



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**



**‘ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ ΜΟΣΧΟΚΥΠΕΡΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗ
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ ΑΝΑΣΤΟΛΗΣ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ
ΤΟΥ ΕΝΖΥΜΟΥ ALS’**

Υπεύθυνος Καθηγητής: Αριστείδης Π. Παπαπαναγιώτου

Φοιτητής: Στυλιανός Βαλσαμάς (FG30058)

Φλώρινα, 2023

Δήλωση περί μη λογοκλοπής

Δηλώνω ότι είμαι ο συγγραφέας της παρούσας εργασίας με τίτλο ‘Μελέτη πληθυσμών μοσχοκύπερης για επιλογή ανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα αναστολής της δράσης του ενζύμου ALS’, η οποία συντάχθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής μου εργασίας και παραδόθηκε το μήνα Φεβρουάριο του έτους 2023. Η αναφερόμενη εργασία δεν αποτελεί αντιγραφή, ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται σαφώς στη βιβλιογραφία και στο κείμενο, ενώ κάθε εξωτερική βοήθεια, αν υπήρξε, αναγνωρίζεται ρητά.

Όνομα (κεφαλαία)

ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΒΑΛΣΑΜΑΣ

ΑΜ

FG30058

Υπογραφή:

Ημερομηνία: 10/2/2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
2. ABSTRACT	5
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΜΟΝΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΜΟΣΧΟΚΥΠΕΡΗ	6-13
1.1 Καταγωγή-βιολογικός κύκλος	6
1.2 Βοτανική Περιγραφή	6-9
1.3 Οικολογικές απαιτήσεις-Φυτά ξενιστές	9
1.4 Ομοιότητες με άλλα είδη-δυνατότητες διάκρισης μεταξύ τους	10
1.5 Ανταγωνισμός-απώλειες στην καλλιέργεια του ρυζιού	10-11
1.6 Χημική καταπολέμηση του ζιζανίου μοσχοκύπερη στην καλλιέργεια του ρυζιού	11-13
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ-ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ	14-34
2.1.1 Ζιζανιοκτόνα-αναστολείς βιοσύνθεσης διακλαδισμένης αλυσίδας αμινοξέων (ALS ή AHAS)	14-17
2.1.2 Σουλφονουλουρίες (Sulfonylureas)	17-18
2.1.3 Ιμιδαζολινόνες (Imidazolinones)	19-20
2.1.4 Πυριμιδινυλβενζοϊκά (Pyrimidinylbenzoates)	21
2.1.5 Τριαζολοπυριμιδίνες (Triazopyrimidines)	22
2.1.6 Σουλφονυλαμινοκαρβονυλοτριαζολινόνες	23
2.2 Ανθεκτικότητα ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα	24-34
2.2.1 Γενικές έννοιες-ορισμοί	24
2.2.2 Αντοχή στα ζιζανιοκτόνα	25
2.2.3 Τύποι ανθεκτικότητας	25-26
2.2.4 Μηχανισμοί ανθεκτικότητας των ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα.	26
2.2.5 Η ανθεκτικότητα των ζιζανίων σε παγκόσμια κλίμακα	27
2.2.6 Εξέλιξη της ανθεκτικότητας στην Ελλάδα	27-28
2.2.7 Ανάπτυξη ανθεκτικότητας και σταυρανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα αναστολείς της δράσης ενζύμου ALS ή AHAS	28-29
2.2.8 Σταυρανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της δράσης του ενζύμου ALS	30-34
2.2.10 Σκοπός Εργασίας	34
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ	35-38
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	39-51
7. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	52-53
8. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54-59

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε πειράματα φυτοδοχείων αξιολογήθηκαν 57 πληθυσμοί του είδους μοσχοκύπερη (*Cyperus difformis* L.), προερχόμενοι από αγρούς μονοκαλλιέργειας ρυζιού των νομών Θεσσαλονίκης, Ημαθίας, Πιερίας, Σερρών και Καβάλας για την πιθανότητα επιλογής ανθεκτικότητας στο ζιζανιοκτόνο halosulfuron-methyl [αναστολέα της δράσης του ενζύμου οξικογалаκτική συνθάση (ALS)]. Επιπλέον, διερευνήθηκαν οι δυνατότητες εναλλακτικής χημικής καταπολέμησης των επιλεγμένων πληθυσμών μοσχοκύπερης με εφαρμογή του αμιδίου φυλλώματος propanil. Τα ζιζανιοκτόνα αυτά είναι εγκεκριμένα για μεταφυτρωτικές εφαρμογές στην καλλιέργεια ρυζιού για την καταπολέμηση κυπεροειδών και πλατύφυλλων ζιζανίων. Οι πληθυσμοί εκτέθηκαν στη συνιστώμενη (X) και τριπλάσια (3X) δόση του ALS-αναστολέα και του ζιζανιοκτόνου propanil που δρα αναστέλλοντας τη φωτοσύνθεση. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκε και ένας ευαίσθητος πληθυσμός αναφοράς. Η εφαρμογή των επεμβάσεων πραγματοποιήθηκε με επιστήθιο ψεκαστήρα ακριβείας τύπου AZO, όταν τα φυτά του ζιζανίου βρίσκονταν στο στάδιο των 3-4 φύλλων. Κάθε επέμβαση είχε τρεις επαναλήψεις (φυτοδοχεία), ενώ το κάθε πείραμα επαναλήφθηκε δύο φορές. Οι περισσότεροι πληθυσμοί (52 από τους συνολικά 57 πληθυσμούς) που μελετήθηκαν, εμφάνισαν υψηλής έντασης ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο halosulfuron-methyl και μόνο δύο πληθυσμοί χαρακτηρίστηκαν ευαίσθητοι στο ζιζανιοκτόνο. Σε 52 και 50 πληθυσμούς του ζιζανίου, το ποσοστό καταπολέμησης (μείωση του υπέργειου χλωρού βάρους σε σύγκριση με εκείνο του απέκαστου μάρτυρα) κυμάνθηκε μεταξύ 0% έως 35% με την εφαρμογή της δόσης X και μεταξύ 0 έως 45% με την εφαρμογή της δόσης 3X αντίστοιχα, του ζιζανιοκτόνου halosulfuron-methyl. Αντίθετα, όλοι οι πληθυσμοί καταπολεμήθηκαν άριστα (100% καταπολέμηση) με την εφαρμογή της συνιστώμενης (X) και της τριπλάσιας (3X) δόσης εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου propanil.

Λέξεις-κλειδιά: μοσχοκύπερη (*Cyperus difformis* L.), ALS-αναστολείς, σουλφονουλourίες, ανθεκτικότητα ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα, αμίδια φυλλώματος

ABSTRACT

Seventy-five (75) putative resistant smallflower umbrella sedge (*Cyperus difformis* L.) populations originating from rice monoculture fields at the prefectures of Thessaloniki, Imathia, Pieria, Serres and Kavala were evaluated in whole-plant pot experiments for possible evolution of resistance to the ALS-inhibitor halosulfuron-methyl. Moreover, the possibilities of effective chemical control of the above mentioned populations with the application of the amide herbicide propanil were also studied. The above mentioned herbicides are registered for post-emergence applications for effective control of sedges and broad-leaved weeds in rice crop. The putative resistant smallflower umbrella sedge populations were exposed to the recommended (X) and three times (3X) the recommended field rate of the ALS-inhibiting herbicide halosulfuron-methyl and the amide herbicide propanil. One herbicide susceptible (reference) population was also included in the present study. Herbicides were applied using a portable field plot AZO sprayer, when weeds reached the 3-4 leaf stage. Each treatment (herbicide by dose) had three replications (pots) and the experiment was performed twice. Most (52 out of 57) populations studied, were highly resistant to halosulfuron-methyl [the level of control (reduction of the above ground fresh weight compared to that of the unsprayed control) ranged between 0 and 35% with x rate and between 0% to 45% with the application of 3x rate, respectively]. On the contrary, all populations were most effectively controlled (100% control) with the application of the recommended (X) and three times the recommended (3X) rate of the amide herbicide propanil.

Key-words: smallflower umbrella sedge (*Cyperus difformis* L.), ALS-inhibitors, sulfonyleureas, herbicide resistance,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΜΟΝΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΜΟΣΧΟΚΥΠΕΡΗ

1.1 Καταγωγή-βιολογικός κύκλος

Η μοσχοκύπερη (*Cyperus difformis*) είναι ετήσιο μονοκότυλο (μονοκοτυλήδονο) θερινό είδος το οποίο ανήκει στην οικογένεια Cyperaceae της τάξης Cyperales. Είναι ιθαγενές είδος της υποτροπικής Ασίας και παρουσιάζει ευρύτατη εξάπλωση σε όλες τις σημαντικές περιοχές καλλιέργειας του ρυζιού (Ασία, Ευρώπη, Η.Π.Α., Κίνα, Αυστραλία). Χαρακτηρίζεται από μεγάλη συχνότητα εμφάνισης στις καλλιέργειες ρυζιού της χώρας μας. Αναπαράγεται με σπόρους που φυτρώνουν τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Ο βασικός τρόπος διασποράς των σπόρων του ζιζανίου είναι με τον άνεμο. Τα φυτά του ζιζανίου παρουσιάζουν ταχύτατο ρυθμό ανάπτυξης και είναι σε θέση να συμπληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο εντός 4-6 εβδομάδων. Η μοσχοκύπερη στη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου μπορεί να ολοκληρώσει 3 έως 4 γενιές (Holm κ.ά., 1977). Το είδος *Cyperus difformis* εμφανίζει τύπο φωτοσύνθεσης C3 και εκδηλώνει υψηλό βαθμό αυτογονιμοποίησης (Merroto κ.ά., 2009a).

1.2 Βοτανική Περιγραφή

Σπορόφυτα

Τα φυτά του είδους μοσχοκύπερη εμφανίζουν όρθια έκφυση (Εικόνα 1) και μπορούν να αποκτήσουν ύψος έως 100cm.



Εικ. 1. Αναπτυγμένα φυτά του ζιζανίου μοσχοκύπερη (*Cyperus difformis* L.).



Εικ. 2. Νεαρά σπορόφυτα μοσχοκύπερης.

Βλαστός

Είναι πράσινος, τριπλευρικός, συμπαγής, όρθιας έκφυσης, χωρίς γόνατα. Ο βλαστός δεν έχει τρίχες και το ύψος του κυμαίνεται από 40 έως 100cm.

Φύλλα

Ο κολεός των φύλλων είναι ωχροκίτρινος και δεν έχει τρίχες. Το έλασμα των φύλλων είναι πράσινο, γωνιώδες, με μήκος 15 έως 45cm. Το έλασμα έχει λεία υφή και ευδιάκριτο κεντρικό νεύρο. Τα φύλλα διατάσσονται σε δύο επίπεδα και σε τρεις σειρές-κατευθύνσεις (σχηματίζουν γωνίες 120°) (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017; Ελευθεροχωρινός και Γιαννοπολίτης, 2009).

Ταξιανθία, άνθος και καρπός

Η ταξιανθία φέρεται στην κορυφή του στελέχους και έχει μέγεθος 1-5cm (Εικόνα 3). Είναι καστανοπράσινος στάχυς ή σκιάδιο σε σχήμα ομπρέλας (Εικόνα 4). Αποτελείται από πυκνές σφαιρικές ομάδες σταχυδίων με πολυανθή σταχύδια (10-30).



Εικ. 3. Χαρακτηριστικές ταξιανθίες μοσχοκύπερης (στάχυς σε σχήμα ομπρέλας).



Εικ. 4. Λεπτομέρεια ταξιανθίας του ζιζανίου μοσχοκύπερη.

Στη βάση της ταξιανθίας υπάρχουν τρία άνισα, φυλλόμορφα λογχοειδή βράκτια τα οποία την περιβάλλουν (Εικόνα 5).



Εικ. 5. Τρία βράκτια φυλλόμορφα βράκτια περιβάλλουν την ταξιανθία της μοσχοκύπερης

Το είδος *Cyperus difformis* ανθοφορεί από τον Ιούλιο έως και τον Αύγουστο. Ο σπόρος είναι μικρός (μεγέθους έως 0.6mm), καφέ χρώματος και έχει σχήμα καρυδιού (Εικόνα 6). Κάθε φυτό του ζιζανίου παράγει μεγάλες ποσότητες σπόρου (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017; Ελευθεροχωρινός και Γιαννοπολίτης, 2009).



Εικ. 6. Σπόροι του ζιζανίου μοσχοκύπερη (πολύ μικροί, καφέ χρώματος).

Ρίζα

Η ρίζα είναι θυссανωτή.

1.3 Οικολογικές απαιτήσεις-Φυτά ξενιστές

Το είδος *Cyperus difformis* αναπτύσσεται κυρίως σε παραποτάμια και παραθαλάσσια εδάφη των υγρών περιοχών. Φυτρώνει ταυτόχρονα με το ρύζι έως και 40 ημέρες μετά τη σπορά. Η βλάστηση των σπόρων και το φύτρωμα των νεαρών σποροφύτων ευνοείται από το φως και τη διακύμανση υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος. Η βλάστηση των σπόρων του είδους επηρεάζεται περισσότερο από τα αυξανόμενα επίπεδα αλάτων και την υδατική καταπόνηση συγκριτικά με τα επίσης κυπεροειδή είδη *Cyperus iria* και *Fimbristylis miliacea* (Chauhan και Johnson, 2009). Τα υψηλότερα επίπεδα φυτρώματος καταγράφονται όταν οι σπόροι του ζιζανίου βρίσκονται επί της επιφάνειας του εδάφους. Αντίθετα, δεν πραγματοποιείται φύτρωμα των σποροφύτων όταν οι σπόροι του ζιζανίου βρίσκονται σε βάθος μεγαλύτερο από 1cm. Η κατάκλυση με υψηλή στάθμη νερού εντός των ορυζώνων είναι αναγκαία για την καταστολή της ανάπτυξης των φυτών της μοσχοκύπερης. Η καθυστέρηση της κατάκλυσης των ορυζώνων έως και 21 ημέρες από τη σπορά της καλλιέργειας συντελεί σε εξαιρετικά μειωμένη αναστολή (περιορισμό) της ανάπτυξης των φυτών των ζιζανίου (Chauhan και Johnson, 2009).

1.4 Ομοιότητες με άλλα είδη-δυνατότητες διάκρισης μεταξύ τους

Η μοσχοκύπερη παρουσιάζει ομοιότητες με τα είδη πορφυρή κύπερη (*Cyperus rotundus*) και κίτρινη κύπερη (*Cyperus esculentus*). Η μοσχοκύπερη σε αντίθεση με τα δύο προαναφερθέντα πολυετή είδη δεν σχηματίζει κονδύλους καθώς αναπαράγεται με σπόρους (είναι ετήσιο φυτό). Επίσης, η ταξιανθία της μοσχοκύπερης έχει πυκνές σφαιρικές ομάδες σταχυδίων, ενώ το είδος απαντάται αποκλειστικά σε ορυζώνες ενώ τα άλλα σημαντικά είδη κύπερης είναι εξαιρετικά σημαντικά ζιζάνια στις αρδευόμενες ανοιξιάτικες καλλιέργειες (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017).

1.5 Ανταγωνισμός-απώλειες στην καλλιέργεια του ρυζιού

Η μοσχοκύπερη όταν δημιουργεί υψηλούς πληθυσμούς εντός των ορυζώνων μπορεί να προκαλέσει απώλειες στην απόδοση του ρυζιού που κυμαίνονται από 22% έως 34% (Merotto κ.ά., 2007). Επιπρόσθετα, ο Swain κ.ά. (1975) ανέφεραν ότι η παρουσία 100 φυτών μοσχοκύπερης ανά m² μπορεί να προκαλέσει απώλειες στην απόδοση του ρυζιού που κυμαίνονται μεταξύ 49% και 81%. Όπως ανέφεραν οι Tian κ.ά. (2020) ο αριθμός των ταξιανθιών, ο αριθμός των γεμάτων σπόρων ανά φόβη, το βάρος των 1000 κόκκων και η συνολική απόδοση της καλλιέργειας του ρυζιού μειώνεται από τον παρατεταμένης διάρκειας ανταγωνισμό που ασκούν τα είδη κοινή μουχρίτσα (*Echinochloa crus-galli*) και μοσχοκύπερη (*Cyperus difformis*) εντός των ορυζώνων (Εικόνες 7 και 8).



Εικ. 7. Εξαιρετικά υψηλός πληθυσμός μοσχοκύπερης εντός ορυζώνα (φωτ. Marco Banzato).



Εικ. 8. Λεπτομέρεια κηλίδας φυτών μοσχοκύπερης που αναπτύσσονται εντός ορυζώνα.

Προσέτι, ανέφεραν ότι η καταπολέμηση των μικτών πληθυσμών των δύο ζιζανίων είναι απαραίτητο να έχει ολοκληρωθεί 20 ημέρες από τη σπορά της καλλιέργειας και όταν ο συνολικός πληθυσμός των δύο ζιζανίων προσεγγίσει πυκνότητα 2.77 φυτών/m² (Tian κ.ά., 2020).

1.6 Χημική καταπολέμηση του ζιζανίου μοσχοκύπερη στην καλλιέργεια του ρυζιού

Για την αντιμετώπιση της μοσχοκύπερης διατίθεται ένας αξιόλογος αριθμός ζιζανιοκτόνων εγκεκριμένων για χρήση στην καλλιέργεια του ρυζιού. Κυρίως αξιοποιούνται ζιζανιοκτόνα αναστολής της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (ALS) [ιδιαίτερα ζιζανιοκτόνα της χημικής οικογένειας των σουλφονουριών (azimsulfuron, halosulfuron-methyl, bensulfuron κ.ά.)]. Για τα ζιζανιοκτόνα azimsulfuron και halosulfuron-methyl που έχουν έγκριση στη χώρα μας συστήνεται οι εφαρμογές να πραγματοποιούνται από τα δύο φύλλα μέχρι και το αδελφωμα των φυτών της καλλιέργειας εναντίον ζιζανίων-στόχων που δεν έχουν ξεπεράσει το στάδιο των 3-4 φύλλων. Είναι απαραίτητη η προσθήκη επιφανειοδραστικής ουσίας για την εξασφάλιση υψηλής αποτελεσματικότητας. Πριν την εφαρμογή τους πρέπει να χαμηλώσει η στάθμη του νερού εντός των ορυζώνων και να παραμείνει χαμηλή για διάστημα δύο ημερών μετά την πραγματοποίηση των επεμβάσεων (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017). Μέτρια δράση εναντίον του ζιζανίου έχει και η ιμιδαζολινόνη imazamox εγκεκριμένη για χρήση στις ποικιλίες ρυζιού που διαθέτουν την τεχνολογία Clearfield®.

