



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΖΙΖΑΝΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Γεωργία Διατήρησης στο σιτάρι: Επίδραση στην δονητική νιτροποίηση του εδάφους,
τις μυκορριζικές συμβιώσεις και την ανάπτυξη/απόδοση του φυτού».**

“Conservation agriculture and wheat: effects on soil potential nitrification, mycorrhizal symbioses and plant growth/yield”

ΚΟΛΑΚΕ ΒΑΣΙΛΙΚΗ



ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΛΕΒΙΖΟΥ ΕΥΘΥΜΙΑ, ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ, Π.Θ

ΒΟΛΟΣ 2022

«Γεωργία Διατήρησης στο σιτάρι: Επίδραση στην δυνητική νιτροποίηση του εδάφους, τις μυκορριζικές συμβιώσεις και την ανάπτυξη/απόδοση του φυτού».

“Conservation agriculture and wheat: effects on soil potential nitrification, mycorrhizal symbioses and plant growth/yield”

Κολακέ Βασιλική

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

- Λεβίζου Ευθυμία, Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπουσα**
- Γιαννούλης Κυριάκος, Επίκουρος Καθηγητής Γεωργίας με έμφαση στην καλλιέργεια Ενεργειακών, Αρωματικών και Φαρμακευτικών Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, **Μέλος**
- Καβαλάρης Χρήστος, Γεωπόνος, Διδάκτορας Γεωργικής Μηχανολογίας μέλος ΕΔΙΠ Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, **Μέλος**

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου κα. Λεβίζου Ευθυμία για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω και να εκπονήσω το συγκεκριμένο πείραμα, για την δυνατότητα να γνωρίσω και να συνεργαστώ με αξιότιμους καθηγητές και υποψήφιους διδάκτορες αλλά και για την υποστήριξη και βοήθειά της σε όλη την διαδικασία της πτυχιακής μου διατριβής.

Θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου προς τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Καβαλάρη Χρήστο και κ. Γιαννούλη Κυριάκο για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν για την μελέτη και διόρθωση της πτυχιακής μου.

Οι μετρήσεις της δυναμικής νιτροποίησης και η αρχική καταγραφή των μυκορριζικών συμβιώσεων πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Βιοτεχνολογίας Φυτών και Περιβάλλοντος του Τμήματος Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Ευχαριστώ τον Διευθυντή του Εργαστηρίου Καθηγητή Δημήτριο Καρπούζα για τη φιλοξενία και ιδιαίτερα τον μετα-διδάκτορα Παναγιώτη Καρρά και την επίκουρη Καθηγήτρια Δανιέλλα Τσίκου για την αμέριστη βοήθειά τους στο πρακτικό μέρος των μετρήσεων.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή κ. Καβαλάρη Χρήστο για την πολύτιμη βοήθειά του σε ένα από τα πειραματικά κομμάτια της εργασίας μου αλλά και στην υποψήφια διδάκτορα Εύα Τσουμαλάκου για την στήριξή της.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη δυνατότητα που μου προσέφεραν να σπουδάσω και να φτάσω μέχρι αυτό το σημείο αλλά και τους φίλους μου για την αγάπη, την κατανόηση και κυρίως την υπομονή τους.

Στην οικογένεια και τους φίλους μου...

Βεβαιώνω ότι είμαι η συγγραφέας αυτής της πτυχιακής διατριβής, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής του ΤΓΦΠΑΠ.

