



Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ)



«Καινοτόμα Συστήματα Αειφόρου Αγροτικής Παραγωγής»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ευαισθησία διαφόρων βιότυπων κόκκινου ρυζιού (*Oryza sativa*) και
μουχρίτσας (*Echinochloa* spp.) στο ζιζανιοκτόνο cycloxydim

Ευδοκία Πεγλιβανίδου

Γεωπόνος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Δρ. Ιωάννης Βασιλάκογλου

Καθηγητής Συστηματικής Βοτανικής - Ζιζανιολογίας

Θεσσαλονίκη 2022

**Ευαισθησία διαφόρων βιότυπων κόκκινου ρυζιού (*Oryza sativa*) και μουχρίτσας
(*Echinochloa spp.*) στο ζιζανιοκτόνο cycloxydim**

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωπονίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών

"Καινοτόμα Συστήματα Αειφόρου Αγροτικής Παραγωγής"

(Master in Innovative Systems of Sustainable Agrocultural Production)

Ειδίκευση:

Ορθολογική Διαχείριση Φυτικού Κεφαλαίου και Εδαφοϋδατικών Πόρων

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ευδοκία Πεγλιβανίδου

Εξεταστική επιτροπή:

1. Δρ. Ιωάννης Βασιλάκογλου, καθηγητής
2. Δρ. Κίτσιος Δήμας
3. Δρ. Στέφανος Στεφάνου

Θεσσαλονίκη 2022

Αφιέρωση

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου.

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Καινοτόμα Συστήματα αειφόρου αγροτικής παραγωγής» του Τμήματος Γεωπονίας, της Σχολής Γεωτεχνικών Επιστημών του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος (ΔΙ.ΠΑ.Ε), τίτλος Master of Science (M.Sc.) in Innovative Systems of Sustainable Agricultural Production, ειδίκευση: «Ορθολογική διαχείριση φυτικού κεφαλαίου και εδαφοϋδατικών πόρων» και κατεύθυνση: «Σύγχρονα Συστήματα Παραγωγής και Διαχείρισης Φυτικού Κεφαλαίου».

Ιδιαίτερα επιθυμώ να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα την παρούσα διπλωματική εργασία, κ. Ιωάννη Βασιλάκογλου, για την επιστημονική και συμβουλευτική καθοδήγηση που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας, καθώς με στήριξε σε όλη την διάρκεια της έρευνας, η οποία υπήρξε καταλυτική για την παρούσα διπλωματική εργασία. Τον ευχαριστώ θερμά. Επιπλέον, ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Κίτσιο Δήμα για την παραχώρηση του θερμοκηπίου στο οποίο διεξήχθη το πείραμα, καθώς και του απαραίτητου εξοπλισμού.

Οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον συνάδελφο μου, Χρήστο Αντωνιάδη, όπου βοήθησε σημαντικά στη διεξαγωγή της έρευνας, καθώς επίσης και ανθρώπους που ήταν δίπλα μου για να ολοκληρωθεί το πείραμα και η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω τον πατέρα μου Παναγιώτη Πεχλιβανίδη για την συμπαράσταση, την υπομονή και τον αγώνα του ώστε να κατορθώσω να βγάλω εις πέρας τις σπουδές μου πάνω στην Γεωπονία.

Πρόλογος

Το ρύζι αποτελεί βασικό στοιχείο της καθημερινής διατροφής για το μισό πληθυσμό της γης, αλλά συγχρόνως ισχυρό σύμβολο ευτυχίας, ευημερίας και γονιμότητας.

Το κίνητρο για την επιλογή του θέματος της μεταπτυχιακής διατριβής μου, ήταν ο καθηγητής μου Δρ. Ιωάννης Βασιλάκογλου, ο οποίος έδειξε εμπιστοσύνη στο πρόσωπο μου και κάναμε την καλύτερη επιλογή, όσον αναφορά το θέμα που επιλέξαμε, που αποτελεί σημείο αιχμής για τους ορυζοκαλλιεργητές της Ελλάδος. Σημαντικό παράγοντα αποτέλεσε και η θέλησή μου για επέκταση και αναβάθμιση των γνώσεων μου. Η διεξαγωγή του πειράματος έγινε σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του ΔΠΠΑΕ στη Σίνδο, γεγονός που συνέβαλε σε εύκολη πρόσβαση και συνεχή επιτήρηση και έλεγχο του πειράματος, ώστε να επιτραπεί η ολοκλήρωση του πειράματος και τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα.

Ευδοκία Πεγλιβανίδου,

Θεσσαλονίκη 2022

Περιεχόμενα

	Σελίδα
Περίληψη	6
Abstract	7
1. Εισαγωγή	8
1.1 Η τεχνολογία της μετάλλαξης στη δημιουργία ποικιλιών ρυζιού	10
1.2 Το ζιζάνιο μουχρίτσα	12
1.3 Το ζιζάνιο κόκκινο ρύζι	13
1.3.1 Πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού	13
1.3.2 Βιολογία κόκκινου ρυζιού	14
1.3.3 Εξάπλωση κόκκινου ρυζιού	17
1.3.4 Ανταγωνιστική ικανότητα και ανθεκτικότητα	18
1.3.4.1 Η ανταγωνιστική ικανότητα του κόκκινου ρυζιού	19
1.3.4.2 Η ανθεκτικότητα ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα του ρυζιού	20
1.4 Μέθοδοι διαχείρισης των ζιζανίων ρυζιού	22
1.5 Τεχνολογία CLEARFIELD	23
1.6 Τεχνολογία PROVISIA	29
1.7 Σκοπός ερευνητικής εργασίας	31
2. Υλικά και Μέθοδοι	32
2.1 Συλλογή σπόρων κόκκινου ρυζιού και μουχρίτσας	32
2.2 Πείραμα φυτοδοχείων	32
2.3 Στατιστική ανάλυση	33
3. Αποτελέσματα	34
3.1 Μουχρίτσα	34
3.2 Κόκκινο ρύζι	35
4. Συζήτηση	37
5. Συμπεράσματα	39
Βιβλιογραφία	40
Παράρτημα	46

Περίληψη

Θεωρητικό πλαίσιο: Το ρύζι είναι μια από τις σημαντικότερες καλλιέργειες και συμβάλει σημαντικά στη διατροφή του ανθρώπου, καλύπτοντας στις απαιτήσεις για τρόφιμα υψηλής ενέργειας. Ένα εξαιρετικά ανταγωνιστικό ζιζάνιο, συγγενές του ρυζιού, το κόκκινο ρύζι (*Oryza sativa*), έχει εξελιχθεί στο σημαντικότερο ζιζάνιο στις καλλιέργειες. Το κόκκινο ρύζι αποτελεί μια σημαντική και συνεχής απειλή για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα στις βιομηχανίας ρυζιού. Οι ποικιλίες ρυζιού Clearfield και Provisia είναι οι μόνες διαθέσιμες τεχνολογίες για την εκλεκτική (χρήση ζιζανιοκτόνων) διαχείριση του ρυζιού.

Σκοπός: Σκοπός στις παρούσες έρευνας ήταν να διερευνηθεί η ευαισθησία διαφόρων βιότυπων κόκκινου ρυζιού και μουχρίτσας (*Echinochloa phyllopogon*) στο ζιζανιοκτόνο cycloxydim που είναι εκλεκτικό στις ποικιλίες ρυζιού Provisia και εισήχθη πρόσφατα στην ορυζοκαλλιέργεια στις Ελλάδος.

Μεθοδολογία: Διεξήχθη ένα πείραμα θερμοκηπίου στο οποίο οι 20 βιότυποι κόκκινου ρυζιού και οι 2 βιότυποι μουχρίτσας εγκαταστάθηκαν σε φυτοδοχεία με 3 φυτοδοχεία (επαναλήψεις) για κάθε επέμβαση. Τα φυτά από τα οποία συλλέχθηκαν οι σπόροι είχαν επιβιώσει των ζιζανιοκτόνων. Αξιολογήθηκαν ο αριθμός βλαστών και το νωπό βάρος των ζιζανίων στις 4 εβδομάδες μετά την εφαρμογή των συνιστώμενων δόσεων των ζιζανιοκτόνων (cycloxydim στις τεχνολογίας Provisia και imazamox στις τεχνολογίας Clear Field).

Αποτελέσματα: Οι δύο βιότυποι της μουχρίτσας ήταν ευαίσθητοι στα ζιζανιοκτόνα cycloxydim, imazamox και profoxydim, τα οποία προκάλεσαν άριστη μείωση (>90%) στον αριθμό βλαστών και το νωπό βάρος του ζιζανίου. Το ζιζανιοκτόνο imazamox δεν μείωσε ικανοποιητικά των αριθμό βλαστών και το νωπό βάρος των περισσότερων βιότυπων κόκκινου ρυζιού. Αντίθετα, η εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του cycloxydim προκάλεσε ικανοποιητική (>85%) μείωση του αριθμού βλαστών και του νωπού βάρους των βιότυπων κόκκινου ρυζιού. Συμπερασματικά, η τεχνολογία Provisia θα συμβάλλει στη διαχείριση του κόκκινου ρυζιού στους αγρούς που ανέπτυξε ανθεκτικότητα στο imazamox.

Λέξεις Κλειδιά: Αποτελεσματικότητα, κόκκινο Ρύζι, Μουχρίτσα, cycloxydim, profoxydim, imazamox.

Abstract

Theoretical Background: Rice is one of the most important crops and contributes significantly to human nutrition, meeting the requirements for high-energy foods. A highly competitive weed, a relative of rice, red rice (*Oryza sativa*), has evolved into the most important crop weed. Red rice is a significant and ongoing threat to the long-term sustainability of the rice industry. Clearfield and Provisia rice varieties are the only technologies available for selective (herbicide use) management of rice.

Aim: The aim of the present research was to investigate the sensitivity of different biotypes of red rice and late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) to the herbicide cycloxydim, which is selective in Provisia rice varieties and was recently introduced in rice cultivation in Greece.

Method: A greenhouse experiment was conducted in which the 20 red rice biotypes and the 2 late watergrass biotypes were established in pots with 3 pots (replicates) for each treatment. The number of shoots and the fresh weight of the weeds were evaluated 4 weeks after the application of the herbicides (cycloxydim from Provisia technology and imazamox from Clear Field technology).

Results: The two late watergrass biotypes were susceptible to the herbicides cycloxydim, imazamox and profoxydim, which caused excellent reduction (>90%) in weed shoot number and fresh weight. The herbicide imazamox did not satisfactorily reduce shoot number and fresh weight of most red rice biotypes. In contrast, application of the recommended dose of cycloxydim caused a satisfactory (>85%) reduction in shoot number and fresh weight of red rice biotypes. In conclusion, the Provisia technology will contribute to the management of red rice in fields where red rice has developed resistance to imazamox.

Key Words: Efficacy, late watergrass, red rice, cycloxydim, profoxydim, imazamox.

1. Εισαγωγή

Το ρύζι (*Oryza sativa*) είναι μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες παγκοσμίως. Συμβάλλει σημαντικά στη διατροφή του ανθρώπου, καλύπτοντας στις απαιτήσεις για τρόφιμα υψηλής ενέργειας, κυρίως στις υπο-ανάπτυξη χώρες (Molina κ.ά., 2011). Είναι η σημαντικότερη καλλιέργεια δημητριακών σε έκταση και παραγωγή, ενώ αποτελεί την κύρια πηγή τροφής για σχεδόν το 90% του παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού, ιδιαίτερα στην Ασία. Ο καρπός του ρυζιού είναι εμπλουτισμένος με υψηλή ποσότητα υδατανθράκων, πρωτεϊνών και λιπών. Παρέχει περισσότερο από το 1/5 των θερμίδων που καταναλώνει ο άνθρωπος παγκοσμίως. Υπάρχει μια συνεχής αύξηση στις παγκόσμιας ζήτησης για ρύζι, λόγω στις συνεχούς αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού. Η παγκόσμια ζήτηση αναμένεται να είναι 852 εκατομμύρια τόνοι μέχρι το έτος 2035, με την τρέχουσα παραγωγή περίπου στις 770 εκατομμύρια τόνους (Parajuli κ.ά., 2022).

Για να ικανοποιηθεί η ζήτηση, υπάρχει η ανάγκη να ενταθεί η τεχνολογία παραγωγής. Αλλά με την εισαγωγή βελτιωμένων τεχνολογιών και ποικιλιών υψηλής απόδοσης, η καλλιέργεια γίνεται ευαίσθητη σε στις βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις, ειδικά σε βιοτικές καταπονήσεις στις ασθένειες (Parajuli κ.ά., 2022). Έτσι, η ζήτηση ρυζιού που απαιτείται για την κάλυψη στις αυξημένης ανθρώπινης κατανάλωσης καθορίζεται σε παγκόσμιο επίπεδο. Πολύ πριν υπάρξουν οργανωμένες προσπάθειες παραγωγής ρυζιού, τα φυτά ρυζιού που επιβίωσαν μετά από κάθε επιδημία επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία νέων ποικιλιών, μια διαδικασία που είναι ευρέως γνωστή ως αναπαραγωγή «επιλογής». Μια τέτοια επιλογή που δημιουργήθηκε μετά από επιδημία, έχει συμβάλλει στη δημιουργία στις γενετικού εμποδίου για γενετική αντοχή σε άλλα στελέχη ή στις ασθένειες στο καλλιεργούμενο ρύζι (Molina κ.ά., 2011).

Ένα εξαιρετικά ανταγωνιστικό ζιζάνιο, συγγενές του καλλιεργούμενου ρυζιού, το κόκκινο ρύζι (*Oryza sativa* var. *sylvatica*) έχει μολύνει παγκοσμίως όλους στις ορυζώνες (Li κ.ά., 2017). Το κόκκινο ζιζάνιο ρύζι είναι ομοειδές του καλλιεργημένου ρυζιού και έχει εισβάλει σε στις ανοιξιάτικες καλλιέργειες. Έχει προσαρμοστεί επιτυχώς στις σύγχρονες πρακτικές διαχείρισης, θρυμματισμού και λήθαργου των σπόρων, ενώ αποτελεί ένα ανεπιθύμητο άγριο φυτό και στις τελευταίες δεκαετίες έχει προκαλέσει παγκοσμίως σοβαρά καλλιεργητικά προβλήματα. Ο ανεπαρκής έλεγχος του ζιζανίου έχει ως αποτέλεσμα σοβαρές απώλειες απόδοσης και υποβάθμιση στις ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος. Επιπλέον, οι αδρανείς σπόροι του παραμένουν βιώσιμοι για αρκετά χρόνια στην τράπεζα σπόρων του

εδάφους. Λόγω στις μορφολογικής και γενετικής ομοιότητάς του με το καλλιεργημένο ρύζι, είναι δύσκολο να γίνει διάκριση από το καλλιεργούμενο ρύζι σε πρώιμο βλαστικό στάδιο. Επιπλέον, το κόκκινο ρύζι έχει αναφερθεί ότι διασπείρεται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω στις ανθρώπινης μεταφορά και εμπορίας σπόρων (Hsu κ.ά., 2022). Ειδικότερα, ο ανταγωνισμός του κόκκινου ρυζιού μπορεί να μειώσει στις αποδόσεις των καλλιεργειών περισσότερο από 80%, εάν αποτύχει η διαχείριση, με στις εκτιμώμενες ετήσιες οικονομικές απώλειες να ξεπερνούν τα 45 εκατομμύρια δολάρια μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες (Gealy και Yan, 2012). Στην Κούβα εκτιμάται ότι το 80% των ορυζώνων είναι μολυσμένα από το κόκκινο ρύζι, ενώ τα ποσοστά προσβολής φτάνουν το 30% έως 70% στην Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες, αντίστοιχα. Στην Ασία, η αύξηση στις μόλυνσης από το κόκκινο ρύζι σε χώρες στις η Ινδία, η Μαλαισία, το Βιετνάμ και η Σρι Λάνκα συσχετίστηκε σε μεγάλο βαθμό με την αύξηση στις έκτασης υπό άμεση σπορά. Τόσο στην Καμπότζη όσο και στις Φιλιππίνες, οι αγρότες έπρεπε να συνειδητοποιήσουν την ανάγκη για καλύτερο έλεγχο του κόκκινου ρυζιού, μέσω καλύτερων καλλιεργητικών πρακτικών (Huang κ.ά., 2021).

Ο αποτελεσματικός έλεγχος του κόκκινου ρυζιού είναι δύσκολος, λόγω των γενετικών και φυσιολογικών ομοιοτήτων του με το καλλιεργούμενο ρύζι, γεγονός που εμποδίζει την ανάπτυξη πρακτικών διαχείρισης μέσω ζιζανιοκτόνων που είναι αποτελεσματικά και ταυτόχρονα εκλεκτικά για το καλλιεργούμενο ρύζι (Andres κ.ά., 2014). Γενικά, η διαχείριση των ζιζανίων έχει γίνει η πιο σημαντική πτυχή στις καλλιέργειες για την επίτευξη υψηλότερης απόδοσης ρυζιού. Στις μέρες στις, η εφαρμογή χημικών ζιζανιοκτόνων έχει γίνει μια δημοφιλής πρακτική για τη διαχείριση των ζιζανίων σε διαφορετικές καλλιέργειες ρυζιού. Ωστόσο, η εφαρμογή ζιζανιοκτόνου μπορεί να έχει ποιοτικές και ποσοτικές επιπτώσεις στις μικροοργανισμούς του εδάφους και στα ένζυμα του εδάφους, ιδιαίτερα στην περίπτωση νέων μορίων ζιζανιοκτόνου και στις μη ορθής χρήσης στις για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, διαφορετικές μέθοδοι εγκατάστασης ρυζιού παίζουν στις σημαντικό ρόλο στη δυναμική του μικροβιακού πληθυσμού του εδάφους, καθώς και στις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους (Pattanayak κ.ά., 2022).

