



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕ ΘΕΜΑ:

<< Διερεύνηση πιθανής ανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα αναστολείς των ενζύμων ALS και ACCase σε βιότυπους ζιζανίου Ανεμόχορτο (*Apera spica- Venti*) >>

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ:
Ελένη Παπαδοπούλου

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
Ειρήνη Καρανασάση

ΑΜΑΛΙΑΔΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια της εκπόνησης πτυχιακής μελέτης, μου ανατέθηκε από τον καθηγητή κ. Αριστείδη Παπαπαναγιώτου το θέμα: “Διερεύνηση πιθανής ανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα αναστολείς των ενζύμων ALS και ACCase σε βιότυπους ζιζανίου Ανεμόχορτο (*Apera spica-venti*)” με βάση την ευαισθησία του ζιζανίου Ανεμόχορτο πάνω σε σκευάσματα ζιζανιοκτονίας.

Με την προτροπή και τις συστάσεις του καθηγητή κ. Αρ. Παπαπαναγιώτου, παρακολούθησα την πληθυσμιακή διακύμανση του ζιζανίου αυτού βάσει των αποτελεσμάτων που είχα ύστερα από χρήσεις ζιζανιοκτόνων.

Κατά τη συγγραφή της εργασίας αυτής, προσπάθησα να αναπτύξω με σαφήνεια την όλη οργάνωση, σχεδιασμό και αποτελεσματικότητα του προγράμματος ζιζανιοκτονίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε όλη μου την προσπάθεια για την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας και για τις κατευθυντήριες αρχές αλλά και τα υλικά μέσα που μου χρειάστηκαν για την επίτευξη της εργασίας αυτής είχα τη βοήθεια του καθηγητή μου κ. Αριστείδη Παπαπαναγιώτου και γι' αυτό τον ευχαριστώ.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα. Ειρήνη Καρανασάση που στάθηκε στο πλευρό μου με την πολύτιμη βοήθειά της, σε όλο αυτό το διάστημα που χρειάστηκε για την συγγραφή της εργασίας και για την ολοκλήρωσή της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον γεωπόνο της περιοχής μου κ. Σταύρο Ζερβό για τις γνώσεις που μου πρόσφερε και την πολύχρονη εμπειρία του πάνω στο συγκεκριμένο θέμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.	6
1.1 ΑΝΕΜΟΧΟΡΤΟ (<i>Apera spica-venti</i> L.).....	6
1.2. ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ	12
1.2.1 Ζιζανιοκτόνα-αναστολείς βιοσύνθεσης διακλαδισμένης αλυσίδας αμινοξέων (ALS ή AHAS).....	12
1.2.2 Σουλφονουλουρίες (Sulfonylureas).....	14
1.2.3 Ιμιδαζολινόνες (Imidazolinones)	16
1.2.4 Τριαζολοπυριμιδίνες (Triazopyrimidines)	16
1.2.5 Αναστολείς βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων (ένζυμο ACCase)	17
1.2.6 Αρυλοφαινοξυαλκανοϊκά (Aryloxyphenoxy alkanoids, APAs, -fops).....	22
1.2.7 Κυκλοεξανδιόνες (Cyclohexanediones, CHD, -dims)	23
1.2.8 Φαινυλοπυραζολίνες (Phenylpyrazoline, -den)	24
1.3. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ.....	25
1.3.1 Ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς βιοσύνθεσης αμινοξέων με διακλαδιζόμενη αλυσίδα (ένζυμο ALS ή AHAS)	25
1.3.2 Ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων (ένζυμο ACCase).....	27
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.	30
2.1 Προέλευση και συλλογή σπόρων του ζιζανίου ανεμόχορτο	30
2.2 Πειράματα φυτοδοχείων	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	47
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	56
5.1 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57
5.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ανεμόχορτο (*Apera spica – Venti L.*) είναι ένα από τα περισσότερο διαδεδομένα είδη ζιζανίων που αποτελούν σημαντικό πρόβλημα σε πολλές χώρες. Απαντάται σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών και ελαιοκράμβης και οι απώλειες που μπορούν να προκληθούν μπορεί να ανέλθουν σε ποσοστό έως 30%.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του ζιζανίου αυτού σε 6 διαφορετικά σκευάσματα ζιζανιοκτόνων με δραστική ουσία το chlorsulfuron, mesosulfuron και iodosulfuron, pyroxsulam, propargyl, pinoxaden και clethodim. Στις επεμβάσεις των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν από 5 δόσεις εφαρμογής του κάθε σκευάματος: εφαρμογή συνιστώμενης δόσης (x), συνιστώμενη δόση μαζί με οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο (x + dimethoate), τετραπλάσια (4x), οχταπλάσια (8x) και δεκαεξαπλάσια (16x) συνιστώμενης δόσης.

Τέλος, αναφέρονται αποτελέσματα και γραφικές αναπαραστάσεις της συμπεριφοράς των βιοτύπων ανεμόχορτου, αλλά και συμπεράσματα για την σωστή καταπολέμησή του.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

1.1 ANEMOXOPTO (*Apera spica-venti* L.)

Το *Apera spica-venti* (ανεμόχορτο) αν και έχει καταγραφεί στη Βόρεια Αμερική και τον Καναδά, είναι ένα από τα περισσότερο διαδεδομένα είδη ζιζανίων στους καλλιεργούμενους αγρούς της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης. Συγκεκριμένα, αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στη Γερμανία, την Ελβετία, την Πολωνία, την Τσεχία, την Σλοβακία και την Ουγγαρία. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι στην Πολωνία, έκταση που αντιστοιχεί στο 60% των καλλιεργούμενων εκτάσεων με σιτηρά (περίπου 40.000.000 στρέμματα) είναι μολυσμένη με το ζιζάνιο *Apera spica-venti* (Krysiak κ.ά., 2011), ενώ πρόσφατα, καταγράφηκε ως σημαντικό είδος και στη Βόρειο Ευρώπη (Δανία και Σουηδία) (Melander κ.ά., 2008) (Εικ.1).

Στη χώρα μας, είναι είδος μικρής σχετικά διάδοσης, απαντάται στη Βόρειο Ελλάδα ως ζιζάνιο σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών και ευνοείται από τη μονοκαλλιέργεια σιτηρών (Γιαννοπολίτης).

Το Ανεμόχορτο ανήκει στην οικογένεια *Rosaceae* (Πίνακας 1) και συνήθως, απαντάται σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών και χειμερινής ελαιοκράμβης (Melander κ.ά., 2008).

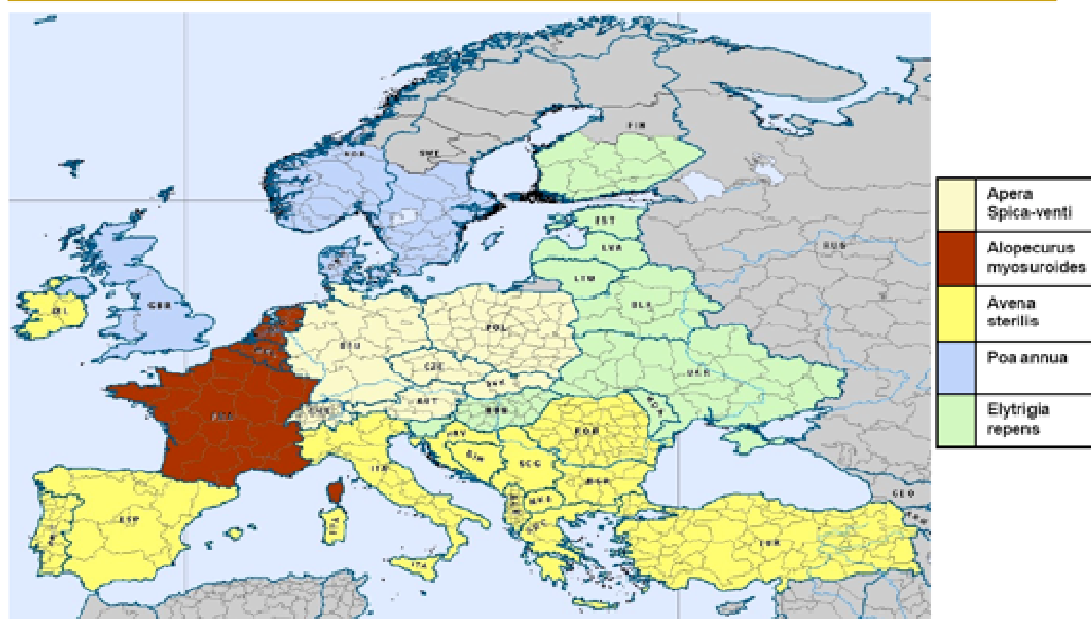
Παρουσιάζει μια διαρκώς αυξανόμενη παρουσία και επακόλουθα, επίπτωση στις καλλιέργειες που μολύνει. Αυτό το γεγονός μπορεί να αποδοθεί στην πλαστικότητα που χαρακτηρίζει το ζιζάνιο, που του επιτρέπει να προσαρμόζεται σε διαφορετικά γεωργικά οικοσυστήματα (Melander κ.ά., 2008). Επίσης, η υιοθέτηση συστημάτων μειωμένης κατεργασίας ή πλήρους απουσίας κατεργασίας (no tillage systems) συνετέλεσε σε αύξηση του ρυθμού μόλυνσης των καλλιεργειών σε συστήματα εντατικής καλλιέργειας, ιδιαίτερα σε γεωργικά συστήματα στα οποία εναλλάσσονται χειμερινά σιτηρά και φθινοπωρινές καλλιέργειες στα συστήματα αμειψισποράς. Αυτό συμβαίνει γιατί ευνοείται η διατήρηση των σπόρων στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους (Massa, 2011).

Οι απώλειες που μπορούν να προκληθούν στην απόδοση των καλλιεργούμενων ειδών από την έντονη παρουσία του ανεμόχορτου στους αγρούς μπορεί να ανέλθουν σε

ποσοστό έως 30%. Το όριο/κατώφλι (threshold) οικονομικής ζημιάς έχει υπολογιστεί περίπου σε 10 έως 30 φυτά ανά m² (Kotter, 1991) (Εικ.2.1,2.2).

Πίνακας 1: Βοτανική ταξινόμηση

ΒΟΤΑΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	
Βασίλειο	<i>Plantae</i>
Υποάθροισμα	Αγγειόσπερμα
Κλάση	Μονοκοτυλήδονο
Τάξη	<i>Poales</i>
Οικογένεια	<i>Poaceae</i>
Υποοικογένεια	<i>Pooidae</i>
Γένος	<i>Apera</i>
Είδος	<i>Apera spica - Venti</i>



Εικόνα 1. Παρουσία των σημαντικότερων ειδών αγρωστωδών ζιζανίων στην Ευρώπη.

Οι σπόροι του ζιζανίου (Εικ. 9) βλαστάνουν και τα νεαρά σπορόφυτα φυτρώνουν συνήθως σε αμμώδη, ελαφρώς μηχανικής σύστασης εδάφη (Northam και Callihan, 1992). Οι σπόροι εκδηλώνουν βραχύβιο πρωτογενή λήθαργο (Koch και Hurle, 1978) και τα φυτά φυτρώνουν αργά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο μαζί με τα σπειρόμενα σιτηρά. Τα νεαρά φυτάρια διέρχονται την χειμερινή περίοδο στο στάδιο των 2-3 φύλλων και αναπτύσσονται ταυτόχρονα με τα καλλιεργούμενα φυτά στη διάρκεια της άνοιξης (Warwick κ.ά., 1985). Παρόλα αυτά, οι σπόροι μπορεί να συνεχίζουν να βλαστάνουν στη διάρκεια ήπιων χειμερινών μηνών, προκαλώντας την παρουσία του ζιζανίου σε καλλιέργειες που σπέρνονται την άνοιξη. Οι συνθήκες που συμβάλλουν ιδιαίτερα στη μόλυνση των εαρινών καλλιεργειών είναι οι ήπιες θερμοκρασίες και τα υψηλά επίπεδα βροχόπτωσης που σημειώνονται. Τα φυτά του ζιζανίου ανθοφορούν ταυτόχρονα με εκείνα των καλλιεργούμενων σιτηρών. Όμως, οι περισσότεροι σπόροι ωριμάζουν νωρίτερα και εκτινάσσονται στο έδαφος πριν τη συγκομιδή των καλλιεργειών. Η παραγωγικότητα των φυτών σε σπόρους παρουσιάζει σημαντική διακύμανση (διαφοροποίηση). Ο αριθμός των σπόρων που μπορούν να παράξουν μεμονωμένα φυτά κυμαίνεται από 2.000 έως και 20.000 (Massa, 2011). Η διάρκεια ζωής των σπόρων στο έδαφος κυμαίνεται μεταξύ ενός και 4 έως 7 ετών, αλλά συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 ετών (Chomas και Kells, 2001).

Τα φύλλα είναι θαμπού πράσινου χρώματος με εμφανείς ραβδώσεις κατά μήκος των νεύρων (Εικ. 3). Το γλωσσίδιο είναι μεγάλου μήκους, μεμβρανώδες, έντονα σχισμένο (Εικ. 4), τα στελέχη είναι όρθιας έκφυσης, φτάνουν σε ύψος το 1,5m. Η ταξιανθία του ανεμόχορτου είναι ανοικτή φόβη κατά την άνθηση και μετά, ενώ πριν την έναρξη της άνθησης εμφανίζεται συμπαγής (Εικ. 5, 6, 7, 8).



Εικόνα 2.1 Κηλίδα προσβολής του ζιζανίου ανεμόχορτο (*Apera spica-venti* L.) σε καλλιέργεια χειμερινού σιταριού.



Εικόνα 2.2 Εξαιρετικά πυκνοί πληθυσμοί του ζιζανίου σε καλλιέργεια χειμερινού σιτηρού.



Εικόνα 3. Φυτό ανεμόχορτου που παρουσιάζει έντονο αδελφωμα.



Εικόνα 4. Το γλωσσίδιο είναι μεγάλου μήκους, μεμβρανώδες, έντονα σχισμένο



Εικόνα 5. Λεπτομέρεια ταξιανθιών από φυτά ανεμόχορτου που αναπτύσσονται μέσα σε καλλιέργεια μαλακού σιταριού



Εικόνα 6. Η Ταξιανθία φυτού ανεμόχορτου (*Apera spica-venti* L.), ανοικτή φόβη κατά την άνθηση και μετά



Εικόνα 7. Η ταξιανθία του ανεμόχορτου πριν την έναρξη της άνθησης.



Εικόνα 8. Λεπτομέρεια διακλάδωσης της ταξιανθίας με ανθίδια



Εικόνα 9. Όριμοι σπόροι του ζιζανίου με το χαρακτηριστικό μακρύ άγανο.

1.2. ZIZANIOKTONA

1.2.1 Ζιζανιοκτόνα-αναστολείς βιοσύνθεσης διακλαδισμένης αλυσίδας αμινοξέων (ALS ή AHAS)

Τα ζιζανιοκτόνα αυτής της ομάδας ανήκουν από χημικής πλευράς, στις οικογένειες των σουλφονουριών, ιμιδαζολινονών, πυριδινυλβενζοϊκών, τριαζολοπυριμιδινών και σουλφονυλαμινикаρβονυλτριαζολινονών. Χρησιμοποιούνται προφυτρωτικά ή μεταφυτρωτικά για την αντιμετώπιση ετησίων και πολυετών ζιζανίων σε διάφορες καλλιέργειες ή σε μη γεωργικές εκτάσεις. Προσροφούνται από τις ρίζες και τα φύλλα των φυτών και μετακινούνται στους μεριστωματικούς ιστούς μέσω του αποπλάστη και του συμπλάστη.

Ο **μηχανισμός δράσης** τους σχετίζεται με αναστολή της δράσης του ενζύμου **οξικογαλακτική συνθετάση ή συνθετάση του οξικογαλακτικού οξέως (ALS, AcetoLactate Synthase)**, γνωστού και ως συνθετάση του ακετοϋδροξικού οξέος (**AHAS, AcetoHydroxyAcid**

Synthase). Το ALS ή AHAS είναι ένζυμο-κλειδί κατά τη βιοσύνθεση βαλίνης, λευκίνης και ισολευκίνης, αμινοξέων με διακλαδισμένη αλυσίδα ατόμων άνθρακα, τα οποία είναι απαραίτητα (πρόδρομες ουσίες) κατά τη βιοσύνθεση δευτερευόντων μεταβολιτών (κυανογενή γλυκοζίδια, γλυκοζινολικά, ακυλιωμένα σάκχαρα (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Το ένζυμο ALS ή AHAS απαντάται στα προπλαστίδια των μεριστωματικών ιστών των φυτών και στους χλωροπλάστες των φύλλων όπου συμμετέχει στη βιοσύνθεση των προαναφερθέντων αμινοξέων. Ειδικότερα, το ένζυμο αυτό καταλύει την αντίδραση συμπύκνωσης δύο μορίων πυροσταφυλικού οξέος για την παραγωγή α-οξικογαλακτικού οξέος ή την αντίδραση συμπύκνωσης ενός μορίου πυροσταφυλικού οξέος και ενός μορίου α-κετοβουτυρικού οξέος για την παραγωγή CO₂ και α-ακετοϋδροξυβουτυρικού οξέος. Οι δύο αυτές ουσίες είναι απαραίτητες (αποτελούν πρόδρομες ουσίες) για τη βιοσύνθεση των αμινοξέων βαλίνης και ισολευκίνης. Το ένζυμο ALS, για να δράσει, απαιτεί FAD, θειαμινοπυροφωσφορικό (TPP), Mg²⁺ και Mn²⁺. Η βιοσύνθεση του αμινοξέος λευκίνη, αν και δεν έχει μελετηθεί επαρκώς στα φυτά, εικάζεται ότι πραγματοποιείται μέσω τριών διαδοχικών ενζυμικών αντιδράσεων επί του α-κετο-ισοβαλερικού οξέος (πρόδρομος ουσία για τη βιοσύνθεση της βαλίνης) (Buchanam κ.ά., 2000; Γαλάτης κ.ά., 2003).

Η αναστολή της βιοσύνθεσης των τριών προαναφερθέντων αμινοξέων εξαιτίας της δράσης των ζιζανιοκτόνων έχει ως συνέπεια την αναστολή της κυτταροδιαίρεσης εντός ολίγων ημερών από την απορρόφηση των ζιζανιοκτόνων, η οποία οδηγεί σε αναστολή της αύξησης των φυτών και τελικώς στη νέκρωσή τους. Τα συμπτώματα της από εδάφους δράσης αυτών των ζιζανιοκτόνων περιλαμβάνουν αναστολή της αύξησης των νεαρών φυτών (παραμένουν στο στάδιο των κοτυληδόνων μέχρι εκείνου των δύο πραγματικών φύλλων), περιορισμένη ανάπτυξη των πλάγιων ή δευτερογενών ριζών, αυξημένη σύνθεση ανθοκυανών (εμφάνιση ερυθρόχρωων φυτών), εκδήλωση χλώρωσης και τελικά νέκρωσης. Τα συμπτώματα της από φυλλώματος δράσης τους περιλαμβάνουν αναστολή της αύξησης των φυτών, αυξημένη σύνθεση ανθοκυανών, αποχρωματισμό των νεύρων των φύλλων και νέκρωση των μεριστωματικών ιστών. Τα προαναφερθέντα συμπτώματα εμφανίζονται εντός ολίγων ημερών από τη μετακίνηση των ζιζανιοκτόνων στους μεριστωματικούς ιστούς. Η νέκρωση των φυτών επέρχεται 2-4 εβδομάδες αργότερα.