Περίληψη

Η ακαλλιέργεια (no-tillage) είναι ένα σύστημα καλλιέργειας, στο οποίο η μηχανική κατεργασία του εδάφους περιορίζεται μόνο στη διανομή του σπόρου και στην προετοιμασία της σποροκλίνης. Χαρακτηρίζεται, επομένως, από την έλλειψη επεμβάσεων (π.χ. αναμοχλεύσεων) με τη χρήση μηχανικού εξοπλισμού προκειμένου να εγκατασταθεί μια καλλιέργεια. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη των επιδράσεων της ακαλλιέργειας σε σημαντικές διεργασίες στο έδαφος, αλλά και στην ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας σκληρού σίτου στο Θεσσαλικό κάμπο. Το σύστημα που συγκεκριμένα εξετάστηκε ήταν ακαλλιέργεια με υπολείμματα βαμβακιού που αποτελούσε την καλλιέργεια της προηγούμενης χρονιάς και πραγματοποιήθηκε σύγκριση με συμβατική καλλιέργεια σίτου. Επιπροσθέτως, εξετάστηκαν δύο διαφορετικές ημερομηνίες σποράς σε σύστημα ακαλλιέργειας, μία νωρίς τον Νοέμβριο (παλιά ακαλλιέργεια) και μία τον Δεκέμβριο (νέα ακαλλιέργεια)-ταυτόχρονα με τη σπορά της συμβατικής. Σε όλες τις παραπάνω μεταχειρίσεις μελετήθηκε η δυνητική νιτροποίηση ως παράμετρος της μικροβιακής δραστηριότητας στο έδαφος, φυσικοχημικές παράμετροι τους εδάφους καθώς και ο αποικισμός της ρίζας του σιταριού από μυκορριζικούς μύκητες. Τέλος, μετρήθηκαν αναπτυξιακές παράμετροι του φυτού και μεγέθη που αποτυπώνουν την απόδοση της καλλιέργειας σίτου, ώστε να καταγραφούν οι πιθανές διαφορές ανάμεσα στην ακαλλιέργεια και τη συμβατική καλλιέργεια. Ο ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης εμφάνισε έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο εδαφικό διάλυμα εμφανίστηκε σημαντικά μεγαλύτερη στη συμβατική καλλιέργεια στο μεγαλύτερο μέρος της αναπτυξιακής περιόδου του σιταριού, ενώ η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων ήταν παρόμοια στις τρεις μεταχειρίσεις σχεδόν σε όλο το πείραμα. Το ποσοστό αποικισμού της ρίζας από μυκορριζικούς μύκητες καταγράφηκε σε δύο χρονικά σημεία, κοντά στην αρχή και το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Κατά τον Ιούνιο βρέθηκε σημαντικά υψηλότερο στην νέα ακαλλιέργεια και σχεδόν μηδενικό στη συμβατική, ενώ στη δειγματοληψία του Φεβρουαρίου οι διαφορές αμβλύθηκαν και τα ποσοστά μειώθηκαν σε όλες τις μεταχειρίσεις. Το pH του εδάφους ήταν σημαντικά υψηλότερο στην ακαλλιέργεια και στα δύο βάθη που εξετάστηκαν (3cm και 15cm), ενώ αντίθετης κατεύθυνσης ήταν οι διαφορές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Σε ότι αφορά τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά του φυτού, η ακαλλιέργεια οδήγησε σε μακρύτερα στελέχη και επομένως και μεγαλύτερη ξηρή βιομάζα ανά φυτό, σε σύγκριση με την συμβατική καλλιέργεια. Ενώ το μήκος του στάχυ ήταν παρόμοιο σε συμβατική και νέα ακαλλιέργεια, ο αριθμός σταχιδίων πάνω στους στάχους ήταν σημαντικά υψηλότερος στην συμβατική. Αντίθετα, ο αριθμός των σπόρων/στάχυ, το βάρος σπόρων/στάχυ και το βάρος 1000 σπόρων ήταν σημαντικά υψηλότερος στην ακαλλιέργεια. Παρότι περισσότερα μακρόχρονα πειράματα είναι απαραίτητα, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας υποδεικνύουν ότι η ακαλλιέργεια είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος καλλιέργειας και μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες αποδόσεις σιταριού.

Λέξεις Κλειδιά: *ακαλλιέργεια, συμβατική καλλιέργεια, δυνητική νιτροποίηση, νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα, μυκκόριζες, σχέσεις συμβίωσης, φαινοτυπικά χαρακτηριστικά σιταριού*

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	iii.
Περίληψη.....	vi
Κατάλογος πινάκων	viii
Κατάλογος γραφημάτων	viii
Κατάλογος εικόνων.....	viii

