



ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**‘ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΣΕ
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ ΚΟΚΚΙΝΟΥ ΡΥΖΙΟΥ (*Oryza sativa* L.) ΚΑΙ ΤΗΣ
ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ ΡΥΖΙΟΥ RONALDO’**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΧΑΤΖΗΘΕΟΔΩΡΟΥ ΘΕΟΦΑΝΙΑ
ΓΙΩΤΗ ΕΛΕΝΗ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΠΑΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

ΦΛΩΡΙΝΑ 2024

ΠΡΟΛΟΓΟΣ/ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Παπαπαναγιώτου Αριστεΐδη, αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας Φλώρινας, για το σχεδιασμό, την εποπτεία των πειραμάτων, την βοήθειά του κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, καθώς και για τις πολύτιμες οδηγίες και υποδείξεις κατά τη διάρκεια της συγγραφής αυτής της εργασίας, οι οποίες είχαν καθοριστικό ρόλο για την ολοκλήρωσή της.

Οφείλουμε επίσης ένα ειλικρινές ευχαριστώ σε όλους εκείνους που συνέβαλαν είτε πρακτικά είτε ψυχικά στην ολοκλήρωση της εργασίας μας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μας για την οικονομική τους υποστήριξη, καθώς και τους συγγενείς και τους φίλους για την ηθική υποστήριξη σε όλο το διάστημα των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε πειράματα φυτοδοχείων μελετήθηκε η ανταγωνιστική αλληλεπίδραση 7 πληθυσμών του ζιζανίου κόκκινο ρύζι (*Oryza sativa* var. *silvatica*) και της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo. Μεταξύ των πληθυσμών του ζιζανίου, 4 ήταν ανθεκτικοί και 3 ευαίσθητοι στο ζιζανιοκτόνο imazamox το οποίο ανήκει στη χημική οικογένεια των ιμιδαζολινών και είναι εγκεκριμένο για την πραγματοποίηση εκλεκτικών, μεταφυτρωτικών επεμβάσεων σε ποικιλίες ρυζιού τεχνολογίας Clearfield®. Οι πληθυσμοί του κόκκινου ρυζιού συλλέχθηκαν από ορυζώνες του νομού Θεσσαλονίκης και παρουσίαζαν διαφορετικά χαρακτηριστικά ταξιανθίας (όρθια ή πλάγιας έκφυσης, παρουσία ή μη αγάνων, μήκος και χρώμα αγάνων, χρώμα λεπύρων). Στη μελέτη αξιολογήθηκαν πέντε διαφορετικές πυκνότητες φυτών ρυζιού και κόκκινου ρυζιού ανά φυτοδοχείο (6:0, 6:1, 6:2, 6:4, 6:6). Η συγκομιδή του πειράματος πραγματοποιήθηκε πενήντα ημέρες μετά τη μεταφύτευση των νεαρών σποροφύτων της ποικιλίας Ronaldo και των πληθυσμών του ζιζανίου σε φυτοδοχεία χωρητικότητας 2,5lt. Ελήφθησαν μετρήσεις του αριθμού των βλαστών και του συνολικού χλωρού βάρους των φυτών ρυζιού και κόκκινου ρυζιού ανά φυτοδοχείο. Τα φυτά του ζιζανίου άσκησαν ανταγωνισμό μειώνοντας τον αριθμό των αδελφιών και το χλωρό βάρος των φυτών του ρυζιού. Ο αριθμός βλαστών (αδελφιών) και η υπέργεια βιομάζα (χλωρό βάρος) αυξήθηκε με την σταδιακή αύξηση του αριθμού των φυτών του ζιζανίου ανά φυτοδοχείο. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά στην ανταγωνιστική ικανότητα μεταξύ ανθεκτικών και ευαίσθητων στο ζιζανιοκτόνο imazamox πληθυσμών κόκκινου ρυζιού σε βάρος της καλλιεργούμενης ποικιλίας ρυζιού Ronaldo (προκάλεσαν παραπλήσια μείωση του αριθμού των αδελφιών και του χλωρού βάρους των φυτών του ρυζιού).

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: ρύζι (*Oryza sativa* L.), ποικιλία Ronaldo, ποικιλίες ρυζιού Clearfield, κόκκινο ρύζι (*Oryza sativa* var. *silvatica*), imazamox, ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα, ανταγωνιστική ικανότητα

ABSTRACT

The competitive interaction between seven red rice (*Oryza sativa* var. *silvatica*) populations (4 resistant and 3 susceptible to the imidazolinone herbicide imazamox, registered for selective postemergence applications in rice varieties of Clearfield® technology) and the rice cultivar Ronaldo was studied in pot experiments. Red rice populations originated from rice fields located at the prefecture of Thessaloniki and had different inflorescence characteristics (upright or drooping panicles, presence or absence of awns, length and color of awns, husk color). Five different densities of rice and red rice plants (6:0, 6:1, 6:2, 6:4, 6:6) per pot were evaluated in the present study. The experiment was harvested fifty days after transplanting young rice and red rice seedlings in 2,5lt pots, when they reached the two-leaf stage. The number of shoots and total fresh weight (above ground biomass) of both rice variety Ronaldo and red rice plants from the 7 selected weed populations was counted. The competition imposed by the increased density of red rice plants resulted in reduction of shoots and above ground biomass production of rice plants. Shoot number and fresh weight of *Oryza sativa* var. *silvatica* was increased with increasing density of weed's plants per pot. No significant statistical difference in the competitive ability of herbicide-sensitive and herbicide-resistant red rice populations to imazamox against rice cultivar Ronaldo was determined (both resistant and sensitive weed populations caused a similar reduction of tiller number and fresh weight of rice plants).

KEYWORDS: rice (*Oryza sativa* L.), rice variety Ronaldo, varieties with Clearfield trait, red rice (*Oryza sativa* var. *sylvatica*), imazamox, herbicide resistance, competitive ability

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ/ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ. ΜΟΝΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΖΙΖΑΝΙΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟ ΡΥΖΙ	10
1.1 Εισαγωγή-προέλευση	10
1.2 Βοτανική ταξινόμηση κόκκινου ρυζιού	15
1.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά κόκκινου ρυζιού	15
1.3.1 Ομοιότητες-δυνατότητα διάκρισης με άλλα αγρωστώδη είδη	18
1.4 ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟΥ ΡΥΖΙΟΥ	20
1.4.1 Λήθαργος των σπόρων	20
1.4.2 Βιωσιμότητα των σπόρων	20
1.4.3 Αποσύνθεση-θνησιμότητα των σπόρων	21
1.4.4 Αποκοπή και εκτίναξη των σπόρων στο έδαφος	21
1.4.5 Φύτρωμα και αρχική ανάπτυξη των νεαρών φυτών	21
1.4.6 Ποικιλομορφία στο κόκκινο ρύζι	22
1.4.7 Χαρακτηριστικά διαφοροποίησης κόκκινου και καλλιεργούμενου ρυζιού	22
1.4.8 Μέγεθος των σπόρων	23
1.4.9 Το ύψος και η αρχιτεκτονική φυτών	24
1.4.10 Το μήκος αγάνου των σπόρων	24
1.4.11 Χρώμα περικαρπίου των κόκκων	27
1.4.12 Αποκοπή σπόρων από την ταξιανθία	28
1.4.13 Χρώμα των λεπύρων του σπόρου	29
1.4.14 Λήθαργος των σπόρων	30
1.5 Ευρωστία και ανταγωνιστική ικανότητα του κόκκινου σε βάρος του καλλιεργούμενου ρυζιού	30
1.5.1 Επίδραση της πυκνότητας των φυτών του κόκκινου ρυζιού και της διάρκειας άσκησης ανταγωνισμού με τα φυτά της καλλιέργειας	32
1.5.2 Μηχανισμοί ανταγωνισμού του κόκκινου ρυζιού	34
1.5.3 Πρόσληψη και αποτελεσματικότητα αξιοποίησης αζώτου στα φυτά κόκκινου ρυζιού	35
1.5.4 Το κόκκινο ρύζι και το ενδεχόμενο ενός ενδιάμεσου μεταβολικού μονοπατιού μεταξύ C3-C4 φυτών	36
1.5.5 Προσαρμογή του κόκκινου ρυζιού σε συνθήκες σκίασης	36
1.6 Σταυρεπικονίαση μεταξύ καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού	37
1.6.1 Χαρακτηριστικά των απογόνων που προκύπτουν από τη διασταύρωση καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΥΟ. ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ-ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ	41
2.1 Ζιζανιοκτόνα αναστολής της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (AcetoLactate Synthase, ALS)	41
2.1.1 Σουλφονουρίες	43

2.1.3	Πυριμιδινυλβενζοικά.....	45
2.1.4	Τριαζολοπυριμιδίνες.....	45
2.1.5	Σουλφονυλαμινοκαρβονυλοτριαζολινόνες.....	46
2.2	Ζιζανιοκτόνα αναστολής της δράσης του ενζύμου καρβοξυλάση του ακέτυλο-CoA (Acetyl-CoA Carboxylase, ACCase).....	47
2.3.	Ανθεκτικότητα ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα.....	51
2.3.1.	Ορισμοί-Ορολογία.....	51
2.3.2	Μηχανισμοί ανθεκτικότητας ζιζανίων.....	52
2.3.3	Ανθεκτικότητα ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ. ΜΕΤΡΑ-ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΖΙΖΑΝΙΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟ ΡΥΖΙ.....		54
3.1	Γενικά μέτρα-στρατηγικές διαχείρισης του κόκκινου ρυζιού.....	54
3.1.1	Αναγνώριση του κόκκινου ρυζιού.....	57
3.2	Προληπτικά μέτρα-στρατηγικές καταπολέμησης του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.....	58
3.2.1	Αποφυγή μόλυνσης των ορυζώνων με το κόκκινο ρύζι-σημασία της χρησιμοποίησης σπόρου απαλλαγμένου από την παρουσία σπόρων του ζιζανίου.....	58
3.2.2	Επισκέψεις-επιθεωρήσεις των καλλιεργούμενων αγρών.....	59
3.2.3	Επιθεώρηση και δοκιμή των σπόρων.....	59
3.2.4	Καθαρισμός επιμολυσμένων σπορομερίδων.....	60
3.2.5	Διαχείριση της τράπεζας σπόρων (seed bank) του κόκκινου ρυζιού στο έδαφος.....	60
3.2.6	Προετοιμασία της σποροκλίνης.....	61
3.2.7	Καύση της καλαμιάς.....	62
3.2.8	Καταστολή του φυτρώματος του κόκκινου ρυζιού.....	62
3.2.8.1	Υγρή σπορά.....	62
3.2.9	Μέθοδοι εγκατάστασης του καλλιεργούμενου ρυζιού.....	63
3.2.10	Βελτίωση της ανταγωνιστικής ικανότητας του ρυζιού.....	64
3.3	Μέτρα-στρατηγικές άμεσης καταπολέμησης του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.....	64
3.3.1	Χημική καταστολή του φυτρώματος του κόκκινου ρυζιού.....	64
3.3.2	Καταστροφή ή απομάκρυνση των φυτών του κόκκινου ρυζιού από την καλλιέργεια.....	66
3.3.3	Πρακτικές μηχανικής και χημικής διαχείρισης.....	66
3.4	Καλλιεργητικά μέτρα διαχείρισης του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.....	67
3.4.1	Εναλλαγή της καλλιέργειας του ρυζιού με άλλα καλλιεργούμενα είδη (υιοθέτηση αμειψισποράς).....	67
3.4.2	Η εφαρμογή της ψευδοσποράς για την αντιμετώπιση ζιζανίων σε ορυζώνες.....	68
3.4.2.1	Ενέργειες που διασφαλίζουν την καλή αποτελεσματικότητα της ψευδοσποράς.....	69
3.4.2.2	Τα στάδια της ψευδοσποράς.....	69
3.4.2.3	Προβλήματα και δυσκολίες από την εφαρμογή της ψευδοσποράς.....	70
3.5	Βιοτεχνολογική στρατηγική για τη διαχείριση του κόκκινου ρυζιού.....	70
3.5.1	Επιλογή του καταλληλότερου ζιζανιοκτόνου για αποτελεσματική και οικονομική αντιμετώπιση ζιζανίων.....	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	85
5.1. ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΡΥΖΙΟΥ και ΛΕΠΤΟΧΛΟΗΣ	85
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92

Λίστα Πινάκων

Αριθμός πίνακα	Τίτλος πίνακα	Αριθμός σελίδας
Πίνακας 1	Συστηματική (βοτανική) ταξινόμηση ζιζανίου κόκκινο ρύζι	15
Πίνακας 2	Χημικές οικογένειες και αντιπροσωπευτικά μέλη ζιζανιοκτόνων-αναστολέων του ενζύμου ALS.	42
Πίνακας 3	Πληθυσμοί, προέλευση, χαρακτηρισμός (ανθεκτικότητα-ευαισθησία σε ζιζανιοκτόνα) και χαρακτηριστικά ταξιανθίας επιλεγμένων πληθυσμών κόκκινου ρυζιού.	77

Λίστα Σχημάτων

Αριθμός σχήματος	Τίτλος σχήματος	Αριθμός σελίδας
Σχήμα 1	Χημική δομή των ζιζανιοκτόνων metsulfuron και iodosulfuron-methyl-sodium	44
Σχήμα 2	Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου imazaquin	45
Σχήμα 3	Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου pyrithiobac	46
Σχήμα 4	Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου florasulam	47
Σχήμα 5	Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου flucarbazone και propoxycarbazone	47
Σχήμα 6	Χημική δομή του αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκού	49

	ζιζανιοκτόνου clodinafor-propargyl.	
Σχήμα 7	Χημική δομή των κυκλοεξανδίων sethoxydim και tralkoxydim.	50
Σχήμα 8	Χημική δομή της φαινυλοπυραζολίνης pinoxaden	51
Σχήμα 9	Σχηματική αναπαράσταση των διαφορετικών πυκνοτήτων που αξιολογήθηκαν ώστε να μελετηθεί η ανταγωνιστική ικανότητα επτά πληθυσμών κόκκινου ρυζιού εναντίον της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo	82
Σχήμα 10	Επίδραση ανταγωνισμού των επτά πληθυσμών κόκκινου ρυζιού στην παραγωγή αδερφιών των φυτών της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo.	85
Σχήμα 11	Επίδραση ανταγωνισμού των επτά πληθυσμών κόκκινου ρυζιού στην παραγωγή υπέργειας βιομάζας (χλωρού βάρους) των φυτών της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo.	86
Σχήμα 12	Επίδραση του ανταγωνισμού της ποικιλίας ρυζιού στην παραγωγή αδερφιών των 7 πληθυσμών (4 ανθεκτικών και 3 ευαίσθητων στο imazamox) πληθυσμών του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.	87
Σχήμα 13	Επίδραση του ανταγωνισμού της ποικιλίας ρυζιού στην παραγωγή υπέργειας βιομάζας (χλωρού βάρους) των 7 πληθυσμών (4 ανθεκτικών και 3 ευαίσθητων στο imazamox) πληθυσμών του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.	88

Λίστα εικόνων

Αριθμός εικόνας	Τίτλος εικόνας	Αριθμός σελίδας
Εικόνα 1	Εξαιρετικά υψηλός πληθυσμός πληθυσμού κόκκινου ρυζιού εντός ορυζώνα.	10

Εικόνα 2	Δρεπανοειδή ωτίδια και μακρύ, μυτερό, μεμβρανώδες γλωσσίδιο.	16
Εικόνα 3	Το άγανο αποτελεί προέκταση του χιτώνα του καρπού και υπάρχει σε μεγάλο αριθμό πληθυσμών του ζιζανίου.	17
Εικόνα 4	Πληθυσμός κόκκινου ρυζιού με απουσία αγάνου.	18
Εικόνα 5	Απουσία γλωσσιδίου και ωτιδίων (αριστερά) σε κολεό φύλλου μουχρίτσας, σε αντίθεση με τον κολεό κόκκινου ρυζιού (δεξιά).	19
Εικόνα 6	Ανθήρες σε ταξιανθία κόκκινου ρυζιού.	38
Εικόνα 7	Ταξιανθία φυτού του ευαίσθητου στο imazamox πληθυσμού κόκκινου ρυζιού 2.	79
Εικόνα 8	Ταξιανθία φυτού του ευαίσθητου στο imazamox πληθυσμού κόκκινου ρυζιού 13.	80
Εικόνα 9	Ταξιανθία πληθυσμού κόκκινου ρυζιού 31.	81
Εικόνα 10	Πείραμα ανταγωνισμού ποικιλίας ρυζιού Ronaldo και επτά πληθυσμών του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ. ΜΟΝΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΖΙΖΑΝΙΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟ ΡΥΖΙ

1.1 Εισαγωγή-προέλευση

Το κόκκινο ρύζι (*Oryza sativa* f. *spontanea*), το οποίο ανήκει στο ίδιο είδος με το καλλιεργούμενο ρύζι (*Oryza sativa* L.) και γνωστό διεθνώς ως ρύζι ζιζάνιο (weedy rice) ή άγριο ρύζι (wild rice) και στην Ελλάδα γνωστό ως ‘μπάσταρδο ρύζι’ ή ‘πόρνικο ρύζι’. Είναι εξαιρετικά ανταγωνιστικό ζιζάνιο και θεωρείται ως το πλέον επιβλαβές και εξαιρετικά δυσεξόντωτο ζιζάνιο της καλλιέργειας του ρυζιού σε παγκόσμια κλίμακα. Προσέτι, συγκαταλέγεται μεταξύ των δέκα σημαντικότερων ζιζανίων παγκοσμίως (Avila κ.ά., 2004). Το ζιζάνιο αυτό, στην Ελλάδα θεωρείται το σημαντικότερο ζιζάνιο στην καλλιέργεια του ρυζιού, παρουσιάζει αξιοσημείωτη δυσκολία στην αποτελεσματική διαχείρισή του με χημικά και καλλιεργητικά μέτρα και προκαλεί πολύ σοβαρές απώλειες στις καλλιέργειες ρυζιού (Ελευθεροχωρινός, 2022c) (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Εξαιρετικά υψηλός πληθυσμός πληθυσμού κόκκινου ρυζιού εντός ορυζώνα.

Προκαλεί επίσης προβλήματα και σε άλλες ανοιξιότιμες καλλιέργειες που καλλιεργούνται μετά το ρύζι σε συστήματα αμειψισποράς (βαμβάκι, καλαμπόκι). Αναφορικά με τις απώλειες που προκαλεί η παρουσία του εντός των ορυζώνων, μειώνει πολύ την απόδοση

του καλλιεργούμενου ρυζιού, λόγω του έντονου ανταγωνισμού που ασκεί στα φυτά των καλλιεργούμενων ποικιλιών. Ωστόσο, είναι σοβαρές οι επιπτώσεις του και στην ποιότητα του καρπού, επειδή οι καταναλωτές θεωρούν ανεπιθύμητη την παρουσία του στο τελικό προϊόν του ρυζιού.

Η σοβαρή επίπτωση του κόκκινου ρυζιού στις καλλιέργειες του ρυζιού οφείλεται στα μορφολογικά, φυσιολογικά και βιοχημικά χαρακτηριστικά του ζιζανίου που του προσδίδουν φαινοτυπική πλαστικότητα, γενετική παραλλακτικότητα και στην ευρύτερη ικανότητα προσαρμογής ενάντια στην καλλιέργεια του ρυζιού. Οι χαρακτήρες αυτοί βελτιώνουν σημαντικά τη δυνατότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής μετά από έκθεση σε βιοτικές (προσβολή από έντομα ή/και φυτοπαθογόνα) και αβιοτικές (διακυμάνσεις θερμοκρασίας και φωτός, έλλειψη νερού, αλατότητα εδάφους, συνθήκες ξηρασίας και αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂) καταπονήσεις. Παράλληλα, υφίστανται και αρνητικές επιδράσεις, καθώς τα χαρακτηριστικά αυτά του κόκκινου ρυζιού συμβάλλουν καθοριστικά στην πρόκληση σοβαρών επιπτώσεων στην καλλιέργεια του ρυζιού καθώς προκαλούν σημαντική μείωση της απόδοσης και υποβάθμισης της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων.

Επιπρόσθετα, το κόκκινο ρύζι (*O. sativa*) είναι μια γενετική παραλλαγή του ρυζιού που χαρακτηρίζεται από το κόκκινο περικάρπιο των κόκκων του και ταυτόχρονα διαθέτει χαρακτηριστικά ζιζανίου. Συμπεραίνεται ότι αναπτύχθηκε-εξελίχθηκε μέσω αποεξημέρωσης (de-domestication) του Ασιατικού καλλιεργούμενου ρυζιού *O. sativa* είτε μέσω υβριδισμού μεταξύ ποικιλιών ρυζιού *O. sativa* και του άγριου ρυζιού *O. rufipogon* (Ελευθεροχωρινός, ; Huang κ.ά., 2018; Vigueira κ.ά., 2019). Βέβαια, νέοι πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού μπορούν να σχηματιστούν είτε μέσω υβριδισμού-ροής γονιδίων μεταξύ υπαρχόντων πληθυσμών είτε μεταξύ κόκκινου ρυζιού (άρρεν γονέας) και ρυζιού (μητρικό φυτό) είτε μεταξύ ρυζιού (άρρεν γονέας) και κόκκινου ρυζιού (μητρικό φυτό). Νέοι πληθυσμοί μπορούν επίσης να σχηματιστούν από μεταλλάξεις γονιδίων αλλά και από διασπορά των σπόρων του κόκκινου ρυζιού με διάφορα μέσα, όπως η χρήση μη πιστοποιημένων σπόρων σποράς (μολυσμένων από σπόρους κόκκινου ρυζιού) καθώς και μέσω των μηχανημάτων κατεργασίας και συγκομιδής, του νερού, του ανέμου και των πτηνών (Ελευθεροχωρινός, 2022b).

Το ‘ρύζι ζιζάνιο’ (,weedy rice’) είναι παραλλαγή ρυζιού (*Oryza sativa* L. ή *Oryza sativa* f. *spontanea*) που εμφανίζει μια ποικιλία χρωμάτων περικαρπίου κόκκων και χαρακτηριστικών που συνήθως εμφανίζουν τα ζιζάνια. Αυτό εικάζεται ότι εξελίχθηκε από την αποεξημέρωση του Ασιατικού καλλιεργούμενου ρυζιού *O. sativa* και άγριου ρυζιού *O. rufipogon* ή από άμεση αποίκηση (direct colonization) του άγριου ρυζιού *O. rufipogon* εντός των καλλιεργούμενων

ορυζώνων (Delouche κ.ά., 2007; Ελευθεροχωρινός, 2022b; Huang κ.ά., 2017; Huang κ.ά., 2018; Vigueira κ.ά., 2019; Ziska κ.ά., 2015).

Το ‘άγριο ρύζι’ (‘wild rice’) περιλαμβάνει τα αυτοφυή είδη *O. rufipogon*, *O. nivara* και *O. barthii* που θεωρούνται πρόγονοι του καλλιεργούμενου ρυζιού *O. sativa* και *O. glaberrima*, του ‘ρυζιού ζιζανίου’ και του ‘κόκκινου ρυζιού’. Φυσικά, εκτός από το *O. rufipogon*, τα άγρια είδη *O. meridionalis* N.Q.Ng, *O. officinalis* Wall ex G.Watt και *O. australiensis* Domin αποτελούν επίσης ενδημικά είδη στην Αυστραλία (Henry κ.ά., 2010· Mondal και Henry, 2018). Έτσι, συμπεραίνεται ότι το ρύζι ζιζάνιο διαθέτει ένα ευρύτερο γενετικό υπόβαθρο, καθώς μπορεί να έχει γονίδια (χαρακτηριστικά) καλλιεργούμενου ρυζιού *O. sativa* και ‘άγριου ρυζιού’ *O. rufipogon* αλλά περιλαμβάνει και κόκκινο ρύζι, το οποίο είναι ο κυριότερος φαινότυπος ‘ρυζιού ζιζανίου’ που διαθέτει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό κόκκων με κόκκινο περικάρπιο.

Το καλλιεργούμενο ρύζι ανήκει στο Ασιατικό ρύζι *Oryza sativa* L., στο οποίο η διαδικασία εξημέρωσης από τα είδη άγριου ρυζιού *O. nivara* Sharma et Shastry έλαβε χώρα στην Ασία, συγκεκριμένα στην Κίνα ή στην Ινδία (Kanareckas κ.ά., 2016; Liu κ.ά., 2017). Το καλλιεργούμενο ρύζι περιλαμβάνει διάφορους τύπους ποικιλιών ρυζιού, συμπεριλαμβανομένου του japonica (υπότυποι tropical japonica, temperate japonica, aromatic rice) και του indica (υπότυποι aus και indica). Επιπλέον, υπάρχει ένα άλλο είδος καλλιεργούμενου ρυζιού γνωστό ως Αφρικανικό ρύζι (*O. glaberrima* Steud.), το οποίο εξημερώθηκε στη Δυτική Αφρική από το άγριο ρύζι *O. barthii* A. Chev. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι αυτό το Αφρικανικό ρύζι καλλιεργείται σε μικρότερη κλίμακα σε σύγκριση με τις ποικιλίες του είδους *O. sativa*.

Δεδομένου ότι το καλλιεργούμενο ρύζι και το κόκκινο ρύζι ανήκουν στο ίδιο είδος, μοιράζονται το ίδιο γένωμα (AA) και τον ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων ($2n = 24$). Αυτά καθιστούν δυνατό τον υβριδισμό μεταξύ των δύο ειδών ή ακόμη και τη δημιουργία νέων υβριδίων κόκκινου ρυζιού (Engku κ.ά., 2016; Shivrain κ.ά., 2009). Ο υβριδισμός μεταξύ ανθεκτικών ποικιλιών ρυζιού (άρρεν γονέας) τύπου ‘Clearfield’ (ανεκτικών στο ζιζανιοκτόνο imazamox της χημικής οικογένειας ιμιδαζολινόνες, των ALS-αναστολέων) και κόκκινου ρυζιού (μητρικό φυτό) έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανθεκτικών πληθυσμών κόκκινου ρυζιού στο imazamox τόσο στη χώρα μας (Kaloumenos κ.ά., 2013), όσο και σε παραγωγικά συστήματα άλλων ορυζοπαραγωγών χωρών (Burgos κ.ά., 2014; Engku κ.ά., 2016). Αντίθετα, ο υβριδισμός μεταξύ κόκκινου ρυζιού (άρρεν γονέας) και ρυζιού (μητρικό φυτό) οδηγεί στην παραγωγή ιδιοπαραγόμενου σπόρου σποράς ρυζιού, ο οποίος είναι μολυσμένος από σπόρους κόκκινου ρυζιού ο οποίος σε περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί για σπορά, υπάρχει αξιόλογος

κίνδυνος διασποράς του κόκκινου ρυζιού και μόλυνσης εδαφών νέων, αμόλυντων μέχρι πρότινος ορυζώνων.

Γενικότερα, τα υβρίδια (κόκκινο ρύζι x καλλιεργούμενο ρύζι)-πληθυσμοί του κόκκινου ρυζιού έχουν συνήθως καλύτερα χαρακτηριστικά, σε σύγκριση με τους γονείς (κόκκινο ρύζι και ρύζι) από τους οποίους προήλθαν. Αυτό επιβεβαιώθηκε από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον Shirvain κ.ά., (2009), η οποία έδειξε ότι τα φυτά των υβριδίων κόκκινου ρυζιού τα οποία προήλθαν από τη διασταύρωση 12 πληθυσμών κόκκινου ρυζιού και μίας ποικιλίας ρυζιού τύπου 'Clearfield' (ανεκτική στα ζιζανιοκτόνα της χημικής οικογένειας των ιμιδαζολινών) απέκτησαν μεγαλύτερο ύψος (138-150cm) σε σχέση με τους αντίστοιχους γονείς του κόκκινου ρυζιού (112-131cm) και άνθιζαν αργότερα από τον γονέα (ποικιλία καλλιεργούμενου ρυζιού). Επιπλέον, τα φυτά των υβριδίων-πληθυσμών που προέκυψαν, χαρακτηρίζονταν από σημαντικά υψηλότερο αναπαραγωγικό δυναμικό (παρήγαγαν 20-50% περισσότερους σπόρους) σε σύγκριση με τον γονέα-ρύζι. Προσέτι, η παραγωγή σπόρων ήταν συγκρίσιμη με εκείνη των περισσότερων πληθυσμών των αντίστοιχων γονέων του κόκκινου ρυζιού. Ακόμη, οι σπόροι όλων των υβριδίων-πληθυσμών χαρακτηρίζονται από κόκκινο περικάρπιο κόκκων και ικανότητα αποκοπής από την ταξιανθία, ενώ το ποσοστό φυτρώματος ήταν μεγαλύτερο από εκείνο των σπόρων των αντίστοιχων γονέων του κόκκινου ρυζιού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο ρυθμός παραγωγής αυτών των υβριδίων-πληθυσμών του κόκκινου ρυζιού εξαρτάται από ένα εύρος παραγόντων στους οποίους συγκαταλέγονται το ποσοστό σταυρογονιμοποίησης (το οποίο κυμαίνεται από 0,01 έως 0,2%), η διάρκεια της συγχρονισμένης ανθοφορίας και η απόσταση μεταξύ των φυτών κόκκινου ρυζιού και ρυζιού, η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, το μέγεθος του πληθυσμού κόκκινου ρυζιού και η καλλιεργούμενη ποικιλία ρυζιού (Ελευθεροχωρινός, 2022a; Engku κ.ά., 2016; Shirvain κ.ά., 2007, 2008, 2009).

Σύμφωνα με διεθνείς έρευνες, το κόκκινο ρύζι είναι ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό ζιζάνιο και αρκούν 1 έως 3 φυτά κόκκινου ρυζιού/m³ εντός του ορυζώνα για να προκαλέσουν σημαντική μείωση στην απόδοση ρυζιού (Smith, 1988). Επίσης, οι Pantone και Baker (1991) βρήκαν ότι 4, 16 και 25 φυτά κόκκινου ρυζιού/m² μείωσαν την απόδοση του ρυζιού κατά 13%, 37% και 48%, αντίστοιχα, ενώ η έρευνα των Dairra (1985) έδειξε ότι 5, 108 και 215 φυτά κόκκινου ρυζιού/m² μείωσαν την απόδοση του ρυζιού κατά 22%, 77% και 82%, αντίστοιχα (Ελευθεροχωρινός, 2022c). Επιπρόσθετα, οι Eleftherohorinos κ.ά. (2002) σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στη χώρα μας βρήκαν ότι ο ανταγωνισμός που υπέστη η καλλιέργεια ρυζιού Thaiponnet από την παρουσία 10, 20 και 40 φυτών κόκκινου ρυζιού/m² συνετέλεσε σε μείωση της απόδοσης του ρυζιού κατά 26%, 46% και 59%, αντίστοιχα.

Συχνά, η παρουσία κόκκινου ρυζιού σε υψηλούς πληθυσμούς εντός των ορυζώνων οδηγεί στην εγκατάλειψη της καλλιέργειας του ρυζιού, λόγω πολύ υψηλών απωλειών στην απόδοση της καλλιέργειας (Delouche κ.ά., 2007). Η έκταση των προκαλούμενων απωλειών στην καλλιέργεια του ρυζιού από τον ανταγωνισμό συνέπεια του ανταγωνισμού που υφίσταται από τους πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σε αυτούς συγκαταλέγονται ο πληθυσμός, η πυκνότητα, ο χρόνος εμφάνισης και ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών εντός της καλλιέργειας, αλλά και ο τύπος ρυζιού (*indica*, *japonica*), καθώς και η καλλιεργούμενη ποικιλία (Ελευθεροχωρινός, 2022c; Smith, 1988; Ziska κ.ά., 2015). Γενικά, οι υψηλόσωμες ποικιλίες ρυζιού αποδεικνύονται περισσότερο ανταγωνιστικές από τις χαμηλόσωμες, ενώ οι επιπτώσεις στην ποσοτική και ποιοτική απόδοση όλων ανεξαιρέτως των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού εξαρτώνται από την ανάπτυξη υψηλών πυκνοτήτων του ζιζανίου εντός των ορυζώνων, καθώς και από το φύτευμα-εγκατάσταση πρώιμων φυτών κόκκινου ρυζιού τα οποία αναπτύσσονται σε βάρος των φυτών του καλλιεργούμενου ρυζιού καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι αρνητικές επιπτώσεις στην καλλιέργεια του ρυζιού από το κόκκινο ρύζι δεν αφορούν μόνο στη μείωση της απόδοσης, αλλά και εκτείνονται επίσης στην υποβάθμιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος, στην αύξηση του κόστους επεξεργασίας στους ορυζόμυλους και στη μείωση των τιμών της αγοράς. Προσέτι, το κόκκινο ρύζι αποτελεί σημαντικό ξενιστή του παθογόνου αιτίου (μύκητας *Pyricularia grisea*) της πυρικούλαρίας που αποτελεί τη σημαντικότερη διεθνώς ασθένεια στην καλλιέργεια του ρυζιού (Ελευθεροχωρινός, 2022c).

Η μεταβολή του κλίματος μπορεί σαφώς να επηρεάσει το πόσο σοβαρές θα αποβούν οι επιπτώσεις της παρουσίας των πληθυσμών του ζιζανίου κόκκινου ρυζιού στην καλλιέργεια του ρυζιού. Αυτό τεκμαίρεται από το γεγονός ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε >400 ppm θα ενισχύσει την ανταγωνιστική ικανότητα του κόκκινου ρυζιού σε σχέση με την καλλιέργεια του ρυζιού. Ο αυξημένος ανταγωνισμός σε βάρος των καλλιεργούμενων ποικιλιών αναμένεται να προκαλέσει μεγαλύτερη μείωση της απόδοσής τους (Ziska κ.ά., 2010). Επιπλέον, η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει λιγότερο αρνητικά το ρύζι σε σχέση με το κόκκινο ρύζι, επειδή έχει μεγαλύτερη αντοχή στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και στην ξηρασία (Ελευθεροχωρινός, 2022c; Fogliatto κ.ά., 2020).

1.2 Βοτανική ταξινόμηση κόκκινου ρυζιού

Το κόκκινο ρύζι είναι ετήσιο θερινό είδος, εαρινό φυτό, το οποίο απαντάται με μεγάλη συχνότητα στην καλλιέργεια του ρυζιού. Αναπαράγεται με σπόρους, φυτρώνει τον Απρίλιο και Μάιο και διασπείρεται κυρίως μέσω του μολυσμένου σπόρου ρυζιού. Η καταγωγή του, πιθανώς, είναι η ανατολική Ασία και οι βιότυποι του καταναλώνονται στις ασιατικές χώρες όπως το κοινό ρύζι. Από ταξινομική πλευρά ανήκει στο ίδιο είδος με το καλλιεργούμενο ρύζι (*Oryza sativa* L.) και ανήκει στην οικογένεια Poaceae (Gramineae, αγρωστώδη), τάξη Poales, ομοταξία Monocots και συνομοταξία Angiosperms. Το όνομά του οφείλεται στο κόκκινο χρώμα του περικαρπίου των αποφλοιωμένων κόκκων του, το οποίο προκαλείται από την παρουσία ανθοκυανών. Σε αντίθεση με τους κόκκους του αποφλοιωμένου ρυζιού, οι οποίοι είναι λευκού χρώματος, καθώς δεν περιέχουν ανθοκυάνες. Συνήθως, το κόκκινο ρύζι είναι πιο ψηλό από το ρύζι και έχει ισχυρότερη ικανότητα αδελφώματος και ανταγωνιστικότητας. Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η βοτανική κατάταξη-ταξινόμηση του είδους κόκκινο ρύζι.

Πίνακας 1. Συστηματική (βοτανική) ταξινόμηση ζιζανίου κόκκινο ρύζι.

ΒΑΣΙΛΕΙΟ	Plantae
ΥΠΟΒΑΣΙΛΕΙΟ	Tracheobionta
ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ	Spermatophyta
ΔΙΑΙΡΕΣΗ	Magnoliophyta
ΣΥΝΟΜΟΤΑΞΙΑ	Magnoliophyta
ΚΛΑΣΗ	Liliopsida
ΥΠΟΚΛΑΣΗ	Commelinidae
ΤΑΞΗ	Cyperales
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	Poaceae
ΓΕΝΟΣ	<i>Oryza</i>
ΕΙΔΗ	<i>Oryza glaberrima</i> L. <i>Oryza sativa</i> L

1.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά κόκκινου ρυζιού

Το κόκκινο ρύζι είναι μονοκοτυλήδονο φυτό (ιδιαίτερα πολύμορφος πληθυσμός), με όρθια έκφυση και φθάνει μέχρι το ύψος των 150cm. Οι βλαστοί, οι κόμβοι των βλαστών, ο κολεός και τα ωτίδια τόσο των φύλλων των νεαρών και όσο και των αναπτυγμένων φυτών των

περισσότερων βιότυπων παρουσιάζουν ευδιάκριτες κόκκινες αποχρώσεις, των οποίων η ένταση και η έκταση ποικίλει μεταξύ των βιότυπων. Επίσης, σε ορισμένους βιότυπους τα γόνατα είναι κόκκινα ή το καλάμι έχει κόκκινες ραβδώσεις σε ολόκληρο το μήκος του. Τέλος, τα νεαρά σπορόφυτα ορισμένων βιότυπων εμφανίζουν ερυθρές ραβδώσεις στη βάση του βλαστού.

Ο κολεός των φύλλων είναι πράσινος και επιμήκης, αλλά δεν περιβάλλει πλήρως το αντίστοιχο τμήμα του βλαστού και έχει τρίχες. Δεν αγκαλιάζει το καλάμι στα κατώτερα φύλλα και έχει λεπτά και τριχωτά ωτίδια. Το γλωσσίδιο είναι μακρύ, μεμβρανώδες και έχει τρίχες (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017; Ελευθεροχωρινός και Γιαννοπολίτης, 2009) (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Δρεπανοειδή ωτίδια και μακρύ, μυτερό, μεμβρανώδες γλωσσίδιο.

Ο βλαστός (στέλεχος, καλάμι) μπορεί να φτάσει σε ύψος 100 έως 150cm, είναι κοίλος (κενός εσωτερικά), με κόμβους (γόνατα). Το καλάμι είναι πράσινο, ελαφρώς πεπλατυσμένο στη βάση του, με όρθια έκφυση.

Το έλασμα των φύλλων είναι πράσινο, επίμηκες, με τραχιά υφή, δύσκαμπτο και οι δύο επιφάνειες του καλύπτονται από κοντές και άκαμπτες τρίχες. Έχει ευδιάκριτο κεντρικό νεύρο και η περιφέρεια του είναι πριονωτή. Στους περισσότερους βιότυπους ο βλαστός ή ο κολεός ή οι κόμβοι ή και τα ωτίδια έχουν ερυθρές αποχρώσεις (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017; Ελευθεροχωρινός και Γιαννοπολίτης, 2009).

Η ταξιανθία έχει καστανή έως και ερυθρή απόχρωση και σχηματίζει μια επιμήκη και χαλαρή φόβη. Το μέγεθος αυτής της φόβης κυμαίνεται από 15 έως 30cm. Κάθε φόβη φέρει σταχύδια, τα οποία κυμαίνονται από 75 έως 150, καθώς κάθε ένα από αυτά (τα σταχύδια) αποτελείται συνήθως από ένα ανθίδιο (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017; Ελευθεροχωρινός και Γιαννοπολίτης, 2009).