Συνεπώς, το κόκκινο ρύζι αποτελεί μια σταθερή και διάχυτη απειλή για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα στις βιομηχανίας ρυζιού σε στις περιοχές καλλιέργειας ρυζιού του κόσμου. Οι βιότυποι του κόκκινου ρυζιού μπορούν να μειώσουν στις αποδόσεις σε κόκκους έως και 87%. Επειδή το κόκκινο ρύζι είναι του ίδιου είδους με στις εμπορικές ποικιλίες, οι βιότυποι του ζιζανίου δεν ελέγχονται από τα συμβατικά ζιζανιοκτόνα (Zhang κ.ά., 2006). Το ρύζι Clearfield αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 2001 για τον έλεγχο του κόκκινου ρυζιού και

άλλων αγρωστωδών ζιζανίων στις νότιες ΗΠΑ και σε στις περιοχές καλλιέργειας ρυζιού του κόσμου (Tan κ.ά., 2005). Η τεχνολογία Clearfield εφαρμόζεται στις Η.Π.Α από το 2002 και πιο πρόσφατα στη Βραζιλία, την κεντρική Αμερική, την Ιταλία και την Ελλάδα. Ως εναλλακτικό μέτρο ελέγχου για τα ζιζάνια και για να συμπληρώσει την τεχνολογία Clearfield, η BASF ανέπτυξε πρόσφατα (2018) στις ποικιλίες ρυζιού Provisia (Greer, 2022).

1.1. Η τεχνολογία στις μεταλλάξεις στη δημιουργία ποικιλιών ρυζιού

Το ρύζι είναι μονοκοτυλήδονο και αυτογονιμοποιούμενο είδος. Γι' αυτό η γενετική του ποικιλομορφία είναι συχνά περιορισμένη (Molina κ.ά., 2010). Κατά την εξημέρωση του ρυζιού ορισμένα γονίδια ανθεκτικότητας εισήχθησαν στο καλλιεργούμενο ρύζι και μερικά από αυτά χάθηκαν, λόγω στις απουσίας πιέσεων επιλογής από παθογόνα και περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Θεωρητικά, υπάρχουν γονίδια αντοχής στις ποικιλίες ρυζιού για στις στις φυλέςπαθογόνων. Η χρονική και χωρική αναντιστοιχία των γονιδίων αντοχής του ξενιστή με στις φυλές των παθογόνων είναι μια κοινή αιτία επιδημιών ασθενειών. Το γένος *Oryza* και τα παθογόνα που το προσβάλλουν αντιπροσωπεύουν ένα από τα καλύτερα μοντέλα για την αποσαφήνιση των γενετικών και φυσιολογικών μηχανισμών των αλληλεπιδράσεων ξενιστή-παθογόνου, όχι μόνο επειδή το ρύζι είναι απαραίτητη τροφή για την ανθρωπότητα, αλλά και επειδή το γονιδίωμα του ρυζιού είναι ένα από τα μικρότερα μεταξύ των καλλιεργειών δημητριακών, με διαθέσιμη την πλήρη αλληλουχία γονιδιώματος από το 2002, καθώς και στις αλληλουχίες των γονιδιωμάτων των παθογόνων του ρυζιού (Dean κ.ά., 2005).

Υπάρχουν δύο καλλιεργούμενα είδη ρυζιού, το ασιατικό ρύζι (*O. sativa*) και το αφρικανικό ρύζι (*O. glaberrima*). Το καλλιεργούμενο ασιατικό ρύζι πιστεύεται ότι προέρχεται από το *O. rufipogon* και το *O. nivara* στην Ασία και το καλλιεργούμενο ρύζι Αφρικής από το *O. barthii* στην Αφρική, αντίστοιχα. Το ασιατικό ρύζι έχει δύο μεγάλες υποομάδες, το Geng (*japonica*) και το Xian (*indica*) (Wang κ.ά., 2018). Η υποομάδα Geng αποτελείται από το τροπικό Geng, το εύκρατο Geng και το αρωματικό ρύζι και η υποομάδα Xian αποτελείται από το Aus και το Xian (Garris κ.ά., 2005).

Η μεταλλαξιογένεση είναι μια σημαντική μέθοδος για τη δημιουργία γενετικής παραλλακτικότητας. Η μεταλλαξιογένεση διακρίνεται σε δύο τύπους: την αυθόρμητη μεταλλαξιογένεση και την επαγόμενη μεταλλαξιογένεση. Οι αυθόρμητες μεταλλάξεις συμβαίνουν φυσικά στα φυτά, αλλά αυτές μπορούν στις να προκληθούν στα φυτά μέσω στις έκθεσης σε διαφορετικούς τύπους φυσικών ή χημικών παραγόντων που έχουν μεταλλαξιογόνες

ιδιότητες (Mba κ.ά., 2010). Για την ταυτοποίηση των νέων αλληλόμορφων γονιδίων και των αντίστοιχων λειτουργιών στις υπάρχουσες διαφορετικοί τύποι μεταλλαξογόνων προσεγγίσεων στις η ιονίζουσα ακτινοβολία, οι χημικές ουσίες, η παρεμβολή που προκαλείται από RNAi και η εισαγωγή του T-DNA (Tadege κ.ά., 2009) σε φυτικά κύτταρα. Στην παρεμβολή, με τη μεσολάβηση του RNA (RNAi), ένα γονίδιο συμπληρωματικό του γονιδίου στόχου, για παράδειγμα τα τεχνητά microRNA (amiRNA), μετασχηματίζονται στα φυτά και παράγονται τα μικρά μόρια RNA που αποσιωπούν το γονίδιο στόχο (Gilchrist και Haughn, 2010). Η μεταλλαξογένεση παρεμβολής είναι μια τεχνική η οποία διεισδύει στις αλληλουχίες DNA, μέσω του Στις-DNA ή στις εισαγωγών τραπεζοζονίων Στις-DNA ή στις εισαγωγή τραπεζοζονίου σε τυχαία θέση μεταξύ του DNA, και έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό τροποποιημένης πρωτεΐνης. Από την άλλη πλευρά, η προσέγγιση μεταλλαξογένεσης χημικής και ιονίζουσας ακτινοβολίας είναι σχετικά πιο ευέλικτη και άμεση (Wu κ.ά., 2005). Για την ανάπτυξη νέων ποικιλιών με χαρακτηριστικά αντοχής, φυσικοί και χημικοί μεταλλαξιογόνοι παράγοντες εφαρμόζονται με επιτυχία σε προγράμματα αναπαραγωγής φυτών (Kodym και Afza, 2003). Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο χημικό μεταλλαξιογόνο είναι ο μεθανοσουλφονικός αιθυλεστέρας (EMS) που είναι στις αλκυλιωτικός παράγοντας. Χρησιμοποιούνται στις άλλα χημικά μεταλλαξιογόνα στις η αιθυλική νιτροζουρία (ENU), το EtBr (βρωμιούχο αιθίδιο) ή η βρωμουρακίλη (Mba κ.ά., 2010). Οι ακτίνες γάμμα, οι ακτίνες X, η υπεριώδη ακτινοβολία, τα σωματίδια άλφα και τα γρήγορα νετρόνια χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ιονίζουσας ακτινοβολίας (Kodym και Afza, 2003).

Πολυάριθμες νέες ποικιλίες ρυζιού έχουν δημιουργηθεί με τη χρήση στις μεταλλαξιογένεσης, καθώς και ποικιλίες άλλων καλλιεργούμενων φυτών με στόχο στις υψηλότερες αποδόσεις, την υψηλότερη ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και την αντοχή στις καταπονήσεις. Για παράδειγμα, η ποικιλία ρυζιού MR 219 από τη Μαλαισία μεταλλάχθηκε το 2015, με χρήση ακτινοβολίας γάμμα, για ανοχή στην μειωμένη βλάστηση, την υψηλότερη απόδοση και στις μικρότερες απαιτήσεις σε νερό. Ομοίως, μια μεταλλαγμένη ποικιλία υψηλής απόδοσης, η SiDenok από την Ινδονησία, εγκρίθηκε το 2011. Οι μεταλλαγμένες σειρές ρυζιού έχουν στις αναπτυχθεί στην Ινδία. Ειδικότερα, η ADT-41 που αναπτύχθηκε το 1994 χρησιμοποιώντας ακτίνες γάμμα είχε χαρακτηριστικά στις μεγάλους κόκκους, ήπιο άρωμα, υψηλή απόδοση, αλλά ήταν ευαίσθητη σε ασθένειες. Ομοίως, μια άλλη ημίψηλη ποικιλία, η Anashwara, αναπτύχθηκε στην Ινδία χρησιμοποιώντας ακτίνες γάμμα το 2006, αλλά ήταν ευαίσθητη στις διακυμάνσεις φωτοπεριόδου. Περιγραφικές πληροφορίες

σχετικά με στις ποικιλίες, είναι διαθέσιμες σε μια εκτενή βάση δεδομένων μεταλλαγμένων ποικιλιών (<https://mvd.iaea.org/>) (Ansari κ.ά., 2019).

1.2 Το ζιζάνιο μουχρίτσα

Το γένος *Echinochloa* περιλαμβάνει πάνω από 250 είδη φυτών και πολλά από αυτά θεωρούνται ζιζάνια. Τα είδη ζιζανίων που ανήκουν στο *Echinochloa* ποικίλλουν ως στις τον τρόπο ανάπτυξης, την κατανομή και τη μορφολογία στις. Λόγω των συνεχών μορφολογικών παραλλαγών μεταξύ των ειδών, η ταξινόμηση των *Echinochloa* παραμένει ένα σοβαρό πρόβλημα για στις επιστήμονες. Τα πιο σημαντικά είδη ζιζανίων στο γένος *Echinochloa* είναι τα *E. Crus-galli* (L.) Beauv., *E. colona* (L.) Link., *E. oryzicola* (Vasinger) Vasinger., *E. oryzoides* (Ard.) Fritsch., *E. muricata* (Beau) Fern., και *E. phyllopogon* (Stapf) Vasc.

Το *E. Crus-galli* είναι ένα από τα πιο επιβλαβή ζιζάνια στη σύγχρονη γεωργία. Διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά υψηλής ανταγωνιστικής και προσαρμοστικής ικανότητας, απαραίτητα για την επιβίωση και τον επιτυχημένο ανταγωνισμό κάτω από μια σειρά γεωγραφικών και κλιματικών συνθηκών. Με καταγωγή από την Ευρώπη, έχει διασπαρεί σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης στις Ασίας, στις Αυστραλίας και στις Αμερικής. Έχει την τάση να αναπτύσσεται κάτω από ποικίλα και αντίξοα κλίματα. Το ζιζάνιο αυτό προσαρμόζεται σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας για να ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του. Η μορφολογική, φυσιολογική και βιοχημική σύνθεση αυτού του ζιζανίου του δίνει τη δυνατότητα να αναδειχθεί ως ισχυρός ανταγωνιστής στο ρύζι και σε στις καλλιέργειες. Το *E. Crus-galli* μπορεί να παράγει μεγάλο αριθμό σπόρων και στις έχει ένα επίπεδο λήθαργου σπόρων, το οποίο εξασφαλίζει τον πολλαπλασιασμό του καθώς και τη συσσώρευση τράπεζας σπόρων στο έδαφος. Μπορεί να προκαλέσει απώλεια απόδοσης 21-79% στο ρύζι, ανάλογα με το σύστημα καλλιέργειας και τη διαχείριση. Έρευνα για τον ανταγωνισμό μεταξύ *E. Crus-galli* και καλλιέργειας, έδειξε ότι η διάρκεια, ο χρόνος εμφάνισής του, η πυκνότητα των ζιζανίων και οι μέθοδοι σποράς στις καλλιέργειας επηρεάζουν σημαντικά το μέγεθος του ανταγωνισμού και στις απώλειες στις απόδοσης. Η κατανόηση των παραγόντων που συντελούν στο μέγεθος του ανταγωνισμού μπορεί να συμβάλλει στον έλεγχο αυτού του επιβλαβούς ζιζανίου σε πυκνότητες κάτω από το οικονομικώς αποδεκτό όριο (Bajwa κ.ά., 2015).

1.3. Το ζιζάνιο κόκκινο ρύζι

Το κόκκινο ρύζι είναι ένα από τα σημαντικότερα ζιζάνια ρυζιού, που μειώνει τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος, ενώ είναι προσαρμοσμένο σε ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών. Το κόκκινο ρύζι είναι σημαντικό ζιζάνιο στις ορυζώνες όλου του κόσμου, ειδικότερα στις αγρούς όπου χρησιμοποιείται η μέθοδος στις άμεσης σποράς. Η ποικιλία των βιότυπων του κόκκινου ρυζιού δημιουργεί μια πρόκληση για τη διαχείριση αυτού του ζιζανίου, αλλά δημιουργεί στις μια μοναδική ευκαιρία για λεπτομερείς βιολογικές και γενετικές μελέτες προσαρμοστικών χαρακτηριστικών που έχουν χαθεί στο εξημερωμένο ρύζι και δεν βρίσκονται σε συγγενείς άγριου ρυζιού (Ziska κ.ά., 2015).

1.3.1. Πληθυσμοί κόκκινου ρυζιού

Από τη στιγμή που έχει δημιουργηθεί στις πληθυσμός ζιζανίων, είναι δύσκολο να εντοπιστεί η πηγή στις μόλυνσης. Οι πληθυσμοί του κόκκινου ρυζιού διατηρούν υψηλά επίπεδα ποικιλότητας, τόσο μορφολογικά όσο και γενετικά. Η δυναμική στις πληθυσμιακής δομής στο κόκκινο ρύζι θα μπορούσε να παίξει σημαντικό ρόλο στην προσαρμοστικότητα και να του επιτρέψει να επιβιώσει σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών οικοσυστημάτων. Η κατανόηση στις μορφολογίας του πιθανώς θα βοηθήσει στις προσπάθειες να διακοπεί ο κύκλος ζωής του και να θεσπιστούν μακροπρόθεσμες στρατηγικές διαχείρισης (Hsu κ.ά., 2022).

Το κόκκινο ρύζι είναι συγγενής του καλλιεργούμενου ρυζιού. Τα βασικά χαρακτηριστικά των ζιζανίων περιλαμβάνουν σπόρους που πέφτουν από το μητρικό φυτό πριν τη συγκομιδή, μακροχρόνιο λήθαργο των σπόρων, ταχεία ανάπτυξη και ικανότητα υψηλής ανταγωνιστικότητας εναντίον στις καλλιέργειες για θρεπτικά συστατικά και φως (Burgos κ.ά., 2006). Ο υβριδισμός καλλιέργειας-ζιζανίων συμβαίνει σε χαμηλές συχνότητες (Shivrain κ.ά., 2008) και οι πρόσφατες αγροκομικές μετατοπίσεις στις τη χρήση ανθεκτικών στα ζιζανιοκτόνα ποικιλιών ρυζιού έχουν δημιουργήσει ισχυρή επιλογή για την εισαγωγή αλληλόμορφων ανθεκτικότητας σε πληθυσμούς ζιζανίων (Burgos κ.ά., 2014). Σε περιοχές στις τροπικής Ασίας όπου το ρύζι καλλιεργείται κοντά στον άγριο πρόγονό του (*Oryza rufipogon*), η γονιδιακή ροή από άγριους πληθυσμούς συμβάλλει στις στη γενετική σύνθεση των πληθυσμών ζιζανίων (Pusadee κ.ά., 2013). Γενετικές έρευνες σε όλο τον κόσμο έδειξαν ότι υπάρχουν πολλαπλά γενετικά διακριτά στελέχη κόκκινου ρυζιού και ότι αυτά έχουν εξελιχθεί ανεξάρτητα από εξημερωμένους και άγριους συγγενείς (Song κ.ά., 2014).

Τα τελευταία χρόνια, η αποσαφήνιση στις ανταπόκρισης των φυτών στο στρες έχει διευκολυνθεί από έρευνες σε κυτταρικό επίπεδο. Μία μορφολογική προσαρμογή στην ανεπάρκεια θρεπτικών συστατικών οδηγεί σε αλλοίωση στις αρχιτεκτονικές στις ρίζες, στις αυξημένος αριθμός και το μήκος των τριχών στις ρίζες για να φτάσει σε μια ευρύτερη περιοχή του περιβάλλοντος που έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Οι μοριακές αναλύσεις έχουν αποκαλύψει στις φαινοτυπικές εκφράσεις στις προσαρμογής του θρεπτικού στρες, στις αυξημένες πυκνότητες μορίων μεταφοράς για ενίσχυση στις χρήσης θρεπτικών ουσιών, απελευθέρωση φυτικών ενώσεων για αύξηση στις βιοδιαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών του εδάφους και βελτιωμένες ικανότητες πρόσληψης θρεπτικών ουσιών που ρυθμίζονται στο επίπεδο μεταφοράς μεμβράνης (Sales κ.ά., 2011). Τα συστήματα γενικής απόκρισης στο θρεπτικό στρες περιλαμβάνουν στη χρήση αποθηκευμένων πολυσακχαριτών ή την ανακύκλωση κυτταρικών συστατικών για την πρόληψη σοβαρών ελλείψεων στα αναπνευστικά υποστρώματα και τη διατήρηση σημαντικών βιοχημικών οδών. Μια μεταβολική (καταβολική) διαδικασία γνωστή ως 'κενοτοπική αυτοφαγία' προκλήθηκε από ασιτία από άμυλο στο ρύζι και θα μπορούσε να είναι παρόμοια διαδικασία σε οποιοδήποτε μονοπάτι απόκρισης στο στρες που χρησιμοποιεί το άμυλο ως πρόδρομη ουσία. Η αλλαγή στο μεταβολισμό των υδατανθράκων σε απόκριση στο άζωτο υποδηλώνει στις αλλαγές στη ροή των διαλυτών σακχάρων στο φυτό. Η αφαίρεση των ζιζανίων από τον ορυζώνα αυξάνει την ποσότητα του αζώτου στο φυτό ρυζιού. Η πυκνότητα των φυτών είναι σημαντικός παράγοντας στον ανταγωνισμό, επειδή σχετίζεται αντιστρόφως με στις διαθέσιμους πόρους του φυτού. Όταν το καλλιεργημένο ρύζι φυτεύτηκε με κόκκινο ρύζι σε ποικίλες πυκνότητες, μόνο οι ποικιλίες ρυζιού με συγκριτικά υψηλή ικανότητα αύξησης, επιφάνεια φύλλων και βάρος ξηρού στελέχους μπορούσαν να ανταγωνιστούν καλά το κόκκινο ρύζι. Δεδομένου ότι το κόκκινο ρύζι έχει μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά που υποδηλώνουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι του καλλιεργημένου ρυζιού για την προσαρμογή σε συνθήκες έλλειψης σε άζωτο, αναμένεται να συσσωρεύσει περισσότερο N και να παράγει περισσότερη βιομάζα σε σύγκριση με το καλλιεργούμενο ρύζι σε συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης αζώτου (Sales κ.ά., 2011).