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Η μηδενική κατεργασία ή ακαλλιέργεια: ιστορικό υπόβαθρο και ορισμός.....	2
1.1.1 Πλεονεκτήματα ακαλλιέργειας	3
1.2 Επιδράσεις της ακαλλιέργειας στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών	5
1.3 Εφαρμογή ακαλλιέργειας σε φυτείες σιταριού.....	6
1.3.1 Το σιτάρι ως χειμερινό σιτηρό	7
1.3.2 Ακαλλιέργεια σε συστήματα σιταριού	7
1.3.3 Επιδράσεις της ακαλλιέργειας σε συστήματα σιταριού	7
1.4 Ακαλλιέργεια και μικροοργανισμοί του εδάφους	8
1.4.1 Εδαφική χλωρίδα και πανίδα.....	8
1.4.2 Μυκόρριζες	9
1.4.3 Άζωτο, Κύκλος του αζώτου και εμπλεκόμενοι μικροοργανισμοί του εδάφους.....	10
1.4.4 Νιτροποίηση και Ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης.....	12
1.4.5 Νιτρικά και Αμμωνιακά ιόντα.....	13
1.4.6 Πώς επηρεάζει η ακαλλιέργεια τους μικροοργανισμούς και τη βιολογική δραστηριότητα του εδάφους	14
1.5 Σκοπός εργασίας.....	15

Κεφάλαιο 2: Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Πειραματικός Σχεδιασμός	16
2.2 Προσδιορισμός ρυθμού δυνητικής νιτροποίησης.....	16
2.3 Προσδιορισμός συγκεντρώσεων νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων στα εδαφικά δείγματα.....	18
2.3.1 Χρωματομετρικός προσδιορισμός νιτρικών ιόντων σε εκχυλίσεις χλωριούχου καλίου με τη μέθοδο χλωριούχου βαναδίου (VC13/Griess)	18
2.3.2 Χρωματομετρικός προσδιορισμός αμμωνιακών ιόντων σε εκχυλίσεις χλωριούχου καλίου.....	20
2.4 Μέτρηση ποσοστού αποικισμού ριζών	22
2.5 Μέτρηση pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC).....	23
2.6 Μέτρηση σιταριών: μήκος στελέχους, μήκος στάχυ, σειρά σπόρων, ξηρού βάρους και βάρους σπόρων.....	23
2.7 Στατιστική ανάλυση	25

Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα.....

Κεφάλαιο 4: Συζήτηση.....

Συμπεράσματα.....

Βιβλιογραφία

Ελληνική	46
Διεθνής.....	47

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Διακύμανση συστατικών κόκκου και αλεύρου.....	7
--	---

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση της δομής (α) εκτομυκόρριζας και (β) ενδομυκόρριζας...	10
Σχήμα 2: Ο κύκλος του αζώτου στη φύση.....	11
Σχήμα 3: Οι διαδοχικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά τη νιτροποίηση: (1) Νιτρωδοποίηση και (2) Νιτρικοποίηση	12
Σχήμα 4: Η διαδικασία της νιτρωδοποίησης.....	12

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1: Δυνητική νιτροποίηση εδαφικών εκχυλισμάτων (M.O. ± Sd).	26
Γράφημα 2: Συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων (M.O. ± Sd).	27
Γράφημα 3: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων (M.O. ± Sd)	28
Γράφημα 4: Ποσοστό αποικισμού ρίζας από μυκόρριζες (%) (M.O. ± Sd).....	29
Γράφημα 5: pH (M.O. ± Sd).....	30
Γράφημα 6: Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) σε mS/cm (M.O. ± Sd).....	31
Γράφημα 7: Μήκος στελέχους σιταριών (cm) (M.O. ± Sd)	32
Γράφημα 8: Μήκος στάχυ σιταριών (cm) (M.O. ± Sd).....	33
Γράφημα 9: Αριθμός σειρών σπόρων ανά στάχυ	34
Γράφημα 10: Αριθμός σπόρων ανά στάχυ	35
Γράφημα 11: Βάρος σπόρων ανά στάχυ (g) (M.O. ± Sd)	36
Γράφημα 12: Βάρος 1000 σπόρων (g) (M.O. ± Sd).....	37
Γράφημα 13: Ξηρό βάρος στελέχους σιταριών (g) (M.O. ± Sd).....	38