Η ταυτόχρονη εφαρμογή ορισμένων ζιζανιοκτόνων των σουλφονουλουριών ή πυριδινυλθειοβενζοϊκών με ορισμένα ζιζανιοκτόνα αγρωστωδών ζιζανίων (αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκά, κυκλοεξανδιόνες) θα πρέπει να αποφεύγεται επειδή μειώνει την αποτελεσματικότητα των τελευταίων εναντίων ορισμένων αγρωστωδών ζιζανίων. Αυτό οφείλεται στην ανταγωνιστική δράση που αναπτύσσεται μεταξύ αυτών των μη

συνδυαζόμενων ζιζανιοκτόνων, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις οφείλεται στη μειωμένη απορρόφηση ή/και μειωμένη μετακίνηση των αγρωστωδοκτόνων εξαιτίας της παρουσίας των σουλφονουριών ή των πυριδινυλθειοβενζοϊκών (Monaco κ.ά., 2002).

Η **εκλεκτικότητα** αυτών των ζιζανιοκτόνων οφείλεται στο μεταβολισμό τους [καταλύεται στις περισσότερες περιπτώσεις από τα ένζυμα μονοοξυγονάση (CytP₄₅₀) και γλυκοζυλτρανσφεράση (GT)] από τα ανθεκτικά καλλιεργούμενα φυτά ή σε μειωμένη ευαισθησία του ενζύμου ALS ή AHAS στα ζιζανιοκτόνα αυτά.

Η διεύρυνση της εκλεκτικότητας μερικών ζιζανιοκτόνων των ιμιδαζολινονών σε μη ανθεκτικά-εξ αρχής καλλιεργούμενα φυτά υβριδίων αραβοσίτου κατέστη δυνατή μέσω της επιλογής ιστών μη μεταλλαγμένων φυτών με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα αυτά (Newhouse κ.ά., 1991). Βέβαια, εξίσου επιτυχής ήταν και η προσπάθεια διεύρυνσης της εκλεκτικότητας ορισμένων ζιζανιοκτόνων μέσω της γενετικής τροποποιημένων ποικιλιών βαμβακιού, ζαχαρότευτλων, καπνού σόγιας, ελαιοκράμβης και υβριδίων αραβοσίτου με ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα της οικογένειας των σουλφονουριών (Saari και Mauvais, 1996; Green, 2007)

Η χρήση κυρίως των ζιζανιοκτόνων της οικογένειας των σουλφονουριών και δευτερευόντως των ιμιδαζολινονών για περισσότερο από 25 έτη σε συνδυασμό και με τον προαναφερθέντα απλό μηχανισμό δράσης τους (ένα γονίδιο υπεύθυνο έκφρασης του ενζύμου ALS ή AHAS) συνέβαλε στην ανάπτυξη 284 ανθεκτικών βιοτύπων που ανήκουν σε 95 είδη αγρωστωδών και πλατύφυλλων ζιζανίων (Saari κ.ά., 1994, Preston και Mallory-smith, 2001, Preston, 2004, Hear, 2008).

1.2.2 Σουλφονουριές (Sulfonylureas)

Ο βασικός χημικός τύπος των ζιζανιοκτόνων της οικογένειας αυτής αποτελείται από μία αρυλομάδα (φαινυλικός δακτύλιος, πυριδίνη, πυρρόλιο, πυρραζόλιο, τριαζόλιο, θειοφαίνιο κ.ά.), τη σουλφονουρική γέφυρα και μία ετεροκυκλική ομάδα (πυριμιδίνη, τριαζίνη). Η πρώτη δραστική ουσία της οικογένειας των σουλφονουριών ήταν το chlorsulfuron (π.χ. Glean) που ανακαλύφθηκε το 1977. Το ζιζανιοκτόνο αυτό πήρε έγκριση κυκλοφορίας για χρήση στις ΗΠΑ και στη Μ. Βρετανία το 1982, ενώ στη χώρα μας εγκρίθηκε το 1985. Βέβαια, δέκα χρόνια μετά την ανακάλυψη του chlorsulfuron, η οικογένεια των σουλφονουριών περιελάμβανε 230 δραστικές ουσίες. Ορισμένες από τις δραστικές αυτές ουσίες (chlorsulfuron, iodosulfuron, nicosulfuron, thifensulfuron, triasulfuron, tribenuron κ.ά.) έχουν ήδη έγκριση για χρήση ως ζιζανιοκτόνα σε διάφορες χώρες, ενώ άλλες βρίσκονται στα τελευταία στάδια ανάπτυξής τους ως ζιζανιοκτόνα.

Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής εφαρμόζονται στο έδαφος (προφυτρωτικά) ή/και στο φύλλωμα για την αντιμετώπιση ετησίων και πολυετών ζιζανίων σε διάφορες καλλιέργειες. Προσροφώνται από τις ρίζες και τα φύλλα των φυτών και μετακινούνται στους μεριστωματικούς ιστούς μέσω του αποπλάστη και του συμπλάστη.

Η δράση τους από φυλλώματος εκδηλώνεται εντός ολίγων ημερών από την εφαρμογή τους με αναστολή της αύξησης των φυτών, αυξημένη σύνθεση ανθοκυανών, χλώρωση και νέκρωση των μεριστωματικών ιστών. Η νέκρωση όμως των φυτών επέρχεται μετά από παρέλευση 2-3 εβδομάδων. Η δράση τους από εδάφους εκδηλώνεται εντός ολίγων ημερών από το φύτευμα των ζιζανίων με αναστολή της αύξησης, αυξημένη σύνθεση ανθοκυανών, χλώρωση, περιορισμένη ανάπτυξη των ριζών, ενώ η νέκρωσή τους επέρχεται 2-4 εβδομάδες αργότερα.

Τα ανθεκτικά καλλιεργούμενα φυτά δεν εμφανίζουν συμπτώματα τοξικότητας επειδή έχουν την ικανότητα και μεταβολίζουν ταχύτατα τα ζιζανιοκτόνα αυτά σε μη τοξικές ουσίες ή έχουν ένζυμο ALS με μειωμένη ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα αυτά. Ο μεταβολισμός των περισσότερων ζιζανιοκτόνων της οικογένειας αυτής (εντός των ανθεκτικών φυτών) γίνεται μέσω υδροξυλίωσης [καταλύεται από το ένζυμο μονοοξυγονάση (CytP450)] και στη συνέχεια σχηματισμού συμπλοκών με γλυκόζη [το ένζυμο γλυκοζυλτρανσφεράση (GT) καταλύει τη μεταφορά γλυκόζης από το υπόστρωμα της διφωσφορικής ουριδίνης-γλυκόζης].

Τα ζιζανιοκτόνα των σουλφονουλουριών συμπεριφέρονται στο έδαφος ως ασθενή οξέα (WSSA, 2007). Η προσρόφησή τους από τα κολλοειδή του εδάφους δεν είναι ισχυρή ($K_{oc} = 15-215 \text{ mL/g}$) και γι' αυτό η πιθανότητα έκπλυσής τους είναι μεγάλη (βαθμός έκπλυσης 3-5) (Weber κ.ά., 2000).

Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής είναι δραστικά σε δόσεις 10-100 φορές μικρότερες από εκείνες (δόσεις) των ήδη χρησιμοποιούμενων ζιζανιοκτόνων. Ο χρόνος παραμονής μερικών ζιζανιοκτόνων της χημικής οικογένειας των σουλφονουλουριών (chlorsulfuron, metsulfuron, triasulfuron) στο έδαφος, αν και εφαρμόζονται σε πολύ χαμηλές δόσεις (1-2 g δ.ο./στρ.), είναι συχνά μεγαλύτερος από 12 μήνες. Αυτό έχει ως συνέπεια την αδυναμία ασφαλούς εγκατάστασης (χωρίς προβλήματα εκδήλωσης φυτοτοξικότητας) άλλων καλλιεργειών, εκτός από χειμερινά σιτηρά (όπου συνιστάται η χρήση τους), την επόμενη καλλιεργητική περίοδο (Walker και Welch, 1989). Ο χρόνος όμως παραμονής τους στο έδαφος μειώνεται με τη μείωση της δόσης εφαρμογής και του pH του εδάφους, καθώς επίσης με την αύξηση της υγρασίας και την άνοδο της θερμοκρασίας του εδάφους (Eleftherohorinos, 1987, Eleftherohorinos και Kotoula-Syka, 1989). Αυτό συμβαίνει

επειδή οι συνθήκες αυτές επιταχύνουν το ρυθμό της χημικής διάσπασης (υδρόλυση), η οποία είναι η κυριότερη διεργασία απομάκρυνσής τους από το έδαφος (Beyer κ.ά., 1988). Οι απώλειές τους λόγω εξάτμισης ή/και φωτοχημικής διάσπασης κυμαίνονται από ασήμαντες μέχρι μέτριες.

1.2.3 Ιμιδαζολινόνες (Imidazolinones)

Η οικογένεια αυτή των ζιζανιοκτόνων αναπτύχθηκε μετά το 1970. Συγκεκριμένα, το πρώτο ζιζανιοκτόνο ήταν το imazamethabenz-methyl (1971) και ακολούθησαν τα imazapyr (1979), imazaquin (1981), imazethapyr (1982), imazamox και imazapic. Ο βασικός χημικός τύπος των ζιζανιοκτόνων της οικογένειας αυτής αποτελείται από έναν αρωματικό δακτύλιο (συνήθως πυριδίνη) με την καρβοξυλική ομάδα και από τον ιμιδαζολινικό δακτύλιο.

Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής εφαρμόζονται στο έδαφος ή/και στο φύλλωμα των ζιζανίων. Προσροφώνται από τις ρίζες και τα φύλλα των φυτών και μετακινούνται στους μεριστωματικούς ιστούς μέσω του αποπλάστη και του συμπλάστη. Η δράση τους από φυλλώματος εκδηλώνεται εντός ολίγων ημερών από την εφαρμογή τους με αναστολή της αύξησης των φυτών, χλώρωση και τελικώς νέκρωση των μεριστωματικών ιστών. Βέβαια, η νέκρωση των φυτών επέρχεται μετά από εβδομάδες. Η δράση τους από εδάφους εκδηλώνεται εντός ολίγων ημερών από το φύτευμα των ζιζανίων με αναστολή της αύξησης, ενώ η νέκρωσή τους επέρχεται πολύ αργότερα.

1.2.4 Τριαζολοπυριμιδίνες (Triazopyrimidines)

Ο βασικός χημικός τύπος των ζιζανιοκτόνων (cloransulam, diclosulam, florasulam, flumetsulam, metosulam, penoxsulam, pyroxsulam) της οικογένειας αυτής αποτελείται από ένα τριαζολοπυριμιδινικό δακτύλιο, τη σουλφαμιδική γέφυρα και ένα φαινυλικό δακτύλιο. Τα περισσότερα από αυτά τα ζιζανιοκτόνα δρουν από εδάφους και φυλλώματος. Είναι αποτελεσματικά κυρίως εναντίον των ετησίων πλατύφυλλων ζιζανίων, χωρίς όμως να αποκλείονται από το φάσμα δράσης τους και ορισμένα ετήσια αγρωστώδη ζιζάνια (penoxsulam) ή/και ορισμένα είδη ζιζανίων που ανήκουν στα κυπεροειδή (penoxsulam, diclosulam). Απορροφώνται από τις ρίζες και τα φύλλα των ζιζανίων και μετακινούνται μέσω του αποπλάστη και του συμπλάστη, αντιστοίχως (WSSA, 2007). Τα ζιζανιοκτόνα αυτά είναι δραστικά σε πολύ μικρότερες δόσεις από ό,τι τα περισσότερα από τα ήδη χρησιμοποιούμενα ζιζανιοκτόνα.

Η εκλεκτικότητα αυτών των ζιζανιοκτόνων οφείλεται στο μεταβολισμό τους από τα καλλιεργούμενα φυτά σε ουσίες μη τοξικές.

Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής συμπεριφέρονται στο εδαφικό διάλυμα ως ασθενή οξέα (WSSA, 2007). Η προσρόφησή τους από τα κολλοειδή του εδάφους δεν είναι ισχυρή ($K_{oc}=2-150 \text{ mL/g}$) και γι' αυτό η πιθανότητα έκπλυσής τους στα περισσότερα εδάφη είναι μεγάλη (βαθμός έκπλυσης 4-5). Η απομάκρυνσή τους από το έδαφος γίνεται κυρίως μέσω μικροβιακής αποδόμησης, ενώ οι απώλειές τους λόγω εξάτμισης ή/και φωτοχημικής διάσπασης κυμαίνονται από μη σημαντικές μέχρι μέτριες. Η υπολειμματική τους διάρκεια στο έδαφος κυμαίνεται από 1 έως 9 μήνες. Αυτό έχει ως συνέπεια την αδυναμία εγκατάστασης ορισμένων καλλιεργειών την επόμενη καλλιεργητική περίοδο χωρίς προβλήματα φυτοτοξικότητας.

1.2.5 Αναστολείς βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων (ένζυμο ACCase)

Τα ζιζανιοκτόνα της ομάδας αυτής ανήκουν στις οικογένειες των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών, κυκλοεξανδινών και φαινυλοπυραζολινών. Χρησιμοποιούνται μεταφωτοχρωμικά για την αντιμετώπιση ετησίων και πολυετών αγρωστωδών ζιζανίων (Monaco κ.ά., 2002) και γι' αυτό είναι γνωστά και ως 'αγρωστωδοκτόνα'. Τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούνται σε πλατύφυλλες καλλιέργειες. Επίσης, ορισμένα μέλη της χημικής οικογένειας χρησιμοποιούνται μόνο ή και σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών ή ρυζιού. Απορροφώνται κυρίως από τα φύλλα και μετακινούνται μέσω του συμπλάστη και του αποπλάστη στους υπέργειους και υπόγειους μεριστωματικούς ιστούς των φυτών. Το diclofor-methyl είναι το μόνο ζιζανιοκτόνο της οικογένειας των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών που εκδηλώνει μέτρια δράση και από εδάφους.

Ο **μηχανισμός δράσης** τους σχετίζεται με την αναστολή της δράσης του ενζύμου καρβοξυλάση του ακετυλο-CoA (ACCase, Acetyl-CoA Carboxyl-ase), το οποίο είναι ένζυμο-κλειδί κατά τα πρώτα στάδια της διαδικασίας βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων (Devine κ.ά., 1993). Το ένζυμο αυτό (ACCase) αποτελείται από τρεις υπομονάδες (ενεργές περιοχές). Συγκεκριμένα, από το πεπτιδίο (πρωτεΐνη)-φορέας της βιοτίνης και του CO₂ (BCCP, biotin carboxyl carrier protein), την καρβοξυλάση της βιοτίνης (BC, biotin carboxylase) και την α- και β-καρβοξυλτρανσφεράση (CT, α- και β-carboxyltransferase). Απαντάται εντός των φυτών στην ευκαρυωτική-ομομερή μορφή, όπου οι τρεις υπομονάδες BCCP, BC και CT βρίσκονται εντός ενός πολυπεπτιδίου ή/και στην προκαρυωτική-ετερομερή μορφή, όπου οι τέσσερις υπομονάδες BCCP, BC, α-CT και β-CT σχηματίζουν σύμπλοκο (Σχήμα 6.18) (Delye, 2005).

Η έκφραση (κωδικοποίηση) των υπομονάδων BCCP, BC και α-CT του ετερομερούς ενζύμου ACCase, που απαντάται εντός των χλωροπλάστων των δικοτυλήδων φυτών

ελέγχεται από γονίδια του πυρήνα, ενώ η έκφραση της υπομονάδας β-CT ελέγχεται από γονίδιο των χλωροπλαστών. Αυτό σημαίνει ότι οι τρεις υπομονάδες συντίθεται εντός του κυτταροπλάσματος και ακολούθως εισέρχονται εντός των χλωροπλαστών, όπου, με την τέταρτη υπομονάδα β-CT, σχηματίζουν το ετερομερές ένζυμο (Delye, 2005).

Η έκφραση του ομομερούς ενζύμου ACCase, που απαντάται εντός των χλωροπλαστών των αγρωστωδών φυτών, ελέγχεται από ένα γονίδιο του πυρήνα [περίπτωση του εξαπλοειδούς σιταριού και των διπλοειδών αγρωστωδών ζιζανίων αλεπονουρά (*Alopecurus myosuroides*) και πράσινη σετάρια (*Setaria viridis*)] ή από δύο γονίδια του πυρήνα (περίπτωση του ζιζανίου *Lolium* spp.) (Delye, 2006). Αντίθετα, η έκφραση των ισομορφών του ομομερούς ενζύμου ACCase, το οποίο απαντάται εντός του κυτταροπλάσματος των ιδίων φυτών (περίπτωση του εξαπλοειδούς σιταριού), ελέγχεται από τουλάχιστον πέντε γονίδια του πυρήνα, τα οποία είναι διαφορετικά από εκείνα που εκφράζουν το ένζυμο ACCase που απαντάται εντός των χλωροπλαστών. Το ομομερές ένζυμο ACCase των χλωροπλαστών διαφέρει από εκείνο του κυτταροπλάσματος, όχι μόνο στην αλληλουχία των αμινοξέων (διαφορετικά γονίδια) αλλά και στο ότι φέρει επιπρόσθετα 100 περίπου αμινοξέα, τα οποία σχηματίζουν το πεπτίδιο μεταφοράς του από τον πυρήνα (όπου παράγεται) στους χλωροπλάστες (όπου δρα).

Τα περισσότερα δικοτυλήδονα (πλατύφυλλα) φυτά (εξαιρούνται το είδος *Brassica napus* και το γένος *Arabiropsis*) έχουν την ετερομερή μορφή του ενζύμου ACCase εντός των χλωροπλαστών των φύλλων και εντός των προπλαστιδίων των μεριστωματικών ιστών, ενώ την ομομερή μορφή του την έχουν εντός του κυτταροπλάσματος. Αντιθέτως, τα μονοκοτυλήδονα (αγρωστώδη) φυτά έχουν μόνο την ομομερή μορφή εντός των χλωροπλαστών των φύλλων, εντός των προπλαστιδίων των μεριστωματικών ιστών και εντός του κυτταροπλάσματος (Delye, 2005). Η ετερομερής μορφή του ενζύμου ACCase δεν απαντάται στα αγρωστώδη φυτά λόγω της απουσίας του γονιδίου *accD* στο γένωμα του χλωροπλάστη, το οποίο εκφράζει την τέταρτη υπομονάδα β-CT του ενζύμου (Sasaki κ.ά., 1995).

Το ένζυμο ACCase δρα εντός των χλωροπλαστών των φύλλων, όπου κυρίως λαμβάνει χώρα η βιοσύνθεση των περισσοτέρων λιπαρών οξέων, εντός των προπλαστιδίων των ριζών. Δευτερευόντως δρα εντός του κυτταροπλάσματος των ταχέως διαιρούμενων κυττάρων των φυτών. Ειδικότερα, το ένζυμο ACCase καταλύει την προσθήκη CO₂ (καρβοξυλίωση) στο ακετύλο-CoA με αποτέλεσμα την παραγωγή μηλότυλο-CoA. Το τελευταίο, μετά από αποκαρβοξυλίωση, παρέχει μια ακυλο-αλυσίδα με δύο άτομα άνθρακα, η οποία στη συνέχεια επιμηκύνεται-μέσω της καταλυτικής δράσης των

συνθετασών των λιπαρών οξέων (συμπυκνωτικών ενζύμων) και συμβάλλει στην βιοσύνθεση των λιπαρών οξέων με 16-18 άτομα άνθρακα. Η διαδικασία αυτή (προσθήκη CO₂ στο ακέτυλο-CoA) αρχίζει με την ATP-εξαρτώμενη καρβοξυλίωση της βιοτίνης (καταλύεται από την καρβοξυλάση της βιοτίνης) και ολοκληρώνεται με τη μεταφορά του CO₂ από την καρβοξυλιωμένη βιοτίνη στο ακέτυλο-CoA (καταλύεται από την α- και β-καρβοξυλτρανσφεράση).