Οι επεμβάσεις συστήνεται να πραγματοποιούνται από τα 3-4 φύλλα μέχρι και το αδελφωμα των φυτών της καλλιέργειας εναντίον ζιζανίων-στόχων που δεν έχουν ξεπεράσει το στάδιο των 3-4 φύλλων. Όπως και για τις σουλφονουλουρίες azimsulfuron, halosulfuron-methyl είναι απαραίτητη η προσθήκη επιφανειοδραστικής ουσίας για την εξασφάλιση υψηλής αποτελεσματικότητας. Πριν την εφαρμογή του imazamox είναι απαραίτητο να χαμηλώσει η στάθμη του νερού εντός των ορυζώνων και να παραμείνει χαμηλή για διάστημα δύο ημερών μετά την πραγματοποίηση των επεμβάσεων. Προσέτι, μπορεί να πραγματοποιηθεί διπλή εφαρμογή του imazamox με τη μισή δόση του με μεσοδιάστημα 15-20 ημερών. Πολύ καλή δράση εναντίον των ευαίσθητων πληθυσμών του ζιζανίου έχει και η τριαζολοπυριμιδίνη penoxsulam (επίσης ALS-αναστολέας) η οποία πρέπει να εφαρμόζεται στο ίδιο στάδιο των ζιζανίων αλλά στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης των φυτών της καλλιέργειας στις λεκάνες (τηγάνια) όπως και οι προαναφερθέντες ALS-αναστολείς (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017).

Εκτός των ζιζανιοκτόνων-αναστολέων της δράσης του ενζύμου υπάρχουν διαθέσιμα και ζιζανιοκτόνα με άλλους μηχανισμούς δράσης όπως η βενζοθειαδιαζινόνη (Benzothiadiazinone) bentazon, ζιζανιοκτόνο το οποίο δρα αναστέλλοντας τη φωτοσύνθεση και συγκεκριμένα τη ροή ηλεκτρονίων στο φωτοσύστημα II. Η εφαρμογή του μπορεί να πραγματοποιηθεί μετά την εμφάνιση του δεύτερου φύλλου της καλλιέργειας εναντίον ζιζανίων που δεν ξεπερνούν τα 3-4 φύλλα. Είναι αναγκαίο να χαμηλώσει η στάθμη του νερού ώστε να αποκαλυφθούν τα ζιζάνια-στόχοι και να παραμείνει χαμηλή για δύο ημέρες μετά την εφαρμογή (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017).

Το ζιζανιοκτόνο propanil το οποίο ανήκει στη χημική οικογένεια των αμιδίων φυλλώματος χρησιμοποιείται από τους ορυζοκαλλιεργητές εφόσον υπάρχει προσωρινή έγκριση χρήσης του διάρκειας 120 ημερών. Χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση ειδών μουχρίτσας (*Echinochloa* spp.) και σε ταυτόχρονη εφαρμογή με το MCPA για την αντιμετώπιση κυπεροειδών και πλατύφυλλων ζιζανίων στην καλλιέργεια του ρυζιού. Όπως και το bentazon το propanil δρα αναστέλλοντας τη ροή των ηλεκτρονίων στο φωτοσύστημα II, αναστέλλοντας ως συνέπεια τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης στα ευαίσθητα ζιζάνια, ενώ εικάζεται ότι παράλληλα αναστέλλει και τη βιοσύνθεση ανθοκυανών, RNA και πρωτεϊνών. Το propanil απορροφάται εύκολα από τα φύλλα αλλά η μετακίνησή του εντός των φυτών είναι περιορισμένη (θεωρείται ζιζανιοκτόνο επαφής) (Ελευθεροχωρινός, 2020).

Η εφαρμογή του συστήνεται να γίνεται σε ζιζάνια που δεν έχουν ξεπεράσει το στάδιο των 3-4 φύλλων και όπως και στα προηγούμενα ζιζανιοκτόνα είναι απαραίτητο να χαμηλώσει η στάθμη του νερού εντός του ορυζώνα και να παραμείνει χαμηλή 2 ημέρες μετά την εφαρμογή του. Επίσης, προτείνεται η πραγματοποίηση δύο εφαρμογών με μεσοδιάστημα 15 ημερών (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017).

Αξίζει να σημειωθεί ότι το propanil δεν συνδυάζεται με άλλα φυτοπροστατευτικά προϊόντα (οι επεμβάσεις τους πρέπει να πραγματοποιούνται δύο εβδομάδες πριν ή μετά την εφαρμογή του propanil). Ειδικότερα, η εκλεκτικότητα του στα φυτά του ρυζιού οφείλεται στην ικανότητά τους να το μεταβολίζουν (διασπούν) μέσω υδρόλυσης, αντίδραση που καταλέται με τη δράση του ενζύμου αρυλακυλαμιδάση. Η εφαρμογή οργανοφωσφορικών ζιζανιοκτόνων ή του καρβαμιδικού ζιζανιοκτόνου carbaryl πρέπει να απέχει χρονικά διάστημα 2 εβδομάδων από την επέμβαση του propanil γιατί τα εντομοκτόνα δρουν ως συνεργιστικές ουσίες οι οποίες προκαλούν αναστολή της δράσης του ενζύμου αρυλακυλαμιδάση το οποίο δεν καταλύει τελικά την αντίδραση μεταβολισμού του ζιζανιοκτόνου. Ως συνέπεια, υφίσταται απώλεια εκλεκτικότητας του ζιζανιοκτόνου και πρόκληση συμπτωμάτων φυτοτοξικότητας στα φυτά της καλλιέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ-ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ

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

Τα ζιζανιοκτόνα της ομάδας αυτής ανήκουν, από χημικής πλευράς, στις οικογένειες των σουλφονουριών, ιμιδαζολινόνων, πυριδινυλβενζοϊκών, τριαζολοπυριμιδινών και τέλος, των σουλφονυλαμινοκαρβονυλτριαζολινόνων. Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί, παρατίθενται οι χημικές οικογένειες της ομάδας των ALS-αναστολέων με κάποια αντιπροσωπευτικά μέλη που ανήκουν σε αυτές.

Πίνακας 1. Οικογένειες ζιζανιοκτόνων που αναστέλλουν τη δράση του ενζύμου ALS (από: Χατζηλαζαρίδου, 2013).

Οικογένεια ζιζανιοκτόνων	Δραστικές ουσίες
Σουλφονουρίες	chlorsulfuron, tribenuron methyl
Ιμιδαζολινόνες	imazamox, imazapyr, imazaquin
Τριαζολοπυριμιδίνες	florasulam, penoxsulam
Πυριμιδινυλθειοβενζοϊκά	bispyribac, pyriithiobac, pyriminobac
Σουλφονυλαμινοκαρβονυλοτριαζολινόνες	flucarbazone, propoxycarbazone

Χρησιμοποιούνται προφυτρωτικά ή μεταφυτρωτικά για την αντιμετώπιση ετήσιων και πολυετών ζιζανίων σε διάφορες καλλιέργειες ή σε μη γεωργικές εκτάσεις. Απορροφώνται από τις ρίζες και τα φύλλα των φυτών και μετακινούνται στους μερισματικούς ιστούς μέσω του αποπλάστη και του συμπλάστη.

Ο μηχανισμός δράσης τους σχετίζεται με αναστολή της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση ή συνθάση του οξικογαλακτικού οξέος (ALS, AcetoLactate Synthase), γνωστού και ως συνθάση του ακετοϋδροξικού οξέος (AHAS, AcetoHydroxyAcid Synthase). Το ALS ή AHAS αποτελεί ένζυμο-κλειδί κατά τη βιοσύνθεση των αμινοξέων με διακλαδισμένη αλυσίδα ατόμων άνθρακα (βαλίνη, λευκίνη και ισολευκίνη), τα οποία είναι απαραίτητα (αποτελούν σημαντικές πρόδρομες ουσίες) κατά τη βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (κυανογενή γλυκοζίδια και γλυκοζινολικά ακυλιώμενα σάκχαρα) (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Το ένζυμο ALS ή AHAS απαντάται στα προπλαστίδια των μεριστωματικών ιστών των φυτών και στους χλωροπλάστες των φύλλων. Ειδικότερα, το ένζυμο αυτό καταλύει την αντίδραση συμπίκνωσης δύο μορίων πυροσταφυλικού οξέος για την παραγωγή α-οξιγαλακτικού οξέος ή την αντίδραση συμπίκνωσης ενός μορίου πυροσταφυλικού οξέος και ενός μορίου α-κετοβουτυρικού οξέος για την παραγωγή CO₂ και ακετοϋδροξυβουτυρικού οξέος. Οι δύο αυτές παραχθείσες ουσίες είναι απαραίτητες (αποτελούν πρόδρομες ουσίες) για τη βιοσύνθεση των αμινοξέων βαλίνη και ισολευκίνη. Το ένζυμο ALS για να δράσει, απαιτεί FAD, θειαμινοπυροφωσφορικό (TPP), καθώς και ιόντα 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) (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Η αναστολή της βιοσύνθεσης των τριών προαναφερθέντων αμινοξέων εξαιτίας της δράσης των ζιζανιοκτόνων του συγκεκριμένου μηχανισμού δράσης 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 (τα ευαίσθητα φυτά μετά την έκθεσή τους στα ζιζανιοκτόνα παραμένουν στο στάδιο των κοτυληδόνων μέχρι εκείνο των δύο πρώτων πραγματικών φύλλων), περιορισμένη ανάπτυξη (σε αριθμό και μήκος) των πλάγιων ή δευτερογενών ριζών, αυξημένη σύνθεση ανθοκυανών (ερυθρόχροα φυτά), χλώρωση και τελικά νέκρωση.

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, ενώ η νέκρωση των φυτών επέρχεται 2-4 εβδομάδες αργότερα (Ελευθεροχωρινός, 2008).

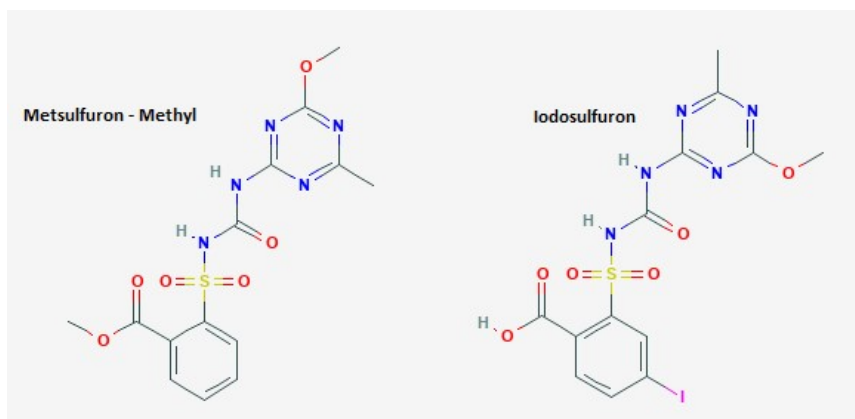
Η ταυτόχρονη εφαρμογή ορισμένων ζιζανιοκτόνων των σουλφονουλουριών ή πυριδινυλθειοβενζοϊκών με ορισμένα εξειδικευμένα ζιζανιοκτόνα αγρωστωδών ζιζανίων (αρυλοφαινοξυπροπιονικά, κυκλοεξανδιόνες) θα πρέπει να αποφεύγεται, επειδή μειώνει την αποτελεσματικότητα των τελευταίων εναντίον των αγρωστωδών ζιζανίων. Αυτό οφείλεται στην ανταγωνιστική δράση που αναπτύσσεται μεταξύ αυτών των μη συνδυαζόμενων ζιζανιοκτόνων, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις οφείλεται στην μειωμένη απορρόφηση ή/και στη μειωμένη μετακίνηση των αγρωστωδοκτόνων εξαιτίας της παρουσίας των σουλφονουλουριών ή των πυριδινυλθειοβενζοϊκών (Monaco κ.ά., 2002; από Ελευθεροχωρινός, 2008). Η ταυτόχρονη μεταφυτρωτική εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων rimsulfuron ή primisulfuron (σουλφονουλουρίες) με το βενζοϊκό παράγωγο dicamba (ζιζανιοκτόνο με δράση αυξίνης το οποίο χρησιμοποιείται για αντιμετώπιση ετήσιων και πολυετών πλατύφυλλων ζιζανίων στην καλλιέργεια του αραβοσίτου) επίσης δεν ενδείκνυται, επειδή μειώνει την αποτελεσματικότητά τους εναντίον του αγρωστώδους πολυετούς ζιζανίου βέλιουρα (*Sorghum halepense*) (Damalas και Eleftherohorinos, 2001).

Η ταυτόχρονη εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων nicosulfuron, rimsulfuron ή primisulfuron (σουλφονουλουρίες) με οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα φυλλώματος πρέπει να αποφεύγεται, επειδή μειώνει την εκλεκτικότητά τους (συνεργιστική δράση) στα καλλιεργούμενα φυτά. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει (μείωση εκλεκτικότητας) και μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων αυτών σε καλλιέργειες αραβοσίτου στις οποίες προηγήθηκε εφαρμογή διασυστηματικών οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων εδάφους (π.χ. terbufos). Αυτό οφείλεται στο ότι η παρουσία υπολειμμάτων οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων εντός των φυτών του αραβοσίτου αναστέλλει τη δράση των ενζύμων μονοοξυγονάσες του κυτοχρώματος P₄₅₀ (CytP₄₅₀), τα οποία καταλύει την αντίδραση μεταβολισμού (υδροξυλίωση) των προαναφερθέντων τριών ζιζανιοκτόνων (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Η διεύρυνση της εκλεκτικότητας μερικών ζιζανιοκτόνων των ιμιδαζολινών σε μη ανθεκτικά εξ αρχής καλλιεργούμενα φυτά υβριδίων αραβόσιτου κατέστη δυνατή μέσω της επιλογής ιστών μη μεταλλαγμένων φυτών με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα αυτά (Ελευθεροχωρινός, 2008). Βέβαια, εξίσου επιτυχής ήταν και η προσπάθεια διεύρυνσης της εκλεκτικότητας ορισμένων ζιζανιοκτόνων μέσω της γενετικής μηχανικής. Ειδικότερα, η μέθοδος αυτή συνέβαλε στη δημιουργία γενετικώς τροποποιημένων ποικιλιών βαμβακιού, ζαχαρότευτλων, καπνού, σόγιας, ελαιοκράμβης και υβριδίων αραβόσιτου με ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα της οικογένειας των σουλφονουλουριών (Ελευθεροχωρινός, 2008).

2.1.2 Σουλφονουλουρίες (Sulfonylureas)

Ο βασικός τύπος των ζιζανιοκτόνων αυτής της χημικής οικογένειας αποτελείται από μια αρυλομάδα, τη σουλφονουλουρική γέφυρα και μια ετεροκυκλική ομάδα (πυριμιδίνη, τριαζίνη) (Σχήμα 1) (Ελευθεροχωρινός 2008).



Σχήμα 1. Χημική δομή των ζιζανιοκτόνων metsulfuron-methyl και iodosulfuron-methyl-sodium.

Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής εφαρμόζονται στο έδαφος (προφυτρωτικά) ή/και στο φύλλωμα για την αντιμετώπιση ετήσιων και πολυετών πλατύφυλλων και αγρωστωδών ζιζανίων σε διάφορες καλλιέργειες. Απορροφώνται 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 (απόκτηση ερυθρόχρου μεταχρωματισμού στα ευαίσθητα φυτά), χλώρωση και τελικά νέκρωση των μερισματικών ιστών. Η νέκρωση όμως των φυτών επέρχεται μετά από παρέλευση διαστήματος 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 νέκρωση τους επέρχεται 2-4 εβδομάδες αργότερα (Ελευθεροχωρινός, 2008).

