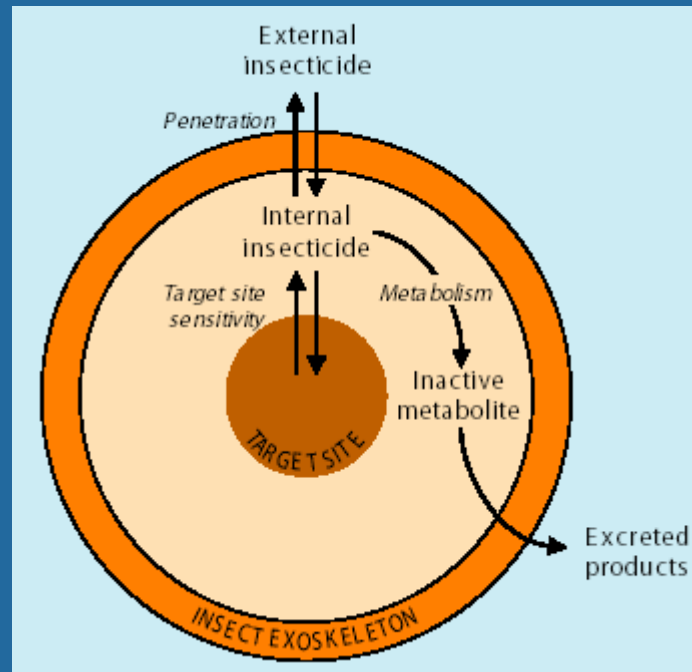
- Αυτό που βλέπουμε είναι ένα παράδειγμα φυσικής επιλογής, που οδηγεί στην εξέλιξη ενός πληθυσμού.
- Φυσική επιλογή είναι η διαφορετική επιβίωση (ή διαφορετική αναπαραγωγική ικανότητα) των ατόμων, που οδηγεί σε αλλαγές του κλάσματος ενός συγκεκριμένου γενετικού τύπου σε ένα πληθυσμό.

Η κατανόηση της ανθεκτικότητας στα εντομοκτόνα απαιτεί την αλληλεπίδραση πολλών περιοχών της βιολογίας, από τη μοριακή βιολογία στην οικολογία





Μηχανισμοί ανθεκτικότητας



Η ανθεκτικότητα μπορεί να είναι αποτέλεσμα:

1. Μειωμένης διείσδυσης του εντομοκτόνου
2. Μειωμένης ευαισθησίας του στόχου
3. Αυξημένου μεταβολισμού του εντομοκτόνου
4. Τροποποίησης της συμπεριφοράς του εντόμου

TABLE 1. A rational classification of commercial insecticides, acaricides, and nematicides. Target sites with well-established insensitivity resistance are highlighted. Chemical classes that share a common target site are separated by thin lines.

Functional MOA ^a group	Biochemical MOA class	Target/effect	Chemical Class	Products
Neuroactive Agents	VDIC ^b modulators	prolong sodium channel opening	pyrethroids	deltamethrin, fenvalerate (Asana ^c)
			diphenylethanes	DDT, methoxychlor
	ionotropic receptor channel blockers	block GABA^d-activated chloride channel	cyclodienes	dieldrin, endosulfan
			polychlorocycloalkanes	lindane
			phenylpyrazoles	fipronil
	ionotropic receptor agonists	nicotinic agonists	various classes	nicotine, cartap, pyrantel, levamisole
			chloronicotinyls	imidacloprid (Gaucho ^e)
	ionotropic receptor modulators	iGluR ^f modulators	avermectins	ivermectin, abamectin, emamectin
		nAChR ^g modulators	milbemycins	moxidectin
	metabotropic receptor agonists	octopamine receptor agonists	spinosyns	spinosad (Tracer)
formamidines			chlordimeform amitraz	
serine esterase inhibitors	acetylcholinesterase inhibitors	organophosphates	chlorpyrifos, diazinon	
		carbamates	carbofuran, carbaryl, methomyl	
Respiration Disruptors	mitochondrial electron transport inhibitors	MET ^h site I inhibitors	quinolines/quinazolines	fenazaquin
		MET site II inhibitors	rotenoids	rotenone
	uncouplers	transport protons into mitochondria	amidinohydrazones	hydramethylnon (Amdro ⁱ)
			pyrroles	chlorfenapyr (Pirate ^j) , phenols
Insect Growth Regulators	hormone receptor agonists	ecdysone receptor agonists	bisacylhydrazines	tebufenozide (Confirm), Intrepid ^k
		juvenile hormone agonists	various classes	methoprene, fenoxycarb, pyriproxyfen
	chitin synthesis inhibitors	unknown mechanism	benzoylphenylureas	diflubenzuron (Dimilin ^l), hexaflumuron
Gut Disruptors	ionophore proteins	form ion-pores in gut endothelium	<i>B.t.</i> δ -endotoxins ^m	<i>B.t.</i> aizawa, <i>B.t.</i> kurstaki, Bollgard ⁿ , NatureGard ^o



Resistance Management for Sustainable Agriculture and Improved Public Health

login

HOME ABOUT NEWS EVENTS TEAMS COUNTRIES TOOLS RESOURCES

SEARCH

WELCOME TO THE INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE WEBSITE

LATEST NEWS

MAY 18 New "mini" IRAC Classification brochure now available

IRAC International has just designed and printed a new pocket-sized guide to MOA classification. It includes an introduction to the importance of MOA for resistance management, a list of MOA groups in numerical order with corresponding active ingredients, pest specific lists of MOA by target site and an alphabetical list of active ingredients along with their MOA classification number. Copies are available from IRAC members and via the website or can be downloaded by clicking [IRAC MOA Brochure](#)

[MORE NEWS >](#)



SUBSCRIBE TO OUR RSS FEED
Get IRAC news sent directly to your inbox or feed reader

SUBSCRIBE TO IRAC'S NEWSLETTER

Your Name:
Your E-mail:

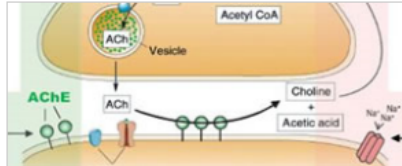
SUBSCRIBE

IRAC is an international group of 150+ members of the Crop Protection Industry organised by sector and region to advise on the prevention and management of insecticide resistance.



Learn more about IRAC

- > [View the IRAC Organisational Chart](#)
- > [Download the IRAC Constitution](#)
- > [Check-out the Executive Members](#)
- > [Start a new IRAC Country Group!](#)



IRAC Mode of Action

- > [Download the MoA Poster](#)
- > [Try the interactive eClassification](#)
- > [Download the MoA Classification](#)
- > [Visit the MoA Team webpage](#)



IRAC Test Methods

- > [Try our interactive eMethods tool](#)
- > [Learn about the IRAC Methods](#)
- > [Visit the Methods Team webpage](#)



Insecticide Resistance Action Committee

Insecticide Mode of Action Classification: A key to effective insecticide resistance management

www.irc-online.org

Introduction

IRAC promotes the use of a Mode of Action (MoA) classification of insecticides as the basis for effective and sustainable insecticide resistance management (IRM). Insecticides are allocated to specific groups based on their target site. Reviewed and re-issued periodically, the IRAC MoA classification list provides farmers, growers, advisors, extension staff, consultants and crop protection professionals with a guide to the selection of insecticides or acaricides in IRM programs. Effective IRM of this type preserves the utility and diversity of available insecticides and acaricides. A selection of MoA groups is shown below.

Metabolic Processes

Group 13 Uncouplers of oxidative phosphorylation via disruption of H proton gradient
Chlorfenapyr (pyrrole analogue)

Cuticle synthesis

Group 15 Inhibitors of Chitin biosynthesis, Type 0, Lepidopteran
Benzoylureas (e.g. Flufenoxuron) inhibit new cuticle synthesis

Moulting and Metamorphosis

Group 7 Juvenile hormone mimics
7B Juvenile hormone analogues (e.g. Fenoxycarb)
Group 18 Ecdysone agonists / moulting disruptors
18 Diacylhydrazines (e.g. Methoxyfenozide, Tebufenozide)

Midgut

Group 11 Microbial disruptors of insect midgut membranes
Toxins produced by the bacterium *Bacillus thuringiensis*
Bt sprays e.g. Bt subsp. kurstaki and individual Bt Cry proteins expressed in transgenic crop varieties (specific cross-resistance sub-groups)

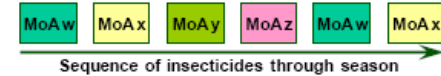
Nervous System

Stimulatory Nervous System Targets
Group 1 Acetylcholinesterase (AChE) inhibitors
1A Carbamates (e.g. Thiodicarb), 1B Organophosphates (e.g. Chlorpyrifos)
Group 3 Sodium channel modulators
3A Pyrethrins, Pyrethroids (e.g. Cypermethrin, λ-cyhalothrin)
Group 5 nAChR agonists (Allosteric), Spinosyns (e.g. Spinosad)
Group 22 Voltage dependent sodium channel blockers
22A Indoxacarb, 22B Metaflumizone
Group 28 Ryanodine receptor modulators
Diamides (e.g. Flubendiamide, Chlorantraniliprole)
Inhibitory Nervous System Targets
Group 2 GABA-gated chloride channel antagonists
2A Cycloidiene Organochlorines (e.g. Endosulfan),
2B Phenylpyrazoles (e.g. Fipronil)
Group 6 Chloride channel activators Avermectins (e.g. Abamectin, Emamectin benzoate)

Effective IRM strategies: Sequences or alternations of MoA

All effective insecticide resistance management (IRM) strategies seek to minimise the selection of resistance to any one type of insecticide. In practice, alternations, sequences or rotations of compounds from different MoA groups provide sustainable and effective IRM for pest Lepidoptera. This ensures that selection from compounds in the same MoA group is minimised, and resistance is less likely to evolve.

Applications are often arranged into MoA spray windows or blocks that are defined by the stage of crop development and the biology of the pest species of concern. Local expert advice should always be followed with regard to spray windows and timings. Several sprays may be possible within each spray window but it is generally essential to ensure that successive generations of the pest are not treated with compounds from the same MoA group. Metabolic resistance mechanisms may give cross-resistance between MoA groups, and where this is known to occur, the above advice must be modified accordingly. IRAC also provides general recommendations for resistance management tactics regarding specific MoA groups, e.g. neonicotinoids (Group 4A).



Feeding Blockers

Group 9 Compounds of non-specific mode of action (selective feeding blockers)
9B Pymetrozine
9C Flonicamid