1.3.2. Βιολογία κόκκινου ρυζιού

Τα χαρακτηριστικά που κάνουν το ζιζάνιο ρύζι τόσο ανταγωνιστικό και επίμονο ζιζάνιο περιλαμβάνουν την ταχεία ανάπτυξη των ριζών και των βλαστών, το μεγάλο δυναμικό

παραγωγής βιομάζας (είτε με την αύξηση του ύψους ή την παραγωγή πολυάριθμων βλαστών), την ευρεία ποικιλομορφία στον χρόνο ωρίμανσης των σπόρων, την υψηλή ποσότητα σπόρου που πέφτει πριν την ωρίμαση, τη διακύμανση του λήθαργου των σπόρων και τη μακροζωία αυτών. Για παράδειγμα, μέσα σε μια εβδομάδα από την επώαση σε ψυχρές (25 °C) ή ζεστές (30 °C) θερμοκρασίες, το κόκκινο ρύζι βλασταίνει γρηγορότερα και αναπτύσσει μεγαλύτερες ρίζες από στις παλαιότερες ποικιλίες ρυζιού Maybelle και Lemont. Το κόκκινο ρύζι μπορεί στις να φυτρώσει από μεγαλύτερο βάθος από ό,τι το καλλιεργημένο ρύζι. Αυτό υποδηλώνει υψηλή πυκνότητα φυτών και υψηλή ανταγωνιστική ικανότητα σε πρώιμο στάδιο. Στον αγρό, οι σύγχρονες, βελτιωμένες ποικιλίες ρυζιού έχουν υψηλότερα ποσοστά βλάστησης από το 83% των οικοτύπων κόκκινου ρυζιού, σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, αλλά το ίδιο ποσοστό βλάστησης με στις οικοτύπους στις βέλτιστες θερμοκρασίες (Shivrain κ.ά., 2008).

Ο λήθαργος των σπόρων στο κόκκινο ρύζι συμβάλλει σε χαμηλότερα ποσοστά βλάστησης κάτω από τη βέλτιστη θερμοκρασία. Το χαρακτηριστικό λήθαργου εκδηλώνεται συχνά μεταξύ των οικοτύπων ρυζιού. Γενικά, το κόκκινο ρύζι είναι αδρανές σε μεγάλο βάθος, και στις αναφέρεται ότι ο σπόρος παραμένει βιώσιμος στο έδαφος έως και 10 έτη. Μια πτυχή του λήθαργου είναι ο αντίκτυπός του στην ομοιομορφία του φυτρώματος. Οι καλλιέργειες σπέρνονται έτσι ώστε να φυτρώσουν ταυτόχρονα, γεγονός που προσφέρεται για αποτελεσματική διαχείριση. Το κόκκινο ρύζι, από την άλλη πλευρά, έχει πολύ χαμηλή ομοιομορφία φυτρώματος σε σύγκριση με το καλλιεργούμενο ρύζι σε βέλτιστες συνθήκες αγρού (Shivrain κ.ά., 2008). Αυτό, επιτρέπει στο κόκκινο ρύζι να διαφεύγει από δυσμενείς συνθήκες και να εξασφαλίζει επικαλυπτόμενες γενεές και εκτεταμένη περίοδο αναπαραγωγής. Υπό συνθήκες αγρού, αυτό σημαίνει εκτεταμένες περιόδους ανταγωνισμού και αύξησης στις τράπεζες σπόρων του εδάφους. Τα μοτίβα εμφάνισης του κόκκινου ρυζιού είναι πολύ μεταβλητά, αλλά και η βλαστική του ικανότητα ποικίλλει στις πολύ, κυμαινόμενη από 34% έως 84% μεταξύ 215 οικολογικών τύπων blackhull, strawhull και brownhull που σπάρθηκαν σε συνθήκες αγρού (Burgos κ.ά., 2011). Ο σκούρος χρωματισμός του καρπού έχει συσχετιστεί με πιο έντονο λήθαργο. Σε ψυχρότερα κλίματα, η ανθεκτικότητα του κόκκινου ρυζιού στο έδαφος ευνοείται. Όταν τοποθετήθηκε στην επιφάνεια του εδάφους από τον Νοέμβριο έως τον Απρίλιο, το 93% των ζιζανίων σπόρων ρυζιού παρέμεινε βιώσιμο, ενώ μόνο το 4% των καλλιεργούμενων ποικιλιών ρυζιού επέζησε (Tseng κ.ά., 2013).

Οι τύποι του κόκκινου ρυζιού ποικίλλουν στις ευρέως στη βιωσιμότητα των σπόρων. Συνολικά, ο αντίκτυπος των στρατηγικών διαχείρισης στη μείωση του κόκκινου ρυζιού στην τράπεζα σπόρων του εδάφους αναμένεται να είναι εξαιρετικά μεταβλητός. Οι βελτιωμένες

ποικιλίες μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση του πλεονεκτήματος στις ζωνρότητες των φυτών του κόκκινου ρυζιού. Ωστόσο, και άλλα πλεονεκτήματα του ζιζανίου είναι εμφανή, εκτός από τα χαρακτηριστικά αντοχής. Το κόκκινο ρύζι μπορεί να αποκτήσει και να χρησιμοποιήσει θρεπτικά συστατικά από τη ριζόσφαιρα καλύτερα από ό,τι το καλλιεργημένο ρύζι (Burgos κ.ά., 2006). Το κόκκινο ρύζι έχει λεπτότερες ρίζες, οι οποίες είναι έξι φορές μεγαλύτερες και με περίπου έξι φορές περισσότερες από ό,τι στο καλλιεργημένο ρύζι. Επομένως, με πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια ρίζας και πιο απορροφητικές περιοχές ριζών, το κόκκινο ρύζι μπορεί να απορροφήσει περισσότερα θρεπτικά συστατικά από την ποικιλία ρυζιού στη μονάδα του χρόνου και από συγκεκριμένο εμβαδό εδάφους. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι, είτε η διαθεσιμότητα αζώτου είναι βέλτιστη, είτε ανεπαρκής, η συγκέντρωση του αζώτου στον ιστό βλαστών του κόκκινου ρυζιού ήταν υψηλότερη από ό,τι στην ποικιλία ρυζιού σε μια μη ανταγωνιστική, υδροπονική καλλιέργεια (Sales κ.ά., 2011). Σε έρευνα που έλαβε χώρα στον αγρό, στο κόκκινο ρύζι η συνολική συσσώρευση N στις βλαστούς ζιζανίων ρυζιού ήταν γραμμική μέχρι τον υψηλότερο ρυθμό N που χρησιμοποιήθηκε (Burgos κ.ά., 2006). Έτσι, το κόκκινο ρύζι μπορεί να συνεχίσει να αφαιρεί N από το έδαφος πέρα από την ικανότητα του καλλιεργούμενου ρυζιού. Η ικανότητά του να παράγει βιομάζα οφείλεται στο υψηλό ρυθμό αύξησης, στο ψηλό ανάστημα ή και στα δύο (Sales κ.ά., 2011).

Σε τουλάχιστον 9 από τις 10 περιπτώσεις, το κόκκινο ρύζι αναπτύσσεται ταχύτερα από ό,τι το καλλιεργούμενο ρύζι. Το πλεονέκτημα του κόκκινου ρυζιού μπορεί να ξεπεραστεί με ανταγωνιστικές ποικιλίες στις το υβριδικό ρύζι, το οποίο μπορεί να παράγει ίση ή μεγαλύτερη βιομάζα από ό,τι το κόκκινο ρύζι, ειδικότερα όταν σπέρνεται σε υψηλές πυκνότητας. Ειδικότερα, οι οικοτύποι κόκκινου ρυζιού μείωσαν απόδοση κατά 6-12% στις κλασικές ποικιλίες ρυζιού και μόνο κατά 7% στο υβριδικό ρύζι (Shivrain κ.ά., 2009). Το γεγονός ότι το κόκκινο ρύζι ποικίλλει τόσο πολύ στη φαινολογία και στην παραγωγή σπόρων και στην αποκοπή των σπόρων αυξάνει τη δυσκολία διαχείρισης. Για παράδειγμα, μια μελέτη (Shivrain κ.ά., 2010) βρήκε ότι οι οικοτύποι κόκκινου ρυζιού μπορούν να ανθίσουν από 56 έως 126 ημέρες μετά τη φύτευση, με την πλειονότητα των οικοτύπων ρυζιού να ανθίζουν (και να ωριμάζουν) νωρίτερα από το καλλιεργούμενο ρύζι. Κάτω από μη ανταγωνιστικές συνθήκες, η κυρίαρχη απόδοση σπόρων του ζιζανίου κυμαινόταν από 150 έως 225 g (Shivrain κ.ά., 2010). Αυτές οι δυνατότητες απόδοσης μπορούν να πραγματοποιηθούν στον αγρό με απομονωμένα φυτά ή φυτά που αναπτύσσονται στα αναχώματα και στις άκρες των αγρών με βέλτιστη γονιμότητα και υγρασία του εδάφους. Επειδή όλοι οι οικοτύποι κόκκινου ρυζιού παρουσιάζουν έναν ορισμένο βαθμό αποκοπής και η αποκοπή συμβαίνει νωρίς, η πλειονότητα των σπόρων

κόκκινου ρυζιού πέφτει στο έδαφος πριν τη συγκομιδή του ρυζιού. Ο βαθμός αποκοπής των σπόρων μπορεί να ποικίλλει σημαντικά. Η πλειοψηφία των πρόσφατα αποκομμένων σπόρων μπορεί να βλαστήσει μετά τον διαχωρισμό από το μητρικό φυτό. Το ευρύ φάσμα στη φαινολογική ωρίμανση του κόκκινου ρυζιού, συμπεριλαμβανομένης στις πρώιμης έναρξης αποκοπής, του μακροχρόνιου λήθαργου, στις υψηλής ποικιλομορφίας στην έκφραση του λήθαργου και στις μακροζωίας του παραγόμενου σπόρου, καθιστά το κόκκινο ρύζι δύσκολα διαχειρίσιμο, μετά την εισαγωγή του σε μία περιοχή (Tseng κ.ά., 2013).

1.3.3. Εξάπλωση κόκκινου ρυζιού

Το κόκκινο ρύζι είναι μεγάλη απειλή για τα οικοσυστήματα των καλλιεργειών ρυζιού σε στις χώρες του κόσμου. Η ευρεία υιοθέτηση στις καλλιέργειες ρυζιού με άμεση σπορά έχει προωθήσει τον παγκόσμιο πολλαπλασιασμό του κόκκινου ρυζιού στις τελευταίες δεκαετίες. Οι προσβολές από ζιζάνια μειώνουν στις αποδόσεις, ιδιαίτερα όταν η πυκνότητα των φυτών είναι υψηλή (Gealy και Yan, 2012). Δεν είναι ακόμη σαφές εάν στις ο τύπος ρυζιού (κόκκινο) αποτελούσε πρόβλημα κατά τη διάρκεια ολόκληρης στις ιστορίας στις καλλιέργειες του ρυζιού. Ωστόσο, υπάρχουν τεκμηριωμένες αναφορές τόσο στην Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ που χρονολογούνται στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Οι αναφορές υποδεικνύουν ότι καθώς τα συστήματα καλλιέργειας ρυζιού εντάθηκαν σε αυτές στις περιοχές, το ίδιο έγινε και με στις προσβολές από ζιζάνια. Το κόκκινο ρύζι διαδόθηκε στις σημαντικά όταν η μέθοδος άμεσης σποράς για το ρύζι αντικατέστησε τη μεταφύτευση μετά το 1960. Οι προσβολές από το ζιζάνιο αυξάνονται στις με τη σπορά σπόρων ρυζιού που περιέχουν σπόρους του ζιζανίου (Andres, 2014). Μάλιστα, η ανθεκτικότητα του ζιζανίου στα ζιζανιοκτόνα βοηθά στην περαιτέρω εξάπλωση του ζιζανίου. Η ανθεκτικότητα του ζιζανίου στα ζιζανιοκτόνα εξαρτάται αρχικά από το ίδιο το ζιζάνιο και πιο συγκεκριμένα από (Ελευθεροχωρινός, 2014):

- 1) τη συχνότητα εμφάνισης του γονιδίου ανθεκτικότητας στον αρχικό πληθυσμό
- 2) τον αριθμό των γονιδίων που ελέγχουν την ανθεκτικότητα
- 3) την προέλευση του γονιδίου ανθεκτικότητας (DNA πυρήνα, χλωροπλαστών, μιτοχονδρίων) σε συνδυασμό με τον τρόπο δράσης (κυρίαρχο-επικρατές, ημικυρίαρχο)
- 4) τη δυνατότητα μεταφοράς του γονιδίου ανθεκτικότητας, δηλαδή την προέλευση του DNA καθώς και τον τρόπο επικοινωνίας του ζιζανίου.
- 5) τη διάρκεια βιωσιμότητας των σπόρων του αρχικού πληθυσμού των ζιζανίων στο ζιζανιοκτόνο

- 6) τη διάρκεια του λήθαργου των σπόρων του αρχικού πληθυσμού των ζιζανίων στο ζιζανιοκτόνο
- 7) την ένταση ευαισθησίας του αρχικού πληθυσμού του ζιζανίου στο ζιζανιοκτόνο
- 8) την προσαρμοστικότητα των ανθεκτικών φυτών έναντι των ευαίσθητων φυτών
- 9) την πλειοτροπική επίδραση του γονιδίου ανθεκτικότητας στην αναπαραγωγή, στην φυτρωτική ικανότητα, στην αντοχή σε εχθρούς και ασθένειες και στην ανταγωνιστική ικανότητα.

Η ανθεκτικότητα του ζιζανίου στα ζιζανιοκτόνα εξαρτάται στις από στις ιδιότητες του ζιζανιοκτόνου και πιο συγκεκριμένα από (Ελευθεροχωρινός, 2014):

- 1) την ένταση δράσης του ζιζανιοκτόνου,
- 2) την υπολειμματική διάρκεια του ζιζανιοκτόνου
- 3) τον μηχανισμό δράσης του ζιζανιοκτόνου.

Τέλος, η ανθεκτικότητα του ζιζανίου στα ζιζανιοκτόνα εξαρτάται στις από στις μεθόδους στις γεωργικής πρακτικής και πιο συγκεκριμένα από (Ελευθεροχωρινός, 2014):

- 1) στις υψηλές δόσεις του ζιζανιοκτόνου
- 2) τη συχνότητα εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου,
- 3) τη μη χρήση μιγμάτων ζιζανιοκτόνων,
- 4) τη μη εναλλαγή ζιζανιοκτόνων στο ίδιο χωράφι
- 5) τη μη συνδυασμένη χρήση εναλλακτικών μεθόδων αντιμετώπισης ζιζανίων,
- 6) το σύστημα αμειψισποράς των καλλιεργειών που εφαρμόζεται
- 7) τον τρόπο κατεργασίας του εδάφους.

Ο βαθμός κυριαρχίας των γονιδίων στις ανθεκτικότητας ευνοεί τον ρυθμό ανάπτυξης στις ανθεκτικότητας των ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα. Σε γενικό επίπεδο, για την εμφάνιση ανθεκτικού πληθυσμού πρέπει να υπάρχει πίεση επιλογής σε έναν πληθυσμό και κυρίως γενετική παραλλακτικότητα. Στην περίπτωση ανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα αναστολεις στις δράσης του ενζύμου οξικογαλακτική συνθάση (ALS), τα ανθεκτικά αλληλόμορφα ALS είναι κυρίαρχα γονίδια του πυρήνα που ακολουθούν Μενδελική κληρονομικότητα. Με άλλα λόγια, τα ανθεκτικά ALS γονίδια έχουν τη δυνατότητα να διαδίδονται μέσω στις γύρης και του σπόρου (Ελευθεροχωρινός, 2014; Tranel και Wright, 2002).