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Έτοιμα εκχυλίσματα δυνητικής νιτροποίησης προς φωτομέτρηση.....	18
Εικόνα 2: Ογκομετρικοί κύλινδροι για την δημιουργία καμπύλης δυνητικής Νιτροποίησης.....	18
Εικόνα 3: Εκχυλίσματα εδάφους για τον προσδιορισμό νιτρικών ιόντων.....	19
Εικόνα 4: Δείγματα προς φωτομέτρηση για τον προσδιορισμό νιτρικών ιόντων.....	19
Εικόνα 5: Eppendorf δοχεία με δείγματα για τον προσδιορισμό αμμωνιακών ιόντων.....	21
Εικόνα 6: Δείγματα προς φωτομέτρηση για τον προσδιορισμό αμμωνιακών ιόντων	21
Εικόνα 7: Plates φωτομέτρου με δείγματα για τη μέτρηση αμμωνιακών ιόντων (αριστερά) πράσινου χρώματος και νιτρικών ιόντων (δεξιά) ροζ χρώματος.....	21
Εικόνα 8: Δείγματα ριζών για μέτρηση στο μικροσκόπιο	22
Εικόνα 9: Μυκόρριζες στο μικροσκόπιο	22
Εικόνα 10: Δείγματα σιταριών απευθείας από τον αγρό	24
Εικόνα 11: Κόκκοι σπόρων προς μέτρηση σε ζυγό ακριβείας	24

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά

Ο άνθρωπος καλλιεργεί το έδαφος από αρχαιοτάτων χρόνων με διάφορα φυτικά είδη προκειμένου να λάβει την τροφή του. Η επιτυχής καλλιέργεια των φυτών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ αυτών βρίσκονται οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή, το είδος της καλλιέργειας που εφαρμόζεται και η διαθεσιμότητα των απαραίτητων συστατικών για το φυτό (νερό, θρεπτικά). Σε ότι αφορά το τελευταίο, πρωταρχικό ρόλο έχει το έδαφος και ό,τι συνεπάγεται με αυτό. Ως **έδαφος** (soil) ορίζεται το ανώτερο στρώμα του εξωτερικού, χαλαρού μανδύα της γης προερχόμενο από αποσάθρωση ως συνέπεια ατμοσφαιρικών και βιολογικών επιδράσεων. Διακρίνεται από τα υποκείμενα στρώματα εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητάς του σε οργανική ουσία και της αφθονίας ριζών, της έντονης αποσάθρωσής του και των οριζόντιων στρωμάτων (ορίζοντες), που διαμορφώθηκαν από τη δράση παραγόντων εδαφογένεσης (Πολυράκης, 2003). Είναι το ανώτερο στρώμα του φλοιού της γης που μπορεί να καλλιεργηθεί σε βάθος 35 έως 50 cm και κάτω από αυτό υπάρχει και το **υπέδαφος**, το οποίο φτάνει σε βάθος 1,5 έως 2 m. Ως εκεί φτάνουν και οι ρίζες των φυτών και γι' αυτό δύναται να υποστεί γεωργική εκμετάλλευση (Μουσουλιώτης, 2016). Μάλιστα, όταν εξαντληθούν οι πόροι του εδάφους από την εντατική χρήση, με το λεγόμενο «γύρισμα» το υπέδαφος φέρεται στην επιφάνεια και μπορεί να καλλιεργηθεί μετά από κάποιους μήνες. Το έδαφος είναι πολύ σημαντικό σύστημα, το οποίο επιτελεί μία σειρά σημαντικών λειτουργιών. Καταρχάς, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί το μέσο που προάγει την ανάπτυξη των ανωτέρων φυτών, προσφέροντας στήριξη των ριζών και απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Επιπλέον, οι ιδιότητές του, ορίζουν το είδος και τον όγκο της βλάστησης που μπορεί να υποστηρίξει και ρυθμίζουν την πορεία του νερού. Ακόμη, στο έδαφος πραγματοποιείται η διεργασία της αποδόμησης, αφού διάφορα απόβλητα και νεκρά τμήματα οργανισμών διασπώνται και αποδομούνται ώστε τα συστατικά τους να ξαναγίνουν διαθέσιμα για τους ζώντες οργανισμούς. Μέσα στο έδαφος ζουν, τρέφονται και αναπαράγονται εκατομμύρια είδη οργανισμών, ωφέλιμων και μη, οι οποίοι βάζουν και αυτοί το λιθαράκι τους για την εξέλιξη και πορεία της ζωής. Τέλος, υπάρχει μεγάλη αλληλεπίδραση του εδάφους με την ατμόσφαιρα, μέσω απορρόφησης από και έκλυσης προς αυτή, σημαντικών αερίων, επίσης απαραίτητων για τον άνθρωπο και τους υπόλοιπους οργανισμούς. Επομένως, το έδαφος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη διατήρηση της ζωής στη Γη και η ποιότητά του καθορίζει αφενός, τη φύση των φυτικών οικοσυστημάτων και αφετέρου, την ικανότητα της γης να υποστηρίξει την πανίδα και τελικά την ανθρώπινη κοινωνία (Brady and Weil, 2011).

