

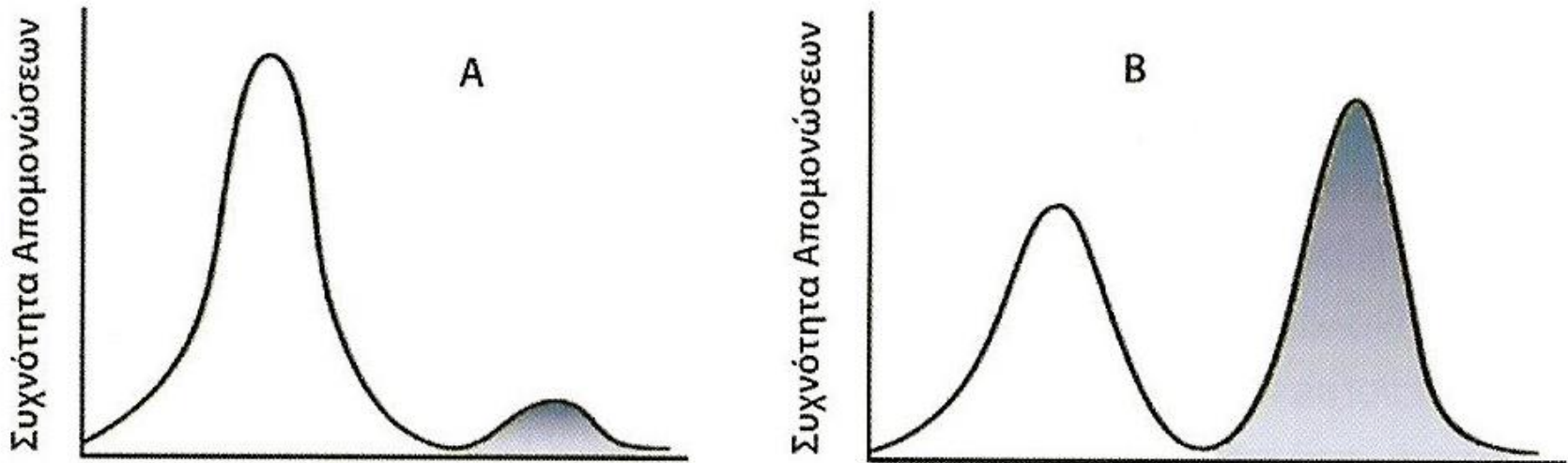


Ανθεκτικότητα μυκήτων στα μυκητοκτόνα

Λευτέρης Αλυσσανδράκης
Επίκουρος Καθηγητής,
Τμήμα Γεωπονίας, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο



Ανθεκτικότητα είναι η ανάπτυξη της ικανότητας από ένα πληθυσμό ενός παράσιτου, να ανέχεται την έκθεση σε δόση εντομοκτόνου που κανονικά θα ήταν θανατηφόρα για τα περισσότερα άτομα του πληθυσμού του ίδιου είδους



Ανθεκτικότητα στο μυκητοκτόνο ($\lg ED_{50}$)



- Το 1/3 της παγκόσμιας παραγωγής χάνεται πριν τη συγκομιδή λόγω προσβολών από φυτοπαράσιτα
- Το 2005 εκτιμήθηκε ότι η ζημιά λόγω της ανθεκτικότητας ανήλθε σε 1,5 δις \$!
- Βασιλιάς της ανθεκτικότητας στους μύκητες είναι ο Βοτρύτης:
 - Έχει ανθεκτικότητα σε 15 διαφορετικές ομάδες μυκητοκτόνων
 - Βρέθηκε ανθεκτικότητα σε 7 διαφορετικής δράσης ομάδες μυκητοκτόνων σε ένα στέλεχος!