Η θέση σύνθεσης των ζιζανιοκτόνων των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών, κυκλοεξανδιονών και φαινυλοπυραζολινών με το ομομερές ένζυμο ACCase των χλωροπλαστών (ή των προπλαστιδίων των ριζών) εικάζεται ότι βρίσκεται στην α- και β-καρβοξυλτρανσφεράση (Delye, 2005). Η θέση σύνδεσης των ζιζανιοκτόνων των δύο πρώτων οικογενειών με το ένζυμο ACCase είναι σε μεγάλο βαθμό κοινή (παρουσιάζει μεγάλη αλληλοκάλυψη), αλλά δεν είναι πανομοιότυπη. Το ομομερές ένζυμο ACCase των χλωροπλαστών των περισσότερων αγρωστώδων ζιζανίων είναι 10-500 φορές πιο ευαίσθητο στα προαναφερθέντα ζιζανιοκτόνα από ό,τι το ομομερές ένζυμο ACCase του κυτταροπλάσματος (Delye, 2005). Τα αγρωστώδη είδη *Festuca rubra*, *F. ovina*, *Poa annua* και *Vulpia bromoides* δεν ακολουθούν τον κανόνα αφού έχουν ομομερές ACCase εντός των χλωροπλαστών, το οποίο ήταν ανθεκτικό εξ αρχής (αρχική φυσική αντοχή, tolerance) στα ζιζανιοκτόνα των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών και κυκλοεξανδιονών (Delye, 2005). Η μοριακή βάση (αλληλουχία αμινοξέων του ενζύμου ACCase) αυτής της αντοχής δεν είναι ακόμη γνωστή.

Η διαφορά ευαισθησίας ενός ομομερούς ενζύμου ACCase (από ένα φυτό) στα ζιζανιοκτόνα των προαναφερθεισών οικογενειών ή των ισομορφών του ενζύμου ACCase (από διάφορα φυτά) σε ένα ζιζανιοκτόνο οφείλεται στις υφιστάμενες διαφορές μεταξύ των μορίων των ζιζανιοκτόνων. Οι διαφορές αυτές καθορίζουν και την ευκολία εισόδου τους εντός των φυτών και ακολούθως τη σύνδεσή τους με την α- και β-καρβοξυλτρανσφεράση του ενζύμου ACCase.

Η σύνδεση του ομομερούς ενζύμου ACCase των χλωροπλαστών (ή των προπλαστιδίων των ριζών) με τα ζιζανιοκτόνα των προαναφερθεισών οικογενειών προκαλεί εντός ολίγων ωρών αναστολή της βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων με 16-18 άτομα άνθρακα (C16-18. Ως συνέπεια συντελεί στην παραγωγή μεμβρανών μη ικανών να παρέχουν δομική συγκρότηση και εύρυθμη λειτουργία στους χλωροπλάστες, στα μιτοχόνδρια και στα νέα κύτταρα γενικότερα. Υπενθυμίζεται ότι τα δύο πιο κοινά κεκορεσμένα λιπαρά οξέα που βιοσυντίθενται εντός των χλωροπλαστών των φύλλων ή εντός των προπλαστιδίων των ριζών είναι το παλμιτικό-16:0 και το στεαρικό-18:0, ενώ τα πιο κοινά ακόρεστα λιπαρά οξέα

είναι το ελαϊκό-18:1 και το λινολενικό-18:2. Η βιοσύνθεση λιπαρών οξέων με περισσότερα από 18 άτομα άνθρακα (>C18) λαμβάνει χώρα εντός του ενδοπλασματικού δικτύου.

Η αναστολή της βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων από τη δράση αυτών των ζιζανιοκτόνων ακολουθείται από αναστολή της μεγέθυνσης και της διαίρεσης των κυττάρων, χλώρωση των φυτών (αναστολή βιοσύνθεσης χλωροφύλλης και καροτενοειδών) και εμφάνιση ερυθρόχρωων φύλλων και βλαστών [αυξημένη σύνθεση ανθοκυανών από τη μη συμμετοχή του ακέτυλο-CoA (πρόδρομος ένωση στη βιοσύνθεση ανθοκυανών) στη βιοσύνθεση των λιπαρών οξέων]. Όλες αυτές οι βιοχημικές και φυσιολογικές διεργασίες οδηγούν στην αναστολή της αύξησης των φυτών και τελικώς στη νέκρωσή τους. Τα προαναφερθέντα συμπτώματα εκδηλώνονται εντός ολίγων ημερών από την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων, ενώ η νέκρωση των φυτών επέρχεται 1-2 εβδομάδες αργότερα. Τα πλατύφυλλα (δικοτυλήδονα) φυτά δεν εκδηλώνουν συμπτώματα φυτοτοξικότητας μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων επειδή, όπως προαναφέρθηκε, έχουν την ετερομερή μορφή του ενζύμου ACCase εντός των χλωροπλαστών, η οποία είναι ανθεκτική (δεν επιτρέπει τη σύνδεσή της με τα ζιζανιοκτόνα) και ως εκ τούτου δεν αναστέλλεται η δράση του από τα ζιζανιοκτόνα αυτά. Αντίθετα, τα περισσότερα αγρωστώδη (μονοκοτυλήδονα) φυτά εκδηλώνουν τα προαναφερθέντα συμπτώματα φυτοτοξικότητας επειδή έχουν εντός των χλωροπλαστών την ευαίσθητη, ομομερή μορφή του ενζύμου ACCase (Sasaki κ.ά., 1995).

Οι Devine κ.ά. (1993) και Shimabukuro και Hoffer (1997) αναφέρουν ότι το diclofor-methyl, εκτός από την αναστολή της δράσης του ενζύμου ACCase, προκαλεί και αποδιοργάνωση του μηχανισμού μεταφοράς πρωτονίων μέσω των κυτταρικών μεμβρανών. Ειδικότερα, η εφαρμογή του αυξάνει την είσοδο πρωτονίων από τον αποπλάστη εντός του κυτταροπλάσματος με αποτέλεσμα τη μείωση του pH (εντός του κυτταροπλάσματος) και την παράλληλη αύξησή του εντός του αποπλάστη (κυτταρικά τοιχώματα). Όλα αυτά έχουν ως συνέπεια τη μείωση του δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης και την κατάρρευση του μηχανισμού ελέγχου της αύξησης των κυττάρων και της ενεργού μεταφοράς απαραίτητων ανόργανων και οργανικών συστατικών (σάκχαρα, αμινοξέα κ.ά.) εντός των κυττάρων. Επιπροσθέτως, η μείωση του pH εντός του κυτταροπλάσματος αυξάνει τη δράση των φωσφολιπασών, οι οποίες προκαλούν την αποδιοργάνωση της κυτταρικής μεμβράνης και κατ' επέκταση την κατάρρευση του φυτού.

Η ταυτόχρονη εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων αυτής της χημικής οικογένειας (αγρωστωδοκτόνων) με ορισμένα ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση πλατύφυλλων κυρίως ζιζανίων και ανήκουν στις οικογένειες των φαινοξυαλκανοϊκών (π.χ. 2,4-D, MCPA, MCPP), σουλφονουριών, ιμιδαζολινονών ή με τα ζιζανιοκτόνα pyriithiobac

και bentazon θα πρέπει να αποφεύγεται επειδή μειώνει την αποτελεσματικότητα που εκδηλώνουν εναντίον ορισμένων αγρωστωδών ζιζανίων. Αυτό οφείλεται, στις περισσότερες περιπτώσεις, στη μειωμένη απορρόφηση ή/και μειωμένη μετακίνηση των αγρωστωδοκτόνων εξαιτίας της παρουσίας των πλατυφυλλοκτόνων (ανταγωνιστική δράση) (Monaco κ.ά., 2002, Devine κ.ά., 1993).

Επίσης, η μειωμένη δράση ορισμένων αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών κατά την ταυτόχρονη εφαρμογή τους με φαινοξυαλκανοϊκά ζιζανιοκτόνα μπορεί να οφείλεται στη μείωση του ρυθμού μεταβολισμού (υδρόλυσης μέσω εστερασών) των μερικώς δραστικών αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών εστέρων τους σε δραστικά οξέα ή στην αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού τους μέσω σχηματισμού συμπλόκων (Devine κ.ά., 1993, Monaco κ.ά., 2002). Σύμφωνα με τις ίδιες πηγές, τα φαινοξυαλκανοϊκά ζιζανιοκτόνα δεν δρουν ανταγωνιστικά στην ευρέως αποδεκτή θέση δράσης (ένζυμο ACCase) των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών ζιζανιοκτόνων, αλλά εικάζεται ότι επηρεάζουν το μηχανισμό μεταφοράς πρωτονίων μέσω των κυτταρικών μεμβρανών (δεύτερη πιθανή θέση δράσης των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών ζιζανιοκτόνων). Συγκεκριμένα, τα φαινοξυαλκανοϊκά ζιζανιοκτόνα μπορεί να διεγείρουν τη δράση του ενζύμου H⁺-ATPase, το οποίο στη συνέχεια αυξάνει τη μεταφορά πρωτονίων από το κυτταρόπλασμα εντός του αποπλάστη με αποτέλεσμα πιθανώς τη μείωση της εναπόθεσης των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών ζιζανιοκτόνων επί των κυτταρικών μεμβρανών και της μετέπειτα εισόδου τους εντός των κυττάρων (Devine και Shimabukuro, 1994).

Η εκλεκτικότητα των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών, κυκλοεξανδίων και φαινυλοπυραζολινών ζιζανιοκτόνων οφείλεται κυρίως στην αδυναμία τους να αναστείλουν τη δράση του ενζύμου ACCase των ανθεκτικών καλλιεργούμενων φυτών. Δευτερευόντως, οφείλεται στο μεταβολισμό τους μέσω υδροξυλίωσης, σουλφοξείδωσης ή/και σχηματισμού συμπλόκων (Delye, 2005). Επίσης, ο μειωμένος ρυθμός μεταβολισμού (υδρόλυσης μέσω εστερασών) των μερικώς δραστικών εστέρων των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών ζιζανιοκτόνων σε δραστικά οξέα από ορισμένα καλλιεργούμενα φυτά, μπορεί να εξηγήσει μερικώς την εκλεκτική δράση αυτών των ζιζανιοκτόνων.

Η εκλεκτικότητα ορισμένων αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών ζιζανιοκτόνων και του ripoxaden σε μετρίως ανθεκτικά-εξ' αρχής καλλιεργούμενα φυτά μπορεί να βελτιωθεί μέσω της ταυτόχρονης εφαρμογής τους με προστατευτικές ουσίες (safeners) (Hatzios και Burgos, 2004). Οι προστατευτικές αυτές ουσίες αυξάνουν τη δράση των ενζύμων μεταβολισμού των ζιζανιοκτόνων εντός των καλλιεργούμενων φυτών με αποτέλεσμα να

παρέχεται η δυνατότητα εκλεκτικής (ασφαλούς εφαρμογής για την καλλιέργεια) αντιμετώπισης των ζιζανίων.

Η μακρόχρονη χρήση των ζιζανιοκτόνων της ομάδας αυτής σε συνδυασμό με τον απλό μηχανισμό δράσης τους (συνήθως ένα γονίδιο είναι υπεύθυνο έκφρασης του ενζύμου ACCase), συνέβαλε στην ανάπτυξη 136 ανθεκτικών βιοτύπων που ανήκουν σε 35 είδη αγρωστωδών ζιζανίων (Hear, 2008).

1.2.6 Αρυλοφαινοξυαλκανοϊκά (Aryloxyphenoxy alkanoids, APAs, -fops)

Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής, εκτός από αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκά, είναι γνωστά και ως αρυλοξυφαινοξυπροπιοϊκά (APPs, aryloxyphenoxypropionates), πολυκυκλικά αλκανοϊκά (polycyclic alkanoids) ή φαινοξυφαινοξυπροπιοϊκά (phenoxyphenoxypropionics) (Devine κ.ά., 1993).

Το diclofor-methyl ήταν το πρώτο ζιζανιοκτόνο της οικογένειας των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών που αναπτύχθηκε το έτος 1975. Το 1980 ακολούθησε η ανάπτυξη του fluazifor-butyl (π.χ. Fusilade) και στη συνέχεια των ζιζανιοκτόνων quizalofor-ethyl (1983), propraquizafor (1987), fenoxarprop-ethyl (1989), clodinafor-propargyl (1991), haloxyfor-methyl (1992) και cyhalofor-butyl (1993). Τα ζιζανιοκτόνα quizalofor-ethyl, propraquizafor και haloxyfor-methyl χρησιμοποιούνται σε πλατύφυλλες καλλιέργειες, ενώ τα ζιζανιοκτόνα diclofor-methyl και fenoxarprop-ethyl σε πλατύφυλλες καλλιέργειες και σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών. Τέλος, το clodinafor-propargyl χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών, ενώ το cyhalofor-butyl χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες ρυζιού.

Τα ζιζανιοκτόνα αυτά χρησιμοποιούνται μεταφυτρωτικά για την αντιμετώπιση ετήσιων και πολυετών αγρωστωδών ζιζανίων. Απορροφούνται κυρίως από τα φύλλα και μετακινούνται μέσω του συμπλάστη και του αποπλάστη στους υπέργειους και υπόγειους μεριστωματικούς ιστούς των φυτών. Αποτέλεσμα του μηχανισμού δράσης τους είναι η χλώρωση των φυτών, η εμφάνιση ερυθρόχρωων φύλλων και βλαστών (συνέπεια αυξημένης συσσώρευσης ανθοκυανών), η αναστολή της αύξησης των φυτών και τελικά η νέκρωσή τους. Τα συμπτώματα φυτοτοξικής δράσης τους εκδηλώνονται εντός ολίγων ημερών από την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων, ενώ η νέκρωση των φυτών επέρχεται μετά από διάστημα 1-2 εβδομάδων.

Η ταυτόχρονη εφαρμογή τους, όπως προαναφέρθηκε, με ορισμένα ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση πλατύφυλλων κυρίως ζιζανίων και ανήκουν στις οικογένειες των φαινοξυαλκανοϊκών (π.χ. 2,4-D, MCPA, MCPP), σουλφονουλουριών,

ιμιδαζολινονών ή με τα ζιζανιοκτόνα pyrithiobac και bentazon θα πρέπει να αποφεύγεται επειδή μειώνει σημαντικά την αποτελεσματικότητά τους εναντίον ορισμένων αγρωστωδών ζιζανίων.

Η εκλεκτικότητά τους οφείλεται κυρίως στην αδυναμία τους να αναστείλουν τη δράση του ενζύμου ACCase των ανθεκτικών καλλιεργούμενων φυτών και δευτερευόντως στο μεταβολισμό τους μέσω υδροξυλίωσης, σουφλοξειδίωσης ή/και σχηματισμού συμπλόκων (Delye, 2005). Επίσης, ο μειωμένος ρυθμός μεταβολισμού (υδρόλυσης μέσω εστερασών) των μερικών δραστικών εστέρων τους σε δραστικά οξέα από ορισμένα καλλιεργούμενα φυτά μπορεί να εξηγήσει την εκλεκτική δράση αυτών των ζιζανιοκτόνων. Τέλος, η εκλεκτική (ασφαλής) εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων clodinafor-propargyl και fenoxaprop-ethyl στα χειμερινά σιτηρά κατέστη δυνατή μέσω της προσθήκης, εντός του σκευάσματος εφαρμογής τους, των προστατευτικών ουσιών cloniquitocet-methyl και mefenpyr (προηγουμένως γινόταν προσθήκη fenchlorazole-ethyl), αντιστοίχως (Hatzios και Burgos, 2004).

Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής συμπεριφέρονται στο έδαφος ως ασθενή οξέα, ενώ οι εστέρες τους συμπεριφέρονται ως μη ιονιζόμενα μόρια (WSSA, 2007). Η προσρόφηση των εστέρων από τα κολλοειδή του εδάφους είναι ισχυρή (Koc cyhalofop-butyl = 1581-6170 mL/g, Koc diclofop methyl = 1100 mL/g, Koc fenoxaprop ethyl = 9490 mL/g, Koc fluazifop butyl = 5700 mL/g, Koc quizalofop ethyl = 510 mL/g) και γι' αυτό η πιθανότητα έκπλυσής τους είναι μικρή. Αυτό όμως δεν ισχύει για τα οξέα τους (μετά από υδρόλυση των εστέρων) ή για τα ανιόντα τους (μετά από τη διάσπαση του υδρογόνου της καρβοξυλικής ομάδας των οξέων), τα οποία εκπλύνονται πιο εύκολα επειδή δεν προσροφώνται εξίσου ισχυρά με τους εστέρες στα κολλοειδή του εδάφους (WSSA, 2007). Η πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων νερών από τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής είναι μικρή, επειδή αυτά εφαρμόζονται σε μικρότερες δόσεις από ό,τι τα περισσότερα χρησιμοποιούμενα ζιζανιοκτόνα, αλλά και διότι ο χρόνος παραμονής τους στο έδαφος είναι σχετικά μικρός (1-3 μήνες). Η απομάκρυνσή τους από το έδαφος γίνεται κυρίως μέσω μικροβιακής αποδόμησης, ενώ οι απώλειές τους λόγω εξάτμισης ή/και φωτοχημικής διάσπασης κυμαίνονται από μη σημαντικές μέχρι μέτριες.

1.2.7 Κυκλοεξανδιόνες (Cyclohexanediones, CHD, -dims)

Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής είναι γνωστά και ως οξίμες (oximes). Το alloxylidim ήταν το πρώτο ζιζανιοκτόνο των κυκλοεξανδιονών που αναπτύχθηκε το 1976. Το 1983 ακολούθησε η ανάπτυξη του sethoxydim και στη συνέχεια των ζιζανιοκτόνων cycloxydim (1985), tralkoxydim (1987) και clefoxydim (ή profoxydim) (1995).

Τα ζιζανιοκτόνα sethoxydim, cycloxydim και clethodim χρησιμοποιούνται σε πλατύφυλλες καλλιέργειες, το tralkoxydim σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών και το clefoxydim (ή profoxydim) σε καλλιέργειες ρυζιού. Εφαρμόζονται μεταφυτρωτικά για την αντιμετώπιση ετήσιων και πολυετών αγρωστωδών ζιζανίων. Απορροφώνται κυρίως από τα φύλλα και μετακινούνται μέσω του συμπλάστη και του αποπλάστη στους υπέργειους και υπόγειους μεριστωματικούς ιστούς των φυτών. Αποτέλεσμα του μηχανισμού δράσης τους (αναστολή της βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων) είναι η χλώρωση των φυτών, η εμφάνιση ερυθρόχρωων φύλλων και βλαστών, η αναστολή της αύξησης των φυτών και τελικώς η νέκρωσή τους. Τα προαναφερθέντα συμπτώματα εκδηλώνονται εντός ολίγων ημερών από την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων, ενώ η νέκρωση των φυτών επέρχεται 1-2 εβδομάδες αργότερα.