Αυτό το φυτό είναι αυτογονοποιούμενο, με ελάχιστο ποσοστό σταυρο-γονιμοποίησης. Σε σύγκριση με τα φυτά του ρυζιού, οι φόβες των περισσότερων βιότυπων αυτού του είδους είναι μεγαλύτερες, χαλαρότερες και ανοικτότερες.

Ο καρπός είναι καρύωση και περιβάλλεται από λέπυρα (χιτώνας και λεπίδα) ακόμη και μετά τη συγκομιδή, καθώς παραμένουν στο σπόρο και μετά τον αλωνισμό. Στους περισσότερους βιότυπους του ζιζανίου ο χιτώνας καταλήγει σε άγανο μικρό ή μεγάλο το οποίο έχει χρώμα καστανό, μαύρο ή κίτρινο (Εικόνα 3). Υπάρχει και βιότυπος στον οποίο ο χιτώνας δεν καταλήγει σε άγανο (Εικόνα 4) (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017).



Εικόνα 3. Το άγανο αποτελεί προέκταση του χιτώνα του καρπού και υπάρχει σε μεγάλο αριθμό πληθυσμών του ζιζανίου.



Εικόνα 4. Πληθυσμός κόκκινου ρυζιού με απουσία αγάνου.

Σε αντίθεση, οι σπόροι των περισσότερων ποικιλιών του καλλιεργούμενου ρυζιού και ορισμένων βιότυπων του κόκκινου ρυζιού δεν διαθέτουν αυτό το χαρακτηριστικό, το *άγανο*. Η περίοδος ανθοφορίας των φυτών του κόκκινου ρυζιού εκτείνεται χρονικά από τον Ιούλιο έως τον Αύγουστο. Οι αποφλοιωμένοι σπόροι έχουν ερυθρό χρώμα, που αποδίδεται στην παρουσία ανθοκυανών που βρίσκονται στο περικάρπιο του σπόρου. Αξίζει να σημειωθεί ότι σπόροι του κόκκινου ρυζιού σε μεγάλο βαθμό εκτινάσσονται στο έδαφος πριν από τη συγκομιδή των καλλιεργούμενων ποικιλιών. Τα λέπυρα δεν είναι προσκολλημένα στην καρύωση, για αυτό το λόγο μπορεί να απομακρυνθούν κατά την διαδικασία αποφλοιώσεως. Μέσα σε μια καλλιεργητική περίοδο κάθε φυτό κόκκινου ρυζιού είναι ικανό να παράγει έως και 1.500 σπόρους. Ένας σημαντικά μεγάλος αριθμός σπόρων εκτινάσσονται στο έδαφος πριν τη συγκομιδή, καθώς μερικοί από αυτούς εκτινάσσονται πρόωρα, ακόμη και πολύ πριν από την ωρίμανσή τους. Οι σπόροι των περισσότερων βιοτύπων του κόκκινου ρυζιού διαφέρουν ελάχιστα σε μέγεθος από εκείνους του ρυζιού και έχουν την ικανότητα να παραμένουν βιώσιμοι στο έδαφος για 3 έως και 7 χρόνια. Η ρίζα των φυτών του ζιζανίου είναι θυσανωτή.

1.3.1 Ομοιότητες-δυνατότητα διάκρισης με άλλα αγρωστώδη είδη

Το κόκκινο ρύζι παρουσιάζει πολλές ομοιότητες, τόσο με το καλλιεργούμενο ρύζι όσο και με διάφορα είδη του γένους *Echinochloa* (μουχρίτσες). Στα πρώτα στάδια ανάπτυξής του, η διάκριση του ζιζανίου μέσα στις καλλιέργειες του ρυζιού είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Η δυσκολία αναγνώρισης του κόκκινου ρυζιού κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης οδήγησε στην ανάγκη για σχολαστική παρατήρηση και σε προσπάθειες για αποτελεσματική διαχείριση και

έλεγχο του φυτού σε γεωργικά περιβάλλοντα, για τον μετριασμό πιθανών προβλημάτων στην καλλιέργεια του ρυζιού. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που βοηθούν στη διάκριση αυτού του είδους από άλλα σύμφωνα με τους Βασιλάκογλου και Δήμα (2017) περιλαμβάνουν ορισμένα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά:

Τα φυτά του κόκκινου ρυζιού μπορούν να διαφοροποιηθούν από τα είδη του γένους *Echinochloa* από τα τριχωτά ωτίδια και το δισχιδές γλωσσίδιο, τα οποία δεν υπάρχουν στα φυτά μουχρίτσας του γένους *Echinochloa* (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Απουσία γλωσσιδίου και ωτιδίων (αριστερά) σε κολεό φύλλου μουχρίτσας, σε αντίθεση με τον κολεό κόκκινου ρυζιού (δεξιά).

Κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης μέχρι και την εμφάνιση της ταξιανθίας διακρίνεται από το καλλιεργούμενο ρύζι, καθώς πολλοί βιότυποι εμφανίζουν ερυθρές αποχρώσεις σε διάφορα μέρη του φυτού (όπως είναι ο βλαστός, οι κολεοί και τα ωτίδια). Μετέπειτα, καθώς το φυτό μεγαλώνει και ωριμάζει, γίνεται ακόμη πιο εύκολο να διακριθεί από το καλλιεργούμενο ρύζι, διότι αποκτά μεγαλύτερο ύψος, η ταξιανθία του είναι ανοικτή και χαλαρή φόβη, ενώ οι σπόροι των περισσότερων βιότυπων έχουν άγανο (κίτρινο ή μαύρο ή μεγάλο), με το περικάρπιο να έχει ερυθρό χρώμα μετά από την αποφλοίωση τους. Επιπλέον, οι βιότυποι του κόκκινου ρυζιού μπορούν να διακριθούν περαιτέρω μεταξύ τους με βάση τις ερυθρές αποχρώσεις που υπάρχουν σε διαφορετικά μέρη του φυτού (συμπεριλαμβανομένου του βλαστό, τον κολεό, τους κόμβους ή τα ωτίδια), από την ύπαρξη του άγανου στους σπόρους, καθώς και από το χρώμα και το μήκος τους (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017).

Ειδικότερα, τρεις είναι οι πλέον επικρατέστεροι βιότυποι που απαντώνται με υψηλή συχνότητα στους ορυζώνες της χώρας μας: (1) Ο βιότυπος που χαρακτηρίζεται από μαύρο άγανο μετρίου μήκους (είναι αυτός που κυρίως απαντάται στους ορυζώνες της χώρας μας) έχει κόκκινες παράλληλες ραβδώσεις στο καλάμι, καθώς και κατά μήκος του κολεού των δύο πρώτων φύλλων, (2) Ο δεύτερος πιο διαδεδομένος βιότυπος του ζιζανίου στη χώρα μας από άποψη συχνότητας εμφάνισης στους οπωρώνες χαρακτηρίζεται από μαύρο, μεγάλου μήκους

άγανο, ενώ εμφανίζει ερυθρή απόχρωση στη βάση, στους κόμβους και τα ωτίδια, (3) Ο τρίτος πιο διαδεδομένος από πλευράς συχνότητας βιότυπος του ζιζανίου χαρακτηρίζεται από κίτρινο, μεγάλο μήκους άγανο. Προσέτι, διακρίνεται από την απουσία της ερυθρής απόχρωσης στη βάση του κολεού των πρώτων δύο φύλλων, ενώ διαθέτει ερυθρούς κόμβους και ερυθρά ωτίδια (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2017).

1.4 ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟΥ ΡΥΖΙΟΥ

Η γνώση της οικολογίας και βιολογίας του κόκκινου ρυζιού (κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν το λήθαργο των σπόρων, την εκτίναξη των ώριμων σπόρων των φυτών στο έδαφος, τη θνησιμότητα των σπόρων, καθώς και το φύτευμα και την ανάπτυξη των νεαρών φυτών) είναι ουσιαστική για να καταστήσει δυνατό τον προσδιορισμό των ‘αδυναμιών’ του ζιζανίου και κατ’ επέκταση το σχεδιασμό αποτελεσματικών στρατηγικών διαχείρισής του.

1.4.1 Λήθαργος των σπόρων

Ο λήθαργος των σπόρων αποτελεί ένα χαρακτηριστικό που συμβάλλει στην επιτυχή προσαρμογή και επιβίωση του ζιζανίου στα παραγωγικά συστήματα των ορυζώνων. Ο χρόνος λήθαργου παρουσιάζει μεγάλη διαφοροποίηση και μπορεί να κυμαίνεται από πλήρη απουσία λήθαργου, από λίγες ημέρες έως και αρκετά χρόνια και επηρεάζεται καθοριστικά από τον βιότυπο και τις συνθήκες αποθήκευσης των σπόρων μετά τη συλλογή τους από τον αγρό (Vidotto και Ferrero, 2000). Στην αξιοσημείωτη διαφοροποίηση του χρόνου λήθαργου των σπόρων συμβάλλουν τόσο γενετικοί όσο και περιβαλλοντικοί παράγοντες (περιεχόμενη υγρασία των σπόρων και θερμοκρασία περιβάλλοντος). Βέβαια, οι παράγοντες του περιβάλλοντος που συμβάλλουν στη διακοπή του λήθαργου των σπόρων του κόκκινου ρυζιού σε συνθήκες αγρού δεν έχουν μέχρι σήμερα πλήρως κατανοηθεί, καθιστώντας απαραίτητη την εκπόνηση ερευνητικών μελετών που θα αποκαλύψουν τους παράγοντες που διακόπτουν το λήθαργο.

1.4.2 Βιωσιμότητα των σπόρων

Η βιωσιμότητα των σπόρων στα άγρια είδη ρυζιού σχετίζεται με το λήθαργο και την ύπαρξη κόκκινου περικάρπιου (Xia κ.ά., 2011). Η βιωσιμότητα των σπόρων στο έδαφος παρουσιάζει διακύμανση μεταξύ των διαφόρων βιοτύπων του ζιζανίου και επηρεάζεται από το λήθαργο, το βάθος που βρίσκεται εντός του εδάφους και το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας (Noldin, 2000), ενώ παρουσιάζει αύξηση με την αύξηση του βάθους εντός του εδάφους του ορυζώνα. Επίσης, η βιωσιμότητα των σπόρων μειώνεται ταχύτερα όταν επικρατούν συνθήκες

υγρασίας παρά όταν τα εδάφη των ορυζώνων είναι κατακλυσμένα με νερό (Chin κ.ά., 2000). Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιβίωση των σπόρων στους αγρούς κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου ήταν υψηλότερη σε άγρια είδη ρυζιού τύπου *japonica* παρά σε είδη του τύπου *indica* (επίπεδα φυτρώματος 50% και 10%, αντίστοιχα (Kyoung κ.ά., 1999). Η γνώση των παραγόντων που διαμορφώνουν τη βιωσιμότητα των σπόρων μπορεί να συμβάλλει στην ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης φιλικών προς το περιβάλλον και ιδιαίτερα στο σχεδιασμό της διάρκειας της αμειψισποράς (ενδεδειγμένης εναλλαγής καλλιεργειών).

1.4.3 Αποσύνθεση-θνησιμότητα των σπόρων

Αναφορικά με την κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την αποσύνθεση των σπόρων του ζιζανίου στο έδαφος και μπορούν να επηρεάσουν τα μέτρα που στοχεύουν στη μείωση της δεξαμενής των σπόρων του κόκκινου ρυζιού εντός του εδάφους, η εδαφική υγρασία βρέθηκε ότι επηρεάζει σημαντικά την αποσύνθεσή τους. Στην Ιταλία, η κατάκλυση των ορυζώνων κατά τη διάρκεια του χειμώνα πριν την εκ νέου σπορά του ρυζιού αργά την άνοιξη, συνέβαλε σε σημαντική μείωση (>95%) της βιωσιμότητας των σπόρων, συγκριτικά με τα επίπεδα απωλειών που υπέστησαν (26-76%) οι σπόροι του ζιζανίου όταν οι ορυζώνες δεν είχαν νερό κατά το διάστημα αυτό (Fogliatto κ.ά., 2010).

1.4.4 Αποκοπή και εκτίναξη των σπόρων στο έδαφος

Η εκτίναξη των σπόρων αποτελεί έναν από τους σημαντικούς μηχανισμούς διασποράς του κόκκινου ρυζιού. Η πρόωμη εκτίναξή τους από τα φυτά μπορεί να εμποδίζει την ξήρανση και την απώλεια του λήθαργου των σπόρων του κόκκινου ρυζιού καθώς η υψηλή περιεκτικότητά τους σε υγρασία συνεισφέρει υψηλότερα επίπεδα λήθαργου (Leopold κ.ά., 1988). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο χρόνος και ο βαθμός εκτίναξης των σπόρων παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση μεταξύ των διαφόρων βιοτύπων του ζιζανίου. Ειδικότερα, σε παραγωγικά συστήματα ρυζιού στη Σρι Λάνκα της Ν.Α. Ασίας καταγράφηκε έναρξη αποκοπής και εκτίναξης σπόρων από 7 έως 15 ημέρες μετά την άνθηση των φυτών, ενώ ο βαθμός (τα επίπεδα) εκτίναξης των σπόρων κυμάνθηκαν μεταξύ 20 έως 94% (Chin κ.ά., 2000).

1.4.5 Φύτρωμα και αρχική ανάπτυξη των νεαρών φυτών

Γενικά, το φύτρωμα των φυτών του κόκκινου ρυζιού μειώνεται συνέπεια της αύξησης του βάθους στο οποίο βρίσκονται οι σπόροι του ζιζανίου εντός του εδάφους. Η τάση αυτή καταγράφεται τόσο σε συνθήκες υψηλής υγρασίας όσο και κατάκλυσης του εδάφους των ορυζώνων. Ο ρυθμός ανάδυσης των νεαρών σποροφύτων του κόκκινου ρυζιού κυμάνθηκε μεταξύ 92%-45% στα πρώτα 0-5cm ενός εδάφους κορεσμένου από υγρασία (Vidotto και

Ferrero, 2000). Παρόλα αυτά, τα φυτά του ζιζανίου μπορούν να φυτρώσουν από βάθος έως και 10cm εντός του εδάφους. Προσέτι, η ευρωστία των νεαρών σποροφύτων σχετίζεται με υψηλότερη φωτοσυνθετική ικανότητα-απόδοση των φύλλων σε σύγκριση με τα φύλλα των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού που βρίσκονται στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης (Dai κ.ά., 2017). Η πρόωμη έναρξη αδελφώματος και η πρόωμη ωρίμανση συνδέονται με την αυξημένη ανταγωνιστική ικανότητα των φυτών του κόκκινου ρυζιού σε βάρος των ποικιλιών του καλλιεργούμενου ρυζιού. Ειδικότερα, η πρόωμη ωρίμανση που οφείλεται στην πρόωμη άνθηση και στο συντομότερο χρόνο γεμίσματος των κόκκων του ζιζανίου αποτελεί σημαντική στρατηγική επιβίωσής γιατί επιτρέπει στα φυτά να αποφύγουν τη συγκομιδή κατά τον αλωνισμό της καλλιέργειας (Zhao κ.ά., 2018).

1.4.6 Ποικιλομορφία στο κόκκινο ρύζι

Το κόκκινο ρύζι χαρακτηρίζεται από αξιοσημείωτη πολυμορφία στους μορφολογικούς του χαρακτήρες και σημαντική φαινοτυπική πλαστικότητα. Σε παγκόσμια κλίμακα το άγριο ρύζι σύμφωνα με τον Suh κ.ά. (1997) μπορεί να καταταγεί σε τέσσερις τύπους (1) άγριο ρύζι που παρουσιάζει ευκολία εκτίναξης των σπόρων, μακριά άγανα, λέπυρα ιώδους ή μαύρης απόχρωσης και ερυθρό περικάρπιο των σπόρων, (2) άγριο ρύζι που μοιάζει με το καλλιεργούμενο σε πολλούς χαρακτήρες (όχι έντονη αποκοπή και εκτίναξη των σπόρων, απουσία αγάνων ή άγανα μικρού μήκους, λέπυρα κίτρινης ή καστανής απόχρωσης και λευκό περικάρπιο των σπόρων), (3) άγριο ρύζι τύπου *japonica* που χαρακτηρίζεται από μικρότερο μήκος σπόρων, μικρότερο αριθμό παραγόμενων αδελφιών, μικρότερο ύψος φυτών, μικρότερο αριθμό καρπόδεσης και (4) άγριο ρύζι τύπου *indica* που παρουσιάζει μεγαλύτερο μήκος κόκκων, σχηματίζει μεγαλύτερο αριθμό αδελφιών, τα φυτά αποκτούν μεγαλύτερο ύψος, έχουν μεγαλύτερο αναπαραγωγικό δυναμικό αλλά εμφανίζουν ελαφρώς μικρότερο βάρος 1000 κόκκων.

1.4.7 Χαρακτηριστικά διαφοροποίησης κόκκινου και καλλιεργούμενου ρυζιού

Τα κυριότερα βιομηχανικά, γενετικά, φυσιολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του κόκκινου ρυζιού που διαφοροποιούν τους πληθυσμούς του έναντι του καλλιεργούμενου ρυζιού ποικίλουν μεταξύ των δύο ειδών και περιλαμβάνουν:

- (1) Τη γενετική προέλευση (είδος *Oryza* ή/και τύπος καλλιεργούμενου ρυζιού *indica*, *japonica*),
- (2) Την περίοδο φυτρώματος των σπόρων.
- (3) Το ρυθμό φυτρώματος των σπόρων.

- (4) Τον τρόπο ανάπτυξης και τον αριθμό των αδελφιών-βλαστών που παράγουν (αρχιτεκτονική δομή των φυτών).
- (5) Τη μορφολογία και το μέγεθος των ωτιδίων και του γλωσσιδίου των φύλλων.
- (6) Την ύπαρξη ή μη κόκκινου χρώματος στα φύλλα (στα σημεία των ωτιδίων) και τους κόμβους-γόνατα των βλαστών,
- (7) Τον τρόπο βλάστησης-έκφυσης και το μήκος του φύλλου σημαίας.
- (8) Το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών.
- (9) Το ύψος των φυτών,
- (10) Τη βιομάζα των φυτών,
- (11) η μορφολογία της ταξιανθίας – φόβης,
- (12) ο χρόνος άνθισης των φυτών,
- (13) ο χρόνος ωρίμανσης των σπόρων,
- (14) η ποσότητα (αριθμός) των σπόρων ανά ταξιανθία – φόβη,
- (15) το μέγεθος των σπόρων,
- (16) ο χρωματισμός των λεπύρων (φλοιός) των σπόρων,
- (17) το μήκος του αγάνου των σπόρων,
- (18) το χρώμα του περικαρπίου των κόκκων (το χρώμα των αποφλοιωμένων σπόρων),
- (19) ο λήθαργος των σπόρων,
- (20) η μακροβιότητα των σπόρων,
- (21) το αν μπορούν να αποκοπούν οι σπόροι από την ταξιανθία (τίναγμα) και
- (22) η διασπορά των φυτών στο έδαφος.

Ακολούθως σχολιάζονται διεξοδικά ορισμένα από τα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τους πληθυσμούς του κόκκινου έναντι του καλλιεργούμενου ρυζιού.

1.4.8 Μέγεθος των σπόρων

Η πλειονότητα των πληθυσμών του κόκκινου ρυζιού που βρίσκονται στην Ιταλία και στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ είναι 'μεσόσπερμοι', όπως είναι οι σπόροι του τύπου japonica, με το μήκος των σπόρων να κυμαίνεται από 5,2 έως 6,4mm (Fogliatto κ.ά., 2020; Shivrain κ.ά., 2010). Αντίθετα, οι σπόροι των περισσότερων πληθυσμών του ζιζανίου που αναπτύσσονται στις ΗΠΑ (με εξαίρεση τους πληθυσμούς από την Πολιτεία της Καλιφόρνιας), είναι 'μακρόσπερμοι', όπως είναι οι σπόροι του τύπου indica, με το μήκος των σπόρων να κυμαίνεται από 7 έως 8mm (Shivrain κ.ά., 2010).

1.4.9 Το ύψος και η αρχιτεκτονική φυτών

Το ύψος των φυτών του κόκκινου ρυζιού ρυθμίζεται γενετικά από το κυρίαρχο γονίδιο SD1, το οποίο επηρεάζει τη βιοσύνθεση της γιββερελλίνης. Αυτή, πέρα από το ύψος των φυτών, επάγει το φύτρωμα των σπόρων, την ανθοφορία και το αδελφωμα των φυτών (Fogliatto κ.ά., 2020). Επιπλέον, οι υψηλόσωμοι πληθυσμοί με κατακόρυφη έκφυση βλαστών είναι πιο ανταγωνιστικοί συγκριτικά με το καλλιεργούμενο ρύζι, καθώς επιτρέπουν πιο μεγάλη διείσδυση, απορρόφηση και αξιοποίηση του ηλιακού φωτός, γεγονός που αυξάνει τον ρυθμό ανάπτυξης και την φωτοσυνθετική τους ικανότητα.

Η αρχιτεκτονική των φυτών του ρυζιού ζιζανίου (αριθμός και τρόπος έκφυσης αδελφών-βλαστών) ελέγχεται από το κυρίαρχο (Jin κ.ά., 2008) ή ημικυρίαρχο (Tan κ.ά., 2008) γονίδιο PROG1 (PROstrate Growth 1). Γενικότερα, οι πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού που έχουν το κυρίαρχο γονίδιο PROG1 παράγουν περισσότερα αδελφια-βλαστούς με πλάγια έκφυση, ενώ οι πληθυσμοί που έχουν μεταλλαγμένη μορφή του γονιδίου PROG1 (Wu κ.ά., 2018), όπως και οι ποικιλίες καλλιεργούμενου ρυζιού, παράγουν λίγα αδελφια αλλά με κατακόρυφη-συμπαγή έκφυση. Οι κόμβοι-γόνατα των βλαστών σε ορισμένους πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού εμφανίζουν κόκκινη απόχρωση λόγω εναπόθεσης ανθοκυανών.

Η ταξιανθία του κόκκινου ρυζιού μπορεί να είναι διακλαδισμένη ή μη διακλαδισμένη φόβη, με κατακόρυφη ή ελαφρώς πλάγια ή κεκλιμένη έκφυση, ενώ οι σπόροι έχουν ποικίλο χρώμα λεπύρων και διαφορετικό μήκους αγάνου.

Το έλασμα των φύλλων είναι επίμηκες, τραχύ, δύσκαμπτο και συνήθως κατακόρυφης έκφυσης. Μεταξύ του κολεού και του ελάσματος των φύλλων υπάρχουν μικρά ωτίδια που φέρουν τρίχες και μεγάλο, μεμβρανώδες, λευκό και οξύληκτο, δισχιδές γλωσσίδιο. Ακόμη, τα φύλλα (στο σημείο των ωτιδίων) σε ορισμένους πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού παρουσιάζουν κόκκινη απόχρωση λόγω της εναπόθεσης ανθοκυανών (ερυθρών χρωστικών).

1.4.10 Το μήκος αγάνου των σπόρων

Το μήκος αγάνου των σπόρων του κόκκινου ρυζιού, κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά (mm) έως και 10cm. Αυτό είναι ένα γενετικά καθορισμένο χαρακτηριστικό (ελέγχεται γενετικά) και βοηθά στην αναγνώριση-διάκριση μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών αλλά και στην ικανότητα προσαρμογής των διαφορετικών πληθυσμών του ζιζανίου. Πιο συγκεκριμένα, το γονίδιο LABA1 (Long And Barbed Awn1) ρυθμίζει το μήκος των ακανθωδών (με ακίδες) αγάνων των σπόρων του κόκκινου ρυζιού, όπου αυτό το γονίδιο κωδικοποιεί ένα ένζυμο ενεργοποίησης της κυτοκινίνης, η οποία με την σειρά της επάγει την επέκταση του αγάνου και

την δημιουργία ακίδων (Hua κ.ά., 2015). Από την άλλη πλευρά, οι σπόροι του καλλιεργούμενου ρυζιού δεν διαθέτουν άγανο επειδή φέρουν το μεταλλαγμένο υποτελές γονίδιο *laba1* (αφού έχει πραγματοποιηθεί η διαγραφή τμήματος DNA του γονιδίου *LABA1*), το οποίο ελαττώνει τη συγκέντρωση κυτοκινίνης εντός των φυτών και αποτρέπει την επέκταση του αγάνου και τον σχηματισμό ακίδων. Συνήθως, οι σπόροι που διαθέτουν άγανο προστατεύονται από τα αρπακτικά πουλιά και παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυνατότητα διασποράς σε σύγκριση με τους σπόρους που δε διαθέτουν άγανο (Fogliatto κ.ά., 2012). Αντίθετα, οι σπόροι χωρίς άγανο εντοπίζονται συχνά σε πληθυσμούς ρυζιού ζιζανίου, που έχουν λέπυρα σπόρων χρώματος αχύρου παρά σε λέπυρα με μαύρη ή καφέ απόχρωση (Shivrain κ.ά., 2010).

Οι πληθυσμοί του κόκκινου ρυζιού των ΗΠΑ (με εξαίρεση αυτούς που βρίσκονται στην Καλιφόρνια), μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το χρώμα λεπύρων των σπόρων και την ύπαρξη ή μη αγάνου. Αυτοί οι πληθυσμοί εμπίπτουν σε πιο συγκεκριμένες ομάδες, δηλαδή ανήκουν στην ομάδα SH (straw hull, λέπυρα χρώματος αχύρου δίχως άγανο), BHA (brown hull awned, λέπυρα μαύρου χρώματος με άγανο), BRH (brown hull awned, λέπυρα καφέ χρώματος με άγανο) (Reagon κ.ά., 2010). Σχετικά με την γενετική προέλευση αυτών των πληθυσμών, οι μοριακές μελέτες των Londo και Schaal (2007), Suh κ.ά. (1997) και Vaughan κ.ά. (2001) έδειξαν ότι οι πληθυσμοί που παράγουν σπόρους με λέπυρα χρώματος αχύρου, δίχως άγανο (SH), προέρχονται είτε από το καλλιεργούμενο είδος ρυζιού τύπου *O. sativa indica*, είτε από κάποιο υβριδισμό μεταξύ αυτού του τύπου ρυζιού και του άγριου ρυζιού *O. rufipogon* (το οποίο είναι πρόγονος του Ασιατικού ρυζιού *O. sativa*).

Από την άλλη, οι πληθυσμοί που έχουν σπόρους με λέπυρα μαύρου χρώματος και διαθέτουν άγανο (BHA) έδειξαν ότι προέρχονται είτε από το καλλιεργούμενο ρύζι *O. sativa aus* είτε από το άγριο ρύζι *O. rufipogon*. Η στατιστική ανάλυση ομαδοποίησης αυτών των πληθυσμών (Reagon κ.ά., 2010) έδειξε ότι το 60% και το 53%, των SH πληθυσμών (σπόροι με λέπυρα χρώματος αχύρου και δίχως άγανο) ομαδοποιήθηκε στην ίδια κατηγορία με το καλλιεργούμενο ρύζι *O. sativa indica* και το άγριο ρύζι *O. rufipogon*, αντίστοιχα, ενώ οι BHA πληθυσμοί (σπόροι με λέπυρα μαύρου χρώματος και άγανο) ομαδοποιήθηκαν με το καλλιεργούμενο ρύζι *O. sativa tropical japonica* (63%), *O. sativa indica* (20%), *O. rufipogon* (7%) και *O. sativa aus* (δυο πληθυσμοί).

Οι BRH πληθυσμοί (σπόροι με λέπυρα καφέ χρώματος και άγανο) καταδείχθηκε ότι είναι προϊόν υβριδισμού ανάμεσα στο καλλιεργούμενο ρύζι τύπου *indica* και *aus* ή SH (λέπυρα χρώματος αχύρου και δίχως άγανο) και BHA πληθυσμών (λέπυρα καφέ χρώματος με άγανο) πληθυσμών, ή *aus* ρυζιού και SH πληθυσμών. Φυσικά, ορισμένοι πληθυσμοί προήλθαν από

υβριδισμό μεταξύ του καλλιεργούμενου ρυζιού τύπου tropical japonica και άγριου ρυζιού *O. rufipogon*, ή indica /SH και tropical japonica ή aus/BHA και tropical japonica. Με βάση αυτά τα δεδομένα, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η πλειοψηφία των πληθυσμών του κόκκινου ρυζιού στις Πολιτείες των ΗΠΑ (εξαιρέση αποτελεί η Καλιφόρνια) προέρχονται από ποικιλίες ρυζιού indica ή aus, αν και οι ποικιλίες αυτού του τύπου δεν είχαν καλλιεργηθεί στις ΗΠΑ (οι πιο πολλές ποικιλίες ρυζιού που καλλιεργούνται στις ΗΠΑ είναι τύπου japonica) πριν από την εγγραφή των πρώτων πληθυσμών του κόκκινου ρυζιού.

Η διακρίβωση αυτή βασίζεται στην επιστημονική υπόθεση ότι το κόκκινο ρύζι των περισσότερων Πολιτειών των ΗΠΑ (με εξαίρεση εκείνη της Καλιφόρνιας) εξελίχθηκε σε άλλες περιοχές του κόσμου και εισήχθη ως εισβολικό είδος, μέσω εισαγωγής επιμολυσμένων σπορομερίδων καλλιεργούμενων ποικιλιών. Αντίθετα, η πλειοψηφία των πληθυσμών κόκκινου ρυζιού που αναπτύσσονται εντός οριζώνων στην Πολιτεία της Καλιφόρνιας έχουν μεσαίου μεγέθους σπόρους τύπου japonica με λεπύρα χρώματος αχύρου και μακρύ άγανο (SHA). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι η προέλευσή τους σχετίζεται με την απο-εξημέρωση ποικιλιών ρυζιού τύπου *O.sativa* temperate japonica, οι οποίες καλλιεργούνται στην Καλιφόρνια και έχουν σπόρους με λεπύρα χρώματος αχύρου χωρίς άγανο (Kanareckas κ.ά., 2016). Η διαφορά αυτή μεταξύ της Καλιφόρνιας και των άλλων Πολιτειών των ΗΠΑ, ως προς τον τύπο (japonica στην Καλιφόρνια αντί indica) του κόκκινου ρυζιού, οφείλεται στην εφαρμογή αυστηρού νομικού πλαισίου στην Καλιφόρνια. Ειδικότερα, ο νόμος επέβαλε την χρήση πιστοποιημένου σπόρου ρυζιού κατά τη σπορά και οπωσδήποτε απαλλαγμένου από σπόρους κόκκινου ρυζιού τύπου indica.

Η πρόσφατη επισκόπηση (Ελεθεροχωρινός, 2021) σε διάφορους ορίζοντες σε όλη την Ελλάδα αποκάλυψε ενδιαφέροντα ευρήματα για τους περισσότερους πληθυσμούς του κόκκινου ρυζιού. Παρατηρήθηκε ότι η πλειοψηφία αυτών των πληθυσμών ανήκει στους μεσόσπερμους, τύπου japonica οι οποίοι παράγουν σπόρους ποικίλου χρώματος λεπύρων, αλλά παρουσιάζουν και ποικιλομορφία στο χρώμα και το μήκος του αγάνου. Σε γενικές γραμμές, οι περισσότεροι πληθυσμοί έχουν λεπύρα σπόρων και άγανο χρώματος αχύρου, ενώ οι πληθυσμοί με λεπύρα σπόρων χρώματος αχύρου και υποτυπώδες μικρό άγανο ή λεπύρα σπόρων χρώματος αχύρου και δίχως άγανο συναντώνται με τη μικρότερη συχνότητα. Επιπλέον, οι πληθυσμοί με λεπύρα χρώματος αχύρου και μαύρο άγανο, λεπύρα και άγανο χρώματος καφέ ή λεπύρα στους σπόρους και άγανο χρώματος καφέ ή λεπύρα και άγανο μαύρου χρώματος εμφανίζονται με ενδιάμεση συχνότητα. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι σπόροι όλων των πληθυσμών που εξετάστηκαν είχαν κόκκινο περικάρπιο.

1.4.11 Χρώμα περικαρπίου των κόκκων

Πολλοί πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού, παρόλο που προέρχονται από διάφορες περιοχές όλου του κόσμου και από διαφορετικές διαδικασίες γενετικής προέλευσης, συνεχίζουν να μοιράζονται κάποια κοινά μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν το κόκκινο περικάρπιο των κόκκων, τον λήθαργο και την αποκοπή των σπόρων από την ταξιανθία. Όσον αφορά τον κόκκινο χρωματισμό του περικαρπίου των κόκκων του κόκκινου ρυζιού, αυτός οφείλεται στην κόκκινη χρωστική προανθοκυανιδίνη (πρόδρομος ουσία της ανθοκυανίνης), η οποία κωδικοποιείται από το κυρίαρχο γονίδιο *Rc* (Red colour) το οποίο προέρχεται από το άγριο είδος *O. rufipogon* (πρόγονος του καλλιεργούμενου ρυζιού, *O. sativa*). Το υποτελές-υπολειπόμενο γονίδιο *rc*, το οποίο κωδικοποιεί λευκό περικάρπιο κόκκων, θεωρείται ως μη λειτουργική μορφή του γονιδίου *Rc* (ελαττωματικό γονίδιο *rc* το οποίο δεν κωδικοποιεί προανθοκυανιδίνη) λόγω της διαγραφής του τμήματος DNA 14-pb (Pratherpha, 2019; Sweenney κ.ά., 2006). Η διαπίστωση αυτή στηρίζεται στο ότι το γονίδιο *rc* του λευκού ρυζιού *O. sativa* είναι στην πραγματικότητα η μεταλλαγμένη έκδοση (εξαιτίας της διαγραφής τμήματος DNA 14-pb) του προγονικού κυρίαρχου γονιδίου *Rc* του είδους *O. rufipogon*, που έχει σαν αποτέλεσμα να απορρίπτει, ως λάθος, την επικρατούσα άποψη ότι το γονίδιο *Rc* (κωδικοποιεί κόκκινο περικάρπιο) του κόκκινου ρυζιού είναι η μεταλλαγμένη έκδοση του υποτελούς-υπολειπόμενου γονιδίου *rc* που κωδικοποιεί λευκό περικάρπιο κόκκων ρυζιού *O. sativa* (Ελευθεροχωρινός, 2022b).

Η προανθοκυανιδίνη θεωρείται ότι φυλάσσει τους σπόρους από αρπακτικά και παθογόνα. Προσέτι, ελέγχει τον λήθαργο και την αποκοπή των σπόρων από την ταξιανθία (Cui κ.ά., 2016 Gu κ.ά., 2011). Η δράση της ουσίας είναι πλειοτροπική και οφείλεται στη σύνδεση του γονιδίου *Rc* με τα γονίδια *Sdr4* και *Sh4*, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την παράλληλη έκφραση αυτών των γονιδίων και την ως εκ τούτου κωδικοποίηση της προανθοκυανιδίνης και των ουσιών που ελέγχουν την αδράνεια και την αποκοπή των σπόρων από την ταξιανθία. Η συσχέτιση αυτών των τριών γονιδίων αποδεικνύεται περαιτέρω και από το γεγονός ότι οι σπόροι από όλους τους πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού (γονίδιο *Rc*), έχουν λήθαργο (γονίδιο *Sdr4*), αποχωρίζονται από την ταξιανθία (γονίδιο *Sh4*) και εκτινάσσονται-καταλήγουν στο έδαφος. Αντίθετα, οι πληθυσμοί ρυζιού ζιζανίου, οι οποίοι φέρουν το υποτελές-υπολειπόμενο γονίδιο *rc*, παράγουν σπόρους με λευκό περικάρπιο κόκκων, μειωμένη δυνατότητα αποκοπής τους από την ταξιανθία και χαμηλότερα επίπεδα λήθαργου.

Σύμφωνα με τους Furukawa κ.ά. (2006), το κόκκινο περικάρπιο που παρατηρείται στους κόκκους του ρυζιού ζιζανίου, δεν ελέγχεται μόνο από το *Rc* γονίδιο, αλλά η έκφρασή του οφείλεται και στη συνεργιστική δράση του *Rd* γονιδίου (red-pericarp synergistic-gene).

Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι μόνο ο γενότυπος RcRd (δυο κυρίαρχα γονίδια) έχει κόκκινο περικάρπιο κόκκων, ενώ ο γενότυπος Rcrd έχει καφέ περικάρπιο και οι γενότυποι rcrd (δυο υποτελή γονίδια) και rcRd έχουν λευκό περικάρπιο. Όλα αυτά υποδηλώνουν ότι το *Rd* γονίδιο, παρόλο που δεν παράγει χρωστική ουσία, συμμετέχει, μέσω της συνεργιστικής του δράσης στο *Rc* γονίδιο, στην μετατροπή του καφέ περικαρπίου των κόκκων του ρυζιού ζιζανίου σε μια κόκκινη απόχρωση.

Η έρευνα των Singh κ.ά., (2017) στην Πολιτεία Αρκάνσας των ΗΠΑ, επιβεβαίωσε τον ποικίλο χρωματισμό του περικαρπίου των κόκκων του ρυζιού ζιζανίου. Η μελέτη τους ανέλυσε 698 φυτά, και έδειξε ότι το 40% και 59% των 200 εκ των 698 αναλυθέντων φυτών, με λέπυρα σπόρων χρώματος αχύρου, είχαν κόκκους με λευκό και κόκκινο περικάρπιο, αντίστοιχα, ενώ το 26%, 22% και 47% των 260, 209 και 29 φυτών με λέπυρα σπόρων μαύρου, καφέ και ανοιχτού καφέ χρώματος είχαν λευκό περικάρπιο. Τέλος, το 74%, 77% και 53% των κόκκων είχαν κόκκινο περικάρπιο. Αυτό σημαίνει ότι περίπου το 30% των κόκκων του ρυζιού ζιζανίου στις ορυζοκαλλιέργειες της Πολιτείας Αρκάνσας είχε λευκό περικάρπιο, ενώ σύμφωνα με τις ίδιες πηγές, το φαινόμενο αυτό οφείλεται στον υβριδισμό μεταξύ ετερόζυγων (*Rc*) φυτών κόκκινου ρυζιού (μητρικό φυτό) και ομόζυγων (*rc*) φυτών καλλιεργούμενου ρυζιού (άρρεν γονέας) με λευκό περικάρπιο. Η διασταύρωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα στην παραγωγή 50% ετερόζυγων (*Rc*) απογόνων με κόκκινο περικάρπιο κόκκινων και 50% ομόζυγων (*rc*) απογόνων με λευκό περικάρπιο. Επιπλέον, πληθυσμοί ρυζιού ζιζανίου με κόκκινο, λευκό ή καφέ περικάρπιο κόκκων έχουν καταγραφεί και σε διάφορες άλλες περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της Ισπανίας, άλλων πολιτειών (εκτός Άρκανσο) των ΗΠΑ, της Νότιας Ασίας, της Ιαπωνίας, της Κορέας, Κίνας και της Κόστα Ρίκα (Pratherpa κ.ά., 2019; Ziska κ.ά., 2015). Σύμφωνα με τον Pratherpa (2019), το περικάρπιο των κόκκων του ρυζιού ζιζανίου, πέρα από κόκκινο, λευκό ή καφέ, μπορεί να είναι υπόλευκο, ανοιχτό καφέ (χρυσό) ή πορφυρό (μωβ).