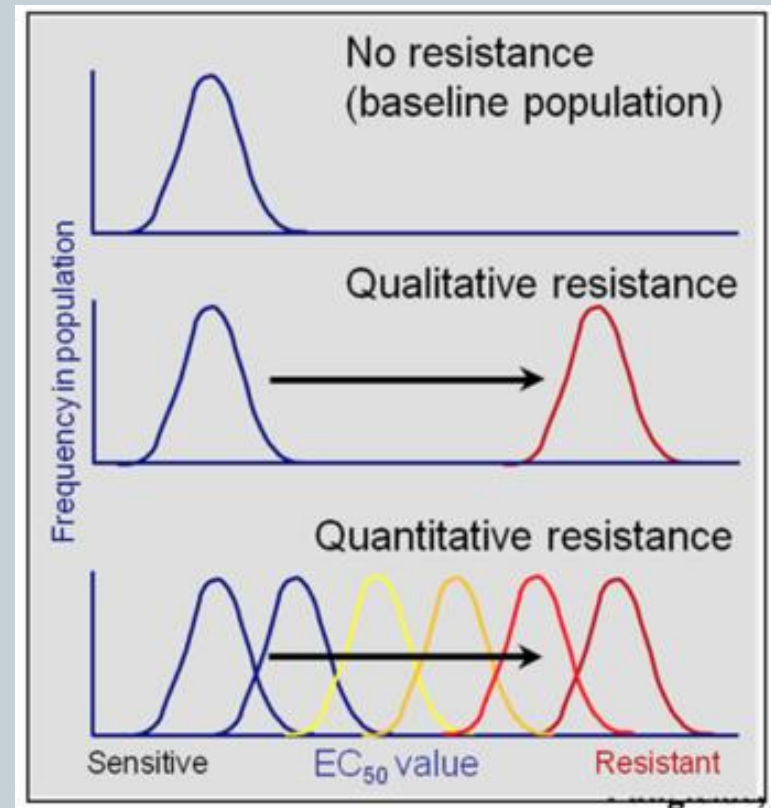
Τύποι ανθεκτικότητας

Ποιοτική ανθεκτικότητα

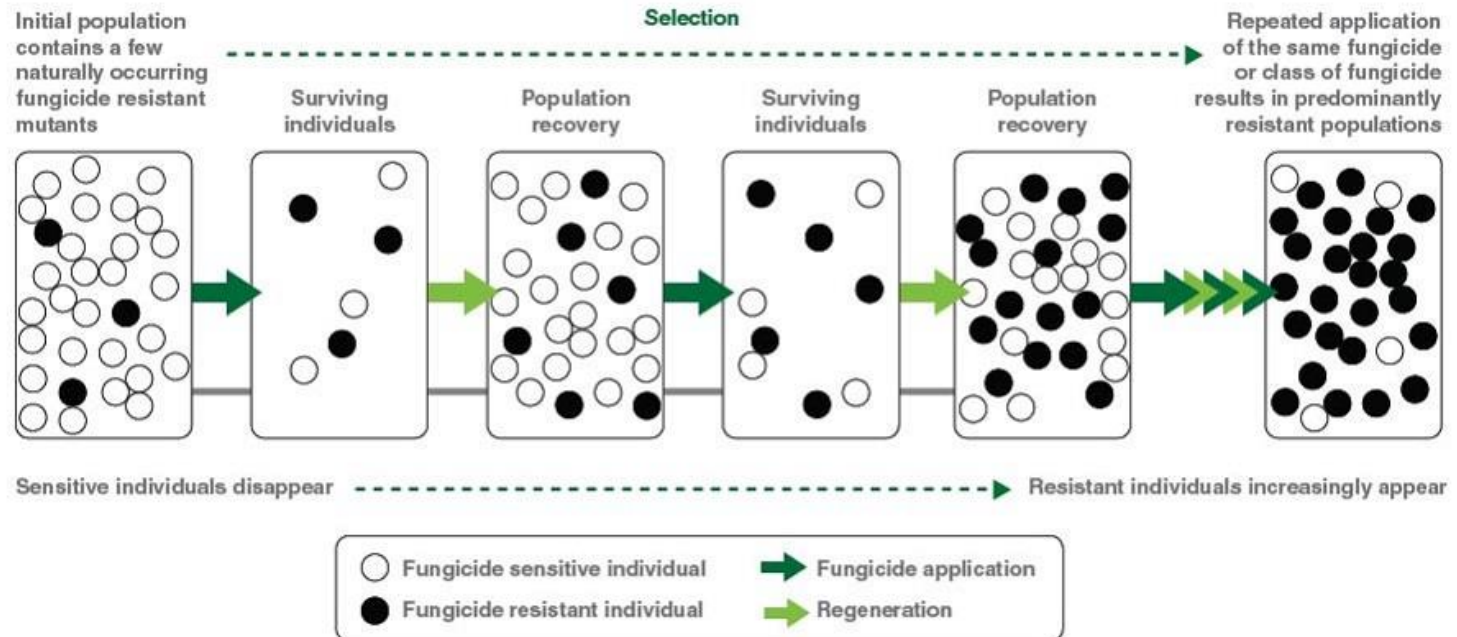
- Όταν ο πληθυσμός του παθογόνου περιέχει είτε ευαίσθητα, είτε ανθεκτικά άτομα. Αυτό συμβαίνει όταν έχουμε ανθεκτικότητα στόχου. Η ανθεκτικότητα περνάει στους απογόνους και ο πληθυσμός γίνεται ανθεκτικός.

Ποσοτική ανθεκτικότητα

- Όταν ο πληθυσμός του παθογόνου έχει ένα εύρος ανθεκτικότητας. Η χρήση του μυκητοκτόνου σταδιακά οδηγεί όλο τον πληθυσμό σε κατάσταση ανθεκτικότητας και το φάρμακο καθίσταται αναποτελεσματικό