1.3.4. Ανταγωνιστική ικανότητα και ανθεκτικότητα

1.3.4.1. Η ανταγωνιστική ικανότητα του κόκκινου ρυζιού

Για την καλλιέργεια του ρυζιού, η παρουσία των ζιζανίων αποτελεί την αιτία για στις μεγαλύτερες απώλειες του παραγόμενου προϊόντος, αλλά και το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής, εξαιτίας των δαπανών διαχείρισής στις. Οι μέσες απώλειες απόδοσης, λόγω στις παρουσίας των ζιζανίων στο ρύζι, μπορεί να ποικίλλουν από 40 έως 60% και σε ορισμένες περιπτώσεις να ανέλθουν σε 94-96%, ανάλογα με τον τύπο των ζιζανίων, το επίπεδο προσβολής, στις μεθόδους εγκατάστασης και στις πρακτικές διαχείρισης των ζιζανίων (Mahajan κ.ά., 2009).

Το κόκκινο ρύζι ανταγωνίζεται το καλλιεργούμενο ρύζι για νερό, θρεπτικά συστατικά και φως. Επιπλέον, είναι πιο αποτελεσματικό από ό,τι το καλλιεργούμενο ρύζι όσον αφορά την πρόσληψη αζώτου από το έδαφος (Ottis κ.ά., 2005). Μάλιστα, η παρουσία του ως σημαντικό ζιζάνιο έχει καταγραφεί σε παγκόσμιο επίπεδο (Gealy κ.ά., 2002). Οι Ottis κ.ά. (2005) ανέφεραν, ως αποτέλεσμα πειραμάτων στις ΗΠΑ, μείωση στις απόδοσης κατά 5-40%, με προσβολή τεσσάρων φυτών κόκκινου ρυζιού ανά m^2 . Στην Ιταλία έχουν αναφερθεί απώλειες απόδοσης που κυμαίνονται από 1% έως 13% (παρουσία 1-5% φυτών κόκκινου ρυζιού) και έως 30% (παρουσία 10-20% φυτών κόκκινου ρυζιού). Ανήκοντας στο ίδιο βοτανικό είδος, το κόκκινο και το καλλιεργούμενο ρύζι μοιράζονται αρκετά γενετικά χαρακτηριστικά (γονιδίωμα AA, $2n = 24$), συνεπώς, ο έλεγχος του κόκκινου ρυζιού σε καλλιεργούμενους ορυζώνες είναι δύσκολος (Ottis κ.ά., 2005).

Το χαμηλό κόστος στις χρήσης ζιζανιοκτόνων, σε σύγκριση με στις μεθόδους αντιμετώπισης, καθώς και η έλλειψη εργατικού δυναμικού κατά την κρίσιμη περίοδο ανταγωνισμού, οδηγούν στις καλλιεργητές ρυζιού στη χρήση των ζιζανιοκτόνων για την αντιμετώπιση των ζιζανίων. Εντούτοις, η συνεχής και αλόγιστη χρήση ζιζανιοκτόνων για μεγάλο χρονικό διάστημα προκαλεί αρκετές αρνητικές επιπτώσεις στη γύρω άγρια ζωή και στην υγεία των αγροτών (Aktar κ.ά., 2009). Στις φορές τα ζιζανιοκτόνα έχουν έμμεσες επιδράσεις στα φυτοφάγα ωφέλιμα έντομα, μέσω στις καταστροφής του οικολογικού περιβάλλοντός στις ή στις μείωσης στις θρεπτικής αξίας των φυτών ξενιστών στις. Επιπλέον, η εφαρμογή του ίδιου ζιζανιοκτόνου συχνά με την πάροδο των ετών μπορεί να δημιουργήσει ζιζάνια ανθεκτικά στα ζιζανιοκτόνα (Baucorn, 2019).

Η ανάπτυξη ποικιλιών με υψηλή ανταγωνιστική ικανότητα αποτελεί μία από στις κύριες εναλλακτικές μεθόδους για τη διαχείριση των ζιζανίων. Η αντοχή στον ανταγωνισμό των ζιζανίων (WT, weed tolerance) και η ικανότητα καταστολής των ζιζανίων (WSA, weed suppression ability) είναι τα δύο κύρια συστατικά στις ανταγωνιστικότητας των

καλλιεργούμενων φυτών. Το WT αναφέρεται στην ικανότητα διατήρησης υψηλών αποδόσεων υπό συνθήκες ανταγωνισμού ζιζανίων, ενώ το WSA αναφέρεται στην ικανότητα μιας ποικιλίας να μειώνει την ανάπτυξη των ζιζανίων, μέσω του ανταγωνισμού. Πολλά άρθρα έχουν τεκμηριώσει τη μεταβλητότητα μεταξύ των ποικιλιών στην ικανότητά στις να ανταγωνίζονται τα ζιζάνια (Shabi κ.ά., 2018). Ωστόσο, οι Zhao κ.ά. (2006) βρήκαν ότι η ικανότητα καταστολής των ζιζανίων (WSA) μιας ποικιλίας χαμηλής απόδοσης δεν θα εγγυάται πάντα υψηλή απόδοση. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να αναπτυχθεί δυναμικό υψηλής απόδοσης και ταυτόχρονα υψηλού δείκτη WSA, ώστε να διατηρείται η απόδοση σε υψηλά επίπεδα. Πολλοί ερευνητές από στις χώρες που καλλιεργούν ρύζι ασχολούνται στις με αυτά τα ζητήματα, βλέποντας την υψηλή ευαισθησία του ρυζιού στα ζιζάνια (Ahmed κ.ά., 2020).

Η υψηλή ανταγωνιστική ικανότητα των ποικιλιών ρυζιού αποτελεί κύρια παράμετρο στις ολοκληρωμένες διαχείρισης ζιζανίων (IWM) και μια ελκυστική επιλογή για την καταστολή στις ανάπτυξης των ζιζανίων, κατά την οποία δεν υπάρχει ανάγκη για πρόσθετο κόστος. Οι ανταγωνιστικές ποικιλίες καταστέλλουν την ανάπτυξη των ζιζανίων, λόγω κάλυψης και σκίασης ή μειώνοντας την ικανότητα των ζιζανίων να προσλαμβάνουν στις πόρους του εδάφους ή μέσω στις παραγωγής αλληλοπαθητικών (τοξικών) ουσιών που μειώνουν το φύτευμα και την ανάπτυξη των ζιζανίων. Αν και το ρύζι γενικά χαρακτηρίζεται από μικρή ανταγωνιστική ικανότητα, η δημιουργία ανταγωνιστικών ποικιλιών ρυζιού θα μπορούσε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη μείωση στις χρήσης των ζιζανιοκτόνων στα αγρο- οικοσυστήματα, βελτιώνοντας ταυτόχρονα αποτελεσματικότητά στις.

Ο ρυθμός βλάστησης των σπόρων είναι στις σημαντικός παράγοντας στην εγκατάσταση στις καλλιέργειας που καθορίζει τον επαρκή πληθυσμό φυτών για τη βέλτιστη απόδοση. Η μεταφύτευση είναι η εναλλακτική επιλογή για την επιτυχή εγκατάσταση στις καλλιέργειας. Στο σύστημα στις μεταφύτευσης, ο χαμηλός πληθυσμός φυτών και τα μεγάλα κενά επιτρέπουν το φύτευμα και την ανάπτυξη περισσότερων ζιζανίων. Στο σύστημα στις απ' ευθείας σποράς, η υψηλή πυκνότητα φυτών οδηγεί σε λιγότερο παραγωγικά φυτά, σε μεγαλύτερη πιθανότητα προσβολής από ασθένειες και έντομα, ενώ απαιτεί εφαρμογή μεγαλύτερων ποσοτήτων αζώτου. Επομένως, υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ στις επιλογής στις ποικιλίας και του τρόπου σποράς στην απόδοση του ρυζιού (Ahmed κ.ά., 2020).

1.3.4.2. Η ανθεκτικότητα ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνα του ρυζιού

Παγκοσμίως, η συνεχής χρήση ζιζανιοκτόνων έχει οδηγήσει στην εξέλιξη πολλών ανθεκτικών στα ζιζανιοκτόνα βιότυπων ζιζανίων. Είναι σημαντικό ότι έχουν αναφερθεί 164

περιπτώσεις ζιζανίων ρυζιού ανθεκτικών σε ζιζανιοκτόνα, συμπεριλαμβανομένων 69 περιπτώσεων που αφορούσαν το είδος *Echinochloa*. Ως αποτέλεσμα στις ανθεκτικότητας, καθώς και στις σημαντικής μείωσης του αριθμού των νέων ζιζανιοκτόνων που λαμβάνουν έγκριση και στις ολόενα και πιο αυστηρής νομοθεσίας σχετικά με τη χρήση των ζιζανιοκτόνων, ειδικά στην Ευρώπη, απαιτούνται πιο αποτελεσματικά εργαλεία για τη διαχείριση των ζιζανίων. Η ολοκληρωμένη διαχείριση ζιζανίων, η οποία στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του αριθμού των επεμβάσεων, μεγιστοποιώντας την αποτελεσματικότητά στις, είναι επομένως μια βασική κατευθυντήρια ιδέα. Από αυτή την άποψη, είναι πρωταρχικής σημασίας να προσδιοριστούν οι γενετικές βάσεις στις ανθεκτικότητας στα ζιζανιοκτόνα των ζιζανίων και να κατανοηθεί το πώς η γονιδιακή αντοχή εξελίσσεται και εξαπλώνεται μεταξύ και εντός των πληθυσμών των ζιζανίων. Η κατανόηση του μηχανισμού(ων) ανθεκτικότητας στα ζιζανιοκτόνα είναι μια κρίσιμη πτυχή στην πρόβλεψη στις εξέλιξης στις ανθεκτικότητας (Amaro-Blanco κ.ά., 2021). Οι μηχανισμοί ανθεκτικότητας στα ζιζανιοκτόνα μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε ανθεκτικότητα λόγω τροποποίησης του ενζύμου-στόχου, σε υπερπαραγωγή του ενζύμου- στόχου και/ή μεταβολισμό του ζιζανιοκτόνου. Οι μηχανισμοί ανθεκτικότητας περιλαμβάνουν ως επί το πλείστον μεταλλάξεις στο σημείο δράσης-στόχο στις ζιζανιοκτόνου, με αποτέλεσμα μια μη ευαίσθητη ή λιγότερο ευαίσθητη πρωτεΐνη στόχο του ζιζανιοκτόνου (Powles και Yu, 2010).

Οι Gómez de Barreda κ.ά. (2021), προκειμένου να προσδιορίσουν στις κύριες πρακτικές διαχείρισης για τον έλεγχο των ζιζανίων ρυζιού και να προκαλέσουν την ευαισθητοποίηση των αγροτών για την εξέλιξη στις ανθεκτικότητας στα ζιζανιοκτόνα, διεξήγαγαν έρευνα για διάστημα δύο ετών (από το 2016 έως το 2017) στις κύριες περιοχές καλλιέργειας στις Ισπανίας. Συνολικά 90 αγρότες και 108 τεχνικοί σύμβουλοι απάντησαν στην έρευνα αυτή. Τα αποτελέσματα στις έρευνας υπέδειξαν ότι τα πιο ενοχλητικά ζιζάνια είναι τα *Echinochloa* spp. Και τα *Cyperus* spp. Οι συμμετέχοντες ρωτήθηκαν στις σχετικά με καλλιεργητικές πρακτικές για τον έλεγχο των ζιζανίων που πραγματοποιούνται στις ορυζώνες στις. Τα πιο σημαντικά ευρήματα ήταν: διαχείριση νερού, χειροκίνητο βοτάνισμα, όργωμα σε πλημμυρισμένο χωράφι πριν από τη σπορά, μηχανικός καθαρισμός εξοπλισμού, αύξηση ποσότητας σπόρου, μηχανικός έλεγχος, σπορά σε ξηρό έδαφος και αμειψισπορά. Οι ίδιοι συγγραφείς τόνισαν στις πως οι ερωτηθέντες αγρότες και τεχνικοί σύμβουλοι γνώριζαν την έλλειψη αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις που διερευνήθηκαν, φυσιολογικοί και βιοχημικοί μηχανισμοί των φυτών είναι υπεύθυνοι για την εμφάνιση στις ανθεκτικότητας των ζιζανίων

σε ζιζανιοκτόνα. Ειδικότερα, οι φυσιολογικοί μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την ανθεκτικότητα των ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα είναι οι μηχανισμοί μη στόχου δράσης, οι οποίοι οφείλονται σε (Ελευθεροχωρινός, 2014):

1. μειωμένη διέλευση του ζιζανιοκτόνου μέσω στις κυτταρικής μεμβράνης,
2. μεταφορά-εναπόθεση του ζιζανιοκτόνου σε χώρους μη δράσης (π.χ. χυμοτόπιο, μεσοκυττάριοι χώροι)
3. μειωμένη μεταφορά του ζιζανιοκτόνου σε χώρους δράσης (χλωροπλάστη) ή απέκκριση από τον χλωροπλάστη στο κυττόπλασμα,
4. απέκκριση του ζιζανιοκτόνου από τον χλωροπλάστη στο κυτταρικό τοίχωμα.

Από την άλλη, οι πιο σημαντικοί βιοχημικοί μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για στην ανθεκτικότητα των ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα οφείλονται (Ελευθεροχωρινός, 2014):

1. στην ικανότητα που χαρακτηρίζει τα ζιζάνια να μεταβολίζουν τα ζιζανιοκτόνα με ένζυμα μη στόχου δράσης, μέσω αντίδρασης τροποποίησης στις δομές του ζιζανιοκτόνου (μονοοξυγονάσεις) ή/και αντίδρασης σχηματισμού συμπλόκου μεταξύ ζιζανιοκτόνου και συστατικών του κυττάρου (γλουταθειόνη-S-τρανσφεράση, γλυκοζυλοτρανσφερασών)
2. στην υπερέκφραση γονιδίου ανθεκτικότητας προκαλώντας υπερπαραγωγή του ενζύμου μεταβολισμού στις ζιζανιοκτόνου ή του ευαίσθητου ενζύμου-στόχου δράσης
3. στην τροποποίηση του στόχου δράσης και αδυναμία πρόσδεσης του ζιζανιοκτόνου

Στην καλλιέργεια του ρυζιού στον Ελλαδικό χώρο έχουν αναπτύξει ανθεκτικότητα τα ζιζάνια *Echinochloa* spp., *Cyperus difformis*, *Oryza sativa* και *Scirpus* spp. (Βασιλάκογλου και Δήμας, 2021).

1.4. Μέθοδοι διαχείρισης των ζιζανίων ρυζιού

Το κόκκινο ρύζι αποτελεί μια συνεχή απειλή για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα στις βιομηχανίας ρυζιού σε αρκετές περιοχές καλλιέργειας ρυζιού παγκοσμίως. Βιότυποι κόκκινου ρυζιού μπορούν να μειώσουν στις αποδόσεις έως και 87% (Zhang κ.ά., 2006). Η μη διαθεσιμότητα εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων, πριν το 2004, καθιστούσε την αντιμετώπιση του κόκκινου ρυζιού εντός στις καλλιέργειας του ρυζιού αδύνατη. Έτσι λοιπόν, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα ζιζάνια αυτά εφαρμόζονταν κυρίως καλλιεργητικά μέτρα. Τα εν λόγω καλλιεργητικά μέτρα περιλάμβαναν αμειψισπορά σε περιπτώσεις που ήταν εφικτό, επιλογή ανταγωνιστικών ποικιλιών ρυζιού, ρύθμιση στις εποχής σποράς, ψευδοσποράς, καθώς και αύξηση στις πυκνότητας σποράς (Ελευθεροχωρινός, 2014). Επιπροσθέτως, άλλα, στις γνωστά, μέτρα αντιμετώπισης περιλάμβαναν το βοτάνισμα των φυτών κατά την έναρξη στις

ανθοφορίας με μικρές πυκνότητες του ζιζανίου και χρήση μη εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων στις για παράδειγμα χρήση σχοινοδιαβρεκτών με glyphosate στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών κόκκινου ρυζιού κατά το οποίο είχα ξεπεράσει σε ύψος την καλλιέργεια του ρυζιού. Αξίζει να αναφερθεί κανείς και στην αποτελεσματική μέθοδο στις ψευδοσποράς/ψεύτικη σπορά (false seeding), κατά την οποία πραγματοποιείται ειδική κατεργασία του εδάφους με προετοιμασία σποροκλίνης για ψεύτικη σπορά του ρυζιού, η οποία έχει ως αποτέλεσμα το φύτευμα του κόκκινου ρυζιού (αλλά και στις μουχρίτσας). Στη συγκεκριμένη μέθοδο εφαρμόζονται ζιζανιοκτόνα glyphosate ή propanil, με ελαφριά ή χωρίς κατεργασία και έτσι τα ζιζάνια καταστρέφονται πριν από την πραγματική σπορά του ρυζιού (Ελευθεροχωρινός, 2014).

Η εφαρμογή εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων για την μεταφυτρωτική αντιμετώπιση του κόκκινου ρυζιού στο ρύζι κατέστη δυνατή με την εισαγωγή μεταλλαγμένων ποικιλιών ρυζιού με ανθεκτικότητα στην ιμιδαζολινόνη imazamox. Το imazamox έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε ορυζώνες στην Αμερική και την Ευρώπη τα τελευταία χρόνια. Ο κύριος στόχος του ζιζανιοκτόνου είναι το ένζυμο συνθάση ακετοϋδροξυοξέος (AHAS), που ονομάζεται στις οξικογαλακτική συνθάση (ALS). Καταλύει το πρώτο κοινό βήμα στις βιοσυνθετικές οδούς αμινοξέων στις λευκίνης, στις ισολευκίνης και στις βαλίνης. Οι ποικιλίες ρυζιού αναπτύχθηκαν από μεταλλαγμένα φυτά ρυζιού με αντοχή στο ζιζανιοκτόνο αυτό και με κλασικές μεθόδους αναπαραγωγής (Tan κ.ά., 2005).