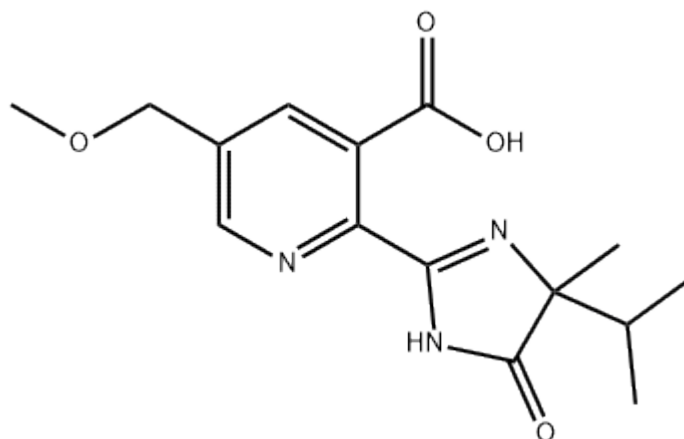
Τα ανθεκτικά καλλιεργούμενα φυτά δεν εμφανίζουν συμπτώματα τοξικότητας επειδή έχουν την ικανότητα να μεταβολίζουν ταχύτατα τα ζιζανιοκτόνα αυτά σε μη τοξικές ουσίες ή έχουν ένζυμο ALS με μειωμένη ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα αυτά (Ελευθεροχωρινός, 2008). Ο μεταβολισμός των περισσοτέρων ζιζανιοκτόνων της οικογένειας αυτής γίνεται μέσω υδροξυλίωσης [καταλύεται από το ένζυμο μονοοξυγονάση (CytP₄₅₀)] και στην συνέχεια σχηματισμού συμπλόκων με γλυκόζη [το ένζυμο γλυκοζυλτρανσφεράση (GT) καταλύει τη μεταφορά γλυκόζης από το υπόστρωμα της διφωσφορικής ουριδίνης-γλυκόζης] (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Τα ζιζανιοκτόνα των σουλφονουλουριών συμπεριφέρονται στο έδαφος ως ασθενή οξέα. Η προσρόφησή τους από τα κολλοειδή του εδάφους δεν είναι ισχυρή και γι' αυτό η πιθανότητα έκπλυσής τους είναι μεγάλη (παρουσιάζουν βαθμό έκπλυσης 3-5). Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής είναι δραστικά σε δόσεις 10-100 φορές μικρότερες από εκείνες των ήδη χρησιμοποιούμενων ζιζανιοκτόνων. Ο χρόνος παραμονής μερικών ζιζανιοκτόνων των σουλφονουλουριών (chlorsulfuron, metsulfuron) 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 φυτοτοξικότητας) άλλων καλλιεργειών την επόμενη καλλιεργητική περίοδο, εκτός από τα χειμερινά σιτηρά στα οποία συνιστάται η χρήση τους (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Ο χρόνος παραμονής τους στο έδαφος μειώνεται με την μείωση της δόσης εφαρμογής, του pH του εδάφους, καθώς επίσης με την αύξηση της υγρασίας και την άνοδο της θερμοκρασίας του εδάφους (Ελευθεροχωρινός, 2008). Αυτό συμβαίνει επειδή οι συνθήκες αυτές επιταχύνουν το ρυθμό της χημικής διάσπασης (υδρόλυση), η οποία είναι η κυριότερη διεργασία απομάκρυνσής τους από το έδαφος. Οι απώλειες τους λόγω εξάτμισης ή και φωτοχημικής διάσπασης κυμαίνονται από ασήμαντες μέχρι μέτριες (Ελευθεροχωρινός, 2008).

2.1.3 Ιμιδαζολινόνες (Imidazolinones)

Ο βασικός χημικός τύπος αυτής της οικογένειας των ζιζανιοκτόνων αποτελείται από έναν αρωματικό δακτύλιο (συνήθως πυριδίνη) με την καρβοξυλική ομάδα και από τον ιμιδαζολινικό δακτύλιο (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου imazamox

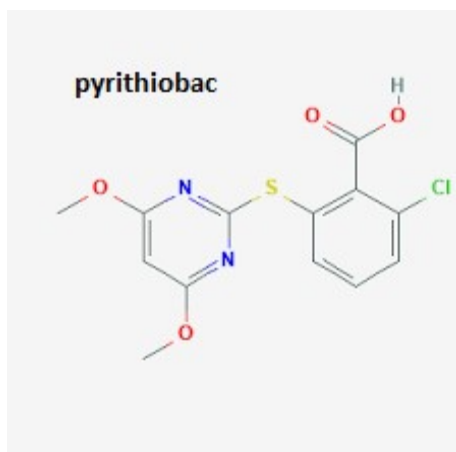
Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής εφαρμόζονται στο έδαφος ή και στο φύλλωμα των ζιζανίων. Απορροφώνται από τις ρίζες και τα φύλλα των φυτών και μετακινούνται στους μεριστωματικούς ιστούς, μέσω τόσο του αποπλάστη όσο και του συμπλάστη. Η δράση τους από φυλλώματος εκδηλώνεται εντός λίγων ημερών από την εφαρμογή τους με αναστολή της αύξησης των φυτών, χλώρωση και τελικά νέκρωση των μεριστωματικών ιστών. Βέβαια, η νέκρωση των φυτών επέρχεται μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα (αρκετές εβδομάδες). Η δράση μετά από εφαρμογή τους στο έδαφος εκδηλώνεται εντός λίγων ημερών από το φύτευμα των ζιζανίων με αναστολή της αύξησής τους, ενώ η νέκρωσή τους επέρχεται πολύ αργότερα.

Τα ανθεκτικά καλλιεργούμενα φυτά δεν εμφανίζουν συμπτώματα τοξικότητας επειδή έχουν την ικανότητα να μεταβολίζουν ταχύτατα τα ζιζανιοκτόνα της χημικής οικογένειας των ιμιδαζολινών σε μη τοξικές ουσίες ή να απορροφούν μικρότερες ποσότητές τους ή να έχουν ένζυμο ALS με μειωμένη ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα αυτά (Ελευθεροχωρινός, 2008). Ειδικότερα, τα ζιζανιοκτόνα imazamethabenz και imazethapyr μεταβολίζονται εντός των ανθεκτικών φυτών μέσω υδροξυλίωσης και ακολούθως σχηματισμού συμπλόκου με γλυκόζη, ενώ το imazaquin μέσω δημιουργίας δακτυλίου μεταξύ της καρβοξυλικής ομάδας της κινολίνης και του N του ιμιδαζολινονικού δακτυλίου και ακολούθως υδρόλυσης ή αναγωγής. Τέλος, το imazapyr μεταβολίζεται εντός των ανθεκτικών φυτών μέσω δημιουργίας δακτυλίου που δημιουργείται μεταξύ της καρβοξυλικής ομάδας της πυριδίνης και του N ιμιδαζολινονικού δακτυλίου και ακολούθως υδρόλυσης (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Τα ζιζανιοκτόνα των ιμιδαζολινονών συμπεριφέρονται στο έδαφος ως ασθενή οξέα. Η προσρόφησή τους από τα κολλοειδή του εδάφους δεν είναι ισχυρή με συνέπεια η πιθανότητα έκπλυσής τους να είναι μεγάλη (παρουσιάζουν βαθμό έκπλυσης 4-5). Ο χρόνος παραμονής τους στο έδαφος, αν και εφαρμόζονται σε πολύ χαμηλές δόσεις (5-10g/στρ), συχνά είναι μεγαλύτερος από 12 μήνες. Η μεγάλη υπολειμματική τους διάρκεια δεν επιτρέπει την εγκατάσταση ευαίσθητων καλλιεργειών την επόμενη καλλιεργητική περίοδο που ακολουθεί της εφαρμογής τους. Η απομάκρυνσή τους από το έδαφος γίνεται κυρίως μέσω μικροβιακής αποδόμησης και δευτερευόντως μέσω χημικής διάσπασης,. Τέλος, οι απώλειες που υφίστανται λόγω εξάτμισης ή/και φωτοχημικής διάσπασης χαρακτηρίζονται από ασήμαντες μέχρι μέτριες (Ελευθεροχωρινός, 2008).

2.1.4 Πυριμιδινυλβενζοϊκά (Pyrimidinylbenzoates)

Ο βασικός χημικός τύπος των ζιζανιοκτόνων (bispyribac, pyrithiobac, pyriminobac, pyribenzoxim, pyrifthalid) της οικογένειας αυτής αποτελείται από έναν πυριμιδινικό δακτύλιο ενωμένο με βενζοϊκό οξύ μέσω S ή O (Σχήμα 3) (Ελευθεροχωρινός, 2008).



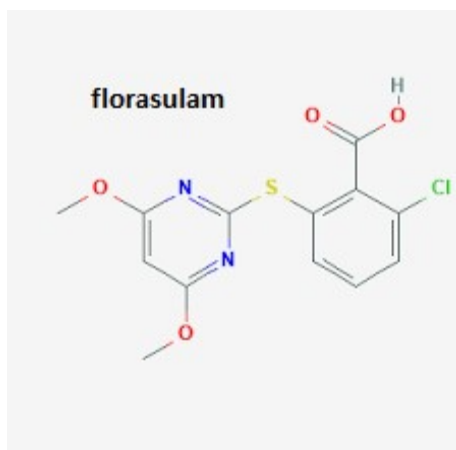
Σχήμα 3. Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου pyrithiobac.

Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής συμπεριφέρονται στο έδαφος ως ασθενή οξέα. Η προσρόφησή τους από τα κolloειδή του εδάφους δεν είναι ισχυρή, με συνέπεια η πιθανότητα έκπλυσής τους είναι μεγάλη (παρουσιάζουν βαθμό έκπλυσης 3-4). Τα ζιζανιοκτόνα αυτής της χημικής αυτής οικογένειας είναι δραστικά σε πολύ μικρότερες δόσεις από ό,τι τα περισσότερα από τα ήδη χρησιμοποιούμενα ζιζανιοκτόνα (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Ο χρόνος παραμονής του bispyribac στο έδαφος είναι μικρότερος από εκείνον του pyrithiobac με αποτέλεσμα να προκύπτει αδυναμία εγκατάστασης άλλων καλλιεργειών (εκτός από βαμβάκι) την επόμενη καλλιεργητική περίοδο χωρίς προβλήματα φυτοτοξικότητας λόγω υπολειμμάτων του pyrithiobac. Η απομάκρυνση των ζιζανιοκτόνων αυτής της χημικής οπικογένειας από το έδαφος γίνεται κυρίως μέσω μικροβιακής αποδόμησης, ενώ οι απώλειες που υφίστανται λόγω εξάτμισης ή/και φωτοχημικής διάσπασης είναι εξαιρετικά χαμηλές έως μέτριες (Ελευθεροχωρινός, 2008).

2.1.5 Τριαζολοπυριμιδίνες (Triazopyrimidines)

Ο βασικός χημικός τύπος των ζιζανιοκτόνων (cloransulam, diclosulam, florasulam, flumetsulam, metosulam, penoxsulam) της οικογένειας αυτής αποτελείται από ένα τριαζολοπυριμιδινικό δακτύλιο, τη σουλφαμιδική γέφυρα και ένα φαινυλικό δακτύλιο (Σχήμα 4).



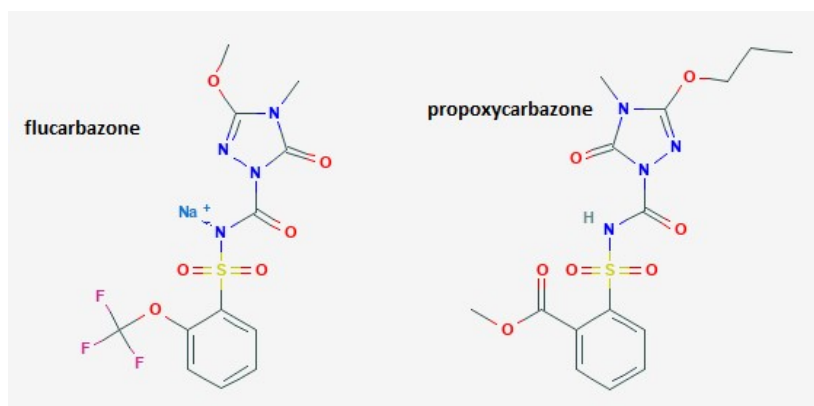
Σχήμα 4. Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου florasulam.

Τα περισσότερα ζιζανιοκτόνα των δρουν από εδάφους και φυλλώματος. Είναι αποτελεσματικά εναντίων ετήσιων πλατύφυλλων ζιζανίων, χωρίς όμως να αποκλείονται από το φάσμα δράσης τους και ορισμένα είδη ζιζανίων που ανήκουν στα κυπεροειδή (penoxsulam, εγκεκριμένο στην καλλιέργεια του ρυζιού). Απορροφώνται από τις ρίζες και τα φύλλα των ζιζανίων και μετακινούνται μέσω του αποπλάστη και του συμπλάστη, αντιστοίχως (Ελευθεροχωρινός, 2008). Τα ζιζανιοκτόνα αυτά είναι δραστικά σε πολύ μικρότερες δόσεις από ό,τι τα περισσότερα από τα είδη χρησιμοποιούμενα ζιζανιοκτόνα.

Η εκλεκτικότητα αυτών των ζιζανιοκτόνων οφείλεται στο μεταβολισμό τους από τα καλλιεργούμενα φυτά σε μη τοξικές ουσίες. Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής συμπεριφέρονται στο εδαφικό διάλυμα ως ασθενή οξέα. Η προσρόφησή τους από τα κολλοειδή του εδάφους δεν είναι ισχυρή και γι' αυτό η πιθανότητα έκπλυσής τους στα περισσότερα εδάφη είναι μεγάλη (παρουσιάζουν βαθμό έκπλυσης 4-5). Η απομάκρυνσή τους πραγματοποιείται κυρίως μέσω μικροβιακής αποδόμησης (Ελευθεροχωρινός, 2008).

2.1.6 Σουλφονυλαμινοκαρβονυλοτριαζολινόνες

Στην οικογένεια αυτή ανήκουν τα ζιζανιοκτόνα φυλλώματος flucarbazone και propoxycarbazone (Σχήμα 5), καθώς και το ζιζανιοκτόνο φυλλώματος και εδάφους thiencarbazone.



Σχήμα 5. Χημική δομή των ζιζανιοκτόνων flucarbazone και propoxycarbazone.

Είναι αποτελεσματικά κυρίως εναντίον ετήσιων αγρωστωδών ζιζανίων, αν και στο φάσμα δράσης τους συμπεριλαμβάνονται και ορισμένα ετήσια, πλατύφυλλα ζιζάνια. Απορροφώνται εύκολα από τα φύλλα και τις ρίζες και μετακινούνται εντός των φυτών μέσω του συμπλάστη και του αποπλάστη (Ελευθεροχωρινός, 2008). Τα ζιζανιοκτόνα αυτής της χημικής οικογένειας είναι δραστικά σε πολύ μικρότερες δόσεις από ότι τα περισσότερα από τα ήδη χρησιμοποιούμενα ζιζανιοκτόνα. Τα ζιζανιοκτόνα της χημικής αυτής οικογένειας συμπεριφέρονται στο εδαφικό διάλυμα ως ασθενή οξέα. Η προσρόφησή τους από τα κολλοειδή του εδάφους δεν είναι ισχυρή και γι' αυτό η πιθανότητα έκπλυσής τους στα περισσότερα εδάφη είναι μεγάλη. Η υπολειμματική τους διάρκεια στο έδαφος κυμαίνεται από 2 μέχρι 4 μήνες. Η απομάκρυνσή τους πραγματοποιείται κυρίως μέσω μικροβιακής αποδόμησης (Ελευθεροχωρινός, 2008).

2.2 Ανθεκτικότητα ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα

2.2.1 Γενικές έννοιες-ορισμοί

Ο όρος ανθεκτικότητα κατά την επικρατέστερη άποψη διεθνώς (De Prado and Franco, 2004), αναφέρεται ‘στην επιλεγμένη κληρονομική ικανότητα μερικών βιοτύπων ενός ζιζανίου να επιβιώνουν μετά από εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης ενός ζιζανιοκτόνου, στο οποίο ο αρχικός πληθυσμός του ζιζανίου ήταν ευαίσθητος’. Επομένως, σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, οι ανθεκτικοί βιότυποι (γενότυποι) ενός ζιζανίου προϋπάρχουν με τους ευαίσθητους βιότυπους στον αρχικό πληθυσμό και επιλέγονται ως αντίδραση του ζιζανίου (με ταυτόχρονη μείωση της παραλλακτικότητας) στην επαναλαμβανόμενη εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου (Ελευθεροχωρινός, 2020). Η ευαισθησία του αρχικού πληθυσμού του ζιζανίου (όπου αναπτύχθηκαν ανθεκτικοί βιότυποι) αποδεικνύεται από την ετικέτα της πρώτης έγκρισης του ζιζανιοκτόνου, όπου το ζιζάνιο χαρακτηρίζεται ως ευαίσθητο, αλλά κυρίως και από το γεγονός ότι το ζιζάνιο αυτό παραμένει ευαίσθητο σε εφαρμογές του ίδιου ζιζανιοκτόνου σε γειτονιάζοντες ή και μη γειτονιάζοντες αγρούς της ίδιας περιοχής ή σε αγρούς άλλων περιοχών. Επίσης, η υπόθεση της ύπαρξης των ανθεκτικών βιοτύπων στον αρχικό πληθυσμό του ευαίσθητου ζιζανίου και όχι της ανάπτυξής τους ως αποτέλεσμα της πρόκλησης μεταλλάξεων από το ζιζανιοκτόνο επαληθεύεται από τον τρόπο εμφάνισης της ανθεκτικότητας των ζιζανίων. Συγκεκριμένα, η ανθεκτικότητα εμφανίζεται σε ένα είδος ζιζανίου και σε ορισμένες περιοχές (δηλαδή εκεί όπου υπάρχουν ανθεκτικοί βιότυποι και επιλέγονται) παρά το γεγονός ότι και άλλοι ευαίσθητοι πληθυσμοί του ίδιου ζιζανίου (σε άλλες περιοχές) ή άλλα είδη ευαίσθητων ζιζανίων εκτίθενται ταυτοχρόνως στην ίδια πίεση επιλογής του ζιζανιοκτόνου. Η μη εμφάνιση ανθεκτικότητας σε άλλους πληθυσμούς του ίδιου ζιζανίου ή σε πληθυσμούς άλλων ειδών εξηγείται μόνον αν γίνει αποδεκτό ότι οι πληθυσμοί αυτών των ζιζανίων δεν είχαν εξ αρχής ανθεκτικούς βιότυπους (σε ικανοποιητική συχνότητα). Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο μηχανισμός κληρονομικής της ανθεκτικότητας ενός βιοτύπου ζιζανίου σε ένα ζιζανιοκτόνο ελέγχεται συνήθως από ένα γονίδιο (Ελευθεροχωρινός, 2020).