Η ταυτόχρονη εφαρμογή τους, όπως προαναφέρθηκε, με ορισμένα ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση πλατύφυλλων κυρίως ζιζανίων και ανήκουν στις οικογένειες των φαινοξυαλκανοϊκών (π.χ, 2,4-D, MCPA, MCPP) και σουλφονουλουριών, ή με τα ζιζανιοκτόνα pyrithiobac και bentazon θα πρέπει να αποφεύγεται επειδή μειώνει την αποτελεσματικότητά τους εναντίον ορισμένων αγρωστωδών ζιζανίων.

1.2.8 Φαινυλοπυραζολίνες (Phenylpyrazoline, -den)

Το rinoxaden είναι το μόνο ζιζανιοκτόνο της οικογένειας των φαινυλοπυραζολινών που αναπτύχθηκε πρόσφατα (Hofer κ.ά. 2006). Χρησιμοποιείται μεταφυτρωτικά για την αντιμετώπιση ετήσιων αγρωστωδών ζιζανίων σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών. Απορροφάται κυρίως από τα φύλλα και μετακινείται μέσω του συμπλάστη και του αποπλάστη στους υπέργειους και υπόγειους μεριστωματικούς ιστούς των φυτών. Αποτέλεσμα του μηχανισμού δράσης του (αναστολή της βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων) είναι η χλώρωση των φυτών, η εμφάνιση ερυθρόχρωων φύλλων και βλαστών, η αναστολή της αύξησης των φυτών και τελικώς η νέκρωσή τους. Τα προαναφερθέντα συμπτώματα εκδηλώνονται εντός ολίγων ημερών από την εφαρμογή του, ενώ η νέκρωση των φυτών επέρχεται 1-2 εβδομάδες αργότερα.

Η εκλεκτικότητα του rinoxaden οφείλεται κυρίως στο μεταβολισμό του από τα καλλιεργούμενα φυτά, η οποία επιτυγχάνεται μόνον όταν αυτό εφαρμόζεται ταυτοχρόνως με την προστατευτική ουσία clonquitoset-mexyl (Hofer κ.ά., 2006).

Το rinoxaden συμπεριφέρεται στο έδαφος ως μη ιονιζόμενο μόριο (WSSA, 2007). Η προσρόφησή του από τα κολλοειδή του εδάφους είναι ικανοποιητική ($K_{oc} = 299-852$ mL/g) και γι' αυτό η πιθανότητα έκπλυσής του είναι σχετικώς μικρή. Η απομάκρυνσή του από το έδαφος γίνεται κυρίως μέσω υδρόλυσης, ενώ οι απώλειές του λόγω εξάτμισης ή/και

φωτοχημικής διάσπασης είναι μη σημαντικές. Ο χρόνος παραμονής του στο έδαφος είναι σχετικώς μικρός (1-3 μήνες).

1.3. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ

1.3.1 Ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς βιοσύνθεσης αμινοξέων με διακλαδιζόμενη αλυσίδα (ένζυμο ALS ή AHAS)

Η χρήση των ζιζανιοκτόνων της ομάδας αυτής (σουλφονουλουρίες, ιμιδαζολιόνες, πυριμιδυλβενζοϊκά, τριαζολοπυριμιδίνες, σουλφονυλαμινοκαρβονυλτριαζολιόνες) για περισσότερο από 25 έτη συνέβαλε στην ανάπτυξη 284 ανθεκτικών βιοτύπων που ανήκουν σε 95 είδη αγρωστωδών και πλατύφυλλων ζιζανίων (Hear, 2008). Ο μηχανισμός ανθεκτικότητας των περισσότερων βιοτύπων οφείλεται σε τροποποίηση του ενζύμου (θέση δράσης) ALS ή AHAS (συνθετάση του οξικογαλακτικού οξέος ή οξικογαλακτική συνθετάση). Το ένζυμο κωδικοποιείται εντός του πυρήνα και είναι το ένζυμο-κλειδί κατά τη βιοσύνθεση των αμινοξέων με διακλαδισμένη αλυσίδα ατόμων άνθρακα, βαλίνη, λευκίνη και ισολευκίνη εντός των χλωροπλαστών (όπου μεταφέρεται μέσω ενός πεπτιδίου-μεταφορέα).

Η τροποποίηση της θέσης δράσης (ανθεκτικό ένζυμο ALS ή AHAS) των προαναφερθέντων ζιζανιοκτόνων και η επακόλουθη ανάπτυξη ανθεκτικότητας ελέγχεται από ένα γονίδιο (Tranel κ.ά., 2006). Οι βιότυποι των ζιζανίων, με βάση τη θέση αντικατάστασης των αμινοξέων του ενζύμου ALS ή AHAS και την ως εκ τούτου ανάπτυξη ανθεκτικότητας ή σταυρανθεκτικότητας στα διάφορα ζιζανιοκτόνα, θα μπορούσαν να καταταγούν σε έξι ομάδες.

Συγκεκριμένα, η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει βιοτύπους ζιζανίων με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα που ανήκουν στην οικογένεια των ιμιδαζολινονών και ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα των σουλφονουλουριών και πυριμιδινυλβενζοϊκών. Η πρωτεϊνική εξέταση αυτών των βιοτύπων έδειξε ότι η ανθεκτικότητα του ενζύμου ALS ή AHAS συνδέεται με αντικατάσταση του αμινοξέος αλανίνη (Ala) στη θέση 122 από το αμινοξύ θρεονίνη (Thr) (Ala122-Thr).

Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει βιότυπους ζιζανίων με σταυρανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα των σουλφονουλουριών, πυριμιδινυλβενζοϊκών και τριαζολοπυριμιδινών, αλλά ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα των ιμιδαζολινονών. Η πρωτεϊνική εξέταση αυτών των βιοτύπων έδειξε ότι η ανθεκτικότητα του ενζύμου ALS ή AHAS συνδέεται με αντικατάσταση του αμινοξέος προλίνη (Pro) στη θέση 197 από διάφορα αμινοξέα [θρεονίνη (Thr), αλανίνη (Ala), αργινίνη (Arg), γλουταμίνη (Gln), σερίνη (Ser), ισολευκίνη (Ile), λευκίνη (Leu) ή ιστοιδίνη (His)] (Pro197-Ser κ.ά.). Η τροποποίηση αυτή παρέχει στους βιοτύπους αυτών των

ζιζανίων ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα των σουλφονουριών, επειδή η αντικατάσταση του αμινοξέος προλίνη (ευαίσθητοι βιότυποι) από άλλα αμινοξέα δεν επιτρέπει τη σύνδεσή τους (δημιουργία δεσμού υδρογόνου) με το ένζυμο ALS και ως εκ τούτου δεν αναστέλλεται η βιοσύνθεση των τριών προαναφερθέντων αμινοξέων. Αντίθετα, η τροποποίηση αυτή δεν παρέχει ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα των ιμιδαζολινονών, επειδή αυτά σχηματίζουν δεσμό με αμινοξέα άλλων θέσεων του ενζύμου AHAS [υδρόφοβο δεσμό με τρυπτοφάνη (Trp) στη θέση 574 ή με αλανίνη (Ala) στη θέση 122 και δεσμό υδρογόνου με σερίνη (Ser) στη θέση 653] (Preston και Mallory-Smith, 2001).

Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει βιότυπους ζιζανίων με ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα των σουλφονουριών και ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα των ιμιδαζολινονών, αλλά και βιότυπους με μέτρια σταυρανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα σουλφονουριών, ιμιδαζολινονών, πυριμιδινυλβενζοϊκών και τριαζολοπυριμιδινών. Η πρωτεϊνική εξέταση αυτών των βιοτύπων έδειξε ότι η ανθεκτικότητα του ενζύμου ALS ή AHAS συνδέεται με αντικατάσταση του αμινοξέος τρυπτοφάνη (Trp) στη θέση 574 από το αμινοξύ λευκίνη (Leu) (Trp573-Leu).

Η πέμπτη ομάδα περιλαμβάνει βιότυπους ζιζανίων με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα των ιμιδαζολινονών και ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα των σουλφονουριών και τριαζολοπυριμιδινών. Η πρωτεϊνική εξέταση αυτών των βιοτύπων έδειξε ότι η ανθεκτικότητα του ενζύμου ALS ή AHAS συνδέεται με αντικατάσταση του αμινοξέος σερίνη (Ser) στη θέση 653 από θρεονίνη (Thr) (Ser652-Thr) ή ασπαραγίνη (Asn) (Ser653-Asn).

Τέλος, η έκτη ομάδα περιλαμβάνει ένα είδος βλήτου (*Amaranthus hybridus* L.) με σταυρανθεκτικότητα σε όλα τα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της δράσης του ενζύμου ALS ή AHAS (Whaley κ.ά., 2007). Η πρωτεϊνική εξέταση αυτού του βιοτύπου αποκάλυψε ότι η ανθεκτικότητα του ενζύμου ALS ή AHAS οφείλεται σε αντικατάσταση του ασπαρτικού (Asp) από το γλουταμικό (Glu) στη θέση 376 (Asp376-Glu).

Επίσης, η ανθεκτικότητα ορισμένων βιοτύπων ζιζανίων δεν οφείλεται στην τροποποίηση της θέσης δράσης των ζιζανιοκτόνων (ανθεκτικό ένζυμο ALS ή AHAS) αλλά στην ικανότητα των φυτών για μεταβολισμό των ζιζανιοκτόνων μέσω υδροξυλίωσης [καταλύεται από το ένζυμο μονοοξυγονάση (CytP450)] και στη συνέχεια σχηματισμού συμπλόκου με γλυκόζη (Preston, 2004, Tranel κ.ά., 2006). Συγκεκριμένα, ένας βιότυπος του ζιζανίου *Lolium rigidum* είναι ήδη ανθεκτικός στο ζιζανιοκτόνο chlorsulfuron λόγω του προαναφερθέντος μηχανισμού μεταβολισμού (Christopher κ.ά., 1992).

1.3.2 Ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων (ένζυμο ACCase)

Η μακρόχρονη χρήση των ζιζανιοκτόνων των οικογενειών που εκδηλώνουν το συγκεκριμένο μηχανισμό δράσης (κυκλοεξανδιόνες, αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκά, φαινυλοπυραζολίνες) συνέβαλε στην ανάπτυξη 136 ανθεκτικών βιοτύπων που ανήκουν σε 35 είδη αγρωστωδών ζιζανίων (Hear, 2008). Ο μηχανισμός ανθεκτικότητας των περισσότερων βιοτύπων οφείλεται κυρίως σε ανθεκτικό ένζυμο ACCase (καρβοξυλάση του ακέτυλο-CoA) και δευτερευόντως σε υπερπαραγωγή του ευαίσθητου ενζύμου ACCase ή στο μεταβολισμό των ζιζανιοκτόνων εντός των φυτών που καταλύεται από μονοοξυγονάσες (GT) (Delye, 2005). Το ACCase είναι ένζυμο-κλειδί κατά τα πρώτα στάδια της διαδικασίας βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων αλλά και στόχος-θέση δράσης των προαναφερθέντων ζιζανιοκτόνων (Devine κ.ά., 1993).

Η ανθεκτικότητα των βιοτύπων λόγω ανθεκτικού ενζύμου ACCase οφείλεται στην αδυναμία σύνδεσης αυτού του ενζύμου με τα ζιζανιοκτόνα των δύο προαναφερθέντων οικογενειών και στην εκ τούτου μη αναστολή της βιοσύνθεσης των λιπαρών οξέων. Η ανθεκτικότητα αυτής της μορφής περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες βιοτύπων ζιζανίων (Delye, 2005). Σηγκεκριμένα, η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει βιοτύπους των ζιζανίων *Lolium rigidum*, *Alopecurus myosuroides*, *Avena sterilis* και *Setaria viridis* με μεγάλη ανθεκτικότητα στο sethoxydim (κυκλοεξανδιόνες), αλλά μικρότερη σταυρανθεκτικότητα σε άλλα ζιζανιοκτόνα των κυκλοεξανδιονών και των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών. Η πρωτεϊνική ανάλυση αυτών των βιοτύπων έδειξε ότι η ανθεκτικότητα του ενζύμου ACCase οφείλεται σε αντικατάσταση του αμινοξέος ισολευκίνη (ile) στη θέση 1781 από το αμινοξύ λευκίνη (Leu) (ile1781-Leu) (Σχήμα 7.4). Η ανθεκτικότητα αυτών των ζιζανίων εικάζεται ότι προήλθε κυρίως από την πίεση επιλογής του sethoxydim ή/και της πίεσης επιλογής των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών ζιζανιοκτόνων.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει βιότυπους των ζιζανίων *Lolium rigidum* (ήρα λεπτή) και *Alopecurus myosuroides* (αλεπονουρά) με μεγάλη ανθεκτικότητα στα περισσότερα αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκά ζιζανιοκτόνα, αλλά μικρότερη ή μη εμφανή σταυρανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα των κυκλοεξανδιονών. Η ανθεκτικότητα του ενζύμου ACCase αυτών των βιοτύπων οφείλεται σε αντικατάσταση του αμινοξέος τρυπτοφάνη (Trp) στη θέση 2027 από το αμινοξύ κυστεΐνη (Cys) (Trp2027-Cys), του αμινοξέος ισολευκίνη (ile) στη θέση 2041 από το αμινοξύ ασπαραγίνη (Asn) (ile2041-Asn) ή του αμινοξέος γλυκίνη (Gly) στη θέση 2096 από το αμινοξύ αλανίνη (Ala) (Gly2096-Ala).

Τέλος, η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει ένα βιότυπο του ζιζανίου *Alopecurus myosuroides* με σταυρανθεκτικότητα στα περισσότερα ζιζανιοκτόνα που ανήκουν στις

χημικές οικογένειες των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών και των κυκλοεξανδιονών. Η πρωτεϊνική ανάλυση έδειξε ότι η ανθεκτικότητα του ενζύμου ACCase αυτού του βιότυπου οφείλεται σε αντικατάσταση του ασπαρτικού οξέος (Asp) στη θέση 2078 από το αμινοξύ γλυκίνη (Gly) (Asp2078-Gly).

Η θέση σύνδεσης των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών ζιζανιοκτόνων και των κυκλοεξανδιονών με το ACCase των χλωροπλαστών (ή των προπλαστιδίων των ριζών) εικάζεται ότι βρίσκεται στην α- και β-καρβοξυλτρανσφεράση (Delye, 2005). Βέβαια, η θέση σύνδεσης των δύο οικογενειών ζιζανιοκτόνων με το ένζυμο ACCase είναι σε μεγάλο βαθμό κοινή (έχει μεγάλη επικάλυψη) αλλά δεν είναι ακριβώς ίδια. Έτσι άλλωστε εξηγείται και το γεγονός της ύπαρξης των προαναφερθέντων βιοτύπων ζιζανίων με ανθεκτικότητα στη μία οικογένεια και με μικρή ή μη εμφανή σταυρανθεκτικότητα στην άλλη οικογένεια ή των ζιζανιοκτόνων. Η διαφορά ευαισθησίας του ενζύμου ACCase (από ένα φυτό) στα ζιζανιοκτόνα των προαναφερθέντων οικογενειών ή των ισομορφών του ACCase (από διάφορα φυτά) σε ένα ζιζανιοκτόνο οφείλεται στις υφιστάμενες διαφορές μεταξύ των μορφών των ζιζανιοκτόνων, οι οποίες καθορίζουν και την ευκολία εισόδου και ακολούθως σύνδεσής τους με την α-και β-καρβοξυλτρανσφεράση του ACCase (Delye, 2005, Ελευθεροχωρινός, 2008).

Η ανθεκτικότητα ενός βιότυπου του ζιζανίου *Sorghum halepense* (βέλιουρας) αποδείχτηκε ότι δεν οφειλόταν σε ανθεκτικό ένζυμο ACCase στα ζιζανιοκτόνα των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών και των κυκλοεξανδιονών, αλλά στην τριπλάσια καταλυτική δράση του ACCase σε σύγκριση με εκείνη του ευαίσθητου βιότυπου. Αυτό δείχνει ότι η ανθεκτικότητα αυτού του βιότυπου ήταν αποτέλεσμα της υπερπαραγωγής του ενζύμου ACCase ή της καλύτερης δράσης του (Delye, 2005).

Μερικοί βιότυποι των ζιζανίων *Lolium rigidum* και *Avena sterilis* είναι ανθεκτικοί στο ζιζανιοκτόνο diclofor-methyl λόγω της ικανότητας των φυτών για μεταβολισμό του ζιζανιοκτόνου [υδροξυλίωση που καταλύεται από το ένζυμο μονοοξυγονάση (CytP450)]. Επίσης, βιότυποι των ζιζανίων *Alopecurus myosuroides* και *Echinochloa phyllorogon* είναι ανθεκτικοί στο ζιζανιοκτόνο fenoxarpor-p-ethyl λόγω του προαναφερθέντος μηχανισμού μεταβολισμού, αλλά και ένα βιότυπος του ζιζανίου *Digitaria sanguinalis* (αιματόχορτο) είναι ανθεκτικός στο ζιζανιοκτόνο fluazifor-p-butyl λόγω του ίδιου μηχανισμού μεταβολισμού (Preston, 2004). Τέλος, μερικοί βιότυποι των ζιζανίων *Lolium* spp. και *Alopecurus myosuroides* είναι ανθεκτικοί στα ζιζανιοκτόνα των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών και κυκλοεξανδιονών λόγω της ικανότητας των φυτών για μεταβολισμό των ζιζανιοκτόνων που

καταλύεται από τα ένζυμα γλουταθειόνη-S-τρανσφεράση (GST) και γλυκοζυλτρανσφεράση (GT) (Delye, 2005).

Μερικοί βιότυποι των ζιζανίων *Lolium rigidum* και *Avena fatua* εικάζεται ότι οφείλουν την ανθεκτικότητά τους στο ζιζανιοκτόνο diclofor-methyl στην ικανότητα των κυτταρικών μεμβρανών τους να μην υφίσταται αποδιοργάνωση (ή στην ικανότητα των φυτών να επιδιορθώνουν τις κυτταρικές μεμβράνες) μετά την εφαρμογή αυτού του ζιζανιοκτόνου (Delye, 2005).

Ορισμένα αγρωστώδη είδη (*Festuca rubra*, *Festuca ovina*, *Poa annua*, *Vulpia bromoides*) είναι ανθεκτικά στα ζιζανιοκτόνα των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών και κυκλοεξανδιονών όχι λόγω ανάπτυξης ενός εκ των προαναφερθέντων μηχανισμών ανθεκτικότητας εξαιτίας της πίεσης επιλογής. Τα είδη αυτά είχαν εξαρχής (πριν από την έκθεσή τους σε αυτά τα ζιζανιοκτόνα) φυσική αντοχή που οφειλόταν σε ανθεκτικό ένζυμο ACCase (Delye, 2005). Η μοριακή βάση (αλληλολουχία αμινοξέων του ACCase) αυτής της αντοχής δεν έχει ακόμη προσδιοριστεί.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

2.1 Προέλευση και συλλογή σπόρων του ζιζανίου ανεμόχορτο

Πραγματοποιήθηκε επιτόπια έρευνα (Beckie κ.ά., 2000) κατά την περίοδο των μηνών Απριλίου-Μαΐου κατά το έτος 2013, σε σιτοπαραγωγικές περιοχές των Νομών Κοζάνης και Καστοριάς (Δυτική Μακεδονία) με αφορμή τα παράπονα που εξέφρασαν παραγωγοί των περιοχών για μειωμένη αποτελεσματικότητα στην αντιμετώπιση του ζιζανίου ανεμόχορτο. Η ανεπαρκής (μη ικανοποιητική) καταπολέμηση των βιοτύπων του ζιζανίου προέκυψε μετά από την πραγματοποίηση μεταφυτρωτικής εφαρμογής, κυρίως των ζιζανιοκτόνων chlorsulfuron και iodosulfuron methyl και mesosulfuron methyl (ανήκουν στη χημική οικογένεια των σουλφονουριών και δρουν ως αναστολείς του ενζύμου οξικογαλακτική συνθετάση (ALS, AcetoLactate Synthase).