Nervous System

Group 4A Acetylcholine receptor (nAChR) agonists
Neonicotinoids

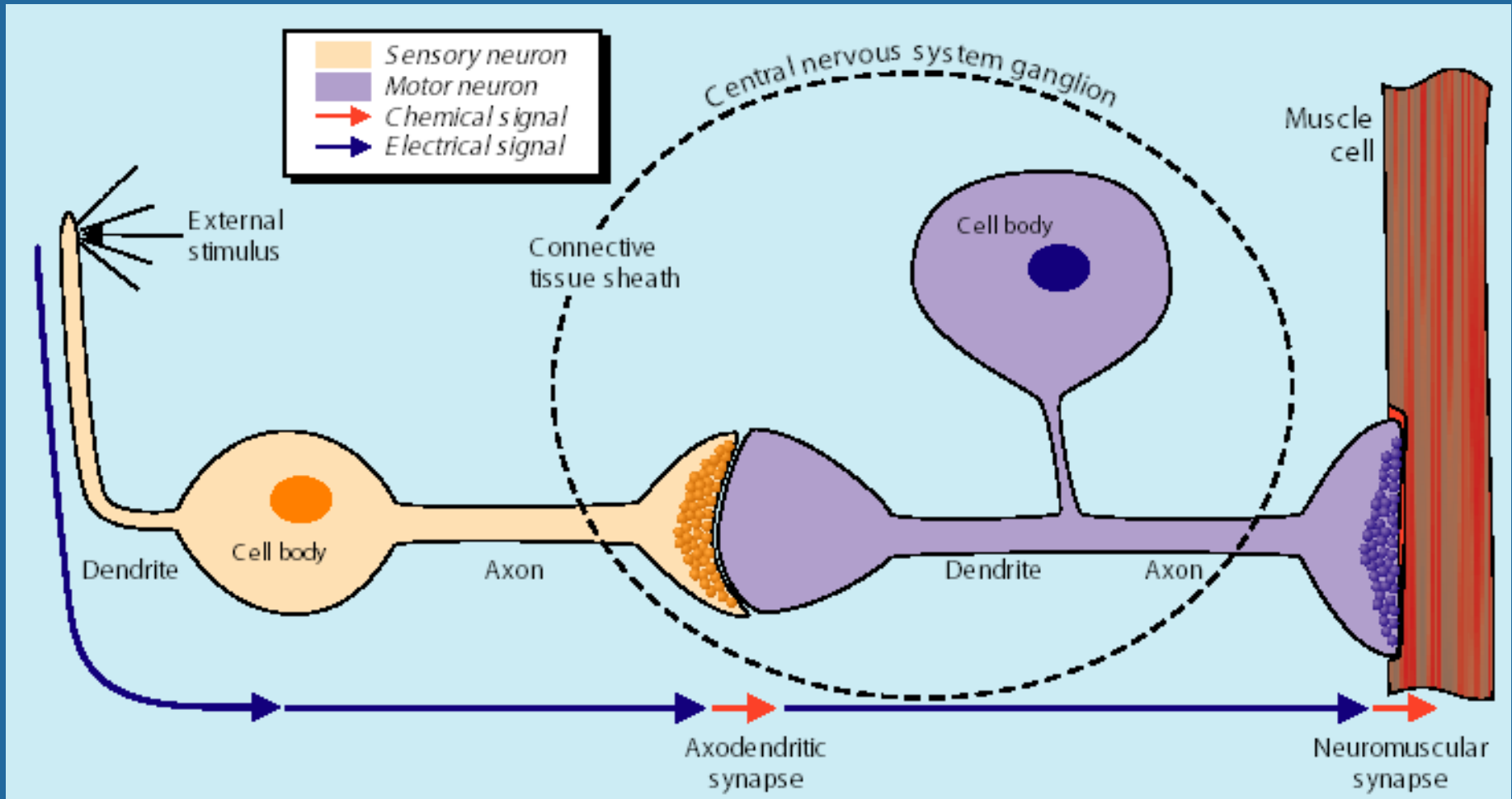
Growth Inhibitors

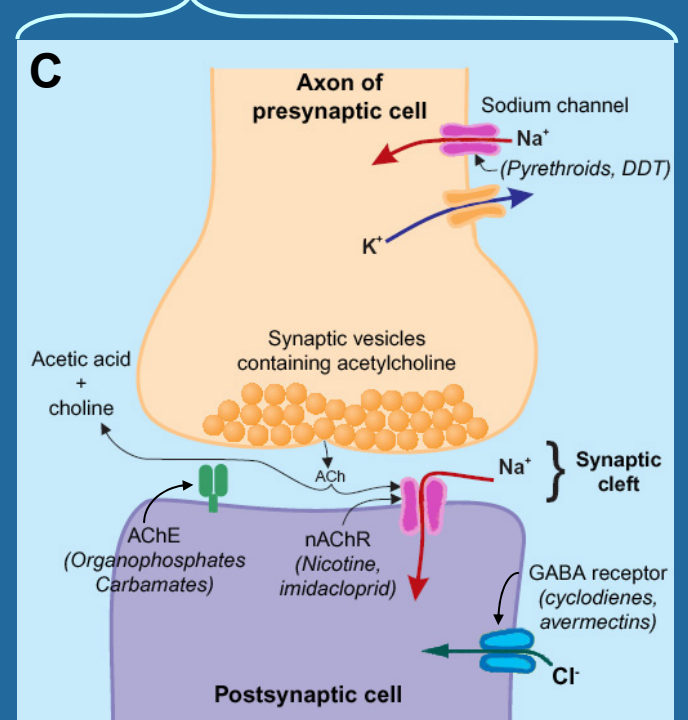
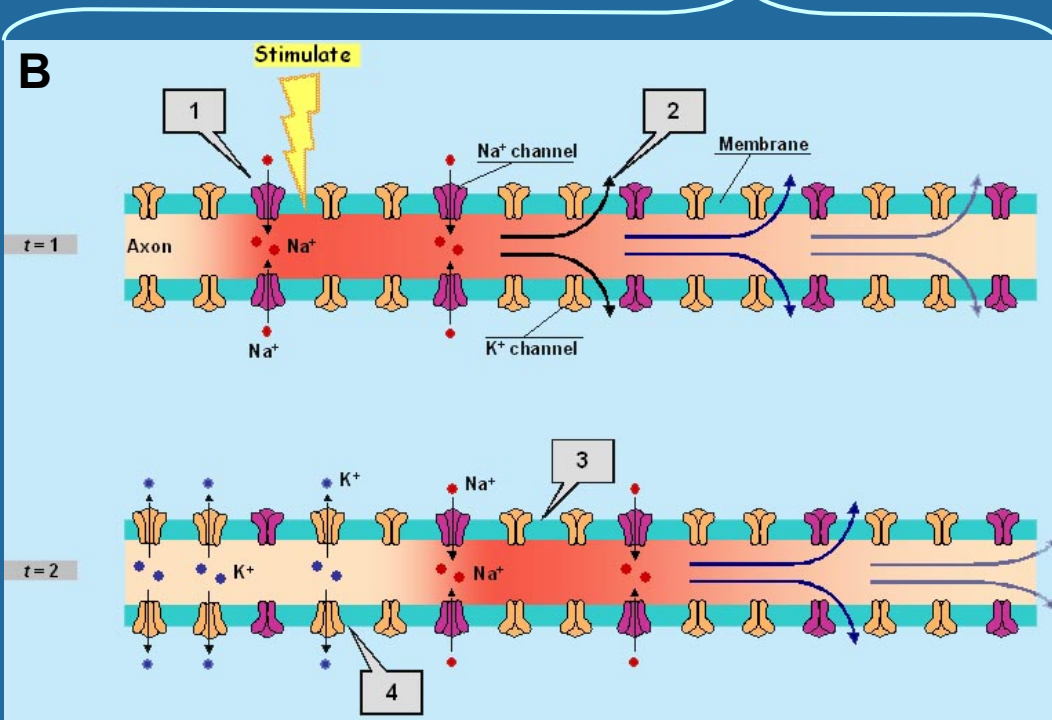
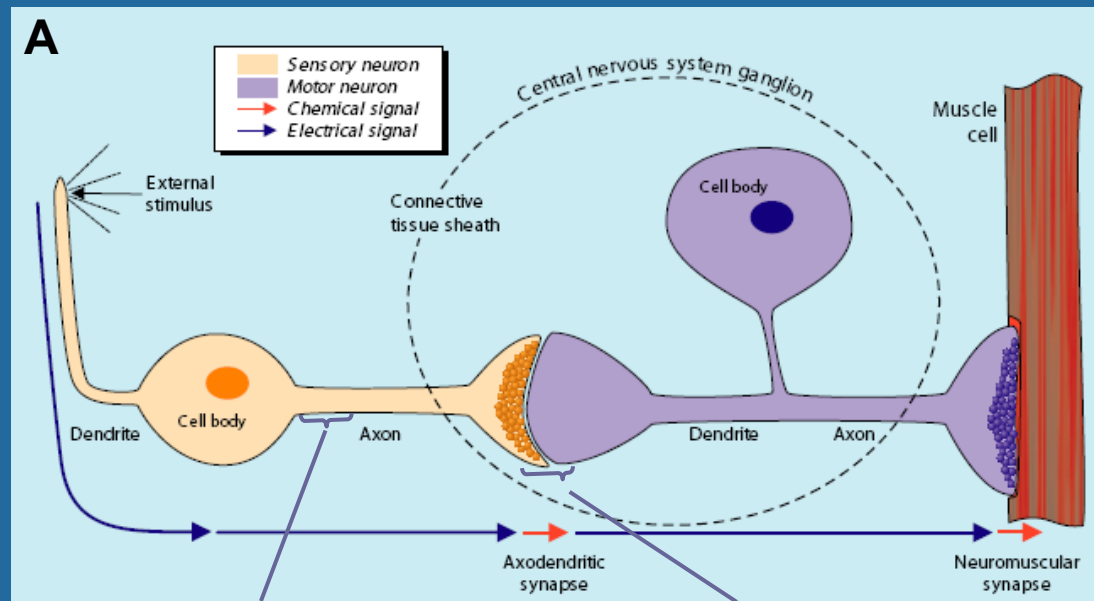
Group 10 Mite growth inhibitors,
10A Clofentezine, Hexythiazox
10B Etoxazole

Metabolic processes

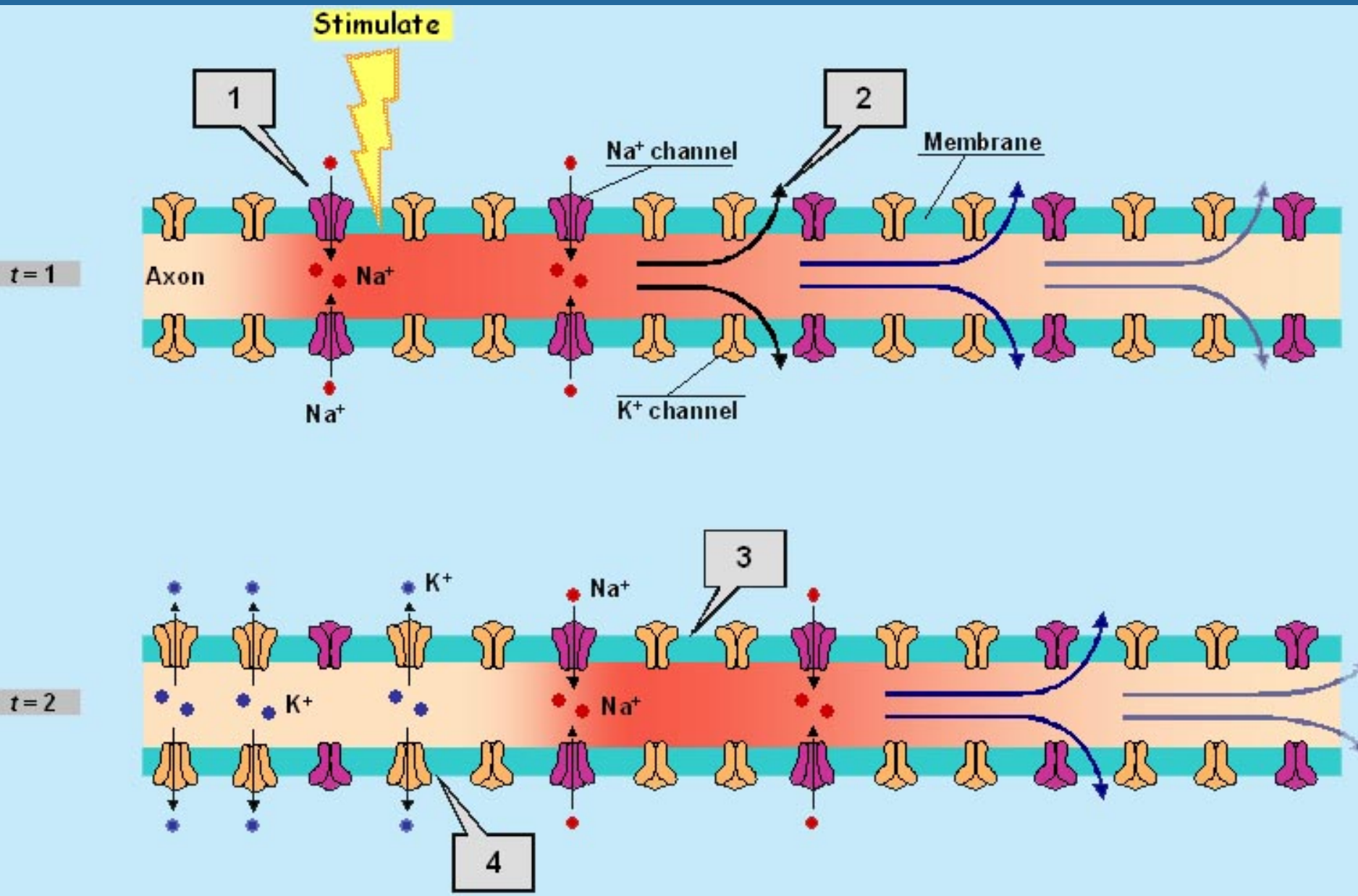
Group 20 Mitochondrial complex III electron transport inhibitors
20A Hydramethylnon,
20B Acequinocyl
20C Fluacrypyrim
Group 21 Mitochondrial complex I electron transport inhibitors
21A METI acaricides
21B Rotenone,
Group 23 Inhibitors of acetyl CoA carboxylase
Tetronic & Tetramic acid derivatives (e.g. Spirodiclofen)