Το έδαφος έχει συγκεκριμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Στις φυσικές, συγκαταλέγονται η κοκκομετρική ή μηχανική σύσταση του εδάφους, η διηθητικότητα, η υδατοϊκανότητα, το σημείο μόνιμης μάρανσης, η διαθέσιμη υγρασία και το φαινόμενο ειδικό βάρος. Από την άλλη, οι χημικές ιδιότητες του εδάφους σχετίζονται με το pH του, την περιεκτικότητα ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (I.A.K). Επιπροσθέτως, το έδαφος παρουσιάζει και βιολογικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην οργανική ουσία του εδάφους και την αποδόμησή της, στην εδαφική πανίδα και χλωρίδα καθώς και σε συμβιωτικές σχέσεις που προκύπτουν μέσα στο έδαφος (Μουσουλιώτης, 2016).

Για να μπορέσει ένα έδαφος να φιλοξενήσει μια καλλιέργεια, θα πρέπει πρώτα να αξιολογηθεί ως προς τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του, επομένως την ποιότητά του. Επίσης, πριν την έναρξη της καλλιέργειας τα εδάφη υπόκεινται σε κάποια επεξεργασία. Η λεγόμενη κατεργασία των εδαφών, της οποίας η εμφάνιση μετράει αρκετές χιλιάδες χρόνια-από την εφεύρεση του αρότρου, αποτελεί μια άμεση παρέμβαση στο εδαφικό περιβάλλον με αποτέλεσμα τη μεταβολή των ιδιοτήτων του (Καραμάνος, 2012). Διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: την **βασική ή πρωτογενή κατεργασία**, η οποία εκτελείται πριν το σχηματισμό της σποροκλίνης στις αρχές του φθινοπώρου-όταν πρόκειται για χειμωνιάτικη καλλιέργεια- και στα τέλη χειμώνα/αρχές άνοιξης -όταν πρόκειται για ανοιξιιάτικη- και στην **δευτερεύουσα ή επιφανειακή κατεργασία** πριν τη σπορά και σε βάθος μέχρι 10-15 cm (Καραμάνος, 2012). Η κατεργασία πραγματοποιείται ώστε να βελτιώσει, όπως προαναφέρθηκε, τις ιδιότητες του εδάφους, να προετοιμάσει την σποροκλίνη, να διαμορφώσει την επιφάνεια του αγρού (ισοπέδωση, αυλάκια, αναχώματα) και τέλος να απομακρύνει και να αντιμετωπίσει την ύπαρξη ζιζανίων, αλλά και μύκητες και έντομα που πιθανώς βρίσκονται στο εδαφικό περιβάλλον. Τα είδη της κατεργασίας του εδάφους περιλαμβάνουν την αναμόχλευση, ανάξεση, αναστροφή, σκαφή και συμπίεση του εδάφους (Καραμάνος, 2012). Επιπροσθέτως με γνώμονα το βάθος της κατεργασίας, οι επεμβάσεις διακρίνονται στις επιπόλαιες (σε βάθος μέχρι τα 10 cm), τις κοινές (σε βάθος 11-20 cm), τις βαθιές (σε βάθος 21-35 cm) και τις υπερβαθείς (σε βάθος >36 cm). Ανεξάρτητα από το είδος της κατεργασίας και πριν αυτή πραγματοποιηθεί, κρίνεται απαραίτητη η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων από προηγούμενες καλλιέργειες. Τα φυτικά υπολείμματα, λοιπόν, είτε ενσωματώνονται στο έδαφος ώστε να το εμπλουτίσουν με οργανική ουσία, είτε χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν ένα επίστρωμα (mulch), καίγονται ή καταναλώνονται μέσω βόσκησης (Καραμάνος, 2012).