Κατά την επιτόπια έρευνα επισημάνθηκαν αγροί καλλιέργειας χειμερινών σιτηρών, στους οποίους η αντιμετώπιση του ζιζανίου δεν ήταν ικανοποιητική και η κατανομή των φυτών που επιβίωσαν των επεμβάσεων των ζιζανιοκτόνων δικαιολογούσε την πιθανή ανάπτυξη ανθεκτικότητας, καθώς ήταν λιγότερο πιθανό να αποδοθεί σε μη ορθή εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. Συγκεκριμένα, ήταν ευδιάκριτη η παρουσία εντοπισμένων θέσεων (κηλίδων) εντός των σιταγρών και όχι πληθυσμοί φυτών του ζιζανίου που ήταν συγκεντρωμένοι σε κατά μήκος 'λωρίδες' στους σιταγρούς, διάταξη η οποία παραπέμπει/υποδηλώνει αστοχία κατά την εκτέλεση του ψεκασμού (στιγμαία έμφραξη κάποιων ακροφυσίων που δεν επέτρεψε την έξοδο του ψεκαστικού υγρού και την έκθεση των φυτών στις δραστικές ουσίες των ζιζανιοκτόνων ή παράλειψη διέλευσης του ψεκαστικού μηχανήματος από κάποια σημεία του καλλιεργούμενου αγρού).

Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου και πριν τη συγκομιδή του σιταριού (τέλη Ιουνίου-αρχές Ιουλίου) επαναλήφθηκε η επίσκεψη στους προεπιλεγέντες σιταγρούς. Συλλέχθηκαν σπόροι από φυτά ανεμόχορτου που επιβίωσαν των επεμβάσεων των ζιζανιοκτόνων chlorsulfuron και iodosulfuron methyl και mesosulfuron methyl. Επιπλέον, συλλέχθηκαν σπόροι από φυτά του ζιζανίου που αναπτύσσονταν σε περιοχές/θέσεις που δεν δέχονταν επεμβάσεις ζιζανιοκτόνων (περιθώρια καλλιεργούμενων αγρών, μη καλλιεργούμενες εκτάσεις, άκρες δρόμων), ώστε να χρησιμοποιηθούν ως ευαίσθητοι μάρτυρες. Αυτό θα επέτρεπε τη σύγκρισή τους με τους ύποπτους βιότυπους που για πιθανή ανάπτυξη ανθεκτικότητας.

Οι σπόροι των φυτών κάθε αγρού ή μη καλλιεργούμενης έκτασης χαρακτηρίστηκαν ως διαφορετικός «βιότυπος». Οι σπόροι που συγκομίστηκαν τοποθετήθηκαν αρχικά σε μεγάλες πλαστικές σακούλες και αμέσως μετά σε χάρτινες για τη μεταφορά τους στο εργαστήριο όπου παρέμειναν για διάστημα αρκετών ημερών για αεροξήρανση. Στη συνέχεια αλωνίστηκαν και διατηρήθηκαν σε ξηρή αποθήκευση (θερμοκρασία περίπου 20°C) μέχρι τη χρησιμοποίησή τους κατά την εκτέλεση των πειραμάτων.

2.2 Πειράματα φυτοδοχείων

Τα πειράματα έγιναν σε φυτοδοχεία διαστάσεων 9 x 9 x 9 cm τα οποία περιείχαν μίγμα άμμου και τύρφης (1:1). Σε κάθε φυτοδοχείο τοποθετήθηκαν 20-25 σπόροι ανεμόχορτου επί της επιφάνειας του εδαφικού μίγματος και ακολούθως καλύφθηκαν με 0,5 cm περίπου, του ίδιου εδαφικού μίγματος. Τα φυτοδοχεία, μετά τη σπορά, τοποθετήθηκαν σε ειδικά διαμορφωμένο υπαίθριο χώρο προστατευμένο με δίχτυ. Η ανάπτυξη των φυτών του ζιζανίου πραγματοποιήθηκε υπό φυσικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Ένα μήνα περίπου μετά τη σπορά πραγματοποιήθηκε το φύτευμα των σποροφύτων του ζιζανίου, ενώ, μετά από παρέλευση δύο εβδομάδων ακολούθησε προσεκτικό αραίωμα, ώστε τελικά, να παραμείνουν πέντε ομοιόμορφης ανάπτυξης φυτά ανά φυτοδοχείο. Η κανονική ανάπτυξη των φυτών του ζιζανίου και η κάλυψη των αναγκών τους σε θρεπτικά στοιχεία επιτεύχθηκε με εφαρμογή πλήρους διαφυλλικού λιπάσματος (N:P:K, 20:10:10) δύο φορές την εβδομάδα, ενώ η άρδευση πραγματοποιούνταν σύμφωνα με τις ανάγκες των φυτών σε νερό.

Η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων πραγματοποιήθηκε μεταφυτρωτικά όταν τα φυτά του ανεμόχορτου βρίσκονταν στο στάδιο των 5-6 φύλλων (2-3 αδέρφια, Πίνακας 2). Η εφαρμογή των επεμβάσεων πραγματοποιήθηκε με επιστήθιο ψεκαστήρα ακριβείας AZO, ο οποίος έφερε ιστό πλάτους 2,4 m και έξι ακροφύσια τύπου ριπιδίου 8002. Ο ψεκαστήρας ακριβείας ήταν ρυθμισμένος κατά τρόπο ώστε να εφαρμόζει όγκο ψεκαστικού υγρού 30 lt/στρ. και να λειτουργεί με σταθερή πίεση ψεκασμού 280 kPa.

Το πειραματικό σχέδιο που επιλέχθηκε ήταν πλήρως τυχαιοποιημένο και κάθε συνδυασμένος παράγοντας (βιότυπος x δόση ζιζανιοκτόνου) είχε τρεις επαναλήψεις (φυτοδοχεία). Το κάθε πείραμα επαναλήφθηκε δύο φορές (επανάληψη στο χρόνο), ενώ κάθε εβδομάδα γινόταν τυχαιοποίηση των φυτοδοχείων, ώστε όλα τα φυτά να αναπτύσσονται εκτεθειμένα στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος.

Εναντίον των βιοτύπων του ανεμόχορτου για τους οποίους διερευνήθηκε η πιθανή ανάπτυξη ανθεκτικότητας, αξιολογήθηκαν τα ζιζανιοκτόνα clodinafor-propargyl (σκεύασμα Topik, 240EC, 240g δ.ο. L⁻¹ clodinafor-propargyl, Syngenta Hellas) (4,1, 4,1+ dimethoate,

16,4 32,8 65,6 g/στρ.), clethodim (σκεύασμα Vetri 24 EC, 240g δ.ο. L⁻¹ K+N clethodim, Ευθυμιάδη ΑΒΕΕ) (24, 24+Ο/Φ, 96, 192, 384 g/στρ.), pinoxaden (σκεύασμα Axial 100 EC, 100g δ.ο. L⁻¹ pinoxaden; Syngenta Hellas) (4,5 4,5+ dimethoate, 18, 36, 72 g/στρ.), το ετοιμόχρηστο μίγμα των σουλφονουλουριών mesosulfuron-methyl και iodosulfuron methyl-sodium (σκεύασμα Hussar maxx WG; 30 and 30 g δ.ο. Kg⁻¹, Bayer CropScience Hellas) (0,75+0,75, 0,75+0,75+dimethoate, 3+3, 6+6, 12+12 g/στρ.), pyroxsulam (σκεύασμα Senior 75WG, 75g g δ.ο. Kg⁻¹ pyroxsulam, ΕΛΑΝΚΟ ΕΛΛΑΣ) (1,875, 1,875+ dimethoate, 3,75, 7,5, 15). Στον Πίνακα 1 αναφέρονται η χημική οικογένεια, το κοινό όνομα, οι δόσεις εφαρμογής και οι επιφανειοδραστικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα διερεύνησης της ύπαρξης ανθεκτικότητας στους επιλεγέντες βιοτύπους του ζιζανίου ανεμόχορτο.

Η αξιολόγηση των επεμβάσεων των ζιζανιοκτόνων έγινε ένα μήνα μετά την πραγματοποίηση των επεμβάσεων. Βαθμολογήθηκαν μακροσκοπικά τα συμπτώματα φυτοτοξικότητας που εμφάνισαν τα φυτά που δέχθηκαν τις επεμβάσεις σε σύγκριση με τον απέκαστο μάρτυρα. Επίσης, ζυγίστηκε το νωπό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών, πάντα σε σύγκριση με φυτά του κάθε βιότυπου που δεν δέχθηκαν επεμβάσεις.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων του πειράματος διερεύνησης της ύπαρξης και ταυτόχρονα της έντασης ανθεκτικότητας έγινε με τη μέθοδο ANOVA. Τα δεδομένα [νωπό βάρος των φυτών εκφρασμένο επί τοις εκατό (%) του απέκαστου μάρτυρα] αναλύθηκαν χωριστά για κάθε ζιζανιοκτόνο. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η παραγοντική προσέγγιση 2 x 5 x 17 x 3 [δύο πειράματα x 5 δόσεις εφαρμογής x 17 πληθυσμοί του ζιζανίου ανεμόχορτο x τρεις επαναλήψεις]. Επειδή η συνδυασμένη ανάλυση παραλλακτικότητας των δεδομένων δεν έδειξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των επεμβάσεων και του χρόνου πραγματοποίησης των πειραμάτων, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των δύο πειραμάτων. Η σύγκριση των μέσων όρων πραγματοποιήθηκε με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Ε.Σ.Δ.), σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

Πίνακας 2. Χημική οικογένεια, κοινό όνομα, δόσεις εφαρμογής των ζιζανιοκτόνων και επιφανειοδραστικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν στις επεμβάσεις των πειραμάτων διερεύνησης ανάπτυξης ανθεκτικότητας.

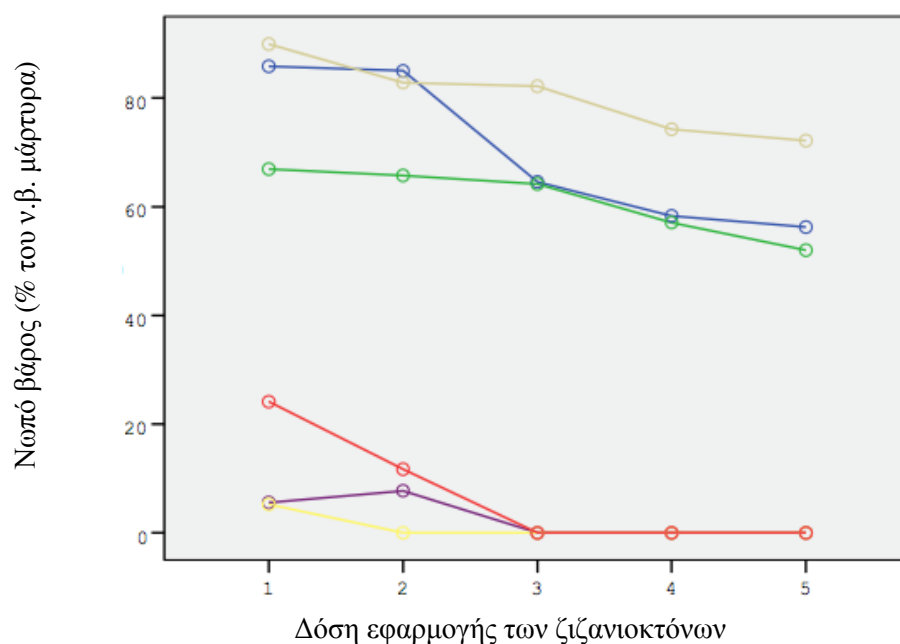
Χημική οικογένεια	Κοινό όνομα ζιζανιοκτόνου	Δόση εφαρμογής (g δ.ο./στρ)	Επιφανειοδραστικές ουσίες
Αρυλοφαινοξυαλκανοϊκά	Clodinafor propargyl	4,1 4,1+O/Φ 16,4 32,8 65,6	Atplus (0.5% o/o) Paraffinic oil 60% β/o
Κυκλοεξανδιόνες	Clethodim	24 24+O/Φ 96 192 384	Atplus (0.5% o/o) Paraffinic oil 60% β/o
Φαυνυλοπυραζολίνες	Pinoxaden	4 4+O/Φ 16 32 64	Adigor (0.5% o/o) Methylated oilseed rape
Σουλφονουρίες	Chlorsulfuron	0,15 0,15+O/Φ 0,30 0,60 1,2	Biopower (0.25% o/o) Alkylethersulfate sodium salt 26.92% β/β
	Mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl-sodium	0,75+0,75 0,75+0,75+ O/Φ 3+3 6+6 12+12	Biopower (0.25% o/o) Alkylethersulfate sodium salt 26.92% β/β
Τριαζολοπυριμιδίνες	Pyroxsulam	1,875 1,875+O/Φ 3,75 7,5 15	Biopower (0.25% o/o) Alkylethersulfate sodium salt 26.92% β/β

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο βιότυπος 1 του ζιζανίου δεν καταπολεμήθηκε ικανοποιητικά από κανένα από τα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ALS. Συγκεκριμένα, μετά την εφαρμογή της συνιστώμενης (x) δόσης του ετοιμόχρηστου μίγματος των ζιζανιοκτόνων mesosulfuron και iodosulfuron το χλωρό βάρος των φυτών ήταν 85.8% εκείνου του αψέκαστου μάρτυρα. Η τετραπλάσια (4x) δόση εφαρμογής συνετέλεσε σε παραγωγή χλωρού βάρους 64.6% εκείνης του μάρτυρα, ενώ η εφαρμογή της υψηλότερης δόσης εφαρμογής (16x), προκάλεσε μόλις 43,7% μείωση του χλωρού βάρους των ψεκασθέντων φυτών του βιοτύπου. Αντίστοιχα, το χλωρό βάρος των φυτών του βιοτύπου που εκτέθηκαν στην συνιστώμενη, τετραπλάσια και 16απλάσια δόση εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron ήταν 89,9, 82.2 και 72.2, συγκρινόμενο με το αντίστοιχο του αψέκαστου μάρτυρα. Ελαφρώς καλύτερη, αλλά όχι αποδεκτή εικόνα παρουσίασε το χλωρό βάρος των φυτών που ψεκάστηκαν με το ζιζανιοκτόνο rygoxulam. Η συνιστώμενη, τετραπλάσια και 16απλάσια δόση εφαρμογής του συνετέλεσε στην παραγωγή χλωρού βάρους 66.9, 64.2 και 52%, αντίστοιχα, συγκρινόμενο με το χλωρό βάρος των φυτών του αψέκαστου μάρτυρα.

Αντίθετα, ο βιότυπος 1 καταπολεμήθηκε αποτελεσματικά με τα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου καρβοξυλάση του ακέτυλο-CoA (ACCase). Η εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του ζιζανιοκτόνου rinoxaden είχε σαν αποτέλεσμα μείωση του χλωρού βάρους των φυτών κατά 94.4% σε σύγκριση με τον αψέκαστο μάρτυρα, ενώ η 4πλάσια, 8πλάσια και 16πλάσια δόση συνετέλεσε σε καθολική νέκρωση των φυτών. Ομοίως, η συνιστώμενη δόση του αρυλοφαινοξυαλκανοϊκού ζιζανιοκτόνου clodinafor propargyl συνετέλεσε σε ανάπτυξη φυτών ίση με το 5.3% του αψέκαστου μάρτυρα, ενώ και οι πολλαπλάσιες δόσεις νέκρωσαν όλα τα φυτά που εκτέθηκαν στις επεμβάσεις. Η ίδια περίπτωση εικόνα καταγράφηκε με την εφαρμογή της κυκλοεξανδιόνης clethodim (μόνο η συνιστώμενη δόση μείωσε το χλωρό βάρος των φυτών κατά 76%, συγκρινόμενη με το χλωρό βάρος των αψέκαστων φυτών του βιοτύπου). Τα αποτελέσματα των επεμβάσεων (πέντε δόσεις εφαρμογής) των 6 ζιζανιοκτόνων εναντίον του πρώτου βιότυπου του ζιζανίου ανεμόχορτο παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.1.

Εικόνα 3.1. Γραφική αναπαράσταση της συμπεριφοράς του βιοτύπου 1 στα έξι ζιζανιοκτόνα και τις πέντε δόσεις εφαρμογής που αξιολογήθηκαν

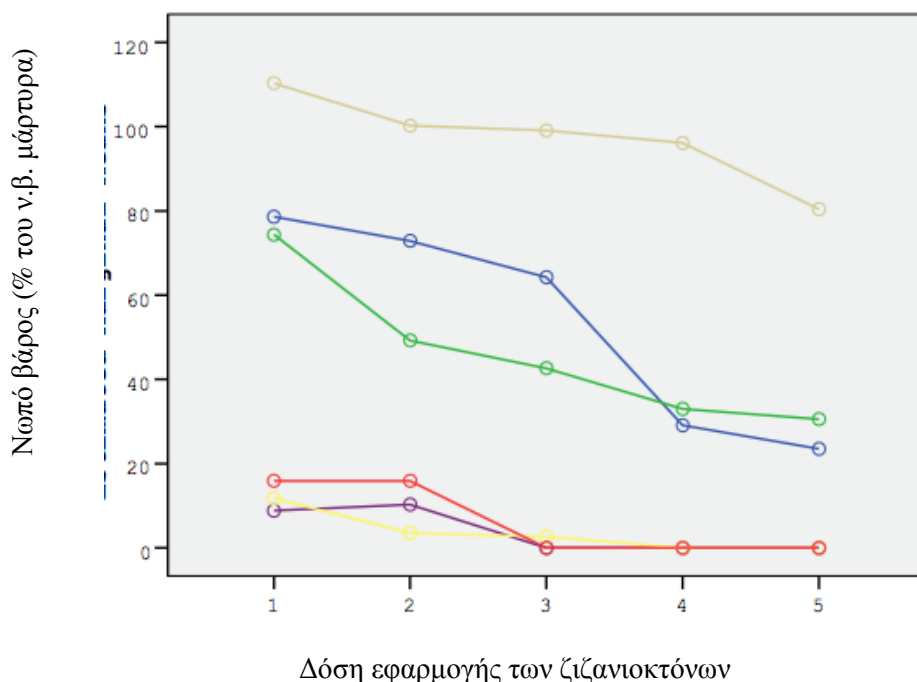


Ο βιότυπος 2 του ζιζανίου χαρακτηρίστηκε από εξαιρετικά υψηλή ανθεκτικότητα έναντι του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron, αλλά και υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας και στα άλλα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ALS. Ειδικότερα, η συνιστώμενη δόση του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron δεν επέφερε καμία μείωση στο χλωρό βάρος των ψεκασμένων φυτών. Αντίθετα το χλωρό βάρος των φυτών που εκτέθηκαν στη συνιστώμενη δόση εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου ήταν 10% περίπου υψηλότερο από το αντίστοιχο των φυτών του αφέκαστου μάρτυρα. Επίσης, η τετραπλάσια δόση του chlorsulfuron συνετέλεσε σε παραγωγή χλωρού βάρους όσο και εκείνη του μάρτυρα, ενώ και οι σημαντικά υψηλότερες δόσεις εφαρμογής (8πλάσια και 16πλάσια) προκάλεσαν μείωση του χλωρού βάρους κατά μόλις 4% και 20%, αντίστοιχα. Η εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του μίγματος των ζιζανιοκτόνων mesosulfuron και iodosulfuron συνετέλεσε σε παραγωγή χλωρού βάρους αντίστοιχη με ποσοστό 79% περίπου, εκείνης του αφέκαστου μάρτυρα. Επίσης, η εφαρμογή του οργανοφωσφορικού εντομοκτόνου ταυτόχρονα με τη συνιστώμενη δόση των ζιζανιοκτόνων δεν συνετέλεσε σε μεγαλύτερη φυτοτοξικότητα σε βάρος των φυτών του ζιζανίου. Ακόμα και η εφαρμογή της 4πλάσιας δόσης προκάλεσε μείωση του χλωρού βάρους κατά μόλις και μόνο οι εξαιρετικά υψηλές δόσεις (8x, 16x) προκάλεσαν σημαντική καταστολή της παραγωγής χλωρού βάρους των φυτών (29.1% και 23.5%, αντίστοιχα). Η τριαζολοπυριμιδίνη rygoxulam επέτρεψε ανάπτυξη υπέργειου τμήματος (παραγωγή

χλωρού βάρους) 74.3% συγκρινόμενη με τον αφέκαστο μάρτυρα ενώ αξιοσημείωτη μείωση του χλωρού βάρους σημειώθηκε με την ταυτόχρονη εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου και του εντομοκτόνου dimethoate (μόλις 49.3% ανάπτυξης αυτής του μάρτυρα). Οι δύο υψηλές δόσεις προκάλεσαν παραπλήσια επίπεδα καταπολέμησης των φυτών του δεύτερου βιοτύπου (μείωση χλωρού βάρους κατά 67% και 70% περίπου, αντίστοιχα).