2.2.2 Αντοχή στα ζιζανιοκτόνα

Ο όρος αντοχή αναφέρεται στην ‘αρχική διαβαθμισμένη ή κλιμακούμενη (λόγω παραλλακτικότητας) μη ευαισθησία ενός ζιζανίου στη συνιστώμενη δόση ενός ζιζανιοκτόνου’ (Devine κ.ά., 1993; από Ελευθεροχωρινός, 2008). Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, ο αρχικός πληθυσμός του ζιζανίου δεν ήταν ευαίσθητος στη συνιστώμενη δόση του ζιζανιοκτόνου, γι’ αυτό και το ζιζάνιο στην ετικέτα της πρώτης έγκρισης του ζιζανιοκτόνου, κατατάσσεται στα ζιζάνια που δεν παρουσιάζουν ευαισθησία στο ζιζανιοκτόνο. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι ο πληθυσμός του ζιζανίου που διαθέτει φυσική αντοχή, σε αντίθεση με τον επιλεγμένο από το ζιζανιοκτόνο ανθεκτικό βιότυπο, συχνά αντιμετωπίζεται με αύξηση της δόσης εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Τα όσα προαναφέρθηκαν δείχνουν ότι η ανθεκτικότητα και η αντοχή περιγράφουν το ίδιο φαινόμενο (ευαισθησία ενός ζιζανίου σε ένα ζιζανιοκτόνο), αλλά με διαφορές στην ένταση (De Prado και Franco, 2004). Ειδικότερα, η ανθεκτικότητα έχει μεγαλύτερη ένταση από εκείνη της αντοχής, γι’ αυτό και όπως προαναφέρθηκε, οι ανθεκτικοί βιότυποι συχνά δεν αντιμετωπίζονται ακόμα και με εφαρμογή εξαιρετικά υψηλότερων από την συνιστώμενη δόσεων του ζιζανιοκτόνου, ενώ τα περισσότερα ζιζάνια που έχουν φυσική αντοχή είναι δυνατόν να αντιμετωπισθούν με αύξηση της δόσης εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου. Η άποψη αυτή δεν διαφέρει από εκείνη των Holt και LeBaron (1990), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η αντοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως μικρής έντασης ανθεκτικότητα η οποία, σε αντίθεση με την ανθεκτικότητα, εξαρτάται από την δόση εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου.

2.2.3 Τύποι ανθεκτικότητας

Ο Ελευθεροχωρινός (2008), αναφέρει ότι ανθεκτικότητα είναι ‘η επιλεγμένη κληρονομική ικανότητα μερικών βιοτύπων ενός ζιζανίου να επιβιώνουν μετά από εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης ενός ζιζανιοκτόνου, στο οποίο ο αρχικός πληθυσμός του ζιζανίου ήταν ευαίσθητος’. Επίσης, επισημαίνει ότι υπάρχουν δύο τύποι ανθεκτικότητας, η σταυρανθεκτικότητα (cross resistance) και η πολλαπλή ανθεκτικότητα (multiple resistance).

Η σταυρανθεκτικότητα ορίζεται ως η ‘ανθεκτικότητα ενός ζιζανίου σε περισσότερα από ένα ζιζανιοκτόνα που ανήκουν στην ίδια ή σε διαφορετικές οικογένειες με ίδιο μηχανισμό δράσης ή μεταβολισμού’ (Ελευθεροχωρινός, 2008). Η ανθεκτικότητα αυτής της μορφής ελέγχεται από ένα γονίδιο.

Η πολλαπλή ανθεκτικότητα αναφέρεται στην «ανθεκτικότητα ενός ζιζανίου σε περισσότερα από ένα ζιζανιοκτόνα που ανήκουν σε οικογένειες με διαφορετικούς μηχανισμούς δράσης ή μεταβολισμού». Η ανθεκτικότητα αυτής της μορφής ελέγχεται από πολλά γονίδια (Ελευθεροχωρινός, 2008).

2.2.4 Μηχανισμοί ανθεκτικότητας των ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα.

Η ανθεκτικότητα των ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα μπορεί να οφείλεται σε φυσιολογικούς ή/και βιοχημικούς μηχανισμούς των φυτών. Οι κυριότεροι φυσιολογικοί μηχανισμοί των ζιζανίων που συμβάλλουν στην επιλογή ανθεκτικότητας μεταξύ των πληθυσμών των ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα είναι: 1) η μείωση του ρυθμού απορρόφησης του ζιζανιοκτόνου, 2) η μείωση του ρυθμού μετακίνησης και η 3) η τροποποίηση στην ενδοκυτταρική κατανομή των ζιζανιοκτόνων.

Οι βιοχημικοί μηχανισμοί των ζιζανίων που εξηγούν την ανθεκτικότητά τους στα ζιζανιοκτόνα σχετίζονται με 1) την ικανότητα τους να μεταβολίζουν τα ζιζανιοκτόνα μέσω α) μετατροπής-αποδόμησης (οξειδωση, υδροξυλίωση, υδρόλυση, αναγωγή) των μορίων τους, β) σχηματισμού συμπλόκων με συστατικά των κυττάρων (γλουταθειόνη, σάκχαρα, αμινοξέα κ.ά.), και γ) εναπόθεσής τους στα κυτταρικά τοιχώματα και στα χυμοτόπια, 2) την υπερπαραγωγή του ενζύμου που αποτελεί θέση δράσης του ζιζανιοκτόνου και 3) την τροποποίηση της θέσης δράσης του ζιζανιοκτόνου (Ελευθεροχωρινός, 2008). Ειδικότερα για τις διεργασίες μετατροπής-αποδόμησης, οι De Prado και Franco (2004) αναφέρουν ότι η οξειδωση και η υδροξυλίωση των ζιζανιοκτόνων καταλύονται εντός των φυτών από τα ένζυμα μονοοξυγονάσες του κυτοχρώματος P450 (CytP₄₅₀), η υδρόλυση από τις υδρολάσες (εστεράσες, αμιδάσες, νιτριλάσες, φωσφατάσες) και η αναγωγή από τις αναγωγάσες (απαμινάσες, νιτροαναγωγάσες).

2.2.5 Η ανθεκτικότητα των ζιζανίων σε παγκόσμια κλίμακα

Η πρώτη αναφορά για ανάπτυξη ανθεκτικού ζιζανίου αφορούσε στο ζιζανιοκτόνο 2,4-D (ανήκει στη χημική οικογένεια των φαινοξυαλκανοϊκών) και έγινε το 1957 στη Χαβάη (Hilton, 1957). Βέβαια, το 1968 για πρώτη φορά δημοσιεύτηκαν στοιχεία για την ανάπτυξη ανθεκτικών βιοτύπων του ζιζανίου μαρτιάκος (*Senecio vulgaris*), το οποίο παρουσίασε μειωμένη ευαισθησία στις τριαζίνες simazine και atrazine (Ryan, 1970). Έκτοτε, η πίεση επιλογής που άσκησαν οι επαναλαμβανόμενες επεμβάσεις ζιζανιοκτόνων με εξειδικευμένο μηχανισμό δράσης σε τεράστιες καλλιεργούμενες εκτάσεις συνετέλεσαν σε ραγδαία επιλογή ανθεκτικών πληθυσμών ζιζανίων. Μέχρι σήμερα σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν αναφερθεί 515 ξεχωριστές περιπτώσεις (είδος ζιζανίου x μηχανισμό/θέση δράσης) ζιζανίων με ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα. Συνολικά, ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα έχει ταυτοποιηθεί σε 267 (διακόσια εξήντα επτά) είδη ζιζανίων (154 δικοτυλήδων και 113 μονοκοτυλήδων ειδών). Προσέτι, επιλεγεί ανθεκτικοί πληθυσμοί σε διάφορα είδη ζιζανίων στις 21 από τις συνολικά 31 υπάρχουσες θέσεις δράσης ζιζανιοκτόνων και σε 165 διαφορετικά ζιζανιοκτόνα. Σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν αναφερθεί ανθεκτικά είδη ζιζανίων σε 97 διαφορετικές καλλιέργειες, σε 72 χώρες (Hear, 2022).

2.2.6 Εξέλιξη της ανθεκτικότητας στην Ελλάδα

Τα μέχρι σήμερα δεδομένα δείχνουν ότι στην Ελλάδα έχουν εμφανίσει ανθεκτικότητα 23 είδη ζιζανίων (Hear, 2022; Ελευθεροχωρινός, 2020) σε ζιζανιοκτόνα που αναστέλλουν: (1) τη ροή ηλεκτρονίων στο φωτοσύστημα II (PSII), (2) τη δράση του ενζύμου καρβοξυλάση του ακέτυλο-CoA (ACCase), (3) τη δράση του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (ALS) και (4) τη δράση του ενζύμου EPSPS (Ελευθεροχωρινός, 2020). Αναλυτικότερα, το είδος **κοινή μουχρίτσα** (*Echinochloa crus-galli*) εμφάνισε ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο propanil, το **τραχύ βλήτο** (*Amaranthus retroflexus*) και η **λουβουδιά** (*Chenopodium album*) ανέπτυξαν ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο metribuzin (Eleftherohorinos κ.ά., 2000), η **αγριοτομάτα** (*Solanum nigrum*) ανέπτυξε ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο prometryn, η λεπτή ήρα (*Lolium rigidum*) ανέπτυξε πολλαπλή ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα chlorsulfuron, mesosulfuron+iodosulfuron, clodinafop, diclofop και tralkoxydim (Kaloumenos κ.ά., 2012), η **κοινή παπαρούνα** (*Papaver rhoeas*) ανέπτυξε σταυρανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα chlorsulfuron, tribenuron, triasulfuron, mesosulfuron+iodosulfuron, florasulam, pyriithiobac και imazamox (Kaloumenos κ.ά., 2008; Kaloumenos κ.ά., 2011), το πολυετές αγρωστώδες **βέλιουρας** (*Sorghum halepense*) ανέπτυξε διασταυρωτή ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα quizalofop, propraquizafor και fluazifop-P-butyl (Παπαπαναγιώτου κ.ά., 2017a),

η **χειμερινή αγριοβρόμη** (*Avena sterilis*) ανέπτυξε διασταυρωτή ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα diclofor, clodinafor, fenoxarprop, tralkoxydim και pinoxaden (Papapanagioutou κ.ά., 2012) και στους ALS-αναστολείς (mesosulfuron+iodosulfuron, pyroxsulam) (Παπαπαναγιώτου κ.ά. 2017d), η **όρθια μουχρίτσα** (*Echinochloa oryzicola*) ανέπτυξε σταυρανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα penoxsulam, bispyribac, imazamox, foramsulfuron, nicosulfuron και rimsulfuron (Kaloumenos κ.ά., 2013a), το **κόκκινο ρύζι** (*Oryza sativa*) ανέπτυξε σταυρανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα imazamox και imazethapyr (Kaloumenos κ.ά., 2013b), η **μικρόκαρπη φάλαρη** (*Phalaris minor*) στους ACCase-αναστολείς diclofor, clodinafor propargyl και fenoxarprop (Travlos, 2012), η **μοσχοκύπερη** (*Cyperus difformis*) στους ALS-αναστολείς azimsulfuron, halosulfuron, imazosulfuron (Ntoanidou κ.ά., 2016), το **άγριο σινάπι** (*Sinapis arvensis*) (Ntoanidou κ.ά., 2017) και το **ράπιστρο** (Ntoanidou κ.ά., 2019) στους ALS-αναστολείς tribenuron και imazamox και **είδη κόνυζας** (*Conyza canadensis* και *C. albida*) ανέπτυξαν ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο glyphosate (Travlos και Chachalis, 2013). Επίσης, πληθυσμοί των αγρωστωδών ζιζανίων **ανεμόχορτο** (*Apera spica-venti*) και **μίλιο** (*Milium vernale*) ανέπτυξαν ανθεκτικότητα σε ACCase- (diclofor, clodinafor propargyl) και ALS-αναστολείς (chlorsulfuron, mesosulfuron+iodosulfuron, pyroxsulam) (Παπαπαναγιώτου κ.ά., 2017c), ενώ πληθυσμοί των ειδών μικρόκαρπη (*Galium spurium*), και μεγάλοκαρπη (*Galium aparine*) κολλητσίδα (Παπαπαναγιώτου κ.ά., 2017d; Papapanagioutou κ.ά., 2019) και του είδους μικρόκαρπη καμελίνα (*Camelina microcarpa*) (Παπαπαναγιώτου κ.ά., 2017e), ανέπτυξαν ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (ALS) (chlorsulfuron, tribenuron, florasulam, pyroxsulam+florasulam, mesosulfuron+iodosulfuron).

2.2.7 Ανάπτυξη ανθεκτικότητας και σταυρανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα αναστολείς της δράσης ενζύμου ALS η AHAS

Τα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της δράσης του ALS ενζύμου αποτελούν τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ζιζανιοκτόνα παγκοσμίως. Οι παραγωγοί χρησιμοποιούν εκτεταμένα σε επαναλαμβανόμενες επεμβάσεις εδώ και πολλά χρόνια ζιζανιοκτόνα αυτού του μηχανισμού δράσης, επειδή είναι αποτελεσματικά εναντίον πολλών πλατύφυλλων και ορισμένων αγρωστωδών ζιζανίων, αλλά και λόγω της χαμηλής δόσης εφαρμογής, της μεγάλης υπολειμματικής τους διάρκειας, της εκλεκτικότητας και της χαμηλής τοξικότητας που εμφανίζουν στα καλλιεργούμενα φυτά (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Βέβαια, η ικανότητα τους να επιλέγουν-αναπτύσσουν εύκολα (με ταχύ ρυθμό) ανθεκτικούς βιότυπους ζιζανίων είναι το μεγαλύτερο μειονέκτημα που παρουσιάζουν (Beckie και Tardif, 2012). Αυτό τεκμαίρεται από το γεγονός ότι μετά από 4-5 χρόνια συνεχόμενων επεμβάσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron (σουλφονουρία) επιλέχθηκαν στη Βόρεια Αμερική (1987) ανθεκτικοί βιότυποι των ζιζανίων *Lactuca serriola* L. (αγριομάρουλο) και *Kochia scoparia* [L.] Schrad (Ελευθεροχωρινός, 2008). Μετά την πρώτη τεκμηριωμένη αναφορά επιλογής ανθεκτικότητας, ο αριθμός των ανθεκτικών βιοτύπων ζιζανίων στους ALS-αναστολείς αυξήθηκε σημαντικά και το 2000 υπερέβαινε τον αριθμό ανθεκτικών ειδών στα διπυριδία και στις τριαζίνες που είχαν ήδη χρησιμοποιηθεί ήδη για 40 περίπου χρόνια.

Τα συγκεκριμένα ζιζανιοκτόνα χρησιμοποιούνται σε δόσεις μικρότερες κατά 10 ως 100 φορές σε σχέση με εκείνες που ήδη χρησιμοποιούνται. Παρόλα αυτά, ο χρόνος παραμονής ορισμένων δραστικών ουσιών της χημικής οικογένειας είναι μεγαλύτερος από έναν χρόνο, αν και οι δόσεις εφαρμογής τους είναι πολύ μικρότερες συγκριτικά με ζιζανιοκτόνα άλλων χημικών οικογενειών και μηχανισμών δράσης (Ελευθεροχωρινός, 2008). Η μεγάλη υπολειμματική τους διάρκεια εκθέτει νεαρά σπορόφυτα που προκύπτουν από συνεχόμενα 'κύματα φυτρώματος' στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου σε διαρκή πίεση επιλογής συντελώντας στην 'ανάδυση' ανθεκτικών πληθυσμών από τους αρχικούς, ευαίσθητους πληθυσμούς. Γενικά, η εντατική χρήση των ζιζανιοκτόνων-αναστολέων της δράσης του ενζύμου ALS για παραπάνω από 40 έτη συνέβαλε στην ανάπτυξη ανθεκτικών πληθυσμών που ανήκουν σε 171 συνολικά είδη αγρωστωδών και πλατύφυλλων ζιζανίων (Hear, 2022).

Ο μηχανισμός ανθεκτικότητας των περισσότερων βιοτύπων οφείλεται στην τροποποίηση της θέσης δράσης των ζιζανιοκτόνων αυτών (ένζυμο ALS ή AHAS), το οποίο κωδικοποιείται εντός του πυρήνα και μέσω ενός πεπτιδίου-μεταφορέα μεταφέρεται εντός των χλωροπλαστών όπου γίνεται η σύνθεση των τριών αμινοξέων διακλαδισμένης αλυσίδας άνθρακα (Tranel και Wright, 2002). Ωστόσο, υπάρχουν και διάφοροι πληθυσμοί ζιζανίων των οποίων η ανθεκτικότητα οφείλεται σε μεταβολισμό των ζιζανιοκτόνων-αναστολέων της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση, μέσω υδροξυλίωσης και στη συνέχεια μέσω σχηματισμού ενός συμπλόκου με γλυκόζη (Cao κ.ά., 2021; Tranel και Wright, 2002).

2.2.8 Σταυρανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της δράσης του ενζύμου ALS

Οι περισσότερες περιπτώσεις ανθεκτικότητας πληθυσμών αγρωστωδών ή πλατύφυλλων ειδών ζιζανίων οφείλονται σε τροποποιημένη θέση-στόχο δράσης των ζιζανιοκτόνων-αναστολέων του ενζύμου ALS. Ειδικότερα, η ανθεκτικότητα οφείλεται στην ύπαρξη ενός μεταλλαγμένου γονιδίου (εμφάνιση σημειακών μεταλλάξεων στο γονίδιο *ALS*), το οποίο είναι υπεύθυνο για την εμφάνιση διαφορετικών προφίλ σταυρανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα τα οποία ανήκουν σε μία ή περισσότερες από τις χημικές οικογένειες των ζιζανιοκτόνων-αναστολέων της δράσης του ενζύμου ALS.