Insecticides modes of action

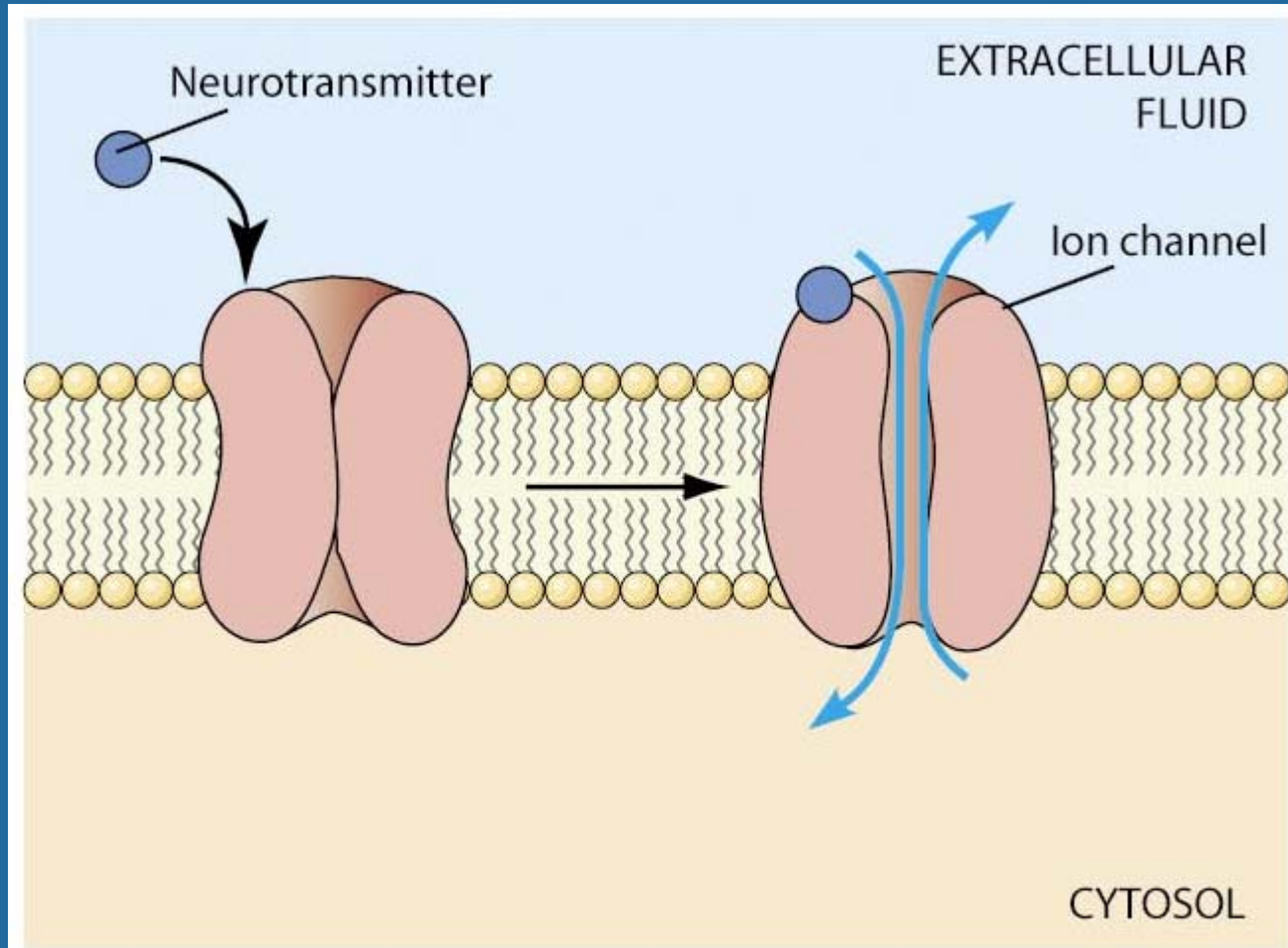




1. Εντομοκτόνα που δρουν στο άξονα του νευρικού κυττάρου

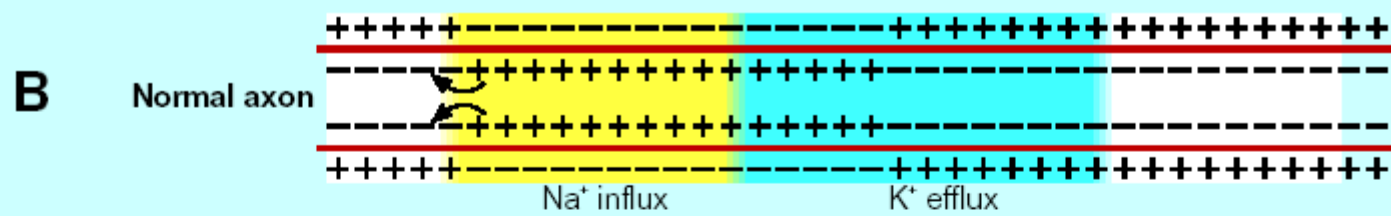
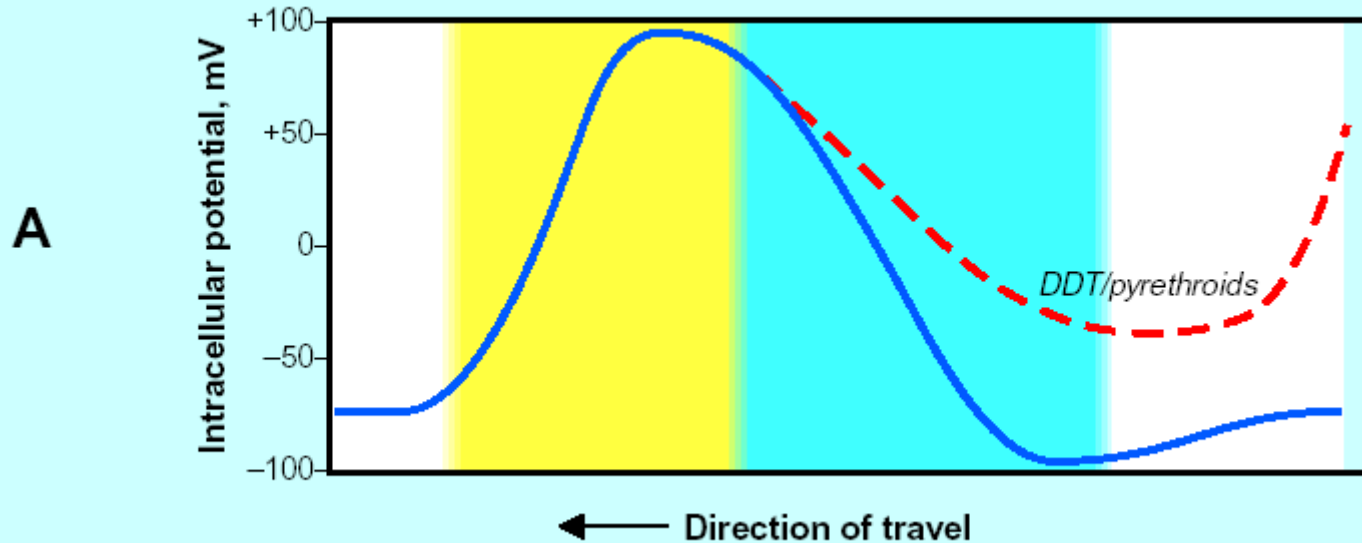


Ανθεκτικότητα kdr



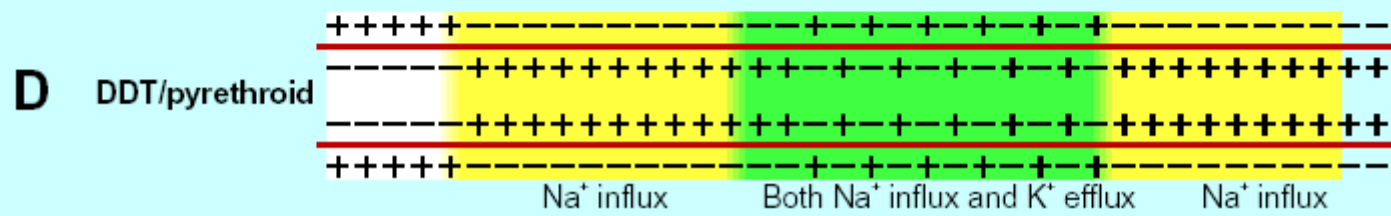
(a) Direct neurotransmitter action (ionotropic receptor)

Ανθεκτικότητα kdr: επιβράδυνση κλεισίματος καναλιού Na



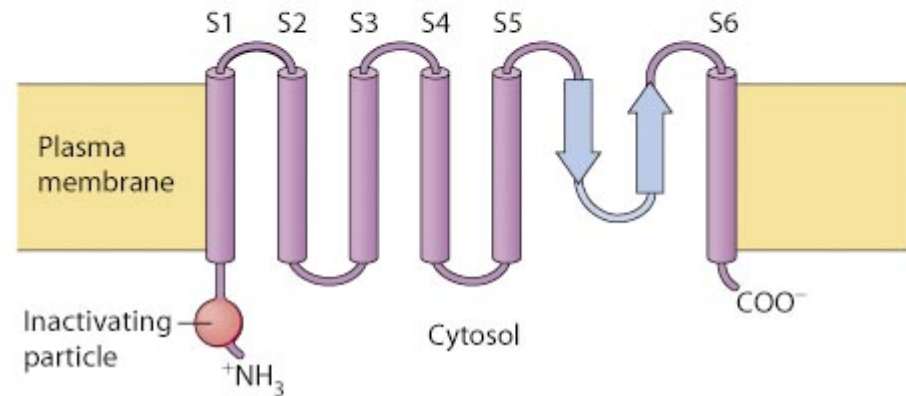
C

	Resting	Active	Inactive (refractory)	Resting
K ⁺ permeability	Low	Increasing	High	Low
Na ⁺ permeability	Very low	Very high	Decreasing	Very low