Ο δεύτερος βιότυπος του ζιζανίου διατήρησε υψηλή ευαισθησία σε όλα τα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ACCase που αξιολογήθηκαν στο πείραμα. Συγκεκριμένα, το χλωρό βάρος των φυτών του βιοτύπου που εκτέθηκαν στη συνιστώμενη δόση εφαρμογής των τριών ζιζανιοκτόνων (rinoxaden, clodinafor propargyl και clethodim) ήταν 8.9, 11.8 και 15.9%, αντίστοιχα. Οι πολλαπλάσιες δόσεις των ζιζανιοκτόνων νέκρωσαν πλήρως όλα τα φυτά του βιοτύπου που εκτέθηκαν στις επεμβάσεις. Η ανταπόκριση του 2ου βιοτύπου του ανεμόχορτου στα έξι ζιζανιοκτόνα και τις 5 διαφορετικές δόσεις εφαρμογής τους παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2.

Εικόνα 3.2. Γραφική αναπαράσταση της συμπεριφοράς του 2^{ου} βιοτύπου στα έξι ζιζανιοκτόνα και τις πέντε δόσεις εφαρμογής που αξιολογήθηκαν.

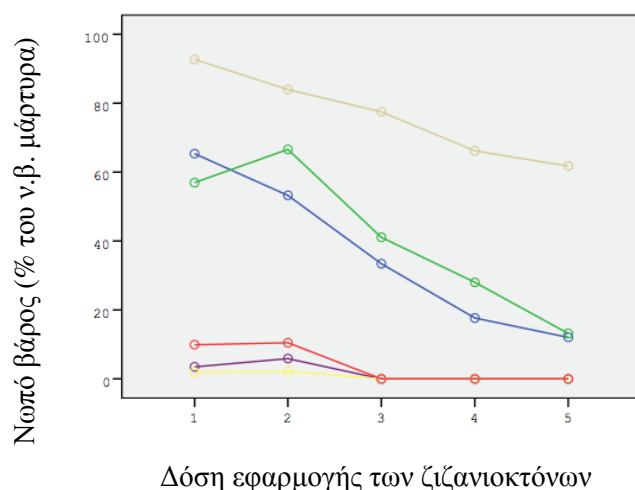


Ο 4^{ος} βιότυπος του ζιζανίου χαρακτηρίστηκε από πολύ υψηλή ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο chlorsulfuron και μέτρια επίπεδα μειωμένης ευαισθησίας, μόνο στη συνιστώμενη δόση εφαρμογής των δύο άλλων αναστολέων του ενζύμου ALS (mesosulfuron και iodosulfuron, pyroxsulam). Πιο αναλυτικά, η μείωση που προκάλεσε στο χλωρό βάρος των φυτών του βιοτύπου η έκθεσή τους στη συνιστώμενη δόση του chlorsulfuron δεν

ξεπέρασε το 7%, συγκρινόμενη με την βλαστική ανάπτυξη (παραγωγή χλωρού βάρους) των φυτών του μάρτυρα. Το χλωρό βάρος που απέκτησαν τα φυτά που εκτέθηκαν στην ταυτόχρονη εφαρμογή των chlorsulfuron και dimethoate ήταν 84% του αψέκαστου μάρτυρα, στοιχείο που υποδηλώνει απουσία μηχανισμού μεταβολικής ανθεκτικότητας στα φυτά του βιοτύπου. Ταυτόχρονα, οι υψηλές δόσεις εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου απέτυχαν πλήρως να ελέγξουν αποτελεσματικά τα φυτά του 4^{ου} βιοτύπου του ζιζανίου ανεμόχορτο. Η 4πλάσια (4x) της συνιστώμενης δόση προκάλεσε μείωση του χλωρού βάρους κατά 23.5%, η 8πλάσια (8x) δόση προκάλεσε μείωση 34%, ενώ η δόση 16x μείωσε το χλωρό βάρος των φυτών του 4^{ου} βιοτύπου κατά 38%, περίπου.

Όπως και στους προηγούμενους βιοτύπους του ζιζανίου, ο 4^{ος} βιότυπος παρουσίασε υψηλή ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα του άλλου μηχανισμού δράσης (rinoxaden, clodinafor propargyl και clethodim). Καταγράφηκαν πολύ υψηλά επίπεδα καταπολέμησης, ακόμα και με την εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης (παραγωγή χλωρού βάρους 3.5%, 1.9% και 9.9% αυτής του αψέκαστου μάρτυρα, αντίστοιχα). Όταν τα φυτά εκτέθηκαν στις υψηλότερες δόσεις των ζιζανιοκτόνων-αναστολέων του ενζύμου ACCase (4x, 8x, 16x) προκλήθηκε πλήρη νέκρωσή τους. Η ανταπόκριση των φυτών του 4^{ου} βιοτύπου του ζιζανίου ανεμόχορτο στα έξι ζιζανιοκτόνα και τις 5 δόσεις εφαρμογής τους φαίνονται στην Εικόνα 3.3.

Εικόνα 3.3. Γραφική αναπαράσταση της συμπεριφοράς του βιοτύπου 4 στα έξι ζιζανιοκτόνα και τις πέντε δόσεις εφαρμογής που αξιολογήθηκαν

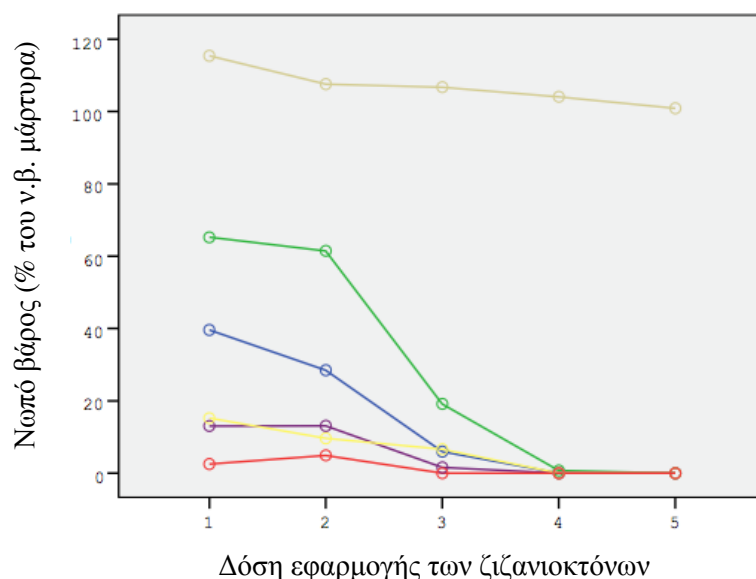


Ο 5^{ος} βιοτύπος παρουσίασε επίσης εξαιρετικά υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας σε όλες τις δόσεις μεταφυτρωτικής εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron. Πιο αναλυτικά, η εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του ζιζανιοκτόνου δεν προκάλεσε καμία μείωση στην παραγωγή του χλωρού βάρους των ψεκασθέντων φυτών. Αντίθετα, καταγράφηκε αυξημένη παραγωγή χλωρού βάρους κατά 15%, σε σύγκριση με τον αψέκαστο μάρτυρα. Η ταυτόχρονη εφαρμογή του chlorsulfuron μαζί με το οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο dimethoate δεν προκάλεσε καμία αύξηση της επίπτωσης (μείωση χλωρού βάρους, εκδήλωση συμπτωμάτων καταστολής/φυτοτοξικότητας) στα φυτά του 5^{ου} βιοτύπου (παραγωγή χλωρού βάρους 108% περίπου του αψέκαστου μάρτυρα). Οι υψηλότερες δόσεις εφαρμογής δεν διαφοροποίησαν καθόλου την ανταπόκριση των φυτών στην έκθεσή τους στο ζιζανιοκτόνο chlorsulfuron, αφού και η δόση 16x συνετέλεσε σε παραγωγή χλωρού βάρους αντίστοιχη του αψέκαστου μάρτυρα). Η ανθεκτικότητα δεν επεκτάθηκε στο μίγμα των σουλφονουλουριών mesosulfuron και iodosulfuron, καθώς μόνο η συνιστώμενη δόση προκάλεσε μείωση του παραγόμενου χλωρού βάρους κατά 60% περίπου. Επίσης, μια διαφοροποίηση καταγράφηκε με την ταυτόχρονη εφαρμογή του μίγματος με το dimethoate καθώς σημειώθηκε μείωση του χλωρού βάρους κατά 10% σε σύγκριση με την απλή εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. Αυτό υποδηλώνει την πιθανή παρουσία σε φυτά του 5^{ου} βιοτύπου του ζιζανίου, ενζύμων που προκαλούν σε κάποιο ενδεχομένως μικρό ποσοστό μεταβολισμό (διάσπαση) των ζιζανιοκτόνων, καθώς η δράση τους αναστέλλεται από την παρουσία οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων. Αντίθετα, η δόση 4x των mesosulfuron και iodosulfuron, προκάλεσε ισχυρότατη καταστολή των φυτών (παραγωγή χλωρού βάρους μόλις 6%, συγκρινόμενη με αυτή του αψέκαστου μάρτυρα), ενώ οι δόσεις 8x και 16x νέκρωσαν πλήρως τα ψεκασθέντα φυτά. Η έκθεση των φυτών του βιοτύπου στην τριαζολοπυριμιδίνη rygoxulam συνετέλεσε σε παραγωγή χλωρού βάρους 65% και 61.5% αυτής του αψέκαστου μάρτυρα, στη συνιστώμενη δόση εφαρμογής και στην ταυτόχρονη εφαρμογή με το εντομοκτόνο, αντίστοιχα). Η τετραπλάσια της συνιστώμενης δόση εφαρμογής (4x) του rygoxulam προκάλεσε περίπου 80% μείωση του χλωρού βάρους των φυτών, ενώ οι ακόμα υψηλότερες δόσεις (8x και 16x) δόσεις προκάλεσαν τη νέκρωση των φυτών (αποτελεσματικότητα καταπολέμησης 100%).

Οι επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων-αναστολέων του ενζύμου ACCase χαρακτηρίστηκαν από υψηλή αποτελεσματικότητα εναντίον των φυτών του βιοτύπου 5. Πιο αναλυτικά, η εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του ζιζανιοκτόνου ripoxaden μείωσε την παραγωγή χλωρού βάρους κατά 87%, ενώ οι πολλαπλάσιες δόσεις του ripoxaden προκάλεσαν νέκρωση των φυτών. Τέλος, εξαιρετικά αποτελέσματα προκάλεσε η εφαρμογή

της συνιστώμενης δόσης των ζιζανιοκτόνων clodinafor propargyl και clethodim με μείωση 85% και 95% αντίστοιχα. Ενώ οι πολλαπλάσιες δόσεις προκάλεσαν την νέκρωση των φυτών. Η ανταπόκριση του βιοτύπου 5 του ανεμόχορτου στις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων που αξιολογήθηκαν στις 5 δόσεις εφαρμογής φαίνονται στην εικόνα 3.4.

Εικόνα 3.4. Γραφική αναπαράσταση της συμπεριφοράς του βιοτύπου 5 στα έξι ζιζανιοκτόνα και τις πέντε δόσεις εφαρμογής που αξιολογήθηκαν.

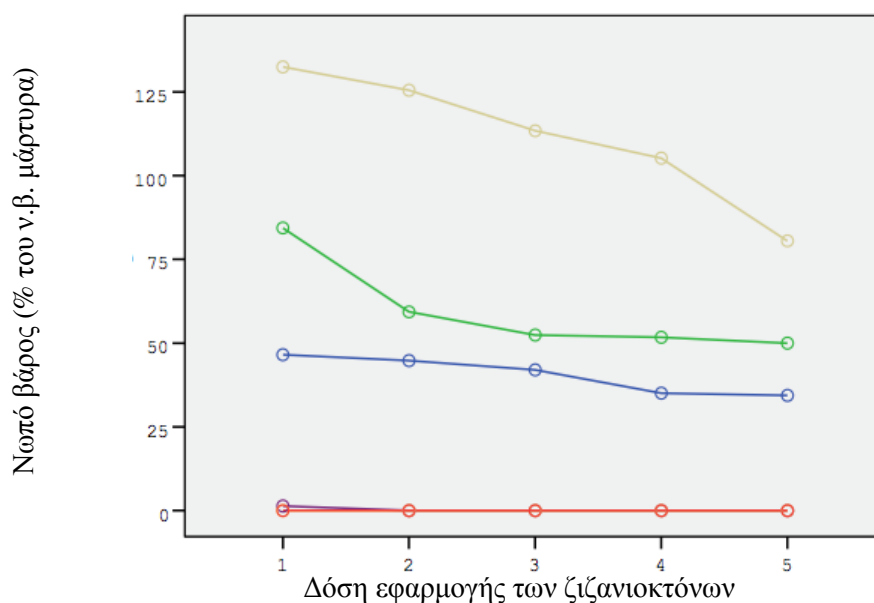


Ο βιότυπος 14 του ζιζανίου παρουσίασε επίσης εξαιρετικά υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας στο chloresulfuron, καθώς η συνιστώμενη (x) δόση δεν προκάλεσε καμία μείωση στην παραγωγή χλωρού βάρους των φυτών. Αντίθετα, τα ψεκασθέντα φυτά παρήγαγαν 32% περίπου, περισσότερη βιομάζα σε σύγκριση με τα αψέκαστα φυτά του μάρτυρα. Ακόμα και οι δόσεις 4x και 8x συνετέλεσαν σε παραγωγή χλωρού βάρους 13% και 5%, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα φυτά του μάρτυρα που δεν δέχθηκαν επέμβαση του ζιζανιοκτόνου.

Μόνο η πολύ υψηλή δόση (16x) προκάλεσε μείωση της παραγόμενης υπέργεια βιομάζας, μόλις κατά 20% (ανάπτυξη αντίστοιχη του 80.5% του αψέκαστου μάρτυρα). Η καταπολέμηση του βιοτύπου 14 από το μίγμα των σουλφονουλουριών mesosulfuron και iodosulfuron δεν ήταν ικανοποιητική, υποδηλώνοντας εξελισσόμενη (αναδυόμενη) ανθεκτικότητα. Συγκεκριμένα, η συνιστώμενη δόση εφαρμογής συνετέλεσε σε παραγωγή χλωρού βάρους αντίστοιχου του 46.5% του αψέκαστου μάρτυρα. Η ταυτόχρονη έκθεση των φυτών στο οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο dimethoate δεν επηρέασε καθόλου την

ανταπόκρισή τους στη συνιστώμενη δόση του μίγματος των δύο ζιζανιοκτόνων. Η συνδυασμένη αυτή μεταχείριση προκάλεσε μείωση του χλωρού βάρους των φυτών κατά μόλις 1.7% περισσότερο (μη στατιστικά σημαντική) σε σύγκριση με την συνιστώμενη δόση εφαρμογής. Η τετραπλάσια (4x), οκταπλάσια (8x) και δεκαεξαπλάσια (16x) δόση εφαρμογής δεν διέφεραν σημαντικά στην επίπτωση που επέφεραν στη μείωση του χλωρού βάρους των φυτών του βιοτύπου. Συγκεκριμένα, η παραγωγή υπέργειας βιομάζας των φυτών ήταν 42%, 35% και 34.4%, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα φυτά του αφέκαστου μάρτυρα. Μικρότερη αποτελεσματικότητα χαρακτήρισε τις επεμβάσεις της τριαζολοπυριμιδίνης ρυγοxulam, εναντίον των φυτών του συγκεκριμένου βιοτύπου. Η έκθεσή τους στη συνιστώμενη δόση (x), την τετραπλάσια (4x) και οκταπλάσια (8x) δόση του ζιζανιοκτόνου συνετέλεσε σε παραγωγή χλωρού βάρους που αντιστοιχούσε σε ποσοστό 84.4%, 52.4% και 51.7%, αντίστοιχα. Επίσης, η εφαρμογή δόσης 16x του ρυγοxulam προκάλεσε μείωση κατά 50% της ανάπτυξης των φυτών του ζιζανίου, συγκριτικά με εκείνη του αφέκαστου μάρτυρα (Εικ. 3.5).

Εικόνα 3.5. Γραφική αναπαράσταση της συμπεριφοράς του βιοτύπου 14 στα έξι ζιζανιοκτόνα και τις πέντε δόσεις εφαρμογής που αξιολογήθηκαν.