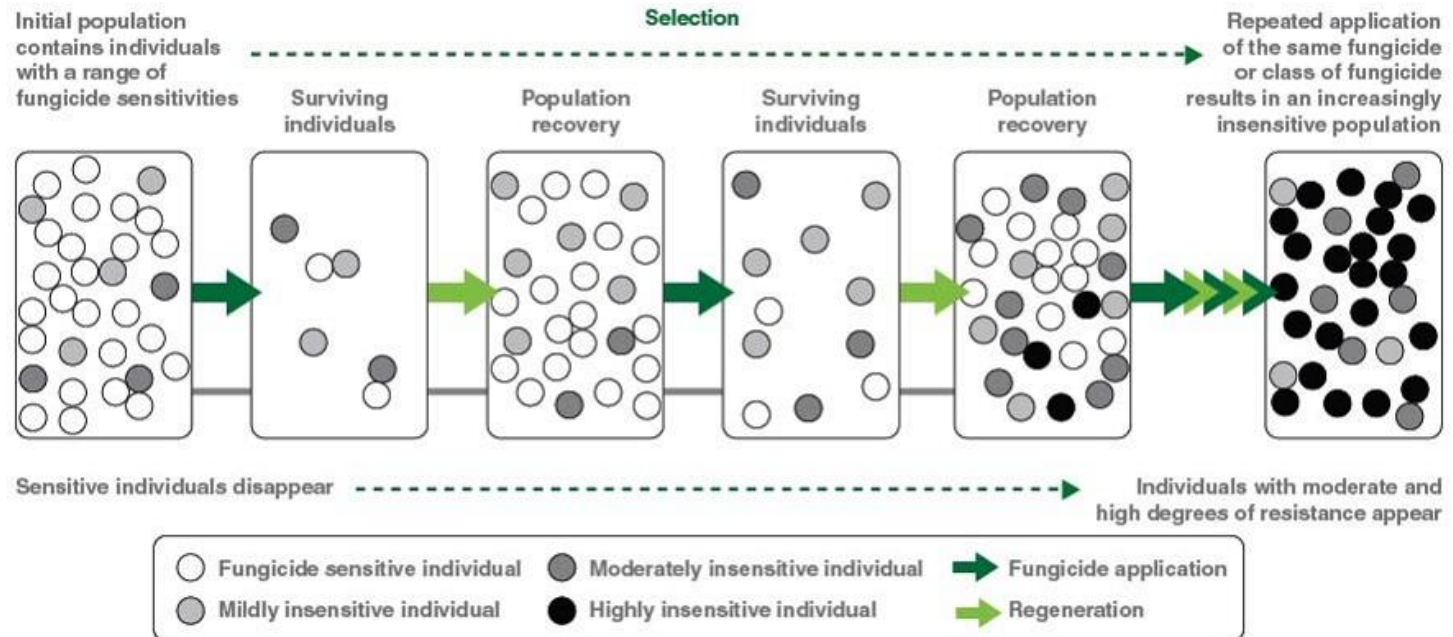


QUALITATIVE RESISTANCE BUILD-UP



Qualitative resistance: Pathogen population changing from a sensitive pathogen strain to an insensitive pathogen strain. (Modified from Hewitt, 1998)

QUANTITATIVE RESISTANCE BUILD-UP



Quantitative resistance: Pathogen population with a range of sensitivity shifting to insensitive over time. (Modified from Hewitt, 1998)

Διασταυρωτή ανθεκτικότητα

Θετική διασταυρωτή ανθεκτικότητα

- = ανθεκτικότητα σε μία δ.ο. σημαίνει αυτόματα ανθεκτικότητα και σε άλλη (-ες)
- Συμβαίνει συνήθως στις δ.ο. που ανήκουν στην ίδια χημική ομάδα

Αρνητική διασταυρωτή ανθεκτικότητα

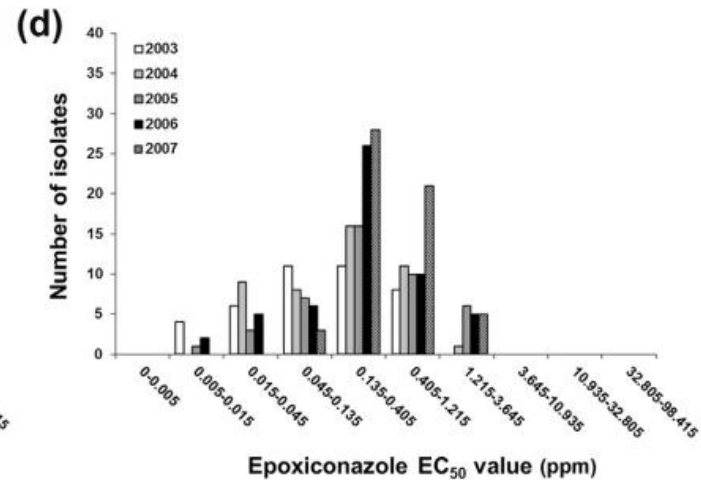
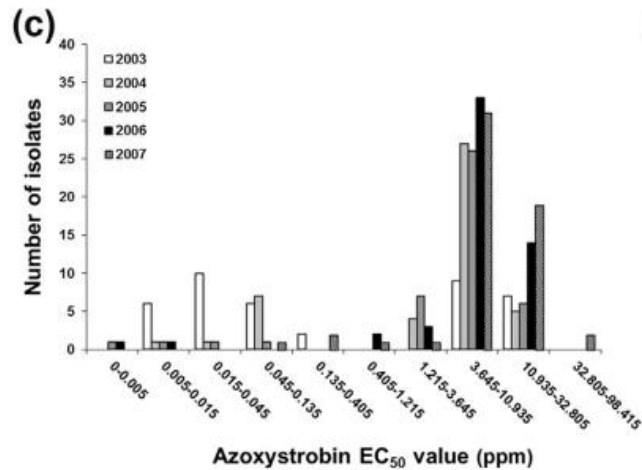
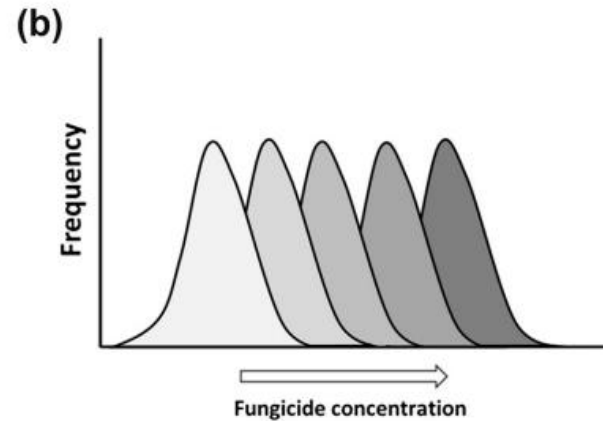
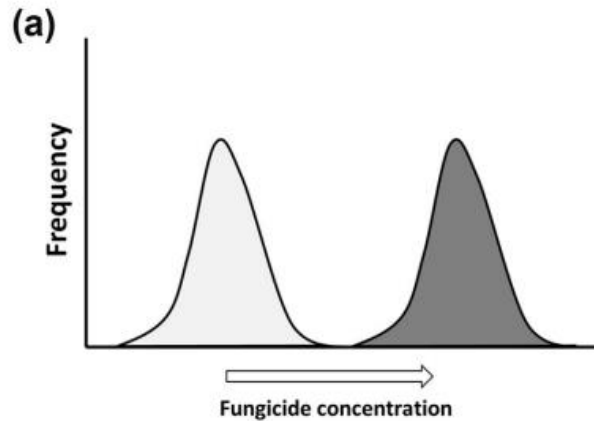
- = ανθεκτικότητα σε μία δ.ο. σημαίνει ευαισθησία σε άλλη ομάδα δ.ο.
- Βοτρύτης ανθεκτικός στα βενζιμιδαζολικά γίνεται ευαίσθητος στα N-φανυλο-καρβαμικά