Ωστόσο, η υπερβολική και αλόγιστη χρήση μηχανημάτων, στην περίπτωση της μηχανικής κατεργασίας του εδάφους, έχει οδηγήσει σε σημαντική υποβάθμιση της εδαφικής δομής και στη διατάραξη των εδαφικών οικοσυστημάτων. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η υιοθέτηση και εφαρμογή, από τους αγρότες, της **αιεφορικής κατεργασίας (conservation tillage)** (Παπασταύρου, 2020), η οποία συνιστάται σε τεχνικές μειωμένης (reduced tillage) ή μηδενικής κατεργασίας (zero tillage) των εδαφών. Η μειωμένη εδαφοκατεργασία περιλαμβάνει συνήθως μια επέμβαση με άροτρο, ενώ η μηδενική κατεργασία είναι μια κατάσταση μηδενικών επεμβάσεων με τις μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

1.1 Η μηδενική κατεργασία ή ακαλλιέργεια : ιστορικό υπόβαθρο και ορισμός

Σύμφωνα με τους Baeumer and Bakermans (1974), η έννοια της ακαλλιέργειας χρονολογείται πίσω στην δεκαετία του '50 και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εμφάνιση χημικών ουσιών όπως δαλαπρόνη, αμιτρόλη και ατραζίνη, ουσιών κατάλληλων για την αντιμετώπιση των ζιζανίων που παρουσιάζουν μικρή ή και καθόλου υπολειμματικότητα. Σαν πρόδρομος της ακαλλιέργειας εμφανίζεται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η καλλιέργεια με εφαρμογή επιστρώματος (mulch-farming), το οποίο προκύπτει από τα φυτικά υπολείμματα που υπάρχουν στους αγρούς. Έτσι, στη δεκαετία του '60, μετά την επιτυχία της χρήσης των υπολειμμάτων που προσέδιδαν προστασία από διάβρωση όλο το χρόνο αλλά και

μείωναν σημαντικά τα έξοδα της καλλιέργειας, άρχισε δειλά-δειλά να κάνει την εμφάνισή της η ιδέα της ακαλλιέργειας. Στην Ευρώπη, ήρθε λίγο αργότερα, περί το '70 – '71, με την Μ. Βρετανία να έχει ηγετικό ρόλο, διπλασιάζοντας στο χρονικό διάστημα αυτό τις εκτάσεις γης της, στις οποίες εφαρμόζονταν μηδενική εδαφοκατεργασία.

Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, ο όρος ακαλλιέργεια χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύστημα καλλιέργειας, στο οποίο η μηχανική κατεργασία του εδάφους περιορίζεται μόνο στη διανομή του σπόρου και στην προετοιμασία της σποροκλίνης. Πρόκειται επομένως για έλλειψη κατεργασίας, τεχνική που δεν στοχεύει μόνο στην μείωση της έντασης της άροσης, αλλά και στη μειωμένη ή μηδενική, καλύτερα, χρήση εργαλείων που συντελούν σε αυτή.

Επομένως, ως **ακαλλιέργεια ή ακατεργασία ή μηδενική κατεργασία ή μη κατεργασία** του εδάφους ορίζεται η έλλειψη επεμβάσεων (π.χ. αναμοχλεύσεων) με τη χρήση μηχανικού εξοπλισμού προκειμένου να εγκατασταθεί μια καλλιέργεια. Η καλλιεργητική αυτή τεχνική μπορεί να συνδυαστεί με τη διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων των προηγούμενων καλλιεργειών στην επιφάνεια του αγρού (NT), ή την ταυτόχρονη απομάκρυνση των φυτικών υπολειμμάτων (NT0). Πιο αποτελεσματική και ευρέως χρησιμοποιούμενη με καλύτερα αποτελέσματα έχει βρεθεί πως είναι η ακαλλιέργεια στην οποία γίνεται διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων (Zhao *et al*, 2017).