1.4.12 Αποκοπή σπόρων από την ταξιανθία

Η αποκοπή των σπόρων του κόκκινου ρυζιού από την ταξιανθία (τίναγμα) και η διασπορά τους στο έδαφος ελέγχεται από το γονίδιο *Sh4* (Shattering). Αυτό το γονίδιο είναι υπεύθυνο για την κωδικοποίηση μιας πρωτεΐνης, η οποία σχηματίζει στρώμα αποκοπής στο σημείο που προσδένονται-συγκρατούνται οι σπόροι του ζιζανίου με τις διακλαδώσεις της ταξιανθίας-φόβης. Η διαφορά του καλλιεργούμενου ρυζιού σε σχέση με το κόκκινο ρύζι είναι ότι οι σπόροι του ρυζιού δεν διασπείρονται στο έδαφος επειδή το καλλιεργούμενο ρύζι φέρει το μεταλλαγμένο γονίδιο *sh4* το οποίο εμπλέκεται στην αποδόμηση (ή μη παραγωγή) της πρωτεΐνης αποκοπής των σπόρων από την ταξιανθία (Li κ.ά., 2006).

Ωστόσο, αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι αυτό το χαρακτηριστικό, παρόλο που ελέγχεται από ένα γονίδιο, παρουσιάζει μεγάλη παραλλακτικότητα μεταξύ των πληθυσμών του κόκκινου ρυζιού (Ελευθεροχωρινός, 2022). Συγκεκριμένα, η έρευνα των Burgos κ.ά., (2014) απέδειξε ότι το ποσοστό αποκοπής (τίναγμα) των σπόρων από 48 διαφορετικούς πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού στην Πολιτεία Αρκάνσας των ΗΠΑ, παρουσίαζε ευρεία διακύμανση από 18% έως 97%. Αυτή η παρατήρηση ενισχύει την άποψη ότι αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να ελέγχεται και από ένα άλλο γονίδιο ή από άλλα γονίδια που κωδικοποιούν διαφορετική ποσότητα της πρωτεΐνης αποκοπής.

1.4.13 Χρώμα των λεπύρων του σπόρου

Υπάρχουν 3 διαφορετικά χρώματα που καθορίζουν τα λέπυρα (τον φλοιό) των σπόρων του κόκκινου ρυζιού: το αχυρώδες (straw hull), το μαύρο (black hull) και το καφέ (brown hull) χρώμα. Καθένα από αυτά τα χρώματα ελέγχεται από άλλα γονίδια. Το μαύρο χρώμα των λεπύρων καθορίζεται από το γονίδιο *Bh4* (BH, black hull), καθώς το χρώμα του αχύρου (SH, straw hull) από το μεταλλαγμένο γονίδιο *bh4* (διαγραφή τμήματος DNA 22 bp, τα οποία είναι ζεύγη βάσεων-νουκλεοτιδίων). Συνήθως, οι πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού παγκοσμίως έχουν επί το πλείστο σπόρους με λέπυρα χρώματος αχύρου (ίδιο χρώμα λεπύρων με τους σπόρους των ποικιλιών καλλιεργούμενου ρυζιού), ακολουθούν οι πληθυσμοί με μαύρα λέπυρα, ενώ οι πληθυσμοί με καφέ λέπυρα είναι πιο σπάνιοι (Fogliatto κ.ά., 2020; Gu κ.ά., 2011; Huang κ.ά., 2017; Huang κ.ά., 2018; Reagon κ.ά., 2010; Zhu κ.ά., 2011). Οι πληθυσμοί με μαύρα ή καφέ λέπυρα σπόρων παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραλλακτικότητα, μεγαλύτερη φαινοτυπική πλαστικότητα, ευρύτερη προσαρμοστικότητα και μεγαλύτερη αντοχή στην υψηλή ένταση φωτός αλλά και στην προσβολή ζωικών εχθρών λόγω συσσώρευσης ανθοκυανών και φλαβονοειδών (ουσίες άμυνας). Έχουν επίσης μεγαλύτερη ανταγωνιστική ικανότητα έναντι των πληθυσμών του ρυζιού με λέπυρα σπόρων χρώματος αχύρου (Fogliatto κ.ά., 2020; Zhu κ.ά., 2011). Αξίζει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού με μαύρα λέπυρα σπόρων είναι ιδιαίτερα σημαντικοί, από διατροφική άποψη, λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς τους σε φαινολικές ουσίες (2,58 mg/g). Το επίπεδο αυτό των φαινολικών ουσιών ξεπερνά την περιεκτικότητα σε φαινολικές ουσίες που βρίσκεται στους πληθυσμούς του κόκκινου ρυζιού με λέπυρα χρώματος αχύρου (1,58 mg/g), καθώς και σε σπόρους ποικιλιών καλλιεργούμενου ρυζιού (1,24-1,51 mg/g) (Prathepha, 2019).

1.4.14 Λήθαργος των σπόρων

Ο λήθαργος των σπόρων (που ορίζεται ως η φυσιολογική κατάσταση κατά τη διάρκεια της οποίας μερικοί σπόροι δεν φυτρώνουν ακόμα και αν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές) του ρυζιού ζιζανίου και συγκεκριμένα του κόκκινου ρυζιού ελέγχεται από το γονίδιο *Sdr4* (Seed dormancy) που κωδικοποιεί το αψισικό οξύ (ABA, Abscisic acid) (Chen κ.ά., 2021). Ο μηχανισμός αυτός είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση του ζιζανίου, καθώς αποτρέπει την ταυτόχρονη βλάστηση όλων των βιώσιμων σπόρων του. Κατά συνέπεια, η αντιμετώπισή τους κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου είναι αδύνατη με την εκτέλεση μίας μόνο μηχανικής κατεργασίας του εδάφους ή με την εφαρμογή άλλης μη χημικής μεθόδου ή χρήσης ζιζανιοκτόνου. Επιπλέον, ο λήθαργος των σπόρων με μαύρα λέπυρα παρουσιάζει μεγαλύτερη παραλλακτικότητα σε σύγκριση με τον λήθαργο των σπόρων με λέπυρα χρώματος αχρύου, λόγω της παρουσίας μιας ευρύτερης ποικιλίας γονιδιακών θέσεων που ελέγχουν τον λήθαργο.

Βέβαια, το ίδιο σημαντικό μηχανισμός με τον λήθαργο είναι και η διάρκεια βιωσιμότητας των σπόρων στο έδαφος, η οποία, σύμφωνα με τους Noldin κ.ά. (2006), κυμαίνεται γενικά από 2 έως 3 έτη, αν και κάποιοι σπόροι παραμένουν βιώσιμοι ακόμη και μέχρι 7 χρόνια. Σε γενικές γραμμές, η μακροβιότητα των σπόρων τείνει να αυξάνεται με την αύξηση του βάθους ενσωμάτωσής τους (20-25cm) στο έδαφος, ενώ το αντίθετο ισχύει με τη φυτρωτική ικανότητα των σπόρων. Αυτό επιβεβαιώνεται από την έρευνα των Vidotto και Ferrero (2000), η οποία απέδειξε ότι οι περισσότεροι σπόροι του κόκκινου ρυζιού φυτρώνουν εντός των ορυζώνων από βάθος εδάφους 0-5cm, χωρίς να μειώνεται η δυνατότητα φυτρώματος ορισμένων σπόρων από το βάθος εδάφους 6-10cm.

Οι σπόροι του ζιζανίου οι οποίοι βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια (0-2cm) φυτρώνουν πιο εύκολα, σε αντίθεση με τους σπόρους που βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος. Επίσης, οι σπόροι του φυτρώνουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με εκείνους του καλλιεργούμενου ρυζιού. Το γεγονός αυτό χρησιμοποιείται για την προσπαρτική αντιμετώπισή του με καλλιεργητικά ή χημικά μέσα.

1.5 Ευρωστία και ανταγωνιστική ικανότητα του κόκκινου σε βάρος του καλλιεργούμενου ρυζιού

Γενικά, οι απώλειες που προκαλούνται στην παραγωγικότητα των ορυζώνων από την παρουσία του κόκκινου ρυζιού εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την καλλιεργητική περίοδο, το είδος του ζιζανίου, την ποικιλία του καλλιεργούμενου ρυζιού, το ρυθμό αύξησης και την πυκνότητα τόσο των ζιζανίων όσο και της καλλιέργειας. Η συνολική οικονομική απώλεια που προκαλεί η παρουσία των πληθυσμών κόκκινου ρυζιού εντός των ορυζώνων είναι

αξιοσημείωτα υψηλότερη από την απώλεια στην απόδοση που προκαλείται από τον ισχυρό ανταγωνισμό που ασκούν τα φυτά του ζιζανίου. Η συγκομισμένη παραγωγή που έχει επιμόλυνση από σπόρους κόκκινου ρυζιού απορρίπτεται από τους ορυζόμυλους με συνέπεια ακόμα και αν τα επίπεδα απωλειών στην απόδοση ανέρχονται σε 35%, καταλήγει τελικά σε απώλεια της αξίας του ρυζιού της τάξης του 95%, σε σύγκριση με την αντίστοιχη αξία που προκύπτει από ορυζώνες απαλλαγμένους από την παρουσία του ζιζανίου. Στις οικονομικές απώλειες συνυπολογίζονται το επιπρόσθετο κόστος για τη μείωση ή την εξάλειψη του κόκκινου ρυζιού, η μείωση της απόδοσης ανά ταξιανθία και η ποιοτική υποβάθμιση της παραγωγής, ως συνέπεια της πολύ σοβαρής ανταγωνιστικής ικανότητας του ζιζανίου εναντίον των φυτών του ρυζιού.

Τα χαρακτηριστικά του κόκκινου ρυζιού που το καθιστούν εξαιρετικά ανταγωνιστικό φυτό είναι το μεγαλύτερο ύψος, το περισσότερο έντονο αδελφωμα, η περισσότερη 'ανοικτή' ή πλάγιας έκφυσης αρχιτεκτονική των φυτών, τα περισσότερα αδύναμα στελέχη που είναι επιρρεπή στο πλάγιασμα, η παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας βιομάζας, η βλάστηση και το φύτεμα που προηγείται κατά μιας ημέρας εκείνων του καλλιεργούμενου ρυζιού, η ικανότητα των νεαρών σποροφύτων του ζιζανίου να φυτρώνουν από μεγαλύτερο βάθος εδάφους και η ταχύτερη εγκατάσταση και ανάπτυξη τους (Ferrero και Vidotto, 1999; Gealy κ.ά., 2000). Αυτά τα χαρακτηριστικά, οι ιδιότητες και η ανταπόκριση των 'άγριων' ειδών ρυζιού, τους προσδίδει ένα σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε βάρος των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού τις οποίες μολύνουν.

Το πλεονέκτημα του μεγαλύτερου ύψους των φυτών του κόκκινου ρυζιού ενισχύθηκε από την επικράτηση συχνά ημι-νάνων (semi-dwarf) ποικιλιών ρυζιού τύπου *indica* στις προηγμένες γεωργικά χώρες. Οι ποικιλίες αυτές ήταν σε θέση να αξιοποιήσουν αποτελεσματικότερα υψηλότερες ποσότητες λιπασμάτων χωρίς σημαντικό κίνδυνο πλαγιάσματος με δυσμενείς συνέπειες στην απόδοση και την ποιότητα της παραγωγής. Όταν τα ζιζάνια είναι υψηλότερα των φυτών του καλλιεργούμενου είδους καθίστανται περισσότερο ανταγωνιστικά κατά το δεύτερο μισό της καλλιεργητικής περιόδου και επηρεάζουν περισσότερο τα συστατικά της απόδοσης και λιγότερο τη βλαστική ανάπτυξη της καλλιέργειας, κυρίως λόγω σκίασης και πλαγιάσματος που υφίσταται. Αντίθετα, η κοινή μουχρίτσα (*Echinochloa crus-galli*) που αποτελεί ένα επίσης εξαιρετικά κοινό αγρωστώδες ζιζάνιο στην καλλιέργεια του ρυζιού στα περισσότερα παραγωγικά συστήματα ορυζοκαλλιέργειας παγκοσμίως, εκδηλώνει πολύ έντονο ανταγωνισμό στα αρχικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας (Smith, 1968).

Τα φυτά του κόκκινου ρυζιού παράγουν μεγάλο αριθμό αδελφιών συγκριτικά με τις σύγχρονες ποικιλίες ρυζιού που αναπτύχθηκαν από τους βελτιωτές και είναι κατάλληλες για απ' ευθείας σπορά (direct seeding) και μηχανική συγκομιδή στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Ορυζώνες στους οποίους αναπτύσσεται υψηλή πυκνότητα φυτών που παράγουν μικρό αριθμό αδελφιών επιτυγχάνεται η επίτευξη υψηλών αποδόσεων σε σπόρο που χαρακτηρίζεται από ομοιόμορφου σταδίου ωριμότητας. Ως συνέπεια, διευκολύνεται η συγκομιδή και οι επιβεβλημένες μετασυλλεκτικές μεταχειρίσεις (π.χ. ξήρανση). Οι Ferrero και Vidotto (1999) ανέφεραν ότι στους ορυζώνες της Ιταλίας είναι πολύ δύσκολη η διάκριση των νεαρών σποροφύτων κόκκινου ρυζιού από τα σπορόφυτα των καλλιεργούμενων ποικιλιών, αλλά αφότου αρχίσει το αδέλφωμα των φυτών η διάκρισή τους είναι ευκολότερη καθώς παράγουν πολύ μεγαλύτερο αριθμό αδελφιών, μεγαλύτερου μήκους και λεπτότερου πάχους.

Το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα του μεγαλύτερου ύψους και του εντονότερου αδελφώματος των φυτών του κόκκινου ρυζιού καθώς συνδυάζεται με την πλάγια έκφυση-βλαστική τους ανάπτυξη, συμβάλλει σε πρώιμο και εκτεταμένο πλάγιασμα των φυτών της καλλιέργειας, καθώς τα φυτά του κόκκινου ρυζιού 'καταρρέουν' επί των φυτών του καλλιεργούμενου ρυζιού. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της ανταγωνιστικής ικανότητας που μπορούν να αντιτάξουν οι νεότερες, χαμηλού ύψους, ευρύτατα καλλιεργούμενες ποικιλίες ρυζιού εναντίον των πληθυσμών του ζιζανίου.

Αναφορικά με τη βλάστηση το φύτευμα και την αρχική εγκατάσταση των φυτών του ζιζανίου, η βέλτιστη θερμοκρασία για τη βλάστηση των πληθυσμών κόκκινου ρυζιού με καστανό χρώμα λέπυρων κυμαίνεται μεταξύ 30 και 35°C, ενώ η αντίστοιχη ιδανική θερμοκρασία για τις καλλιεργούμενες ποικιλίες ρυζιού είναι οι 30°C. Οι σπόροι του κόκκινου ρυζιού φυτρώνουν 1-2 ημέρες γρηγορότερα (τόσο σε υψηλότερες όσο και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες) από εκείνους του καλλιεργούμενου ρυζιού, εμφανίζουν ταχύτερο ρυθμό φυτρώματος, αρχικής εγκατάστασης και βλαστικής ανάπτυξης των νεαρών σποροφύτων.

1.5.1 Επίδραση της πυκνότητας των φυτών του κόκκινου ρυζιού και της διάρκειας άσκησης ανταγωνισμού με τα φυτά της καλλιέργειας

Όταν το άγριο ρύζι δημιουργεί πυκνότητες πληθυσμού 35% εντός των ορυζώνων προκαλεί απώλειες στην απόδοση που αγγίζουν περίπου το 60%, ενώ σε πολύ σοβαρή ένταση προσβολής έχουν καταγραφεί απώλειες της τάξης του 74% (ιδιαίτερα σε παραγωγικά συστήματα στα οποία γίνεται απ' ευθείας σπορά του ρυζιού) (Watanabe κ.ά., 1996), ακόμα και 80% (Shivrain κ.ά., 2010). Σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε ότι η παρουσία 5 φυτών κόκκινου ρυζιού ανά m² συνετέλεσε σε απώλεια απόδοσης της τάξης του 19-22%, ενώ σε θέσεις εντός του καλλιεργούμενου αγρού όπου αναπτύσσονταν ιδιαίτερα υψηλές

πυκνότητες φυτών του ζιζανίου η απώλεια παραγωγής ανέρχεται σε ποσοστό 83% (Smith και Talbert, 1985). Προσέτι, δεν καταγράφονται διαφορές στο χρόνο άνθησης και το χρόνο επίτευξης φυσιολογικής ωριμότητας για τη συγκομιδή. Όμως, καταγράφηκαν σημαντική μείωση του αριθμού των παραγόμενων αδελφιών και του ξηρού βάρους ανά καλλιεργούμενο φυτό ρυζιού.

Η μονοκαλλιέργεια ρυζιού ιδιαίτερα αν συνδυάζεται με ανάπτυξη ανθεκτικότητας στο κόκκινο ρύζι είτε λόγω γονιδιακής ροής από ποικιλίες ‘Clearfield’ σε φυτά του ζιζανίου είτε (σπανιότερα) από επιλογή ανθεκτικών φυτών και σταδιακά εδραίωση ανθεκτικών πληθυσμών εντός των ορυζώνων οδηγεί αναπόφευκτα στην επικράτηση εξαιρετικά πυκνών πληθυσμών του ζιζανίου, σε τέτοια έκταση που καθιστά αναγκαία την αντικατάσταση της καλλιέργειας. Οι συνέπειες της γενικευμένης μόλυνσης των ορυζώνων από το κόκκινο ρύζι εξαρτώνται από το βαθμό μόλυνσης που εκδηλώνεται αλλά και από τα μέτρα-στρατηγικές διαχείρισης που υιοθετούνται. Αυτές περιλαμβάνουν: (1) την τελική εγκατάλειψη της καλλιέργειας, όταν οι πληθυσμοί του ζιζανίου γίνονται τεράστιοι, (2) τη σημαντική μείωση των αποδόσεων και τη μείωση των τιμών διάθεσης εξαιτίας της παρουσίας σπόρων κόκκινου ρυζιού μεταξύ των σπόρων του καλλιεργούμενου ρυζιού, (3) αυξημένο κόστος παραγωγής (λόγω επεμβάσεων με ζιζανιοκτόνα, επιστράτευσης εξοπλισμού, ενέργειας και χειρωνακτικής εργασίας για τη μείωση του πληθυσμού εντός των ορυζώνων).

Σημαντικές απώλειες έχουν καταγραφεί στη Βραζιλία (De Souza, 1989) και στην Κολομβία (Fisher και Ramirez, 1993), όπου πυκνότητα 60 και 40 φυτών του ζιζανίου ανά m² συνετέλεσαν σε 30-50% και 50% μείωση της αναμενόμενης παραγωγής, αντίστοιχα. Παρομοίως, οι απώλειες κυμάνθηκαν μεταξύ 40 έως 60% σε καλλιέργειες ρυζιού στο Μεξικό (Martinez, 1999), 50% στη Γαλλία (Mouret, 1999), ενώ ακόμα υψηλότερα επίπεδα απωλειών λόγω εκτεταμένης παρουσίας πληθυσμών του ζιζανίου καταγράφηκαν στην Ιταλία (Ferrero και Vodotto, 1999).

Η επίπτωση του κόκκινου ρυζιού στην καλλιέργεια εξαρτάται από την πυκνότητα καλλιεργούμενου φυτού-ζιζανίου, τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης, την καλλιεργούμενη ποικιλία ρυζιού, τα επίπεδα γονιμότητας του εδάφους και τα επίπεδα της εδαφικής υγρασίας. Ποικιλίες μικρού ύψους αναπτύσσονται με βραδύτερο ρυθμό συγκρινόμενες με τις παλαιότερες υψηλόσωμες ποικιλίες ρυζιού. Συνεπώς, απαιτείται η παρέλευση μεγαλύτερου χρόνου μέχρι το ‘κλείσιμο’ της καλλιέργειας εντός των ορυζώνων, παρέχοντας στα ζιζάνια και το κόκκινο ρύζι ειδικότερα μεγαλύτερη δυνατότητα να καταβάλλουν/’υπερισχύσουν’ των φυτών της καλλιέργειας. Η υιοθέτηση μικρόσωμων ποικιλιών συνετέλεσε σε σημαντική αύξηση των προβλημάτων που δημιουργούν τα αγρωστώδη ζιζάνια στην καλλιέργεια του

ρυζιού (κοινή και όρθια μουχρίτσα, κόκκινο ρύζι, λεπτοχλόη) καθώς και άλλα υδροχαρή φυτά. Η χορήγηση αζώτου στα αρχικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας ενισχύει περαιτέρω την βλαστική ανάπτυξη, συνεπώς την ανταγωνιστική ικανότητα των ζιζανίων σε βάρος των φυτών της καλλιέργειας.

Πολλά σημαντικά είδη ζιζανίων που αναπτύσσονται εντός των ορυζώνων είναι C4 φυτά, ενώ το κόκκινο (όπως και το καλλιεργούμενο) ρύζι ανήκει στα C3 φυτά. Σε μελέτη που εκπόνησε ο Smith (1988) στην οποία διερευνήθηκε η επίπτωση του ανταγωνισμού μεταξύ του καλλιεργούμενου ρυζιού και 10 σημαντικών ζιζανίων της καλλιέργειας, διαπιστώθηκε ότι όταν εκδηλώθηκε ανταγωνισμός καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου το κόκκινο ρύζι προκάλεσε τη μεγαλύτερη μείωση της απόδοσης η οποία ανήλθε σε ποσοστό 80%, σημαντικά υψηλότερη από εκείνη άλλων αγρωστωδών ζιζανίων όπως η λεπτοχλόη (*Leptochloa fascicularis*) και το είδος *Brachiaria platyphylla*. Στη συγκεκριμένη μελέτη, το κόκκινο ρύζι ακολούθησε το πλέον κοινό και εξαιρετικά σοβαρό αγρωστώδες *Echinochloa crus-galli* (κοινή μουχρίτσα) το οποίο προκάλεσε απώλειες της τάξης του 70% όταν τα φυτά του ρυζιού εκτέθηκαν σε συνθήκες ανταγωνισμού καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Προσέτι, όσο μικρότερη ήταν η διάρκεια του ανταγωνισμού που αναπτύχθηκε μεταξύ καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού, τόσο μικρότερη ήταν η έκταση των απωλειών στην απόδοση. Ο Smith (1988) ανέφερε ότι η παρουσία ενός φυτού κόκκινου ρυζιού ανά m² προκαλεί μείωση της απόδοσης που ανέρχεται σε 21.9Kg ανά στρέμμα και όρισε ότι η ουδός πυκνότητας του ζιζανίου για τη λήψη αποτελεσματικών μέτρων καταπολέμησης σε καλλιεργούμενους ορυζώνες πρέπει να είναι 1-3 φυτά/m², ενώ η ουδός (economic threshold) (ο αριθμός) των φυτών κοινής μουχρίτσας που καθιστούν επιβεβλημένη τη λήψη μέτρων διαχείρισης ανέρχεται σε 10 φυτά/m².

1.5.2 Μηχανισμοί ανταγωνισμού του κόκκινου ρυζιού

Είναι σημαντικό να εξηγηθεί γιατί ένα είδος C3 όπως το κόκκινο ρύζι είναι περισσότερο ανταγωνιστικό από ένα επίσης C3 είδος όπως το καλλιεργούμενο ρύζι. Οι υφιστάμενες γενετικές διαφορές που συντελούν σε διαφορετική φυσιολογική ανταπόκριση των φυτών του ζιζανίου στις συνθήκες του περιβάλλοντος διαμορφώνουν την αυξημένη ικανότητα του κόκκινου ρυζιού να αξιοποιεί αποτελεσματικότερα τις διαθέσιμες πηγές (νερό και θρεπτικά στοιχεία) ή να αναπτύσσεται ταχύτερα και καλύτερα όταν οι πηγές αυτές βρίσκονται σε μειωμένη διαθεσιμότητα. Όπως προαναφέρθηκε τα φυτά του κόκκινου ρυζιού είναι υψηλότερα, παράγουν μεγαλύτερο αριθμό αδελφιών και σχηματίζουν μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια σε σύγκριση με τα φυτά του καλλιεργούμενου ρυζιού. Το ύψος, η παραγωγή τόσο

υπέργειας όσο και υπόγειας βιομάζας αποτελούν καθοριστικούς δείκτες της ανταγωνιστικής ικανότητας ενός φυτού. Τα φυτά του κόκκινου ρυζιού διαθέτουν αυτά τα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν εξαιρετικά ανταγωνιστικά σε βάρος του καλλιεργούμενου ρυζιού.

Το έντονο αδελφωμα που χαρακτηρίζει το κόκκινο ρύζι επιτρέπει στα φυτά του ζιζανίου να καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο, να εκτοπίζουν τα γειτνιάζοντα φυτά και να αναπτύσσουν μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια, ικανή να προσλάβει μεγαλύτερη ποσότητα φωτός. Αν και το κόκκινο ρύζι παράγει μεγαλύτερο αριθμό αδελφιών και υψηλότερη βιομάζα τόσο όταν αναπτύσσεται ταυτόχρονα με φυτά ρυζιού όσο και σε συνθήκες απουσίας ανταγωνισμού, η ανταγωνιστική του ικανότητα διαμορφώνεται (επηρεάζεται) από τον βιότυπο του ζιζανίου και την καλλιεργούμενη ποικιλία σε βάρος της οποίας αναπτύσσεται. Ένας άλλος παράγοντας που αποβαίνει σημαντικός για την ικανότητα των φυτών να προσλαμβάνουν ηλιακό φως είναι το ύψος που αποκτούν. Ειδικότερα, το ύψος των οικοτύπων κόκκινου ρυζιού επηρεάζει τις ποικιλίες που προσβάλλει και ταυτόχρονα επηρεάζεται από αυτές, με υψηλόσωμα φυτά κόκκινου ρυζιού να παράγουν σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό αδελφιών, ταξιανθιών, βιομάζας καθώς και αυξημένο αναπαραγωγικό δυναμικό (σπόρους) συγκριτικά με κοντόσωμα φυτά του ζιζανίου.

Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψιν τα αγροκομικά χαρακτηριστικά κάθε ποικιλίας ρυζιού στα προγράμματα γενετικής βελτίωσης που αποσκοπούν στην επίτευξη υψηλής και ποιοτικής απόδοσης, καθώς επηρεάζουν την ικανότητά της να ανταπεξέλθει στον ανταγωνισμό που υφίσταται από τα φυτά του κόκκινου ρυζιού. Οι υψηλόσωμες ποικιλίες ρυζιού οι οποίες δεν έχουν εκτεθεί σε έντονη επιλογή αναφορικά με συγκεκριμένα αγροκομικά χαρακτηριστικά και έχουν γενετική εγγύτητα με 'άγρια' είδη διαθέτουν υψηλότερη ανταγωνιστική ικανότητα σε σύγκριση με τις νεότερες ημι-νάνες (semi-dwarf) ποικιλίες ρυζιού.

1.5.3 Πρόσληψη και αποτελεσματικότητα αξιοποίησης αζώτου στα φυτά κόκκινου ρυζιού

Τα φυτά του κόκκινου ρυζιού αναπτύσσονται ταχύτερα και ωριμάζουν πρωιμότερα από τις περισσότερες νεότερες όσο και από τις παλαιότερες ποικιλίες ρυζιού. Το κόκκινο ρύζι αξιοποιεί αποτελεσματικότερα το διαθέσιμο άζωτο (είναι ικανά να απομακρύνουν μεγαλύτερες ποσότητες N από το έδαφος) παράγοντας σημαντικά υψηλότερη βιομάζα συγκριτικά με τις καλλιεργούμενες ποικιλίες ρυζιού. Τα φυτά συσσωρεύουν περισσότερο N στους ιστούς των βλαστών, παράγουν υψηλότερη βιομάζα βλαστών ανά μονάδα προσλαμβανόμενου αζώτου, ενώ ανταποκρίνονται περισσότερο αποτελεσματικά κατά τη χορήγηση υψηλότερων δόσεων αζωτούχου λιπάσματος (Burgos κ.ά., 2006). Όπως κατέδειξαν οι μελέτες, η ανταπόκριση αυτή

αυξάνεται αξιοσημείωτα δύο εβδομάδες μετά την έκπτυξη της ταξιανθίας συγκριτικά με την έναρξη μετάβασης των φυτών από το βλαστικό στο αναπαραγωγικό στάδιο, υποστηρίζοντας την παρατήρηση ότι τα φυτά του ζιζανίου παρουσιάζουν πολύ εύρωστη ανάπτυξη και καθίστανται περισσότερο ανταγωνιστικά καθώς προχωρά η καλλιεργητική περίοδος. Συνήθως τα φυτά του ζιζανίου συσσωρεύουν υψηλά ποσοστά N στους ιστούς των βλαστών δύο εβδομάδες μετά την έκπτυξη της ταξιανθίας τους ως αποτέλεσμα της μεγάλης ποσότητας βιομάζας που παράγεται τόσο στο υπέργειο όσο και στο υπόγειο τμήμα τους (Burgos κ.ά., 2006).

1.5.4 Το κόκκινο ρύζι και το ενδεχόμενο ενός ενδιάμεσου μεταβολικού μονοπατιού μεταξύ C3-C4 φυτών

Ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς που χαρίζει αυξημένη ανταγωνιστική ικανότητα στα φυτά του κόκκινου ρυζιού είναι η ικανότητά τους να παράγουν υψηλότερη υπέργεια και υπόγεια βιομάζα και να συσσωρεύουν μεγαλύτερη ποσότητα αζώου συγκριτικά με τις καλλιεργούμενες ποικιλίες ρυζιού. Καθώς η πρόσληψη και η συσσώρευση του αζώτου συνδέεται καθοριστικά με τη διεργασία της φωτοσύνθεσης αυτό θα μπορούσε να υποδηλώνει υψηλότερη φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών του ζιζανίου. Έχει αναφερθεί ορισμένοι τύποι άγριου ρυζιού (τα είδη *Oryza rufipogon* και *O. australiensis*) οι οποίοι έχουν αναπτύξει ένα ενδιάμεσο καθορισμένο μεταβολικό ‘μονοπάτι’ (fixation pathway) (Yeo και Flowers, 1994), το οποίο έχει υψηλότερο από τα C3, αλλά όχι τόσο υψηλό επίπεδο φωτοσυνθετικής απόδοσης όσο τα C4 φυτά. Στα βελτιωμένα χαρακτηριστικά των φυτών αυτών συγκαταλέγονται (1) η ισχυρότερη συγγένεια για το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) συγκριτικά με το οξυγόνο (O₂) στο σημείο πρόσδεσης του ενζύμου ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase-oxygenase, (2) ο μειωμένος ρυθμός φωτοαναπνοής συγκριτικά με τα C3 φυτά, (3) μειωμένο ρυθμό σημείου αντιστάθμισης (compensation point) του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).

1.5.5 Προσαρμογή του κόκκινου ρυζιού σε συνθήκες σκίασης

Σε συνθήκες αγρού ακόμα και διάσπαρτα φυτά του ζιζανίου καταφέρνουν πάντα να υπερβαίνουν σε ύψος τα φυτά του καλλιεργούμενου ρυζιού, ενώ φυτά άγριου ρυζιού με χαμηλό ύψος είναι ικανά να αναπτυχθούν φυσιολογικά ακόμα και αν βρίσκονται ανάμεσα σε υψηλής πυκνότητας πληθυσμό φυτών της καλλιέργειας. Αντίθετα, όταν κυριαρχούν σε πυκνότητα (υπερτερούν αριθμητικά) τα φυτά του κόκκινου ρυζιού σε σύγκριση με τα φυτά των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού, τα τελευταία δεν είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν στη σκίαση που ασκούν σε βάρος τους τα φυτά του ζιζανίου.

Η σημαντικά μικρότερη επίπτωση της σκίασης στη φωτοσυνθετική απόδοση του κόκκινου ρυζιού υποδηλώνει ότι το ζιζάνιο χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ανεκτικότητα σε συνθήκες σκίασης συγκριτικά με το καλλιεργούμενο ρύζι. Αυτό ενδεχομένως του επιτρέπει να αναπτύσσεται αποτελεσματικότερα ακόμα και αν φυτρώνει καθυστερημένα σε σχέση με τα φυτά της καλλιέργειας ή υφίσταται κάποια προσωρινή ανάσχεση στη βλαστική του ανάπτυξη, συνέπεια της έκθεσής του σε επεμβάσεις ζιζανιοκτόνων. Εικάζεται ότι ένας πιθανός μηχανισμός προσαρμογής (ανταπόκρισης) στη σκίαση που υφίστανται τα φυτά του ζιζανίου είναι η τροποποιημένη αναλογία χλωροφύλλης a:b. Ειδικότερα, τα φυτά παράγουν υψηλότερο επίπεδο χλωροφύλλης b ανά μονάδα φυτικής επιφάνειας σε σύγκριση με τα επίπεδα της χλωροφύλλης a, τροποποίηση που επιτρέπει την αποτελεσματική αξιοποίηση του φωτός υπό συνθήκες μειωμένης διαθεσιμότητάς του.

1.6 Σταυρεπικονίαση μεταξύ καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού

Το ρύζι (*Oryza sativa*) είναι κατά βάση ένα αυτογονιμοποιούμενο είδος. Οι ανθήρες απελευθερώνουν τη γύρη τους λίγο πριν το άνοιγμα των ανθέων (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Ανθήρες σε ταξιανθία κόκκινου ρυζιού.

Παρόλα αυτά, λαμβάνει χώρα και σταυρογονιμοποίηση όταν οι ανθήρες παραμένουν ενεργοί/‘δεκτικοί’ επικονίασης για ένα διάστημα, μετά το ‘κλείσιμο’ των ανθέων. Όπως ανέφερε ο Beachell κ.ά. (1938), η σταυρεπικονίαση μεταξύ ποικιλιών ρυζιού που παρουσιάζουν συγχρονισμένη άνθηση πραγματοποιείται κατά μέσο όρο σε ποσοστό 0.45%, όταν η απόσταση μεταξύ των φυτών του ρυζιού κυμαίνεται μεταξύ 0.3-1m, ενώ ανιχνεύεται ακόμα και σε απόσταση 9m. Η μέγιστη φυσική σταυρεπικονίαση που καταγράφηκε μεταξύ γειτονικών φυτών καλλιεργούμενου ρυζιού με τεχνολογία ‘Clearfield’ [που τους παρέχει

ανεκτικότητα στις καθολικές εφαρμογές ζιζανιοκτόνων της χημικής οικογένειας των ιμιδαζολινών (imidazolinones, IMI)] και φυτών ρυζιού ποικιλιών που δεν διαθέτουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία κυμάνθηκε μεταξύ 0 έως 0.11% και δεν ανιχνεύθηκε σε απόσταση μεγαλύτερη του 1.8m, σε ορυζώνες της Καλιφόρνιας των Η.Π.Α. Ο συγχρονισμός στην άνθηση των φυτών διαφορετικών γειτνιαζόντων ποικιλιών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επίτευξη της σταυρογονιμοποίησης καθώς η γύρη διατηρεί τη βιωσιμότητά της για λίγα μόλις λεπτά μετά την απελευθέρωσή της στο περιβάλλον. Αν και για τη σταυρογονιμοποίηση μεταξύ καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού μπορεί οποιοδήποτε από τα δύο φυτά να είναι ο δότης της γύρης, συνήθως το κόκκινο ρύζι (κυρίως λόγω μεγαλύτερου ύψους αλλά και διαφορετικών χαρακτηριστικών των ανθέων του) είναι το φυτό που διαθέτει τη γύρη για την επίτευξη της σταυροεπικονίασης. Στα παραγωγικά συστήματα καλλιέργειας ρυζιού των Η.Π.Α., μεταξύ καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού καταγράφηκε μέγιστο ποσοστό ρυθμών σταυροεπικονίασης 0.7% ή και λιγότερο.

Ο ρυθμός σταυρογονιμοποίησης επηρεάζεται από την καλλιεργούμενη ποικιλία ρυζιού, το βιότυπο του κόκκινου ρυζιού, την οριζόντια και κάθετη απόσταση μεταξύ των ταξιανθιών ρυζιού και ζιζανίου, το συγχρονισμό της άνθησης μεταξύ των φυτών, καθώς και από παράγοντες του περιβάλλοντος που δεν έχουν μέχρι τώρα κατανοηθεί πλήρως. Οι καταγραφείσες διαφοροποιήσεις στα επίπεδα σταυροεπικονίασης αποδίδονται στο συγχρονισμό άνθησης, τη διαφοροποίηση στο ύψος των φυτών, τα ανατομικά χαρακτηριστικά των ανθέων, τους πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού και τις επικρατούσες συνθήκες του περιβάλλοντος. Ειδικότερα, οι βιότυποι κόκκινου ρυζιού που χαρακτηρίζονται από καστανό χρώμα στα λέπυρα της ταξιανθίας παρουσιάζουν το μικρότερο συγκριτικά ποσοστό αλληλοεπικάλυψης με τον χρόνο άνθησης των ποικιλιών ρυζιού που διαθέτουν την τεχνολογία 'Clearfield'. Συνολικά, οι βιότυποι με καστανό χρώμα λεπύρων παρουσίασαν τα υψηλότερα επίπεδα σταυροεπικονίασης με τα καλλιεργούμενα φυτά ρυζιού (0.763%), ακολουθούμενοι από τους βιότυπους του ζιζανίου με καστανό χρώμα λεπύρων (0.434%), ενώ τα χαμηλότερα ποσοστά (0.109%) παρουσίασαν οι βιότυποι με αχυρώδες χρώμα λεπύρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ καταγράφηκε το χαμηλότερο επίπεδο συχνότητας γονιδιακής ροής (gene flow) μεταξύ των βιοτύπων του ζιζανίου με καστανό χρώμα λεπύρων και των ποικιλιών ρυζιού 'Clearfield' στους καλλιεργούμενους αγρούς, ο βαθμός σταυροεπικονίασης εκεί που πραγματοποιήθηκε σταυρογονιμοποίηση ήταν υψηλότερος συγκριτικά με τον αντίστοιχο βαθμό που καταγράφηκε για τους άλλους βιοτύπους του ζιζανίου. Επίσης, είναι σημαντικό ότι τα χαμηλότερα επίπεδα σταυρογονιμοποίησης καταγράφονται μεταξύ των βιοτύπων του κόκκινου ρυζιού με αχυρώδες χρώμα στα λέπυρα και αυτοί οι βιότυποι αποτελούν το 80% των βιοτύπων του ζιζανίου στα

συστήματα καλλιέργειας ρυζιού στις Η.Π.Α. Σε μελέτες που εκπονήθηκαν καταγράφηκε μεταφορά γύρης από απόσταση έως και 6m μεταξύ φυτών των ποικιλιών Clearfield και των βιοτύπων του κόκκινου ρυζιού με αχυρώδη λέπυρα, καθιστώντας απαραίτητη και επιβεβλημένη τη χωρική απόσταση 10m μεταξύ των φυτών ρυζιού και ζιζανίου (Klusch, 1993).