1.5. Τεχνολογία CLEARFIELD

Το κόκκινο ρύζι ανήκει στο ίδιο βοτανικό είδος με το καλλιεργούμενο ρύζι. Για το λόγο αυτό, οι βιότυποι του κόκκινου ρυζιού δεν ελέγχονται από τα συμβατικά εκλεκτικά αγρωστωδοκτόνα του ρυζιού (Zhang κ.ά., 2006). Έτσι, η αποτελεσματική καταπολέμηση του κόκκινου ρυζιού είναι πολύ δύσκολη, εφόσον ζιζάνιο και καλλιέργεια έχουν παρόμοια φυσιολογικά χαρακτηριστικά και ζιζανιοκτόνα που επιδρούν στο κόκκινο ρύζι είναι ταυτόχρονα και φυτοτοξικά στην καλλιέργεια (Gealy κ.ά., 2002).

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, το Αγροτικό Κέντρο του Κρατικού Πανεπιστημίου στις Λουιζιάνα (LSUAg Center) ανέπτυξε ποικιλίες ρυζιού ανθεκτικές στην ιμιδαζολινόνη imazamox, γνωστές και ως 'ρύζι Clearfield'. Συνοπτικά, κατά την τεχνική αυτή απομονώθηκαν ποικιλίες ανθεκτικές στην ιμιδαζολινόνη (IMI-tolerant varieties) και η εταιρεία BASF Agrochemical Products κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας την τεχνολογία ως τεχνολογία ρυζιού 'Clearfield'. Η τεχνολογία 'Clearfield' έγινε διαθέσιμη για στις καλλιεργητές στα μέσα στις δεκαετίες του 1990 και πλέον έχει υιοθετηθεί ευρέως για τον

έλεγχου κόκκινου ρυζιού. Η έκταση που κατά προσέγγιση καλλιεργείται με IMI-ανθεκτικές ποικιλίες στις ΗΠΑ είναι 736.200 εκτάρια ή περίπου το 68% στις συνολικής έκτασης ρυζιού στις ΗΠΑ. Περίπου το 50% των ποικιλιών ρυζιού που σπέρνονται στη νότια Βραζιλία είναι IMI-ανθεκτικές, ενώ στην Ιταλία οι IMI-ανθεκτικές ποικιλίες που σπάρθηκαν το 2013 αντιπροσώπευαν περίπου το 20% στις καλλιέργειες ρυζιού (Andres κ.ά., 2014).

Οι ποικιλίες ρυζιού Clearfield προσφέρουν τη δυνατότητα εκλεκτικής διαχείρισης του κόκκινου ρυζιού στην καλλιέργεια του ρυζιού με τη χρήση στις ιμιδαζολινόνης imazamox. Προκειμένου να δημιουργηθούν αυτές οι σειρές ρυζιού, ανθεκτικές στο imazamox, οι σπόροι ρυζιού υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με το μεταλλαξιγόνο μεθανοσουλφονικό αιθυλεστέρα (EMS). Το ένζυμο ALS είναι υπεύθυνο για τη βιοσύνθεση των αμινοξέων διακλαδισμένης αλυσίδας (βαλίνη, λευκίνη και ισολευκίνη) στα φυτά. Οι ιμιδαζολινόνες δρουν ως αναστολείς του ενζύμου ALS και σταματούν την παραγωγή αυτών των αμινοξέων. Χωρίς αυτά τα αμινοξέα τα φυτά πεθαίνουν αργά, λόγω στις αδυναμίας στις να συνθέσουν πρωτεΐνες, οι οποίες είναι σημαντικές για την κυτταρική διαίρεση. Η παρουσία του μεταλλαγμένου γονιδίου ALS στο ρύζι Clearfield το καθιστά ανθεκτικό στις ιμιδαζολινίνες. Το ρύζι Clearfield θεωρείται ασφαλές προϊόν, επειδή δεν περιέχει γονίδιο από διαφορετικό επίπεδο ζωής (μικροβιακό διαγονίδιο) και συνεπώς δεν είναι γενετικώς τροποποιημένο. Επιπλέον, οι ιμιδαζολινόνες είναι μικρής τοξικότητας για τα ζώα, επειδή η βιοσυνθετική οδός ALS υπάρχει μόνο στα φυτά και σε ορισμένα βακτήρια (Sudianto κ.ά., 2013).

Η διάθεση του ρυζιού Clearfield στις παραγωγούς προχώρησε ομαλά, χωρίς στις πρόσθετες κανονιστικές απαιτήσεις που επιβάλλονται στα γενετικώς τροποποιημένα φυτά. Ωστόσο, οι επιστήμονες εγείρουν ανησυχίες σχετικά με τη διαφυγή του χαρακτηριστικού αντοχής από το ρύζι Clearfield στο κόκκινο ρύζι, λόγω στις μεγάλης κλίμακας υιοθέτησης στις τεχνολογίας. Στις ΗΠΑ, προβλέφθηκε ότι η τεχνολογία ρυζιού Clearfield θα διαρκούσε μόνο περίπου 8 έως 10 χρόνια, λόγω στις επιταχυνόμενης εξέλιξης του κόκκινου ρυζιού που θα καταστεί ανθεκτικό στις ιμιδαζολινόνες, κυρίως από τη ροή γονιδίων μεταξύ καλλιεργούμενου και κόκκινου ρυζιού. Η τεχνολογία ρυζιού Clearfield εξακολουθεί να είναι ο βασικός πυλώνας στη διαχείριση των ζιζανίων του ρυζιού στις νότιες ΗΠΑ. Το ρύζι Clearfield στις Βόρειας Αμερικής κυκλοφόρησε για πρώτη φορά στο εμπόριο από το Πολιτειακό Πανεπιστήμιο στις Λουιζιάνα (LSU) το 2002, με την κυκλοφορία των πρώτων δύο ποικιλιών Clearfield, CL121 και CL141 (Tan κ.ά., 2005).

Οι νεότερες ποικιλίες ρυζιού Clearfield έχουν υψηλότερη αντοχή στις ιμιδαζολινόνες από ό,τι οι αρχικές. Αρκετές εμπορικές υβριδικές σειρές ρυζιού διαθέτουν στις το χαρακτηριστικό Clearfield. Η τεχνολογία ρυζιού Clearfield βοήθησε στην αύξηση των ποικιλιών ρυζιού, κάτι

που ωφελεί τη βιομηχανία στις ορυζοκαλλιέργειες. Το υβριδικό ρύζι Clearfield προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι των καθαρών σειρών Clearfield. Εκτός από την υψηλή απόδοση, το υβριδικό ρύζι έχει στις το πλεονέκτημα ότι είναι πιο ανταγωνιστικό εναντίον του κόκκινου ρυζιού. Ο υβριδικός σπόρος ρυζιού κοστίζει περισσότερο από εκείνον των καθαρών σειρών, αλλά λόγω στις υψηλής απόδοσης στις, τα υβρίδια ρυζιού αυξάνονται στις ΗΠΑ.

Το υβριδικό ρύζι έχει υψηλότερη γενετική συμβατότητα με το κόκκινο ρύζι από ό,τι οι συμβατικές ποικιλίες. Ωστόσο, η γονιδιακή ροή από το υβριδικό ρύζι, ή οποιοδήποτε άλλο καλλιεργημένο ρύζι, δεν συμβαίνει πάντα επειδή σε ορισμένες περιπτώσεις η περίοδος ανθοφορίας του καλλιεργούμενου ρυζιού και του κόκκινου ρυζιού δεν συγχρονίζονται. Η άλλη πρόκληση που σχετίζεται με το υβριδικό ρύζι Clearfield, που σχετίζεται με την εξέλιξη των πληθυσμών κόκκινου ρυζιού, είναι η υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης φυτών εθελοντών την επόμενη σεζόν. Αυτό σχετίζεται κυρίως με το ποσοστό πτώσης των σπόρων που συνέβη την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο (Sudianto κ.ά., 2013).

Η τεχνολογία του ρυζιού Clearfield έγινε εύκολα αποδεκτή στην Αμερική, άργησε στις να κερδίσει έδαφος στην Ασία και την Ευρώπη, όπου το κόκκινο ρύζι είναι στις ένα σημαντικό πρόβλημα. Από το 2012, μόνο η Μαλαισία, το Βιετνάμ, η Ιταλία και η Ελλάδα έχουν εκφράσει ενδιαφέρον για την ανάπτυξη και την εμπορευματοποίηση του ρυζιού Clearfield. Η εφαρμογή στις τεχνολογίας χωρίς μακροπρόθεσμο σχεδιασμό, κατάλληλη διαχείριση, θεσμική συνεργασία και επίβλεψη θα μπορούσε να έχει αρνητικές οικολογικές επιπτώσεις, όσον αφορά τη διαφυγή του γονιδίου στα ζιζάνια. Η εμφάνιση υβριδίων ρυζιού Clearfield που θα μπορούσαν τελικά να οδηγήσουν σε σταθεροποιημένους πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού προκαλεί ανησυχία. Η διάρκεια ζωής στις τεχνολογίας εξαρτάται από τον ρυθμό εξέλιξης τέτοιων πληθυσμών κόκκινου ρυζιού. Μια άλλη ανησυχία είναι η υπολειμματική δράση των ζιζανιοκτόνων IMI που θα μπορούσε δυνητικά να βλάψει στις καλλιέργειες αμειψισποράς. Αυτό αποτελεί σοβαρό εμπόδιο σε τροπικές περιοχές όπου το ρύζι καλλιεργείται διαδοχικά με στις καλλιέργειες σε περίοδο στις έτους. Η υπέρβαση αυτών των προκλήσεων απαιτεί μια συντονισμένη προσπάθεια μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων τομέων, π.χ. δημόσιοι ερευνητές, εργαζόμενοι στον τομέα στις επέκτασης, ιδιωτική βιομηχανία και φορείς χάραξης πολιτικής των κυβερνήσεων (Sudianto κ.ά., 2013).

Η διατήρηση στις αποτελεσματικότητας στις τεχνολογίας ρυζιού Clearfield βασίζεται στις ακόλουθες αρχές βέλτιστης διαχείρισης ζιζανίων (Sudianto κ.ά., 2013): 1. Χρήση πιστοποιημένων σπόρων, 2. Εφαρμογή προγραμμάτων ζιζανιοκτόνων που ενσωματώνουν όλους στις πιθανούς τρόπους δράσης που είναι διαθέσιμοι για την παραγωγή ρυζιού, 3. Υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης που διασφαλίζουν τη μέγιστη

αποτελεσματικότητα του ζιζανιοκτόνου, 4. Ελαχιστοποίηση του συγχρονισμού στις ανθοφορίας μεταξύ του ρυζιού και του κόκκινου ρυζιού (γνωρίζοντας τη φαινολογία του κόκκινου ρυζιού και προσαρμόζοντας ανάλογα στις ημερομηνίες σποράς), 5. Καταστροφή φυτών ρυζιού και κόκκινου ρυζιού που εμφανίζονται μετά τη συγκομιδή σε έναν ορυζώνα Clearfield, 6. Αποτροπή στις παραγωγής σπόρων από φυτά εθελοντές ή φυτά κόκκινου ρυζιού κατά την επόμενη καλλιεργητική περίοδο, ελέγχοντάς το μέσω αμειψισποράς, στις τα ψυχανθή που είναι ανθεκτικά στις ιμιδαζολινόνες, 7. Μηδενική ή ελάχιστη άροση, 8. Ψευδοσπορά που μειώνει την πυκνότητα πληθυσμού του, 9. Μηχανική συγκομιδή καθαρών αγρών πριν από τη συγκομιδή αγρών που έχουν μολυνθεί από το ζιζάνιο και 10. Εναλλαγή ρυζιού Clearfield με στις καλλιέργειες για να διακοπεί ο κύκλος του ζιζανίου.

Συμπερασματικά, η εισαγωγή στις τεχνολογίας ρυζιού Clearfield είναι ένα σημαντικό επίτευγμα που συμβάλλει στον περιορισμό του προβλήματος που προκαλεί το κόκκινο ρύζι. Αυτό αντικατοπτρίζεται από την ευρεία υιοθέτηση του ρυζιού Clearfield για την αντιμετώπιση του κόκκινου ρυζιού. Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία αντιμετωπίζει προβλήματα, καθώς η εξέλιξη του κόκκινου ρυζιού με ανθεκτικό ALS, καθώς και η παραμονή των ιμιδαζολινών στο έδαφος αποτελούν σημαντικές ανησυχίες. Σε αρκετές χώρες έχουν εντοπιστεί βιότυποι κόκκινου ρυζιού με ανθεκτικότητα στις αναστολείς ALS, γεγονός που θέτει υπό αμφισβήτηση τη χρησιμότητα του ρυζιού Clearfield. Επιπλέον, η μεγάλη υπολειμματική διάρκεια των ιμιδαζολινών στο έδαφος έχει προκαλέσει προβλήματα φυτοτοξικότητας σε ευαίσθητες καλλιέργειες που ακολουθούν κατά την αμειψισπορά. Αυτά τα προβλήματα θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν από στις χώρες που εξετάζουν το ενδεχόμενο να υιοθετήσουν την τεχνολογία ρυζιού Clearfield. Η αυστηρή τήρηση των κατευθυντήριων γραμμών διαχείρισης πρέπει να είναι ο κανόνας και οι συστάσεις για στις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης θα πρέπει να ακολουθούνται. Αυτό συνεπάγεται τη διεξαγωγή συνεχών εκπαιδευτικών σεμιναρίων για στις καλλιεργητές και στις παραγωγούς σπόρων, σχετικά με τη λογική χρήση στις τεχνολογίας, καθώς και την αναθεώρηση των συστημάτων παραγωγής και διανομής σπόρων στις χώρες που υιοθετούν το ρύζι Clearfield (Sudianto κ.ά., 2013).

Η καλλιέργεια μιας δικοτυλήδονης (πλατύφυλλης) καλλιέργειας μετά το ρύζι επιτρέπει τη χρήση εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων για την καταπολέμηση του κόκκινου ρυζιού. Οι Sudianto κ.ά.(2013) υποστηρίζουν ότι η μη άροση ή η ελάχιστη άροση μετά από μεγάλη εναπόθεση σπόρων κόκκινου ρυζιού θα ελαχιστοποιήσει σημαντικά την αύξηση στις τράπεζες σπόρων του εδάφους, επειδή οι σπόροι που παραμένουν στην επιφάνεια του εδάφους υπόκεινται σε διάφορες απώλειες. Οι σπόροι στην επιφάνεια του εδάφους μπορούν να βλαστήσουν και να ελεγχθούν με μη εκλεκτικά ζιζανιοκτόνα πριν από τη σπορά στις επόμενης καλλιέργειας. Το

μηπαράχωμα των σπόρων του κόκκινου ρυζιού εξασφαλίζει στις το μέγιστο φύτρωμα και τον υψηλότερο δυνατό έλεγχο από διάφορα ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες αμειψισποράς. Έρευνα στο Πανεπιστήμιο του Αρκάνσας έδειξε ότι οι σπόροι που είναι θαμμένοι πιο βαθιά στο προφίλ του εδάφους παραμένουν βιώσιμοι για τουλάχιστον τέσσερα χρόνια. Η εμπειρία των ορυζοκαλλιεργητών του Αρκάνσας δείχνει στις ότι οι αγροί που κάποτε ήταν απαλλαγμένοι από το ζιζάνιο μολύνθηκαν με κόκκινο ρύζι αμέσως μετά τη μετακίνηση του επιφανειακού εδάφους σε διάφορα μέρη του αγρού κατά τη διαδικασία ισοπέδωσης του αγρού.

Ο Chauhan (2012) βρήκε ότι πάνω από το 80% του κόκκινου ρυζιού εμφανίστηκε μετά από 21 ημέρες στις σποράς του στην επιφάνεια του εδάφους. Οι σπόροι που είχαν σπαρθεί βαθύτερα εξακολουθούσαν να εμφανίζονται, αλλά αργότερα. Έτσι, το κόκκινο ρύζι μπορεί να φυτρώσει από μεγαλύτερα βάθη από αυτό που συνιστάται για φύτευση του ρυζιού και οι θαμμένοι σπόροι του ζιζανίου μπορούν να παραμείνουν βιώσιμοι για ποικίλα χρονικά διαστήματα.

Εφόσον το χαρακτηριστικό αντοχής εισχωρήσει σε ένα πληθυσμό κόκκινου ρυζιού, μπορεί να μεταφερθεί σε στις πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού ή σε ποικιλίες ρυζιού που δεν είναι Clearfield. Αυτό είναι ένα σημαντικό ζήτημα σε περιοχές όπου οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις είναι μικρές, με ορυζώνες διαφορετικών αγροτών που απλώς χωρίζονται από ένα ανάχωμα πλάτους στις φορές μικρότερο από 1 m. Ως εκ τούτου, το κόκκινο ρύζι πρέπει να ελέγχεται όχι μόνο στις ορυζώνες, αλλά και κατά μήκος των άκρων των αγρών και των καναλιών άρδευσης. Το νερό άρδευσης είναι ένα αποτελεσματικό μέσο μεταφοράς σπόρων των ζιζανίων, στις η χερσαία μεταφορά είναι παράγοντες διασποράς των σπόρων κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων και των σιδηροδρόμων. Η ανάμειξη πληθυσμών ζιζανίων κατά μήκος των συστημάτων άρδευσης ή των πλημμυρισμένων ποταμών έχει παρατηρηθεί σε στις περιπτώσεις (Shivrain κ.ά., 2010).