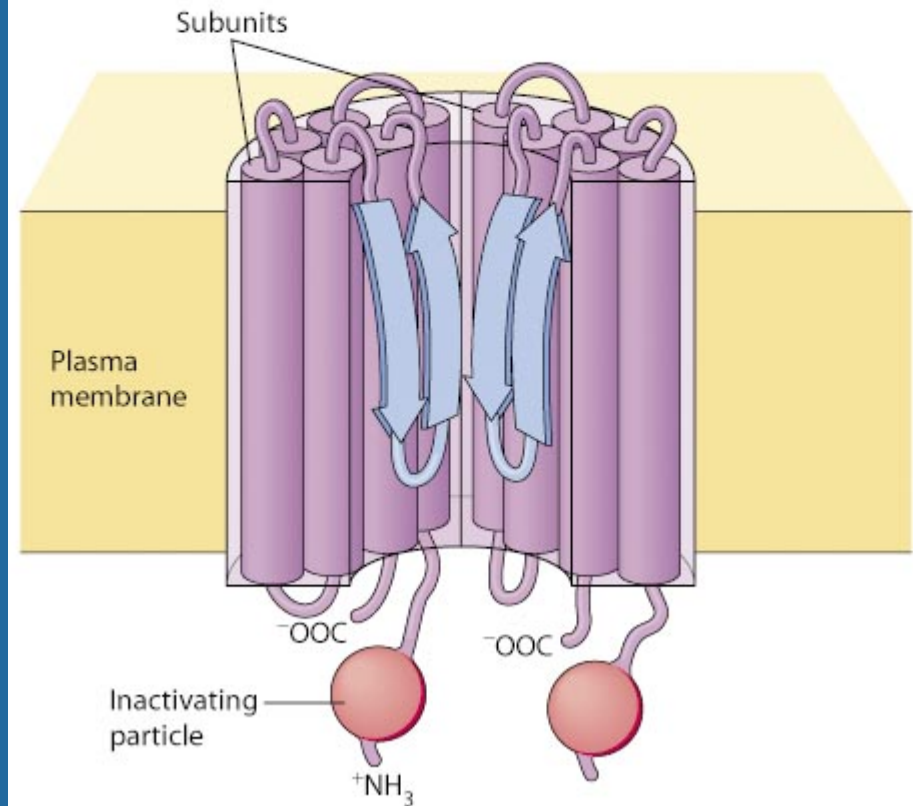


Η δομή ενός καναλιού ιόντων

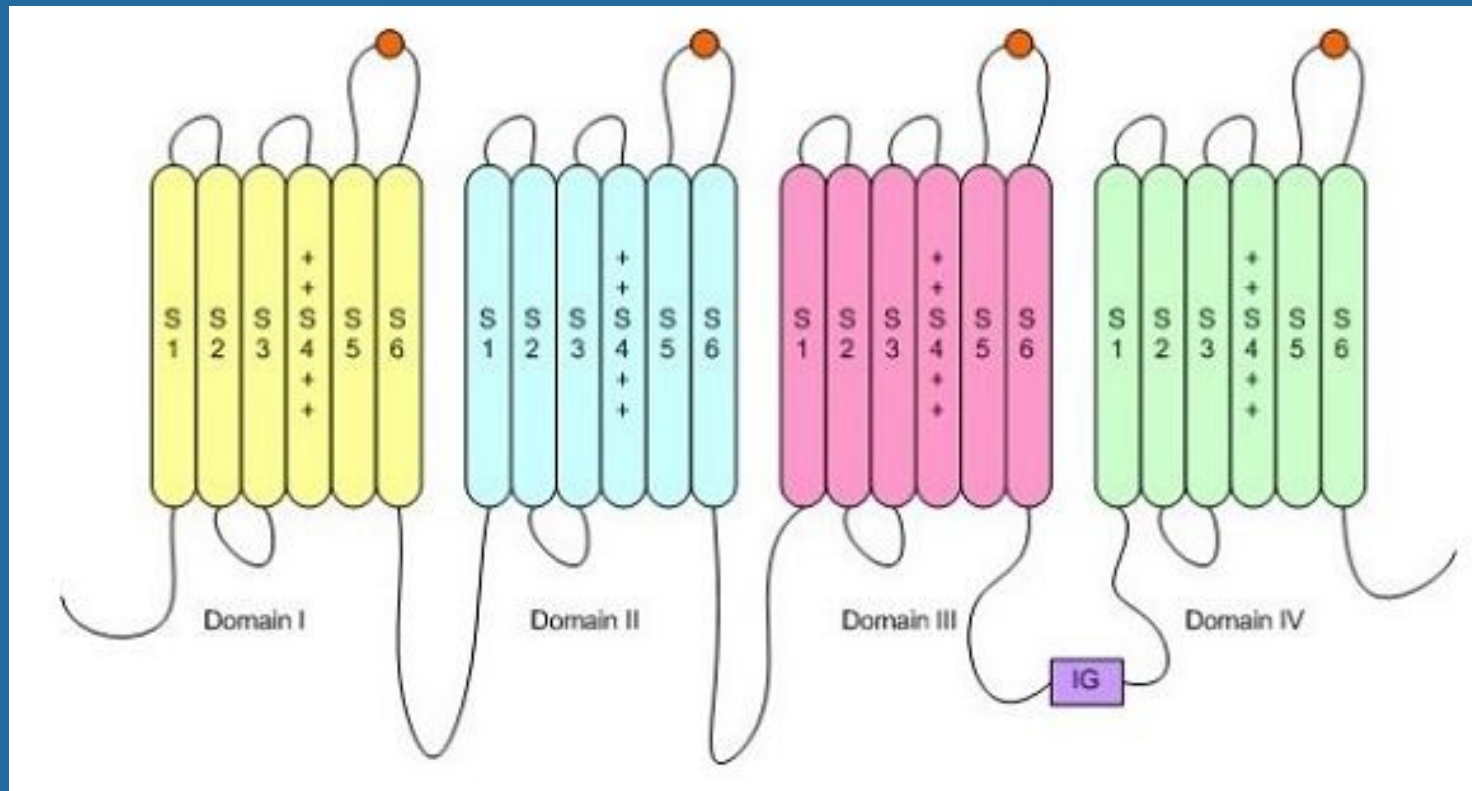
(a) Domain structure of an individual subunit. Each subunit or domain contains six transmembrane helices, labeled S1–S6. The fourth transmembrane helix, S4, is a good candidate for a voltage sensor and part of the gating mechanism. For voltage-gated sodium channels and some types of potassium channels, a region near the N-terminus protrudes into the cytosol and forms an inactivating particle.



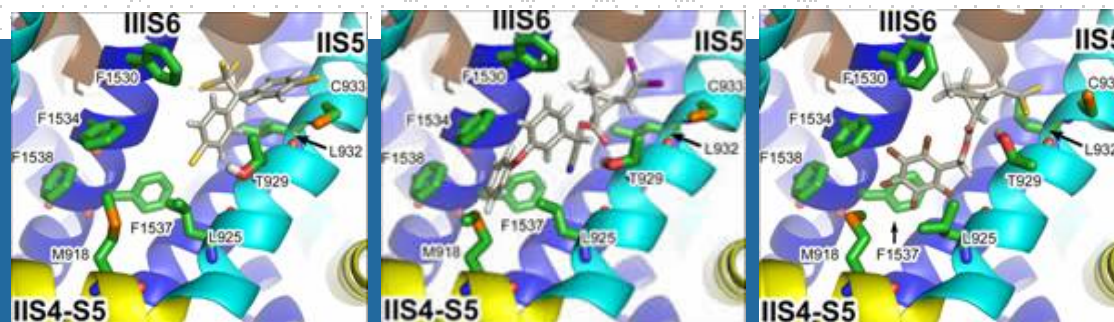
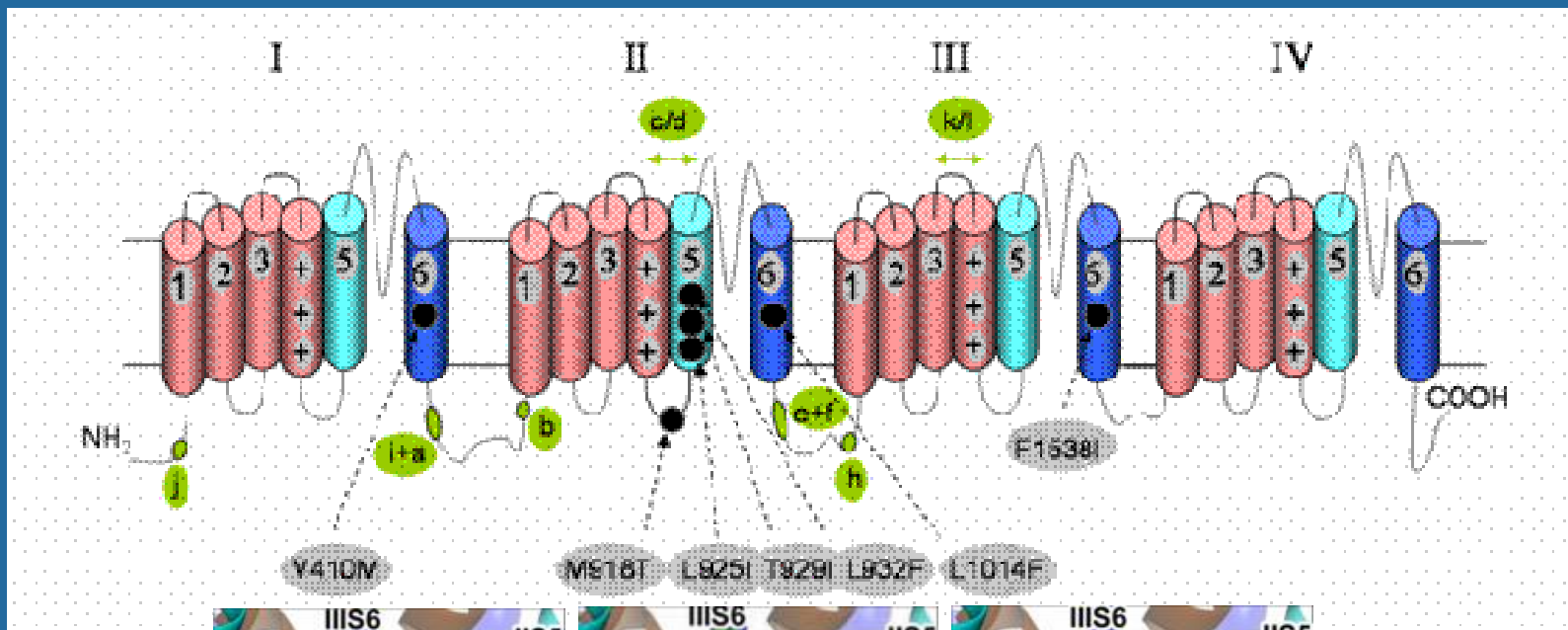
(b) Pore structure. Two of the four subunits of a voltage-gated potassium channel are shown here. The pore forms in the middle. The inactivating particle (when present) causes channel inactivation by extending over the mouth of the channel to block the passage of ions.