1.6.1 Χαρακτηριστικά των απογόνων που προκύπτουν από τη διασταύρωση καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού

Σημαντικά διαφοροποιημένοι τύποι φυτών προκύπτουν από τις διασταυρώσεις μεταξύ καλλιεργούμενου ρυζιού και βιοτύπων κόκκινου ρυζιού χωρίς άγανα. Μεταξύ των χαρακτήρων που διαφοροποιούνται συγκαταλέγονται η καθυστερημένη/όψιμη ωρίμανση, η απουσία αγάνων, οι βλαστοί με φυσιολογικό πράσινο χρώμα στη βάση τους ή κολεοί των φύλλων με απουσία ερυθρόχρωων μεταχρωματισμών και κόκκινοι σπόροι μέσου μεγέθους. Προσέτι, φυτά του ζιζανίου που προέρχονται από διασταυρώσεις μεταξύ καλλιεργούμενων φυτών ρυζιού και φυτών κόκκινου ρυζιού με καστανά ή αχυρώδους απόχρωσης λέπυρα και ανθίδια που φέρουν άγανο χαρακτηρίζονται από φυσιολογική ωρίμανση, ρόδινης απόχρωσης άγανα, ιώδη βάση των κεντρικών στελεχών και από την παραγωγή κόκκινων, μέσου μεγέθους σπόρων (Gealy, 2005). Συνήθως τα φυτά-απόγονοι της F1 γενεάς είναι σημαντικά υψηλότερα (σε ποσοστό 40-50%) από τα φυτά του καλλιεργούμενου ρυζιού (ανεξαρτήτως της ποικιλίας ρυζιού 'Clearfield' που χρησιμοποιήθηκε στις διασταυρώσεις), χαρακτηρίζονταν από έντονη όρθια έκφυση (γνώρισμα της καλλιεργούμενης ποικιλίας). Επίσης, τα φυτά που προέκυψαν από τη διασταύρωση κόκκινου και 'Clearfield' ρυζιού σχημάτισαν σημαντικά υψηλότερο αριθμό αδελφιών (κατά ποσοστό 45%), ενώ η άνθησή τους καθυστέρησε συγκριτικά με εκείνη των γονέων από τους οποίους προέκυψαν. Αξίζει να σημειωθεί ότι κανένα από τα υβρίδια που προέκυψαν έχοντας ως θηλυκό γονέα φυτά κόκκινου ρυζιού με αχυρώδη απόχρωση λεπύρων δεν άνθισε στη διάρκεια της κανονικής καλλιεργητικής περιόδου σε συνθήκες αγρού.

Στους καλλιεργούμενους ορυζώνες μεγαλύτερη σημασία διαδραματίζουν οι διασταυρώσεις στις οποίες τα φυτά του κόκκινου ρυζιού λειτουργούν ως οι θηλυκοί γονείς γιατί οι σπόροι που παράγουν εκτινάσσονται στο έδαφος και εμπλουτίζουν τη 'δεξαμενή των σπόρων' του ζιζανίου στο έδαφος, 'απειλώντας' τις αποδόσεις των ορυζώνων στις επόμενες καλλιεργητικές περιόδους. Αντίθετα, οι σπόροι των φυτών-υβριδίων μεταξύ των καλλιεργούμενων 'Clearfield' ποικιλιών και του ζιζανίου οι οποίοι παράγονται από φυτά που προήλθαν μέσω διασταυρώσεων στις οποίες ο θηλυκός γονέας ήταν το καλλιεργούμενο ρύζι συγκομίζονται κατά τον αλωνισμό, συνεπώς απομακρύνονται από το έδαφος του καλλιεργούμενου αγρού. Στον αγρό, τα υβρίδια μεταξύ των ποικιλιών με την τεχνολογία και των βιοτύπων του κόκκινου ρυζιού ανθίζουν πολύ αργά, με αποτέλεσμα πολλοί σπόροι δεν

εισέρχονται στη φυσιολογική τους ωρίμανση πριν την έλευση της ψυχρής περιόδου. Παρόλα αυτά, αν η σπορά αλλά και ο αλωνισμός της καλλιέργειας πραγματοποιηθεί πρώιμα ή αν επικρατήσουν θερμές ημέρες στη διάρκεια του φθινοπώρου τα φυτά-υβρίδια μεταξύ του καλλιεργούμενου ρυζιού και του ζιζανίου προλαβαίνουν να αναπτύξουν ταξιανθία, να ανθίσουν, να σχηματίσουν καρπούς οι οποίοι είναι βιώσιμοι μετά από παρέλευση περίπου δύο εβδομάδων.

Η ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο imazethapyr κληρονομείται ως ένα μερικώς κυρίαρχο γονίδιο. Σύμφωνα με μελέτες που εκπονήθηκαν (Shirvain κ.ά., 2006) ποσοστό που αγγίζει το 50% των φυτών της F2 γενεάς επιβιώνουν των επεμβάσεων που πραγματοποιούνται, ενώ 25% των φυτών του πληθυσμού που εκτίθεται στις επεμβάσεις εμφανίζουν ενδιάμεσο επίπεδο έντασης ανθεκτικότητας. Τα φυτά της F2 γενεάς παρουσιάζουν αξιοσημείωτη διαφοροποίηση ως προς τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά. Ειδικότερα, 5% των φυτών-υβριδίων της γενεάς αυτής παρουσίαζαν ιδιαίτερα χαμηλό ύψος (80cm ή και λιγότερο), 25% των φυτών απέκτησαν ίδιο ύψος με τα φυτά της καλλιεργούμενης ποικιλίας CL161, ενώ τα υπόλοιπα ήταν σημαντικά υψηλότερα από τα φυτά της εμπορικής ποικιλίας ή τα φυτά του ζιζανίου-γονέα με αχυρώδες χρώμα λεπύρων. Αξιόλογη διαφοροποίηση καταγράφηκε και στα φαινοτικά στάδια των υβριδίων, καθώς ορισμένα φυτά παρουσίασαν ιδιαίτερα πρώιμη και άλλα πολύ καθυστερημένη άνθηση, ενώ στην πλειονότητα των φυτών-υβριδίων η άνθηση πραγματοποιήθηκε 90-100 ημέρες από τη σπορά της καλλιέργειας, χρονικό διάστημα που συμπίπτει με εκείνο που απαιτήθηκε να παρέλθει για την άνθηση και των δύο γονέων (καλλιεργούμενη ποικιλία και βιότυπο κόκκινου ρυζιού). Ορισμένα δε χαρακτηριστικά των φυτών (όπως ο χρόνος εκτίναξης και ο λήθαργος των σπόρων) μπορούν στην πορεία να εξελιχθούν και να 'εγκατασταθούν' σε περισσότερο σταθερούς πληθυσμούς, συμβάλλοντας έτσι στην ποικιλομορφία που απαντάται και χαρακτηρίζει το κόκκινο ρύζι. Η αυξημένη προσαρμοστική ικανότητα (fitness) των πληθυσμών κόκκινου ρυζιού σχετίζεται κυρίως με το χαρακτηριστικό της ανθεκτικότητας στα ζιζανιοκτόνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΥΟ. ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ-ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ

2.1 Ζιζανιοκτόνα αναστολής της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (AcetoLactate Synthase, ALS)

Η χρήση αυτών των ζιζανιοκτόνων θεωρείται ως ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα στην ιστορία της χημικής αντιμετώπισης των ζιζανίων, αφού συνέβαλε καθοριστικά στην αποτελεσματική αντιμετώπιση ετήσιων και πολυετών ζιζανίων σε πολλές καλλιέργειες και μάλιστα με σημαντικά μικρότερη επιβάρυνση στον άνθρωπο και στο περιβάλλον (Tranel και Wright, 2002). Τα ζιζανιοκτόνα που αναστέλλουν τη δράση του ενζύμου οξικογαλακτική (ALS) συνθάση ή συνθάση του ακετοϋδροξυβουτυρικού οξέος (AHAS), ανήκουν στην οικογένεια των σουλφονουλουριών, των μιδαζολινών (IMIs), των τριαζολοπυριμιδινών (TPs), των πυριμιδινυλθειοβενζοϊκών (PTBs) και των σουλφονουλαμινοκαρβονυλ-τριαζολινονών (SCTs) (Ελευθεροχωρινός, 2008). Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί παρατίθενται οι χημικές οικογένειες της ομάδας των ALS-αναστολέων με κάποια αντιπροσωπευτικά μέλη που ανήκουν σε αυτές.

Πίνακας 2. Χημικές οικογένειες και αντιπροσωπευτικά μέλη ζιζανιοκτόνων-αναστολέων του ενζύμου ALS.

Χημική οικογένεια	Παραδείγματα
-------------------	--------------

Σουλφονουλουρίες	mesosulfuron, chlorsulfuron halosulfuron, triasulfuron
Ιμιδαζολινόνες	imazethapyr, imazamox
Τριαζολοπυριμιδίνες	penoxsulam, florasulam
Πυριμιδινυλθειοβενζοικά	bispyribac-Na, pyribenzoxim
Σουλφονυλαμινοκαρβονυλοτρίαζολινόνες	flucarbazone

Το ένζυμο ALS απαντάται στα φυτά και στους μικροοργανισμούς και όχι στους ζωικούς οργανισμούς. Το ένζυμο ALS αν και κωδικοποιείται από το *ALS* γονίδιο του πυρήνα των φυτών, μεταφέρεται μέσω ενός πεπτιδίου μεταφορέα εντός των πλαστιδίων (χλωροπλάστες) του κυττάρου όπου και δρα (Ελευθεροχωρινός, 2008). Ο αριθμός των ALS γονιδιακών θέσεων που ελέγχουν την κωδικοποίηση του ALS ενζύμου ποικίλει βάσει του βαθμού πλοειδίας των φυτών (Scarabel κ.ά., 2004).

Το ALS ή AHAS αποτελεί ένζυμο-κλειδί κατά τη βιοσύνθεση βαλίνης, λευκίνης και ισολευκίνης (αμινοξέων με διακλαδισμένη αλυσίδα ατόμων άνθρακα). Τα προαναφερθέντα ένζυμα αποτελούν πρόδρομες ουσίες κατά τη βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (κυανογενή γλυκοζίδια, γλυκοζινολικά, ακυλιωμένα σάκχαρα). Ειδικότερα, το ALS ένζυμο καταλύει τη συμπύκνωση δύο μορίων πυροσταφυλικού οξέος για την παραγωγή ενός μορίου 2-οξικογαλακτικού οξέος ή ενός μορίου πυροσταφυλικού οξέος και ενός μορίου ακετοβουτυρικού οξέος για την παραγωγή CO₂ και 2-ακετοϋδροξυβουτυρικού οξέος. Η παραγωγή των δύο αυτών ουσιών είναι απαραίτητη για τη βιοσύνθεση των αμινοξέων βαλίνης και ισολευκίνης (Ελευθεροχωρινός, 2008). Η βιοσύνθεση του αμινοξέος λευκίνη εικάζεται ότι πραγματοποιείται μέσω τριών διαδοχικών ενζυμικών αντιδράσεων επί του 2-κετο-ισοβαλερικού οξέος. Η δράση του ALS ενζύμου προϋποθέτει ως συμπράγοντες την παρουσία διφωσφορικής θειαμίνης (ThDP), ενός κατάλληλου δισθενούς μεταλλικού κατιόντος και του φλαβινο-αδενινοδινουκλεοτιδίου (FAD) (Ελευθεροχωρινός, 2008). Η αναστολή της δράσης του ALS ενζύμου και η επακόλουθη αναστολή της βιοσύνθεσης των τριών αμινοξέων με διακλαδισμένη αλυσίδα ατόμων άνθρακα (βαλίνη, λευκίνη και ισολευκίνη) εξαιτίας της

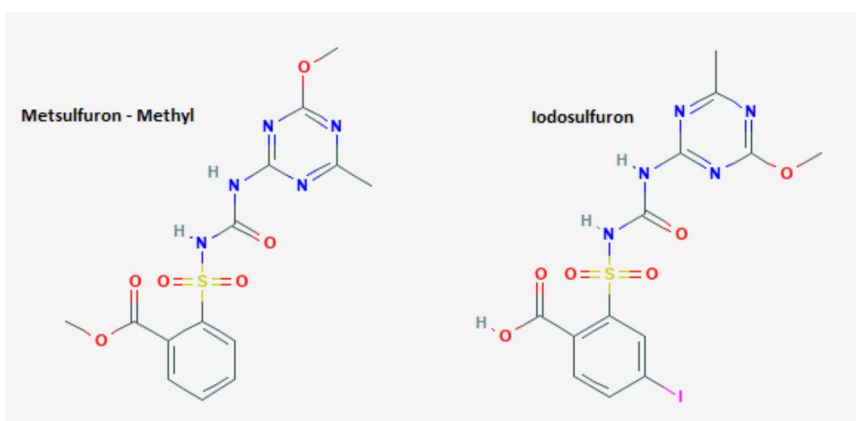
δράσης των ζιζανιοκτόνων της ομάδας αυτής έχει ως συνέπεια την αναστολή της κυτταροδιαίρεσης εντός ολίγων ημερών από την απορρόφηση των ζιζανιοκτόνων, η οποία οδηγεί σε αναστολή της αύξησης των φυτών και τελικώς στη νέκρωσή τους.

Τα συμπτώματα της από εδάφους δράσης των ζιζανιοκτόνων-αναστολέων της δράσης του ενζύμου ALS περιλαμβάνουν: (1) αναστολή της αύξησης των νεαρών φυτών (παραμένουν στο στάδιο των κοτυληδόνων μέχρι και των δύο πραγματικών φύλλων), (2) περιορισμένη ανάπτυξη (σε αριθμό και μήκος) των πλάγιων ή δευτερογενών ριζών, (3) αυξημένη σύνθεση ανθοκυανών (ερυθρόχροα φυτά), (4) χλώρωση και τελικά (5) νέκρωση.

Τα συμπτώματα της από φυλλώματος δράσης τους περιλαμβάνουν: (1) αναστολή της αύξησης των φυτών, (2) αυξημένη σύνθεση ανθοκυανών, αποχρωματισμό των νεύρων των φύλλων και (3) 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).

2.1.1 Σουλφονουλουρίες

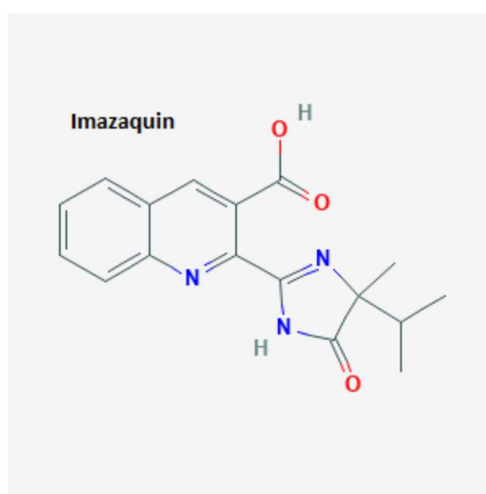
Η οικογένεια αυτή των ζιζανιοκτόνων χρησιμοποιείται ευρέως από τους καλλιεργητές, σε παγκόσμια κλίμακα. Η ζιζανιοκτόνος δράση τους οφείλεται στην αναστολή της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (ALS ή AHAS). Ο βασικός χημικός τύπος των ζιζανιοκτόνων της οικογένειας αυτής αποτελείται από μία αρυλομάδα, τη σουλφονουλουρική (θειική) γέφυρα και μία ετεροκυκλική ομάδα (πυριμιδίνη, τριαζίνη). Τα ζιζανιοκτόνα αυτής της χημικής οικογένειας χρησιμοποιούνται προφυτρωτικά ή μεταφυτρωτικά για την καταπολέμηση ετήσιων και πολυετών, πλατύφυλλων και αγρωστωδών ζιζανίων σε διάφορες καλλιέργειες. Απορροφούνται από τις ρίζες και τα φύλλα, ενώ μετακινούνται μέσω του αποπλάστη και του συμπλάστη. Όλα τα ζιζανιοκτόνα της κατηγορίας αυτής είναι πολύ δραστικά (>10 έως 100 φορές από τα υπόλοιπα ζιζανιοκτόνα), εφαρμόζονται σε χαμηλές δόσεις (1-2g δ.ο./στρ). Ορισμένα ζιζανιοκτόνα της χημικής οικογένειας των σουλφονουλουριών (chlorsulfuron, metsulfuron, triasulfuron) έχουν χρόνο παραμονής στο έδαφος μεγαλύτερο των 12 μηνών, μη επιτρέποντας την ασφαλή εναλλαγή καλλιεργούμενων ειδών σε ένα σύστημα αμειψισποράς. Οι σουλφονουλουρίες συμπεριφέρονται στο έδαφος ως ασθενή οξέα, γι' αυτό και η προσρόφησή τους από τα κολλοειδή της αργίλου είναι ασθενής, με αποτέλεσμα ο βαθμός έκπλυσής τους να είναι μεγάλος (4-5) (Ελευθεροχωρινός, 2008). Στο σχήμα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η χημική δομή δύο τυπικών ζιζανιοκτόνων της χημικής οικογένειας των σουλφονουλουριών.



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

2.1.2 Ιμιδαζολινόνες

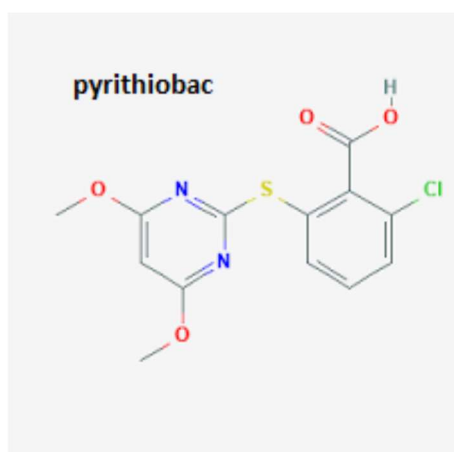
Ο βασικός χημικός τύπος των ζιζανιοκτόνων της οικογένειας αυτής αποτελείται από έναν αρωματικό δακτύλιο (συνήθως πυριδίνη) με την καρβοξυλική ομάδα και από τον ιμιδαζολινικό δακτύλιο (Σχήμα 2) (Ελευθεροχωρινός, 2008). Εφαρμόζονται ως εκλεκτικά ζιζανιοκτόνα σε διάφορες καλλιέργειες και είναι ευρέος φάσματος (καταπολεμούν αγρωστώδη και πλατύφυλλα ζιζάνια). Εφαρμόζονται από εδάφους και φυλλώματος και μετακινούνται μέσω των ξυλωδών και ηθμωδών αγγείων των φυτών. Όπως και οι σουλφονουρίες, συμπεριφέρονται στο έδαφος ως ασθενή οξέα και γι' αυτό έχουν μεγάλο βαθμό έκπλυσης. Παραμένουν στο έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα (>12 μήνες), με συνέπεια να δημιουργούν προβλήματα φυτοτοξικότητας σε επόμενες καλλιέργειες στις οποίες δεν έχουν εγκεκριμένη χρήση.



Σχήμα 2. Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου imazaquin

2.1.3 Πυριμιδινυλβενζοϊκά

Ο βασικός χημικός τύπος των ζιζανιοκτόνων (bispyribac, pyriithiobac, pyriminobac και pyrifthalid) της οικογένειας αυτής αποτελείται από έναν πυριμιδινικό δακτύλιο ενωμένο με βενζοϊκό οξύ μέσω ατόμων S ή O (Σχήμα 3) (Ελευθεροχωρινός, 2008). Το bispyribac εφαρμόζεται στο φύλλωμα για την αντιμετώπιση κυρίως του αγρωστώδους ζιζανίου μουχρίτσα στην καλλιέργεια του ρυζιού, ενώ το pyriithiobac εφαρμόζεται στο φύλλωμα και στο έδαφος για την αντιμετώπιση ετήσιων πλατύφυλλων ζιζανίων στην καλλιέργεια του βαμβακιού. Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής 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 (βαθμός έκπλυσης 3-4). Τα ζιζανιοκτόνα αυτά είναι δραστικά σε πολύ μικρότερες δόσεις από ό,τι τα περισσότερα από τα ήδη χρησιμοποιούμενα ζιζανιοκτόνα (Ελευθεροχωρινός, 2008).

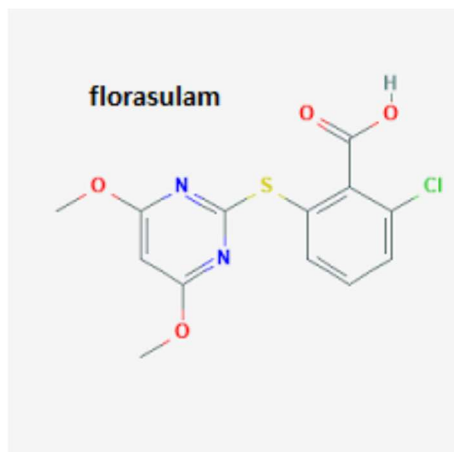


Σχήμα 3. Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου pyriithiobac.

2.1.4 Τριαζολοπυριμιδίνες.

Ο βασικός χημικός τύπος των ζιζανιοκτόνων (cloransulam, diclosulam, florasulam, flumetsulam, metosulam και penoxsulam) της οικογένειας αυτής αποτελείται από ένα τριαζολοπυριμιδινικό δακτύλιο, τη σουλφαμιδική γέφυρα και ένα φαινυλικό δακτύλιο (Σχήμα 4) (Ελευθεροχωρινός, 2008). Τα περισσότερα από αυτά τα ζιζανιοκτόνα δρουν από εδάφους και φυλλώματος. Είναι αποτελεσματικά κυρίως εναντίον ετήσιων πλατύφυλλων ζιζανίων, ενώ στο φάσμα δράσης τους συγκαταλέγονται και ορισμένα ετήσια αγρωστώδη ζιζάνια (penoxsulam) ή/και ορισμένα είδη ζιζανίων που ανήκουν στα κυπεροειδή (penoxsulam, diclosulam). Απορροφώνται από τις ρίζες και τα φύλλα των ζιζανίων και μετακινούνται μέσω του αποπλάστη και του συμπλάστη. Τα ζιζανιοκτόνα αυτά είναι δραστικά σε πολύ μικρότερες

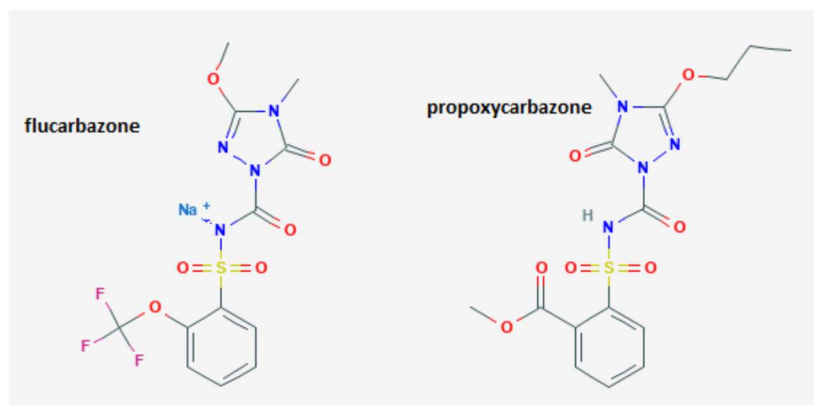
δόσεις από ό,τι τα περισσότερα από τα ήδη χρησιμοποιούμενα ζιζανιοκτόνα. Τα ζιζανιοκτόνα της οικογένειας αυτής συμπεριφέρονται στο εδαφικό διάλυμα ως ασθενή οξέα. Η προσρόφησή τους από τα κolloειδή του εδάφους δεν είναι ισχυρή και γι' αυτό η πιθανότητα έκπλυσής τους στα περισσότερα εδάφη είναι μεγάλη (εμφανίζουν βαθμό έκπλυσης 4-5). Η υπολειμματική τους διάρκεια στο έδαφος κυμαίνεται από 1 μέχρι 9 μήνες (Ελευθεροχωρινός, 2008).



Σχήμα 4. Χημική δομή του ζιζανιοκτόνου florasulam.

2.1.5 Σουλφονυλαμινοκαρβονυλοτριαζολινόνες

Η οικογένεια αυτή περιλαμβάνει τα δύο ζιζανιοκτόνα φυλλώματος flucarbazone, proproxycarbazone (Σχήμα 5) και το ζιζανιοκτόνο φυλλώματος και εδάφους thiencarbazone. 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 ό,τι τα περισσότερα από τα ήδη χρησιμοποιούμενα ζιζανιοκτόνα. Τα δύο ζιζανιοκτόνα συμπεριφέρονται στο εδαφικό διάλυμα ως ασθενή οξέα. Η προσρόφησή τους από τα κolloειδή 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 (Ελευθεροχωρινός, 2008).



Σχήμα 5. Χημική δομή των ζιζανιοκτόνων flucarbazone και propoxycarbazone.

2.2 Ζιζανιοκτόνα αναστολής της δράσης του ενζύμου καρβοξυλάση του ακέτυλο-CoA (Acetyl-CoA Carboxylase, ACCase)

Τα ζιζανιοκτόνα αυτής της ομάδας ανήκουν στις χημικές οικογένειες των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών ή αρυλοφαινοξυπροπιονικών (AOPPs, FOPs), των κυκλοεξανδιονών (CHD, DIMs) και των φαινυλοπυραζολινών (DEN).

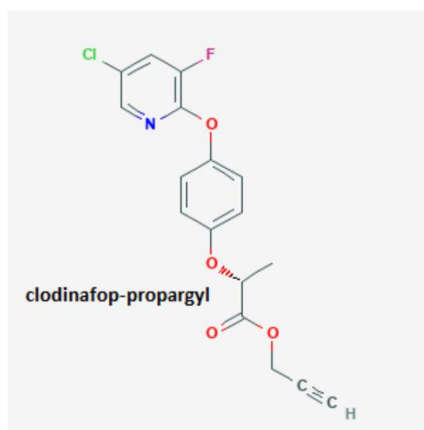
Τα ζιζανιοκτόνα αυτά χαρακτηρίζονται ως ‘αγρωστωδοκτόνα’ επειδή είναι αποτελεσματικά εναντίον ετήσιων και πολυετών αγρωστωδών ζιζανίων. Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε μεταφυτρωτικές, καθολικές επεμβάσεις στους καλλιεργούμενους αγρούς. Ο μηχανισμός δράσης τους σχετίζεται με την αναστολή της δράσης του ενζύμου καρβοξυλάση του ακέτυλο-CoA (acetyl-CoA carboxylase, ACCase), το οποίο είναι ένζυμο-κλειδί κατά τα πρώτα στάδια της διαδικασίας βιοσύνθεσης των λιπαρών οξέων με 16-18 άτομα άνθρακα (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Η προκαρυωτική μορφή του ενζύμου ACCase βρίσκεται στα πλαστίδια των δικότυλων φυτών (πλατύφυλλα) και είναι ανθεκτική στη δράση των προαναφερθέντων ζιζανιοκτόνων. Αντιθέτως, η ευκαρυωτική μορφή του ενζύμου ACCase βρίσκεται στα πλαστίδια των μονοκότυλων φυτών (αγρωστώδη) και είναι ευαίσθητη στη δράση αυτών των ζιζανιοκτόνων. Το ένζυμο αυτό αποτελείται από τρεις υπομονάδες, το πεπτίδιο που είναι μια πρωτεΐνη-φορέας της βιοτίνης και του CO₂ (BCCP, biotin carboxyl carrier protein), την καρβοξυλάση της βιοτίνης (BC, biotin carboxylase) και την α- και β- καρβοξυλτρανσφεράση (CT, α- και β-carboxyltransferase). Το ομομερές ένζυμο ACCase απαντάται εντός των χλωροπλαστών των αγρωστωδών φυτών και η έκφρασή του ελέγχεται από ένα ή δύο γονίδια του πυρήνα, αναλόγως του ζιζανίου (στα είδη του γένους *Lolium* spp. ελέγχεται από δύο γονίδια) (Ελευθεροχωρινός, 2008; Kaundun, 2014). Το γονίδιο που κωδικοποιεί το πλαστιδιακό ACCase ένζυμο είναι γονίδιο πυρήνα και μεταφέρεται ως εκ τούτου μέσω της γύρης και του σπόρου.

Οι κυκλοεξανδιόνες και τα αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκά οξέα συμπεριφέρονται στο έδαφος ως ασθενή οξέα. Η προσρόφησή τους στα κολλοειδή του εδάφους δεν είναι ισχυρή και γι' αυτό η πιθανότητα έκλυσής τους είναι μεγάλη. Αντίθετα, οι φαινυλοπυραζολίνες (riboxaden) συμπεριφέρονται στο έδαφος ως μη ιονιζόμενα μόρια και χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική προσρόφηση στα κολλοειδή του εδάφους. Συνεπώς εμφανίζουν συγκριτικά περιορισμένη πιθανότητα έπλυσης.

2.2.1 Αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκά ζιζανιοκτόνα

Το diclofor-methyl ήταν το πρώτο ζιζανιοκτόνο της οικογένειας των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών και έπειτα ακολούθησε η ανακάλυψη των ζιζανιοκτόνων quizalofop-ethyl, proaquizafor και haloxyfor-methyl τα οποία χρησιμοποιούνται σε πλατύφυλλες καλλιέργειες, ενώ τα ζιζανιοκτόνα diclofor-methyl και fenoxarprop-ethyl χρησιμοποιούνται σε πλατύφυλλες καλλιέργειες και σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών. Τέλος, το clodinafor-propargyl (Σχήμα 6) χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών, ενώ το cyhalofop-butyl χρησιμοποιείται για την καταπολέμηση αγρωστωδών ζιζανίων σε καλλιέργειες ρυζιού.



Σχήμα 6. Χημική δομή του αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκού ζιζανιοκτόνου clodinafor-propargyl.

Η εκλεκτικότητα που εκδηλώνουν έναντι των καλλιεργούμενων ειδών οφείλεται στην αδυναμία τους να αναστείλουν τη δράση του ενζύμου ACCase των ανθεκτικών καλλιεργούμενων ειδών ή/και στο μεταβολισμό που υφίστανται εντός των φυτών μέσω αντιδράσεων υδροξυλίωσης, σουλφοξειδωσης ή/και μέσω σχηματισμού συμπλόκων. Επίσης, η εκλεκτική δράση που εκδηλώνουν στα καλλιεργούμενα είδη μπορεί να εξηγείται από τον μειωμένο ρυθμό μεταβολισμού-υδρόλυσης των μερικώς δραστικών εστέρων τους σε δραστικά οξέα. Τέλος, η εκλεκτική εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων clodinafor-propargyl και fenoxarprop-

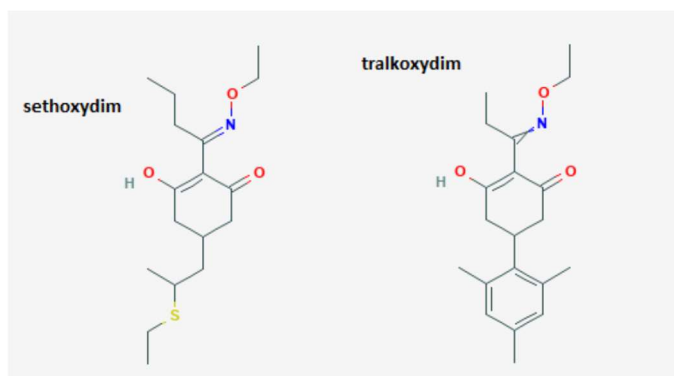
ethyl στα χειμερινά σιτηρά κατέστη δυνατή με την προσθήκη εντός του σκευάσματος, των αντιφυτοτοξικών ουσιών cloquintocet-mexyl και mefenpyr-diethyl, αντίστοιχα (Ελευθεροχωρινός, 2008).

Τα αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκά ζιζανιοκτόνα χρησιμοποιούνται μεταφυτρωτικά για την αντιμετώπιση ετήσιων και πολυετών αγρωστωδών ζιζανίων. Απορροφώνται κυρίως από τα φύλλα και μετακινούνται στους υπέργειους και υπόγειους μεριστωματικούς ιστούς των φυτών, δια μέσω του συμπλάστη και του αποπλάστη. Αποτέλεσμα του μηχανισμού δράσης τους είναι η χλώρωση των φυτών, η εμφάνιση ερυθρόχρωων φύλλων και βλαστών, η αναστολή της αύξησης των φυτών και τέλος η νέκρωσή τους (Ελευθεροχωρινός 2008).

Η ταυτόχρονη εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων που ανήκουν στη χημική οικογένεια των αρυλοξυφαινοξυαλκανοϊκών, με ζιζανιοκτόνα που ανήκουν στις χημικές οικογένειες των φαινοξυαλκανοϊκών (2,4-D, MCPA), σουλφονουλουριών, μιδαζολινών ή τα ζιζανιοκτόνα pyriithiobac και bentazon θα πρέπει να αποφεύγεται γιατί είναι υπεύθυνη για σημαντική μείωση της αποτελεσματικότητάς τους εναντίον των αγρωστωδών ζιζανίων-στόχων (Ελευθεροχωρινός 2008).

2.2.2 Κυκλοεξανδιόνες

Το alloxydim ήταν το πρώτο ζιζανιοκτόνο των κυκλοεξανδιονών που παρασκευάστηκε το 1976 και ακολούθησε η ανακάλυψη των sethoxydim, cycloxydim, tralkoxydim, clethodim, clefoxydim ή profoxydim (Σχήμα 7), tepraloxymid.



Σχήμα 7. Χημική δομή των κυκλοεξανδιονών sethoxydim και tralkoxydim.

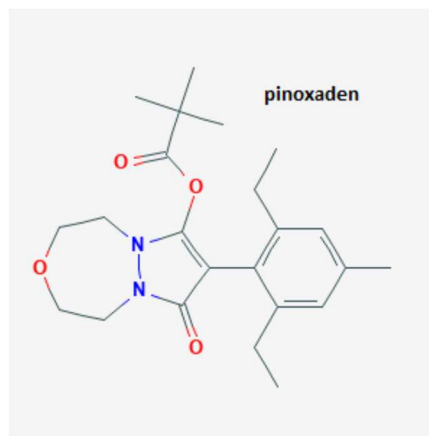
Οι κυκλοεξανδιόνες χρησιμοποιούνται μεταφυτρωτικά για την καταπολέμηση ετήσιων και πολυετών αγρωστωδών ζιζανίων, χωρίς να εκδηλώνουν δράση σε άλλα μονοκοτυλήδονα (κυπεροειδή) και δικοτυλήδονα, πλατύφυλλα φυτά. Απορροφώνται από το φύλλωμα και τις ρίζες και συσσωρεύονται στους μεριστωματικούς ιστούς των φυτών. Τα φυτά-στόχοι που εκτίθενται στις επεμβάσεις τους εμφανίζουν πολύ σύντομα χλώρωση των φύλλων και

ερυθρόχρους μεταχρωματισμούς των ιστών (φύλλα, βλαστούς). Η νέκρωση των ευαίσθητων φυτών επέρχεται 1-2 εβδομάδες μετά την πραγματοποίηση των επεμβάσεων.

Η ταυτόχρονη εφαρμογή των κυκλοεξανδίων με ζιζανιοκτόνα που ανήκουν στις οικογένειες των φαινοξυαλκανοϊκών, σουλφονουριών, ιμιδαζολινών ή με τα ζιζανιοκτόνα pyriithiobac και bentazon θα πρέπει να αποφεύγεται γιατί μειώνει σοβαρά την αποτελεσματικότητά τους εναντίον των αγρωστωδών ζιζανίων-στόχων (Ελευθεροχωρινός 2008). Τα ζιζανιοκτόνα των κυκλοεξανδίων συμπεριφέρονται στο έδαφος ως ασθενή οξέα. Η προσρόφησή τους από τα κολλοειδή του εδάφους είναι ασθενής, με συνέπεια η πιθανότητα έκπλυσής τους να χαρακτηρίζεται από μέτρια έως μεγάλη. Η πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων νερών δεν είναι μμεγάλη, γιατί οι κυκλοεξανδιόνες εφαρμόζονται σε σχετικά μικρές δόσεις και ο χρόνος παραμονής τους στο έδαφος είναι σχετικά μικρός (1-3 μήνες) (Ελευθεροχωρινός 2008).

2.2.3 Φαινυλοπυραζολίνες

Το pinoxaden (Σχήμα 8) είναι το μόνο ζιζανιοκτόνο της οικογένειας των φαινυλοπυραζολινών και ανακαλύφθηκε σχετικά πρόσφατα. Χρησιμοποιείται μεταφυτρωτικά για την αντιμετώπιση ετήσιων αγρωστωδών ζιζανίων σε καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών.



Σχήμα 8. Χημική δομή της φαινυλοπυραζολίνης pinoxaden.

Το pinoxaden απορροφάται κυρίως από τα φύλλα και μετακινείται μέσω του συμπλάστη και του αποπλάστη στους υπέργειους και υπόγειους μεριστωματικούς ιστούς των φυτών. Αποτέλεσμα του μηχανισμού δράσης του είναι η χλώρωση των φυτών, η εμφάνιση ερυθρόχρωων μεταχρωματισμών των φύλλων και βλαστών, η αναστολή της αύξησης των φυτών και τέλος η νέκρωσή τους. Τα συμπτώματα φυτοτοξικότητας που αναφέρθηκαν

εκδηλώνονται εντός ολίγων ημερών μετά την εφαρμογή του, ενώ η νέκρωση των φυτών επέρχεται 1-2 βδομάδες αργότερα.

Το pinoxaden συμπεριφέρεται στο έδαφος ως μη ιονιζόμενο μόριο. Η προσρόφησή του από τα κολλοειδή του εδάφους είναι ικανοποιητική και γι' αυτό η πιθανότητα έκπλυσής του είναι σχετικά μικρή. Η απομάκρυνση του pinoxaden από το έδαφος γίνεται κυρίως μέσω υδρόλυσης. Ο χρόνος παραμονής του pinoxaden στο έδαφος είναι σχετικά μικρός (1-3 μήνες) (Ελευθεροχωρινός 2008).

2.3. Ανθεκτικότητα ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα

2.3.1. Ορισμοί-Ορολογία

Πριν εξεταστούν οι μηχανισμοί που εξηγούν την ανθεκτικότητα των ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα και οι παράγοντες που την επηρεάζουν, θα δοθούν οι ορισμοί των εννοιών ανθεκτικότητα (resistance), αντοχή (tolerance), ανθεκτικός βιότυπος (resistant biotype), ανθεκτικός πληθυσμός (resistant population), διασταυρωτή ανθεκτικότητα (cross-resistance) και πολλαπλή ανθεκτικότητα (multiple resistance). Αυτό κρίνεται αναγκαίο γιατί η γνώση τους συμβάλλει στην πληρέστερη κατανόηση της ανθεκτικότητας και των παραγόντων που επηρεάζουν την επιλογή, την εδραίωση και την εξέλιξή της.

Ο όρος ανθεκτικότητα (resistance) ενός ζιζανίου σε ζιζανιοκτόνο ορίζεται ως 'η κληρονομούμενη ικανότητα μερικών φυτών ενός είδους ζιζανίου να επιβιώνουν και να αναπαράγονται μετά από εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης ενός ζιζανιοκτόνου, στο οποίο τα περισσότερα φυτά του αρχικού πληθυσμού ήταν ευαίσθητα'. Σύμφωνα με τον ορισμό, τα ανθεκτικά φυτά δεν 'δημιουργούνται' από επαγόμενη μετάλλαξη του ζιζανιοκτόνου αλλά προϋπάρχουν στον αρχικό πληθυσμό του ζιζανίου και επιλέγονται, ως συνέπεια της συνεχούς πίεσης επιλογής, που ασκείται από την επαναλαμβανόμενη χρήση του ίδιου ζιζανιοκτόνου (Ελευθεροχωρινός, 2020).