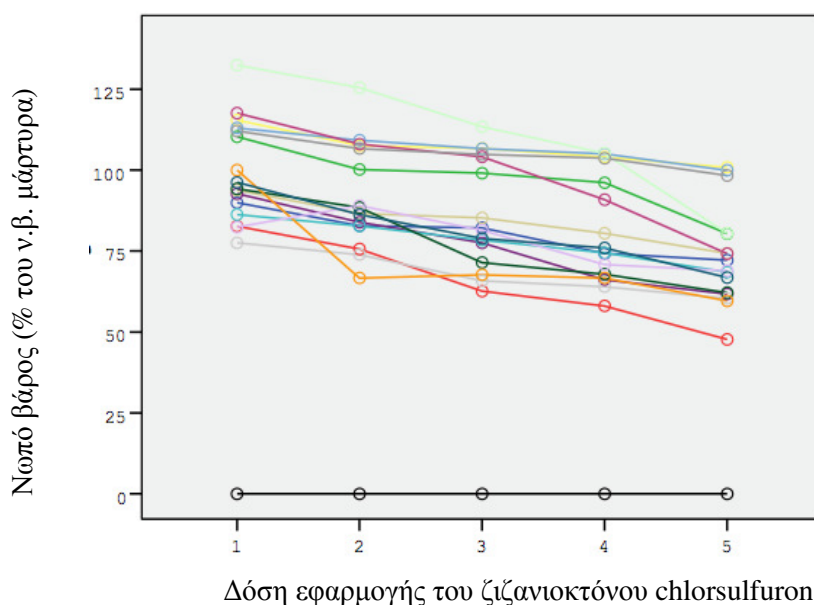
Ο ευαίσθητος βιότυπος του ζιζανίου καταπολεμήθηκε άριστα από όλες τις δόσεις (συνιστώμενες, πολλαπλάσιες της συνιστώμενης), όλων των ζιζανιοκτόνων που αξιολογήθηκαν. Ο βιότυπος αυτός προήλθε από περιοχή που δεν είχε δεχθεί ποτέ

επεμβάσεις ζιζανιοκτόνων (είτε αναστολέων του ενζύμου ALS, είτε αναστολέων του ενζύμου ACCase). Συνεπώς, διατηρούσε πολύ υψηλή ευαισθησία στις δραστικές ουσίες, κάτι που επιβεβαιώθηκε μετά την πραγματοποίηση των επεμβάσεων.

Συνολική αξιολόγηση της συμπεριφοράς (ανταπόκρισης) των βιοτύπων του ζιζανίου που μελετήθηκαν στα 6 μεταφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα που αξιολογήθηκαν

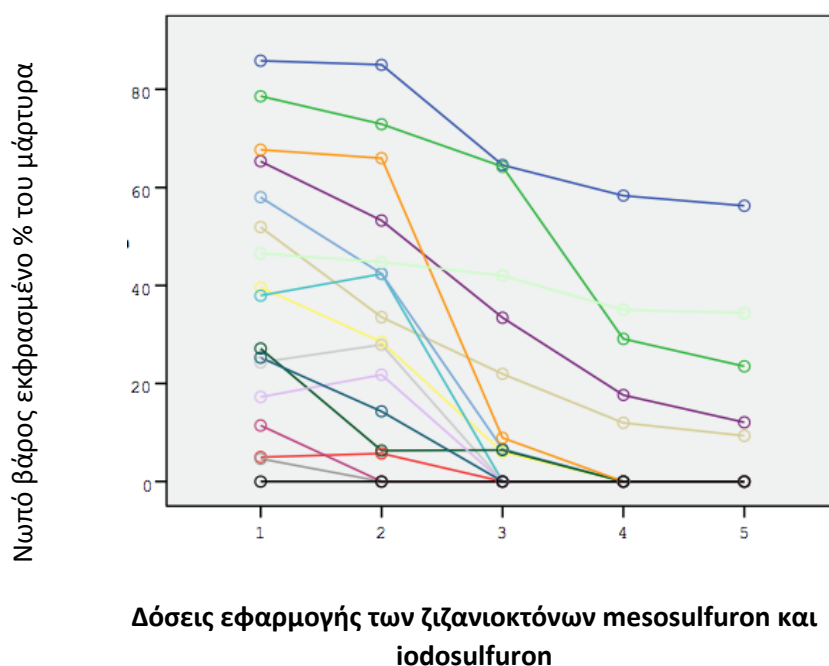
Στη γραφική παράσταση που ακολουθεί (Εικ. 3.6) αποτυπώνεται η ανταπόκριση των βιοτύπων ανεμόχορτου που αξιολογήθηκαν στην παρούσα μελέτη, στις πέντε δόσεις (x, x+οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο, 4x, 8x, 16x) εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron. Διαπιστώνεται η ολότελα ανεπαρκής καταπολέμηση που το καθιστά ακατάλληλο για διαχείριση των πληθυσμών του ζιζανίου στις καλλιέργειες χειμερινού σιταριού των περιοχών δυτικής Μακεδονίας όπου αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Μόνο ο εγνωσμένα ευαίσθητος βιότυπος του ζιζανίου καταπολεμήθηκε άριστα από όλες τις συνιστώμενες δόσεις εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου. Ενδεχομένως, η ανεπαρκής αποτελεσματικότητά του ακόμα και σε εξαιρετικά υψηλές δόσεις εφαρμογής οφείλεται εν μέρει και στην πραγματοποίηση μεταφυτρωτικών επεμβάσεων (η δράση του μειώνεται σημαντικά ιδιαίτερα έναντι των αγρωστωδών ζιζανίων όταν δεν γίνεται προφυτρωτική εφαρμογή του).

Εικόνα 3.6. Γραφική αναπαράσταση της ανταπόκρισης των βιοτύπων ανεμόχορτου, στις πέντε δόσεις εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron.



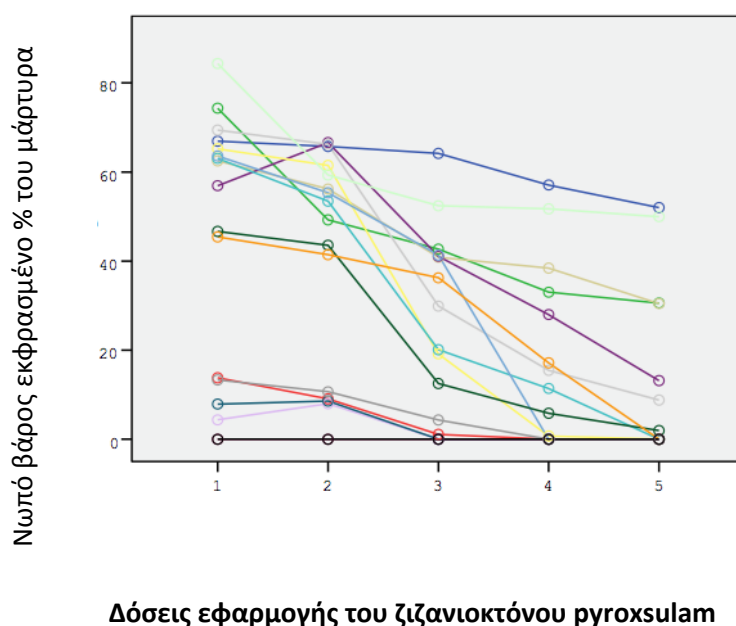
Η επόμενη γραφική παράσταση (Εικ. 3.7) καταγράφει την ανταπόκριση των βιοτύπων ανεμόχορτου που αξιολογήθηκαν στην παρούσα μελέτη, στις πέντε δόσεις (x, x+οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο, 4x, 8x, 16x) εφαρμογής του μίγματος των ζιζανιοκτόνων mesosulfuron και iodosulfuron. Διαπιστώνεται ότι ορισμένοι βιότυποι δεν καταπολεμήθηκαν ακόμα και μετά από έκθεσή τους σε δόσεις εφαρμογής τετραπλάσιες και οκταπλάσιες (4x, 8x) της συνιστώμενης. Σε έναν αριθμό βιοτύπων η καταπολέμησή τους ήταν μέτρια (μη ικανοποιητική) μετά από εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης, αλλά και μετά από την ταυτόχρονη εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων και του οργανοφωσφορικού εντομοκτόνου. Όμως, η υψηλότερες δόσεις αποδείχθηκαν αποτελεσματικές, υποδηλώνοντας ότι δεν επιλέχθηκε σε αυτούς τους βιότυπους ανθεκτικότητα λόγω τροποποίησης της θέσης δράσης. Στην περίπτωση αυτή, η ένταση ανθεκτικότητας είναι πολύ υψηλή και τα φυτά δεν νεκρώνονται ακόμα και μετά την έκθεσή τους σε πάρα πολύ υψηλές δόσεις των δραστικών ουσιών. Επίσης, ένας αριθμός βιοτύπων αποδείχθηκε ευαίσθητος, καθώς καταπολεμήθηκε άριστα ακόμα και από τη συνιστώμενη δόση εφαρμογής.

Εικόνα 3.7. Γραφική αναπαράσταση της ανταπόκρισης των βιοτύπων ανεμόχορτου, στις πέντε δόσεις εφαρμογής του μίγματος των ζιζανιοκτόνων mesosulfuron+iodosulfuron.



Εξάλλου στο διάγραμμα της εικόνας 3.8 καταγράφεται η ανταπόκριση των βιοτύπων του ανεμόχορτου στην τριαζολοπυριμιδίνη rygoxulam. Τα γενικά συμπεράσματα είναι παραπλήσια με εκείνα που προέκυψαν για το μίγμα των σουλφονουριών mesosulfuron και iodosulfuron. Οι περισσότεροι βιότυποι αποδείχθηκαν ευαίσθητοι, ορισμένοι καταπολεμήθηκαν ανεπαρκώς από τις χαμηλότερες και πολύ αποτελεσματικότερα από τις υψηλότερες δόσεις εφαρμογής. Όμως, υπήρξαν και ορισμένοι βιότυποι (όπως ο 1^{ος}) που δεν παρουσίασαν αποδεκτά επίπεδα καταπολέμησης, ούτε μετά από εφαρμογή δόσεων, πολλαπλάσιων της συνιστώμενης. Συνολικά, το rygoxulam φαίνεται να αποτελεί μια ακόμα αξιόπιστη λύση για τους περισσότερους βιότυπους του ζιζανίου ανεμόχορτο που μολύνουν τους σιταγρούς περιοχών της δυτικής Μακεδονίας.

Εικόνα 3.8. Γραφική αναπαράσταση της ανταπόκρισης των βιοτύπων του ανεμόχορτου στην τριαζολοπυριμιδίνη rygoxulam.

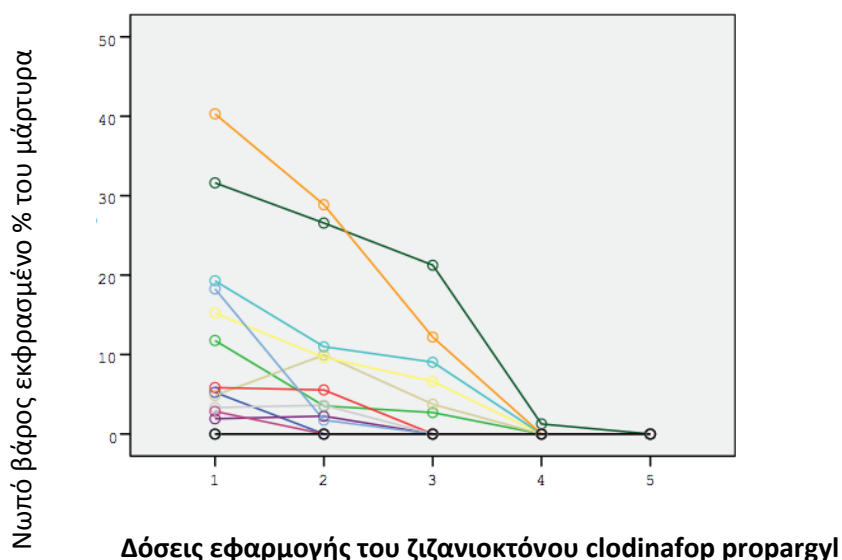


Δόσεις εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου rygoxulam

Η γραφική παράσταση της εικόνας 3.9 αποτυπώνει τη συμπεριφορά των βιοτύπων του ανεμόχορτου μετά την έκθεσή τους στις πέντε δόσεις εφαρμογής (x, x+οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο, 4x, 8x, 16x) του αρυλοφαινολυαλκανοϊκού ζιζανιοκτόνου clodinafop propargyl. Η πλειοψηφία των βιοτύπων αποδείχθηκαν εξαιρετικά ευαίσθητοι (και μόνο η συνιστώμενη δόση εφαρμογής νέκρωσε πλήρως τα φυτά του ανεμόχορτου). Μόνο δύο βιότυποι δεν είχαν άριστη καταπολέμηση από τη συνιστώμενη και τη συνδυασμένη εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου με το οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο. Οι

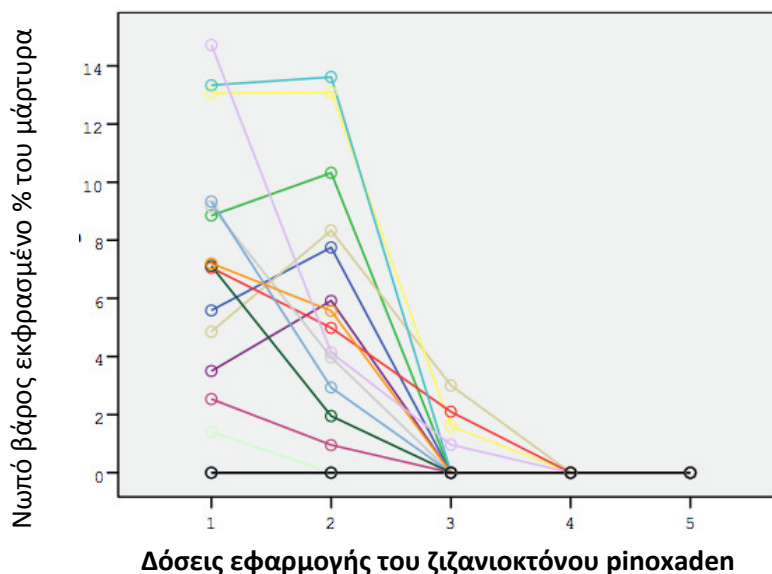
συγκεκριμένοι βιότυποι χρειάστηκε να εκτεθούν στην 4πλάσια της συνιστώμενης δόση του clodinafor propargyl για να μειωθεί δραστικά το χλωρό βάρος των ψεκασθέντων φυτών, ενώ οι πολύ υψηλές δόσεις νέκρωσαν τα φυτά. Η επιλογή του μπορεί να αποτελέσει μια εξαιρετικά αξιόπιστη λύση για την άριστη καταπολέμηση των βιοτύπων ανεμόχορτου της δυτικής Μακεδονίας. Ταυτόχρονα, διαθέτει σημαντικό εύρος καταπολέμησης αγρωστωδών ζιζανίων (μίλιο, αγριοβρώμη, φάλαρη, αλεπονουρά, ήρα), γεγονός που επιτρέπει την διαχείριση των αγρωστωδών ζιζανίων που μολύνουν τα χειμερινά σιτηρά της χώρας.

Εικόνα 3.9. Γραφική αναπαράσταση της συμπεριφοράς των βιοτύπων του ανεμόχορτου μετά την έκθεσή τους στις πέντε δόσεις εφαρμογής του αρυλοφαινολυαλκανοϊκού ζιζανιοκτόνου clodinafor propargyl.



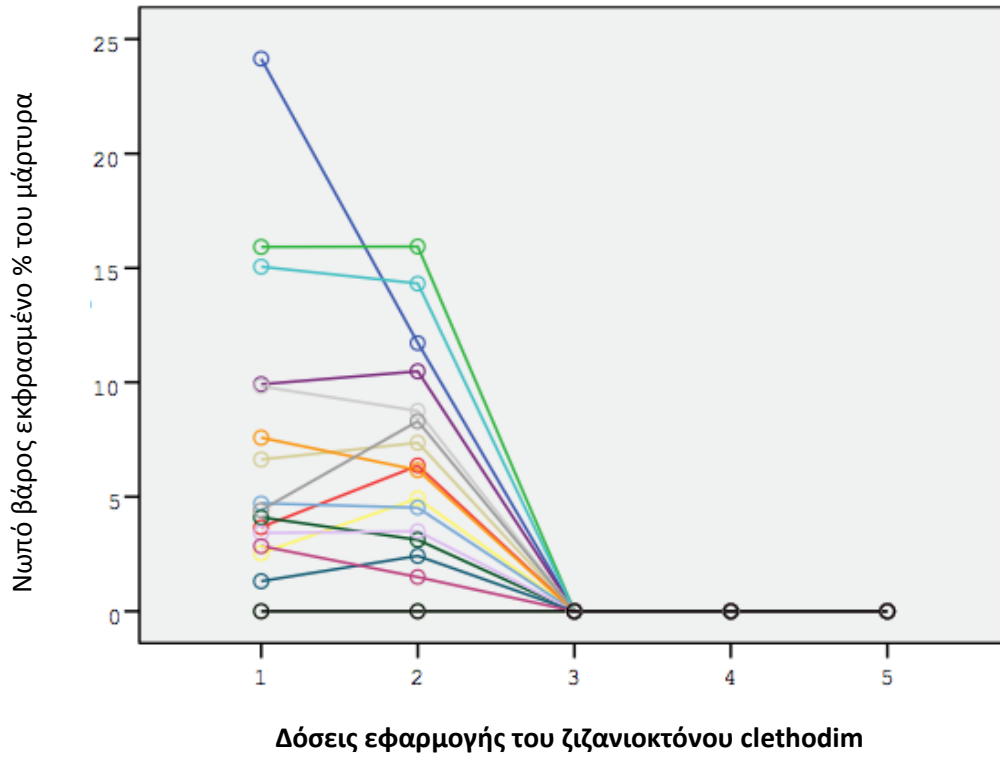
Η γραφική παράσταση στην εικόνα 3.10 καταδεικνύει την ανταπόκριση των βιοτύπων ανεμόχορτου μετά την εφαρμογή της συνιστώμενης και των πολλαπλάσιων αυτής δόσεων της φαινολοπυραζολίνης ripoxaden. Οι βιότυποι παρουσίασαν υψηλή ευαισθησία, καθιστώντας το νέο αυτό ζιζανιοκτόνο άριστη επιλογή για την αποτελεσματική διαχείρισή τους. Επιπλέον, το ελέγχει αποτελεσματικά στους περισσότερους βιοτύπους.

Εικόνα 3.10. Γραφική αναπαράσταση της ανταπόκρισης των βιοτύπων ανεμόχορτου μετά την εφαρμογή της συνιστώμενης και των πολλαπλάσιων αυτής δόσεων της φαινυλοπυραζολίνης *rinoxaden*.



Στην εικόνα 3.11 απεικονίζεται η γραφική παράσταση που αποτυπώνει τη συμπεριφορά των βιοτύπων του ανεμόχορτου που αξιολογήθηκαν μετά την έκθεσή τους στη συνιστώμενη και τις πολλαπλάσιες δόσεις εφαρμογής της κυκλοεξανδιόνης *clethodim*. Το ζιζανιοκτόνο καταπολέμησε άριστα ακόμα και στη συνιστώμενη δόση όλους τους βιοτύπους, με μόνη εξαίρεση τον 1^ο βιότυπο που η παραγωγή χλωρού βάρους των ψεκασθέντων φυτών αντιστοιχούσε στο 25% περίπου εκείνης του αφέκαστου μάρτυρα. Η ταυτόχρονη εφαρμογή του οργανοφωσφορικού εντομοκτόνου *dimethoate* δεν επηρέασε σημαντικά τη συμπεριφορά (εκδήλωση συμπτωμάτων φυτοτοξικότητας και τελικά νέκρωσή τους) του αγρωστωδοκτόνου εναντίον των βιοτύπων του ζιζανίου. Η τετραπλάσια της συνιστώμενης δόση εφαρμογής προκάλεσε την πλήρη νέκρωση των ψεκασθέντων φυτών, όλων των βιοτύπων. Συμπερασματικά, όσο αναφορά στο ζιζανιοκτόνο *clethodim*, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με υψηλή αποτελεσματικότητα για την αντιμετώπιση των βιοτύπων του ζιζανίου σε πλατύφυλλες χειμερινές ή εαρινές καλλιέργειες, εκεί όπου έχει εγκεκριμένη χρήση. Έτσι, μπορούν να εναλλάσσονται δραστικές ουσίες με υψηλή αποτελεσματικότητα εναντίον του ζιζανίου, εγκεκριμένες σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών και χειμερινών ψυχανθών, ενταγμένες σε κατάλληλο σύστημα αμψεισποράς.