Κανάλι νατρίου



Οι μεταλλάξεις ανθεκτικότητας



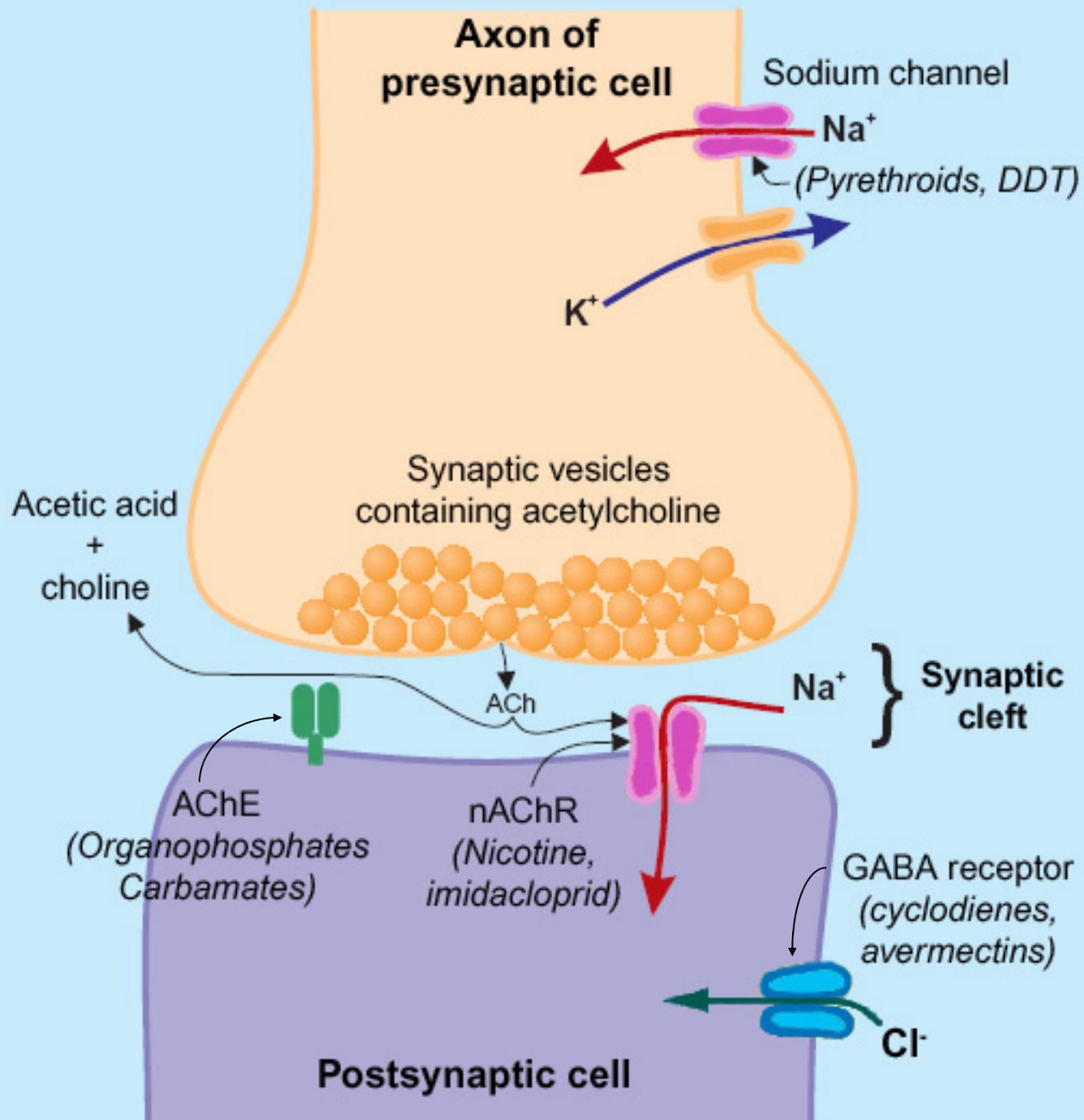
DDT

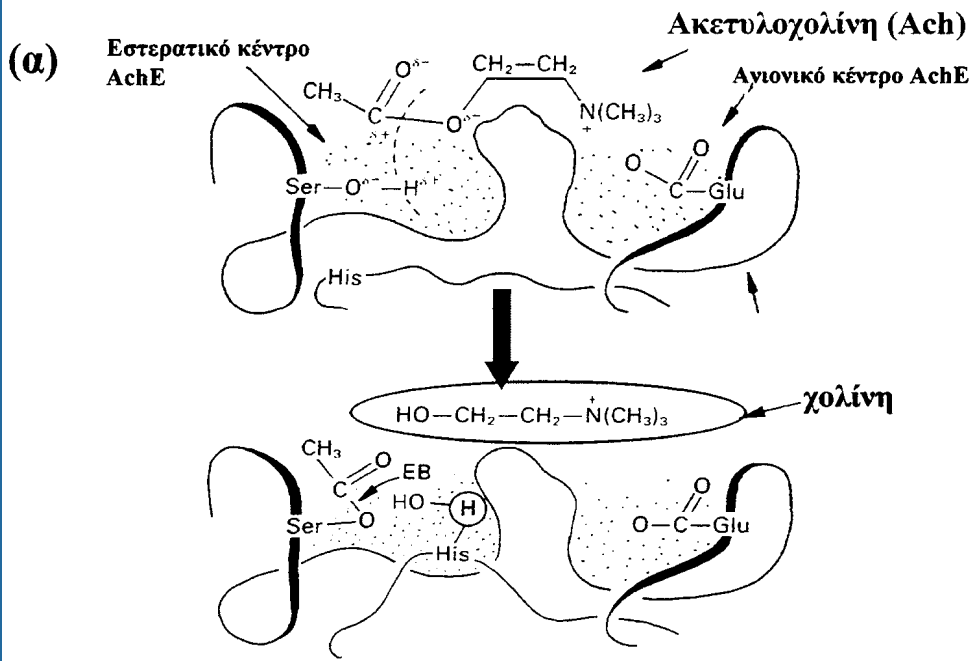
Deltamethrin

Fenfluthrin

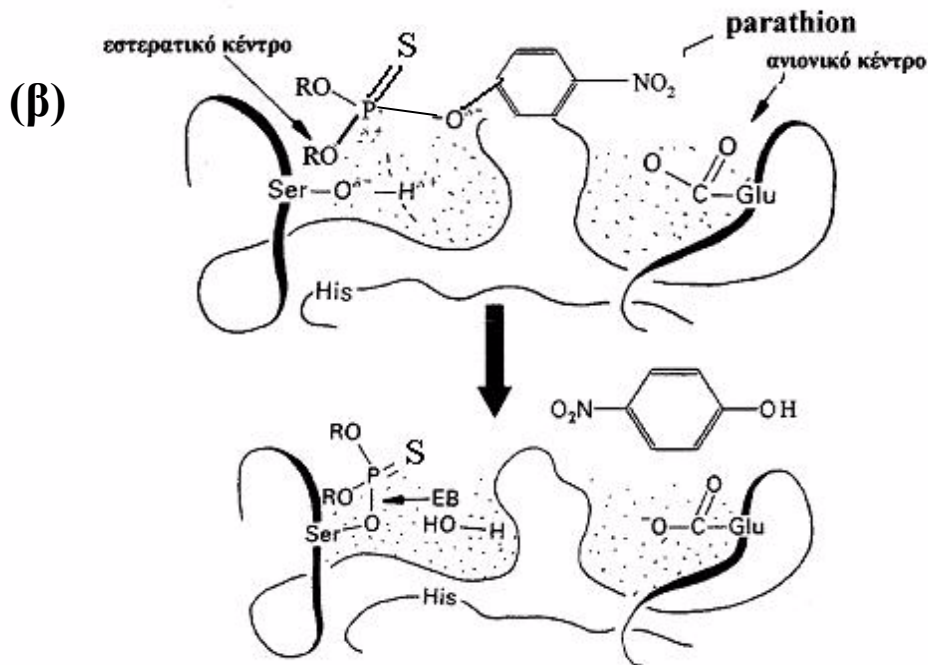
Docking predictions for DDT, deltamethrin and fenfluthrin with the voltage-gated sodium channel (insecticide structures shown in stick format). The S4-S5 linkers, S5 helices, pore helices and S6 helices are shown in cartoon (yellow, cyan, brown and blue, respectively). Residues implicated in pyrethroid binding in various pest species (housefly residues M918, L925, T929 and L932) are shown in green stick format. Predicted distances of H-bonding interactions from the T929 threonine oxygen (donor) to each pyrethroid's carbonyl oxygen (acceptor) is 3.03 Å (deltamethrin) and 2.73 Å (fenfluthrin)

2. Εντομοκτόνα που δρουν στη νευρική σύναψη

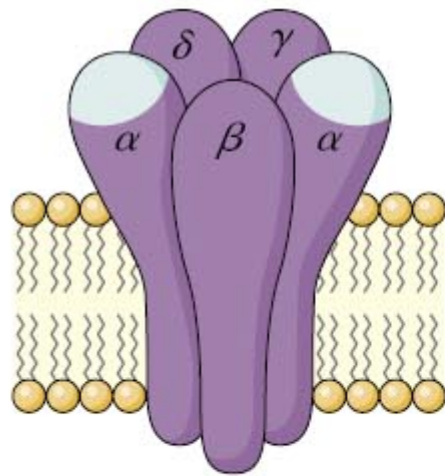
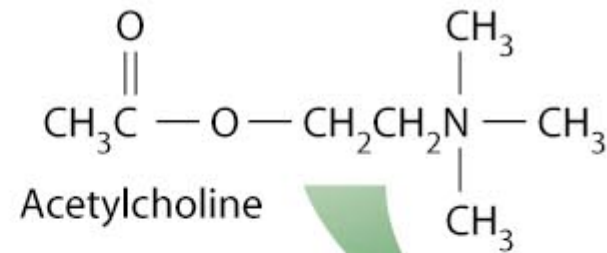




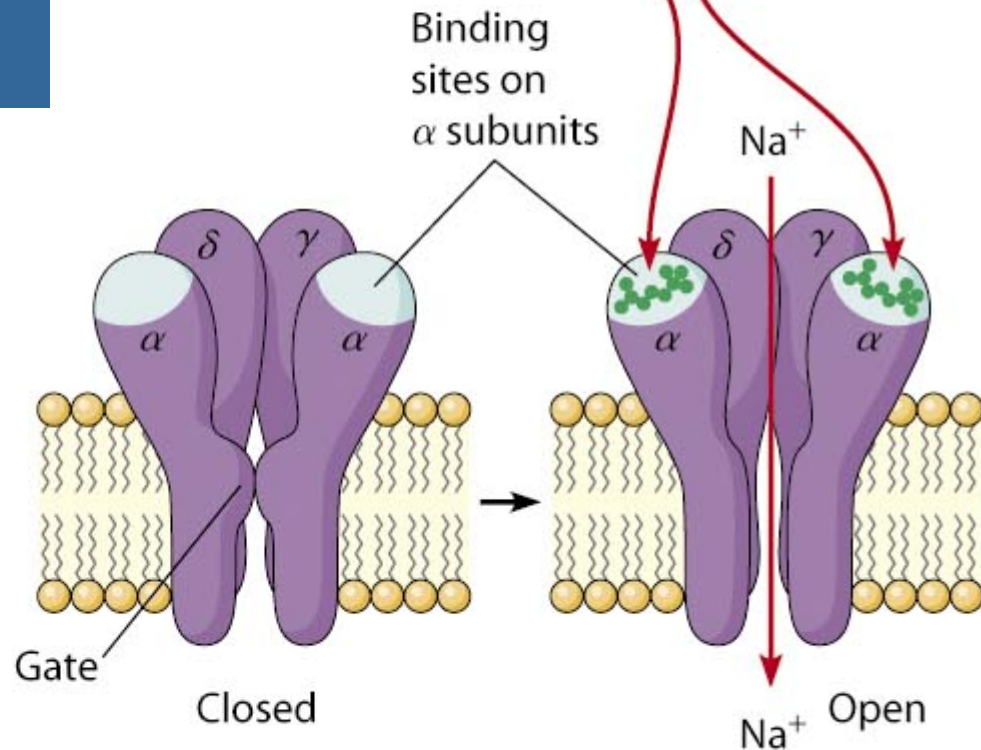
Τρόπος δράσης των οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων



2.2. Δομή και λειτουργία του υποδοχέα (nAChR)



Structure of receptor



Function of receptor

3. Μηχανισμοί αποτοξίνωσης

3.1. Εστεράσες

- Υπερέκφραση γονιδίων
 - Μεταλλάξεις στον υποκινητή του γονιδίου
 - Μεταλλάξεις στην επεξεργασία του mRNA που οδηγούν σε αυξημένη μετάφραση
- Γονιδιακή ενίσχυση: αύξηση του αριθμού αντιγράφων
- Ποιοτικές αλλαγές γονιδίων: μετάλλαξη που μετατρέπει την εστεράση σε υδρολάση OP εντομοκτόνων

3.2. Glutathione S-transferases (GSTs) καταλύουν την προσθήκη γλουταθειόνης δημιουργώντας περισσότερο υδρόφιλα και λιγότερο τοξικά προϊόντα

- Ανήκουν σε οικογένεια > 100 GST-like proteins
- Αυξημένη δράση GST έχει συνδεθεί με ανθεκτικότητα σε όλες τις τάξεις των εντομοκτόνων
- Η ανθεκτικότητα έχει αποδοθεί στην αύξηση της ποσότητας ενός ή περισσότερων GST μέσω της αύξησης του ρυθμού της μεταγραφής

3.3. P450s. Το σύμπλοκο των μονο-οξυγενασών ή οξειδασών μεικτής λειτουργίας (MFO), συμπεριλαμβάνει μια ρεδουκτάση και ένα ή περισσότερα μόρια κυτοχρώματος P450

- Αύξηση στη δραστηριότητα MFO είναι από τους πλέον συνήθεις μηχανισμούς ανθεκτικότητας
- Η ανθεκτικότητα αυτή έχει αποδοθεί στην υπερ-έκφραση του κυτοχρώματος P450
- Το κυτόχρωμα P450s ανήκει σε μια μεγάλη υπερ-οικογένεια. Έχειδειχτεί ότι υπερ-έκφραση του P450 μπορεί να προκληθεί από την ένθεση ενός ρετρομεταθετού στοιχείου (*Accord*) στο γονίδιο *cyp6g1*, ένα από τα 90 γονίδια στο γονιδίωμα της *D. melanogaster* που κωδικοποιεί διαφορετικά P450 ένζυμα

Η ανθεκτικότητα του δάκου στα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα



Περιοχές καλλιέργειας της ελιάς



Οικονομική σημασία

- 98% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιοκάρπου βρίσκεται στη Μεσόγειο
- Πάνω από 1 δις καλλιεργούμενα δέντρα
- Πάνω από 15 εκ εκτάρια καλλιεργούνται παγκοσμίως
- 2,240 εκ παραγωγοί στην Ευρωπαϊκή Ένωση (780 χιλ στην Ελλάδα)
- 1,9 εκ τόνοι η παραγωγή της Ευρωπαϊκής Ένωσης (14,7% στην Ελλάδα)

Εικόνα 1:
Θηλυκό
άτομο του
εντόμου



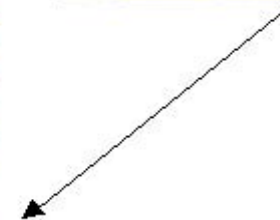
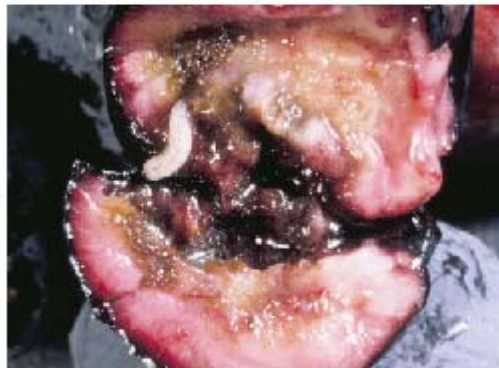
Εικόνα 4:
Βομβύκια
του εντόμου
στο έδαφος