Καθώς στην NT τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας δεν έχουν απομακρυνθεί, το έδαφος παραμένει αδιατάρακτο με όποια συμπίεση έχει υποστεί την προηγούμενη χρονιά. Στα συστήματα μηδενικής κατεργασίας ή ακαλλιέργειας ο σπόρος τοποθετείται σε αυλάκια, τα οποία ουσιαστικά είναι πολύ στενές λωρίδες κατεργασμένου εδάφους, αφήνοντας την υπόλοιπη επιφάνεια ακατέργαστη (Καβαλάρης, 2004). Επίσης, γίνεται χρήση ζιζανιοκτόνων λίγο πριν ή αμέσως μετά τη σπορά, για την καταστροφή της υπάρχουσας βλάστησης.

Τα υπολείμματα των στελεχών μπορούν να παραμένουν ως έχουν στην επιφάνεια ή με τη βοήθεια καταστροφέα -διασκορπιστή/διανεμητή της φυτομάζας να τεμαχίζονται και να διασκορπίζονται σε όλη την επιφάνεια. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να παραμένουν διάσπαρτα και όχι σε σωρούς, ώστε να μην εμποδίζεται η δημιουργία του αυλακιού σποράς (Γέμτος, 2019). Για τη δημιουργία/άνοιγμα των αυλακιών, προηγείται απομάκρυνση των υπολειμμάτων από τη γραμμή σποράς ή κοπή αυτών, με ειδικές σπαρτικές ακατεργασίας, ώστε να ανοιχτεί αυλάκι σε καθαρή επιφάνεια. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της Θεσσαλίας, όπου οι παραγωγοί, όταν θέλουν να σπείρουν σιτάρι μετά από βαμβάκι, είτε χρησιμοποιούν έναν ελαφρύ καλλιεργητή, ο οποίος αναμοχλεύει επιφανειακά, αφήνοντας τα στελέχη των βαμβακιών όρθια και μετά σπέρνουν, είτε σπέρνουν απευθείας πάνω στα υπολείμματα της καλλιέργειας βαμβακιού (Καβαλάρης, 2004).

1.1.1 Πλεονεκτήματα της ακαλλιέργειας

Ο όρος ακαλλιέργεια, όπως έχει ήδη ειπωθεί, είναι συνυφασμένος με το αδιατάρακτο έδαφος. Ο συνδυασμός αυτής της τεχνικής με τη διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων των προηγούμενων καλλιεργειών στην επιφάνεια του αγρού έχει σημαντικά πλεονεκτήματα. Η