Ο όρος αντοχή (tolerance) ζιζανίου σε ζιζανιοκτόνο διαφέρει από την ανθεκτικότητα και ορίζεται ως 'η κληρονομούμενη ικανότητα όλων των φυτών του αρχικού πληθυσμού ενός είδους ζιζανίου να επιβιώνουν και να αναπαράγονται στην εξαρχής εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του ζιζανιοκτόνου'. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, όλα τα φυτά του αρχικού πληθυσμού του ζιζανίου με αντοχή ήταν μη ευαίσθητα πριν από την έναρξη χρήσης του ζιζανιοκτόνου (Ελευθεροχωρινός, 2020).

Ο όρος ανθεκτικός βιότυπος (resistant biotype), με βάση τον ορισμό της ανθεκτικότητας και τον γενικό ορισμό του βιοτύπου (plant biotype) ορίζεται ως 'το σύνολο των γενετικώς όμοιων φυτών ενός είδους ζιζανίου που διαφέρουν, ως προς το χαρακτηριστικό

της ανθεκτικότητας τους σε κάποιο ζιζανιοκτόνο, από τα υπόλοιπα φυτά του είδους, που επιβιώνουν και αναπαράγονται στο ίδιο περιβάλλον' (Ελευθεροχωρινός, 2020).

Ο όρος ανθεκτικός πληθυσμός (resistant population), σύμφωνα με τον ορισμό της ανθεκτικότητας και τον αντίστοιχο του πληθυσμού (plant population), ορίζεται ως 'το σύνολο γενετικώς ανόμοιων φυτών ενός είδους που διαφέρουν, ως προς το χαρακτηριστικό της ανθεκτικότητας τους σε κάποιο ζιζανιοκτόνο, από τα υπόλοιπα φυτά του είδους, που επιβιώνουν και αναπαράγονται στο ίδιο περιβάλλον'.

Ο όρος διασταυρωτή ανθεκτικότητα ή σταυρανθεκτικότητα (cross resistance) ορίζεται ως 'η ανθεκτικότητα ενός πληθυσμού ζιζανίου σε δύο ή περισσότερα ζιζανιοκτόνα, τα οποία έχουν ίδιο μηχανισμό δράσης και ανήκουν στην ίδια ή σε διαφορετικές χημικές οικογένειες' (Ελευθεροχωρινός, 2020).

Ο όρος πολλαπλή ανθεκτικότητα (multiple resistance) ορίζεται ως 'η ανθεκτικότητα ενός ζιζανίου σε δύο ή περισσότερα ζιζανιοκτόνα, τα οποία έχουν διαφορετικούς μηχανισμούς δράσης και ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες' (Ελευθεροχωρινός, 2020).

2.3.2 Μηχανισμοί ανθεκτικότητας ζιζανίων

Η ανθεκτικότητα των ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα οφείλεται είτε σε φυσιολογικούς είτε σε βιοχημικούς μηχανισμούς των φυτών. Οι κυριότεροι φυσιολογικοί μηχανισμοί που συμβάλλουν στην ανθεκτικότητα των ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα είναι σύμφωνα με τον Ελευθεροχωρινό (2020) οι μηχανισμοί που δεν οφείλονται σε τροποποίηση του στόχου δράσης (Non-target-site-resistance, NTSR), οι οποίοι οφείλονται σε 1) μειωμένη διέλευση του ζιζανιοκτόνου διά μέσου της κυτταρικής μεμβράνης, 2) μεταφορά-εναπόθεση του ζιζανιοκτόνου σε χώρους μη δράσης (χυμοτόπιο), 3) μειωμένη μεταφορά του ζιζανιοκτόνου σε χώρους δράσης (χλωροπλάστη) ή απέκκριση από τον χλωροπλάστη στο κυτταροδιάλυμα, 4) απέκκριση του ζιζανιοκτόνου από τον χλωροπλάστη στο κυτταρικό τοίχωμα.

Οι σπουδαιότεροι βιοχημικοί μηχανισμοί που συμβάλλουν στην ανθεκτικότητα των ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα σχετίζονται με την 1) ικανότητα των ζιζανίων να μεταβολίζουν τα ζιζανιοκτόνα με ένζυμα μη στόχου δράσης μέσω αντίδρασης τροποποίησης της δομής του ζιζανιοκτόνου (μονοοξυγονάσεις) ή/και αντίδρασης σχηματισμού συμπλόκου μεταξύ ζιζανιοκτόνου και συστατικών του κυττάρου (γλουταθειόνη-S-τρανσφεράση, γλυκοζυλοτρανσφερασών), 2) υπερέκφραση γονιδίου ανθεκτικότητας που προκαλεί υπερπαραγωγή του ενζύμου μεταβολισμού ενός ζιζανιοκτόνου ή του ευαίσθητου ενζύμου-στόχου δράσης, 3) τροποποίηση του στόχου δράσης και αδυναμία πρόσδεσης του ζιζανιοκτόνου (Ελευθεροχωρινός, 2020).

2.3.3 Ανθεκτικότητα ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι παραγωγοί, οι γεωπόνοι αλλά κυρίως οι ερευνητικοί φορείς είναι η επιλογή, εδραίωση και διασπορά ανθεκτικών πληθυσμών ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα, καθώς η παρουσία τέτοιων πληθυσμών συντελεί σε σημαντικές ποσοτικές και ποιοτικές απώλειες στην παραγωγή, περιορίζει τις επιλογές των ζιζανιοκτόνων για την αποτελεσματική καταπολέμησή τους και αυξάνει το παραγωγικό κόστος των καλλιεργειών λόγω υιοθέτησης-εφαρμογής μέτρων διαχείρισης (χημικών, καλλιεργητικών κ.ά.). (Ελευθεροχωρινός, 2014). Η διαδικασία διάγνωσης και ταυτοποίησης ανθεκτικών βιοτύπων/πληθυσμών ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα είναι μια επίπονη, αρκετά χρονοβόρα, δαπανηρή διαδικασία που απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις. Προκειμένου να διαπιστωθεί η επιλογή ανθεκτικότητας είναι επιβεβλημένη η συγκέντρωση στοιχείων από τους αγρούς (ιστορικό δραστηκών ουσιών που εφαρμόστηκαν και αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων) και στην συνέχεια να γίνει διεξαγωγή πειραμάτων στο εργαστήριο, στο θερμοκήπιο και στον αγρό.

Η εμφάνιση ανθεκτικών πληθυσμών του ζιζανίου κόκκινο ρύζι στους ορυζώνες προκλήθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις από επιλογή σημειακών μεταλλάξεων μετά την πίεση επιλογής που άσκησαν στους αρχικούς πληθυσμούς οι επαναλαμβανόμενες επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων, αλλά κυρίως από τη μεταφορά του τροποποιημένου *ALS* γονιδίου το οποίο φέρει σημειακή μετάλλαξη στη θέση 653 όπου το αμινοξύ σερίνη (Ser) αντικαθίσταται από το αμινοξύ ασπαραγίνη (Asn), μέσω της μεταφοράς γύρης από φυτά των ποικιλιών 'Clearfield' (με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα imazamox, imazethapyr κ.ά., που ανήκουν στη χημική οικογένεια των ιμιδαζολινών) (*ALS*-αναστολείς) σε φυτά κόκκινου ρυζιού, όταν συμπίπτει ο χρόνος άνθησής τους ('gene flow') (Burgos κ.ά., 2014). Οι ποικιλίες ρυζιού 'Clearfield' καλλιεργήθηκαν για πρώτη φορά στη ζώνη καλλιέργειας του ρυζιού των νότιων πολιτειών των Η.Π.Α., το έτος 2002. Μετά την ευρεία υιοθέτηση και αποδοχή της νέας τεχνολογίας, σύντομα καταγράφηκε η παρουσία ανθεκτικών στα ζιζανιοκτόνα υβριδίων μεταξύ καλλιεργούμενου και άγριου (κόκκινου) ρυζιού, τόσο στις Η.Π.Α. (Burgos κ.ά., 2007), όσο και σε άλλες χώρες (Busconi κ.ά., 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ. ΜΕΤΡΑ-ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΖΙΖΑΝΙΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟ ΡΥΖΙ

3.1 Γενικά μέτρα-στρατηγικές διαχείρισης του κόκκινου ρυζιού

Η αντιμετώπιση του κόκκινου ρυζιού ήταν και εξακολουθεί να παραμένει ένα δύσκολο, ιδιαίτερα απαιτητικό εγχείρημα (Andres κ.ά., 2014). Η αποτελεσματική, εκλεκτική αντιμετώπιση αυτού του ζιζανίου με χημικά μέσα κατέστη δυνατή επί σειρά ετών με την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων της χημικής οικογένειας των ιμιδαζολινονών, τα οποία αναστέλλουν τη δράση του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (ALS), αλλά μόνον σε ποικιλίες καλλιεργούμενου ρυζιού τύπου ‘Clearfield’ που δημιουργήθηκαν όχι με γενετική τροποποίηση, αλλά με τεχνικές κλασικής βελτίωσης και χαρακτηρίζονται από ανθεκτικότητα στα προαναφερθέντα ζιζανιοκτόνα. Πέραν της χημικής αντιμετώπισης, η αποτελεσματική διαχείριση, καθιστά αναγκαία τη συνδυασμένη εφαρμογή διάφορων τεχνικών και μεθόδων (στα πλαίσια ολοκληρωμένης διαχείρισης) μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται:

1. Η χρήση πιστοποιημένου σπόρου ρυζιού χωρίς την παρουσία του κόκκινου ρυζιού, μέτρο το οποίο συμβάλλει αποφασιστικά στη μείωση της διασποράς του ζιζανίου.
2. Ο καθαρισμός των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία του εδάφους πριν από την εκτέλεση κάθε νέας εργασίας και των αλωνιστικών μηχανών κατά τη συγκομιδή.
3. Η μη κατεργασία του εδάφους μετά τη συγκομιδή είναι απαραίτητη γιατί απομακρύνει τους σπόρους από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την αποδόμηση.
4. Το βαθύ όργωμα μετά την ολοκλήρωση της συγκομιδής καθώς με αυτό επιτυγχάνεται η ενσωμάτωση των σπόρων του ζιζανίου στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους, από όπου αδυνατούν να φυτρώσουν.

5. Η κατάκλυση του εδάφους μετά τη συγκομιδή (διευκολύνει την αποδόμηση των σπόρων).
6. Η αμειψισπορά με βαμβάκι και η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων εδάφους (S-metolachlor, benfluralin, pendimethalin) ή/και η μεταφυτρωτική εφαρμογή εξειδικευμένων αγρωστοδοκτόνων (propraziflof, quizalofop, cycloxydim, clethodim). Τα ανωτέρω ζιζανιοκτόνα διαθέτουν διαφορετικό μηχανισμό δράσης από τους ALS-αναστολείς, συνεπώς παρέχουν δυνατότητες αποτελεσματικής εναλλακτικής χημικής αντιμετώπισης πληθυσμών με ανθεκτικότητα στο imazamox.
7. Η αμειψισπορά με αραβόσιτο, σε συνδυασμό με την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων εδάφους (S-metolachlor+terbuthylazine ή dimethenamid+terbuthylazine ή flufenacet+terbuthylazine ή pethoxamid+terbuthylazine). Ομοίως, η εφαρμογή προφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων διαφορετικού μηχανισμού δράσης συμβάλλει στην αποτελεσματική αντιμετώπιση ήδη ανθεκτικών πληθυσμών του ζιζανίου στους ALS-αναστολείς.
8. Η προσπαρτική εφαρμογή (25-30 ημέρες προ της σποράς της καλλιεργούμενης ποικιλίας ρυζιού) με ή χωρίς ενσωμάτωση σε μικρό βάθος εδάφους των ζιζανιοκτόνων pretilachlor, flufenacet ή S-metolachlor η οποία πραγματοποιείται με νερό ή βροχόπτωση εντός 3-5 ημερών από την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.
9. Η καλλιέργεια ανταγωνιστικών ποικιλιών ρυζιού.
10. Η αύξηση της πυκνότητας σποράς του ρυζιού (για την επίτευξη υψηλότερου ανταγωνισμού από τα φυτά της καλλιέργειας σε βάρος των φυτών του ζιζανίου).
11. Η ενδεδειγμένη λίπανση και η ορθή διαχείριση του νερού στους ορυζώνες.
12. Η καλλιέργεια ποικιλιών ρυζιού τύπου 'Clearfield' και η αξιοποίηση του μεταφυτρωτικού ζιζανιοκτόνου imazamox σε ορυζώνες όπου δεν έχουν αναφερθεί αποτυχίες μετά την εφαρμογή του και δεν υπάρχει υποψία επιλογής ανθεκτικότητας.
13. Η καλλιέργεια ποικιλιών ρυζιού τύπου 'ProvisiaTM' και η χρήση του μεταφυτρωτικού ζιζανιοκτόνου cycloxydim, με δράση σε ετήσια και πολυετή αγρωστάδη ζιζάνια.
14. Η μετασπαρτική εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου benzobicyclon (αναστολέας της δράσης του ενζύμου 4-HPPD), για την καταστολή των πληθυσμών του ζιζανίου με μια δραστική εκλεκτική στην καλλιέργεια του ρυζιού, επίσης με διαφορετικό μηχανισμό δράσης.
15. Η χειρωνακτική απομάκρυνση των φυτών κόκκινου ρυζιού ή η μηχανική κοπή των ταξιανθιών των φυτών ή η νέκρωση των φυτών με χρήση σχοινοδιαβρέκτη που διαβρέχεται από το καθολικό, μη εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο φυλλώματος glyphosate

(αναστολέας της δράσης του ενζύμου EPSPS). Η σχολαστική, έγκαιρη απομάκρυνση ή νέκρωση των ευαίσθητων φυτών του κόκκινου ρυζιού που εμφανίζονται σε καλλιέργειες ρυζιού τύπου 'Clearfield' είναι επιβεβλημένη. Η παρουσία τους εγκυμονεί τον κίνδυνο της γονιμοποίησής τους με γύρη φυτών του ανθεκτικού ρυζιού 'Clearfield' (όταν συμπίπτει η ανθοφορία τους), γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει στην παραγωγή σπόρου κόκκινου ρυζιού με ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο imazamox. Έτσι, επιλέγονται ανθεκτικοί πληθυσμοί του ζιζανίου στο imazamox το οποίο χρησιμοποιείται στις ποικιλίες ρυζιού τύπου 'Clearfield' για καθολικές, μεταφυτρωτικές, εκλεκτικές εφαρμογές, με συνέπεια την 'αχρήστευση' αυτής της τεχνολογίας.

16. Η μεταφυτρωτική εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου pretilachlor, 10-12 ημέρες από τη σπορά του ρυζιού (εμφανίζει κάποια αποτελεσματικότητα εναντίον νεαρών σποροφύτων του ζιζανίου που δεν έχουν αναδυθεί ακόμα στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ δεν έχει δράση σε φυτρωμένα φυτά).
17. Η εφαρμογή ψευδοσποράς, κατά την οποία πραγματοποιείται κατεργασία του εδάφους (ψιλοχωμάτισμα με χρησιμοποίηση φρέζας) 25-30 ημέρες πριν την σπορά του ρυζιού, η βροχόπτωση η οποία είναι απαραίτητη για το φύτευμα των σπόρων κόκκινου ρυζιού, η κατεργασία σε μικρό βάθος εδάφους ώστε να επιτεθεί η καταστροφή των φυτρωμένων φυτών κόκκινου ρυζιού και η σπορά ρυζιού. Εναλλακτικά της κατεργασίας του εδάφους για την μηχανική καταστροφή των φυτρωμένων φυτών του ζιζανίου, μπορεί να εφαρμοστούν τα ζιζανιοκτόνα glyphosate ή propanil/cycloxydim (αναστολείς της δράσης του ενζύμου καρβοξυλάση του ακετύλου CoA, ACCase) για να νεκρωθούν τα φυτρωμένα φυτά κόκκινου ρυζιού και στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί η σπορά ρυζιού με ή χωρίς κατεργασία σε μικρό βάθος εδάφους.

Η μεγαλύτερη ποικιλομορφία μορφολογικών χαρακτήρων και η γενετική ποικιλότητα που το χαρακτηρίζει καθώς και η ομοιότητα του άγριου με το καλλιεργούμενο ρύζι καθιστά δύσκολη την επίτευξη άριστης διαχείρισης του ζιζανίου με την αξιοποίηση μιας και μόνο μεθόδου αντιμετώπισης. Το γεγονός ότι το άγριο ρύζι είναι γενετικά παρόμοιο με το καλλιεργούμενο ρύζι καθιστά δύσκολη την αποτελεσματική αντιμετώπισή του χωρίς τον κίνδυνο να προκληθεί ζημιά-φυτοτοξικότητα και στα καλλιεργούμενα φυτά (Burgos κ.ά., 2014). Η αποτελεσματική και αειφορική διαχείριση του κόκκινου και των άλλων ειδών άγριου ρυζιού απαιτεί την υιοθέτηση μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης με συνδυασμό προληπτικών, καλλιεργητικών, μηχανικών, χημικών (εφαρμογή ζιζανιοκτόνων) και βιοτεχνολογικών

μεθόδων. Ακολουθώς, παρατίθενται διεξοδικότερα κάποιες σημαντικά μέτρα-μέθοδοι που είναι κεφαλαιώδους σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση του ζιζανίου κόκκινου ρύζι.

3.1.1 Αναγνώριση του κόκκινου ρυζιού

Αποτελεί πρωταρχική προϋπόθεση για το σχεδιασμό ενδεδειγμένων στρατηγικών για την αποτελεσματική διαχείριση των πληθυσμών του ζιζανίου εντός των ορυζώνων. Παρόλα αυτά, υφίσταται σημαντική δυσκολία στην ταυτοποίηση γηγενών ή εισαχθέντων οικοτύπων του ζιζανίου σε μια περιοχή καλλιέργειας ρυζιού, καθώς αυτοί ανήκουν στο ίδιο γένος με το καλλιεργούμενο ρύζι (*Oryza sativa*) και έχουν πολλά κοινά μορφολογικά χαρακτηριστικά. Ιδιαίτερα δύσκολη είναι η διάκριση μεταξύ των σποροφύτων και των νεαρών φυτών του καλλιεργούμενου και του κόκκινου ρυζιού. Συχνά δε η παρουσία ενός καινούργιου υβριδίου καλλιεργούμενου-κόκκινου ρυζιού δεν γίνεται έγκαιρα αντιληπτή, μέχρι να εγκατασταθεί και να κυριαρχήσει ένας περισσότερο ‘επιθετικός’ οικότυπος του ζιζανίου.

Αν και οι περισσότεροι πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού έχουν τριχωτά (pubescent/hispid) φύλλα σε αντίθεση με τη λεία (glabrous) επιφάνεια του ελάσματος των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού η διάκριση μεταξύ τους απαιτεί προσεκτική-επισταμένη παρατήρηση, η οποία είναι συνήθως δύσκολη στο στάδιο του νεαρού φυτού. Η προϋποθέσεις διάκρισης ενισχύονται όταν τα φυτά του κόκκινου ρυζιού αναπτύσσονται προοδευτικά και ιδίως όταν εισέρχονται στο αναπαραγωγικό στάδιο του βιολογικού τους κύκλου, κυρίως γιατί τα ‘άγρια’ χαρακτηριστικά και η εμφάνισή τους διαφοροποιούνται από την επιλεγμένη μέσω γενετικής βελτίωσης, περισσότερο ομοιόμορφη εμφάνιση που χαρακτηρίζει τα φυτά των καλλιεργούμενων ποικιλιών.

Συνήθως τα φυτά του κόκκινου ρυζιού αποκτούν μεγαλύτερο ύψος, έχουν ανοικτότερο πράσινο χρωματισμό και φύλλα με τριχωτή επιφάνεια. Επίσης, χαρακτηρίζονται από μια πιο ‘ανοικτή’ αρχιτεκτονική, οι βλαστοί (αδέλφια) σχηματίζονται με περισσότερο ανοικτή γωνία σε σχέση με το κεντρικό στέλεχος, ενώ τα φύλλα παρουσιάζουν κάμψη του ελάσματος προς το έδαφος. Οι βιότυποι του ζιζανίου με αχυρώδες χρώμα λεπύρων είναι μικρότερου ύψους, πλάγιας βλαστικής ανάπτυξης, με βλαστούς και φύλλα που παρουσιάζουν κάμψη προς το έδαφος, σχηματίζουν μικρότερο αριθμό αδελφιών και παράγουν συνήθως ανθίδια που στερούνται άγανου σε σύγκριση με τους βιοτύπους του ζιζανίου που έχουν μαύρο χρώμα λεπύρων. Οι τελευταίοι χαρακτηρίζονται από ανθίδια με άγανα μέτριου έως μεγάλου μήκους. Η διάκριση των δύο αυτών τύπων κόκκινου ρυζιού με τις καλλιεργούμενες ποικιλίες διευκολύνεται περαιτέρω όταν τα φυτά εισέλθουν στο στάδιο φυσιολογικής ωρίμανσης. Ειδικότερα, στο συγκεκριμένο φαινολικό στάδιο στις ανοικτές φόβες των φυτών του κόκκινου

ρυζιού σπόροι εκτινάσσονται και καταλήγουν στο έδαφος, ενώ οι φόβες των νέων ποικιλιών ρυζιού παραμένουν συμπαγείς, χωρίς απώλειες από την πτώση σπόρων στο έδαφος. Επίσης, οι σπόροι των φυτών κόκκινου ρυζιού είναι κυρίως μέσου μεγέθους με μικρό αριθμό σπόρων μικρού ή μεγάλου μήκους και έχουν κάποιες ερυθρόχρωμες αποχρώσεις στο περικάρπιο.

Στα συστήματα ορυζοκαλλιέργειας της Ν.Α. Ασίας (Βιετνάμ) τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που αξιοποιούν οι παραγωγοί για τη διάκριση ορισμένων τύπων άγριου ρυζιού που ανήκουν στο είδος *Oryza sativa* εμφανίζονται στο στάδιο διόγκωσης της ταξιανθίας (booting) (Chin κ.ά., 1999). Τα φυτά του ζιζανίου είναι συνήθως υψηλότερα, με πολύ μεγαλύτερο αριθμό αδελφιών, ανθίδια που φέρουν άγανο, λέπυρα σκοτεινής απόχρωσης, πρώιμο και εκτεταμένη εκτίναξη σπόρων στο έδαφος και μικρότερο μέγεθος σπόρων οι οποίοι έχουν συνήθως χαρακτηριστικό κόκκινο περικάρπιο. Προσέτι, το μεγαλύτερο ύψος των φυτών, τα περισσότερα, λεπτότερης διαμέτρου αδελφία (βλαστοί), τα τριχωτά ελάσματα των φύλλων, οι ερυθρόχρωμοι μεταχρωματισμοί σε διάφορα μέρη των φυτών και κυρίως στο περικάρπιο των καρπών επιτρέπουν την σχετικά ασφαλή διάκριση των φυτών κόκκινου ρυζιού στην Ιταλία μετά την έναρξη αδελφώματος, όπως αναφέρουν οι Ferrero και Vidotto (1999).

3.2 Προληπτικά μέτρα-στρατηγικές καταπολέμησης του ζιζανίου κόκκινο ρύζι

3.2.1 Αποφυγή μόλυνσης των ορυζώνων με το κόκκινο ρύζι-σημασία της χρησιμοποίησης σπόρου απαλλαγμένου από την παρουσία σπόρων του ζιζανίου

Το ζιζάνιο εξαπλώνεται από μια μολυσμένη περιοχή σε μια άλλη στην οποία δεν έχει καταγραφεί η παρουσία του με επιμολυσμένο σπόρο των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού. Τα ζώα και τα μηχανήματα μπορούν επίσης να συμβάλλουν στη διασπορά των ειδών άγριου ρυζιού. Παρόλα αυτά, ορισμένοι εθνικοί ή πολιτειακοί νόμοι επιτρέπουν την παρουσία μικρού αριθμού σπόρων άγριου ρυζιού ακόμα και σε σπορομερίδες πιστοποιημένου σπόρου. Η έγκαιρη διαπίστωση της παρουσίας του ζιζανίου και η παρεμπόδιση της εγκατάστασής του αποτελούν τα πρώτα βήματα που επιτυγχάνουν μείωση της έντασης μόλυνσης και δυνητικής διασποράς-εξάπλωσης του κόκκινου ρυζιού σε παραγωγικά συστήματα καλλιέργειας ρυζιού στα οποία εφαρμόζεται απ' ευθείας σπορά. Η συστηματική παρακολούθηση της πιθανής παρουσίας άγριου ρυζιού σε μια απρόσβλητη περιοχή καλλιέργειας είναι σημαντική γιατί διασφαλίζει την αποφυγή ευχερούς εισβολής-εγκατάστασής του και επιτρέπει την έγκαιρη λήψη αποτελεσματικών μέτρων διαχείρισης. Προσέτι, ορισμένοι ορυζοπαραγωγοί χρησιμοποιούν σπόρο που έχουν κρατήσει από την προηγούμενη καλλιεργητική χρονιά ή προέρχεται από κάποιον συνάδελφό τους ο οποίος είναι είτε επιμολυσμένος ή υπάρχει ισχυρή

πιθανότητα να περιέχει και σπόρους του ζιζανίου. Η χρησιμοποίηση από παραγωγούς ρυζιού σπόρου που παρήγαγαν οι ίδιοι κατά την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο αποβαίνει συχνά ιδιαίτερα σημαντική γιατί οι σπόροι συχνά είναι χαμηλής ποιότητας και ταυτόχρονα είναι επιμολυσμένοι με σπόρους ζιζανίων, συμπεριλαμβανομένων και αυτών του κόκκινου ρυζιού. Ο Noldin (2000) εκτίμησε ότι αν πραγματοποιηθεί σπορά με σπόρο καλλιεργούμενης ποικιλίας ο οποίος έχει επιμόλυνση με 2 σπόρους κόκκινου ρυζιού ανά Kg σε διάστημα τριών καλλιεργητικών περιόδων μπορεί να παραχθεί ποσότητα σπόρου του ζιζανίου η οποία θα ανέλθει σε 10 Kg/στρέμμα. Σε μελέτη αγρού που πραγματοποιήθηκε σε ορυζώνα στη Σρι Λάνκα της Ν.Α. Ασίας (Chauhan κ.ά., 2014), αποδείχθηκε ότι η χρησιμοποίηση σπόρου απαλλαγμένου από την παρουσία του ζιζανίου συνετέλεσε σε αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας κατά 29-41%, σε σύγκριση με την απόδοση όταν οι παραγωγοί χρησιμοποιούσαν επιμολυσμένο σπόρο δικής τους παραγωγής.

Συμπερασματικά, η χρησιμοποίηση σπόρου γενετικής καθαρότητας (της μίας και μόνο ποικιλίας), απαλλαγμένου τόσο από σπόρους κόκκινου ρυζιού ή/και άλλων ειδών ζιζανίων, όσο και από σπορομεταδιδόμενα φυτοπαθογόνα είναι εξαιρετικά σημαντική και αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο των στρατηγικών διαχείρισης του κόκκινου ρυζιού στα συστήματα καλλιέργειας ρυζιού σε παγκόσμια κλίμακα.

3.2.2 Επισκέψεις-επιθεωρήσεις των καλλιεργούμενων αγρών

Οι επιθεωρήσεις των ορυζώνων είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται με προσεκτικό και αντικειμενικό τρόπο από παραγωγούς, γεωπόνους ή ειδικούς πιστοποίησης οι οποίοι να έχουν την αναγκαία εμπειρία και να γνωρίζουν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των καλλιεργούμενων ποικιλιών και των τύπων άγριου ρυζιού (συμπεριλαμβανομένων και των ειδών κόκκινου ρυζιού). Η καταγραφή της παρουσίας του ζιζανίου είναι σημαντικά δυσκολότερη σε κατακλυσμένους ορυζώνες (σε συστήματα στα οποία εφαρμόζεται υγρή σπορά). Ο εντοπισμός και η απομάκρυνση φυτών του ζιζανίου πρέπει να πραγματοποιείται πριν οι ώριμοι σπόροι αρχίσουν να εκτινάσσονται και καταλήγουν στο έδαφος. Ειδικά, η μεθοδική και προσεκτική απομάκρυνση των φυτών του ζιζανίου θα αποτρέψει την επιμόλυνση των συγκομιζόμενων σπόρων αλλά θα συντελέσει σε ενίσχυση της τράπεζας σπόρων του κόκκινου ρυζιού στο έδαφος του ορυζώνα.

3.2.3 Επιθεώρηση και δοκιμή των σπόρων

Η ανάλυση των σπόρων του κόκκινου ρυζιού εστιάζεται στην απομάκρυνση του εξωτερικού περιβλήματός τους και στην επιβεβαίωση της ύπαρξης κόκκινου μεταχρωματισμού

στο περικάρπιό τους. Όμως, οι σπόροι άλλων ειδών άγριου ρυζιού παρουσιάζουν ομοιότητα με εκείνους του καλλιεργούμενου ρυζιού, με συνέπεια η αναγνώρισή τους να είναι απαιτητική-δύσκολη, χρονοβόρα και να μην παρέχει απόλυτη ακρίβεια. Συχνά, το περικάρπιο ορισμένων σπόρων (ιδιαίτερα όσων συλλέγονται πριν την ωρίμανσή τους) δεν έχουν κόκκινο χρώμα, αντίθετα προσομοιάζει με το χρώμα όπως και οι ανώριμοι σπόροι του καλλιεργούμενου ρυζιού. Ο αριθμός των ημερών που απαιτείται να παρέλθει ώστε το περικάρπιο των σπόρων να αποκτήσει ερυθρό μεταχρωματισμό ποικίλει ανάλογα με το χρόνο συγκομιδής τους, το φαινόμενο από τον οποίο προέρχονται, καθώς και τις συνθήκες αποθήκευσής τους. Γενικότερα, όσο περισσότερο ανώριμοι είναι οι σπόροι του ζιζανίου κατά τη συλλογή τους τόσο μεγαλύτερο διάστημα απαιτείται για την απόκτηση του ερυθρού χρωματισμού.

3.2.4 Καθαρισμός επιμολυσμένων σπορομερίδων

Οι περισσότεροι πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού παράγουν μέσου μεγέθους σπόρους οι οποίοι έχουν μεγαλύτερο πλάτος και πάχος συγκρινόμενοι με τους μακρύτερους, λείους σπόρους των μακρόσπερων καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού. Αυτά τα διαφοροποιημένα μορφολογικά χαρακτηριστικά έχουν αξιοποιηθεί για τη διάκριση και απομάκρυνση των σπόρων του ζιζανίου με τη χρησιμοποίηση ειδικών συσκευών διαχωρισμού με διαφορετικό πλάτος. Δυστυχώς, οι συσκευές αυτές αλλά και η οπτική παρατήρηση συμβάλλουν στην απομάκρυνση μεγάλου αριθμού αλλά όχι όλων των σπόρων του ζιζανίου. Οι Vidotto και Ferrero (2009) επεσήμαναν ότι η παρουσία μικρού αριθμού σπόρων κόκκινου ρυζιού στο σπόρο που χρησιμοποιείται για τη σπορά ορυζώνων μολυσμένων με πολύ υψηλούς πληθυσμούς του ζιζανίου έχει μικρή επίπτωση στη δυναμική των πληθυσμών του. Απεναντίας, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή μόλυνση και οικοδόμηση υψηλών πληθυσμών εντός διαστήματος λίγων ετών όταν η σπορά πραγματοποιείται σε ορυζώνες απαλλαγμένους από την παρουσία του ζιζανίου.

3.2.5 Διαχείριση της τράπεζας σπόρων (seed bank) του κόκκινου ρυζιού στο έδαφος

Η στρατηγική αυτή διαχείρισης επιστρατεύει μια ποικιλίας καλλιεργητικών, μηχανικών πρακτικών και μεταχειρίσεων με ζιζανιοκτόνα. Οι αποφάσεις διαχείρισης σχετίζονται με την εναλλαγή και την εντατικοποίηση της καλλιέργειας (π.χ. μονοκαλλιέργεια ρυζιού, εναλλαγή καλλιεργειών-αμειψισπορά, υιοθέτηση πολυετούς αγρανάπαυσης κ.ά.). Σημαντική έμφαση πρέπει να δοθεί στις πρακτικές και μεταχειρίσεις που εφαρμόζονται το διάστημα μεταξύ των καλλιεργειών ρυζιού (το διάστημα αυτό κυμαίνεται από μερικούς μήνες έως αρκετά έτη,

ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πολύ σοβαρών μολύνσεων των ορυζώνων από μεγάλους πληθυσμούς του ζιζανίου).

Το πρώτο μέτρο μετά τη συγκομιδή της καλλιέργειας είναι η αποφυγή οργώματος σε μεγάλο βάθος ενώ συστήνεται η εφαρμογή επιφανειακής καλλιέργειας, ώστε να αποφευχθεί η μεταφορά των σπόρων του ζιζανίου σε μεγαλύτερο βάθος όπου διατηρούν τη βιωσιμότητά τους για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης, είναι απαραίτητη η καταστροφή των φυτικών υπολειμμάτων μετά τον αλωνισμό ώστε να αποφευχθεί η αναβλάστηση του ρυζιού (καλλιεργούμενου ή άγριου) πριν την έλευση των χαμηλών θερμοκρασιών του χειμώνα ή της ξηρής περιόδου.

3.2.6 Προετοιμασία της σποροκλίνης

Σε πολλές μελέτες που εκπονήθηκαν αναφέρεται ότι η εγκατάσταση του ζιζανίου στην καλλιέργεια μπορεί να μειωθεί πολύ αποτελεσματικά με την προετοιμασία της κατάλληλης σποροκλίνης (stale seedbed technique) που θα δεχθεί το σπόρο της ποικιλίας (Singh κ.ά., 2018). Κατά την προετοιμασία της σποροκλίνης συστήνεται η απομάκρυνση κάθε υπάρχουσας βλάστησης συμπεριλαμβανομένων και των σποροφύτων του κόκκινου ρυζιού πριν τη σπορά της καλλιέργειας. Με αυτή την τεχνική 'προκαλείται' η βλάστηση και το φύτεμα του ζιζανίου μετά από βροχόπτωση ή μετά από κατάκλυση του εδάφους του ορυζώνα με μικρή ποσότητα νερού και ακολούθως εναντίον των φυτρωμένων νεαρών σποροφύτων πραγματοποιούνται επεμβάσεις μη εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων (glufosinate, paraquat, ή glyphosate το οποίο χρησιμοποιείται στη χώρα μας) ή μικρής διάρκειας ζιζανιοκτόνων εδάφους ή επιφανειακή κατεργασία του εδάφους. Αν η πλειονότητα των σπόρων βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους η τεχνική εφαρμόζεται ως ανωτέρω ενώ αν η κατανομή τους βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος είναι αναγκαία η πραγματοποίηση οργώματος σε βάθος ώστε να μεταφερθούν στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους του ορυζώνα για να ακολουθήσουν οι υπόλοιπες εργασίες.

Το όργωμα συμβάλλει επίσης ουσιαστικά στην αντιμετώπιση του κόκκινου ρυζιού. Το φύτεμα του μειώνεται αυξανόμενου του βάθους που βρίσκονται οι σπόροι του ζιζανίου, ενώ τα νεαρά φυτά αποτυγχάνουν να φυτρώσουν από βάθη 8-10cm (Vidotto και Ferrero, 2000). Συνεπώς, όταν δεν εφαρμόζεται η τεχνική προετοιμασίας κατάλληλης σποροκλίνης που θα δεχθεί το σπόρο των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού, μπορεί να εφαρμοστεί βαθύ όργωμα για τη μεταφορά των σπόρων του ζιζανίου σε βάθος τέτοιο (>10cm) από το οποίο δεν μπορούν να φυτρώσουν.

3.2.7 Καύση της καλαμιάς

Η πρακτική αυτή εφαρμόζονταν εκτενώς στα παλαιότερα χρόνια καθώς οι παραγωγοί πίστευαν ότι η καύση των φυτικών υπολειμμάτων μετά τον αλωνισμό των καλλιεργειών προκαλούσε νέκρωση σημαντικού αριθμού σπόρων των ζιζανίων. Πλέον, αυτή η πρακτική έχει εγκαταλειφθεί στη χώρα μας γιατί προκαλεί σημαντική απώλεια στην οργανική ουσία του εδάφους, συμβάλλει στην ατμοσφαιρική ρύπανση, ενώ δεν είναι πάντοτε και ιδιαίτερα αποτελεσματική στη νέκρωση μεγάλου αριθμού σπόρων.

3.2.8 Καταστολή του φυτρώματος του κόκκινου ρυζιού

Η καταστολή της βλάστησης και του φυτρώματος των φυτών των άγριων ειδών ρυζιού (συμπεριλαμβανομένου και του κόκκινου ρυζιού) με δημιουργία συνθηκών ανοξίας σε υγρά ή κατακλυσμένα-πλημμυρισμένα εδάφη χρησιμοποιείται για πάρα πολλά χρόνια στα συστήματα ρυζιού όπου πραγματοποιείται μεταφύτευση και όχι σπορά των φυτών. Η μέθοδος υγρής σποράς για την αντιμετώπιση του κόκκινου ρυζιού και άλλων επιβλαβών ειδών ζιζανίων εφαρμόστηκε στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Αυτό επιτεύχθηκε καθώς ικανοποιήθηκαν συγκεκριμένες προϋποθέσεις όπως το επίπεδο ανάγλυφο του εδάφους, η επαρκής διαθεσιμότητα νερού και οι ευνοϊκές καιρικές συνθήκες κατά την περίοδο σποράς (απουσία καταιγίδων και έντονων βροχοπτώσεων). Η τεχνική συνδυάζεται με την κατάλληλη προετοιμασία της σποροκλίνης, την ελάχιστη κατεργασία του εδάφους, την περιοδική κατάκλυση των αγρών και γενικότερα την υιοθέτηση πρακτικών που διεγείρουν το φύτευμα των φυτών του κόκκινου ρυζιού και άλλων ζιζανίων και τη χημική τους καταπολέμηση με επεμβάσεις ζιζανιοκτόνων ή τη νέκρωσή τους με μηχανική κατεργασία, πριν τη σπορά της καλλιέργειας.

3.2.8.1 Υγρή σπορά

Μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικές 'εκδοχές' της σποράς σε κατακλυσμένους με νερό ορυζώνες, οι οποίες προσαρμόζονται/ανταποκρίνονται στις διαφορές της ομοιομορφίας και της ισοπέδωσης των αγρών, αλλά και στις διαφορετικές επικρατούσες κλιματικές συνθήκες. Οι παραγωγοί μπορούν να υιοθετήσουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις διαχείρισης του νερού μετά την υγρή σπορά της καλλιέργειας:

- (1) Διατήρηση συνεχούς κατάκλυσης από τη σπορά έως την απομάκρυνση του νερού λίγο πριν την έναρξη του αλωνισμού (συγκομιδής) της καλλιέργειας. Αυτή η προσέγγιση αποτελεί την καλύτερη δυνατή επιλογή για την αποτελεσματική διαχείριση του κόκκινου ρυζιού αλλά παρουσιάζει κάποιους κινδύνους. Η επίτευξη ικανοποιητικής πυκνότητας των νεαρών φυτών της καλλιέργειας παρουσιάζει δυσκολία σε εδάφη με

ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα οργανικής ουσίας. Προσέτι, έντονες βροχοπτώσεις και ισχυροί άνεμοι μπορούν να συντελέσουν σε μετακίνηση των σπόρων και να προκαλέσουν εκρίζωση των νεαρών σποροφύτων. Επίσης, με την επιλογή αυτή της διαχείρισης νερού φυτρώνουν λίγα φυτά του ζιζανίου τα οποία γίνονται πολύ εύρωστα και παράγουν μεγάλες ποσότητες σπόρου. Αντίθετα, σε συνθήκες παρατεταμένης απουσίας νερού από τους ορυζώνες φυτρώνουν αναρίθμητα φυτά κόκκινου ρυζιού τα οποία παράγουν συγκριτικά μικρότερες ποσότητες σπόρου.