Εικόνα 2:
Αυγό του
εντόμου
εντός του
καρπού



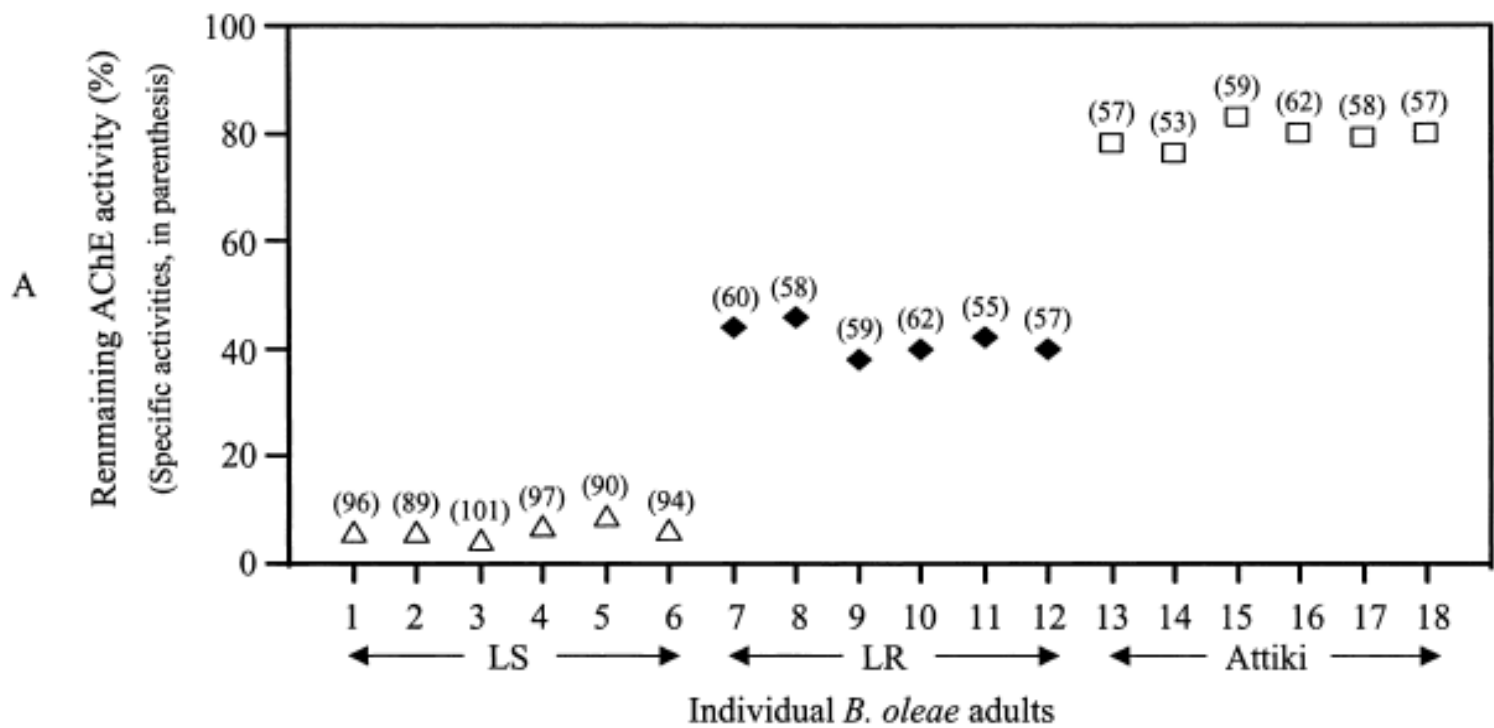
Εικόνα 3:
Προνύμφη
3ου σταδίου
εντός του
καρπού



Τρόποι αντιμετώπισης του δάκου

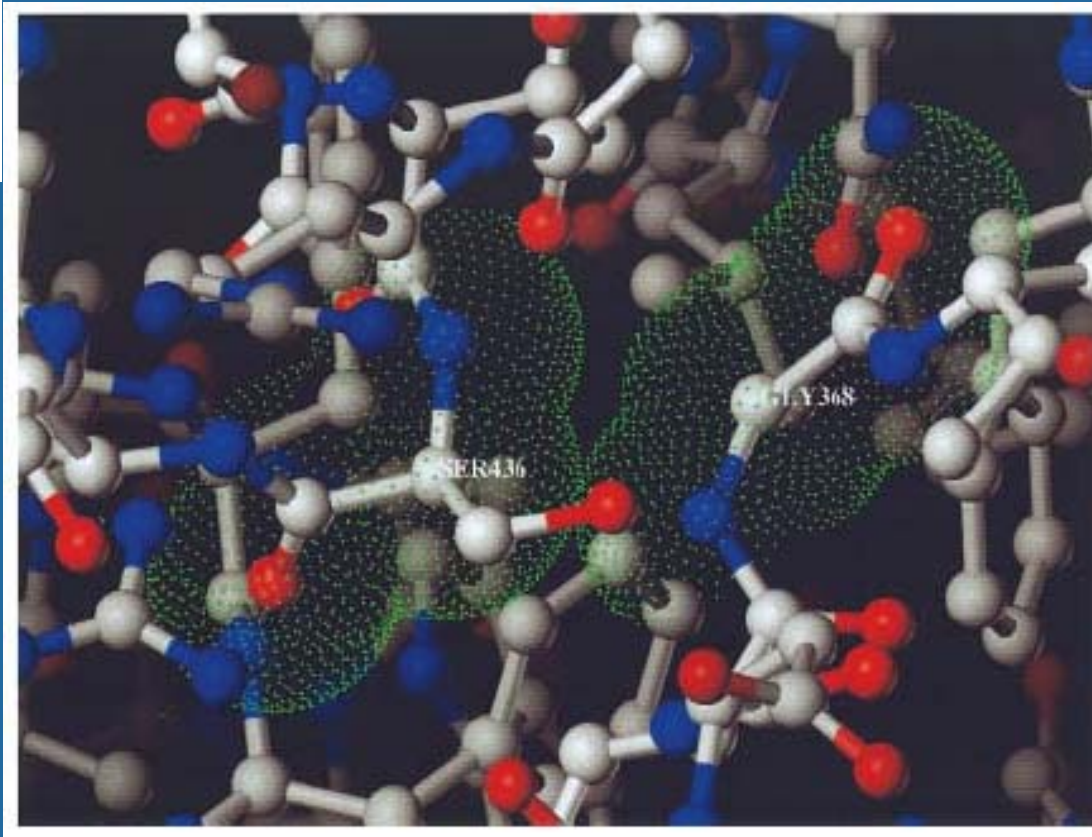
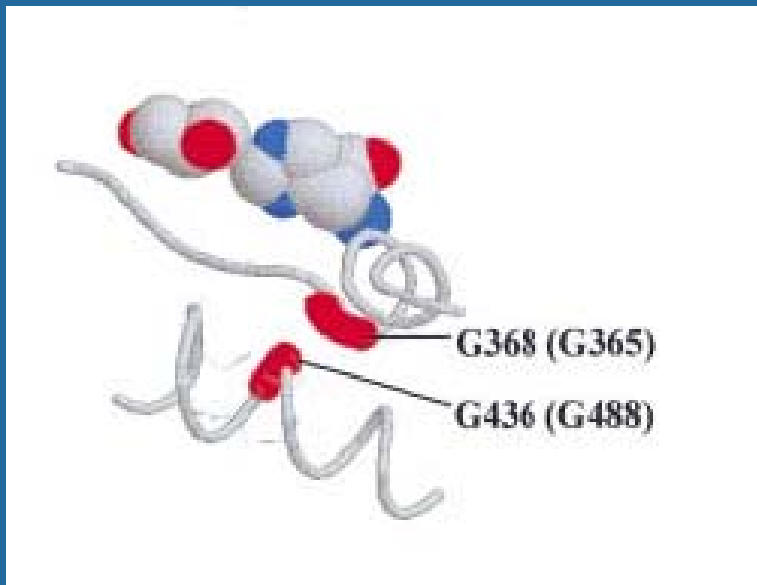
- **Εντομοκτόνα**
 - OPs
 - Πυρεθρίνες
 - Spinosad
- **Παγίδες**
 - Yellow sticky panel trap
 - McPhail type
- **Sterile Insect Technique**