Παράγοντες ανθεκτικότητας



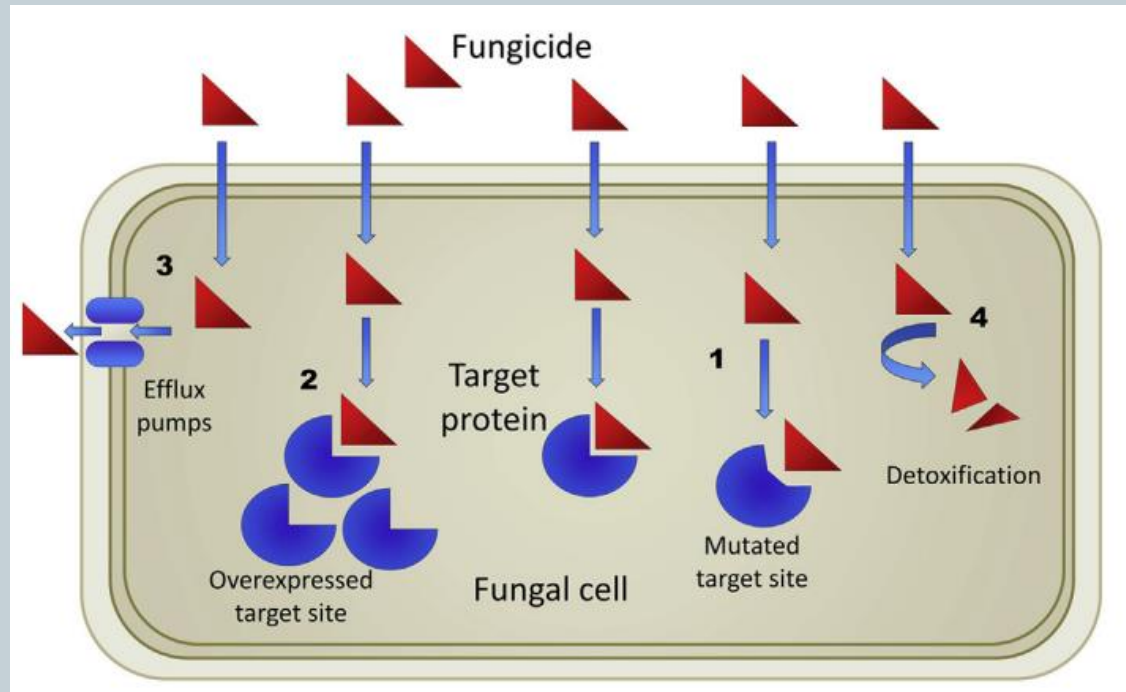
- Βιολογικοί
- Γενετικοί
- Φύση δραστικής ουσίας
- Πίεση επιλογής
- Κλιματικές συνθήκες

Εξέλιξη ανθεκτικότητας



Μηχανισμοί ανθεκτικότητας

1. Αλλαγή στη θέση δράσης (ανθεκτικότητα στόχου)
2. Υπερέκφραση των πρωτεϊνών στόχων
3. Αντλίες εκκροής (efflux)
4. Ένζυμα αποτοξικοποίησης