- (2) Απομάκρυνση του νερού από τους αγρούς μετά τη σπορά της καλλιέργειας και επαναφορά των νερών μετά την καλή εγκατάσταση των νεαρών σποροφύτων ώστε να μην επηρεαστούν από την πλήρη κατάκλυση. Με αυτή την τακτική εξασφαλίζεται μια ικανοποιητική πυκνότητα φυτών στην καλλιέργεια αλλά ταυτόχρονα υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να έχουν φυτρώσει και εγκατασταθεί αξιόλογος πληθυσμός σποροφύτων του ζιζανίου.
- (3) Απομάκρυνση του νερού λίγες ημέρες μετά την κατάκλυση των ορυζώνων και ακολούθως σταδιακή επαναφορά του νερού καθώς τα σπορόφυτα της καλλιεργούμενης ποικιλίας αναπτύσσουν ριζικό σύστημα. Με αυτή την προσέγγιση (ενδιάμεση μεταξύ των δύο προαναφερθέντων) το έδαφος διατηρείται υγρό προκαλώντας επαρκή καταστολή της βλάστησης και του φυτρώματος των νεαρών φυτών του κόκκινου ρυζιού, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζεται η καλή εγκατάσταση της καλλιέργειας. Τα νεαρά σπορόφυτα του ρυζιού αναπτύσσουν ριζικό σύστημα γρήγορα, εγκαθίστανται αποτελεσματικά και έτσι αποφεύγουν την εκρίζωση και τη μετακίνησή τους.

3.2.9 Μέθοδοι εγκατάστασης του καλλιεργούμενου ρυζιού

Η σπορά του σπόρου σε γραμμές σε αντίθεση με την καθολική εφαρμογή του στην επιφάνεια του ορυζώνα διευκολύνει την αναγνώριση των φυτών κόκκινου ρυζιού σε αρχικά στάδια ανάπτυξης, καθώς αυτά αναδύονται (φυτρώνουν) μεταξύ των γραμμών των φυτών της καλλιέργειας. Ακολούθως, μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν χειρωνακτικά ή να καταστραφούν με κάποια εξειδικευμένα μηχανήματα. Η σπορά του ρυζιού σε γραμμές βρέθηκε ότι μείωσε την πυκνότητα των ταξιανθιών του κόκκινου ρυζιού από 39-49 ταξιανθίες/m² σε 15-30 ταξιανθίες/m² ενώ ταυτόχρονα συνετέλεσε σε αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας (Chauhan κ.ά., 2014).

3.2.10 Βελτίωση της ανταγωνιστικής ικανότητας του ρυζιού

Η χρησιμοποίηση ποικιλιών ρυζιού με αυξημένη ανταγωνιστική ικανότητα αποτελεί ένα ακόμα σημαντικό μέσο διαχείρισης της παρουσίας και επίπτωσης του κόκκινου ρυζιού στους ορυζώνες. Οι ποικιλίες που επιλέγονται ιδανικά πρέπει να έχουν ταχύ φύτευμα, να αναπτύσσουν ισχυρό, πλούσιο ριζικό σύστημα και υπέργειο τμήμα, να χαρακτηρίζονται από υψηλή ικανότητα αδελφώματος και γρήγορη κάλυψη του εδάφους ώστε να καταλαμβάνουν την επιφάνεια του εδάφους του ορυζώνα, επιτυγχάνοντας μέγιστη ανταγωνιστική ικανότητα σε βάρος των φυτών του ζιζανίου. Με αυτό τον τρόπο συντελούν στη μείωση των ανεπιθύμητων επιπτώσεων της παρουσίας των πληθυσμών του ζιζανίου εντός των καλλιεργούμενων ορυζώνων, περιορίζοντας τις απώλειες στην απόδοση και βελτιώνοντας την ποιότητα των κόκκων του συγκομιζόμενου προϊόντος. Υψηλόσωμες ποικιλίες με αυξημένη ικανότητα αδελφώματος καταστέλλουν αποτελεσματικά τους πληθυσμούς του ζιζανίου, προκαλώντας μείωση στη βλαστική ανάπτυξη και την αναπαραγωγική ικανότητα άγριων ειδών ρυζιού. Προσέτι, πρακτικές όπως η σπορά μεγαλύτερης ποσότητας σπόρου που βελτιώνουν την πυκνότητα στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας περιορίζει την επίπτωση των φυτών του ζιζανίου στην ανάπτυξη και την τελική απόδοση της καλλιέργειας. Τέλος, η καλλιέργεια ποικιλιών με φύλλα και βάση στελεχών με ιώδη απόχρωση μπορεί να συμβάλλει στη μείωση της δεξαμενής σπόρων του ζιζανίου στο έδαφος καθώς καθιστά ευκολότερη τη διάκριση-αναγνώριση των νεαρών φυτών του ζιζανίου εντός του ορυζώνα τα οποία ακολούθως απομακρύνονται από τον αγρό.

3.3 Μέτρα-στρατηγικές άμεσης καταπολέμησης του ζιζανίου κόκκινο ρύζι

3.3.1 Χημική καταστολή του φυτρώματος του κόκκινου ρυζιού

Ένας αξιόλογος αριθμός ζιζανιοκτόνων χρησιμοποιείται για την καταστολή του φυτρώματος του κόκκινου ρυζιού και άλλων υδροχαρών αγρωστωδών ζιζανίων σε παραγωγικά συστήματα στα οποία εφαρμόζεται υγρή σπορά του ρυζιού. Σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε ότι το κόκκινο ρύζι παρουσίασε ευαισθησία στα ζιζανιοκτόνα molinate και thioencarb. Ειδικότερα, το θειοκαρβαμιδικό ζιζανιοκτόνο molinate εφαρμόζεται είτε προσπαρτικά είτε στο νερό μετά τη σπορά της καλλιέργειας. Βέβαια, η υιοθέτηση της υγρής σποράς όπως αποδείχθηκε συνετέλεσε στην επιλογή υδροχαρών ζιζανίων που προσαρμόζονται εξαιρετικά και συνεπώς ευνοούνται σε συνθήκες ανοξίας και/ή επαναλαμβανόμενες εφαρμογές του molinate συνέβαλλαν στην επιλογή ανθεκτικών βιοτύπων αυτών των ζιζανίων. Προσέτι, ο Singh κ.ά. (2013) ανέφεραν ότι η προφυτρωτική εφαρμογή

των ζιζανιοκτόνων acetochlor, metolachlor, alachlor και dimethenamid που ανήκουν στα χλωρακεταμίδια συνετέλεσε σε επίπεδα καταπολέμησης του κόκκινου ρυζιού που κυμάνθηκαν μεταξύ 85 και 92%, χωρίς να προκαλέσουν συμπτώματα φυτοτοξικότητας στα φυτά του καλλιεργούμενου ρυζιού. Βέβαια, στις προαναφερθείσες μελέτες επισημάνθηκε ότι δεν είναι επαρκές να εξαρτάται η διαχείριση του ζιζανίου αποκλειστικά στην εφαρμογή προφυτρωτικής ζιζανιοκτονίας ειδικά στα συστήματα απ' ευθείας σποράς του ρυζιού λόγω υψηλής ομοιότητας μεταξύ καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του βλαστικού σταδίου ανάπτυξής τους.

Στη χώρα μας, στην οποία το ζιζανιοκτόνο molinate χρησιμοποιήθηκε επί πολλές δεκαετίες, η χρήση του δεν είναι πλέον εγκεκριμένη αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί το χλωρακεταμίδιο pretilachlor 25-30 ημέρες πριν τη σπορά της καλλιέργειας ή νωρίς μεταφυτρωτικά (εφόσον το σκεύασμα περιέχει τον αντιφυτοτοξικό παράγοντα) όταν έχει φυτρώσει το ρύζι για να εμποδίσει το φύτρωμα των φυτών του κόκκινου ρυζιού και άλλων αγρωστωδών ζιζανίων (μουχρίτσα, όρθια μουχρίτσα, ορυζοειδή μουχρίτσα, λεπτοχλόη) τα οποία δεν έχουν ακόμη αναδυθεί στην επιφάνεια του ορυζώνα.

Σχετικά πρόσφατα εξασφάλισε έγκριση στη χώρα μας η δραστική ουσία benzobicyclon για την εκλεκτική αντιμετώπιση αγρωστωδών (μεταξύ αυτών και του κόκκινου ρυζιού), κυπεροειδών και πλατύφυλλων ζιζανίων στην καλλιέργεια του ρυζιού. Η δραστική ουσία ανήκει στους παρεμποδιστές της βιοσύνθεσης της πλαστοκινόνης και δρα εναντίον των ζιζανίων-στόχων μέσω της παρεμπόδισης του ενζύμου διοξυγενάση του 4-υδροξυφαινυλο-πυροσταφυλικού οξέος (4-hydroxyphenyl-pyruvate-dioxygenase, 4-HPPD), προκαλώντας λεύκανση στους νεαρούς ιστούς η οποία καταλήγει στη νέκρωση των ευαίσθητων ζιζανίων. Είναι η μοναδική δραστική με τον συγκεκριμένο μηχανισμό δράσης εγκεκριμένη στην καλλιέργεια του ρυζιού και μπορεί να συμβάλλει στην επιβράδυνση της επιλογής ανθεκτικών πληθυσμών ζιζανίων ή στην ικανοποιητική διαχείριση ήδη επιλεγέντων πληθυσμών σε ALS- ή ACCase-αναστολείς. Ειδικότερα, συστήνεται η πραγματοποίηση προσπαρτικών, προφυτρωτικών ή μεταφυτρωτικών (έως την έκπτυξη του δεύτερου φύλλου της καλλιέργειας) επεμβάσεων. Η εφαρμογή πραγματοποιείται σε αγρούς κατακλυσμένους με νερό, με σταθερή στάθμη νερού (≥ 4 cm). Μετά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου συστήνεται ο αγρός να παραμείνει υπό κατάκλυση για διάστημα τουλάχιστον 7 ημερών, ενώ ιδανικά το νερό πρέπει να παραμείνει εντός του ορυζώνα για διάστημα 8-10 ημερών.

3.3.2 Καταστροφή ή απομάκρυνση των φυτών του κόκκινου ρυζιού από την καλλιέργεια

Οι σπόροι του κόκκινου ρυζιού μετά τη βλάστησή τους θα δημιουργήσουν φυτά τα οποία αναπτύσσονται και παράγουν στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου σπόρους οι οποίοι εκτινάσσονται και καταλήγουν στο έδαφος. Οι σπόροι αυτοί θα μολύνουν τις καλλιέργειες που θα αναπτυχθούν στα επόμενα χρόνια εκτός αν τα φυτά του ζιζανίου απομακρυνθούν, νεκρωθούν ή εμποδιστεί η αναπαραγωγή τους. Όμως, η επίτευξη αυτού του στόχου έχει περιορισμένες δυνατότητες, είναι χρονοβόρα, κουραστική και έχει υψηλό κόστος. Αυτό γιατί τα περισσότερα 'άγρια ρύζια' αποτελούν φυλές του καλλιεργούμενου ρυζιού ή παρουσιάζουν πολύ μεγάλη συγγένεια καθιστώντας εξαιρετικά δύσκολη τη χημική αντιμετώπισή τους με επεμβάσεις ζιζανιοκτόνων τα οποία στερούνται εκλεκτικότητας, κάτι που δεν συμβαίνει σε άλλα είδη ζιζανίων που αναπτύσσονται και αποτελούν πρόβλημα στην καλλιέργεια του ρυζιού. Επίσης, είναι χρονοβόρα, επίπονη και υψηλού κόστους επιδίωξη καθώς οι παραγωγοί πρέπει να απομακρύνουν και να καταστρέψουν τα φυτά του ζιζανίου με το χέρι ή να εφαρμόσουν μη εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο σε μεμονωμένα φυτά του κόκκινου ρυζιού εντός της καλλιέργειας. Η τακτική αυτή της απομάκρυνσης φυτών-εθελοντών, φυτών κόκκινου και άλλων ειδών άγριου ρυζιού είναι περισσότερο εφαρμόσιμη σε μικρούς παραγωγούς και σε ορυζώνες στους οποίους αναπτύσσονται μικροί πληθυσμοί του ζιζανίου. Η πρακτική αυτή είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί όταν είναι αναγνωρίσιμα τα φυτά του ζιζανίου και οπωσδήποτε πριν οι ώριμοι σπόροι των φυτών αρχίσουν να εκτινάσσονται στο έδαφος του ορυζώνα. Οι ταξιανθίες συστήνεται να αφαιρούνται και να τοποθετούνται εντός σακούλας και ακολούθως ολόκληρο το φυτό να αφαιρείται από το έδαφος.

3.3.3 Πρακτικές μηχανικής και χημικής διαχείρισης

Οι Ferrero και Vidotto (1999) περιέγραψαν μια συσκευή η οποία προσαρμόζεται στο μπροστινό μέρος του ελκυστήρα η οποία αναπτύχθηκε για να κόβει και να καταστρέφει τις ταξιανθίες των φυτών άγριου (όπως και του κόκκινου) ρυζιού (weedy rices). Πραγματοποιούνται δύο διελεύσεις σε όλη την έκταση του αγρού, η πρώτη γίνεται κατά την έναρξη της άνθησης των φυτών και ακολουθείται από μια δεύτερη 15 ημέρες αργότερα. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας σχοινοδιαβρέκτης ο οποίος διαβρέχεται από ένα μη εκλεκτικό-καθολικό ζιζανιοκτόνο (glyphosate) και φέρνει σε επαφή τις ταξιανθίες των υψηλότερων φυτών του ζιζανίου που ξεπερνούν σε ύψος τα φυτά των καλλιεργούμενων ποικιλιών. Στη Βραζιλία, χρησιμοποιήθηκε ένας ρυθμιστής αύξησης η μαλεϊκή υδραζίδη για την καταστολή της παραγωγής σπόρων σε φυτά κόκκινου ρυζιού, με την προϋπόθεση ότι τα φυτά του ζιζανίου υστερούν κατά 10-15 ημέρες σε σχέση με τα φυτά της καλλιέργειας (Saldain

και Deambrosi, 2000). Η εφαρμογή του σκευάσματος πριν ή κατά την έκπτυξη της ταξιανθίας των φυτών του κόκκινου ρυζιού συνετέλεσε σε μείωση του αριθμού των ταξιανθιών, και προκάλεσε αύξηση της στειρότητας και ταυτόχρονα μείωση της βιωσιμότητας των σπόρων.

3.4 Καλλιεργητικά μέτρα διαχείρισης του ζιζανίου κόκκινο ρύζι

3.4.1 Εναλλαγή της καλλιέργειας του ρυζιού με άλλα καλλιεργούμενα είδη (υιοθέτηση αμειψισποράς)

Τα μειονεκτήματα της μονοκαλλιέργειας και αντίστοιχα τα πλεονεκτήματα της αμειψισποράς στα χαρακτηριστικά του εδάφους (γονιμότητα, δομή), στη μείωση του μολύσματος φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών και των πληθυσμών φυτοφάγων (επιβλαβών) ειδών εντόμων, καθώς και στη μείωση της παρουσίας και της επίπτωσης των ζιζανίων στην ποσοτική και ποιοτική απόδοση των καλλιεργειών συνέβαλλαν στην συστηματική υιοθέτηση της εναλλαγής των καλλιεργειών στα πλείστα παραγωγικά συστήματα γραμμικών καλλιεργειών. Η εφαρμογή αμειψισποράς βοηθά να διακοπεί ο βιολογικός κύκλος του κόκκινου ρυζιού, καθιστά ευκολότερη την αναγνώρισή του (όταν αναπτύσσεται εντός άλλων καλλιεργούμενων ειδών) και επιτρέπει την εφαρμογή άλλων αποτελεσματικότερων ζιζανιοκτόνων για τη χημική του αντιμετώπιση. Στις νότιες πολιτείες των Η.Π.Α. επικράτησε και εφαρμόζεται ευρύτατα η εναλλαγή ρυζιού με σόγια, η οποία συμβάλλει στον περιορισμό των μολύνσεων του ζιζανίου. γενικότερα, η εναλλαγή του ρυζιού με καλλιέργειες σόγιας, σόργου, ηλίανθου, καλαμποκιού παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στη διαχείριση του ζιζανίου, καθώς η προετοιμασία της σποροκλίνης και η σπορά των καλλιεργειών αυτών δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες και διεγείρουν τη βλάστηση των σπόρων του κόκκινου ρυζιού. Έτσι, επιτρέπουν την αποτελεσματική μείωση της ποσότητας των σπόρων στο έδαφος με την εφαρμογή προσπαρτικών, προφυτρωτικών ή εκλεκτικών μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων, εγκεκριμένων σε αυτά τα καλλιεργούμενα είδη. Στη χώρα μας το ρύζι εναλλάσσεται με καλαμπόκι αλλά κυρίως με βαμβάκι που επιτρέπει τη χρησιμοποίηση είτε προσπαρτικών-προφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων (S-metolachlor) με υψηλή αποτελεσματικότητα εναντίον του ζιζανίου καθώς και μεταφυτρωτικών αγρωστοδοκτόνων (cycloxydim, clethodim, proaquizafop) στη μέγιστη συνιστώμενη δόση εφαρμογής, αντίστοιχη αυτής που χρησιμοποιείται για τη χημική καταπολέμηση πολυετών αγρωστωδών ειδών (βέλιουρας, αγριάδα).

Η υιοθέτηση αμειψισποράς αξιολογείται ως η πλέον αποτελεσματική πρακτική-στρατηγική διαχείρισης του κόκκινου ρυζιού, ιδιαίτερα σε περιοχές/ορυζώνες όπου αναπτύσσονται πολύ υψηλοί πληθυσμοί του ζιζανίου. Προσέτι, η ευρεία υιοθέτηση και η εκτεταμένη καλλιέργεια ποικιλιών ρυζιού τεχνολογίας Clearfield η οποία επιτρέπει την καθολική μεταφυτρωτική εφαρμογή ζιζανιοκτόνων της χημικής οικογένειας των ιμιδαζολινών (imazamox, imazethapyr) επιβάλλει την εναλλαγή καλλιεργειών ως αναγκαία προϋπόθεση για την επιβράδυνση και ιδανικά αποφυγή της ανάπτυξης ανθεκτικότητας λόγω γονιδιακής ροής (μεταφοράς του *ALS* γονιδίου που κωδικοποιεί για το τροποποιημένο ένζυμο) από τα καλλιεργούμενα στα φυτά του κόκκινου και των άλλων άγριων ειδών ρυζιού.

Περιορισμοί σε αυτήν τη στρατηγική αποτελούν η διαθεσιμότητα κατάλληλης καλλιέργειας, καθώς και η επαρκής στράγγιση των ορυζώνων (η ανεπαρκής στράγγιση αποκλείει την αξιοποίηση πολλών γραμμικών καλλιεργούμενων ειδών).

3.4.2 Η εφαρμογή της ψευδοσποράς για την αντιμετώπιση ζιζανίων σε ορυζώνες

Από το 2018 δόθηκε η ευκαιρία στους ορυζοπαραγωγούς της χώρας μας να ενταχθούν προαιρετικά στην δράση της ‘ψευδοσποράς’ του προγράμματος ΠΑΑ με οικονομική ενίσχυση που ανέρχεται στα 21 €/στρέμμα/έτος. Αφού οι δικαιούχοι της ενίσχυσης επιλέξουν να ενταχθούν στο πρόγραμμα, καλούνται-δεσμεύονται να χρησιμοποιήσουν την τεχνική της ψευδοσποράς [προετοιμασία σποροκλίνης για μη πραγματική σπορά (‘ψεύτικη σπορά’ (false seeding)’ της καλλιέργειας του ρυζιού] για περίοδο 5 συνεχόμενων ετών στο σύνολο των ενταγμένων στην δράση αγροτεμαχίων της ορυζοκαλλιέργειας τους (Ελευθεροχωρινός, 2018).

Στη συνέχεια, αφού εφαρμοστούν οι συνήθειες καλλιεργητικές πρακτικές για την προετοιμασία των αγορών για τη σπορά του ρυζιού, υπάρχουν ορισμένες δέσμευσεις που πρέπει να τηρηθούν:

- Να κατακλύζουν με μικρή ποσότητα αρδευτικού νερού τα ενταγμένα στη δράση αγροτεμάχια τον Απρίλιο κάθε έτους εφαρμογής. Αυτό θα συμβεί περίπου ένα μήνα πριν από την κανονική εποχή σποράς του ρυζιού και ανάλογα με την περιοχή ορυζοκαλλιέργειας. Ο σκοπός αυτού είναι η εξασφάλιση της βλάστησης των σπόρων των ζιζανίων.
- Είναι απαραίτητο το νερό κατάκλυσης να απομακρύνεται και να διοχετεύεται σε γειτονικούς υδάτινους αποδέκτες όπως ποτάμια, έλη και αποστραγγιστικά κανάλια.
- Τέλος, πριν τη σπορά του ρυζιού, είναι σημαντική η μηχανική καταστροφή των ζιζανίων που έχουν αναπτυχθεί μέσω επιφανειακής κατεργασίας του εδάφους.

3.4.2.1 Ενέργειες που διασφαλίζουν την καλή αποτελεσματικότητα της ψευδοσποράς

Σε περίοδο 5 ετών, η τεχνική αυτή έχει τη δυνατότητα να συμβάλλει στην αποτελεσματική αντιμετώπιση τόσο των ανθεκτικών όσο και των ευαίσθητων πληθυσμών κυρίως του κόκκινου ρυζιού, καθώς και άλλων ειδών ζιζανίων όπως μουχρίτσα, μοσχοκούπερη, αμμάνια, ετερανθέρα, νεραγριάδα, νεροκάλαμο, λεπτοχλόη, λέρσια, σκίρπος, ραγάζι, βούτομο, ψάθι, λιντέρνια, πεντάνευρο, νεροπιπεριά (Ελευθεροχωρινός, 2018).

Η αποτελεσματικότητα της ψευδοσποράς μπορεί να βελτιωθεί εάν συνδυαστεί με την απομάκρυνση των υπαρχόντων ζιζανίων μέσω χημικών ή χειρονακτικών μέσων εντός των ορυζώνων, δεδομένου ότι αυτή η επέμβαση βοηθά στη μείωση της προσθήκης νέων σπόρων και στον περιορισμό των ήδη υπαρχόντων αποθεμάτων σπόρων ζιζανίων στο έδαφος (seed bank).

Η κατάλληλη προετοιμασία της σποροκλίνης, η ορθολογική χρήση λιπασμάτων, η επιλογή ανταγωνιστικών ποικιλιών, η πυκνή σπορά και η σωστή διαχείριση του νερού αποτελούν σημαντικό παράγοντα στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της ψευδοσποράς ενάντια στα ζιζάνια.

Είναι εξίσου σημαντικό για την ψευδοσπορά να χρησιμοποιούνται σπόροι ρυζιού απαλλαγμένοι από ζιζάνια, καθώς αυτό ελαχιστοποιεί την πιθανότητα εισαγωγής και εγκατάστασης νέων ζιζανίων, ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητα κατά των ζιζανίων.

Πριν από τη φύτευση, η κατεργασία του εδάφους σε βάθος τρία με τέσσερα εκατοστά και όταν τα φυτά των ζιζανίων είναι ακόμη μικρά (2-3 φύλλα) ενισχύει την αποτελεσματικότητα της ψευδοσποράς. Αυτή η διαδικασία βοηθάει στην καταστροφή και ενσωμάτωση των νεαρών φυτρωμένων ζιζανίων, ενώ παράλληλα μειώνει την πιθανότητα να μεταφερθούν νέοι σπόροι ζιζανίων στην επιφάνεια του εδάφους, οι οποίοι θα φυτρώσουν εντός της καλλιέργειας.

Το βαθύ όργωμα, ανά τρία με τέσσερα έτη, κατά την βασική προετοιμασία του αγρού, είναι ευεργετικός παράγοντας στην αύξηση της αποτελεσματικότητας της ψευδοσποράς. Αυτή η επέμβαση (βαθύ όργωμα) επιτρέπει στους σπόρους των ζιζανίων να ενσωματώνονται σε μεγάλο βάθος, όπου εμποδίζεται η βλάστηση ή καταστροφή – σάπισμα λόγω υπερβολικής υγρασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι σπόροι του κόκκινου ρυζιού έχουν μακροβιότητα στο έδαφος για περίπου τρία έως και πέντε χρόνια (Ελευθεροχωρινός, 2018).

3.4.2.2 Τα στάδια της ψευδοσποράς

Τα διαδοχικά στάδια στην εφαρμογή της ψευδοσποράς σύμφωνα με τον Ελευθεροχωρινός (2018) είναι τα εξής:

1. Η προετοιμασία του αγρού όπως και για την κανονική σπορά.

2. Η κατάκλιση του αγρού με νερό μία με δύο ημέρες και στη συνέχεια αποστράγγιση.

3. Η καταστροφή των φυτρωμένων ζιζανίων μετά από δύο έως τρεις εβδομάδες, η οποία επιτυγχάνεται με επιφανειακή κατεργασία του εδάφους αποσκοπώντας ταυτόχρονα στη διασφάλιση της παραμονής των σπόρων ζιζανίων στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους του ορυζώνα, ώστε να μην έρθουν στην επιφάνειά του.

3.4.2.3 Προβλήματα και δυσκολίες από την εφαρμογή της ψευδοσποράς

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή της μεθόδου της ψευδοσποράς για την συμβολή της στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των πληθυσμών κόκκινου ρυζιού και άλλων σημαντικών αγρωστωδών ζιζανίων (είδη μουχρίτσας, λεπτοχλόη κ.ά.) παρουσιάζει και ορισμένα προβλήματα και δυσκολίες στην εφαρμογή της (Ελευθεροχωρινός, 2018), τα οποία παρατίθενται ακολούθως:

1. Η σπορά του ρυζιού γίνεται τουλάχιστον δύο έως τρεις εβδομάδες αργότερα από την κανονική σπορά (χωρίς ψευδοσπορά), το οποίο οδηγεί στη μείωση της δυνατότητας καλλιέργειας μακράς βλαστικής περιόδου, υψηλοαποδοτικών ποικιλιών ρυζιού, ενώ ταυτόχρονα συντελεί στη μείωση της απόδοσης των περισσότερων ποικιλιών κατά 100 με 200 kg ανά στρέμμα. Φυσικά, εκτός από την περίοδο (εποχή) σποράς, η απόδοση του ρυζιού επηρεάζεται από τις επικρατούσες εδαφοκλιματικές συνθήκες, καθώς και από τις γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται.
2. Η αύξηση του χρόνου παροχής νερού από τον ΤΟΕΒ για την κατάκλιση των ορυζώνων οδηγεί στην πιθανή αύξηση του κόστους χρήσης του νερού.
3. Η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε υγρά και βαριά εδάφη, στα οποία η έγκαιρη και κατάλληλη κατεργασία τους είναι πάρα πολύ δύσκολη.

3.5 Βιοτεχνολογική στρατηγική για τη διαχείριση του κόκκινου ρυζιού

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 επιτεύχθηκε σημαντική πρόοδος στην προσπάθεια ανάπτυξης γραμμών ρυζιού με ανθεκτικότητα ή ανεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα της χημικής οικογένειας των ιμιδαζολινών (imidazolinones, IMI) (αναστολείς της δράσης του ενζύμου ALS), κύρια με την μαζική εξέταση (screening) σε καλλιέργειες ιστών. Αργότερα, επιτεύχθηκε δημιουργία γραμμών ρυζιού που εμφάνιζαν ανθεκτικότητα στο μη εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο glufosinate μέσω μεθόδων γενετικής μηχανικής (Braverman και Linscombe, 1994). Η υστέρηση στην ανάπτυξη της στρατηγικής της ανθεκτικότητας στα ζιζανιοκτόνα στην καλλιέργεια του ρυζιού (συγκριτικά με τις καλλιέργειες σόγιας, βαμβακιού ή καλαμποκιού)

οφείλονταν στην ανησυχία ενδεχόμενης μεταφοράς του γονιδίου-ων ανθεκτικότητας στα πολύ συγγενικά άγρια είδη ρυζιού μέσω αναπόφευκτων διασταυρώσεων με τις ποικιλίες ρυζιού που χαρακτηρίζονταν από ανθεκτικότητα σε μη εκλεκτικά (ιμιδαζολινόνες), αλλά και καθολικά ζιζανιοκτόνα (glufosinate και glyphosate).

Παρόλα αυτά, την καλλιεργητική περίοδο 2001-2002 εγκρίθηκε η καλλιέργεια ποικιλιών ρυζιού που διέθεταν την τεχνολογία ‘Clearfield’ (με ανεκτικότητα στις ιμιδαζολινόνες, IMI) στη ζώνη καλλιέργειας ρυζιού στις νότιες πολιτείες των Η.Π.Α. Οι ποικιλίες αυτές δεν ήταν γενετικά τροποποιημένες (Non-GM, non-genetically modified varieties), δεν προέκυψαν μέσω μεταφοράς γονιδίων ξένων προς το ρύζι, προερχόμενων από άλλα φυτικά είδη ή άλλους οργανισμούς. Παρήχθησαν αρχικά μετά από επιλογή μεταλλαγμένων φυτών και ακολούθως αναπτύχθηκαν ως ποικιλίες με μεθόδους κλασσικής βελτίωσης. Η μεταφορά ενός τεχνικώς μεταλλαγμένου γονιδίου με ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα της χημικής οικογένειας των ιμιδαζολινών χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ανθεκτικών ποικιλιών ρυζιού, αλλά και αραβοσίτου, ελαιοκράμβης, ηλίανθου και σιταριού (Ελευθεροχωρινός, 2020). Το τεχνικά μεταλλαγμένο γονίδιο *als* προέκυψε μέσω επίδρασης χημικών ουσιών και κωδικοποιεί για ανθεκτικό ένζυμο οξικογαλακτική συνθάση (ALS), λόγω αντικατάστασης του αμινοξέος σερίνη (Ser) από το αμινοξύ ασπαραγίνη (Asn) στη θέση 653 [Ser653-Asn] ή/και αντικατάστασης του αμινοξέος γλυκίνη (Gly) από γλουταμικό οξύ (Glu) στη θέση 654 (Gly654-Glu) καθώς και αλανίνης (Ala) από θρεονίνη (Thr) στη θέση 122 (Ala122-Thr) του ενζύμου AHAS (ALS) (Ελευθεροχωρινός, 2020).

Στις Η.Π.Α. οι πρώτες ποικιλίες ‘Clearfield’ διατέθηκαν αρχικά μαζί με το σκεύασμα ζιζανιοκτόνου Newpath (δραστική ουσία η ιμιδαζολινονη imazethapyr). Η πραγματοποίηση καθολικών μεταφωτοτικών επεμβάσεων με το imazethapyr και η ανάπτυξη και διάθεση βελτιωμένων ποικιλιών ‘Clearfield’ συνετέλεσαν στη βελτίωση των επιπέδων καταπολέμησης των πληθυσμών του κόκκινου ρυζιού, ενώ επέτρεψαν την αποτελεσματική αντιμετώπιση πληθυσμών μουχρίτσας με ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα propanil (αμίδιο φυλλώματος που δρα αναστέλλοντας τη ροή των ηλεκτρονίων στο PSII και πιθανώς αναστέλλοντας τη βιοσύνθεση ανθοκυανών, RNA και πρωτεϊνών) και quinclorac [κινολινοκαρβοξυλικό που δρα εναντίον των αγρωστωδών ζιζανίων αναστέλλοντας τη βιοσύνθεση κυτταρίνης, λόγω αναστολής της δράσης του ενζύμου συνθάση της κυτταρίνης (CESA, cellulose synthase)] (Ελευθεροχωρινός, 2020). Έτσι, συνέβαλαν αποφασιστικά στην αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών ρυζιού. Όμως, πολύ σύντομα (την καλλιεργητική περίοδο του 2004) καταγράφηκε η πρώτη τεκμηριωμένη περίπτωση σταυρεπικονίασης μεταξύ φυτών καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού στο Αρκάνσας των Η.Π.Α (Boyd, 2005). Το υβρίδιο

που δημιουργήθηκε προέκυψε μετά από καλλιέργεια ποικιλίας που διέθετε την τεχνολογία Clearfield για δύο συνεχόμενες καλλιεργητικές περιόδους στον ίδιο ορυζώνα, κατά παρέκκλιση της επιβεβλημένης σύστασης-οδηγίας που υπαγόρευε ότι μια ποικιλία ‘Clearfield’ δεν επιτρέπονταν να την διαδεχθεί μια άλλη ποικιλία ‘Clearfield’ ή κάποια συμβατική ποικιλία ρυζιού στον ίδιο αγρό. Προσέτι, το καλλιεργούμενο είδος που ακολουθούσε στο σύστημα αμειψισποράς ήταν απαραίτητο να δεχθεί επέμβαση με ζιζανιοκτόνο με διαφορετικό μηχανισμό δράσης από εκείνον της ιμιδαζολινόνης imazetahpyr (αναστολέας της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση, ALS). Τέλος, τα φυτά του κόκκινου ρυζιού που διέφευγαν-επιβίωναν των επεμβάσεων ήταν αναγκαίο με προσοχή και σχολαστικότητα να απομακρυνθούν από το έδαφος και να καταστραφούν.

Πρόσφατες έρευνες επέτρεψαν την ανάπτυξη ποικιλιών ρυζιού με ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα-αναστολείς της δράσης του ενζύμου καρβοξυλάση του ακέτυλο Coa (ACCCase) και ειδικότερα στο αρυλοξυφαινοξυπροπιονικό ζιζανιοκτόνο quizalofop-P-ethyl, καθώς και στο cycloxydim (το οποίο ανήκει στη χημική οικογένεια των κυκλοεξανδίων. Οι νέες ποικιλίες ρυζιού είναι γνωστές ως ποικιλίες Provisia® (‘Herbicide-Tolerant Rice Provisia’) και αναπτύχθηκαν για την αποτελεσματική χημική αντιμετώπιση σημαντικών αγρωστωδών ζιζανίων και κυρίως του κόκκινου ρυζιού και των ειδών μουχρίτσας στην καλλιέργεια του ρυζιού, καθώς και ‘φυτών εθελοντών’ εντός των ορυζώνων. Η δημιουργία τους επιτεύχθηκε με τη μεταφορά ενός μεταλλαγμένου γονιδίου ACCCase, το οποίο κωδικοποιεί για ένα τροποποιημένο (ανθεκτικό) ένζυμο ACCCase, το οποίο αποτελεί στόχο-δράσης των ανωτέρω ζιζανιοκτόνων (‘αγρωστωδοκτόνων’). Η ανθεκτικότητα του ενζύμου οφείλεται σε αντικατάσταση του αμινοξέος ισολευκίνη (Ile) από λευκίνη (Leu) στη θέση 1781 (Ile1781-Leu). Όπως και στην περίπτωση των ποικιλιών ‘Clearfield’, η μεταφορά του ανθεκτικού γονιδίου ACCCase έγινε με μεθόδους κλασσικής βελτίωσης και όχι με γενετική τροποποίηση (Ελευθεροχωρινός, 2020). Οι επεμβάσεις των ανωτέρω ζιζανιοκτόνων δεν πρέπει να πραγματοποιούνται όταν τα φυτά του καλλιεργούμενου ρυζιού εμφανίζουν συμπτώματα μπρούτζινου μεταχρωματισμού, υποφέρουν από καταπόνηση λόγω χαμηλών θερμοκρασιών ή από μειωμένη διαθεσιμότητα κάποιου θρεπτικού στοιχείου (τροφοπενία). Οι επεμβάσεις συστήνεται να πραγματοποιούνται όταν τα φυτά του καλλιεργούμενου ρυζιού έχουν υπερβεί το στάδιο των δύο φύλλων και όταν η θερμοκρασία διατηρείται άνω των 18°C τουλάχιστον για τρεις συνεχόμενες ημέρες. Ιδανικά, το quizalofop-P-ethyl ή το cycloxydim δεν θα πρέπει να εφαρμόζονται ταυτόχρονα με κάποιο άλλο/α ζιζανιοκτόνο/α (δεν συστήνεται η συνδυασμένη εφαρμογή τους).

Εν κατακλείδι, η αποτελεσματική καταπολέμηση των άγριων ειδών ρυζιού και του κόκκινου ρυζιού απαιτεί την υιοθέτηση μιας πλήρως ολοκληρωμένης προσέγγισης η οποία προϋποθέτει την εφαρμογή αλληλοσυμπληρούμενων μέτρων-στρατηγικών διαχείρισης και τη λήψη αποφάσεων που βασίζονται στη γνώση και την εμπειρία. Ο συνδυασμός των πρακτικών διαχείρισης ενισχύεται από την έγκριση νέων τεχνολογιών οι οποίες με τη σωστή χρήση τους θα προστατεύσουν την ποσοτική και ποιοτική απόδοση των καλλιεργειών ρυζιού και θα εξασφαλίσουν την αειφορική ανάπτυξη των παραγωγικών αυτών συστημάτων. Οι μολύνσεις των ορυζώνων από το κόκκινο και τα άλλα είδη άγριου ρυζιού αποτρέπονται με τη χρησιμοποίηση αποκλειστικά σπόρου υψηλής ποιότητας και καθαρότητας απαλλαγμένο από την παρουσία σπόρων κόκκινου ρυζιού.

Η χρησιμοποίηση πιστοποιημένου σπόρου ρυζιού απαλλαγμένου από σπόρους κόκκινου ρυζιού είναι ένα από τα σημαντικότερα μέτρα για την μείωση της διασποράς του ζιζανίου στους ορυζώνες (Ziska κ.ά., 2015). Η μείωση της διασποράς εξασφαλίζεται από το ότι η μεγαλύτερη αποδεκτή περιεκτικότητα κόκκινου ρυζιού σε δείγμα βάρους 500g πιστοποιημένου σπόρου σποράς ρυζιού (σύμφωνα με την ΚΥΑ αριθμ. 225020/31.03.2003, ΦΕΚ 492 Β), έχει οριστεί σε 1 σπόρο ζιζανίου για το βασικό σπόρο, 3 σπόρους για τον πιστοποιημένο σπόρο της πρώτης αναπαραγωγής και 5 σπόρους για τον πιστοποιημένο σπόρο δεύτερης αναπαραγωγής. Οι περισσότεροι καλλιεργητές παρά την σπουδαιότητα του μέτρου της χρήσης πιστοποιημένου σπόρου ρυζιού απαλλαγμένου από σπόρους του ζιζανίου, χρησιμοποιούν σπόρο ιδιοπαραγωγής καθώς θεωρούν ότι η αγορά πιστοποιημένου σπόρου αυξάνει το κόστος παραγωγής, χωρίς να αυξάνει ανάλογα την απόδοση του ρυζιού. Βέβαια, αυτό δεν είναι σωστό γιατί οι οικονομικές μελέτες παγκοσμίως δείχνουν ότι οι απώλειες στην καλλιέργεια του ρυζιού που προκαλούνται από τη χρησιμοποίηση για τη σπορά μη πιστοποιημένου σπόρου ρυζιού επιμολυσμένο από σπόρους κόκκινου ρυζιού στο πέραςμα του χρόνου είναι πολύ μεγάλες. Συνεπώς, η αποφυγή αυτών των σημαντικών απωλειών στην ποσοτική και ποιοτική απόδοση των καλλιεργειών δικαιολογεί απολύτως το κόστος αγοράς πιστοποιημένου σπόρου (Ελευθεροχωρινός, 2022c: Ηε κ.ά., 2014).