Μέχρι σήμερα, έχουν ταυτοποιηθεί περισσότερες από 20 αντικαταστάσεις αμινοξέων σε 8 θέσεις του *ALS* γονιδίου, οι οποίες προσδίδουν ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της δράσης του ενζύμου ALS (Beckie και Tardif, 2012; Tranel και Wright, 2002). Οι βιότυποι των ζιζανίων, με βάση τη θέση αντικατάστασης των αμινοξέων του ενζύμου ALS ή AHAS και την επακόλουθη επιλογή/ανάπτυξη ανθεκτικότητας ή σταυρανθεκτικότητας στα διάφορα ζιζανιοκτόνα, θα μπορούσαν να καταταγούν σε έξι ομάδες (Ελευθεροχωρινός, 2008):

Ομάδα 1. Η αντικατάσταση του αμινοξέος αλανίνη (Ala) στη θέση 122 του *ALS* γονιδίου από το αμινοξύ θρεονίνη (Thr) (Ala-122-Thr) προκαλεί σταυρανθεκτικότητα μόνο σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της οικογένειας των ιμιδαζολινονών, ενώ οι ανθεκτικοί βιότυποι των ζιζανίων είναι ευαίσθητοι στις σουλφονουλουρίες και στις άλλες ομάδες ζιζανιοκτόνων-αναστολέων του ενζύμου ALS.

Ομάδα 2. Η αντικατάσταση του αμινοξέος προλίνη (Pro) στη θέση 197 του *ALS* γονιδίου από τα αμινοξέα θρεονίνη (Thr), αλανίνη (Ala), αργινίνη (Arg), γλουταμίνη (Gln), σερίνη (Ser), ισολευκίνη (Ile), λευκίνη (Leu) ή ιστιδίνη (His) (Pro-197-) παρέχει στους βιότυπους ζιζανίων που φέρουν τις συγκεκριμένες σημειακές μεταλλάξεις σταυρανθεκτικότητα μόνο στα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της οικογένειας των σουλφονουλουριών, ενώ οι βιότυποι παραμένουν ευαίσθητοι ή εμφανίζουν πολύ χαμηλά επίπεδα ανθεκτικότητας στα ζιζανιοκτόνα της χημικής οικογένειας των ιμιδαζολινονών.

Ομάδα 3. Σε αυτήν ανήκουν βιότυποι ζιζανίων που φέρουν την αντικατάσταση του αμινοξέος αλανίνη (Ala) στη θέση 205 του *ALS* γονιδίου, το οποίο αντικαθίσταται από το αμινοξύ βαλίνη (Val) (Ala-205-Val) και καθιστά τα φυτά ανθεκτικά στις ιμιδαζολινόνες και ευαίσθητα στις σουλφονουλουρίες ή με μέτρια σταυρανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα των χημικών οικογενειών των σουλφονουλουριών, ιμιδαζολινονών, πυριμιδινυλβενζοϊκών και τριαζολοπυριμιδινών.

Ομάδα 4. Η συγκεκριμένη ομάδα περιλαμβάνει βιότυπους ζιζανίων οι οποίοι εμφανίζουν υψηλής έντασης σταυρανθεκτικότητα σε όλα τα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της δράσης του ενζύμου ALS (ζιζανιοκτόνα των χημικών οικογενειών των σουλφονουλουριών, των ιμιδαζολινονών, των πυριμιδινυλθειοβενζοϊκών και των τριαζολοπυριμιδινών). Η ανθεκτικότητα αυτών των βιοτύπων οφείλεται σε αντικατάσταση του αμινοξέος τρυπτοφάνη (Trp), στη θέση 574 του *ALS* γονιδίου, από το αμινοξύ λευκίνη (Leu) (Trp-574Leu).

Ομάδα 5. Στην ομάδα περιλαμβάνονται ανθεκτικοί στα ζιζανιοκτόνα βιότυποι/πληθυσμοί ζιζανίων λόγω αντικατάστασης του αμινοξέος σερίνη (Ser) στη θέση 653 του *ALS* γονιδίου από τα αμινοξέα θρεονίνη (Thr) ή ασπαραγίνη (Asn) (Ser-653-Thr/Asn). Οι βιότυποι που φέρουν τη συγκεκριμένη σημειακή μετάλλαξη παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στις ιμιδαζολινονές και ευαισθησία στις σουλφονουλουρίες και τις τριαζολοπυριμιδίνες.

Ομάδα 6. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει βιότυπους ζιζανίων (είδος βλήτου *Amaranthus hybridus*), που παρουσιάζουν σταυρανθεκτικότητα σε όλα τα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της δράσης του ενζύμου ALS. Η σταυρανθεκτικότητα αυτή οφείλεται σε αντικατάσταση του αμινοξέος ασπαρτικού οξύ (Asp), στη θέση 376 του *ALS* γονιδίου, από το αμινοξύ γλουταμινικό οξύ (Glu) (Asp-376-Glu).

2.2.9 Μέτρα αντιμετώπισης της ανθεκτικότητας των ζιζανίων

Ένας σημαντικός αριθμός ειδών ζιζανίων που αναπτύσσονται εντός των καλλιεργούμενων αγρών έχουν ήδη εμφανίσει ανθεκτικούς βιοτύπους/πληθυσμούς σε ορισμένα ζιζανιοκτόνα.

Αρκετά μάλιστα από αυτά τα ζιζανιοκτόνα αναπτύχθηκαν σχετικά πρόσφατα και ανήκουν στις λιγότερο επιβλαβείς στον άνθρωπο και στο περιβάλλον οικογένειες ζιζανιοκτόνων. Αυτό, όπως είναι φυσικό, καθιστά αναγκαία τη λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των ήδη ανθεκτικών βιοτύπων και ταυτόχρονα τη λήψη προληπτικών μέτρων για τη μείωση της πιθανότητας ανάπτυξης-επιλογής νέων βιοτύπων των ίδιων ή άλλων ειδών ζιζανίων με ανθεκτικότητα στα ίδια ή σε άλλα ζιζανιοκτόνα. Η μείωση όμως της πιθανότητας επιλογής νέων βιοτύπων με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα εξαρτάται από τους παράγοντες της εφαρμοζόμενης γεωργικής πρακτικής.

Υπάρχουν διάφορα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για τη μείωση της πιθανότητας επιλογής νέων βιοτύπων/πληθυσμών με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα. Τα μέτρα που μπορεί να ληφθούν για τη μείωση της πιθανότητας ανάπτυξης νέων βιοτύπων με ανθεκτικότητα ζιζανιοκτόνα είναι: (1) η υιοθέτηση αμειψισποράς (εναλλαγής των καλλιεργειών), (2) η εναλλαγή ζιζανιοκτόνων και η χρήση μιγμάτων ζιζανιοκτόνων με διαφορετικό μηχανισμό δράσης, (3) η χρήση κατάλληλων μέσων κατεργασίας εδάφους, (4) η εφαρμογή καλλιεργητικών μέτρων και (5) η εφαρμογή συστημάτων ολοκληρωμένης διαχείρισης των ζιζανίων (IWM, Integrated Weed Management).

Ειδικότερα, η αμειψισπορά μπορεί να αποτρέψει την επιλογή ανθεκτικών βιοτύπων ζιζανίων μέσω της δυνατότητας που παρέχει για:

1. Αποφυγή κάποιων ζιζανίων να εκτεθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο ίδιο ζιζανιοκτόνο
2. Εφαρμογή άλλων μεθόδων αντιμετώπισης των ζιζανίων και σε διαφορετικό χρόνο
3. Εφαρμογή άλλων ζιζανιοκτόνων
4. Καλλιέργεια ανταγωνιστικότερων καλλιεργούμενων φυτών εναντίον των ζιζανίων

Προσέτι, η εναλλαγή ζιζανιοκτόνων και η χρήση μιγμάτων ζιζανιοκτόνων μειώνει την πιθανότητα ανάπτυξης ανθεκτικών βιοτύπων μέσω της παρεχόμενης δυνατότητας για:

1. Περιορισμένη χρήση ενός και μόνο ζιζανιοκτόνου
2. Χρήση μιγμάτων ζιζανιοκτόνων με διαφορετικό μηχανισμό δράσης
3. Διαδοχική εφαρμογή επεμβάσεων με ζιζανιοκτόνα διαφορετικού μηχανισμού δράσης
4. Χρήση μη εκλεκτικών και ευρέως φάσματος ζιζανιοκτόνων στα πρώιμα εμφανιζόμενα ζιζάνια

Τα καλλιεργητικά μέτρα που συστήνονται για την επιβράδυνση της επιλογής αλλά και τη διαχείριση ήδη επιλεγέντων βιοτύπων/πληθυσμών ζιζανίων με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα είναι: (1) η καλή προετοιμασία της σποροκλίνης, (2) η επιλογή σπόρου ομοιόμορφου μεγέθους, (3) η κατάλληλη εποχή σποράς, (4) η πυκνότερη και σε ομοιόμορφο βάθος σπορά και (5) η ορθή χρήση νερού και λιπασμάτων. Τα μέτρα αυτά συμβάλλουν συμπληρωματικώς στην αντιμετώπιση των ζιζανίων και στη μείωση της πιθανότητας ανάπτυξης ανθεκτικών βιοτύπων σε ζιζανιοκτόνα, γιατί εξασφαλίζουν γρήγορη και ομοιόμορφη εγκατάσταση μιας εύρωστης καλλιέργειας η οποία χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα εναντίον των ζιζανίων (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Η κατεργασία του εδάφους με άροτρο με βαθύ όργωμα μειώνει την πιθανότητα και τον ρυθμό ανάπτυξης ανθεκτικών ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα σε σχέση με την ελάχιστη κατεργασία του εδάφους, επειδή το βαθύ όργωμα αναστρέφει το έδαφος και ως εκ τούτου κατανέμει τους σπόρους των ανθεκτικών ζιζανίων σε μεγάλο βάθος με αποτέλεσμα να μειώνεται η ποσότητα τους κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, όπου οι σπόροι φυτρώνουν ευκολότερα και ακολούθως αναπτύσσονται σε ανθεκτικά φυτά (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των ζιζανίων είναι το σύστημα με τη μεγαλύτερη συμβολή στη μείωση της πιθανότητας επιλογής ανθεκτικών ζιζανίων, αφού έχει ως στόχο τη διαχείριση και όχι την πλήρη εξάλειψη των ζιζανίων. Το σύστημα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί είτε αυτοτελώς είτε μέσω προγραμμάτων που εφαρμόζονται ήδη διεθνώς και είναι γνωστά ως ολοκληρωμένη διαχείριση των εχθρών (IPM, Integrated Pest Management) ολοκληρωμένη διαχείριση φυτικής παραγωγής (ICM, Integrated Crop Management) ή ολοκληρωμένη παραγωγή (IP, Integrated Production) (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Εφόσον η μη έγκαιρη υιοθέτηση και εφαρμογή προληπτικών μέτρων για την αποφυγή επιλογής ανθεκτικών βιοτύπων συντελέσει στην εμφάνιση ανθεκτικών βιοτύπων στους καλλιεργούμενους αγρούς, η αντιμετώπιση των ήδη αναπτυχθέντων ανθεκτικών βιοτύπων ενός ζιζανίου μπορεί να γίνει με: (1) εφαρμογή άλλων ζιζανιοκτόνων που έχουν διαφορετικό μηχανισμό δράσης (εναλλακτική χημική καταπολέμηση), (2) εφαρμογή κάποιας άλλης μη χημικής μεθόδου, (3) αμειψισπορά που επιτρέπει την εφαρμογή άλλων ζιζανιοκτόνων και άλλων μεθόδων, (4) καλλιέργεια γενετικά τροποποιημένων φυτών με ανθεκτικότητα σε μεταφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα ευρέως φάσματος (glyphosate, glufosinate).

Βέβαια, σημαντικότερη στόχευση δεν αποτελεί η διαχείριση των ήδη αναπτυχθέντων ανθεκτικών βιοτύπων αλλά η λήψη των κατάλληλων μέτρων τα οποία θα μειώσουν την πιθανότητα επιλογής και επικράτησης νέων βιοτύπων ζιζανίων με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα.

2.2.10 Σκοπός Εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση πιθανής επιλογής ανθεκτικότητας στο ζιζανιοκτόνο-αναστολέα της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση halosulfuron-methyl, σε επιλεγμένους πληθυσμούς του ζιζανίου μοσχοκύπερη, οι οποίοι συλλέχθηκαν από καλλιεργούμενους αγρούς σε περιοχές μονοκαλλιέργειας ρυζιού των νομών Θεσσαλονίκης, Ημαθίας, Πιερίας, Σερρών και Καβάλας. Επίσης, διερευνήθηκε η ανταπόκριση των συγκεκριμένων πληθυσμών στο αμίδιο φυλλώματος propanil το οποίο διαθέτει διαφορετικό μηχανισμό δράσης (αναστολέας της φωτοσύνθεσης), για να εξεταστεί η πιθανή επιλογή πολλαπλής ανθεκτικότητας σε κάποιους πληθυσμούς σε δραστικές ουσίες με διαφορετικούς μηχανισμούς δράσης είτε η δυνατότητα αποτελεσματικής εναλλακτικής χημικής τους καταπολέμησης με ένα ζιζανιοκτόνο διαφορετικού μηχανισμού δράσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

Πενήντα επτά (57) επιλεγμένοι πληθυσμοί του είδους μοσχοκύπερη (*Cyperus difformis* L.) αξιολογήθηκαν σε πειράματα φυτοδοχείων για πιθανή ανάπτυξη ανθεκτικότητας στο ζιζανιοκτόνο-αναστολέα της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (ALS) halosulfuron-methyl, καθώς και του ζιζανιοκτόνου propanil, αναστολέα της ροής ηλεκτρονίων στο φωτοσύστημα II. Οι πληθυσμοί του ζιζανίου προέρχονταν από αγρούς μονοκαλλιέργειας ρυζιού οι οποίοι ήταν εγκαταστημένοι σε περιοχές των νομών Θεσσαλονίκης, Ημαθίας, Πιερίας, Σερρών και Καβάλας και συλλέχθηκαν με δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν σε δύο διαδοχικές καλλιεργητικές περιόδους, στη διάρκεια του μηνός Σεπτεμβρίου των ετών 2020 και 2021, όπως φαίνεται στους Πίνακες 2 και 3 που ακολουθούν.

Πίνακας 2. Περιοχές δειγματοληψίας των ύποπτων για επιλογή ανθεκτικότητας πληθυσμών του ζιζανίου μοσχοκύπερη που αναπτύσσονταν σε αγρούς μονοκαλλιέργειας ρυζιού των νομών Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Πιερίας και Σερρών (έτος δειγματοληψίας 2020).

Πληθυσμοί μοσχοκύπερης (α/α)	Νομός προέλευσης	Περιοχή δειγματοληψίας	Συνολικός αριθμός πληθυσμών ανά περιοχή δειγματοληψίας
1-7	Ημαθία	Σχοινάς	7
8-10	Θεσσαλονίκη	Ανατολικό	3
11-20	Θεσσαλονίκη	Άδενδρο	10
21-32	Θεσσαλονίκη	Χαλάστρα	12
33	Θεσσαλονίκη	Κύμινα	1
34-36	Θεσσαλονίκη	Μάλγαρα	3
37-42	Πιερία	Αιγίνιο	6
43-46	Σέρρες	Μονοκκλησιά- Βαμβακιά	4

Πίνακας 3. Περιοχές δειγματοληψίας των ύποπτων για επιλογή ανθεκτικότητας πληθυσμών του ζιζανίου μοσχοκύπερη που αναπτύσσονταν σε αγρούς μονοκαλλιέργειας ρυζιού των νομών Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Πιερίας και Σερρών (έτος δειγματοληψίας 2021).

Πληθυσμοί μοσχοκύπερης (α/α)	Νομός προέλευσης	Περιοχή δειγματοληψίας	Συνολικός αριθμός πληθυσμών ανά περιοχή δειγματοληψίας
47-52	Θεσσαλονίκη	Χαλάστρα	6
53	Θεσσαλονίκη	Βαλτοχώρι	1
54-55	Ημαθία	Σχοινιάς	2
56-57	Καβάλα	Ερατεινό	2

Στα πειράματα φυτοδοχείων ύποπτων πληθυσμών του ζιζανίου μοσχοκύπερη για την πιθανή επιλογή ανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα–αναστολείς της δράσης του ενζύμου ALS και του ζιζανιοκτόνου propanil αξιολογήθηκε ένας εγνωσμένης ευαισθησίας πληθυσμός αναφοράς. Ο συγκεκριμένος πληθυσμός συλλέχθηκε από φυτά που αναπτύσσονταν σε ορυζώνα ο οποίος δεν δέχθηκε επεμβάσεις με ζιζανιοκτόνα για αρκετά χρόνια και είχε τεκμηριωθεί η ευαισθησία του σε πειράματα φυτοδοχείων που είχαν πραγματοποιηθεί σε προηγούμενες μελέτες.

Τα πειράματα εγκαταστάθηκαν σε αγρόκτημα στην περιοχή Ν. Μηχανιώνα του νομού Θεσσαλονίκης (Εικόνα 9), από τα τέλη Ιουλίου έως τις αρχές Σεπτεμβρίου του έτους 2022.



Εικ 9. Γενική όψη του πειράματος φυτοδοχείων για την αξιολόγηση 75 πληθυσμών του ζιζανίου μωσχοκύπερη για την επιλογή ανθεκτικότητας στο ζιζανιοκτόνο halosulfuron-methyl (ALS-αναστολέα).

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε πλαστικά φυτοδοχεία διαστάσεων 10x10x9cm. Η σπορά των σπόρων των πληθυσμών μωσχοκύπερης πραγματοποιήθηκε σε εδαφικό μίγμα που αποτελούνταν από έδαφος με τα ακόλουθα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά: 48.0% πηλός, 31.6% άργιλλος, 20.4% άμμος, περιεκτικότητας 1.3% σε οργανική ουσία και 7.8 τιμή οξύτητας (pH) (1:1 H₂O), τύρφη και άμμο σε αναλογία 1:1 (ο/ο). Σε κάθε φυτοδοχείο τοποθετήθηκαν 30-40 περίπου σπόροι του ζιζανίου, οι οποίοι καλύφθηκαν προσεκτικά με λεπτό στρώμα 0.5cm του ίδιου εδαφικού μίγματος.