Τα ζιζανιοκτόνα που αναστέλλουν το ALS έχουν αυξηθεί σταθερά από τα μέσα στις δεκαετίες του 1980. Για να περιοριστεί η επιλογή ανθεκτικών πληθυσμών κόκκινου ρυζιού κατά την εισαγωγή ποικιλιών ανθεκτικών στις ιμιδαζολινόνες, διατίθενται στις συμπληρωματικές και περιοριστικές κατευθυντήριες οδηγίες διαχείρισης στις υπολειμματικά ζιζανιοκτόνα για να αυξηθεί ο έλεγχος, ο έλεγχος όλων των επιβιωσάντων ζιζανίων και η αναστολή στις καλλιέργειες ρυζιού Clearfield για συνεχόμενα χρόνια στον ίδιο αγρό (Andres κ.ά., 2014). Εντούτοις, παρά την εφαρμογή αυτών των τακτικών, αναφορές ανθεκτικότητας στις ιμιδαζολινόνες σε πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού, λίγο μετά την εισαγωγή του Clearfield, εμφανίστηκαν σε αρκετές περιοχές, στις το Αρκάνσας (ΗΠΑ) (Sales κ.ά., 2008), η νότια

Βραζιλία (Roso κ.ά., 2010a), η βόρεια Ιταλία (Busconi κ.ά., 2012) και η βόρεια Ελλάδα (Kaloumenos κ.ά., 2013). Στην Ιταλία, τη Βραζιλία και την Ελλάδα, η διαδοχική καλλιέργεια ανθεκτικών ποικιλιών στις περισσότερες ορυζώνες οδήγησε στην ανάπτυξη πληθυσμού κόκκινου ρυζιού ανθεκτικού στο imazamox. Το πρόβλημα έχει επιδεινωθεί σε περιοχές με πλούσια τράπεζα σπόρων του κόκκινου ρυζιού (Roso κ.ά., 2010b; Busconi κ.ά., 2012; Kaloumenos κ.ά., 2013), ενώ σε άλλα πειράματα (Kuk κ.ά., 2008; Burgos κ.ά., 2011) έχει διερευνηθεί η ευαισθησία του ζιζανίου σε δύο μη εκλεκτικά ζιζανιοκτόνα, το imazethapyr και το glyphosate.

Οι Roso κ.ά. (2010b) περιέγραψαν μεθόδους για τον εντοπισμό ποικιλιών ρυζιού ανθεκτικών στις ιμιδαζολινόνες, σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης των φυτών ρυζιού και βρήκαν ότι οι βιοδοκιμές με σπόρους ή σπορόφυτα μπορούν να διακρίνουν αποτελεσματικά στις ανεκτικές από στις ευαίσθητες σειρές. Άλλοι ερευνητές (Tind κ.ά., 2009) έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα των πειραμάτων επίδρασης στις δόσης εφαρμογής που εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό στις ευαισθησίας μεγάλου πληθυσμού ζιζανίων. Η τεχνική θα μπορούσε να είναι χρήσιμη και για την αξιολόγηση των δεικτών ανθεκτικότητας σειρών ρυζιού, στις ακριβώς γίνεται όταν συγκρίνεται η ανθεκτικότητα του ρυζιού στις ιμιδαζολινόνες με εκείνη των πληθυσμών των ευαίσθητων ζιζανίων κόκκινου ρυζιού (Roso κ.ά., 2010b).

Ταυτόχρονα με την εμπορευματοποίηση και την υιοθέτηση στις τεχνολογίας, έχει προκύψει ένα πρόβλημα σχετικά με την πιθανή διαφυγή στις αντοχής των ζιζανιοκτόνων στα ζιζάνια, με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα να μειώνονται, αν δεν εξαλείφονται, τα πλεονεκτήματα στις τεχνολογίας. Η εμφάνιση ανθεκτικών στα ζιζανιοκτόνα ζιζανίων στις καλλιέργειες θεωρείται σύνηθες μειονέκτημα στις εμπορευματοποίησης και στις καλλιέργειας γενετικά τροποποιημένων φυτών που έχουν αυτά τα χαρακτηριστικά. Είναι προφανές ότι ο κίνδυνος εξάπλωσης στις ανθεκτικότητας στα ζιζανιοκτόνα δε σχετίζεται με τη διαγονιδιακή προέλευση του μεταλλαγμένου γονιδίου, αλλά είναι πιθανό να οφείλεται: 1. Σε μια αυθόρμητημετάλλαξη στο ζιζάνιο που ευνοείται από την ισχυρή πίεση επιλογής, λόγω στις συνεπείς εφαρμογής του ίδιου ζιζανιοκτόνου ή (ii) στη γονιδιακή ροή με τη μεσολάβηση στις γύρης που οδηγεί σε διασταυρούμενη γονιμοποίηση μεταξύ του ζιζανίου και στις καλλιέργειας, με επακόλουθη οπισθοδρόμηση, λόγω θετικής επιλεκτικής πίεσης (Shivrain κ.ά., 2010). Αυτή η δεύτερη υπόθεση ισχύει ιδιαίτερα για το ρύζι, παρόλο που η παρουσία σπάνιων μεταλλάξεων, ανθεκτικών στις ιμιδαζολινόνες κόκκινων ρυζιών αναφέρθηκε πριν από την εισαγωγή αυτών των ζιζανιοκτόνων στις αγρούς (Sales κ.ά., 2008). Καλλιεργούμενο και κόκκινο ρύζι είναι συμβατά έχοντας στις ομοιότητες. Ειδικά πειράματα σε ανθεκτικές στα

ζιζανιοκτόνα ποικιλίες και διαφορετικούς πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού έδειξαν ότι η αναπαραγωγική συμβατότητα και οι συχνότητες στις διασταύρωσης μπορούν να αλλάξουν λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών και των εμπλεκόμενων γονότυπων (Song κ.ά., 2009).

Το ποσοστό βλάστησης του υβριδικού σπόρου F1 είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό βλάστησης του σπόρου του κόκκινου ρυζιού που λαμβάνεται με αυτογονιμοποίηση και σχετίζεται στις με τη μείωση του λήθαργου (Song κ.ά., 2009). Επιπλέον, τα υβρίδια παρουσιάζουν κάποιο βαθμό ετερογένειας που σχετίζεται με την ικανότητα προσαρμογής στα γεωργικά οικοσυστήματα. Αποκτώντας ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα και κατά συνέπεια επιλεκτικό πλεονέκτημα στις αγρούς όπου εφαρμόζεται το ζιζανιοκτόνο, τα ανθεκτικά υβρίδια θα μπορούσαν εύκολα να ξεπεράσουν στις παραδοσιακούς ευαίσθητους σε ζιζανιοκτόνα πληθυσμούς κόκκινου ρυζιού σε λίγες γενιές, καθιστώντας τον έλεγχο του ζιζανίου ακόμα πιο δύσκολο (Gealy κ.ά., 2003). Η αξιολόγηση του πλεονεκτήματος στις προσαρμοστικότητας μετά την απόκτηση ανθεκτικότητας είναι περίπλοκη, λόγω στις πολυπλοκότητας των εμπλεκόμενων παραγόντων (Lu και Yang, 2009). Ωστόσο, είναι δυνατό να ληφθούν ενδείξεις διασποράς ανθεκτικού κόκκινου ρυζιού από την τοπογραφία εκείνων των αγρών όπου χρησιμοποιούνται ανθεκτικές ποικιλίες.

Σχετικά με την αντοχή των υβριδίων στις ιμιδαζολιόνες, οι Zhang κ.ά. (2006) ανέφεραν την εμφάνιση ανθεκτικών υβριδίων σε 24 αγρούς στη Λουιζιάνα τον πρώτο χρόνο στις καλλιέργειας ανθεκτικού υβριδίου ρυζιού, με συχνότητα που κυμαίνεται μεταξύ 1% και 3%. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι, με συχνότητα μόνο 1%, θα πρέπει να αναμένονται τουλάχιστον 170 ανθεκτικά κόκκινα ρύζια ανά εκτάριο το επόμενο έτος, σύμφωνα με την εκτίμηση των Shivrain κ.ά. (2007). Παρά την εφαρμογή των τεχνικών οδηγιών, μετά από 5 χρόνια καλλιέργειας ανθεκτικού στις ιμιδαζολιόνες ρυζιού στο Αρκάνσας, μια έρευνα καλλιεργητών ρυζιού Clearfield έδειξε ότι η πλειοψηφία των ερωτηθέντων (55%) ανέφερε την εμφάνιση ανθεκτικών φυτών ρυζιού στις αγρούς στις. Στην Ευρώπη, το ρύζι καλλιεργείται κυρίως στην Ιταλία, την Ισπανία και την Ελλάδα. Ειδικότερα, η Ιταλία αντιπροσωπεύει τον κορυφαίο ευρωπαϊκό παραγωγό ρυζιού, αποτελώντας περίπου το 55% στις ευρωπαϊκής παραγωγής το 2010 (Burgos κ.ά., 2008, 2011).

1.6. Τεχνολογία PROVISA

Ως εναλλακτικό μέσο αντιμετώπισης του κόκκινου ρυζιού και για να συμπληρώσει την τεχνολογία Clearfield, η εταιρεία BASF ανέπτυξε πρόσφατα (2018) στις ποικιλίες ρυζιού Provisia. Αυτές οι μη διαγονιδιακές ποικιλίες ρυζιού αναπτύχθηκαν για να ανέχονται μια

συγκεκριμένη ομάδα ζιζανιοκτόνων που ανήκουν στην κατηγορία των αγρωστωδοκτόνων (αναστολέων του ενζύμου καρβοξυλάση του ακετυλοσυνενζύμου A). Άλλα ζιζανιοκτόνα του ρυζιού στις ομάδες περιλαμβάνουν το RiceStar HT και το Clincher. Το ρύζι τεχνολογίας Provisia ανέχεται εφαρμογές στις κυκλοεξανδιόνης cycloxydim. Αυτή η τεχνολογία βασίζεται σε μια μη συνώνυμη, μονού ζεύγους βάσεων μετάλλαξη στο γονίδιο που κωδικοποιεί την καρβοξυλάση του ακετυλοσυνενζύμου A (ACCase) που προσδίδει ανθεκτικότητα στον αναστολέα του ACCase cycloxydim. Επειδή οι κυκλοεξανδιόνες (Provisia) και οι ιμιδαζολιόνες (imazamox) διαφέρουν ως προς τον τρόπο δράσης, η εναλλαγή και των δύο χημικών ουσιών αποτελεί μια στρατηγική για τη μείωση ή την εξάλειψη στις εμφάνισης κόκκινου ρυζιού ανθεκτικού σε αυτά τα ζιζανιοκτόνα (Camacho κ.ά., 2019).

Το κόκκινο ρύζι και άλλα αγρωστώδη ζιζάνια αποτελούν σημαντική οικονομική πρόκληση για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα στις βιομηχανίες ρυζιού σε ορισμένες περιοχές των ΗΠΑ, στις Νότιας Αμερικής και στις Ασίας. Η τεχνολογία ρυζιού Clearfield έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τη μείωση στις συχνότητας των επιβλαβών ζιζανίων στην Αμερική και στην Ευρώπη. Ωστόσο, η διασταύρωση του ρυζιού Clearfield με το κόκκινο ρύζι έχει δημιουργήσει μια πιθανή απειλή για τη διατήρηση στις τεχνολογίας ως βιώσιμο μέτρο ελέγχου των ζιζανίων. Το ρύζι Provisia έχει τη δυνατότητα να συμπληρώνει στις ποικιλίες Clearfield εναλλάσσοντας την έκθεση των πληθυσμών ζιζανίων με την πάροδο του χρόνου και του χώρου στις αναστολές ALS και ACCase. Η κυκλοφορία στις ποικιλίας Provisia PVL01 αντιπροσωπεύει ένα πρώτο βήμα στις μια βιώσιμη στρατηγική για τη διατήρηση και των δύο ζιζανιοκτόνων. Απαιτείται η γνώση του γονιδιακού ελέγχου και η κληρονομικότητα στις αντοχής αναστολές ALS και ACCase, προκειμένου να αναπτυχθούν βιώσιμες στρατηγικές τόσο για αμιγείς όσο και για υβριδικές ποικιλίες Provisia (Camacho κ.ά., 2019).

Σε αντίθεση με στις καλλιέργειες, στις οποίες υπάρχουν διαθέσιμες ποικιλίες δημιουργημένες με τη γενετική μηχανική (γενετικώς τροποποιημένες ποικιλίες) ως ανθεκτικές σε ζιζανιοκτόνα, μέχρι σήμερα, το ρύζι Clearfield και Provisia είναι οι μόνες διαθέσιμες τεχνολογίες για τον εκλεκτικό, μεταφυτρωτικό έλεγχο του κόκκινου ρυζιού σε εμπορικούς ορυζώνες (Durand-Morat και Nalley, 2019). Για να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο υιοθέτησης των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης, πρέπει να ενταθούν οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες και η τεχνική υποστήριξη των γεωργών. Οι ημερίδες αγροτών πρέπει να διεξάγονται κάθε χρόνο, σε στρατηγικές τοποθεσίες με στόχο όλοι οι αγρότες που καλλιεργούν ρύζι Clearfield να λαμβάνουν πληροφορίες από πρώτο χέρι για την τεχνολογία. Οι ημερίδες στον αγρό και οι εκπαιδεύσεις αγροτών είναι εγγενείς στα περισσότερα γεωργικά προγράμματα παγκοσμίως, με

ποικίλες θεματικές εστίες. Από αυτές, η εκπαίδευση για την ολοκληρωμένη διαχείριση παρασίτων (IPM) είναι πιθανώς μια από τις πιο ευρέως προωθούμενες γεωργικές δραστηριότητες. Ακαδημαϊκά ιδρύματα, υπουργεία γεωργίας, εθνικά ιδρύματα γεωργικής έρευνας και διεθνείς μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί (π.χ. Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), Διεθνές Ινστιτούτο Έρευνας Ρυζιού (IRRI)) διεξάγουν αυτό το είδος δραστηριότητας. Πρέπει να διεξαχθούν ειδικές εκπαιδευσεις σχετικά με τη σωστή εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων, την εκμάθηση των ομάδων τρόπου δράσης των ζιζανιοκτόνων και τον εντοπισμό των ζιζανίων του ρυζιού (Sudianto κ.ά., 2013).

1.7. Σκοπός ερευνητικής εργασίας

Σκοπός στις παρούσες εργασίες ήταν να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα του ζιζανιοκτόνου cycloxydim, το οποίο ξεκίνησε πρόσφατα να χρησιμοποιείται ως εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο στις ποικιλίες ρυζιού Provisia, εναντίον διαφόρων βιότυπων κόκκινου ρυζιού και μουχρίτσας που επιβιώνουν μετά από εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου imazamox, το οποίο χρησιμοποιείται πλέον των 10 ετών ως εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο στις ποικιλίες ρυζιού Clearfield.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.2.Συλλογή σπόρων κόκκινου ρυζιού και μουχρίτσας

Ωριμοί σπόροι 2 βιότυπων μουχρίτσας και 20 βιότυπων κόκκινου ρυζιού συλλέχθηκαν κατά το Σεπτέμβριο του 2020 από ορυζώνες του αγροκτήματος δυτικής Θεσσαλονίκης (Χαλάστρα, Μάλγαρα, Κίμινα, Άγιος Αθανάσιος). Οι σπόροι συλλέχθηκαν από αγρούς στις οποίους είχε γίνει εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου imazamox, αλλά τα φυτά κόκκινου ρυζιού και μουχρίτσας είχαν επιβιώσει στις εφαρμογές. Οι σπόροι τοποθετήθηκαν σε θερμοκήπιο, προκειμένου να ξηραθούν. Κατόπιν, καθαρίστηκαν από ξένες ύλες και τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία 4-5 °C μέχρι να χρησιμοποιηθούν για το πείραμα.

2.2. Πείραμα φυτοδοχείων

Η σπορά των βιότυπων κόκκινου ρυζιού και μουχρίτσας πραγματοποιήθηκε το Μάρτιο του 2021. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν φυτοδοχεία 3 Lt στα οποία τοποθετήθηκε μίγμα εδάφους : τύρφης : περλίτη σε αναλογία 2 : 1 : 1. Μετά τη σπορά, οι σπόροι καλύφθηκαν με 1 cm στρώμα μίγματος και αρδεύτηκαν. Τα φυτοδοχεία τοποθετήθηκαν σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο στο αγρόκτημα του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος. Αρδεύσεις πραγματοποιούνταν κάθε 3 ημέρες, μέχρι το φύτεμα του κόκκινου ρυζιού και στις μουχρίτσες. Μετά την ολοκλήρωση του φυτρώματος, πραγματοποιήθηκε αραίωμα των φυτών (όπου ήταν απαραίτητο), ώστε να επιτευχθεί πυκνότητα περίπου 40 φυτών ανά φυτοδοχείο.

Οι επεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν όταν τα φυτά βρίσκονταν στο στάδιο των 2-3 φύλλων (τέλη Απριλίου του 2021), το οποίο είναι το ενδεικνυόμενο στάδιο, σύμφωνα με την ετικέτα του ζιζανιοκτόνου. Οι επεμβάσεις περιελάμβαναν τον αψέκαστο μάρτυρα και στις συνιστώμενες δόσεις των ζιζανιοκτόνων cycloxydim (25 g δ.ο. ανά στρέμμα) και imazamox (10 g δ.ο. ανά στρέμμα). Επιπλέον για τα φυτά μουχρίτσας, συμπεριλήφθηκε η συνιστώμενη δόση του ζιζανιοκτόνου profoxydim (20 g δ.ο. ανά στρέμμα). Σε στις στις επεμβάσεις προστέθηκε το επιφανειοδραστικό Dash σε αναλογία 0,5%. Ο ψεκασμός πραγματοποιήθηκε με ψεκαστήρα AZO 6 διπλών ακροφυσίων τύπου ριπιδίου και ρυθμισμένος να εφαρμόζει 30 Lt ανά στρέμμα με πίεση 2,8 Atm. Κάθε επέμβαση (βιότυπος x ζιζανιοκτόνο) είχε 3 επαναλήψεις.