Εκτός από τη χρήση μη πιστοποιημένου σπόρου, η διαχείριση του κόκκινου ρυζιού, μπορεί να επηρεαστεί από τις άμεσες και έμμεσες επιδράσεις των μεταβαλλόμενων παραγόντων του κλίματος (δηλαδή τα επίπεδα του CO₂ στην ατμόσφαιρα, τη σχετική υγρασία, τη συχνότητα και το ύψος των βροχοπτώσεων, τον άνεμο). Αυτό οφείλεται στη επίδραση των ανωτέρω παραγόντων του κλίματος στη δράση και την εκλεκτικότητα των ζιζανιοκτόνων στα φυτά του ζιζανίου και της καλλιέργειας αντίστοιχα, καθώς αυτές διαμορφώνουν σημαντικά τις διαδικασίες απομάκρυνσής τους από τα φύλλα ή από το έδαφος. Επιπλέον, η αύξηση της

θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τα υψηλά επίπεδα υγρασίας στο έδαφος, μπορεί να επισπεύσει τη χημική διάσπαση και τη μικροβιακή αποδόμηση των ζιζανιοκτόνων εδάφους, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της υπολειμματικής τους δράσης (Raza κ.ά., 2019). Ακόμη, οι βροχοπτώσεις μπορούν να ευνοήσουν την έκπλυση των ζιζανιοκτόνων εδάφους pretilachlor, flufenacet, s-metolachlor (τα οποία όπως προαναφέρθηκε συστήνεται να χρησιμοποιούνται πριν τη σπορά της καλλιέργειας), με αποτέλεσμα τη μείωση της δράσης τους, αλλά κυρίως τον κίνδυνο εκδήλωσης φυτοτοξικότητας στα φυτά των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού.

Επίσης, η αύξηση της παρουσίας ζιζανίων στους ορυζώνες οφείλεται κυρίως στην αυξανόμενη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και στην επικράτηση περισσότερο θερμών χειμερινών περιόδων, η οποία έχει αποτέλεσμα την αύξηση της χρήσης ζιζανιοκτόνων για την χημική διαχείριση των εντεινόμενων σοβαρών επιπτώσεων της παρουσίας των ζιζανίων στις καλλιέργειες ρυζιού. Αυτό, ακολούθως συντελεί στην αύξηση του κόστους παραγωγής, αλλά και της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Η αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων των ζιζανιοκτόνων επηρεάζεται από τα μορφολογικά, βιοχημικά, φυσιολογικά και γενετικά χαρακτηριστικά των ζιζανίων-στόχων. Ακόμη, ο αναμενόμενος ταχύτερος ρυθμός αύξησης και ανάπτυξης των φυτών του κόκκινου ρυζιού θα μειώσει το χρονικό διάστημα ευαισθησίας τους (ιδανικό στάδιο ανάπτυξης) στην εφαρμογή μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων, γεγονός που έχει ως συνέπεια την μείωση της δράσης τους λόγω μη έγκαιρης εφαρμογής (Ελευθεροχωρινός, 2022a; Fogliatto κ.ά., 2020; Wolfe κ.ά., 2018).

Προσέτι, η δράση των διασυστηματικών ζιζανιοκτόνων μπορεί να μειωθεί εξαιτίας της μειωμένης απορρόφησης και μετακίνησής τους ή/και του ταχύτερου μεταβολισμού που υφίστανται εντός των φυτών του κόκκινου ρυζιού. Από την άλλη, ο ταχύτερος ρυθμός αύξησης της καλλιέργειας του ρυζιού μπορεί να βελτιώσει την εκλεκτικότητα των ζιζανιοκτόνων μέσω της επιτάχυνσης του ρυθμού μεταβολισμού και αραίωσης των ζιζανιοκτόνων εντός των φυτών, με αποτέλεσμα τη μείωση των υπολειμμάτων τους στο ρύζι (Jabran και Dogan, 2018; Matzrafi κ.ά., 2019).

Η δράση-αποτελεσματικότητα κάποιων ζιζανιοκτόνων, εκτός από τις μεταβολές του κλίματος, επηρεάζεται και από τον τύπο προέλευσης (*japonica*, *indica*) του κόκκινου ρυζιού που επικρατεί στους ορυζώνες. Αυτό ισχύει για το ζιζανιοκτόνο benzobicyclon (αναστολέας της δράσης του ενζύμου 4-HPPD), το οποίο είναι λιγότερα δραστικό εναντίον πληθυσμών κόκκινου ρυζιού που προέρχονται από το ρύζι τύπου *japonica*, συγκριτικά με πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού που προέρχονται από ρύζι τύπου *indica* (Young, 2017). Η ίδια διαπίστωση επιβεβαιώθηκε και για την εκλεκτικότητα αυτού του ζιζανιοκτόνου από τους Young κ.ά., (2017), οι οποίοι έδειξαν ότι οι ποικιλίες ρυζιού τύπου *japonica* παρουσιάζουν υψηλή αντοχή

στην εφαρμογή του benzobicyclon, ενώ οι ποικιλίες τύπου indica αποδείχθηκαν σχετικά ευαίσθητες.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις καθιστούν αναγκαία: (1) την ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης του κόκκινου ρυζιού, (2) τη δημιουργία βάσης δεδομένων, (3) την ετοιμότητα των ειδικών και των παραγωγών, (4) τη χρησιμοποίηση συνδυασμένων μεθόδων διαχείρισης με υιοθέτηση διετούς ή τριετούς αμειψισποράς και της χρήσης πιστοποιημένου σπόρου, (5) την αξιοποίηση της καινοτόμου ψηφιακής τεχνολογίας (εφαρμογή συστημάτων γεωργίας ακριβείας) και κυρίως, (6) τον συνεχή έλεγχο από την εφαρμογή των μεθόδων (Ελευθεροχωρινός, 2022).

3.5.1 Επιλογή του καταλληλότερου ζιζανιοκτόνου για αποτελεσματική και οικονομική αντιμετώπιση ζιζανίων

Η επιλογή ενός ζιζανιοκτόνου στην καλλιέργεια του ρυζιού καθορίζεται από δύο πρωταρχικούς παράγοντες: (1) την αποτελεσματικότητά του στην καταπολέμηση σημαντικών ζιζανίων και (2) την ευελιξία στο χρόνο πραγματοποίησης της επέμβασης, γεγονός που επιτρέπει την εκτέλεση του ψεκασμού σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας και των ζιζανίων-στόχων. Επιπλέον, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η ικανότητα του ζιζανιοκτόνου να καταπολεμά αποτελεσματικά πληθυσμούς ζιζανίων που έχουν ήδη αναπτύξει ανθεκτικότητα μετά από παρατεταμένη έκθεση και επαναλαμβανόμενες εφαρμογές άλλων εγκεκριμένων ζιζανιοκτόνων στην καλλιέργεια του ρυζιού. Ειδικότερα, μελέτες που εκπονήθηκαν στη χώρα μας αναφορικά με τη διερεύνηση επιλογής ανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα σε πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού, διαπιστώθηκε ότι επιλέχθηκαν πληθυσμοί του ζιζανίου με ανθεκτικότητα στην ιμιδαζολινόνη imazamox σε ορυζώνες των Νομών Θεσσαλονίκης και Αιτωλοακαρνανίας (Kaloumenos κ.ά., 2013; Παπαπαναγιώτου κ.ά., 2017).

Πέραν των προαναφερθέντων μέτρων-στρατηγικών διαχείρισης, ιδιαίτερη μνεία αξίζει στην τεχνική της ‘ψευδοσποράς’ η οποία αποσκοπεί με κατάλληλα καλλιεργητικά μέτρα στη διέγερση/πρόκληση του φυτρώματος των σπόρων του κόκκινου ρυζιού και άλλων σημαντικών αγρωστωδών ζιζανίων (είδη μουχρίτσας) στην καλλιέργεια του ρυζιού (Ελευθεροχωρινός, 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε σε πειράματα φυτοδοχείων η ανταγωνιστική ικανότητα επτά πληθυσμών του ζιζανίου κόκκινο ρύζι (*Oryza sativa*. var. *sivlatica*) με διαφορετικά χαρακτηριστικά ταξιανθίας, όταν αναπτύσσονταν ταυτόχρονα σε συνθήκες ανταγωνισμού με φυτά της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo. Η ποικιλία Ronaldo αποτελεί μια από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες ποικιλίες ρυζιού στη χώρα μας, καταλαμβάνοντας σημαντική καλλιεργούμενη έκταση στις περιοχές-ζώνες ορυζοκαλλιέργειας. Η ποικιλία Ronaldo δεν διαθέτει την τεχνολογία ‘Clearfied’ που επιτρέπει στα φυτά να εμφανίζουν ανθεκτικότητα στις μεταφυτρωτικές επεμβάσεις ζιζανιοκτόνων (imazamox) που ανήκουν στη χημική οικογένεια των ιμιδαζολινών, αλλά εγκαθίσταται στους ορυζώνες κατ’ εναλλαγή με τις ‘Clearfied’ ποικιλίες για διαχείριση του ενδεχόμενου ρίσκου και επιβράδυνση της ανάπτυξης ανθεκτικότητας στο imazamox, κυρίως λόγω ‘γονιδιακής ροής’ (gene flow), δηλαδή μεταφοράς μέσω της γύρης από φυτά των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού στα φυτά του κόκκινου ρυζιού του τροποποιημένου *ALS* γονιδίου που καθιστά τα φυτά ανθεκτικά στις ιμιδαζολινόνες.

Οι πληθυσμοί του κόκκινου ρυζιού που συλλέχθηκαν και αξιολογήθηκαν στην παρούσα μελέτη είχαν διαφορετικά χαρακτηριστικά ταξιανθίας (ταξιανθία όρθιας ή πλάγιας έκφυσης, ύπαρξη ή μη αγάνων, μήκος και χρώμα αγάνων και χρώμα λεπύρων) για να μελετηθεί αν κάποιοι πληθυσμοί με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ταξιανθίας εμφανίζουν υψηλότερη ανταγωνιστική ικανότητα και συντελούν σε μεγαλύτερη πρόκληση απωλειών στις καλλιεργούμενες ποικιλίες ρυζιού. Στον Πίνακα 3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η προέλευση κάθε πληθυσμού του ζιζανίου, η ανταπόκρισή του στο ζιζανιοκτόνο imazamox (ανθεκτικός ή ευαίσθητος) και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ταξιανθίας του, ενώ στις Εικόνες 7, 8 και 9 αποτυπώνεται η μορφή των ταξιανθιών ορισμένων πληθυσμών του ζιζανίου.

Πίνακας 3. Πληθυσμοί, προέλευση, χαρακτηρισμός (ανθεκτικότητα-ευαισθησία σε ζιζανιοκτόνα) και χαρακτηριστικά ταξιανθίας επιλεγμένων πληθυσμών κόκκινου ρυζιού.

Βιότυποι κόκκινου ρυζιού	Περιοχή προέλευσης	Χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας	Χαρακτηριστικά ταξιανθίας
2	Βαλτοχώρι	ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΣ στο imazamox	Ανοικτή ταξιανθία με κλίση προς τα κάτω, με αχρωδούς απόχρωσης λέπυρα, με μακρύ, μαύρο άγανο
6	Βαλτοχώρι	ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΣ στο imazamox	Ανοικτή ταξιανθία με αχρωδούς

			απόχρωσης λέπυρα, με καφέ-κόκκινο άγανο
13	Χαλάστρα	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΣ στο imazamox (δόσεις x, 2x)	Ταξιανθία χαλαρή, καμπτόμενη προς τα κάτω, με 'αχυρώδη' λέπυρα, με μαύρο άγανο μικρού-μεσαίου μεγέθους
18	Χαλάστρα	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΣ στο imazamox (δόσεις x, 2x)	Ανοικτή ταξιανθία, με αχυρώδους απόχρωσης λέπυρα, με καφέ, μέσου μήκους άγανο (τα περισσότερα)
28	Χαλάστρα	ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΣ στο imazamox	Ανοικτή ταξιανθία, με αχυρώδους απόχρωσης λέπυρα, με κοντό έως μέτριου μήκους άγανο, καφέ χρώματος
31	Χαλάστρα	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΣ στο imazamox (δόσεις x, 2x)	'Ημι-χαλαρή'-'κάπως κλειστή' ταξιανθία, με αχυρώδους απόχρωσης λέπυρα, με καφέ-κόκκινης απόχρωσης, μεγάλου μήκους άγανο
32	Χαλάστρα	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΣ στο imazamox (δόσεις x, 2x)	Ανοικτή ταξιανθία, με αχυρώδους απόχρωσης λέπυρα, με μαύρα, μεγάλου μήκους άγανα (τα περισσότερα)



Εικόνα 7. Ταξιανθία φυτού του ευαίσθητου στο imazamox πληθυσμού κόκκινου ρυζιού 2.



Εικόνα 8. Ταξιανθία φυτού του ανθεκτική στο imazamox πληθυσμού κόκκινου ρυζιού 13.



Εικόνα 9. Ταξιανθία πληθυσμού κόκκινου ρυζιού 31.

Οι πληθυσμοί του ζιζανίου κόκκινο ρύζι συλλέχθηκαν από ορυζώνες του νομού Θεσσαλονίκης στους οποίους είχαν πραγματοποιηθεί επεμβάσεις με ζιζανιοκτόνα και τα φυτά εντός των ορυζώνων είχαν επιβιώσει των επεμβάσεων. Λίγο πριν την έναρξη αλωνισμού των ποικιλιών του καλλιεργούμενου ρυζιού, ώριμοι σπόροι των φυτών κάθε πληθυσμού συλλέχθηκαν με το χέρι από ικανό αριθμό φυτών (τουλάχιστον 60-80 φυτά), τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο. Εκεί, μετά την απομάκρυνση των ξένων υλών και ανώριμων ή λισβών σπόρων, αφέθηκαν να στεγνώσουν για διάστημα 2 μηνών και ακολούθως τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες και παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι την αξιολόγηση της ανταπόκρισής τους σε ζιζανιοκτόνα σε πειράματα φυτοδοχείων την επόμενη άνοιξη.

Από τους επτά πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού που αξιολογήθηκαν στην παρούσα μελέτη σε πειράματα φυτοδοχείων, οι τέσσερις (13, 18, 31, 32) χαρακτηρίστηκαν ανθεκτικοί στο ζιζανιοκτόνο imazamox το οποίο ανήκει στη χημική οικογένεια των ιμιδαζολινών (ALS-αναστολέων). Ειδικότερα, οι ανωτέρω πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού δεν καταπολεμήθηκαν σε

πειράματα φυτοδοχείων ούτε με εφαρμογή της διπλάσιας της συνιστώμενης (2x) δόσης του imazamox (Πίνακας 3), ενώ αποδείχθηκαν ευαίσθητοι τόσο στη συνιστώμενη (x), όσο και τη διπλάσια της συνιστώμενης (2x) δόσης των ζιζανιοκτόνων cycloxydim και quizalofop-P-ethyl, ο μηχανισμός δράσης των οποίων είναι η αναστολή της δράσης του ενζύμου καρβοξυλάση του ακέτυλο CoA (ACCCase) (τα στοιχεία δεν παρατίθενται). Το cycloxydim έχει έγκριση για τη χημική αντιμετώπιση του κόκκινου ρυζιού, ειδών μουχρίτσας (*Echinochloa oryzicola*, *E. oryzoides*, *E. crus-galli*) και λεπτοχλόης (*Leptochloa fascicularis*) με την πραγματοποίηση καθολικών, εκλεκτικών μεταφυτρωτικών επεμβάσεων αποκλειστικά σε ποικιλίες ρυζιού Provisia[®], ενώ το quizalofop-P-ethyl εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση αγρωστωδών ζιζανίων που έχουν φυτρώσει μετά από πραγματοποίηση ψευδοσποράς, πριν το φύτευμα των φυτών του καλλιεργούμενου ρυζιού (δεν διαθέτει εκλεκτικότητα έναντι του ρυζιού).

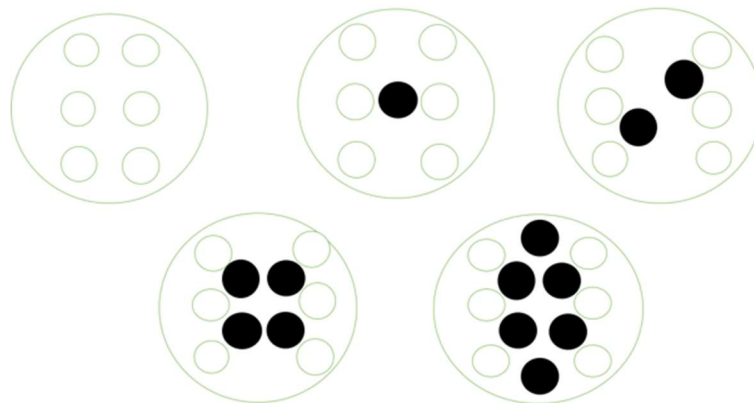
Αντίθετα, τρεις πληθυσμοί (2, 6, 28) συλλέχθηκαν από τα περιθώρια ορυζώνων οι οποίοι δεν δέχονταν συστηματικά επεμβάσεις ζιζανιοκτόνων και η επέμβαση των παραγωγών που πραγματοποιήθηκε κατά την τρέχουσα καλλιεργητική περίοδο συνετέλεσε σε άριστη καταπολέμηση των φυτών του κόκκινου ρυζιού. Η ευαισθησία των ανωτέρω πληθυσμών επιβεβαιώθηκε στα πειράματα φυτοδοχείων στα οποία η εφαρμογή των δόσεων x και 2x του imazamox αλλά και των ζιζανιοκτόνων-αναστολέων της δράσης του ενζύμου ACCCase (cycloxydim και quizalofop-P-ethyl) καταπολέμησαν άριστα (100%) τα φυτά στο στάδιο των 3-4 φύλλων (ιδανικό στάδιο ανάπτυξης για την πραγματοποίηση μεταφυτρωτικών επεμβάσεων εναντίον του κόκκινου ρυζιού και άλλων σημαντικών αγρωστωδών ζιζανίων). Οι τέσσερις χαρακτηρισμένοι σε πειράματα φυτοδοχείων ανθεκτικοί και οι τρεις ευαίσθητοι πληθυσμός του ζιζανίου αξιολογήθηκαν περαιτέρω σε πειράματα ανταγωνισμού με την ποικιλία ρυζιού Ronaldo.

Οι σπόροι της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo καθώς και των πληθυσμών του ζιζανίου σπάρθηκαν αρχικά σε σπορεία σε εδαφικό μίγμα τύρφης και άμμου (σε αναλογία 1:1) τα οποία ποτίζονταν συστηματικά ώστε να διατηρούν σταθερά υψηλά επίπεδα εδαφικής υγρασίας (στο επίπεδο της υδατοϊκανότητας). Νεαρά σπορόφυτα καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού μεταφυτεύθηκαν στα φυτοδοχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα όταν αναπτύχθηκαν μέχρι το στάδιο των δύο φύλλων.

Δύο πανομοιότυπα πειράματα εγκαταστάθηκαν στο Αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών στη Φλώρινα. Κατά την εγκατάσταση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά φυτοδοχεία διαστάσεων 20 x 14 x 13cm, χωρητικότητας 2.5lt, τα οποία γεμίστηκαν με μίγμα εδάφους:τύρφης:άμμου σε αναλογία 2:1:1. Το έδαφος προήλθε από το Αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας στη Φλώρινα και είχε τα

ακόλουθα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά: αμμοπηλώδες από άποψη μηχανικής σύστασης (άμμος 64%, ιλύς 23%, άργιλος 13%), με ηλεκτρική αγωγιμότητα 249 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH: 6.2, οργανική ουσία 0.64%, ολικό CaCO_3 0.46%, ενεργό CaCO_3 0.40%. Η ανταγωνιστική ικανότητα των πληθυσμών κόκκινου ρυζιού με διαφορετικά χαρακτηριστικά ταξιανθίας έναντι της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo, αξιολογήθηκε σε πέντε διαφορετικές πυκνότητες: [6:0 (στα φυτοδοχεία μεταφυτεύθηκαν και αναπτύχθηκαν αμιγώς 6 φυτά κάθε ποικιλίας ρυζιού και κανένα φυτό του ζιζανίου κόκκινο ρύζι), 6:1 (στα φυτοδοχεία μεταφυτεύθηκαν και αναπτύχθηκαν 6 φυτά ρυζιού και ένα φυτό του ζιζανίου κόκκινο ρύζι), 6:2 (στα φυτοδοχεία μεταφυτεύθηκαν και αναπτύχθηκαν 6 φυτά ρυζιού και δύο φυτά κόκκινου ρυζιού), 6:4 (στα φυτοδοχεία μεταφυτεύθηκαν και αναπτύχθηκαν 6 φυτά ρυζιού και τέσσερα φυτά κόκκινου ρυζιού), 6:6 (στα φυτοδοχεία μεταφυτεύθηκαν και αναπτύχθηκαν 6 φυτά ρυζιού και έξι φυτά κόκκινου ρυζιού)].

Τα φυτά του ρυζιού και των πληθυσμών του κόκκινου ρυζιού τοποθετήθηκαν σε συγκεκριμένες θέσεις σε κάθε φυτοδοχείο χρησιμοποιώντας ένα εκμαγείο (template) (Σχήμα 9), ώστε να διασφαλιστεί η ακριβής θέση κάθε φυτού και κατ' επέκταση η ομοιομορφία των συνθηκών ανταγωνισμού στην οποία εκτέθηκαν τα φυτά του καλλιεργούμενου ρυζιού και του ζιζανίου.



Σχήμα 9. Σχηματική αναπαράσταση των διαφορετικών πυκνοτήτων που αξιολογήθηκαν ώστε να μελετηθεί η ανταγωνιστική ικανότητα επτά πληθυσμών κόκκινου ρυζιού έναντι της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo [τα φυτά του ρυζιού αποδίδονται με τους άσπρους, ενώ τα φυτά του ζιζανίου με τους μαύρους κύκλους].

Η αρχική εγκατάσταση των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε εντός του θερμοκηπίου του Τμήματος Γεωπονίας. Μετά από λίγες ημέρες όταν είχαν επιτυχώς εγκατασταθεί μετά τη μεταφύτευση όλα τα φυτά εντός των φυτοδοχείων, όλα τα φυτοδοχεία μεταφέρθηκαν σε

υπαίθριο χώρο (Εικόνα 10), όπου αναπτύχθηκαν εκτεθειμένα στις επικρατούσες συνθήκες φωτισμού, θερμοκρασίας και υγρασίας.



Εικόνα 10. Πείραμα ανταγωνισμού ποικιλίας ρυζιού Ronaldo και επτά πληθυσμών του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.

Τα φυτά των ποικιλιών ρυζιού και του ζιζανίου εντός των φυτοδοχείων δέχονταν καθημερινή άρδευση μέχρι του σημείου υδατοϊκανότητας, καθώς και λίπανση δύο φορές την εβδομάδα. Οι μεταχειρίσεις αυτές αποσκοπούσαν στην εξασφάλιση ιδανικών συνθηκών βλαστικής ανάπτυξης και στην απουσία έκθεσης σε συνθήκες καταπόνησης των φυτών τα

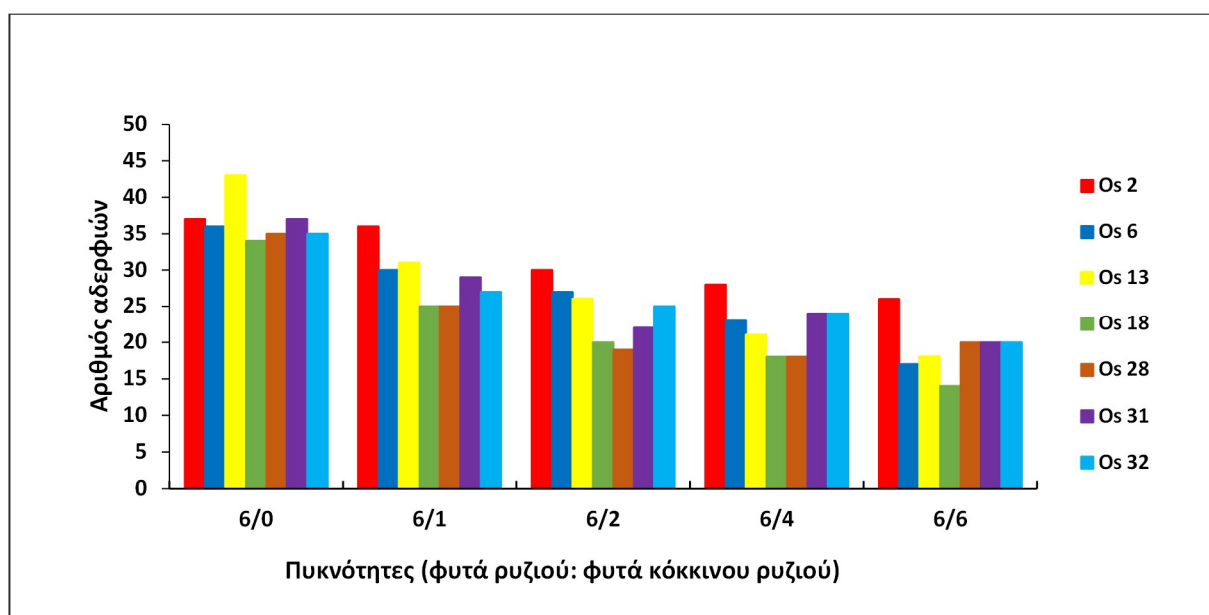
οποία αναπτύσσονταν υπό συνθήκες ανταγωνισμού. Πενήντα ημέρες μετά τη μεταφύτευση των νεαρών σποροφύτων του ρυζιού και του κόκκινου ρυζιού στις οριστικές τους θέσεις σε συγκεκριμένες πυκνότητες στα φυτοδοχεία, ολοκληρώθηκε το πείραμα και πραγματοποιήθηκε η συγκομιδή των φυτών. Ειδικότερα, μετρήθηκε και καταγράφηκε ο αριθμός των βλαστών (αδελφιών) που σχηματίστηκαν στη διάρκεια του πειράματος, καθώς και η υπέργεια βιομάζα (χλωρό βάρος) των φυτών τόσο του καλλιεργούμενου είδους όσο και του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.

Για κάθε ένα από τα δύο πειράματα χρησιμοποιήθηκε το πλήρως τυχαιοποιημένο πειραματικό σχέδιο με τρεις επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση. Το πείραμα επαναλήφθηκε δύο φορές για την μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Για τη σύγκριση της ανταγωνιστικής ικανότητας των 4 ανθεκτικών και των 3 ευαίσθητων στο ζιζανιοκτόνο imazamox πληθυσμού κόκκινου ρυζιού και της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo, πραγματοποιήθηκε μια συνδυασμένη ANOVA για τα δεδομένα του αριθμού των στελεχών (αδελφιών) και του χλωρού βάρους, χρησιμοποιώντας μια στατιστική προσέγγιση $2 \times 7 \times 5 \times 3$ (δύο πειράματα επί 7 πληθυσμοί επί 5 πυκνότητες επί 3 επαναλήψεις) (οι πληθυσμοί ήταν οι κύριες ομάδες και οι πυκνότητες οι υποομάδες). Η σύγκριση των μέσων όρων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (ΕΣΔ) και σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η συνδυασμένη ανάλυση της παραλλακτικότητας δεν κατέδειξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταχειρίσεων και του χρόνου κατά τον οποίο πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα. Έτσι, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των δύο πειραμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΡΥΖΙΟΥ και ΛΕΠΤΟΧΛΟΗΣ

Τα αποτελέσματα της μελέτης του ανταγωνισμού που αναπτύχθηκε σε πειράματα φυτοδοχείων μεταξύ φυτών 7 επιλεγμένων πληθυσμών (4 ανθεκτικών και 3 ευαίσθητων στην ιμιδαζολινόνη imazamox (αναστολέας της δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση, ALS) του ζιζανίου κόκκινο ρύζι με φυτά της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo, παρατίθενται στα Σχήματα 10 (για τον αριθμό των παραγόμενων αδελφιών) και 11 (για την παραγωγή χλωρού βάρους (υπέργεια βιομάζα).

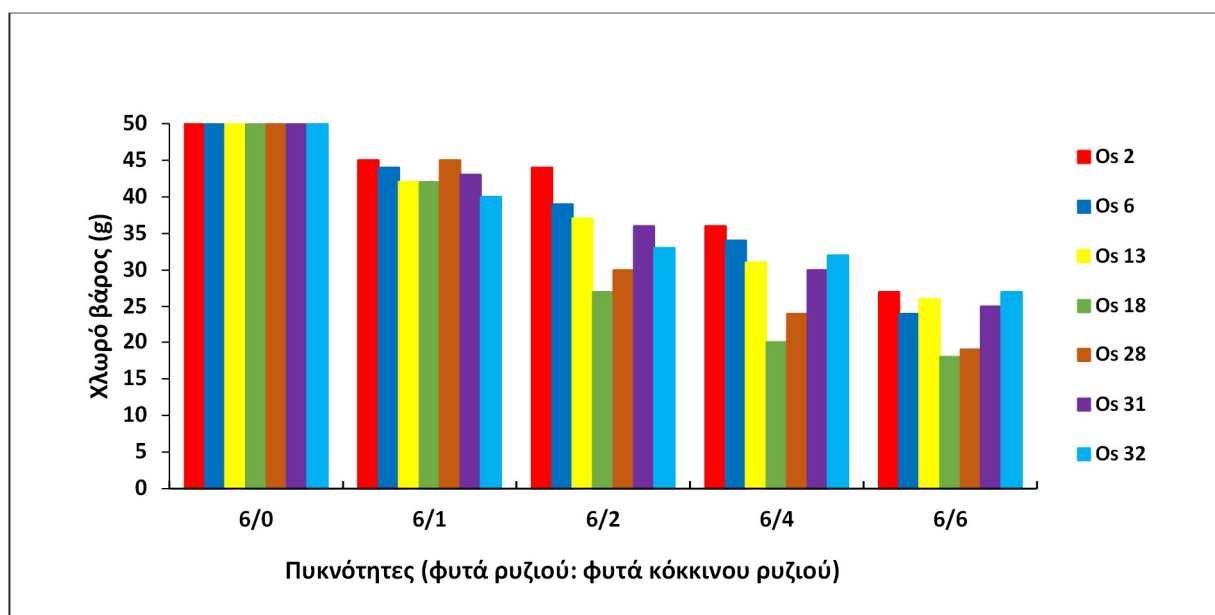


Σχήμα 10. Επίδραση ανταγωνισμού των επτά πληθυσμών κόκκινου ρυζιού στην παραγωγή αδελφιών των φυτών της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo.

Ο ανταγωνισμός που ανέπτυξαν τα φυτά του κόκκινου ρυζιού προκάλεσε μείωση στον αριθμό των παραγόμενων αδελφιών των φυτών της ποικιλίας Ronaldo, αυξανόμενης της πυκνότητας (αριθμού φυτών) των πληθυσμών του ζιζανίου. Όπως αναμένονταν, η μεγαλύτερη μείωση του αριθμού των αδελφιών των φυτών της ποικιλίας Ronaldo καταγράφηκε από τον ανταγωνισμό που υπέστησαν από την παρουσία 6 φυτών κόκκινου ρυζιού κάθε πληθυσμού. Η μείωση του αριθμού των αδελφιών των φυτών της ποικιλίας Ronaldo από την παρουσία 1, 2, 4 και 6 φυτών των πληθυσμών 18 (ανθεκτικός) και 28 (ευαίσθητος) ήταν 26%, 41%, 47% και

58% και 28%, 45%, 48% και 42%, αντίστοιχα (Σχήμα 10). Το μικρότερο αριθμό αδερφιών (14 αδέρφια) παρήγαγαν τα φυτά του ρυζιού από τον ανταγωνισμό 6 φυτών του ανθεκτικού στο imazamox πληθυσμού 18, ενώ παρήγαγαν 17 και 18 αδέρφια, συνέπεια ανταγωνισμού από τα φυτά των πληθυσμών 6 (ευαίσθητος) και 13 (ανθεκτικός στο imazamox), αντίστοιχα. Τη μικρότερη επίδραση στον αριθμό των παραγόμενων αδερφιών των φυτών ρυζιού εμφάνισε ο ευαίσθητος στο imazamox πληθυσμός κόκκινου ρυζιού 2, καθώς η παρουσία 1, 2, 4, και 6 φυτών κόκκινου ρυζιού προκάλεσε μείωση του αριθμού των αδερφιών της ποικιλίας Ronaldo κατά 2%, 18%, 24% και 29%, αντίστοιχα (Σχήμα 10). Γενικά, οι περισσότεροι πληθυσμοί του ζιζανίου συνετέλεσαν σε παραπλήσια μείωση του αριθμού των αδερφιών των φυτών της ποικιλίας Ronaldo.

Η ανταπόκριση των φυτών της ποικιλίας Ronaldo στην παραγωγή υπέργεια βιομάζας από την αυξανόμενη πυκνότητα των φυτών κόκκινου ρυζιού ανά φυτοδοχείο των επιλεχθέντων πληθυσμών του ζιζανίου αποδίδεται στο Σχήμα 11.

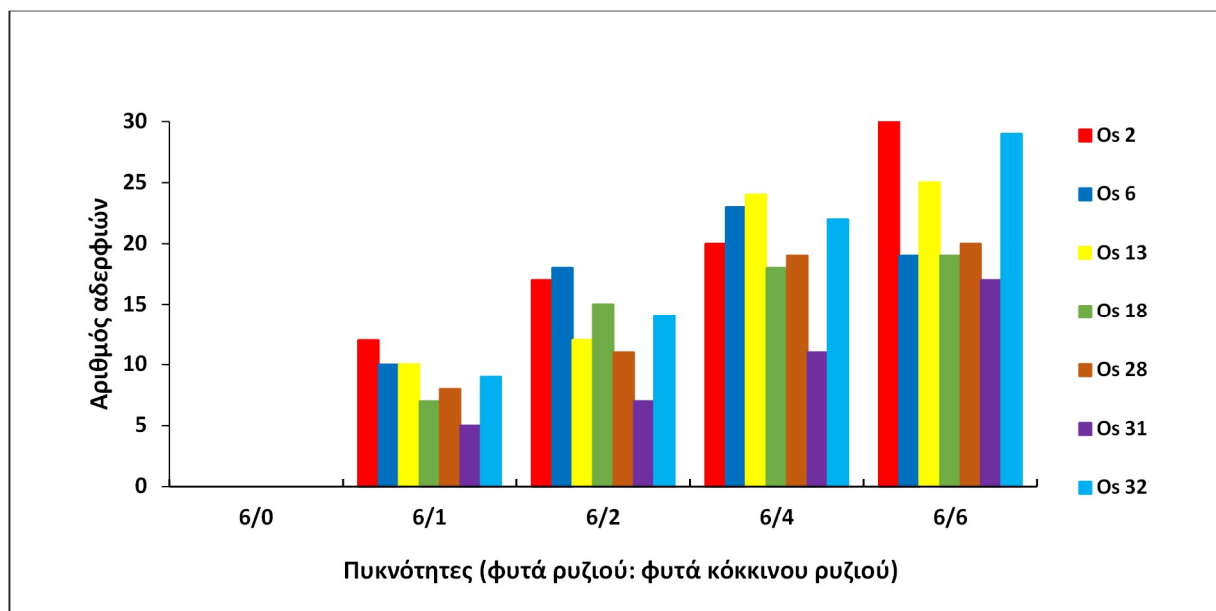


Σχήμα 11. Επίδραση ανταγωνισμού των επτά πληθυσμών κόκκινου ρυζιού στην παραγωγή υπέργεια βιομάζας (χλωρού βάρους) των φυτών της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo.

Ομοίως, με τον αριθμό των αδερφιών, η σταδιακή αύξηση του αριθμού των φυτών του ζιζανίου ανά φυτοδοχείο συνετέλεσε σε μείωση του χλωρού βάρους των φυτών της καλλιεργούμενης ποικιλίας ρυζιού. Την υψηλότερη ανταγωνιστική δράση που οδήγησε στη μικρότερη υπέργεια βιομάζα (χλωρό βάρος) της ποικιλίας Ronaldo κατέγραψε ο πληθυσμός κόκκινου ρυζιού 18, ακολουθούμενος από τον ευαίσθητο στο ζιζανιοκτόνο imazamox πληθυσμό 28. Η μείωση του χλωρού βάρους των φυτών της ποικιλίας Ronaldo από την

παρουσία 1, 2, 4 και 6 φυτών των πληθυσμών 18 και 28 ήταν 19%, 48%, 61% και 65% και 11%, 41%, 53% και 63%, αντίστοιχα (Σχήμα 11). Οι υπόλοιποι πληθυσμοί του ζιζανίου, είτε οι ανθεκτικοί (13, 31, 32) είτε οι ευαίσθητοι (2, 6) δεν είχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς τη μείωση που προκάλεσαν στην υπέργεια βιομάζα της καλλιεργούμενης ποικιλίας. Ειδικότερα, οι ανθεκτικοί στο πληθυσμοί 13, 31 και 32 προκάλεσαν με την παρουσία 1, 2, 4 και 6 φυτών τα οποία αναπτύσσονταν μεταξύ των 6 φυτών της ποικιλίας Ronaldo μείωση της υπέργειας βιομάζας των φυτών ρυζιού κατά 20%, 30%, 41% και 50% ο πρώτος, κατά 18%, 32%, 43% και 52% ο δεύτερος και κατά 27%, 40%, 41% και 50% ο τρίτος (Σχήμα 11). Παραπλήσια ήταν και η μείωση του χλωρού βάρους των φυτών της ποικιλίας από τον ανταγωνισμό που υπέστησαν από τα φυτά των ευαίσθητων πληθυσμών κόκκινου ρυζιού 2 και 6. Σε γενικές γραμμές, οι πληθυσμοί του ζιζανίου που αξιολογήθηκαν στην παρούσα μελέτη δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στην ανταγωνιστική ικανότητα που εκδήλωσαν σε βάρος των φυτών της ποικιλίας Ronaldo, προκαλώντας παραπλήσια μείωση στο χλωρό βάρος των φυτών του ρυζιού.

Η επίπτωση του ανταγωνισμού που αναπτύχθηκε μεταξύ της καλλιεργούμενης ποικιλίας και των πληθυσμών του ζιζανίου στην παραγωγή αδερφιών των φυτών του κόκκινου ρυζιού αποδίδεται στο Σχήμα 12 που ακολουθεί.