Διαχείριση ανθεκτικότητας



Εναλλαγή δ.ο. με διαφορετικό τρόπο δράσης

Έλεγχος πληθυσμού φυτοπαράσιτου πριν την κυκλοφορία – παρακολούθηση μετά

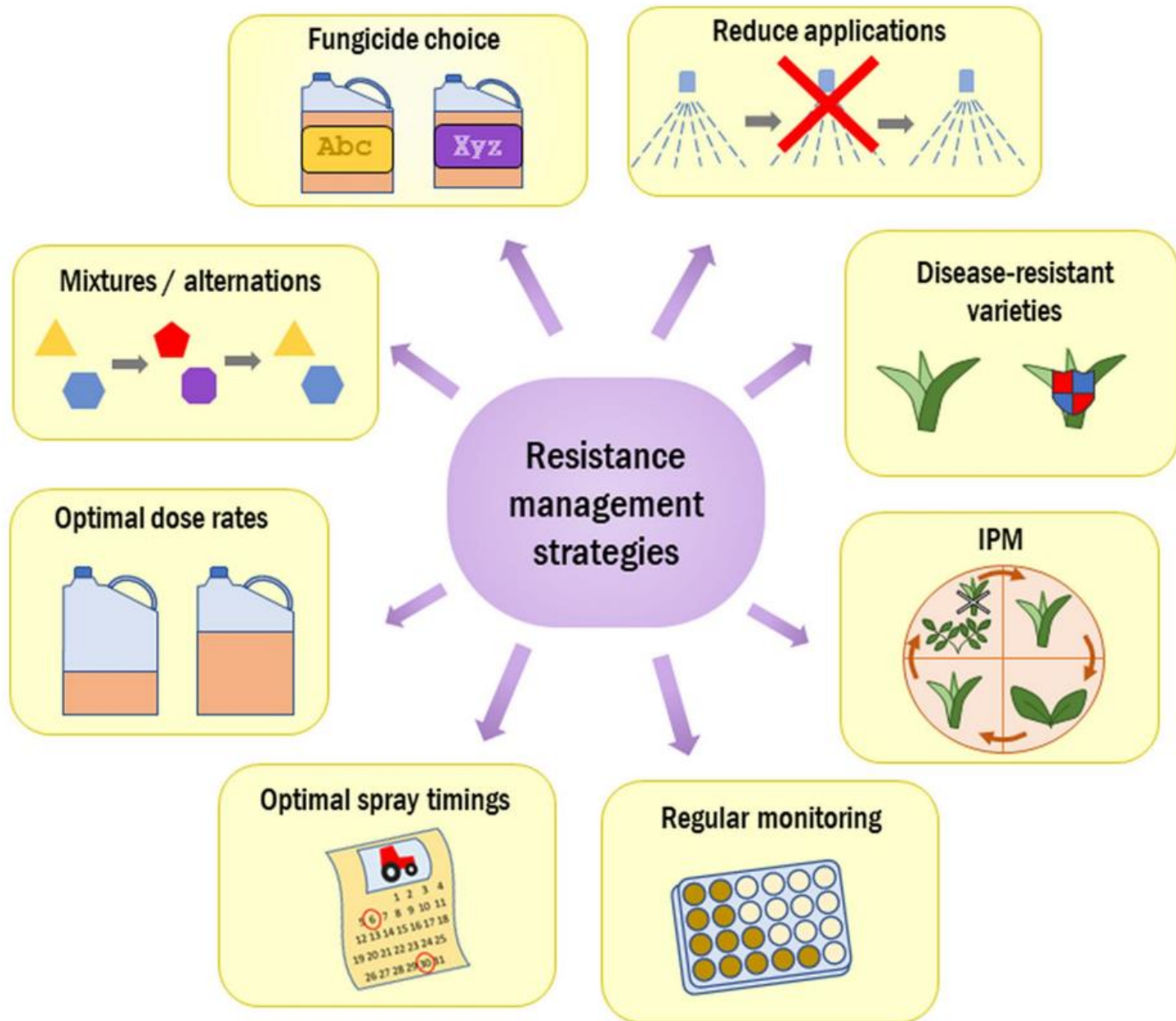
Συνιστώμενες δόσεις

Όχι γενικευμένη χρήση

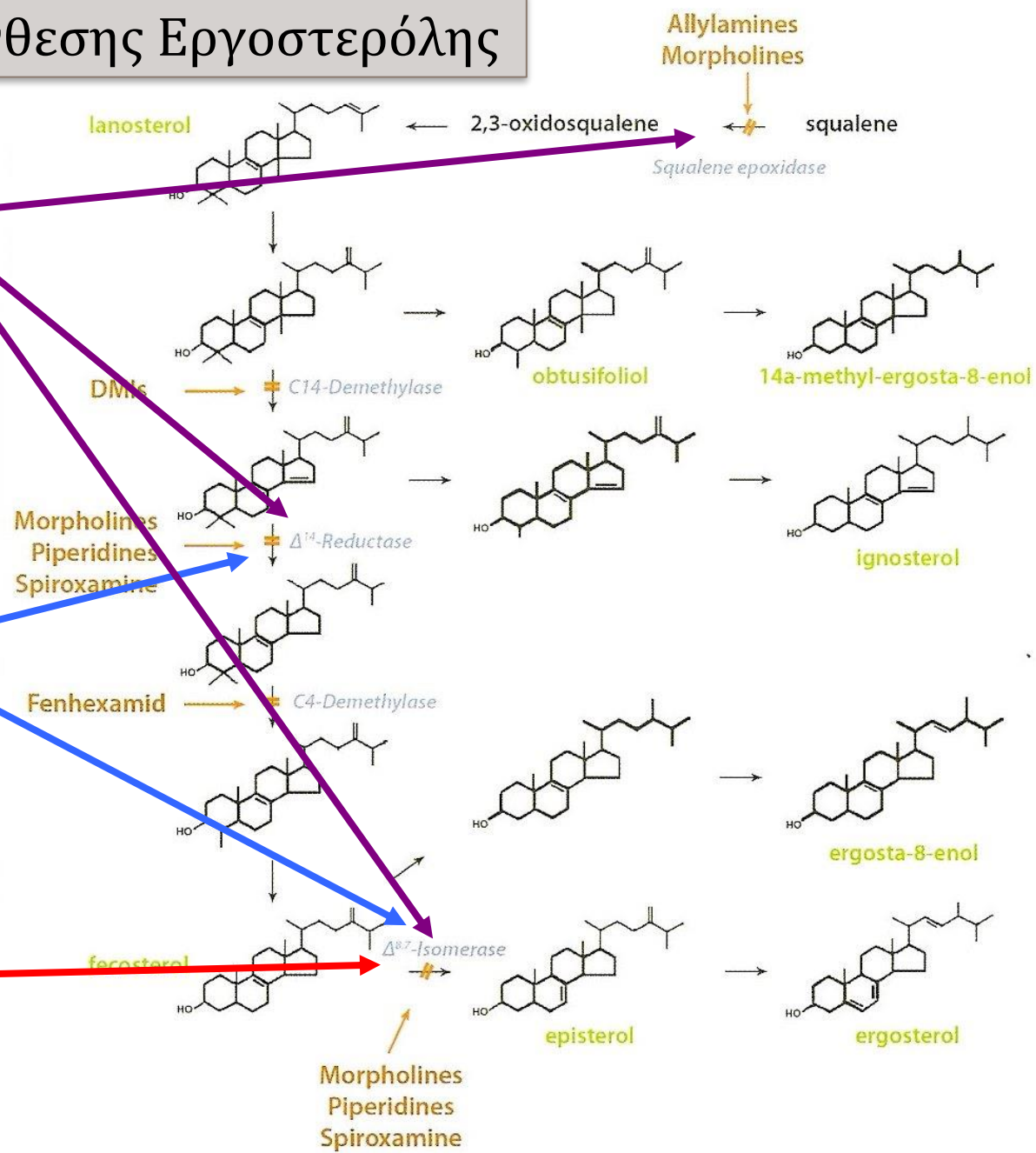
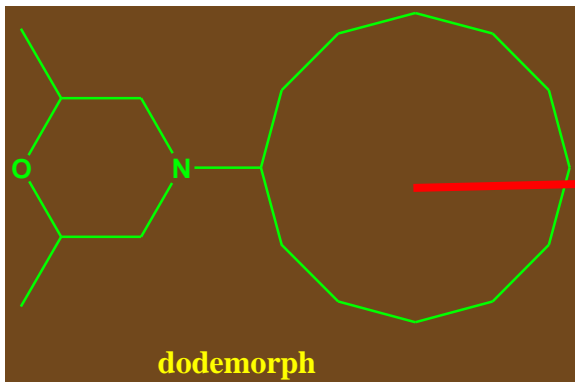
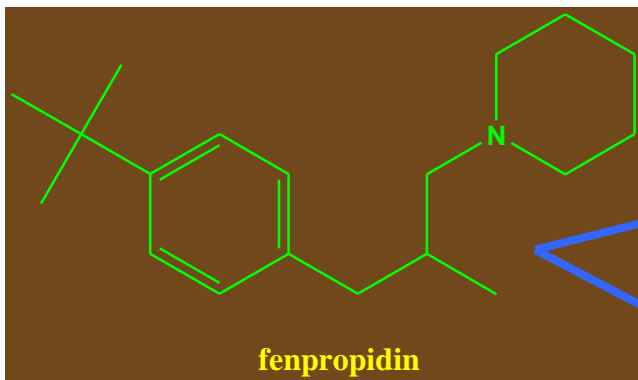
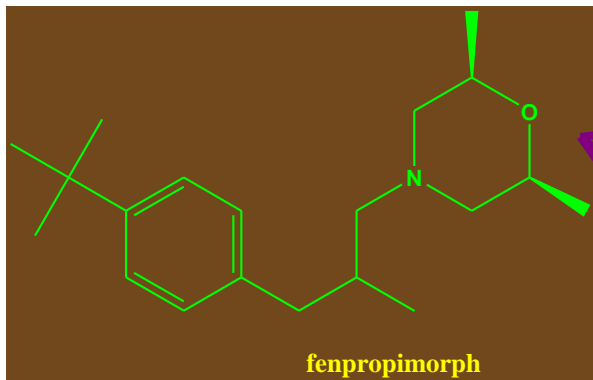
Μικρής υπολειμματικότητας δ.ο.

Αποφυγή δ.ο. υψηλού κινδύνου – χρήση μιγμάτων – δ.ο. με περισσότερες θέσεις δράσης

Ολοκληρωμένη διαχείριση φυτοπαράσιτων



Παρεμποδιστές Βιοσύνθεσης Εργοστερόλης



Χρήση μιγμάτων μυκητοκτόνων



- Χρήση μιγμάτων για:
 - Βελτίωση αποτελεσματικότητας
 - Έλεγχος της ασθένειας σε ήδη υπάρχουσα ανθεκτικότητα
 - Διαχείριση της ανθεκτικότητας
- Συνήθη μίγματα: εκλεκτική και προστατευτική δ.ο.
- Πλέον: δύο εκλεκτικές, ανάγκη διαχείρισης κινδύνου ανάπτυξης ανθεκτικότητας