Στις 4 εβδομάδες από την εφαρμογή αξιολογήθηκαν ο αριθμός βλαστών και το νωπό βάρος των επιβιωσάντων φυτών σε κάθε φυτοδοχείο (επανάληψη).

2.3. Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα καταχωρήθηκαν σε φύλλο του λογισμικού Microsoft Office Excel και κατόπιν στο στατιστικό πρόγραμμα MSTAT-C. Πριν την ανάλυση των δεδομένων (ANOVA) τα δεδομένα του αριθμού βλαστών μετατράπηκαν σε $\sqrt{x+1}$, ενώ του νωπού βάρους σε $\text{Log}_{10}(x+1)$, για επίτευξη κανονικής κατανομής (Field, 2017). Για τη σύγκριση των μέσων όρων χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (ΕΣΔ) σε επίπεδο σημαντικότητας 95% ($P < 0,05$).

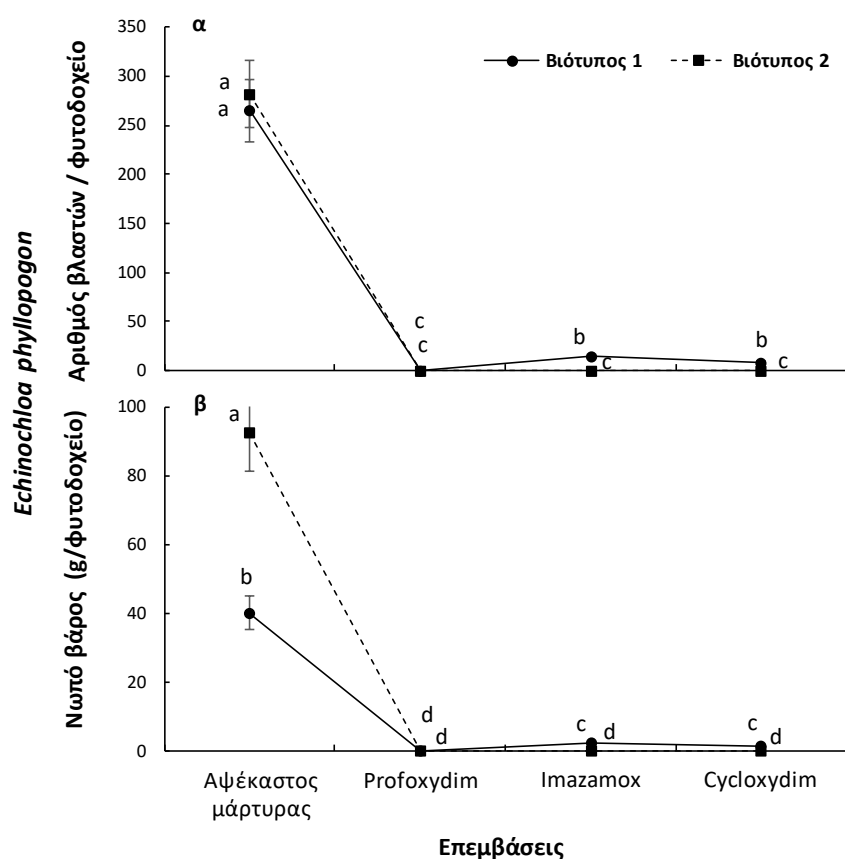
Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά ταξιανθιών των βιότυπων κόκκινου ρυζιού που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.

Βιότυποι	Χαρακτηριστικά σπόρου	Περιοχή συλλογής
1	Μεγάλο μαύρο άγανο	Μάλγαρα
4	Μεγάλο μαύρο άγανο	Χαλάστρα
5	Ανοιχτόχρωμο άγανο	Χαλάστρα
6	Δίχως άγανο	Χαλάστρα
7	Μεγάλο μαύρο άγανο	Χαλάστρα
8	Μεγάλο μαύρο άγανο	Άγιος Αθανάσιος
9	Μεγάλο μαύρο άγανο	Χαλάστρα
10	Δίχως άγανο	Μάλγαρα
11	Μεγάλο μαύρο άγανο	Χαλάστρα
12	Μέτριο μαύρο άγανο	Άγιος Αθανάσιος
13	Δίχως άγανο	Άγιος Αθανάσιος
14	Δίχως άγανο	Χαλάστρα
15	Δίχως άγανο	Χαλάστρα
16	Δίχως άγανο	Χαλάστρα
17	Μεγάλο μαύρο άγανο	Μάλγαρα
18	Μεγάλο μαύρο άγανο	Χαλάστρα
19	Μεγάλο ανοιχτόχρωμο άγανο	Χαλάστρα
20	Μεγάλο ανοιχτόχρωμο άγανο	Άγιος Αθανάσιος
23	Μεσαίο μαύρο άγανο	Άγιος Αθανάσιος
24	Δίχως άγανο	Άγιος Αθανάσιος

3. Αποτελέσματα

3.1. Μουχρίτσα

Τα δεδομένα του αριθμού βλαστών και του νωπού βάρους της μουχρίτσας έδειξαν ότι και οι δύο βιότυποι ήταν ευαίσθητοι (μείωση > 95%) στις συνιστώμενες δόσεις των ζιζανιοκτόνων profoxydim, imazamox και cycloxydim (Σχήμα 3.1α,β).

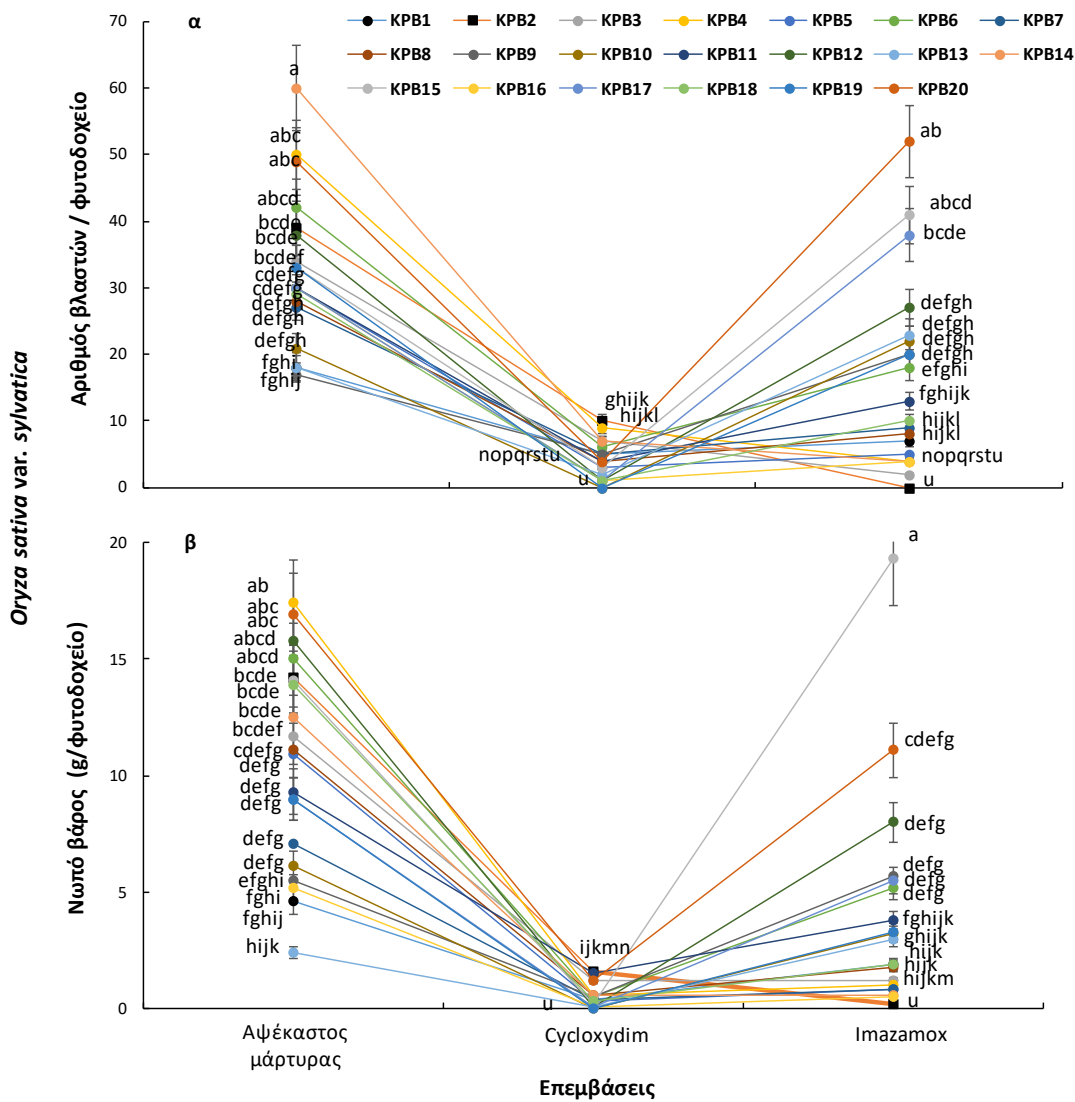


Σχήμα 3.1. Επίδραση της συνιστώμενης δόσης εφαρμογής των ζιζανιοκτόνων profoxydim, imazamox και cycloxydim στον αριθμό βλαστών (α) και στο νωπό βάρος (β) δύο βιότυπων μουχρίτσας (*Echinochloa phyllorogon*) που συλλέχθηκαν από ορυζώνες της δυτικής Θεσσαλονίκης. Μέσοι όροι με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD) και επίπεδο σημαντικότητας 95% ($P = 0,05$). Οι κάθετες γραμμές στους μέσους όρους δηλώνουν το τυπικό σφάλμα.

3.2. Κόκκινο ρύζι

Τα δεδομένα του αριθμού βλαστών και του νωπού βάρους των 20 βιότυπων κόκκινου ρυζιού έδειξαν ότι υπήρχε μεγάλη παραλλακτικότητα μεταξύ των βιότυπων ως προς την ικανότητα αδελφώματος (βλαστοί) (Σχήμα 3.2α) και την ανάπτυξή τους (νωπό βάρος) (Σχήμα 3.2β). Η συνιστώμενη δόση του ζιζανιοκτόνου cycloxydim προκάλεσε άριστη μείωση (>90%) στον αριθμό βλαστών των περισσότερων βιότυπων (Σχήμα 3.2α), καθώς και στο νωπό βάρος αυτών (Σχήμα 3.2β). Εντούτοις, στους 6 βιότυπους (1, 2, 3, 4, 7 και 9) η μείωση του αριθμού βλαστών ήταν μικρότερη από 85% (Σχήμα 3.2α). Επιπλέον, η μείωση του του νωπού βάρους των βιότυπων 2, 3 και 11 ήταν μικρότερη από 90% (Σχήμα 3.2β).

Η συνιστώμενη δόση του ζιζανιοκτόνου imazamox προκάλεσε ικανοποιητική μείωση (>90%) στον αριθμό βλαστών και το νωπό βάρος μόνο των 9 βιότυπων κόκκινου ρυζιού (1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 14 και 16) (Σχήμα 3.2α). Επιπλέον, μόνο 4 βιότυπων (2, 4, 5 και 14) το νωπό βάρος μειώθηκε ικανοποιητικά (>90%) από τη συνιστώμενη δόση του imazamox (Σχήμα 3.2β).



Γράφημα 3.2: Επίδραση της συνιστώμενης δόσης εφαρμογής των ζιζανιοκτόνων cycloxydim και imazamox στον αριθμό βλαστών (**α**) και στο νωπό βάρος (**β**) είκοσι βιότυπων κόκκινου ρυζιού (*Oryza sativa* var. *sylvatica*) που συλλέχθηκαν από ορυζώνες της δυτικής Θεσσαλονίκης. Μέσοι όροι με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD) και επίπεδο σημαντικότητας 95% ($P = 0,05$). Οι κάθετες γραμμές στους μέσους όρους δηλώνουν το τυπικό σφάλμα.

4. Συζήτηση

Οι δύο βιότυποι της μουχρίτσας ήταν πολύ ευαίσθητοι στις συνιστώμενες δόσεις των ζιζανιοκτόνων profoxydim, imazamox και cycloxydim. Το γεγονός αυτό δηλώνει ότι η μειωμένη αποτελεσματικότητα που παρατήρησαν οι παραγωγοί στον αγρό πιθανώς οφείλονταν σε μη έγκαιρη εφαρμογή και όχι σε πιθανή ανάπτυξη ανθεκτικότητας (Vasilakoglou κ.ά., 2018). Εντούτοις, οι Vasilakoglou κ.ά. (2018) βρήκαν ότι αρκετοί βιότυποι μουχρίτσας στην ίδια περιοχή ήταν ανθεκτικοί στο imazamox, αλλά όχι στο profoxydim. Οι Kukorelli κ.ά. (2012), σε πειράματα στην Ουγγαρία, βρήκαν ότι το ζιζάνιο *Echinochloa crus-galli*, ενώ πριν την εφαρμογή με το cycloxydim είχε κάλυψη 52% μετά τον ψεκασμό αυτό το ποσοστό μειώθηκε στο 2%. Οι Vasilakoglou κ.ά. (2000) σε ένα πείραμα αξιολόγησης της ευαισθησίας 3 βιοτύπων μουχρίτσας στο ζιζανιοκτόνο propanil βρήκαν πως οι συγκεκριμένοι βιότυποι όχι μόνο ήταν ανθεκτικοί, αλλά δεν μπορούσαν να ελεγχθούν ούτε με την εφαρμογή πενταπλάσιας δόσης από τη συνιστώμενη. Οι ίδιοι συγγραφείς κατέληξαν πως η αντιμετώπιση της μουχρίτσας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ζιζανιοκτόνου quinclorac. ενώ οι δύο πιο ανθεκτικοί βιότυποι μουχρίτσας αντιμετωπίστηκαν με το μίγμα azimsulfuron και propanil. Η Χατζηλαζαρίδου (2013) σε πείραμα με 29 βιότυπους μουχρίτσας από τη Βόρεια Ελλάδα επιβεβαίωσε την ευαισθησία στο profoxydim. Η ίδια ωστόσο συγγραφέας υπέδειξε την αντοχή 2 ειδών μουχρίτσας στα ζιζανιοκτόνα bispyribac, penoxsulam, foramsulfuron, mazamox, rimsulfuron και nicosulfuron.

Η εφαρμογή του cycloxydim προκάλεσε σημαντική μείωση στον αριθμό βλαστών και το νωπό βάρος των 11 βιοτύπων κόκκινου ρυζιού. Εντούτοις, οι 9 βιότυποι έδειξαν μία σχετική ενδογενή ανθεκτικότητα, πιθανώς λόγω της χρήσης του ζιζανιοκτόνου σε πλατύφυλλες καλλιέργειες όπου η μουχρίτσα απαντάται ως ζιζάνιο. Επιπλέον, οι περισσότεροι βιότυποι κόκκινου ρυζιού ήταν ανθεκτικοί στο imazamox. Σε έρευνα στην Ιταλία και σε καλλιέργεια ρυζιού κατά τα έτη 2018-2019 σε αγροκτήματα που έκαναν χρήση του imazamox φάνηκε ανθεκτικότητα σε ποσοστό 43% επί του συνόλου των εκτάσεων για το κόκκινο ρύζι (Ferrero κ.ά., 2022). Ακόμη μια έρευνα στην Ιταλία για το κόκκινο ρύζι κατά τα έτη 1995-1997 έδειξε ότι το ζιζανιοκτόνο cycloxydim επέτυχε αντιμετώπιση του ζιζανίου κατά 95% (Ferrero κ.ά., 1999). Ο ίδιος ερευνητής συνέχισε τις έρευνες συγκρίνοντας και άλλα ζιζανιοκτόνα με το cycloxydim, αλλά αυτή την φορά με μικρότερες δόσεις του ζιζανιοκτόνου και τα αποτελέσματα ήταν εξίσου ικανοποιητικά με το ποσοστό αντιμετώπισης του κόκκινου ρυζιού να επέτυχε αντιμετώπιση μεγαλύτερη από 90% (Ferrero, 2001). Αντίθετα, οι Vasilakoglou και Dhima (2005), σε πείραμα με πέντε βιότυπους κόκκινου ρυζιού και τέσσερις βιότυπους μουχρίτσας από τους

ορυζώνες στην Βόρεια Ελλάδα βρήκαν μειωμένη αποτελεσματικότητα του ζιζανιοκτόνου imazamox κατά την μεταφυτρωτική εφαρμογή του.

5. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι:

1. Η μουχρίτσα δεν έχει αναπτύξει ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο profoxydim και η μειωμένη αποτελεσματικότητα, όπου παρατηρείται, πιθανώς οφείλεται σε μη ορθή εφαρμογή.
2. Ορισμένοι βιότυποι μουχρίτσας ελέγχονται ακόμη από το ζιζανιοκτόνο imazamox.
3. Η μουχρίτσα είναι ευαίσθητη στο ζιζανιοκτόνο cycloxydim, γεγονός που σημαίνει ότι η τεχνολογία Provisia θα δώσει ταυτόχρονα και λύση στο πρόβλημα της μουχρίτσας στους ορυζώνες.
4. Οι περισσότεροι βιότυποι του κόκκινου ρυζιού είναι ευαίσθητοι στο cycloxydim. Επομένως, η χρήση της τεχνολογίας Provisia θα συμβάλλει στον περιορισμό του προβλήματος εξάπλωσης του κόκκινου ρυζιού.
5. Ορισμένοι βιότυποι είναι μετρίως ευαίσθητοι στο cycloxydim, γεγονός που σημαίνει ότι οι ορυζοπαραγωγοί πρέπει να κάνουν εναλλαγή αυτού του ζιζανιοκτόνου.
6. Οι περισσότεροι βιότυποι κόκκινου ρυζιού έχουν ήδη αναπτύξει ανθεκτικότητα στο imazamox, γεγονός που σημαίνει ότι η τεχνολογία Clear-Field πρέπει να περιοριστεί στην περιοχή κεντρικής Μακεδονίας.

6. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Ahmed, S., Alam, M. J., Hossain, A., Islam, A. M., Awan, T. H., Soufan, W., ... & El Sabagh, A. (2020). Interactive effect of weeding regimes, rice cultivars, and seeding rates influence the rice-weed competition under dry direct-seeded condition. *Sustainability*, *13*(1), 317.
- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, *2*(1), 1.
- Amaro-Blanco, I., Romano, Y., Palmerin, J. A., Gordo, R., Palma-Bautista, C., De Prado, R., & Osuna, M. D. (2021). Different Mutations Providing Target Site Resistance to ALS- and ACCase-Inhibiting Herbicides in *Echinochloa* spp. from Rice Fields. *Agriculture*, *11*(5), 382.
- Andres, A., Fogliatto, S., Ferrero, A., & Vidotto, F. (2014). Susceptibility to imazamox in Italian weedy rice populations and Clearfield® rice varieties. *Weed research*, *54*(5), 492-500.
- Ansari, W., Nadaf, A., Katara, J. L., Samantaray, S., & Deshmukh, R. (2019). Advances in induced mutagenesis and mutation mapping approaches in rice. *Oryza*, *56*, 106-114
- Bajwa, A. A., Jabran, K., Shahid, M., Ali, H. H., & Chauhan, B. S. (2015). Eco-biology and management of *Echinochloa crus-galli*. *Crop Protection*, *75*, 151-162.
- Baucom, R. S. (2019). Evolutionary and ecological insights from herbicide-resistant weeds: what have we learned about plant adaptation, and what is left to uncover? *New Phytologist*, *223*(1), 68-82.
- Burgos, N. R., Singh, V., Tseng, T. M., Black, H., Young, N. D., Huang, Z., & Caicedo, A. L. (2014). The impact of herbicide-resistant rice technology on phenotypic diversity and population structure of United States weedy rice. *Plant physiology*, *166*(3), 1208-1220.
- Burgos, N. R., Shivrain, V. K., Scott, R. C., Mauromoustakos, A., Kuk, Y. I., Sales, M. A., & Bullington, J. (2011). Differential tolerance of weedy red rice (*Oryza sativa* L.) from Arkansas, USA to glyphosate. *Crop Protection*, *30*(8), 986-994.
- Burgos, N.R., Norsworthy, J.K., Scott, R.C. & Smith K.L. (2008). Red rice status after five years of Clearfield® rice technology in Arkansas. *Weed Technology*, *22*, 200–208.
- Burgos, N. R., Norman, R. J., Gealy, D. R., & Black, H. (2006). Competitive N uptake between rice and weedy rice. *Field crops research*, *99*(2-3), 96-105.

- Busconi, M., Rossi, D., Lorenzoni, C., Baldi, G., & Fogher, C. (2012). Spread of herbicide-resistant weedy rice (red rice, *Oryza sativa* L.) after 5 years of Clearfield rice cultivation in Italy. *Plant Biology*, *14*(5), 751-759.
- Camacho, J. R., Linscombe, S. D., Sanabria, Y., Mosquera, P. A., & Oard, J. H. (2019). Inheritance of Provisia™ rice resistance to quizalofop-p-ethyl under laboratory and greenhouse environments. *Euphytica*, *215*(4), 1-9.
- Chauhan, B. S. (2012). Weedy rice (*Oryza sativa*) II. Response of weedy rice to seed burial and flooding depth. *Weed Science*, *60*(3), 385-388.
- Dean, R. A., Talbot, N. J., Ebbole, D. J., Farman, M. L., Mitchell, T. K., Orbach, M. J. & Birren, B. W. (2005). The genome sequence of the rice blast fungus *Magnaporthe grisea*. *Nature*, *434*(7036), 980-986.
- Durand-Morat, A., & Nalley, L. L. (2019). Economic benefits of controlling red rice: a case study of the United States. *Agronomy*, *9*(8), 422.
- Field, A. (2017). *Discovering Statistics Using IBM SPSS* (5th edition). Sage Publications Ltd.
- Ferrero, A., Fogliatto, S., Barberi, A. and Vidotto, F. (2022). Relationship between Weedy Rice (*Oryza sativa*) Infestation Level and Agronomic Practices in Italian Rice Farms – Erratum. *Weed Science*, *69*(5), 616.
- Ferrero, A., Vidotto, F., Balsari, P., and Airoidi, G. (1999). Mechanical and chemical control of red rice (*Oryza sativa* L. var. *sylvatica*) in rice (*Oryza sativa* L.) pre-planting. *Elsevier Science*, 245-251.
- Ferrero, A. (2001). Red rice control in rice. *CIHEAM*, vol. 58.
- Huang, Y. F., Wu, D. H., Wang, C. L., Du, P. R., Cheng, C. Y., & Cheng, C. C. (2021). Survey of rice production practices and perception of weedy red rice (*Oryza sativa* f. *spontanea*) in Taiwan. *Weed Science*, *69*(5), 526-535.
- Hsu, W. C., Wu, D. H., Chen, S. W., Castillo, S. A. C., Huang, S. D., Li, C. P., & Wang, Y. P. (2022). Insights into the Genetic Spatial Structure of Nicaraguan Weedy Rice and Control of Its Seed Spread. *Pest Management Science*.
- Garris, A. J., Tai, T. H., Coburn, J., Kresovich, S., & McCouch, S. (2005). Genetic structure and diversity in *Oryza sativa* L. *Genetics*, *169*(3), 1631-1638.
- Gealy, D. R., & Yan, W. (2012). Weed suppression potential of ‘Rondo’ and other indica rice germplasm lines. *Weed Technology*, *26*(3), 517-524.
- Gealy, D. R., Tai, T. H., & Sneller, C. H. (2002). Identification of red rice, rice, and hybrid populations using microsatellite markers. *Weed Science*, *50*(3), 333-339.

- Gealy, D.R., Mitten, D.H. & Rutger, J.N. (2003). Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. *Weed Technology*, 17, 627–645.
- Gilchrist, E., & Haughn, G. (2010). Reverse genetics techniques: engineering loss and gain of gene function in plants. *Briefings in functional genomics*, 9(2), 103-110.
- Gómez de Barreda, D., Pardo, G., Osca, J. M., Catala-Forner, M., Consola, S., Garnica, I., ... & Osuna, M. D. (2021). An overview of rice cultivation in Spain and the management of herbicide-resistant weeds. *Agronomy*, 11(6), 1095.
- Greer, W. B. (2022). Weed Management with Pro-Herbicides Benzobicylon and Florpyrauxifen-Benzyl in Louisiana Rice Production.
- Kaloumenos, N. S., Capote, N., Aguado, A., & 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(3), 177-183.
- Kodym, A., & Afza, R. (2003). Physical and chemical mutagenesis. In *Plant functional genomics* (pp. 189-203). Humana Press.
- Kuk, Y. I., Burgos, N. R., & Shivrain, V. K. (2008). Natural tolerance to imazethapyr in red rice (*Oryza sativa*). *Weed Science*, 56(1), 1-11.
- Kukorelli, G., Reisinger, P. and Kazinczi, G. (2012). Results of the study of cross-resistance and effect of herbicide on crops in the production of cycloxydim-tolerant maize (*Zea mays* L), Faculty of Agricultural and Food Sciences, University of West-Hungary.
- Li, Lin-Feng; Li, Ya-Ling; Jia, Yulin; Caicedo, Ana L; Olsen, Kenneth M (2017). *Signatures of adaptation in the weedy rice genome. Nature Genetics*, 49(5), 811–814.
- Lu B.R. & Yang C. (2009). Gene flow from genetically modified rice to its wild relatives: assessing potential ecological consequences. *Biotechnology Advances*, 27, 1083–1091
- Mahajan, G., Chauhan, B. S., & Johnson, D. E. (2009). Weed management in aerobic rice in Northwestern Indo-Gangetic Plains. *Journal of Crop Improvement*, 23(4), 366-382.
- Mba, C., Afza, R., Bado, S., & Jain, S. M. (2010). Induced mutagenesis in plants using physical and chemical agents. *Plant cell culture: essential methods*, 20, 111-130.
- Molina, J., Sikora, M., Garud, N., Flowers, J. M., Rubinstein, S., Reynolds, A. & Purugganan, M. D. (2011). Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8351-8356.
- Ottis B.V., Smith K.L., Scott R.C. & Talbert R.E. (2005). Rice yield and quality as affected by cultivar and red rice (*Oryza sativa*) density. *Weed Science*, 53, 499–504.
- Parajuli, M., Khadka, G. B., & Chaurasia, J. (2022). A review on comparative effect of

- chemicals and botanicals in management of brown spot diseases of rice (*Oryza sativa* L.). *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 7(1), 127-131.
- Pattanayak, S., Jena, S., Das, P., Maitra, S., Shankar, T., Praharaj, S. & Hossain, A. (2022). Weed Management and Crop Establishment Methods in Rice (*Oryza sativa* L.) Influence the Soil Microbial and Enzymatic Activity in Sub-Tropical Environment. *Plants*, 11(8), 1071.
- Powles, S. B., & Yu, Q. (2010). Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual review of plant biology*, 61, 317-347.
- Pusadee, T., Schaal, B. A., Rerkasem, B., & Jamjod, S. (2013). Population structure of the primary gene pool of *Oryza sativa* in Thailand. *Genetic resources and crop evolution*, 60(1), 335-353.
- Roso, A. C., Merotto Jr, A., Delatorre, C. A., & Menezes, V. G. (2010a). Regional scale distribution of imidazolinone herbicide-resistant alleles in red rice (*Oryza sativa* L.) determined through SNP markers. *Field Crops Research*, 119(1), 175-182.
- Roso, A. C., Merotto Jr, A., & Delatorre, C. A. (2010b). Bioensaios para diagnóstico da resistência aos herbicidas imidazolinonas em arroz. *Planta Daninha*, 28, 411-419.
- Sales, M. A., Shivrain, V. K., Burgos, N. R., & Kuk, Y. I. (2008). Amino acid substitutions in the acetolactate synthase gene of red rice (*Oryza sativa*) confer resistance to imazethapyr. *Weed science*, 56(4), 485-489.
- Sales, M. A., Burgos, N. R., Shivrain, V. K., Murphy, B., & Gbur, E. E. (2011). Morphological and physiological responses of weedy red rice (*Oryza sativa* L.) and cultivated rice (*O. sativa*) to N supply. *American Journal of Plant Sciences*, 2(04), 569.
- Shabi, T. H., Islam, A. M., Hasan, A. K., Juraim, A. S., & Anwar, M. P. (2018). Differential weed suppression ability in selected wheat varieties of Bangladesh. *Acta Scientifica Malaysia (ASM)*, 2(2), 1-7.
- Shivrain, V. K., Burgos, N. R., Scott, R. C., Gbur Jr, E. E., Estorninos Jr, L. E., & McClelland, M. R. (2010). Diversity of weedy red rice (*Oryza sativa* L.) in Arkansas, USA in relation to weed management. *Crop protection*, 29(7), 721-730.
- Shivrain, V. K., Burgos, N. R., Gealy, D. R., Moldenhauer, K. A., & Baquireza, C. J. (2008). Maximum outcrossing rate and genetic compatibility between red rice (*Oryza sativa*) biotypes and Clearfield™ rice. *Weed Science*, 56(6), 807-813.
- Song, B. K., Chuah, T. S., Tam, S. M., & Olsen, K. M. (2014). Malaysian weedy rice shows its true stripes: wild *Oryza* and elite rice cultivars shape agricultural weed evolution in Southeast Asia. *Molecular ecology*, 23(20), 5003-5017.

- Song X., Liu L., Wang Z. & Qiang S. (2009). Potential gene flow from transgenic rice (*Oryza sativa* L.) to different weedy rice (*Oryza sativa* f. *spontanea*) accessions based on reproductive compatibility. *Pest Management Science*, 65, 862–869.
- Sudianto, E., Beng-Kah, S., Ting-Xiang, N., Saldain, N. E., Scott, R. C., & Burgos, N. R. (2013). Clearfield® rice: Its development, success, and key challenges on a global perspective. *Crop Protection*, 49, 40-51.
- Tadege, M., Wang, T. L., Wen, J., Ratet, P., & Mysore, K. S. (2009). Mutagenesis and beyond! Tools for understanding legume biology. *Plant physiology*, 151(3), 978-984.
- Tan, S., Evans, R. R., Dahmer, M. L., Singh, B. K., & Shaner, D. L. (2005). Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 61(3), 246-257.
- Tind, T., Mathiesen, T. J., Jensen, J. E., Ritz, C., & Streibig, J. C. (2009). Using a selectivity index to evaluate logarithmic spraying in grass seed crops. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 65(11), 1257-1262.
- Tranel, P.J. & Wright, T.R. (2002). Resistance of weeds to ALS – inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Science*, 50, 700 – 712.
- Tseng, T. M., Burgos, N. R., Shivrain, V. K., Alcober, E. A., & Mauromoustakos, A. (2013). Inter- and intrapopulation variation in dormancy of *Oryza sativa* (weedy red rice) and allelic variation in dormancy-linked loci. *Weed Research*, 53(6), 440-451.
- Vasilakoglou, I., & Dhima, K. (2005). Red rice (*Oryza sativa* L.) and barnyard grass (*Echinochloa* spp.) biotype susceptibility to postemergence-applied imazamox. *Weed biology and management*, 5(2), 46-52.
- Vasilakoglou, I., Dhima K. and Gitsopoulos Th. (2018). Management of penoxsulam- and bispyribac-resistant late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) biotypes and rice sedge (*Cyperus difformis*) in rice. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78, 276-286.
- Vasilakoglou, I. B., Eleftherohorinos, I. G., & Dhima, K. V. (2000). Propanil-resistant barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) biotypes found in Greece. *Weed Technology*, 14(3), 524-529.
- Wang, W., Mauleon, R., Hu, Z., Chebotarov, D., Tai, S., Wu, Z., & Leung, H. (2018). Genomic variation in 3,010 diverse accessions of Asian cultivated rice. *Nature*, 557(7703), 43-49.
- Wu, J. L., Wu, C., Lei, C., Baraoidan, M., Bordeos, A., Madamba, M. & Leung, H. (2005). Chemical- and irradiation-induced mutants of indica rice IR64 for forward and reverse genetics. *Plant molecular biology*, 59(1), 85-97.

- Zhang, W., Linscombe, S. D., Webster, E., Tan, S., & Oard, J. (2006). Risk assessment of the transfer of imazethapyr herbicide tolerance from Clearfield rice to red rice (*Oryza sativa*). *Euphytica*, *152*(1), 75-86.
- Zhao, D. L., Atlin, G. N., Bastiaans, L., & Spiertz, J. H. J. (2006). Cultivar weed-competitiveness in aerobic rice: Heritability, correlated traits, and the potential for indirect selection in weed-free environments. *Crop Science*, *46*(1), 372-380.
- Ziska, L. H., Gealy, D. R., Burgos, N., Caicedo, A. L., Gressel, J., Lawton-Rauh, A. L., & Merotto Jr, A. (2015). Weedy (red) rice: an emerging constraint to global rice production. *Advances in agronomy*, *129*, 181-228.

Ελληνόγλωσση

- Βασιλάκογλου, Ι και Κ. Δήμας. (2021). Σύγχρονη Ζιζανιολογία. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, σελ. 480.
- Ελευθεροχωρινός, Η.Γ. (2014). Ζιζανιολογία, 4^η Έκδοση, Αγρότυπος. Αθήνα
- Χατζηλαζαρίδου, Σ. (2013). Διερεύνηση ανθεκτικότητας 30 πληθυσμών διαφόρων ειδών μουχρίτσας (*Echinochloa* spp.) σε ζιζανιοκτόνα. Μεταπτυχιακή διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Παράρτημα

Υλικό Πειράματος-14/4/2021

Ψεκαστήρας ακριβείας



Δοχεία ψεκασμών Β,Γ





Φυτά κόκκινου ρυζιού με προστατευτικό κάλυμμα για την προστασία από τα πουλιά



Φυτά κόκκινου ρυζιού με προστατευτικό κάλυμμα για την προστασία από τα πουλιά

Ψεκασμός Κόκκινου Ρυζιού-22/4/2021

Πριν





Πριν τον ψεκασμό

Μετά τον ψεκασμό



Ψεκασμός Μουχρίτσας-29/4/2021



Ψεκασμός κόκκινο ρύζι



Μετρήσεις Μουχρίτσας-13/5/2021





Μάρτυρας στα αριστερά και ψεκασμένους βιότυπους δεξιά μουχρίτσας



Βιότυποι κόκκινου ρυζιού

Μετρήσεις Κόκκινο Ρύζι-22/5/2021



Ψεκασμένοι βιότυποι αριστερά και δεξιά ο μάρτυρας





Ψεκασμένα φυτά κόκκινου ρυζιού