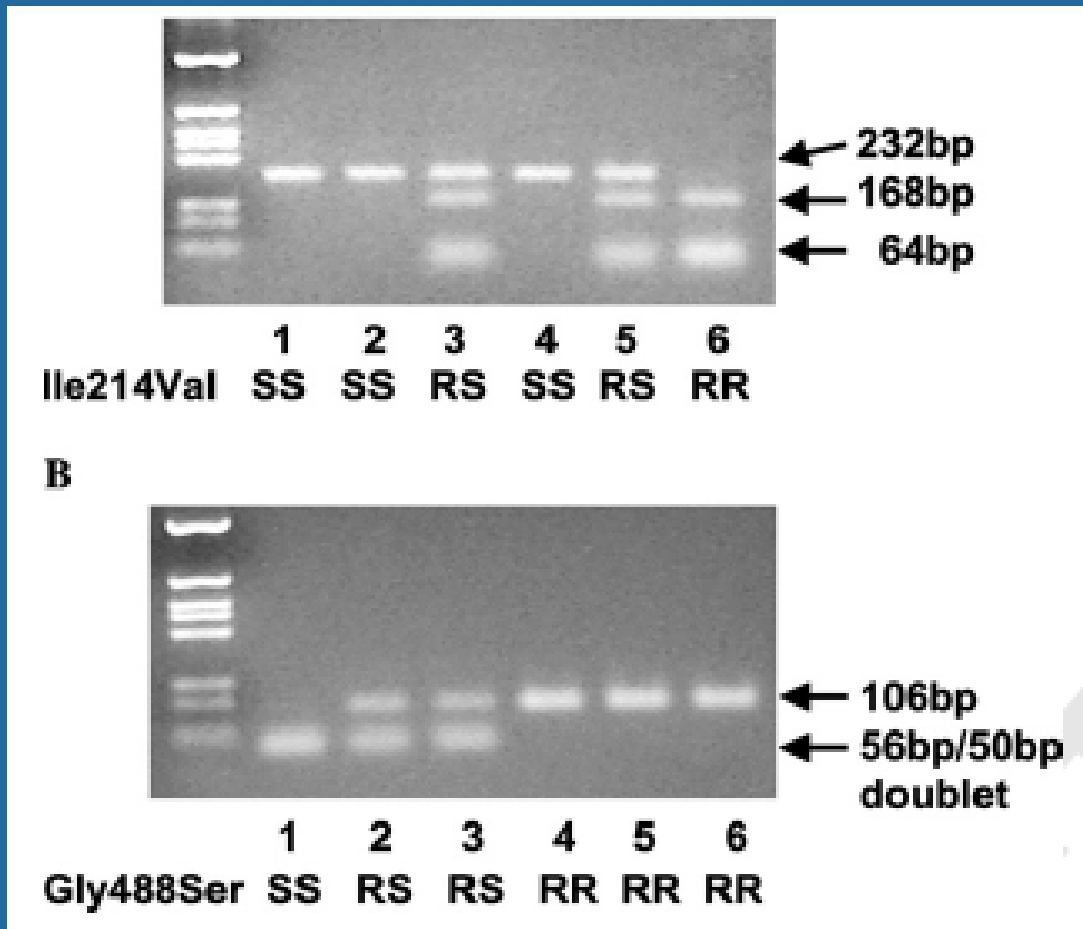




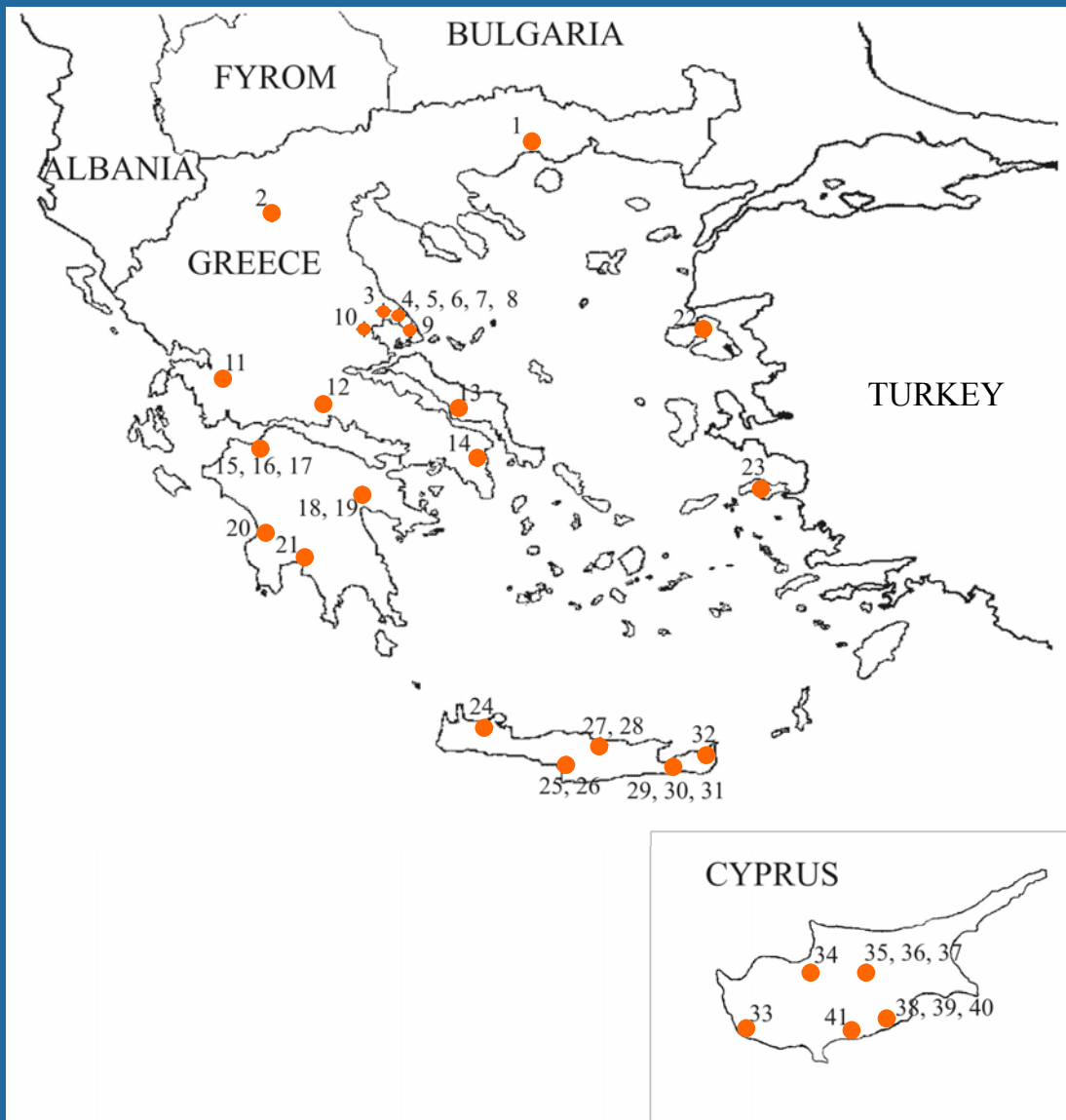
B

Location Bo (Tc)	LS (Δ)						LR (◆)						Attiki (□)					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
214 (129)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Ile (ATA)	Val (GTA)	Val (GTA)	Val (GTA)	Val (GTA)	Val (GTA)	Val (GTA)
488 (396)	Gly (GGC)	Gly (GGC)	Gly (GGC)	Gly (GGC)	Gly (GGC)	Gly (GGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)	Ser (AGC)

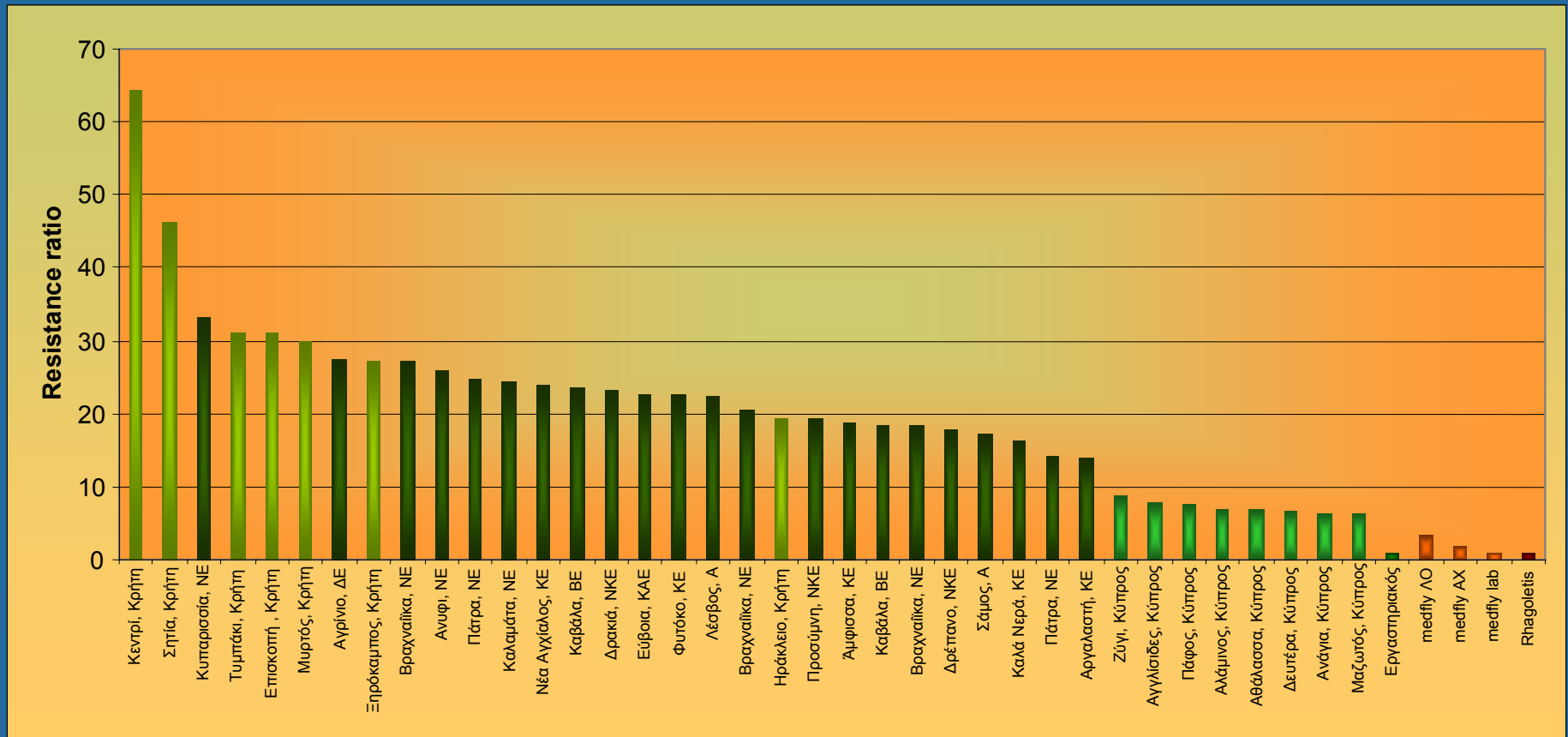




Συλλογές βιοδοκιμών από Ελλάδα και Κύπρο



Εκτίμηση της ανθεκτικότητας φυσικών πληθυσμών δάκου στο dimethoate με βιοδοκιμές



Συχνότητα μεταλλάξεων ανθεκτικότητας

R allele	I214V	G488S	Δ642-644
4-9	0.895	0.908	0.006
19-37	0.928	0.914	0.036
75-150	0.853	0.853	0.085

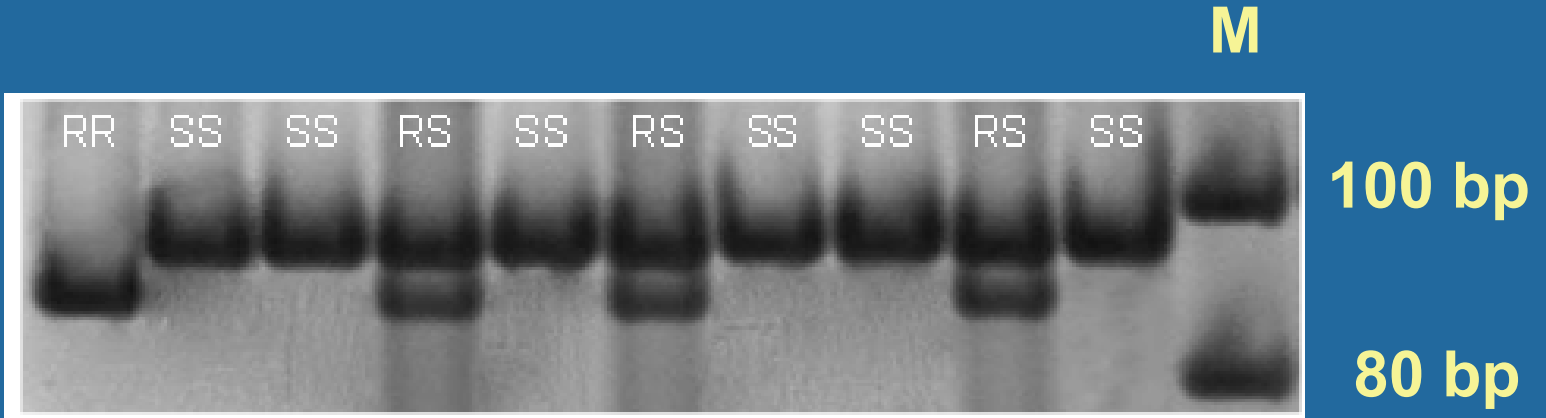
Συμπεράσματα I

1. Επίπεδα ανθεκτικότητας στα OP: 8x έως 63x
2. Τα επίπεδα ανθεκτικότητας στα OP είναι συνάρτηση της χρήσης τους
3. Οι γνωστές μεταλλάξεις στο γονίδιο της *ace* είναι πολύ διαδεδομένες τόσο σε Ελλάδα όσο και Κύπρο
4. Η παρουσία των γνωστών μεταλλάξεων του ενεργού κέντρου της AChE ΔΕΝ είναι συνάρτηση των επιπέδων ανθεκτικότητας στα OP



Τι συνεισφέρει στα υψηλότερα επίπεδα ανθεκτικότητας?

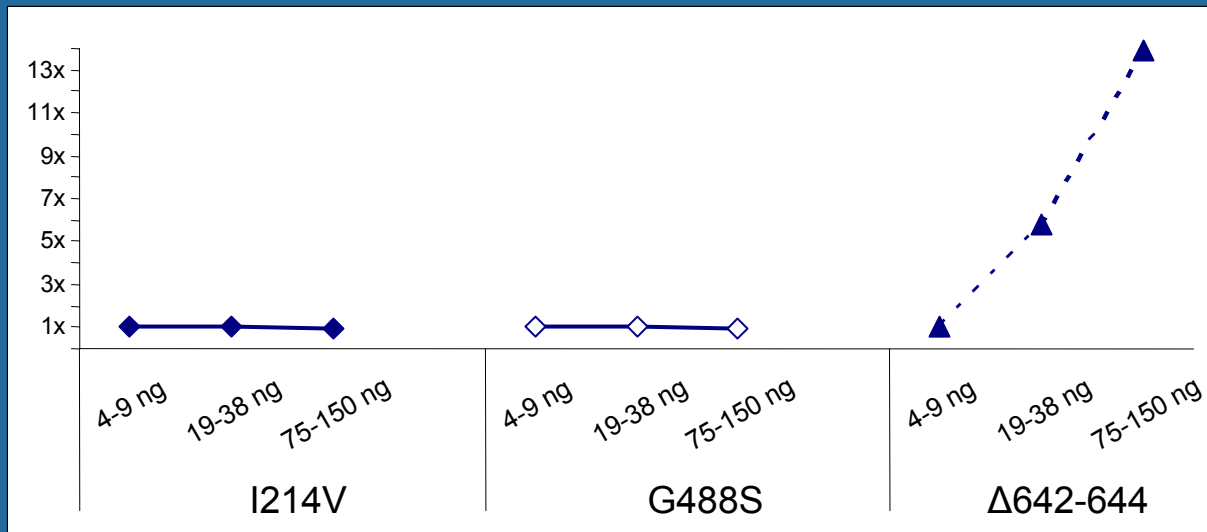
- Άλλες μεταλλάξεις?
- Άλλοι μηχανισμοί?