Κίνδυνος ανάπτυξης ανθεκτικότητας



- Τρόπος δράσης μυκητοκτόνου
- Προσαρμοστικότητα των ανθεκτικών στελεχών
- Πίεση επιλογής
- Περιβαλλοντικές συνθήκες

Κίνδυνος ανάπτυξης ανθεκτικότητας



- Τρεις κατηγορίες
 - Χαμηλού κινδύνου
 - Μέσου κινδύνου
 - Υψηλού κινδύνου

- Συνδυασμός κινδύνων
 - Μυκητοκτόνου
 - Παθογόνου
 - Αγρονομικού κινδύνου
 - ✦ Περιοχή και τρόπος εφαρμογής, ποικιλία, σοβαρότητα προσβολής
 - ✦ Αστάθμητος παράγοντας

Κατηγορίες κινδύνου ανάπτυξης ανθεκτικότητας με βάση τον μηχανισμό δράσης



- **Τρεις κατηγορίες κινδύνου**
 - Υψηλού: ευρέως διαδεδομένη και σημαντική μείωση της αποτελεσματικότητας μετά από μερικά χρόνια χρήσης
 - Μέσου: μείωση της αποτελεσματικότητας σε μερικές περιπτώσεις και σε περιορισμένη έκταση
 - Χαμηλού: μείωση της αποτελεσματικότητας ή εμφάνιση ανθεκτικών στελεχών σπάνια ή απύσα μετά από πολλά χρόνια χρήσης