Όταν τα νεαρά σπορόφυτα έφτασαν στο στάδιο των δύο φύλλων αραιώθηκαν με προσοχή, ώστε τελικά να παραμείνουν και να αναπτυχθούν πέντε ομοιόμορφα φυτά του ζιζανίου σε κάθε φυτοδοχείο. Η κανονική ανάπτυξη των φυτών και η κάλυψη των αναγκών τους σε θρεπτικά στοιχεία διασφαλιζόνταν με εφαρμογή πλήρους διαφυλλικού λιπάσματος δύο φορές την εβδομάδα, ενώ η άρδευση πραγματοποιούνταν δύο φορές την ημέρα μέχρι το στάδιο κορεσμού του εδάφους. Κάθε εβδομάδα γίνονταν σχολαστική τυχαιοποίηση των φυτοδοχείων ώστε τα φυτά να αναπτύσσονταν σε ομοιόμορφες συνθήκες περιβάλλοντος.

Οι επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων πραγματοποιήθηκαν όταν τα φυτά των ζιζανίου βρίσκονταν στο στάδιο των 3-4 φύλλων. Για κάθε πληθυσμό συμπεριελήφθησαν γλαστράκια που δεν δέχθηκαν επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων (χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες). Οι επεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν με φορητό ψεκαστήρα ακριβείας τύπου AZO (AZP-SPRAYERS, P.O. Box 350-6710 BJ EDE Ολλανδία), ο οποίος φέρει ιστό έξι ακροφυσίων τύπου ριπιδίου 8002 (TeeJet Spray Systems, Co., P.O. Box 7900, Wheaton, IL 60188, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής) και έχει πλάτος 2,4m. Ο ψεκαστήρας ακριβείας ήταν ρυθμισμένος ώστε να εφαρμόζει όγκο ψεκαστικού υγρού 30lt/στρέμμα και λειτουργούσε με σταθερή πίεση ψεκασμού 280kPa. Η αποτελεσματικότητα της κάθε επέμβασης των ζιζανιοκτόνων εναντίον των πληθυσμών του είδους μοσχοκύπερη αξιολογήθηκε με προσδιορισμό της υπέρχειας φυτομάζας (χλωρού βάρους) των φυτών σε κάθε φυτοδοχείο, τέσσερις εβδομάδες μετά την πραγματοποίηση των επεμβάσεων. Το χλωρό βάρος αποτελεί μια από τις απλούστερες παραμέτρους που καταδεικνύει την ευρωστία των φυτών και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων των ζιζανιοκτόνων. Ακολούθως, το χλωρό βάρος εκφράστηκε σε % αναστολή της ανάπτυξης των φυτών σε σχέση με τον απέκαστο μάρτυρα κάθε πληθυσμού, σε κάθε ένα είδος ζιζανίου.

Η στατιστική επεξεργασία (ανάλυση της παραλλακτικότητας, ANOVA) πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τα δεδομένα χλωρού βάρους των φυτών του είδους μοσχοκύπερη (*Cyperus difformis*), τα οποία εκτέθηκαν στην εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου-αναστολέα της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (ALS) halosulfuron-methyl για τους ύποπτους για επιλογή ανθεκτικότητας πληθυσμούς. Το πειραματικό σχέδιο ήταν το split-plot και χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση 75 x 2 x 2 στην οποία οι 57 πληθυσμοί του ζιζανίου ήταν οι κύριες ομάδες και τα δύο ζιζανιοκτόνα επί της δύο δόσεις εφαρμογής ήταν οι υπο-ομάδες. Για κάθε επέμβαση ζιζανιοκτόνου υπήρχαν τρεις επαναλήψεις (φυτοδοχεία). Η ομοιογένεια των δεδομένων που προέκυψαν από τον πειραματισμό ελέγχθηκε χρησιμοποιώντας τη δοκιμή (test) Barlett (Scdenor και Cochram, 1989), σύμφωνα με την οποία δεν παρατηρήθηκαν αποκλίσεις από την κανονικότητα (δεν καταγράφηκαν διαφορές μεταξύ των δύο πειραμάτων). Έτσι, τα στοιχεία αναλύθηκαν συνολικά για τα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της ενδεχόμενης επιλογής ανθεκτικότητας σε κάθε ένα από τα δύο είδη ζιζανίων. Οι διαφορές στους μέσους όρους των επεμβάσεων συγκρίθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, χρησιμοποιώντας το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο πληθυσμός αναφοράς με εγνωσμένη ευαισθησία καταπολεμήθηκε όπως αναμένονταν άριστα (100% μείωση του χλωρού βάρους) από τη εφαρμογή των δύο δόσεων, της συνιστώμενης (x) και της τριπλάσιας της συνιστώμενης (3x) δόσης της σουλφονουρίας halosulfuron-methyl. Το halosulfuron-methyl χρησιμοποιείται ευρύτατα για την χημική καταπολέμηση της μοσχοκύπερης και άλλων κυπεροειδών (*Schoenoplectus mucronatus*, *S. maritimus*) και πλατύφυλλων ζιζανίων (*Alisma plantago aquatica*, *Heteranthera* spp.) στην καλλιέργεια του ρυζιού και εμφανίζει άριστη αποτελεσματικότητα εναντίον ευαίσθητων πληθυσμών του ζιζανίου. Ομοίως, η συνιστώμενη δόση (x) του αμίδιου φυλλώματος propanil συνετέλεσε σε άριστη καταπολέμηση των φυτών του ευαίσθητου πληθυσμού που εκτέθηκαν στην επέμβαση.

Αντίθετα, η εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του halosulfuron-methyl απέτυχε να καταπολεμήσει τους περισσότερους πληθυσμούς του ζιζανίου που αξιολογήθηκαν (για την ανταπόκρισή τους στο συγκεκριμένο ζιζανιοκτόνο) σε πειράματα φυτοδοχείων στην παρούσα μελέτη (Πίνακας 4 και Πίνακας 5).

Πίνακας 4. Ανταπόκριση 46 πληθυσμών μωσχοκύπερης που συλλέχθηκαν κατά τη δειγματοληψία του έτους 2020 στη συνιστώμενη (x) και τριπλάσια της συνιστώμενης (3x) δόση των ζιζανιοκτόνων halosulfuron-methyl (P) και propanil (Pr).

Πληθυσμοί <i>C. difformis</i>	Ζιζανιοκτόνα-δόσεις εφαρμογής			
	H-m x	H-m 3x	Pr x	Pr 3x
1	12	20	100	100
2	85	95	100	100
3	10	25	100	100
4	0	0	100	100
5	10	12	100	100
6	10	25	100	100
7	25	30	100	100
8	0	0	100	100
9	0	0	100	100
10	6	10	100	100
11	90	97	100	100
12	20	25	100	100
13	10	27	100	100
14	10	15	100	100
15	20	30	100	100
16	20	30	100	100
17	60	75	100	100
18	0	0	100	100
19	30	50	100	100
20	20	30	100	100
21	20	30	100	100
22	12	30	100	100
23	30	35	100	100
24	30	33	100	100
25	10	15	100	100
26	15	30	100	100

27	8	15	100	100
28	13	18	100	100
29	10	15	100	100
30	0	40	100	100
31	20	25	100	100
32	0	8	100	100
33	5	20	100	100
34	40	85	100	100
35	70	80	100	100
36	10	30	100	100
37	5	10	100	100
38	35	50	100	100
39	20	25	100	100
40	12	25	100	100
41	15	45	100	100
42	25	38	100	100
43	5	10	100	100
44	0	9	100	100
45	0	10	100	100
46	3	8	100	100

Πίνακας 5. Ανταπόκριση 11 πληθυσμών μωσχοκύπερης που συλλέχθηκαν κατά τη δειγματοληψία του έτους 2021 στη συνιστώμενη (x) και τριπλάσια της συνιστώμενης (3x) δόση των ζιζανιοκτόνων halosulfuron-methyl (P) και propanil (Pr).

Πληθυσμοί <i>C. difformis</i>	Ζιζανιοκτόνα-δόσεις εφαρμογής			
	H-m x	H-m 3x	Pr x	Pr 3x
47	0	10	100	100
48	0	4	100	100
49	10	15	100	100
50	10	15	100	100
51	5	8	100	100

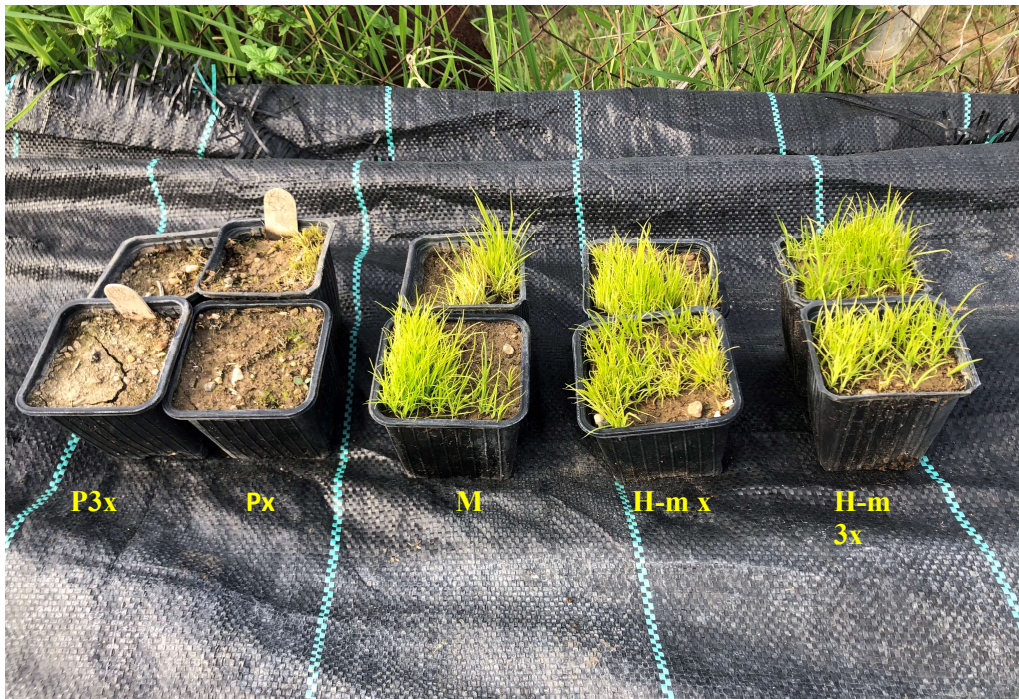
52	20	40	100	100
53	15	30	100	100
54	5	10	100	100
55	0	4	100	100
56	3	15	100	100
57	5	7	100	100

Ειδικότερα, τα επίπεδα καταπολέμησης που επιτεύχθηκαν με την εφαρμογή της δόσης x του halosulfuron-methyl κυμάνθηκαν μεταξύ 0 και 35% σε 52 από τους 57 πληθυσμούς του ζιζανίου. Προσέτι, τρεις πληθυσμοί μοσχοκύπερης (οι *Cd19*, *Cd34* και *Cd35*) εμφάνισαν μειωμένη ευαισθησία (υπέστησαν μείωση του χλωρού βάρους κατά 60%, 70% και 40%, αντίστοιχα), υποδηλώνοντας την επιλογή εξελισσόμενης ανθεκτικότητας στους συγκεκριμένους πληθυσμούς, συνέπεια των επαναλαμβανόμενων επεμβάσεων και της αναπόφευκτης ισχυρής πίεσης επιλογής που ασκήθηκε εναντίον των συγκεκριμένων πληθυσμών του ζιζανίου. Ο πληθυσμός *Cd19* αναπτύσσονταν σε ορυζώνα στην περιοχή του Ανατολικού ενώ οι πληθυσμοί *Cd34* και *Cd35* προέρχονταν από ορυζώνες στην περιοχή των Μαλγάρων του νομού Θεσσαλονίκης.

Από τους 57 συνολικά πληθυσμούς που συλλέχθηκαν στις δύο διαδοχικές χρονιές δειγματοληψίας (2020 και 2021) και αξιολογήθηκαν στα πειράματα φυτοδοχείων στην παρούσα μελέτη, μόλις δύο πληθυσμοί, οι *Cd2* (προερχόμενος από ορυζώνα στην περιοχή Σχοινιάς του νομού Ημαθίας) και *Cd11* (προερχόμενος από ορυζώνα στην περιοχή Άδενδρο του νομού Θεσσαλονίκης) αποδείχθηκαν ευαίσθητοι στο ζιζανιοκτόνο halosulfuron-methyl. Ειδικότερα, η έκθεση των φυτών στη συνιστώμενη δόση του ζιζανιοκτόνου προκάλεσε μείωση του χλωρού τους βάρους κατά 85% και 90%, αντίστοιχα, ενώ η εφαρμογή της τριπλάσιας της συνιστώμενης (3x) δόσης του halosulfuron-methyl συνετέλεσε σε άριστη (95% και 97%, αντίστοιχα) καταπολέμηση των πληθυσμών *Cd2* και *Cd11*.

Οι ανωτέρω πληθυσμοί που εμφάνισαν ευαισθησία ή εξελισσόμενη σταδιακά ανθεκτικότητα στο halosulfuron-methyl, καταπολεμήθηκαν άριστα (100% μείωση του χλωρού βάρους των φυτών) με την εφαρμογή τόσο της συνιστώμενης (x) όσο και της τριπλάσιας (3x) δόσης του ζιζανιοκτόνου propanil.

Οι πληθυσμοί του ζιζανίου που δεν καταπολεμήθηκαν με την έκθεσή τους στη συνιστώμενη δόση του halosulfuron-methyl παρουσίασαν εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά καταπολέμησης ακόμα και με την έκθεσή τους στην τριπλάσια (3x) της συνιστώμενης δόσης του ζιζανιοκτόνου (Εικόνες 10, 11 και 12). Ειδικότερα, 50 από τους 57 συνολικά πληθυσμούς που αξιολογήθηκαν εμφάνισαν μείωση του χλωρού βάρους των φυτών τους κατά μόλις 0% έως 40%, ενώ δύο πληθυσμοί (ο πληθυσμός *Cd19* που προέρχονταν από το Άδενδρο της Θεσσαλονίκης και ο πληθυσμός *Cd38* προερχόμενος από το Αιγίνο του νομού Πιερίας) υπέστησαν μείωση του χλωρού βάρους τους κατά 50%.



Εικ. 10. Ανταπόκριση του πληθυσμού μοσχοκύπερης *Cd4* στις δόσεις x και 3x των ζιζανιοκτόνων halosulfuron-methi (H-m) και propanil (P).



Εικ. 11. Ανταπόκριση του πληθυσμού μοσχοκύπερης *Cd36* στις δόσεις x και 3x των ζιζανιοκτόνων halosulfuron-methi (H-m) και propanil (P).



Εικ. 12. Ανταπόκριση του πληθυσμού μοσχοκύπερης *Cd43* στις δόσεις x και 3x των ζιζανιοκτόνων halosulfuron-methi (H-m) και propanil (P).

Η αποτελεσματικότητα του halosulfuron-methyl βελτιώθηκε εναντίον των τριών πληθυσμών που εμφάνισαν εξελισσόμενη ανθεκτικότητα (ή ισχυρή καταστολή της ανάπτυξής τους) με την εφαρμογή της τριπλάσιας (3x) δόσης του ζιζανιοκτόνου. Ειδικότερα, οι πληθυσμοί *Cd19*, *Cd34* και *Cd35* εμφάνισαν 75%, 80% και 85% μείωση του χλωρού τους βάρους. Ομοίως, όλοι οι πληθυσμοί της μοσχοκύτερης καταπολεμήθηκαν άριστα (100% καταπολέμηση) με την εφαρμογή του αμιδίου φυλλώματος propanil, ζιζανιοκτόνου με διαφορετικό μηχανισμό δράσης (αναστολέας της φωτοσύνθεσης λόγω αναστολής της ροής των ηλεκτρονίων στο φωσσοσύστημα II).

Αναφορικά με τη χωρική κατάταξη των πληθυσμών του ζιζανίου που ανέπτυξαν ανθεκτικότητα στο halosulfuron-methyl οι 7 πληθυσμοί που προέρχονταν από την περιοχή Σχοινιάς του νομού Ημαθίας και συλλέχθηκαν την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2020 (με την εξαίρεση του ευαίσθητου όπως αποδείχθηκε πληθυσμού *Cd2*) εμφάνισαν επίπεδα καταπολέμησης 0-25% μετά από έκθεση στη συνιστώμενη δόση (x) και 20-30% μετά την έκθεση στην τριπλάσια δόση (3x). Πολύ υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας εμφάνισαν οι τρεις πληθυσμοί του ζιζανίου από την περιοχή Ανατολικό του νομού Θεσσαλονίκης, καθώς η συνιστώμενη δόση του ζιζανιοκτόνου δεν προκάλεσε καμία μείωση του χλωρού βάρους (0% καταπολέμηση) σε δύο πληθυσμούς και 6% μείωση στον τρίτο πληθυσμό ενώ η μείωση του χλωρού βάρους από την εφαρμογή της δόσης 3x ήταν αντίστοιχα 0%, 0% και 10%, αντίστοιχα. Η ανταπόκριση των 8 από τους 10 πληθυσμούς που συλλέχθηκαν από το Άδενδρο του νομού Θεσσαλονίκης κατά το έτος 2020 στη συνιστώμενη δόση του halosulfuron-methyl κυμάνθηκε από 0% έως 20% μείωση του χλωρού βάρους και μεταξύ 0% έως 50% στη δόση 3x. Οι πληθυσμοί που αναπτύσσονταν σε ορυζώνες της Χαλάστρας υπέστησαν μείωση του χλωρού βάρους τους από 0% έως 30% με την εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του halosulfuron-methyl, ενώ η αποτελεσματικότητα της δόσης του ζιζανιοκτόνου κυμάνθηκε μεταξύ 8% και 40%. Υψηλής έντασης ανθεκτικότητα εμφάνισε ο πληθυσμός του ζιζανίου από ορυζώνα στην περιοχή Κύμινα του νομού Θεσσαλονίκης (αποτελεσματικότητα 5% και 20% μετά από έκθεση στις δόσεις x και 3x του halosulfuron-methyl, αντίστοιχα).