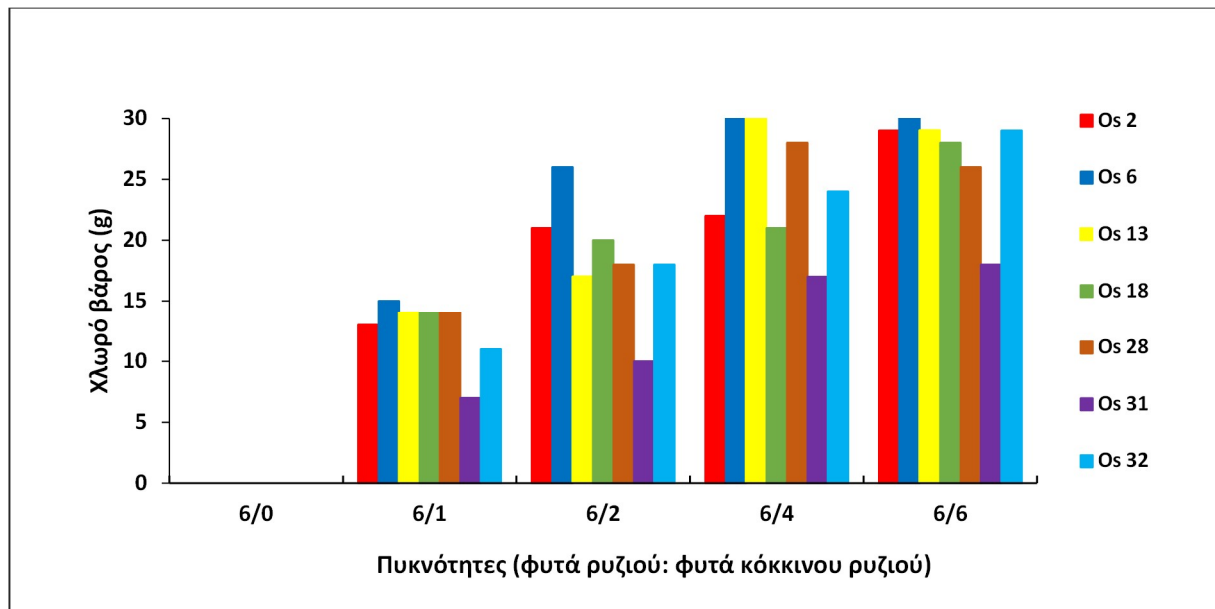


Σχήμα 12. Επίδραση του ανταγωνισμού της ποικιλίας ρυζιού στην παραγωγή αδερφιών των 7 πληθυσμών (4 ανθεκτικών και 3 ευαίσθητων στο imazamox) του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.

Οι περισσότεροι πληθυσμοί του κόκκινου ρυζιού που αξιολογήθηκαν στην παρούσα μελέτη παράγααν παραπλήσιο αριθμό βλαστών (αδερφιών) εκτεθειμένοι στον ανταγωνισμό

από φυτά της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo. Τον μεγαλύτερο αριθμό αδερφιών παράγαγε ο ευαίσθητος στο imazamox πληθυσμός 2, καθώς όταν αναπτύσσονταν 1, 2, 4 και 6 φυτά του πληθυσμού σε φυτοδοχεία μαζί με 6 φυτά της ποικιλίας Ronaldo, παράγαγαν 12, 17, 20 και 33 αδέρφια, αντίστοιχα. Τον ακολούθησε (ιδιαίτερα στις υψηλές πυκνότητες) ο ανθεκτικός πληθυσμός 32 ο οποίος παράγαγε 9, 14, 22 και 29 αδέρφια στα φυτοδοχεία όπου αναπτύσσονταν 1, 2, 4 και 6 φυτά του σε ανταγωνισμό με τα φυτά της ποικιλίας Ronaldo (Σχήμα 12).

Η επίπτωση του ανταγωνισμού που αναπτύχθηκε μεταξύ της καλλιεργούμενης ποικιλίας και των πληθυσμών του ζιζανίου στην παραγωγή υπέργειας βιομάζας (χλωρού βάρους) των φυτών του κόκκινου ρυζιού αποδίδεται στο Σχήμα 13 που ακολουθεί.



Σχήμα 13. Επίδραση του ανταγωνισμού της ποικιλίας ρυζιού στην παραγωγή υπέργειας βιομάζας (χλωρού βάρους) των 7 πληθυσμών (4 ανθεκτικών και 3 ευαίσθητων στο imazamox) του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.

Το χλωρό βάρος των φυτών των πληθυσμών του κόκκινου ρυζιού αυξήθηκε σταδιακά, αυξανόμενη της πυκνότητας των φυτών που αναπτύσσονταν σε κάθε φυτοδοχείο. Το μεγαλύτερο χλωρό βάρος παράγαγαν τα φυτά του ευαίσθητου στο imazamox πληθυσμού 6 (15g, 26g, 39g και 31g στις πυκνότητες 1, 2, 4 και 6 φυτά ανά φυτοδοχείο) ακολουθούμενα από τα φυτά του επίσης ευαίσθητου πληθυσμού 2 (παραγωγή υπέργειας βιομάζας 13g, 21g, 22g και 29g, αντίστοιχα) (Σχήμα 13). Επίσης, συγκριτικά με τους υπόλοιπους πληθυσμούς ο ανθεκτικός πληθυσμός 13 παράγαγε αξιόλογη βιομάζα στις περισσότερες από τις αξιολογηθείσες πυκνότητες (14g, 17g, 32g, 29g στις πυκνότητες 1, 2, 4 και 6 φυτά ανά

φυτοδοχείο, αντίστοιχα). Γενικότερα, όπως και στο χαρακτηριστικό της παραγωγής αδερφιών έτσι και στην παραγωγή υπέργεια βιομάζας δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των πληθυσμών κόκκινου ρυζιού με τα διαφορετικά χαρακτηριστικά ταξιανθίας.

Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας υποστηρίζουν ότι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της ταξιανθίας των πληθυσμών του ζιζανίου κόκκινο ρύζι δεν φαίνεται να συνδέονται με την ανταγωνιστική ικανότητα των πληθυσμών του ζιζανίου σε βάρος των φυτών της ποικιλίας ρυζιού Ronaldo. Επίσης, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην ανταγωνιστική ικανότητα των πληθυσμών κόκκινου ρυζιού (είτε ήταν ευαίσθητοι είτε ανθεκτικοί στο imazamox (λόγω κυρίως γονιδιακής ροής), καθώς προκάλεσαν παραπλήσια μείωση στον αριθμό των παραγόμενων αδερφιών καθώς και στην υπέργεια βιομάζα (χλωρό βάρος) των φυτών ρυζιού της ποικιλίας Ronaldo.

Το ρύζι είναι το δεύτερο σε σπουδαιότητα σιτηρό στον κόσμο, μετά από το σιτάρι, αφού αποτελεί το κυριότερο φυτό παραγωγής τροφής για τον άνθρωπο. Καλλιεργείται κυρίως στην Ασία, όπου καταλαμβάνει πάνω από το 90% των εκτάσεων που καλλιεργούνται με ρύζι παγκοσμίως, ενώ μικρότερες εκτάσεις καλλιεργούνται στη Λατινική Αμερική και στην Αφρική. Γενικότερα, το ρύζι καλλιεργείται σε περιοχές από 53° ΒΠ έως 35° ΝΠ και σε περιοχές που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας έως περιοχές σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 2500m. Οι δύο Ευρωπαϊκές χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή ρυζιού είναι η Ιταλία και η Ισπανία, ενώ ακολουθούν η Ουκρανία, η Ελλάδα, η Πορτογαλία και η Γαλλία. Το 80% περίπου των διεθνών συναλλαγών ρυζιού αφορά σε ρύζι τύπου *indica* ενώ το υπόλοιπο 20% ρύζι τύπου *japonica*.

Τα 75% της παγκόσμιας παραγωγής ρυζιού προέρχεται από ορυζώνες υπό κατάκλυση (*paddy* ρύζι). Αφορά εντατικοποιημένη μορφή καλλιέργειας στην οποία εφαρμόζονται προηγμένες τεχνολογίες παραγωγής, ενώ το υπόλοιπο ρύζι καλλιεργείται σε μη αρδευόμενες εκτάσεις και φτωχής γονιμότητας εδάφη. Το ρύζι στη χώρα μας καλλιεργείται υπό κατάκλυση κυρίως σε αλατούχα, παθογενή εδάφη, ακατάλληλα για άλλες καλλιέργειες. Η εξοικονόμηση νερού λόγω της καλύτερης ισοπέδωσης των λεκανών, με ισοπεδωτήρες που ρυθμίζονται με χρήση ακτίνων Laser, σε συνδυασμό με την εκτέλεση έργων αποταμίευσης νερού και με την χρησιμοποίηση νερού που προέρχεται από την επεξεργασία λυμάτων βιολογικού καθαρισμού διατηρεί την καλλιέργεια ρυζιού στη χώρα μας σε έκταση 200.000-250.000 στρέμματα. Οι παραγόμενες ποσότητες ρυζιού καλύπτουν τις ανάγκες της χώρας για ρύζι και παρέχεται δυνατότητα εξαγωγής αξιόλογων ποσοτήτων. Το ρύζι ανήκει στο γένος *Oryza*, το οποίο περιλαμβάνει είκοσι πλήρως αναγνωρισμένα είδη με χρωμοσωμικό αριθμό $2n = 24$ ή 48, ενώ τα δύο καλλιεργούμενα είδη *Oryza sativa* L. και *Oryza glaberrima* Sted. έχουν χρωμοσωμικό

αριθμό 24. Το γένος *Oryza* έχει ομαδοποιηθεί σε πέντε είδη (*O. sativa*, *O. officinalis*, *O. meyeriana*, *O. ridleyi* και ένα μη ταξινομημένο) (Rathore κ.ά., 2013). Το *O. sativa* είναι το κύριο είδος ρυζιού, το οποίο κατάγεται από την ανατολική Ασία και ειδικότερα από την Ινδία και την Ινδοκίνα. Αυτό είναι το είδος που καλλιεργείται σε όλες τις περιοχές του κόσμου (Παπακώστα, 2008).

Το κόκκινο ρύζι (*Oryza sativa* L.) συμπεριλαμβάνεται στα πιο επιβλαβή ζιζάνια της καλλιέργειας του ρυζιού παγκοσμίως. Ανήκει στο ίδιο είδος με το καλλιεργούμενο ρύζι (*Oryza sativa* L.) και γι' αυτό η διαχείρισή του αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τους παραγωγούς ρυζιού, αφού τα φυσιολογικά, μορφολογικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του είναι παρόμοια με αυτά των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού, γεγονός που κάνει δύσκολη την αναγνώρισή του στα πρώτα στάδια ανάπτυξης και την αντιμετώπισή του με εκλεκτικά ζιζανιοκτόνα ή με μη χημικά μέσα. Η δυνατότητα εξάπλωσης του κόκκινου ρυζιού στους ορυζώνες, είναι εξαιρετικά μεγάλη διότι μπορεί δυνητικά να δημιουργήσει νέους πληθυσμούς από 1) αποεξημέρωση του καλλιεργούμενου ρυζιού, 2) υβριδισμό μεταξύ κόκκινου ρυζιού και ποικιλιών ρυζιού 3) υβριδισμό μεταξύ ποικιλιών ρυζιού τύπου 'Clearfield' (άρρεν γονέας) και κόκκινου ρυζιού (μητρικό φυτό) με αποτέλεσμα την εξέλιξη ανθεκτικών πληθυσμών στο ζιζανιοκτόνο imazamox, 4) υβριδισμό μεταξύ ποικιλιών ρυζιού τύπου 'Provisia' (άρρεν γονέας) και κόκκινου ρυζιού (μητρικό φυτό) με αποτέλεσμα την εξέλιξη ανθεκτικών πληθυσμών στο ζιζανιοκτόνο cycloxydim, 5) υβριδισμό μεταξύ υπαρχόντων πληθυσμών κόκκινου ρυζιού, 6) μεταλλάξεις γονιδίων σε ρύζι και κόκκινο ρύζι, και 7) διασπορά σπόρων κόκκινου ρυζιού. Ακόμη, τα φυτά του κόκκινου ρυζιού είναι υψηλότερα από τα φυτά των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού, έχουν πιο γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης και παράγουν πολλούς σπόρους που έχουν λήθαργο, μακροβιότητα (3-7 έτη) και δυνατότητα αποκοπής από την ταξιανθία (εκτίναξη και διασπορά). Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά βελτιώνουν την φαινοτυπική πλαστικότητα, την ικανότητα προσαρμογής, την ανταγωνιστική ικανότητα και γενικά την ικανότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής του κόκκινου ρυζιού υπό βιοτικές (προσβολή φυτοφάγων εντόμων και ασθενειών) και αβιοτικές (τη θερμοκρασία και το φως, την έλλειψη νερού, την αλατότητα του εδάφους, τις συνθήκες ξηρασίας και τα αυξημένα επίπεδα συγκεντρώσεων του CO₂) καταπονήσεις, γεγονός που αυξάνει τη δυνατότητα πρόκλησης μεγαλύτερης ζημιάς στην καλλιέργεια του ρυζιού, καθώς και τη δυσκολία αποτελεσματικής διαχείρισής του.

Το ρύζι, αν και θεωρείται αυτογονιμοποιούμενο είδος, μπορεί να ανταλλάξει γονίδια (ροή γονιδίων μέσω της γύρης-σταυρεπικονίαση) με το κόκκινο ρύζι όταν συμπίπτει η ανθοφορία των φυτών τους. Το ποσοστό σταυρεπικονίασης του καλλιεργούμενου ρυζιού είναι

περίπου 5%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το κόκκινο ρύζι είναι πολύ μεγαλύτερο. Η συχνότητα με την οποία γίνεται η σταυρεπικονίαση μεταξύ ρυζιού και κόκκινου ρυζιού επηρεάζεται από τις ποικιλίες του καλλιεργούμενου ρυζιού, το περιβάλλον και την πυκνότητα σποράς του ρυζιού (Rathore κ.ά., 2013; Zhang κ.ά., 2006). Η γονιδιακή ροή προκάλεσε την ανάπτυξη ανθεκτικότητας σε αναρίθμητους πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού στη χώρα μας (Kaloumenos κ.ά., 2013) και σε παγκόσμια κλίμακα (Burgos κ.ά., 2007; Busconi κ.ά., 2012; Unan κ.ά., 2024), λόγω μεταφοράς του τροποποιημένου γονιδίου *ALS* που παρέχει σε μη γενετικά τροποποιημένες ποικιλίες ρυζιού τύπου 'Clearfield' προστασία έναντι ζιζανιοκτόνων που ανήκουν στη χημική οικογένεια των ιμιδαζολινών, επιτρέποντας την πραγματοποίηση καθολικών, εκλεκτικών, μεταφυτρωτικών εφαρμογών για την αντιμετώπιση του κόκκινου ρυζιού και άλλων σημαντικών αγρωστωδών ζιζανίων. Ο ίδιος κίνδυνος ελλοχεύει και για την τεχνολογία Provisia[®] που αναπτύχθηκε πρόσφατα, καθιστώντας εφικτή την εκλεκτική εφαρμογή των αγρωστωδοκτόνων cycloxydim και quizalofop-P-ethyl (αναστολέων της δράσης του ενζύμου καρβοξυλάση του ακέτυλο CoA) για τη χημική αντιμετώπιση τόσο ευαίσθητων, όσο και ανθεκτικών στους ALS-αναστολείς πληθυσμών κόκκινου ρυζιού.

Η παρουσία του κόκκινου ρυζιού στις καλλιέργειες του ρυζιού προκαλεί σημαντική μείωση στην απόδοση και υποβάθμιση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος. Αυτό οφείλεται στο ότι το κόκκινο ρύζι ανταγωνίζεται την καλλιέργεια του ρυζιού για θρεπτικά στοιχεία και φως και μάλιστα έχει την ικανότητα να προσλαμβάνει ταχύτερα και αποτελεσματικότερα το άζωτο για παραγωγή βιομάζας από το έδαφος σε σχέση με το καλλιεργούμενο ρύζι (Busconi κ.ά., 2012; Rathore κ.ά., 2013). Τα χαρακτηριστικά του κόκκινου ρυζιού, οι σοβαρές επιπτώσεις της παρουσίας και ανάπτυξης του εντός των καλλιεργούμενων ορυζώνων και οι σημαντικές δυσκολίες στην αποτελεσματική διαχείρισή του καθιστούν επιβεβλημένο το συνδυασμό μέτρων-στρατηγικών εναρμονισμένων στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης. Η προσέγγιση αυτή θα επιτρέψει τη μείωση των επιπτώσεων του και την αειφορική διατήρηση ικανοποιητικών αποδόσεων. Κεφαλαιώδους δε σημασίας είναι η πραγματοποίηση συνεχούς, εντατικής έρευνας για να διαφωτιστούν σημαντικοί (καθοριστικοί) παράγοντες της βιολογίας, της φυσιολογίας, του ανταγωνισμού με τις καλλιεργούμενες ποικιλίες και της αποτελεσματικότερης χημικής και ολοκληρωμένης διαχείρισης του ζιζανίου κόκκινο ρύζι.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βασιλάκογλου, Ι., Κ. Δήμας. 2017. Ζιζάνια. Σύγχρονος οδηγός αναγνώρισης και αντιμετώπισης. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη, σελ. 516-519.

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

Ελευθεροχωρινός, Η.Γ. και Κ.Ν. Γιαννοπολίτης. 2009. Ζιζάνια. Οδηγός Αναγνώρισης. Εκδόσεις Αγροτύπος Α.Ε., Αθήνα, σελ. 154-155.

Ελευθεροχωρινός, Η.Γ. 2014. Αντιμετώπιση ζιζανίων στην καλλιέργεια του ρυζιού. Γεωργία-Κτηνοτροφία 10:112-121.

Ελευθεροχωρινός, Η.Γ. 2017. Καλλιέργεια ρυζιού. Επιλογή του καταλληλότερου ζιζανιοκτόνου για αποτελεσματική και οικονομική αντιμετώπιση ζιζανίων. Γεωργία-Κτηνοτροφία 4:72-75.

Ελευθεροχωρινός, Η.Γ. 2018. Η εφαρμογή της ψευδοσποράς για την αντιμετώπιση ζιζανίων σε ορυζώνες. Γεωργία-Κτηνοτροφία 3:66-67.

Ελευθεροχωρινός, Η.Γ. 2019. Προβλήματα διαχείρισης ζιζανίων στην καλλιέργεια του ρυζιού: Παρατηρήσεις και συμπεράσματα από την περιοχή Θεσσαλονίκης κατά το 2019. Γεωργία-Κτηνοτροφία 9:70-73.

Ελευθεροχωρινός, Η.Γ. 2020. ΖΙΖΑΝΙΟΛΟΓΙΑ Βιολογία και Διαχείριση Ζιζανίων Ζιζανιοκτόνα, Φυτά και Περιβάλλον. Εκδόσεις ΑγροΤύπος Α.Ε., Αθήνα, 5^η Έκδοση, σελ. 445-447.

Ελευθεροχωρινός, Η.Γ. 2022. Κόκκινο Ρύζι (*Oryza sativa* L.). Επιπτώσεις στην καλλιέργεια του ρυζιού και μέθοδοι διαχείρισης. Γεωργία-Κτηνοτροφία 2:44-46.

Ελευθεροχωρινός, Η.Γ. 2022. Κόκκινο Ρύζι (*Oryza sativa* L.). Γιατί είναι το πιο επιζήμιο και δύσκολο στην αντιμετώπιση ζιζάνιο στο ρύζι. Γεωργία-Κτηνοτροφία 1:62-69.

Παπακώστα-Τασοπούλου, Δ. 2008. Ειδική Γεωργία Ι (τεύχος Α) Σιτηρά (Χειμερινά-Εαρινά). Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Χριστίνα και Βασιλική Κορδαλή, Θεσσαλονίκη, σελ. 760.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andres, A., S. Fogliatto, A. Ferrero and F. Vidotto. 2014. Susceptibility to imazamox in Italian weedy rice populations and Clearfield rice varieties. *Weed Research* 54:492-500.

Beachell, H.M., C.R. Adair, N.E. Jodon, L.L. Davis and J.W. Jones. 1938. Extent of natural crossing in rice. *Journal of American Society of Agronomy* 30:743-753.

Boyd, V. 2005. Red flag warning. *Rice Farm* 39(3):26-27.

Braverman, M.P. and S.D. Linscombe. 1994. Field evaluation of transgenic glufosinate resistant rice. *Proceedings of Southern Weed Science Society* 47:22-23.

Burgos, N.R., R.J. Norman, D.R. Gealy and H.R. Black. 2006. Competitive N uptake between rice and weedy rice. *J. Field Crop Res.* 99:96-105.

Burgos, N.R., Scott, R.C. and J.B. Guice. 2007. Detectable gene flow in commercial rice fields and impact of Clearfield technology on red rice infestation. *In Proceedings of the 47th Annual Meeting. Weed Science Society of America* 47:300.

Burgos, N.R., V. Singh, T.M. Tseng, H. Black, N.D. Young, Z. Huang, K.E. Hyma, D.R. Gealy and A.L. Caicedo. 2014. The impact of herbicide resistant rice technology on phenotypic diversity and population structure of United States weedy rice. *Plant Physiology* 166:1208-1220.

Busconi, M., D. Rossi, C. Lorenzoni, G. Baldi and C. Fogher. 2012. Spread of herbicide-resistant weedy rice (red rice, *Oryza sativa* L.) after 5 years of Clearfield rice cultivation in Italy. *Plant Biology* 14:751-759.

Chen, W., W. Wang, Y. Lyu, Y. Wu, P. Huang, S. Hu, X. Wei, G. Jiao, Z. Sheng, S. Tang, G. Shao and J. Luo. 2021. OsVP1 activates Sdr4 expression to control rice seed dormancy via the ABA signaling pathway. *The Crop Journal* 9:68-78.

Chin, V.C., C.V. Hach, N.C. Thanh and N.T. Tai. 1999. Weedy rice situation in Vietnam. *In* *FAO Global workshop on red rice control*, pp. 67-74. Report of Workshop, 30 August- 3 September 1999, Varadero, Cuba. Plant Production and Protection Division. Rome. 155 pp.

Chin, D.V., T.V. Hien and L.V. Thiet. 2000. Weedy Rice in Vietnam *In* *Wild and Weedy Rice in Rice Ecosystems in Asia- A review*. International Rice Research Institute, Los Banos (Philippines), pp. 45-50.

Cui, Y., B.K. Song, L.F. Li, Y.L. Li, Z. Huang, A.L. Caicedo, Y. Jia and K.M. Olsen. 2016. Little white lies: pericarp colour provides insights into the origins and evolution of Southeast Asian weedy rice. *G3: Genes, Genomes, Genetics* 6(12):4105-4114.

Dai, L., X. Song, B. He, B.E. Valverde and S. Qiang. 2017. Enhanced photosynthesis endows seedling growth vigor contributing to the competitive dominance of weedy rice over cultivated rice. *Pest Management Science* 75:1410-1420.

Delouche, J.C., N.R. Burgos, D.R. Gealy, G.Z. de San Martin, R. Labrada, M. Larinde and C. Rosell. 1998. Weedy rices-origin, biology, ecology and control. *FAO Plant Production and Protection Paper*.

Delouche, J.C., N.P. Burgos, R. Labrada and D.R. Gealy. 2007. Weedy rices: origin, biology, ecology and control. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* 188:157 pages.

De Souza, P.R. 1989. Arroz vermelho: uma grande problema. *Lav. Arroz*. 42:30-31.

Eleftherohorinos, I.G., K.V. Dhima and I.B. Vasilakoglou. 2002. Interference of red rice in rice grown in Greece. *Weed Science* 50:167- 172.

Engku, A.K., M. Norida, A.S. Juraimi, M.Y. Rafii, S.N.A. Abdullah and M.A. Alam. 2016. Gene flow from Clearfield® rice to weedy rice under field conditions. *Plant Soil Environment* 62:16-22.

Ferrero, A. and F. Vidotto. 1999. Red rice control in pre- and post-planting. *In* *FAO Global workshop on red rice control*, pp. 67-74. Report of Workshop, 30 August- 3 September 1999, Varadero, Cuba. Plant Production and Protection Division. Rome. 155 pp.

Ferrero, A., F. Vidotto, P. Balsari and G. Airoidi. 1999. Mechanical and chemical methods for control of red rice (*Oryza sativa* var. *sylvatica*) in rice (*Oryza sativa*) preplanting. 1999. *Crop Protection* 18: 245-251.

Fisher, A.J. and A. Ramirez. 1993. Red rice (*Oryza sativa*): competition studies for management decisions. *International Journal of Pest Management* 39:133-138.

Fogliatto, S., F. Vidotto and A. Ferrero. 2012. Morphological characterisation of Italian weedy rice (*Oryza sativa*) populations. *Weed Research* 52:60-69.

Fogliatto, S., A. Ferrero and F. Vidotto. 2020. How can weedy rice stand against abiotic stresses? A review. *Agronomy* 10:1284.

Fogliatto, S., F. Vidotto and A. Ferrero. 2020. Effects of winter flooding on weedy rice (*Oryza sativa* L.). *Crop Protection* 29:1232-1240.

Furukawa, T., M. Maekawa, T. Oki, I. Suda, S. Iida, H. Shimada, I. Takamure and K. Kadowaki. 2006. The Rc and Rd genes are involved in proanthocyanidin synthesis in rice pericarp. *The Plant Journal* 49:91-102.

Gealy, D.R. 2005. Gene movement between rice (*Oryza sativa*) and weedy rice (*Oryza sativa*): a temperate rice perspective. *In* J. Gressel, ed. *Crop fertility and volunteerism*, pp. 323-354. Boca Raton, USA, CRC Press.

Gealy, D.R., N.E. Saldain and R.E. Talbert. 2000. Emergence of red rice (*Oryza sativa*) ecotypes under dry-seeded rice (*Oryza sativa*) culture. *Weed Technology* 14:406-412.

- Gu, X.Y., M.E. Foley, D.P. Horvath, J.V. Anderson, J. Feng, L. Zhang, C.R. Mowry, H. Ye, J.C. Suttie, K-i. Kadowaki and Z. Chen. 2011. Association between seed dormancy and pericarp color is controlled by a pleiotropic gene that regulates abscisic acid and flavonoid synthesis in weedy red rice. *Genetics* 189:1515-1524.
- He, Z., X. Jiang, D. Ratnasekera, F. Grassi, U. Perera and B-R. Lu. 2014. Seed-mediated gene flow promotes genetic diversity of weedy rice within populations: implications for weed management. *PLoS ONE* 9, e112778
- Henry, H.J., N. Rice, D.L.E. Waters, S. Kasem, R. Ishikawa, Y. Hao, S. Dillon, D. Crayn, R. Wing and D. Vaughan. 2010. Australian *Oryza*: Utility and Conservation. *Rice* 3:235-241.
- Hua, L., D.R. Wang, L. Tan, Y. Fu, F. Liu, L. Xiao, Z. Zhu, Q. Fu, X. Sun, P. Gu, H. Cai, S.R. McCouch and C. Suna. 2015. LABA1, a domestication gene associated with long, barbed awns in wild rice. *Plant Cell* 16, 2015; doi: 10.1105/tpc.15.00260.
- Huang, Z., N.D. Young, M. Reagon, K.E. Hyma, K.M. Olsen, Y. Jia and A.L. Caicedo. 2017. All roads lead to weediness: Patterns of genomic divergence reveal extensive recurrent weedy rice origins from South Asian *Oryza*. *Molecular Ecology* 26:3151–3167.
- Huang, Z., S. Kelly, M. Matsuo, L-F Li, Y. Li, K.M. Olsen, Y. Jia and A.L. Caicedo. 2018. The role of standing variation in the evolution of weediness traits in South Asian weedy rice (*Oryza* spp.). *G3: Genes, Genomes, Genetics* 8 (11):3679-3690.
- Jabran, K. and M.N. Dogan. 2018. High carbon dioxide concentration and elevated temperature impact the growth of weeds but do not change the efficacy of glyphosate. *Pest Management Science* 74:766-771.
- Jin, J., W. Huang, J-P. Gao, J. Yang, M. Shi, M-Z. Zhu, D. Luo and H-X. Lin. 2008. Genetic control of rice plant architecture under domestication. *Nature Genetics* 40:1365-1369 doi:10.1038/ng.247.

Kaloumenos, N.S., Capote N., Aguado A. and Eleftherohorinos I.G. 2013. 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.

Kanapeckas, K.L., C.C. Vigueira, A. Ortiz, K.A. Gettler, N.R. Burgos A.J. Fischer and A.L. Lawton-Rauh. 2016. Escape to ferality: The endoferal origin of weedy rice from crop rice through dedomestication. *PLOS ONE*, DOI:10.1371/journal.pone.0162676.

Kaundun, S.S. 2014. Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides. *Pest Management Science* 70:1405-1417.

Klush, G.S. 1993. Floral structure, pollination biology, breeding behavior, transfer distance and isolation considerations. *Rice Biosafety*. World Bank Technical paper. Biotechnology Series, No. 1. The Rockefeller Foundation.

Kown, O.D., Y.I. Kuk, S.H. Cho and H.R. Shin. 2009. Alternative herbicides for *Eleocharis acicularis* resistant to sulfonylurea in Jeonnam, *Korean Journal of Weed Science* 29(3):251-260 (in Korean).

Kyoung, E.S., J.K. Kim, J.S. Kim, S.Y. Ma and W.S. Ryang. 1999. Germination characteristics of some red rice accessions. *Korean Journal of Crop Science* 44:316-320.

Leopold, A.C., R. Glenister and M.A. Cohn. 1988. Relationship between water content and after ripening in red rice. *Physiologia Plantarum* 74:659-662.

Li, C., A. Zhou and T. Sang. 2006. Rice domestication by reducing shattering. *Science* 311:1936–1939.

Liu, W., F. Ghouri, H. Yu, X. Li, S. Yu, M.Q. Shahid and X. Liu. 2017. Genome wide re-sequencing of newly developed Rice Lines from common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) for the identification of NBSLRR genes. *PLOS ONE* | <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180662>.

Londo, J.P. and B.A. Schaal. 2007. Origins and population genetics of weedy red rice in the USA. *Molecular Ecology* 16(21):4523-4535.

Martinez, G.T. 1999. El arroz rojo en Mexico (Red rice in Mexico). In FAO. *Global workshop on red rice control*, pp. 37-39. Report of Workshop, 30 August - 3 September 1999, Varadero, Cuba. Plant Production and Protection Division. Rome. 155 pp.

Matzrafi, M., C. Brunharo, P. Tehranchian, B.D. Hanson and M. Jasieniuk. 2019. Increased temperatures and elevated CO₂ levels reduce the sensitivity of *Conyza canadensis* and *Chenopodium album* to glyphosate. *Scientific Reports* 9:2228.

Mondal, T.K. and R.J. Henry. 2018. The wild *Oryza* genomes. *Compendium of Plant Genomes*. Springer International Publishing AG. 310p.

Mouret, J.C. 1999. Strategies and effects of cropping practices on the level of red rice infestations in the Camargue (France). In FAO. *Global workshop on red rice control*, pp. 115-122. Report of Workshop, 30 August - 3 September 1999, Varadero, Cuba. Plant Production and Protection Division. Rome. 155 pp.

Noldin, J.A. 2000. Red rice status and management in the Americas, In *Wild and Weedy Rice in Rice Ecosystems in Asia- A Review*. International Rice Research Institute, Los Banos (Philippines), pp. 21-24.

Noldin, J.A., J.M. Chandler and G.N. McCauley. 2006. Seed longevity of red rice ecotypes buried in soil. *Planta Daninha* 24 (4):611-620.

Prathepha, P. 2019. Complementary gene controlling the black hull phenotype and phenolics and flavonoids content in weedy rice (*Oryza sativa* f. *spontanea*) from northeastern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 41:822-827.

Raza, A., A. Razzaq, S.S. Mehmood, X. Zou, X. Zhang, Y. Lv and J. Xu. 2019. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants* 8:34.

Reagon, M., C.S. Thurber, B.L. Gross, K.M. Olsen, Y. Jia and A.L. Caicedo. 2010. Genomic patterns of nucleotide diversity in divergent populations of U.S. weedy rice. *BMC Evolutionary Biology* 10:180.

Saldain, N.E. and E. Deambrosi. 2000. Suppression of seed viability of red (*Oryza sativa* L.) using maleic hydrazide and glyphosate. III International Weed Science Congress, Abstracts 512:247.

Scarabel, L., N. Carraro, M. Sattin and S. Varotto. 2004. Molecular basis and genetic characterization of evolved resistance to ALS-inhibitors in *Papaver rhoeas*. *Plant Science* 166:703-709.

Shivrain, V.K., N.R. Burgos, M.M. Anders, S.N. Rajguru, J. Moore and M.A. Sales. 2007: Gene flow between Clearfield™ rice and red rice. *Crop Protection* 26:349-356.

Shivrain, V.K., N.R. Burgos, D.R. Gealy, K.A.K. Moldenhauer and C.J. Baquireza. 2008. Maximum outcrossing rate and genetic compatibility between red rice (*Oryza sativa*) biotypes and Clearfield™ rice. *Weed Science* 56:807-813.

Shivrain, V.K., N.R. Burgos, D.R. Gealy, M.A. Sales, and K.L. Smith. 2009. Gene flow from weedy red rice (*Oryza sativa* L.) to cultivated rice and fitness of hybrids. *Pest Management Science* 65:1124-1129.

Shivrain, V.K., N.R. Burgos, R.C. Scott, E.E. Gbur, Jr., L.E. Estorninos, Jr. and M.R. McClelland. 2010. Diversity of weedy red rice (*Oryza sativa* L.) in Arkansas, U.S.A. in relation to weed management. *Crop Protection* 29:721-730.

Shivrain, V.K., Burgos, N.R., Scott, R.C., Gbur, E.G., Estorninos, L.E. Jr., McClelland and M.R. 2020. Diversity of weedy rice (*Oryza sativa* L.) in Arkansas, USA in relation to weed management. *Crop Protection* 29:721-730.

Singh, K., V. Kumar, Y.S. Saharawat, M. Gathala, J.K. Ladha and B.S. Chauhan. 2013. Weedy rice: An emerging threat for direct-seeded rice production systems in India. *Journal of Rice Research* 1:1-6.

Singh, V., S. Singh, H. Black, V. Boyett, S. Basu, D. Gealy, E. Gbur, A. Pereira, R.C. Scott, A. Caicedo and N.R. Burgos. 2017. Introgression of Clearfield rice crop traits into weedy red rice outcrosses. *Field Crops Research* 207:13-23.

Smith, R.J. Jr. 1968. Weed competition in rice. *Weed Science* 16: 252-255.

Smith, R. J., Jr. 1988. Weed thresholds in southern U.S. rice *Oryza sativa*. *Weed Technology* 2:232–241.

Suh, H.S., Y.I. Sato and H. Morishima. 1997. Genetic characterization of weedy rice (*Oryza sativa* L.) based on morpho-physiology, isozymes and RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics* 94:316-321.

Sweeney, M.T., M.J. Thomson, B.E. Pfeil and S. McCouch. 2006. Caught red-handed: Rc encodes a basic helix-loop-helix protein conditioning red pericarp in rice. *The Plant Cell* 18:283–294.

Tan, L., X. Li, F. Liu, X. Sun, C. Li, Z. Zhu, Y. Fu, H. Cai, X. Wang, D. Xie and C. Sun. 2008. Control of a key transition from prostrate to erect growth in rice domestication. *Nature Genetics* doi:10.1038/ng.197.

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

Unan, R., O. Azapoglu, I. Deligoz, H. Mennan and K. Al-Khatib. 2024. Gene flow and spontaneous mutations are responsible for imidazolinone herbicide-resistant weedy rice (*Oryza sativa* L.) *Pesticide Biochemistry and Physiology* 198, 105746; doi:10.1016/j.pestbp.2023.105746.

Vaughan, L.K., B.V. Ottis, A.M. Prazak-Havey, C.A. Bormans, C. Sneller, J.M. Chandler, and W.D. Park. 2001. Is all red rice found in commercial rice really *Oryza sativa*? *Weed Science* 49(4): 468-476.

Vidotto, F. and A. Ferrero. 2000. Germination behaviour of red rice (*Oryza sativa* L.) seeds in field and laboratory conditions. *Agronomie, EDP Sciences* 20:375-382.

Vidotto, F., and A. Ferrero. 2005. Modelling population dynamics to overcome feral rice in rice. *In* J. Gresse, ed. *Crop ferality and volunteerism*, pp. 355-370. Boca raton, USA, CRC Press.

Vidotto, F. and A. Ferrero. 2009. Interactions between weedy rice and cultivated rice in Italy. *Italian Journal of Agronomy* 4: 127-136.

Vigueira, C.C., X. Qi, B-K. Song, L-F. Li, A.L. Caicedo, Y. Jia and K.M. Olsen. 2019. Call of the wild rice: *Oryza rufipogon* shapes weedy rice evolution in Southeast Asia. *Evolutionary Applications* 12:93-104.

Wolfe, D.W., A.T. DeGaetano, G.M. Peck, M. Carey, L.H. Ziska, J. Lea-Cox, A.R. Kemanian, M.P. Hoffmann and D.Y. Hollinger. 2018. Unique challenges and opportunities for northeastern US crop production in a changing climate. *Climatic Change* 146:231-245.

Wu, Y., S. Zhao, X. Li, B. Zhang, L. Jiang, Y. Tang, J. Zhao, X. Ma, H. Cai, C. Sun and L. Tan. 2018. Deletions linked to PROG1 gene participate in plant architecture domestication in Asian and African rice. *Nature Communications* 9:4157.

Xia, H.B., H. Xia, N.C. Ellstrand, C. Yang and B-R. Lu. 2011. Rapid evolutionary divergence and ecotype diversification of germination behavior in weedy rice populations. *New Phytologist* 191:1119-1127.

Yeo, M.E., A.R. Yeo and T.J. Flowers. 1994. Photosynthesis and photorespiration in the genus *Oryza*. *Journal of Experimental Botany* 45:553-560.

Young, M.L., J.K. Norsworthy, R.C. Scott and L.T. Barber. 2017. Tolerance of Southern US Rice Cultivars to Benzobicyclon. *Weed Technology* 31:658-665.

Young, M.L. 2017. Evaluation of benzobicyclon for use in Midsouthern rice (*Oryza sativa*) systems. MSc Thesis, University of Arkansas. 122 p.

Zhao, C., W. Xu, X. Song, W. Dai, L. Dai and Z. Zhang. 2018. Early flowering and rapid grain filling determine early maturity and escape from harvesting in weedy rice. *Pest Management Science* 74:465-476.

Zhu, B-F., L. Si, Z. Wang, Y. Zhou, J. Zhu Y. Shangguan, D. Lu, D. Fan, C. Li, H. Lin, Q. Qian, T. Sang, B. Zhou, Y. Minobe and B. Han. 2011. Genetic control of a transition from black to straw white seed hull in rice domestication. *Plant Physiology* 155:1301–1311.

Ziska, L.H., D.R. Gealy, N. Burgos, A.L. Caicedo, J. Gressel, A.L. Lawton-Rauh, L.A. Avila, G. Theisen, J. Norsworthy, A. Ferrero, F. Vidotto, D.E. Johnson, F.G. Ferreira, E. Marchesan, V. Menezes, M.A. Cohn, S. Linscombe, L. Carmona, R. Tang and A. Merotto Jr. 2015. Weedy (red) rice: an emerging constraint to global rice production. *Advances in Agronomy* 129:181-228.

Ziska, L.H., M.B. Tomecek and D.R. Gealy. 2010. Competitive interactions between cultivated and red rice as a function of recent and projected increases in atmospheric carbon dioxide. *Agronomy Journal* 102:118-123.