- Υψηλού κινδύνου: βενζιμιδαζολικά, φαινυλαμίδια, φαινυλοκαρβαμικά, ανάλογα της στρομπιλουρίνης
- Μέσου προς υψηλού: δικαρβοξιμιδικά, παρεμποδιστές της ηλεκτρικής αφυδρογονάσης
- Μέσου κινδύνου: DMIs, 2-αμινο-πυριμιδίνες, ανιλινοπυριμιδίνες, cymoxanil, fenhexamid, quinoxifen
- Χαμηλού προς μέσου: φαινυλοπυρρολικά, αρωματικοί υδρογονάνθρακες, καρβαμικά
- Χαμηλού κινδύνου: Chlorothalonil, χαλκούχα, διθεικαρβαμικά, fosetyl-Al, φθαλιμίδια, θειούχα

Επικινδυνότητα παθογόνου να αναπτύξει ανθεκτικότητα



- Βασίζεται σε αναφορές και εμπειρία
- Ο κίνδυνος αυξάνεται με
 - Μικρό βιολογικό κύκλο
 - Υψηλή διασπορά σπορίων στο χώρο και χρόνο
 - Μειωμένο κόστος προσαρμοστικότητας
- Κίνδυνος υψηλός όταν η ανθεκτικότητα εμφανιστεί μετά από μερικά χρόνια χρήσης
- <https://www.frac.info/docs/default-source/publications/pathogen-risk/frac-pathogen-list-2019.pdf>

Παραδείγματα



- Ωίδιο σιτηρών: υψηλού κινδύνου, ανθεκτικότητα σ 2-5 χρόνια σε πολλές ομάδες μυκητοκτόνων
- Σκωρίαση σιτηρών: χαμηλού κινδύνου, καθόλου η μικρή ανθεκτικότητα έπειτα από 25 χρόνια χρήσης DMIs



Παθογόνα υψηλού κινδύνου



- *Alternaria alternata*
- *Botrytis cinerea*
- *Blumeria graminis*
- *Corynespora cassiicola*
- *Dydimella bryoniae*
- *Mycosphaerella fijiensis*
- *Plasmopara viticola*
- *Pseudoperonospora cubensis*
- *Pyricularia oryzae*
- *Ramularia collo-cygni*
- *Sphaerotheca fuliginea*
- *Podosphaera xanthii*
- *Venturia inaequalis*

Παθογόνα μέσου κινδύνου



- *Alternaria solani*
- *Ascochyta pisi*
- *Bipolaris maydis*
- *Bremia lactucae*
- *Cercospora beticola*
- *Colletotrichum gloeosporoides*
- *Leveillula taurica*
- *Microdochium nivale*
- *Monilinia* spp.
- *Mycosphaerella graminicola*
- *Mycovellosiella natrassii*
- *Oculimacula* spp.
- *Penicillium digitatum*
- *Penicillium expansum*

- *Peronospora* spp.
- *Pestalotiopsis longiseta*
- *Phyllosticta citricarpa*
- *Phytophthora infestans*
- *Pseudoperonospora humuli*
- *Pyrenophora teres*
- *Sclerotinia homoeocarpa*
- *Setosphaeria turcica*
- *Sphaerotheca macularis*
- *Stemphylium vesicarium*
- *Venturia carpophila*
- *Venturia cerasi*
- *Venturia nashicola*
- *Venturia pirina*

Παθογόνα χαμηλού κινδύνου



- *Cochliobolus miyabeanus*
- *Fusarium* spp.
- *Guignardia bidwellii*
- *Helminthosporium solani*
- *Hemileia vastatrix*
- *Leptosphaera*
(=*Stagonospora*) *nodorum*
- *Neofabraea* spp.
- *Phakopsora pachyrhizi*
- *Phomopsis viticola*
- *Phytophthora cactorum*
- *Podospaera leucotricha*
- *Puccinia* spp.
- *Pythium* spp.
- *Rhizoctonia* spp.
- *Rhynchosporium secalis*
- *Sclerotinia sclerotiorum*
- *Sclerotium* spp.
- *Taphrina deformans*
- *Tilletia* spp.
- *Ustilago* spp.



Διάγραμμα συνδυαστικού κινδύνου 1: Κατηγορία μυκητοκτόνου και είδος παθόγону

↓ Fungicide Classes *	↓ Fungicide Risk	Combined Risk		
benzimidazoles dicarboximides phenylamides QoI fungicides SDHI fungicides**	high = 3	3	6	9
SBI fungicides anilinopyrimidines phenylpyrroles phosphorothiolates	medium = 2	2	4	6
multi site fungicides (e.g. dithiocarbamates Copper, Sulphur) MBI-R inhibitors SAR inducers	low = 1	1	2	3
Pathogen risk →		low = 1	medium = 2	high = 3
Pathogen groups * →		seed borne pathogens (e.g. <i>Pyrenophora</i> spp. <i>Ustilago</i> spp.) soil-borne pathogens (e.g. <i>Phytophthora</i> spp.) rust fungi <i>Rhizoctonia</i> spp.	<i>Rhynchosporium</i> <i>commune</i> <i>Zymoseptoria tritici</i> <i>Oculimacula</i> spp.	<i>Blumeria graminis</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Penicillium</i> spp. <i>Pyricularia oryzae</i> <i>Venturia</i> <i>inaequalis</i> <i>Pseudocercospora</i> <i>fijiensis</i>