Οι 7 πληθυσμοί μοσχοκύτερης που προήλθαν από ορυζώνες του νομού Πιερίας (περιοχή Αιγινίου) παρουσίασαν μείωση του χλωρού βάρους τους κατά μόλις 5% έως 25% μετά από έκθεση στη δόση x και 10% έως 50% μετά από έκθεση στη δόση 3x του halosulfuron-methyl. Εξαιρετικά χαμηλή αποτελεσματικότητα εμφάνισε το ζιζανιοκτόνο εναντίον των 4 πληθυσμών του ζιζανίου που προέρχονταν από ορυζώνες του νομού Σερρών. Ειδικότερα, η μείωση του χλωρού βάρους κυμάνθηκε από 0% έως 3% με την εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης, ενώ η εφαρμογή της τριπλάσιας της συνιστώμενης δόσης παρουσίασε επίπεδα καταπολέμησης 8%-10%.

Το δεύτερο έτος δειγματοληψίας (2021) συλλέχθηκε μικρότερος αριθμός δυνητικά ανθεκτικών σε ζιζανιοκτόνα πληθυσμών μοσχοκύτερης. Παρόλα αυτά, η ανταπόκριση των πληθυσμών στις x δόσεις και 3x του ζιζανιοκτόνου halosulfuron-methyl δεν διέφερε από εκείνη που εμφάνισαν οι πληθυσμοί του ζιζανίου από το προηγούμενο έτος δειγματοληψίας. Πιο συγκεκριμένα, οι 6 πληθυσμοί μοσχοκύτερης από τη Χαλάστρα υπέστησαν μείωση του χλωρού τους βάρους κατά 0-20% με την εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης και κατά 4% έως 40% με την εφαρμογή της τριπλάσιας της συνιστώμενης δόσης του ζιζανιοκτόνου. Ομοίως, ο πληθυσμός από το Βαλτοτόπι του νομού Θεσσαλονίκης παρουσίασε επίπεδα καταπολέμησης 15% και 30% όταν εκτέθηκε στις δόσεις x και 3x του halosulfuron-methyl, αντίστοιχα. Δύο πληθυσμοί από το Σχοινά του νομού Ημαθίας παρουσίασαν επίπεδα καταπολέμησης 5% και 0%, και 10% και 4%, αντίστοιχα μετά την έκθεσή τους στις δύο δόσεις (x και 3x) του ζιζανιοκτόνου halosulfuron-methyl. Τέλος, υψηλή ένταση ανθεκτικότητας και στις δύο δόσεις του ζιζανιοκτόνου καταγράφηκε στους δύο πληθυσμούς του ζιζανίου μοσχοκύτερη που προέρχονταν από το Ερατεινό του νομού Καβάλας. Συνολικά, το ζιζανιοκτόνο halosulfuron-methyl αποδείχθηκε ολότελα ανεπαρκές να καταπολεμήσει αποτελεσματικά τους περισσότερους πληθυσμούς του ζιζανίου.

Το είδος μοσχοκύτερη έχει εμφανίσει ανθεκτικότητα σε ALS-αναστολείς σε πολλά διαφορετικά παραγωγικά συστήματα στις σημαντικότερες περιοχές-ζώνες καλλιέργειας του ρυζιού σε παγκόσμια κλίμακα. Δυστυχώς, τα ζιζανιοκτόνα αναστολής της δράσης του ενζύμου ALS επιλέγουν εύκολα (μετά από την πραγματοποίηση μικρού αριθμού επανειλημμένων επεμβάσεων) ανθεκτικούς πληθυσμούς ζιζανίων (Beckie και Tardif, 2012; Tranel και Wright, 2002), καθώς ασκούν λόγω υψηλής αποτελεσματικότητας εξαιρετικά υψηλή πίεση επιλογής στους αρχικούς πληθυσμούς των ζιζανίων στους καλλιεργούμενους αγρούς. Ειδικότερα, ανθεκτικοί πληθυσμοί του ζιζανίου έχουν επιλεγεί στην Αυστραλία (Graham κ.ά., 1996), την Καλιφόρνια (Osuna κ.ά., 2002), τη νότια Κορέα (Kuk κ.ά., 2004), την Ιταλία (Vidotto κ.ά., 2003), τη Βραζιλία (Galon κ.ά., 2008), την Ισπανία (Ruiz-Santaella κ.ά., 2004) και την Τουρκία (Hear, 2022). Η επιλογή σταυρανθεκτικότητας σε συγκεκριμένους πληθυσμούς του είδους *Cyperus difformis* σε ζιζανιοκτόνα αναστολής της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (ALS) halosulfuron, azimsulfuron και imazosulfuron (ζιζανιοκτόνα που ανήκουν στη χημική οικογένεια των σουλφονουριών) έχει ήδη τεκμηριωθεί στη χώρα μας από την Ντοανίδου κ.ά. (2016). Η αναφορά αυτή ακολούθησε τις τεκμηριωμένες αναφορές για επιλογή ανθεκτικότητας σε άλλα εξαιρετικά σημαντικά αγρωστώδη ζιζάνια στην καλλιέργεια του ρυζιού και συγκεκριμένα στα είδη όρθια μουχρίτσα (*Echinochloa oryzicola*) και κόκκινο ρύζι (*Oryza sativa* var. *sylvatica*). Ειδικότερα, δύο πληθυσμοί όρθιας μουχρίτσας ανέπτυξαν ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα penoxsulam (τριαζολοπυριμιδίνη), bispyribac-Na (πυριμιδινυλθειοβενζοϊκό), imazamox (ιμιδαζολινόνη), foramsulfuron, rimsulfuron και nicosulfuron (σουλφονουρίες) (Kaloumenos κ.ά., 2013a), ενώ πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού ανέπτυξαν σταυρανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα της χημικής οικογένειας των ιμιζαλολινών (imazamox και imazethapyr) (Kaloumenos κ.ά., 2013b). Ομοίως, ανθεκτικότητα στους ALS-αναστολείς επιλέχθηκε και σε πληθυσμούς κοινής μουχρίτσας σε καλλιέργειες ρυζιού σε παραγωγικά συστήματα της Ιταλίας (Panozzo κ.ά., 2013) και των Η.Π.Α. (Riar κ.ά., 2012).

Ο μηχανισμός ανθεκτικότητας των επιλεγθέντων πληθυσμών του είδους *Cyperus difformis* στη χώρα μας αλλά και διεθνώς αποδείχθηκε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις είναι η τροποποίηση της θέσης δράσης (target-site resistance), δηλαδή η σύνθεση ενός τροποποιημένου ALS ενζύμου στο οποίο δεν μπορούσαν να προσδεθούν τα ζιζανιοκτόνα και να προκαλέσουν αναστολή της δράσης του και τελικά νέκρωση των φυτών. Η ανθεκτικότητα που επιλέγεται οφείλεται σε σημειακές μεταλλάξεις στο *ALS* γονίδιο που κωδικοποιεί για την παραγωγή του ενζύμου ALS στα φυτά του ζιζανίου. Στη χώρα μας οι μεταλλάξεις που επιλέχθηκαν προκάλεσαν την αντικατάσταση του αμινοξέος προλίνη (Pro) από τα αμινοξέα σερίνη (Ser) και αλανίνη (Ala) στη θέση 197 του *ALS* γονιδίου (Ntoanidou κ.ά., 2016). Παρομοίως, πληθυσμός του ζιζανίου που αναπτύσσονταν σε ορυζώνα στην περιοχή Arkansas των Η.Π.Α. βρέθηκε ότι ανέπτυξε ανθεκτικότητα λόγω αντικατάστασης του αμινοξέος προλίνη (Pro) από το αμινοξύ ιστιδίνη (His) στη θέση 197 του *ALS* γονιδίου (Pro-197-His) (Tetranchian κ.ά., 2015). Σχετικά πρόσφατα, αναφέρθηκαν από τους Li κ.ά. (2020) πέντε διαφορετικές αντικαταστάσεις αμινοξέων συνέπεια σημειακών μεταλλάξεων στο *ALS* γονίδιο 16 πληθυσμών του ζιζανίου που αναπτύσσονταν σε ορυζώνες στην Κίνα. Ειδικότερα, αναφέρθηκε η αντικατάσταση του αμινοξέος προλίνη στη θέση 197 από σερίνη (Pro-197-Ser), από αργινίνη (Pro-107-Arg), από λευκίνη (Pro-197-Leu), καθώς και του αμινοξέος ασπαρτικό από γλυκίνη στη θέση 376 (Asp-376-Glu) και τέλος, η αντικατάσταση του αμινοξέος τρυπτοφάνη από λευκίνη στη θέση 574 (Trp-574-Leu) του *ALS* γονιδίου. Παρομοίως, οι σημειακές μεταλλάξεις Trp-574-Leu, Asp-376-Glu, Pro-197-Ser αναφέρθηκαν σε πληθυσμούς του ζιζανίου που προέρχονταν από την Κίνα και αναπτύσσονταν είτε σε συστήματα στα οποία εφαρμόζονταν απ' ευθείας σπορά του ρυζιού στους καλλιεργούμενους αγρούς ή η εγκατάσταση της καλλιέργειας πραγματοποιούνταν με μεταφύτευση σποροφύτων (Huang κ.ά., 2020).

Οι διαφορετικές μεταλλάξεις συντελούν στην απόκτηση διαφορετικών προτύπων ανθεκτικότητας (resistance patterns) μεταξύ των πληθυσμών του ζιζανίου (Busi κ.ά., 2006; Kuk κ.ά., 2004; Osuna κ.ά., 2002; Merotto κ.ά., 2009b; Merotto κ.ά., 2010; Ntoanidou κ.ά. 2013). Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί ότι ο Huang κ.ά. (2020) ανέφεραν ότι πληθυσμός μοσχοκύπερης ανθεκτικός στη σουλφονουλουρία bensulfuron (ALS-αναστολέας) δεν έφερε κάποια αντικατάσταση αμινοξέος στο *ALS* γονίδιο, γεγονός που απέδωσαν σε ενδεχόμενη ύπαρξη διαφορετικού μηχανισμού ανθεκτικότητας, που δεν οφείλεται σε τροποποιημένο ένζυμο-στόχο αλλά πιθανώς σε αυξημένο μεταβολισμό (non target site resistance, NTSR) των φυτών του πληθυσμού συνέπεια αυξημένης δράσης αποτοξικοποιητικών ενζύμων ικανών να μεταβολίσουν (διασπάσουν) το ζιζανιοκτόνο.

Η μονοκαλλιέργεια που εφαρμόζεται σε πολλές σημαντικές περιοχές καλλιέργειας του ρυζιού της χώρας δεν επιτρέπει την εναλλαγή δραστικών ουσιών με διαφορετικό μηχανισμό δράσης. Η απουσία εναλλαγής καλλιεργειών έχει ως συνέπεια οι πληθυσμοί των ζιζανίων να εκτίθενται επαναλαμβανόμενα σε επεμβάσεις και να υφίστανται ισχυρή πίεση επιλογής ενός μικρού αριθμού ζιζανιοκτόνων που ανήκουν σε δύο κυρίως μηχανισμούς δράσης, τους αναστολείς των ενζύμων οξικογαλακτική συνθάση (ALS) (η ιμιδαζολιόννη imazamox και η τριαζολοπυριμιδίνη penoxsulam για την αντιμετώπιση των ειδών μουχρίτσας και της μοσχοκύπερης) και καρβοξυλάση του ακέτυλο CoA (ACCCase) [το αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκό cyhalofop-butyl και οι κυκλοεξανδιόνες profoxydim και cycloxydim (εγκεκριμένο στην τεχνολογία ρυζιού Provisia®) για την αντιμετώπιση των ειδών μουχρίτσας, κόκκινου ρυζιού, λεπτοχλόης και νεραργιάδας]. Αυτό συνετέλεσε στην επιλογή αξιόλογου αριθμού ανθεκτικών πληθυσμών των σημαντικότερων ειδών (όρθια μουχρίτσα, κόκκινο ρύζι, μοσχοκύπερη) που αναπτύσσονται εντός των ορυζώνων και απειλούν την απόδοση (ποσοτική και ποιοτική) στην καλλιέργεια του ρυζιού.

Οι ανθεκτικοί πληθυσμοί μοσχοκύπερης στα ζιζανιοκτόνα αναστολής της δράσης του ενζύμου μπορούν να καταπολεμηθούν αποτελεσματικά με ζιζανιοκτόνα που ανήκουν σε διαφορετικούς μηχανισμούς δράσης και έχουν έγκριση για την πραγματοποίηση μεταφυτρωτικών (κυρίως) καθώς και προφυτρωτικών επεμβάσεων. Ειδικότερα, το αμίδιο propanil που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το φαινοξυαλκανοϊκό MCPA αποτελεί τη συνηθέστερη επιλογή των ορυζωπαραγωγών στη χώρα μας για την χημική καταπολέμηση της μοσχοκύπερης και των άλλων σημαντικών κυπεροειδών [σκίρπος] και πλατύφυλλων ζιζανίων στην καλλιέργεια του ρυζιού.

Το μίγμα propanil+MCPA συνήθως εφαρμόζεται από τους καλλιεργητές της χώρας μας, 40-50 ημέρες από τη σπορά της καλλιέργειας. Επίσης, υψηλή αποτελεσματικότητα παρουσιάζει και το ζιζανιοκτόνο bentazon (επίσης αναστολέας της ροής ηλεκτρονίων στο φωτοσύστημα II) το οποίο χρησιμοποιείται εναλλακτικά για την αντιμετώπιση των πληθυσμών μοσχοκύπερης που διέφυγαν από τις επεμβάσεις των ALS-αναστολέων. Προσέτι, το ορμονικό ζιζανιοκτόνο floryrauxifen-benzyl το οποίο ανήκει στη χημική οικογένεια των arylopicolines εξασφάλισε σχετικά πρόσφατα έγκριση κυκλοφορίας στη χώρα για την αντιμετώπιση ειδών μουχρίτσας (*Echinochloa crus-galli*, *Echinochloa* spp.), κυπεροειδών (*Cyperus difformis*, *Schoenoplectus mucronatus*) και πλατύφυλλων ζιζανίων (*Alisma plantago aquatica*, *Ammania coccinea*, *Bidens* spp., *Butomus umbellatus*, *Heteranthera reniformis*, *H. limosa*) στην καλλιέργεια του ρυζιού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί έως δύο φορές ανά καλλιεργητική περίοδο (είτε μια εφαρμογή προσπαρτικά και μία μεταφυτρωτικά είτε δύο εφαρμογές μεταφυτρωτικά). Το floryrauxifen-benzyl δρα ως συνθετική αυξίνη, μιμείται την αυξητική ορμόνη των ζιζανίων-στόχων, προκαλεί υπερβολική διέγερση και αυξημένο μεταβολισμό τους προκαλώντας τελικά διατάραξη της φυσιολογικής ανάπτυξης των ζιζανίων.

Η τελευταία δυνατότητα εναλλακτικής χημικής καταπολέμησης παρέχεται με την έγκριση του ζιζανιοκτόνου benzobicyclon το οποίο δρα αναστέλλοντας τη βιοσύνθεση της πλαστοκινόνης (PQ) μέσω της παρεμπόδισης του ενζύμου 4-HPPD (4-υδροξυ-φαινυλο-πυροσταφυλικό οξύ). Αποτελεί δε τη μοναδική δραστική ουσία του συγκεκριμένου μηχανισμού δράσης που έχει έγκριση στην καλλιέργεια του ρυζιού. Η μείωση της βιοσύνθεσης πλαστοκινόνης προκαλεί μείωση της δράσης του ενζύμου PDS και ως συνέπεια μείωσης της βιοσύνθεσης α- και β- καροτενίων (καροτενοειδών), προκαλώντας την εμφάνιση νέων φύλλων που εκδηλώνουν συμπτώματα λεύκανσης και τελικά οδηγώντας στη νέκρωση των ευαίσθητων φυτών. Τα ζιζανιοκτόνα αυτού του μηχανισμού δράσης, εκτός της αναστολής της βιοσύνθεσης καροτενοειδών, αναστέλλουν και τη βιοσύνθεση της α-τοκοφερόλης (βιταμίνης E) (Ελευθεροχωρινός, 2020). Το benzobicyclon χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση ενός ευρέος φάσματος ζιζανίων (είδη μουχρίτσας, λεπτοχλόη, μοσχοκύπερη, υδροχαρή πλατύφυλλα ζιζάνια, καθώς και το κόκκινο ρύζι). Η εφαρμογή του συστήνεται να πραγματοποιείται είτε προσπαρτικά είτε μεταφυτρωτικά, έως και το στάδιο έναρξης αδελφώματος των φυτών του ρυζιού.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρά την σταθερά υψηλή αποτελεσματικότητα του propanil εναντίον των περισσότερων πληθυσμών μοσχοκύπερης στη χώρα μας (όπως προαναφέρθηκε εφαρμόζεται ταυτόχρονα με το ορμονικό, φαινοξυαλκανοϊκό ζιζανιοκτόνο MCPA), σε άλλες περιοχές καλλιέργειας του ρυζιού έχουν ήδη επιλεγεί ανθεκτικοί πληθυσμοί μοσχοκύπερης και σε αυτό το ζιζανιοκτόνο (Valverde κ.ά., 2014). Ο ανθεκτικός πληθυσμός μοσχοκύπερης στο propanil ήταν ταυτόχρονα ανθεκτικός στα ζιζανιοκτόνα bensulfuron-methyl, imazosulfuron, halosulfuron-methyl ενώ παρέμενε ευαίσθητος στο carfentrazone. Σε μια μελέτη ανθεκτικών στο πληθυσμών μοσχοκύπερης που ακολούθησε, τεκμηριώθηκε η μοριακή βάση της ανθεκτικότητας (τα ανθεκτικά φυτά έφεραν αντικατάσταση του αμινοξέος βάλινη (Val) από το αμινοξύ λευκίνη (Leu) στη θέση 219 της πρωτεΐνης D1 που συνετέλεσε σε αδυναμία πρόσδεσης και στην αποτυχία αποτελεσματικής αναστολής της δράσης του από το αμίδιο φυλλώματος propanil, το παράγωγο ουρίας diuron, την τριαζινόνη metribuzin, το νιτρίλιο bromoxynil, αλλά ταυτόχρονα αυξημένη ευαισθησία των ανθεκτικών φυτών στη bentazon (όλα τα ζιζανιοκτόνα αναστολείς της ροής ηλεκτρονίων στο φωτοσύστημα II) (Pedroso κ.ά., 2016). Μέχρι τότε, η εκλεκτικότητα του propanil και η ασφαλής του χρήση στην καλλιέργεια του ρυζιού αλλά και η ανθεκτικότητα του propanil σε πληθυσμούς αγρωστωδών ζιζανίων (είδη μουχρίτσας) οφείλονταν στον αυξημένο μεταβολισμό του ζιζανιοκτόνου λόγω καταλυτικής δράσης του ενζύμου αρυλακυλαμιδάση (AAA) (Pedroso κ.ά., 2016). Συνεπώς, παρά τις δυνατότητες εναλλακτικής χημικής καταπολέμησης είναι σημαντικό να εφαρμόζεται συστηματικά η εναλλαγή δραστικών ουσιών με διαφορετικό μηχανισμό δράσης ώστε να μειώνεται η ισχυρή πίεση επιλογής και να επιβραδύνεται ή ακόμα και να αποτρέπεται η επιλογή ανθεκτικών πληθυσμών των αγρωστωδών, κυπεροειδών ή πλατύφυλλων ζιζανίων στην καλλιέργεια του ρυζιού σε όλα τα διαφορετικά παραγωγικά συστήματα που εφαρμόζονται στις σημαντικές ζώνες καλλιέργειας του ρυζιού σε παγκόσμια κλίμακα.