Συχνότητα μεταλλάξεων ανθεκτικότητας

R allele	I214V	G488S	Δ642-644
4-9	0.895	0.908	0.006
19-37	0.928	0.914	0.036
75-150	0.853	0.853	0.085

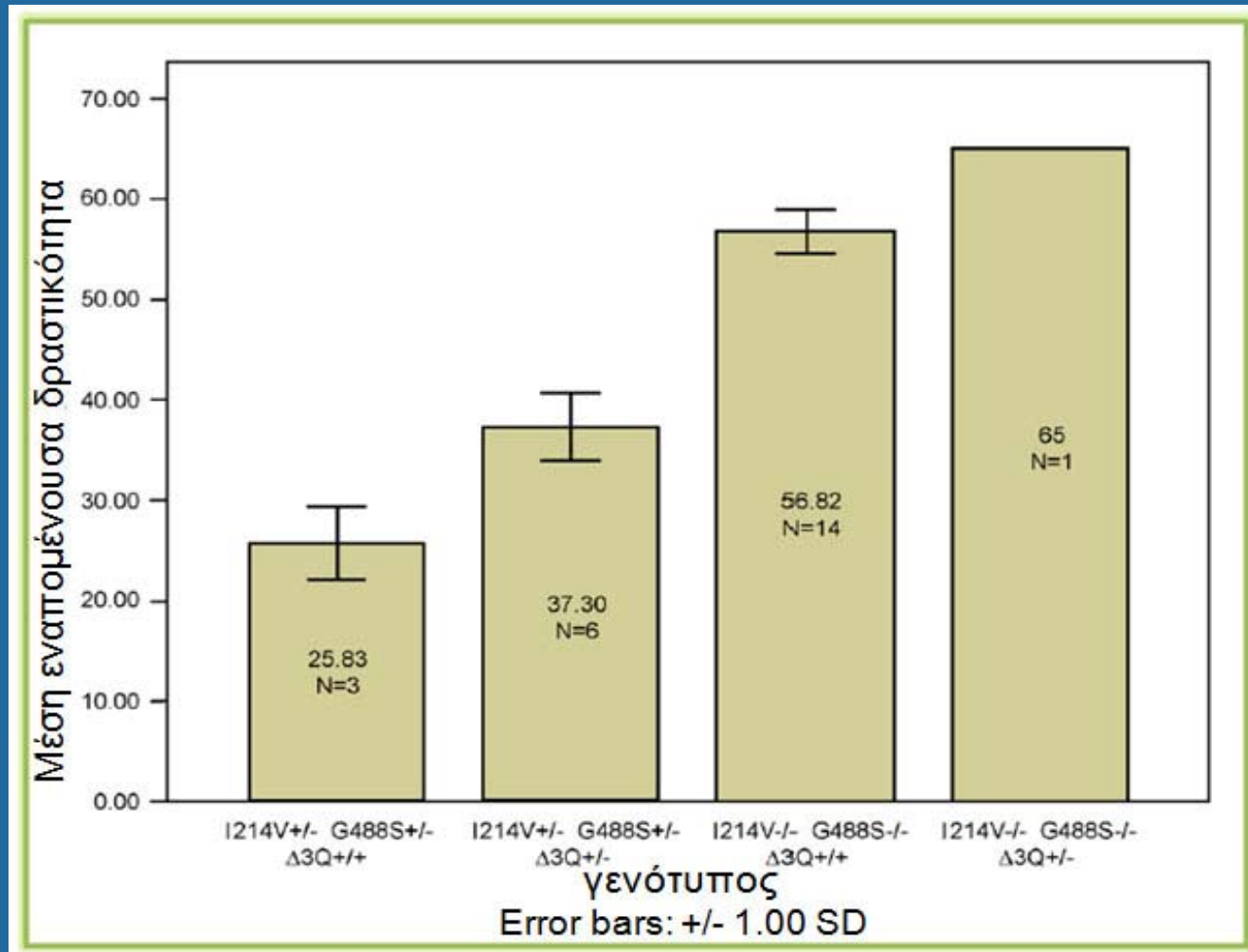
ng per insect



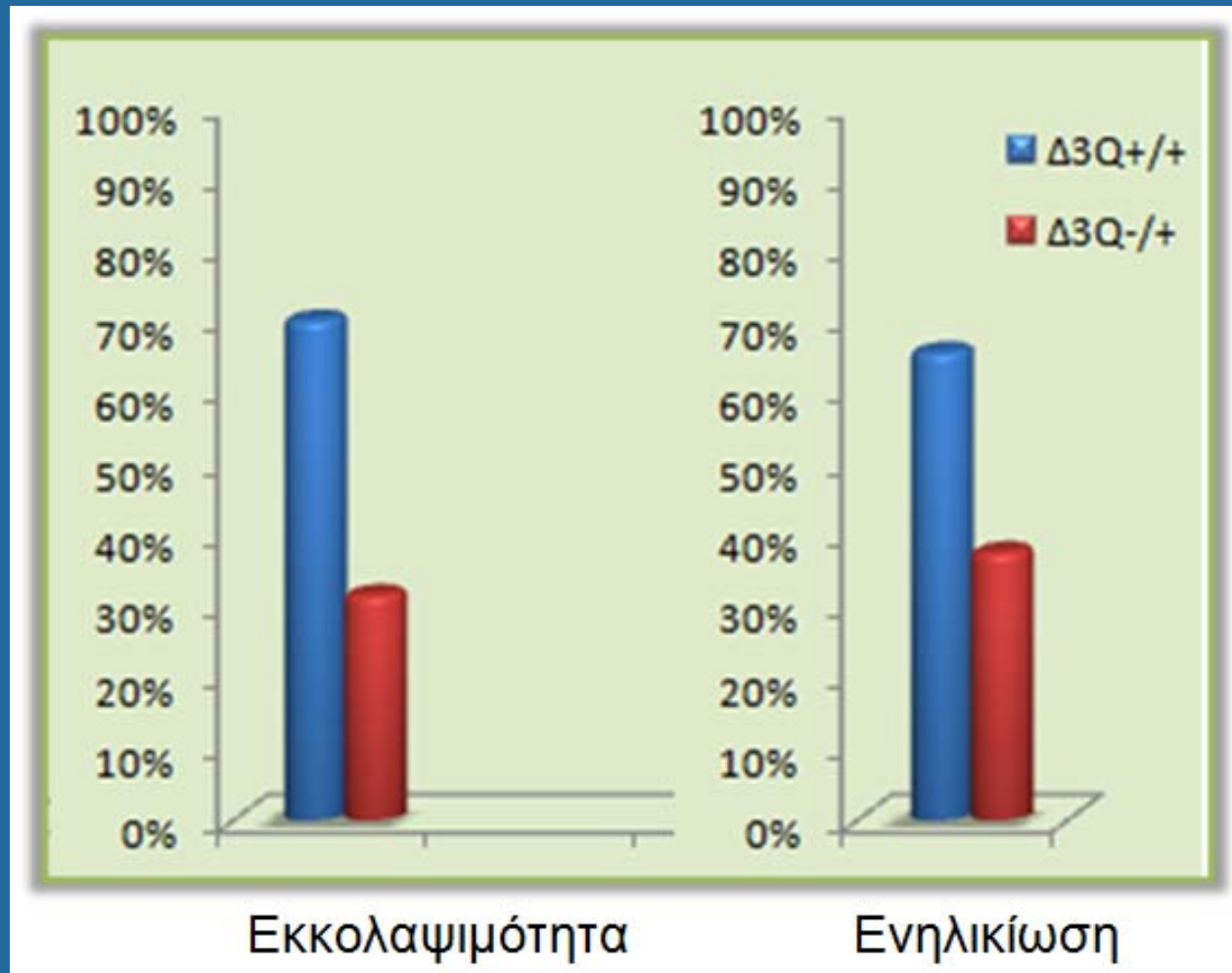
Συμπεράσματα-2

1. Επίπεδα ανθεκτικότητας στα OP: 8x έως 63x
2. Τα επίπεδα ανθεκτικότητας στα OP είναι συνάρτηση της χρήσης τους
3. Οι γνωστές μεταλλάξεις στο γονίδιο της *ace* είναι πολύ διαδεδομένες τόσο σε Ελλάδα όσο και Κύπρο
4. Η παρουσία των γνωστών μεταλλάξεων του ενεργού κέντρου της AChE ΔΕΝ είναι συνάρτηση των επιπέδων ανθεκτικότητας στα OP
5. Μια νέα μετάλλαξη στο καρβοξυτελικό άκρο της AChE συνεισφέρει στα υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας στα OP

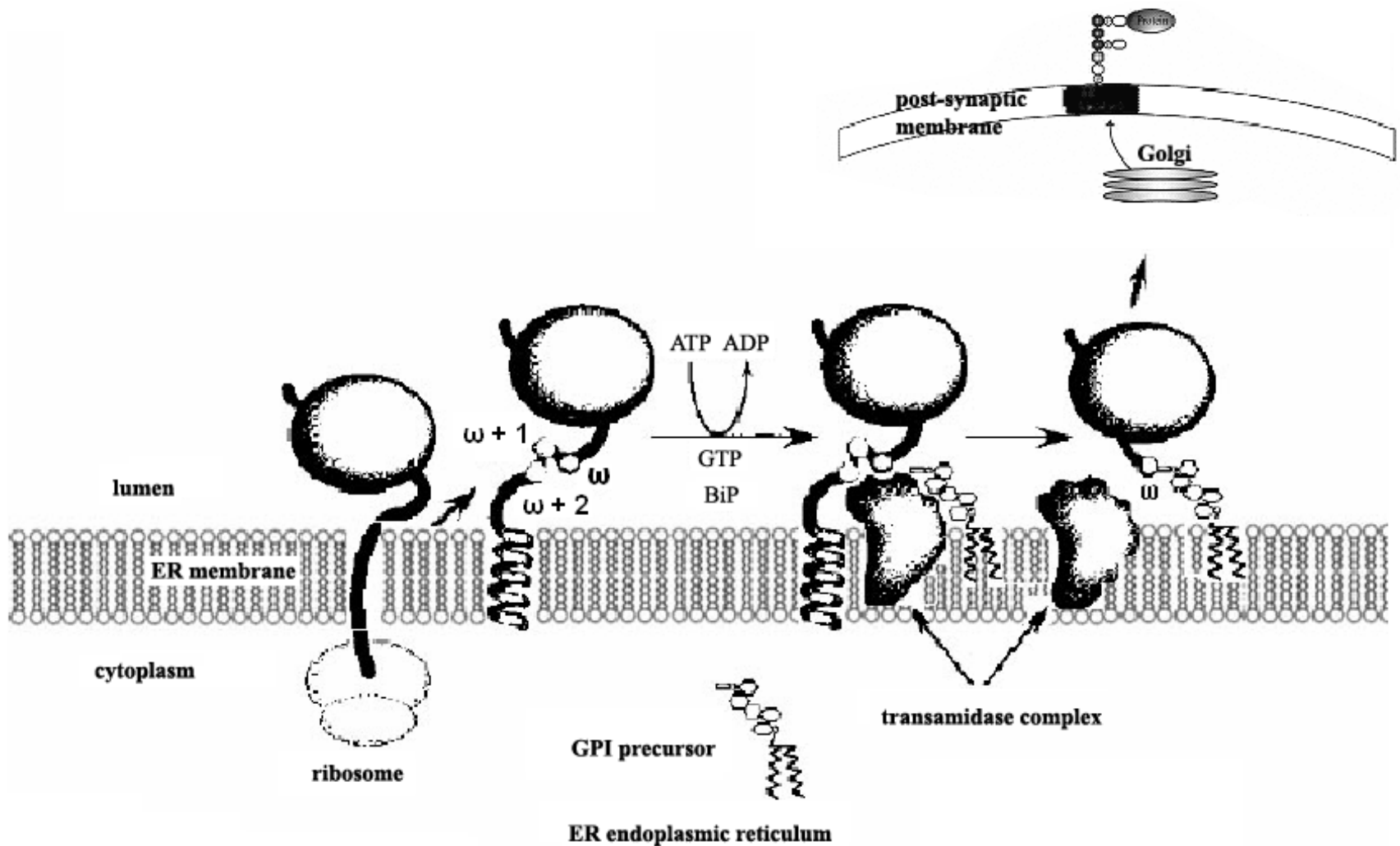
Βιοχημική ανάλυση



Γενετικό κόστος



Μηχανισμός αγκυροβόλησης της AChE μέσω GPI



ACh



AChE



AChE wt



AChE 3Q

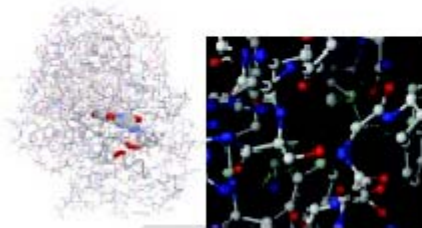


AChE 5Q



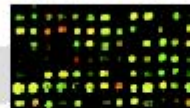
- ACh
- U ACh Receptor
- ⚡ Signal transmission
- ★ ACh Esterase
- ▶ Organophosphate pesticide (OP)

Structural analysis



Evaluate polymorphism in insecticide resistance genes

Transcriptional profiling



Resistant vs susceptible strains
Mosquitoes exposed to insecticides

Genomic technologies



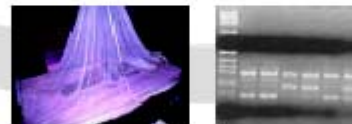
Sequence analysis,
Comparative genomics
Analysis of resistance QTL



Malaria control

Novel molecular targets
Functional studies
Target verification

Novel products



'Add-ons' and novel insecticides
Diagnostics-Prognostics
Insect transgenesis

Reduce contact between mosquitoes and humans