Εικόνα 3.11. Γραφική αναπαράσταση της συμπεριφοράς των βιοτύπων ανεμόχορτου μετά την εφαρμογή της συνιστώμενης και των πολλαπλάσιων αυτής δόσεων της κυκλοεξανδιόνης clethodim.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την παραπάνω μελέτη καταδεικνύουν ότι ορισμένοι βιότυποι του ζιζανίου ανεμόχορτο προερχόμενοι από περιοχές μονοκαλλιέργειας σιτηρών της δυτικής Μακεδονίας ανέπτυξαν ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο chlorsulfuron. Το συγκεκριμένο ζιζανιοκτόνο χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια παρέχοντας ιδιαίτερα αποτελεσματικό έλεγχο των πλατύφυλλων και ικανοποιητική καταστολή σημαντικών αγρωστωδών ζιζανίων. Η παρατεταμένη εφαρμογή του σε συνδυασμό με την απουσία συστήματος αμειψισποράς (μονοκαλλιέργεια σιτηρών) συνετέλεσε στην επιλογή των ανθεκτικών βιοτύπων του ζιζανίου. Επίσης, αν και συστήνεται τόσο για προφυτρωτικές όσο και για μεταφυτρωτικές επεμβάσεις, αποδείχθηκε ότι η δράση του εναντίον των αγρωστωδών ζιζανίων μεταφυτρωτικά είναι πολύ εξασθενημένη, καθώς ακόμα και βιότυποι που συλλέχθηκαν από τα περιθώρια αγρών (βιότυποι 12 και 13) δεν καταπολεμήθηκαν ικανοποιητικά. Συνεπώς, στις περιπτώσεις που επιλέγεται η εφαρμογή του chlorsulfuron είναι απαραίτητη η εκτέλεση προφυτρωτικών επεμβάσεων, όταν στο εύρος των ζιζανίων που πρέπει να καταπολεμηθούν συγκαταλέγονται και αγρωστώδη ζιζάνια (ήρα, ανεμόχορτο, μίλιο, αλεπονουρά).

Επίσης, ορισμένοι από τους βιότυπους που παρουσίασαν ανθεκτικότητα στο chlorsulfuron χαρακτηρίζονταν από μειωμένη ευαισθησία και σε άλλα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου οξικογαλακτική συνθετάση (ALS). Τόσο το μίγμα των σουλφονουλουριών (mesosulfuron και iodosulfuron, μέλη της ίδιας χημικής οικογένειας με το chlorsulfuron), όσο και η δραστική ουσία pyroxulam (που ανήκει σε διαφορετική χημική οικογένεια, τις τριαζολοπυριμιδίνες), δεν αντιμετώπισαν αποτελεσματικά αρκετούς βιοτύπους του ζιζανίου ανεμόχορτο. Αυτό υποδηλώνει την ανάπτυξη σταυρανθεκτικότητας (διασταυρωτής ανθεκτικότητας) σε αυτούς τους βιοτύπους, αχρηστεύοντας στην ουσία την δυνατότητα χρησιμοποίησης για την καταπολέμησή τους όλες τις δραστικές ουσίες με τον ίδιο μηχανισμό δράσης. Τα δεδομένα της εργασίας βρίσκονται σε συμφωνία με διεθνή δεδομένα από δημοσιευμένες εργασίες που μελέτησαν βιοτύπους του ζιζανίου σε χώρες της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης για πιθανή επιλογή ανθεκτικότητας. Στις μελέτες αυτές καταγράφηκε υψηλή ανθεκτικότητα στο chlorsulfuron στη συντριπτική πλειοψηφία των πληθυσμών που αξιολογήθηκαν και σημαντικά μικρότερος αριθμός βιοτύπων με ταυτόχρονη ανθεκτικότητα σε άλλα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ALS.

Αντίθετα, όλοι οι βιότυποι που μελετήθηκαν χαρακτηρίστηκαν από υψηλή ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ACCase. Οι βιότυποι του ανεμόχορτου καταπολεμήθηκαν άριστα τόσο από το αρυλοφαινοξυαλκανοϊκό ζιζανιοκτόνο

clodinafor propargyl, όσο και από την φαινυλοπυραζολίνη pinoxaden, και την κυκλοεξανδιόνη clethodim. Το πρώτο ζιζανιοκτόνο χρησιμοποιείται για περισσότερα από 30 χρόνια στη χώρα μας για την καταπολέμηση ετήσιων αγρωστωδών ζιζανίων (αγριοβρώμη, ήρα, αλεπονουρά, φάλαρη, μίλιο) στις καλλιέργειες χειμερινού σιταριού. Η παρατεταμένη εφαρμογή του clodinafor propargyl εναντίον σημαντικών αγρωστωδών ζιζανίων, προκάλεσε την επιλογή ανθεκτικών βιοτύπων αγριοβρώμης και ήρας. Όμως, όπως αποδεικνύει η παρούσα μελέτη, η αποτελεσματικότητά του παραμένει υψηλή εναντίον των βιοτύπων του ανεμόχορτου. Ενδεχομένως, λόγω των προβλημάτων που αντιμετώπισαν οι παραγωγοί στην καταπολέμηση βιοτύπων αγριοβρώμης τα τελευταία χρόνια, στράφηκαν στα υψηλής αποτελεσματικότητας εναντίον της αγριοβρώμης/ήρας ζιζανιοκτόνα mesosulfuron και iodosulfuron και pyroxulam. Αυτό συνετέλεσε στη μείωση της πίεσης επιλογής που ασκήθηκε από το clodinafor στους βιοτύπους του ανεμόχορτου, ενώ ταυτόχρονα επέφερε την επιλογή ανθεκτικότητας στα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου οξικογαλακτική συνθεάση (ALS).

Άριστη καταπολέμηση των βιοτύπων του ανεμόχορτου προέκυψε από την εφαρμογή όλων των δόσεων του νέου ζιζανιοκτόνου των χειμερινών σιτηρών (σιταριού και κριθαριού) pinoxaden. Η νέα αυτή δραστική ουσία ελέγχει αποτελεσματικά και βιοτύπους αγριοβρώμης που ανέπτυξαν ανθεκτικότητα στα αρυλοφαινοξυαλκανοϊκά ζιζανιοκτόνα (clodinafor propargyl, fenoxarrop-p-ethyl, diclofor-methyl), ενώ χαρακτηρίζεται από πολύ καλή δράση εναντίον της λεπτής ήρας (*Lolium rigidum*) που παρουσιάζει τα μεγαλύτερα προβλήματα καταπολέμησης στις καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών της χώρας (Παπαπαναγιώτου κ.ά., 2015). Συνεπώς, μπορεί να αποτελέσει μια άριστη επιλογή τόσο για την αποτελεσματική καταπολέμηση βιοτύπων ανεμόχορτου με μειωμένη ευαισθησία σε σουλφονουλουρίες/τριαζολοπυριμιδίνες, όσο και ενός ευρέος φάσματος αγρωστωδών ζιζανίων στις καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών.

Η παρούσα μελέτη κατέδειξε επίσης ότι το ζιζανιοκτόνο clethodim (μέλος της χημικής οικογένειας των κυκλοεξανδιονών) χαρακτηρίζονταν από υψηλή αποτελεσματικότητα εναντίον των βιοτύπων του ανεμόχορτου που μελετήθηκαν. Το clethodim δεν χρησιμοποιείται στις καλλιέργειες των χειμερινών σιτηρών της χώρας (δεν διαθέτει εκλεκτικότητα, η εφαρμογή του θα προκαλούσε έντονα συμπτώματα φυτοτοξικότητας και νέκρωση των καλλιεργούμενων αγρωστωδών ειδών). Έχει εγκεκριμένη χρήση για την καταπολέμηση ετήσιων και πολυετών αγρωστωδών ζιζανίων σε πλατύφυλλες καλλιέργειες. Αξιολογήθηκε όχι μόνο ως μέλος της 3^{ης} χημικής οικογένειας ζιζανιοκτόνων με μηχανισμό δράσης την αναστολή του ενζύμου ACCase (καρβοξυλάση του ακέτυλοCoA),

αλλά και για να διαπιστωθεί αν θα μπορούσε να αξιοποιηθεί σε ένα σύστημα αμειψισποράς στο οποίο τα χειμερινά σιτηρά θα εναλλάσσονταν με χειμερινά ψυχανθή ή με χειμερινή καλλιέργεια ελαιοκράμβης. Καταδείχθηκε ότι όποιο μέλος της χημικής οικογένειας των κυκλοεξανδίων έχει έγκριση σε κάποια από αυτές τις καλλιέργειες μπορεί να ελέγξει με υψηλή αποτελεσματικότητα τους πληθυσμούς που αναπτύσσει το ανεμόχορτο στους καλλιεργούμενους αγρούς. Έτσι, επιτυγχάνεται στρατηγική μείωσης της ισχυρής πίεσης επιλογής που ασκούν τα ζιζανιοκτόνα αναστολείς του ενζύμου ALS που μπορούν να επιλέξουν ανθεκτικούς βιοτύπους/πληθυσμούς ζιζανίων μετά από 4 μόλις εφαρμογές. Αυτό συνέβει και στην περίπτωση κάποιων βιοτύπων ανεμόχορτου από σιταγρούς της δυτικής Μακεδονίας, που επιλέχθηκαν μετά από εφαρμογή των μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων mesosulfuron και iodosulfuron και pyroxsulam.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από την πραγματοποιηθείσα μελέτη είναι ότι η αποτελεσματική διαχείριση των ζιζανίων και η εξασφάλιση ικανοποιητικών αποδόσεων και αειφορίας στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας πρέπει να βασίζεται στην εναλλαγή των καλλιεργειών. Ο σχεδιασμός της αμειψισποράς επιτρέπει την αξιοποίηση ενός σημαντικού εύρους ζιζανιοκτόνων που παρουσιάζουν διαφορετικό μηχανισμό δράσης. Έτσι, δεν ασκείται ισχυρή, έντονη πίεση επιλογής στους πληθυσμούς των ζιζανίων, δεν επιλέγονται γρήγορα και δεν οικοδομούνται υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας αφού τα μειωμένης ευαισθησίας φυτά που επιβιώνουν των αρχικών επεμβάσεων, νεκρώνονται από επεμβάσεις δραστικών ουσιών με διαφορετικό μηχανισμό δράσης που πραγματοποιούνται την επόμενη καλλιεργητική περίοδο. Αυτή η στρατηγική διασφαλίζει επιβράδυνση, ακόμα και αποτυχία επιλογής και επακόλουθης ανάδυσης ανθεκτικών βιοτύπων ζιζανίων εντός των καλλιεργειών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ



Εικόνα Ι.1 Όψη του πειράματος που πραγματοποιήθηκε στον προαύλιο χώρο του Τμήματος



Εικόνα 1.2 Εξελισσόμενη ανθεκτικότητα στον βióτυπο 2 του ζιζανίου. Κάποια φυτά νεκρώθηκαν, ενώ άλλα αναπτύσσονται ανεπηρέαστα αν και εκτέθηκαν σε δόση 16 φορές μεγαλύτερη της συνιστώμενης του ζιζανιοκτόνου ryoxsulam



Εικόνα 1.3 Εξελισσόμενη ανθεκτικότητα στον βιότυπο 3. Κάποια φυτά νεκρώθηκαν, ενώ άλλα αναπτύσσονται ανεπηρέαστα αν και εκτέθηκαν σε δόση 16 φορές μεγαλύτερη της συνιστώμενης του ζιζανιοκτόνου mesosulfuron και iodosulfuron



Εικόνα 1.4 Σιταγρός στο χωριό Γαλάτεια (Ν. Κοζάνης) από τον οποίο συλλέχθηκε βιοτύπος του ζιζανίου ανεμόχορτο που αξιολογήθηκε στη μελέτη διερεύνησης ανάπτυξης ανθεκτικότητας



Εικόνα 1.5 Καστανός μεταχρωματισμός, ερυθριάσεις και τελικά πλήρης νέκρωση των φυτών ανεμόχορτου, ακόμα και μετά από εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του ζιζανιοκτόνου *clodinafop propargyl*



Εικόνα 1.6 Ο βιότυπος 1 παρουσίασε υψηλά επίπεδα σταυρανθεκτικότητας τόσο στο μίγμα mesosulfuron και iodosulfuron (2^η-6^η τριάδα φυτοδοχείων) όσο και στο chlorsulfuron (7^η-11^η τριάδα φυτοδοχείων). Η 1^η τριάδα αποτελεί τον αψέκαστο μάρτυρα



Εικόνα 1.7 Η ανταπόκριση του βióτυπου 1 στις πέντε δόσεις εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου rygoxulam (2^η-6^η τριάδα φυτοδοχείων) και στις αντίστοιχες δόσεις του rinoxaden (7^η-11^η τριάδα φυτοδοχείων), στο οποίο διατηρεί υψηλή ευαισθησία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Beyer, E.M., M.J. Duffy, J.V. Hay, D.D. Schlueter. 1988. Sulfonylureas. Pages 118-183 in *Herbicides, Chemistry, Degradation, and Mode of Action*, P.C. Kearney and D.D. Kaufmann, eds. Marcel Dekker, Inc. New York, Basel.
- Buchanam, B.B., W. Gruissem, R.L. Jones. 2000. *Biochemistry and molecular biology of plants*. ASPP, Maryland. 1367 p.
- Chomas, A.J. and Kells, J.T. 2001. Common Windgrass (*Apera spica-venti*) Control in Winter Wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Technol.* 15, 7-12.
- Christopher, J.T., S.B. Powles and J.A.M. Holtum. 1992. Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides in annual ryegrass (*Lolium rigidum*) involves at least two mechanisms. *Plant Physiol.* 100, 1909-1913.
- Delye, C. 2005. Weed resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibitors: an update. *Weed Sci.* 53: 728-746.
- Devine, M.D., S.O. Duke, C. Fedtke. 1993. *Physiology of Herbicide Action*. PTR Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N.J. 441 p.
- Eleftherohorinos, I.G. 1985. Studies on the herbicidal activity of chlorsulfuron. Ph. D. Thesis, Univ. of Reading, U.K., 270 p.
- Eleftherohorinos, I.G. and E. Kotoula-Syka. 1989. Persistence of chlorsulfuron and DPX-L5300 in relation to rotational crops. *Weed Res.* 29, 127-134.
- Green, J.M. 2007. Review of glyphosate and ALS-inhibiting herbicide crop resistance and resistant weed management. *Weed Technol.* 21, 547-558.
- Hatzios, K.K., N. Burgos. 2004. Metabolism-based herbicide-resistance: regulation by safeners. *Weed Sci.* 52: 454-467.
- Heap, I.M. 2011. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.org>
- Hofer, U., M. Muehlebach, S. Hole, A. Zoschke. 2006. Pinoxaden – for broad spectrum grass weed management in cereal crops. *J. of Plant Dis. and Prot.* 20, 989-995.
- Koch, W. and K. Hurlle. 1978. *Grundlagen der Unkrautbekämpfung*. UTB Verlag Stuttgart.
- Kotter, U. 1991. Entwicklung und Konkurrenzverhalten von Windhalm (*Apera spica-venti*) in Winterweizen und Winterroggen. *Cesunde Pflanz.* 43, 184-189.

- Krysiak, K., S.W. Gawronski, K. Adamczewski, R. Kierzek. 2011. ALS gene mutations in *Apera spica-venti* confer broad-range resistance to herbicides. J. of Plant Prot. Res. 51 (30, 261-267.
- Mallory-Smith, C.A., E.J. Retringer. 2003. Revised classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. Weed Technol. 17, 605-619.
- Massa, D., B. Krenz, R. Gerhards. 2011. Target-site resistance to ALS-inhibiting herbicides in *Apera spica-venti* populations is conferred by documented and previously unknown mutations. Weed Res. 51, 294-303.
- Melander, B., N. Holst, P.K. Jensen, E.M. Hansen, J.E. Olesen. 2008. *Apera spica-venti* population dynamics and impact on crop yield as affected by tillage, crop station, location and herbicide programmes. Weed Res. 48, 48-57.
- Monaco, J.T., S.C. Weller, F.M. Ashton. 2002. Weed Science. Principles and Practices. John Wiley and Sons, Inc. New York. 671 p.
- Newhouse, K.E., Th. Wang, P.C. Anderson. 1991. Imidazolinone-resistant crops. Pages 139-150 in The Imidazolinone Herbicides, D.L. Shaner and S.L. O' Connor, eds. CRC Press, London.
- Northam, F.E., R.H. Callihan. 1992. The windgrasses (*Apera* Adans., Poaceae) in North America. Weed Technol. 6, 445-450.
- Papapanagiotou, E.P., N.S. Caloumenos, E.G. Eleftherohorinos. 2011. Sterile oat (*Avena sterilis* L.) cross-resistance profile to ACCase-inhibiting herbicides in Greece. Crop Protection. doi: 10.1016/j.cropro.2011.08.001
- Preston, C. 2004. Herbicide resistance in weeds endowed by enhanced detoxification: compilations for management. Weed Sci. 52, 448-453.
- Saari, L.L. and C.J. Mauvais. 1996. Sulfonylurea herbicide-resistant crops. Pages 127-142 in herbicide-resistant crops, S.O. Duke, ed. Lewis Publishers, New York.
- Sasaki, Y., T. Konishi, Y. Nagano. 1995. The compartmentation of acetyl-coenzyme A carboxylase in plants. Plant Physiol. 108, 445-449.
- Tranel, P.J., T.R. Wright and I.M. Heap. 2006. ALS mutations from herbicide resistant weeds. Available <http://www.weedscience.com>
- Walker, A. and S.J. Welch. 1989. The relative movement and persistence in soil of chlorsulfuron, metsulfuron-methyl and triasulfuron. Weed Res. 29, 375-383.
- Warwick, S.I., L.D. Black, B.F. Zilkey. 1985. Biology of Canadian Weeds 72. *Apera spica-venti*. Canadian Journal of Plant Science. 65, 711-721.

Webber, J.B., G.G. Winkerson, H.M. Linker, J.W. Wilcut, R.B. Leidy, S.S. Senseman, W.W. Witt, M. Barret, W.K. Vencill, D.R. Shaw, T.C. Mueller, D.K. Miller, B.J. Brecke, R.E. Talbert, T.F. Peeper. 2000. A proposal to standardize soil/solution herbicide distribution coefficients. *Weed Sci.* 48, 75-88.

Weed Science Society of America. 2007. *Herbicide handbook*. In S.A. Senseman 9th ed. WSSA, Lawrence, KS USA. 458 p.

5.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γαλάτης, Β., Δ. Γανωτάκης, Κ. Γκανή-Σπυροπούλου, Γ. Καραμπουρνιώτης, Κ. Κοτζαμπάσης, Ε.-Ι. Κωνσταντινίδου, Ι. Μανέτας, Κ.Α. Ρουμπελάκη-Αγγελάκη. 2003. *Φυσιολογία Φυτών από τα μόρια στο περιβάλλον*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. Ηράκλειο. Σελ. 673.

Γιαννοπολίτης, Κ.Ν.