Η αξιοποίηση (σε συνδυασμό με την εναλλαγή ζιζανιοκτόνων διαφορετικού μηχανισμού δράσης) ενός εύρους στρατηγικών διαχείρισης (αμειψισπορά, ψευδοσπορά, κατεργασία του εδάφους, βέλτιστη διαχείριση του νερού εντός των ορυζώνων) (Sindhu κ.ά., 2020; Tuang κ.ά., 2000), ενταγμένων στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης (Integrated Weed Management, IWM) είναι επιβεβλημένη. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να συμβάλλει στην επιβράδυνση της περαιτέρω επιλογής πληθυσμών με ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα αλλά και στην αποτελεσματική διαχείριση πληθυσμών που έχουν ήδη επιλεγεί, προκαλώντας αποτυχίες κατά τη χημική ζιζανιοκτονία εντός των ορυζώνων.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βασιλάκογλου, Ι. και Κ. Δήμας. 2017. Ζιζάνια. Σύγχρονος οδηγός αναγνώρισης και αντιμετώπισης. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη, σελ. 294-297.

Ελευθεροχωρινός Η.Γ. 2008. Ζιζανιολογία: Ζιζάνια, Ζιζανιοκτόνα, Περιβάλλον, Αρχές και Μέθοδοι Διαχείρισης (3η έκδοση), Εκδόσεις Αγροτύπος, Αθήνα, σελ. 408.

Ελευθεροχωρινός Η.Γ. 2020. Ζιζανιολογία Βιολογία και Διαχείριση Ζιζανίων Ζιζανιοκτόνα, Φυτά και Περιβάλλον (5^η έκδοση), Εκδόσεις Αγροτύπος, Αθήνα, σελ. 497.

Ελευθεροχωρινός Η.Γ., Κ.Ν. Γιαννοπολίτης. 2009. Ζιζάνια: Οδηγός αναγνώρισης, Εκδόσεις Αγροτύπος Α.Ε., Αθήνα, σελ. 38-39, 144-145.

Παπαπαναγιώτου, Α., Γ. Μενεξές, Η. Ελευθεροχωρινός. 2017a. Πληθυσμός βέλιουρα με διασταυρωτή ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ACCase. 19^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Ζιζανιολογικής Εταιρίας, Νέα Ορεσσειάδα, 29-31 Μαρτίου 2017, Πρακτικά, σελ. 92-94.

Παπαπαναγιώτου, Α., Γ. Μενεξές, Η. Ελευθεροχωρινός. 2017b. Πληθυσμοί αγριοβρώμης με διασταυρωτή ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ALS και μελέτη της προσαρμοστικότητάς τους. 19^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Ζιζανιολογικής Εταιρίας, Νέα Ορεσσειάδα, 29-31 Μαρτίου 2017. Πρακτικά, σελ. 26-28.

Παπαπαναγιώτου, Α., Γ. Μενεξές, Η. Ελευθεροχωρινός. 2017c. Πληθυσμοί μίλιου και ανεμόχορτου ανθεκτικοί σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς των ενζύμων ACCase και ALS. 19^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Ζιζανιολογικής Εταιρίας, Νέα Ορεσσειάδα, 29-31 Μαρτίου 2017. Πρακτικά, σελ. 25-26.

Παπαπαναγιώτου, Α., Γ. Μενεξές, Η. Ελευθεροχωρινός. 2017d. Πληθυσμοί μικρόκαρπης κολλητισίδας και μπιφόρας ανθεκτικοί σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ALS. 19^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Ζιζανιολογικής Εταιρίας, Νέα Ορεσσειάδα, 29-31 Μαρτίου 2017. Πρακτικά, σελ. 28-30.

Παπαπαναγιώτου, Α., Ι. Βασιλάκογλου, Κ. Δήμας, Η. Ελευθεροχωρινός. 2017ε. Διερεύνηση της ανάπτυξης διασταυρούμενης ανθεκτικότητας του *Sinapis arvensis* και της ευαισθησίας του *Camelina microcarpa* σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της δράσης του ενζύμου ALS. 19^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Ζιζανιολογικής Εταιρίας, Νέα Ορεστιάδα, 29-31 Μαρτίου 2017. Πρακτικά, σελ. 17-18.

Χατζηλαζαρίδου, Σ.Λ. 2013. Διερεύνηση ανθεκτικότητας 29 πληθυσμών διαφόρων ειδών μουχρίτσας (*Echinochloa* spp.) σε ζιζανιοκτόνα. Μεταπτυχιακή διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Beckie, H.J., F.J. Tardif. 2012. Herbicide cross resistance in weeds. *Crop Protection* 35: 15-28.

Busi, R., F. Vidotto, A.J. Fisher, M.D. Osuna, R. De Prado, A. Ferrero. 2006. Patterns of resistance to ALS herbicides in smallflower umbrella sedge (*Cyperus difformis*) and ricefield bulrush (*Schoenoplectus mucronatus*). *Weed Technology* 20: 1004-1014.

Cao, Y., S. Wei, H. Huang, W. Li, C. Zhang, Z. Huang. 2021. Target-site mutation and enhanced metabolism confer resistance to thifensulfuron-methyl in a multiple-resistant redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) population. *Weed Sci.* 69: 161-166.

Chauhan, B.S., D.E. Johnson. 2009. Ecological studies on *Cyperus difformis*, *Cyperus iria* and *Fimbristylis miliacea*: three troublesome annual sedge weeds of rice. *Annals of Applied Biology* <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00325.x>.

Damalas, C.A., I.G. Eleftherohorinos. 2001. Dicamba and atrazine antagonism on sulfonylurea herbicides used for johnsongrass (*Sorghum halepense*) control in corn (*Zea mays*). *Weed Technology* 15: 62-67.

De Prado, R.A., A.R. Franco. 2004. Cross-resistance and herbicide metabolism in grass weeds in Europe: biochemical and physiological aspects. *Weed Sci.* 52: 441-447.

Devine, M.D., S.O. Duke, C. Fedtke. 1993. *Physiology of Herbicide Action*. PTR prentice hall, Englewood Cliffs, NJ. 441 p.

Eleftherohorinos, I.G., I.B. Vasilakoglou, K.V. Dhima. 2000. Metribuzin resistance in *Amaranthus retroflexus* and *Chenopodium album* in Greece. *Weed Science* 48: 69-74.

Galon, L., L.E. Panozzo, J.A. Noldin, G. Conceco, C.P. Tarouco, E.A. Ferreira, D. Agostinetto, A.A. Silva, F.A. Ferreira. 2008. Herbicide resistance of *Cyperus difformis* to ALS-inhibitors in paddy rice of Santa Catarina. *Planta Daninha* 26: 419-427.

Graham, R.J., J.E. Pratley, P.D. Slater, P.R. Baines. 1996. Herbicide resistant aquatic weeds, a problem in New South Wales rice crops. Pp 156-158 in Sheperd RCH, ed. Proceedings of the 11th Australian Weeds Conference, Melbourne, Australia. Parkville, Victoria, Australia: Weed Science Society of Victoria.

Heap, I. 2022. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.com>. Accessed November 25, 2022.

Hilton, H.W. 1957. Herbicide tolerant strain of weeds. Hawain Sugar Planters Association Annual reports, pp. 69.

Holm, L.G., D.L. Plucknett, J.V. Pancho, J.P. Herberger. 1977. *Cyperus difformis* L. In: The World's Worst Weeds. Distribution and Biology (eds. Holm L.G. Plucknet, D.L., Pancho, J.V. and Herberger, J.P., 236-239. University Press of Hawaii, Honolulu, HI, USA.

Holt, J.S., H.M. Le Baron. 1990. Significance and distribution of herbicide resistance. Weed Technol. 4: 141-155.

Huang, M., D. Long, F. Zhou, J. Li, W. Tang, D. Zeng, Y. Wang. 2020. Comparative analysis of resistance to ALS-inhibiting herbicides in smallflower umbrella sedge (*Cyperus difformis*) populations from direct-seeded and puddle-transolanted rice systems. Weed Science 70: 174-182.

Kaloumenos, N.S., I.G. Eleftherohorinos. 2008. Corn poppy (*Papaver rhoeas*) resistance to ALS-inhibiting herbicides and its impact on growth rate. Weed Science 56: 789-796.

Kaloumenos, N.S., V.N. Adamoudi, C. Dordas, I. Eleftherohorinos. 2011. Corn poppy (*Papaver rhoeas*) cross-resistance to ALS-inhibiting herbicides. Pest Management Science 67: 574-585.

Kaloumenos, N.S., V.C. Tsioni, E.G. Daliani, S.E. Papavassileiou, A.G. Vassileiou, P.N. Laoutidou, I.G. Eleftherohorinos. 2012. Multiple Pro-197 substitutions in the acetolactate synthase of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) and their impact on chlorsulfuron activity and plant growth. *Crop Protection* 38: 35-43.

Kaloumenos, N.S., S.L. Chatzilazaridou, P.V. Mylona, A.N. Polydoros, I.G. Eleftherohorinos. 2013a. Target-site mutation associated with cross-resistance to ALS-inhibiting herbicides in late watergrass (*Echinochloa oryzicola* Vasing). *Pest Management Science* 69: 865-873.

Kaloumenos, N.S., N. Capote, A. Aguado, I.G. Eleftherohorinos. 2013b. Red rice (*Oryza sativa*) cross-resistance to imidazolinone herbicides used in resistant rice cultivars grown in northern Greece. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 105: 177-183.

Kuk, Y.I., K.H. Kim, O.D. Kwon, D.J. Lee, N.R. Burgos, S. Jung, J.O. Guh. 2004. Cross-resistance pattern and alternative herbicides for *Cyperus difformis* resistant to sulfonylurea herbicides in Korea. *Pest Management Science* 60: 85-94.

Merotto, A., M. Jasieniuk, A.J. Fisher. 2009a. Estimating the outcrossing rate of *Cyperus difformis* using resistance to ALS-inhibiting herbicides and molecular markers. *Weed Research* 49: 29-36.

Merotto, A.Jr., M. Jasieniuk, M.D. Osuna, F. Vidotto, A. Ferrero, A.J. Fisher. 2009b. Cross-resistance to herbicides of five ALS-inhibiting groups and sequencing of the ALS gene in *Cyperus difformis* L. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 57: 1389-1398.

Merotto, A., M. Jasieniuk, A.J. Fisher. 2010. Distribution and cross-resistance patterns of ALS-inhibiting herbicide resistance in smallflower umbrella sedge (*Cyperus difformis*). *Weed Science* 58: 22-29.

Monaco, J.T., S.C. Weller, F.M. Ashton. 2002. *Weed Science. Principles and Practices*. John Wiley and Sons, Inc. Ny, USA, 671 p.

- Li, Z., X. Li, J. Chen, L. Peng, J. Wang, H. Cui. 2020. Variation in mutations providing resistance to acetohydroxyacid synthase inhibitors in *Cyperus difformis* in China. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 166, 104571; <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104571>.
- Ntoanidou, S., N. Kaloumenos, G. Diamantidis, P. Madesis, I. Eleftherohorinos. 2016. Molecular basis of *Cyperus difformis* cross-resistance to ALS-inhibiting herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 127: 38-45.
- Ntoanidou, S., P. Madesis, G. Diamantidis, I. Eleftherohorinos. 2017. Trp 574 substitution in the acetolactate synthase of *Sinapis arvensis* confers cross-resistance to tribenuron and imazamox. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 142: 9-14.
- Ntoanidou, S., P. Madesis, I. Eleftherohorinos. 2019. Resistance of *Rapistrum rugosum* to tribenuron and imazamox due to Trp574 or Pro197 substitution in the acetolactate synthase. *Pest Management Science* 154: 1-6.
- Osuna, M.D., F. Vidotto, A.J. Fisher, D.E. Bayer, R. De Prado, A. Ferrero. 2002. Cross-resistance to bispyribac-sodium and bensulfuron-methyl in *Echinochloa phyllopogon* and *Cyperus difformis*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 73: 9-17.
- Panozzo, S., L. Scarabel, P.J. Tranel, M. Sattin. 2013. Target-site resistance to ALS inhibitors in the polyploidy species *Echinochloa crus-galli*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 105: 93-101.
- Papapanagiotou, A.P., N.S. Kaloumenos, I.G. Eleftherohorinos. 2012. Sterile oat (*Avena sterilis* L.) cross-resistance profile to ACCase-inhibiting herbicides in Greece. *Crop Protection* 35: 118-126.
- Papapanagiotou, A.P., C.A. Damalas, I. Bosmali, P. Madesis, I.G. Eleftherohorinos. 2019. *Galium spurium* and *G. aparine* resistance to ALS-inhibiting herbicides in northern Greece. *Planta Daninha* 37, e019207288.

Pedroso, R.M., K. Al-Khalib, R. Alarcon-Reverte, A.J. Fisher. 2016. A psb mutation (Val219 to Ile) causes resistance to propanil and increased susceptibility to bentazon in *Cyperus difformis*. Pest Management Science 72: 1673-1680.

Riar, D.S., J.K. Norsworthy, J.A. Bond, M.T. Bararpour, M.J. Wilson, R.C. Scott. 2012. Resistance of *Echinochloa crus-galli* populations to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. International Journal of Agronomy, 893953; <https://doi.org/10.1155/2012/893953>.

Ruiz-Santaella, J.P., Y. Bakkaliu, M.D. Osuna, R. De Prado. 2004. Evaluation of resistance to *Cyperus difformis* populations to ALS inhibiting herbicides. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences 69: 91-96.

Ryan, G.F. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. Weed Sci. 18: 614-616.

Sindhu, P.V., C.G. Thomas, C.T. Abraham. 2020. Seedbed manipulations for weed management in wet seeded rice. Indian Journal of Weed Science 42: 173-179.

Snedecor, G.W., W.G. Cochran. 1989. Statistical Methods, 8th ed. Iowa State University Press, Iowa, USA.

Swain, D.J., M.T. Nott, R.B. Trounce. 1975. Competition between *Cyperus difformis* and rice: the effect of time of weed removal. Weed Research 15: 149-152.

Tetranchian, P., D.S. Riar, J.K. Norsworthy, V. Nandula, S. McElroy, S. Chen, R.C. Scott. 2015. ALS-resistant smallflower umbrella sedge (*Cyperus difformis*) in Arkansas rice: physiological and molecular basis of resistance. Weed Science 63: 561-568.

Tian, Z., G. Shen, G. Yuan, K. Song, J. Lu, L. Da. 2020. Effects of *Echinochloa crus-galli* and *Cyperus difformis* on yield and eco-economic thresholds of rice. Journal of Cleaner Production 259, 120807; <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2020.120807>.

Tranel, P.J., T.R. Wright. 2002. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Science* 50: 700-712.

Travlos, I.S. 2012. Evaluation of herbicide-resistance status on populations of littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) from Southern Greece and suggestions for their effective control. *Journal of Plant Protection Research* 52: 308-313.

Travlos, I.S., D. Chachalis. 2013. Assessment of glyphosate resistant horseweed (*Conyza canadensis* L. Cronq.) and fleabane (*Conyza albida* Willd. Ex Spreng) populations from perennial crops in Greece. *International Journal of Plant Production* 7: 665-676.

Tuang, T.P., P.P. Pablico, M. Yamauchi, R. Confesor, K. Moody. 2000. Increasing water productivity and weed suppression of wet seeded rice: effect of water management and rice genotypes. *Experimental Agriculture* 36: 71-89.

Valverde, B.E., L.G. Boddy, R.M. Pedroso, J.W. Eckert, A.J. Fisher. 2014. *Cyperus difformis* evolves resistance to propanil. *Crop Protection* 62: 16-22.

Vidotto, F., R. Busi, A. Ferrero. 2003. *Schoenoplectus mucronatus* (L.) Palla and *Cyperus difformis* L. accessions resistant to ALS-inhibitors in Italian rice fields. *In Proceedings of the Third International Temperate Rice Conference*. Unpaginated CD.