Αγρονομικοί παράγοντες κινδύνου ανάπτυξης ανθεκτικότητας



- Αστάθμητοι παράγοντες: εδαφοκλιματικές συνθήκες περιοχής
- Καλλιεργητικές πρακτικές: λίπανση, άρδευση, ανθεκτικότητα ποικιλιών
- Τρόπος εφαρμογής: δόσεις, μεσοδιαστήματα
- Σοβαρότητα προσβολής στην περιοχή

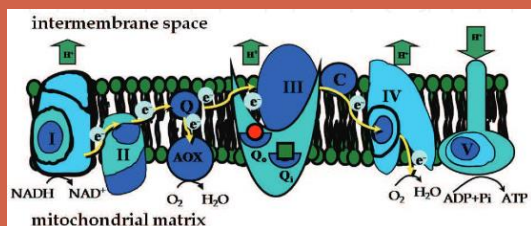


Διάγραμμα συνδυαστικού κινδύνου 2: Κατηγορία μυκητοκτόνου, είδος παθογόνου και αγρονομικός κίνδυνος

↓ Fungicide Classes *	↓ Fungicide Risk	Combined Risk			↓ Agronomic Risk
benzimidazoles dicarboximides phenylamides QoI fungicides SDHI fungicides**	high = 6	6 3 1.5	12 6 3	18 9 4.5	high = 1 medium = 0.5 low = 0.25
SBI fungicides anilinopyrimidines phenylpyrroles	medium = 4	4 2 1	8 4 2	12 6 3	high = 1 medium = 0.5 low = 0.25
multi site fungicides (e.g. dithiocarbamates) MBI-R inhibitors SAR inducers	low = 1	1 0.5 0.25	2 1 0.5	3 1.5 0.75	high = 1 medium = 0.5 low = 0.25
Pathogen risk →		low = 1	medium = 2	high = 3	
Pathogen groups * →		seed borne pathogens (e.g. <i>Pyrenophora</i> sp. <i>Ustilago</i> sp.) soil-borne pathogens (e.g. <i>Phytophthora</i> sp.) rust fungi <i>Rhizoctonia</i> sp. <i>Fusarium</i> sp. <i>S. sclerotiorum</i>	<i>E. necator</i> <i>G. fujikuroi</i> <i>Oculimacula</i> sp. <i>R. commune</i> <i>P. teres</i> <i>Z. tritici</i> <i>S. homoeocarpa</i> <i>Monilinia</i> sp. <i>Cercospora</i> sp. <i>P. infestans</i>	<i>B. graminis</i> <i>B. cinerea</i> <i>P. viticola</i> <i>P. oryzae</i> <i>V. inaequalis</i> <i>P. fijiensis</i>	

FRAC Guidelines

Οδηγίες διαχείρισης
κινδύνου ανάπτυξης
ανθεκτικότητας στα
ανάλογα της
στρομπιλουρίνης ή
αλλιώς QoI
παρεμποδιστές



The QoI Fungicides, the Rise and Fall of a Successful Class of Agricultural Fungicides

Dolores Fernández-Ortuño, Juan A. Torés,
Antonio de Vicente and Alejandro Pérez-García
Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea "La Mayora",
Universidad de Málaga-Consejo Superior de Investigaciones Científicas
(IHSM-UIMA-CSIC)
Spain

QoI Guidelines: Vines

(updated Jan. 2015, no changes from 2014 season)

Apply a maximum of 4 QoI fungicide containing sprays against any disease per vine crop, and a maximum of 33% of the total number of applications.

Powdery mildew (*Uncinula necator* / *Erysiphe necator*)

1. Apply QoI fungicides according to manufacturer's recommendations for the target disease at the specific crop growth stage indicated. Effective disease management is a critical parameter in delaying the build-up of resistant pathogen populations.
2. Apply a maximum of 2 QoI fungicide containing sprays targeted against powdery mildew per vine crop, preferably in mixture (co-formulations or tank mixes) with effective mixture partners from different cross-resistance groups.
3. Apply QoI fungicides preventively.
4. QoI fungicides used solo should be used in strict alternation with fungicides from a different cross-resistance group.
5. Apply QoI fungicides used in mixture in a maximum of two consecutive applications in alternation with fungicides from a different cross-resistance group. In areas where resistance has been confirmed, apply Q_oI fungicides in strict alternation and in mixture with an effective partner.

Downy mildew (*Plasmopara viticola*)

1. Apply QoI fungicides according to manufacturer's recommendations for the target disease at the specific crop growth stage indicated. Effective disease management is a critical parameter in delaying the build-up of resistant pathogen populations.
2. Apply QoI fungicides preventively.
3. Apply a maximum of 3 QoI fungicide containing sprays targeted against downy mildew per vine crop, only in mixture with effective partners from different cross-resistance groups.
4. Apply QoI fungicides in single or block application in alternation with fungicides from a different cross-resistance group.

Οδηγίες - ανιλινοπυριμιδίνες



FRAC Recommendations for AP fungicides

General Use Recommendations (all crops)

Specific Recommendations by Pathogens

Botrytis Guidelines

- Where up to three treatments are made per season, the number of applications of AP-containing products is limited to one.
- In situations where four to six *Botrytis* treatments are made per crop and season, a maximum of two applications with AP-containing products are recommended.
- In specific situations where seven or more *Botrytis* treatments are required per crop and season, a maximum of three applications with AP-containing products is recommended and not more than two consecutive applications.
- For specific crops and products, follow use recommendations of individual companies.

Venturia Guidelines

- Apply a maximum of four AP-containing products per season.
- In locations where resistance has been reported, use APs only in a mixture with an effective non-cross-resistant scab fungicide.
- Individual products should always be used at recommended dose rates and during the period when they are most effective.
- Curative use only in conjunction with reliable scab warning systems.