παρουσία των φυτικών στελεχών αφενός προσδίδει προστασία και έλεγχο της διάβρωσης του εδάφους, η οποία μπορεί να προκληθεί από τον άνεμο ή το νερό και αφετέρου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της οργανικής ουσίας από τη συσσώρευση των υπολειμμάτων, τα οποία δημιουργούν μια καλυπτική φυτομάζα πάνω στο έδαφος. Στο σημείο αυτό, παρατηρείται μια διελκυστίνδα: από τη μία η συσσώρευση των υπολειμμάτων μαζί με το αδιατάρακτο του εδάφους, δημιουργούν ευνοϊκό περιβάλλον (αυξημένη υγρασία, αύξηση οργανικού υποστρώματος, βελτιωμένη δομή κ.α) ώστε να αναπτυχθεί και να δράσει η μικροβιακή χλωρίδα του εδάφους αποδομώντας την οργανική ουσία και εμπλουτίζοντας το έδαφος με αυτή (Καβαλάρης, 2004). Από την άλλη, αφού γίνει ο εμπλουτισμός με την οργανική ουσία, ο μειωμένος αερισμός που χαρακτηρίζει τα αδιατάρακτα εδάφη της ακαλλιέργειας, αναστέλλει τη δράση των αερόβιων μικροοργανισμών, καθυστερώντας και ελαχιστοποιώντας, με αυτό τον τρόπο, την απώλειά της (Γέμτος, 2019). Παράλληλα, μέσω της ακαλλιέργειας, επέρχεται αύξηση του οργανικού άνθρακα (SOC) του εδάφους, διαφυλάττοντας και βελτιώνοντας έτσι την εδαφική υγεία και συνοχή (Somasundaram *et al*, 2020). Το στρώμα αυτό της προστασίας που δημιουργείται βοηθά στη μείωση των απωλειών νερού που συμβαίνουν λόγω εξάτμισης, καθώς και στη μείωση της θερμοκρασίας του εδάφους, ειδικά το καλοκαίρι που είναι απαραίτητη. Πέραν της εξοικονόμησης νερού, η υιοθέτηση συστήματος που βασίζεται στην γεωργία διατήρησης και κυρίως στην ακαλλιέργεια βελτιστοποιεί αλλά και προωθεί την αποδοτικότερη χρήση των φυσικών πόρων, μέσω της ολοκληρωμένης διαχείρισης των διαθέσιμων θρεπτικών στοιχείων του εδάφους, του νερού και των βιολογικών πόρων, ενισχύοντας παράλληλα και την αποδοτικότητα χρήσης εξωτερικών εισροών (Somasundaram *et al*, 2020). Επιπροσθέτως, πιστεύεται πως τα υπολείμματα και συνεπώς η ακαλλιέργεια, ιδιαίτερα σε περιόδους βροχοπτώσεων, απορροφούν αποτελεσματικότερα την ορμή των σταγόνων, μειώνοντας έτσι, την ταχύτητα πρόσκρουσης τους. Απόρροια αυτού, είναι ο περιορισμός της διάσπασης των συσσωματωμάτων και η μείωση της πλήρωσης των εδαφικών πόρων. Τόσο ο Γέμτος (2019) όσο και ο Unger (2006) σημειώνουν ότι οι καλλιέργειες με μηδενική κατεργασία του εδάφους συνεπάγονται μειωμένες απαιτήσεις σε κόστος, κατανάλωση ενέργειας και εργασία. Η εγκατάσταση των φυτειών γίνεται πιο γρήγορα και χωρίς τη χρήση γεωργικού εξοπλισμού για κατεργασία, επομένως μειώνεται το κόστος τόσο για τις εργασίες άροσης (Baeumer and Bakermans, 1974) όσο και για την απόκτηση και συντήρηση του εξοπλισμού. Η αποφυγή της χρήσης βαρέων μηχανημάτων και εργαλείων περιορίζει και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, αφού μειώνονται σημαντικά τα καύσιμα και οι πόροι που απαιτούνται. Ο Unger (2006) προσθέτει πως συστήματα μηδενικής κατεργασίας οδηγούν σε αυξημένες αποδόσεις των καλλιεργειών αφού αυξάνεται ο SOC, το διαθέσιμο N και K, η συγκράτηση νερού και γενικά το έδαφος βελτιώνεται αλλά και αποφέρουν αυξημένα καθαρά εισοδήματα υπό προϋποθέσεις. Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα της ακαλλιέργειας αφορά στην ικανότητα σποράς χειμερινών καλλιεργειών σε ξηρό έδαφος πρώιμα, με αποτέλεσμα οι σπόροι να φυτρώνουν όταν βρέξει, νωρίς το φθινόπωρο και να γίνονται έτσι, λιγότερο επιρρεπείς στις παγωνιές (Γέμτος, 2019). Η συνεχής άροση και έλξη σε υγρές περιόδους σε συνδυασμό με βαριά εργαλεία προκαλεί πολλές φορές σχηματισμό των λεγόμενων χωματοουργικών λεκανών (soil pans), τα οποία είναι δύσκολο να εξαλειφθούν. Επομένως, η συνεχής μηδενική άροση μετριάξει τις παρενέργειες του οργώματος και της επαναλαμβανόμενης κίνησης πάνω στο έδαφος (των μηχανημάτων) και οδηγεί σε σταθερότερη εδαφική δομή, η οποία συνεπάγεται

βέλτιστες συνθήκες τόσο για την ανάπτυξη των φυτών όσο και για την κυκλοφορία στα χωράφια (Baeumer and Bakermans, 1974).

Ωστόσο, όπως κάθε τεχνική, έτσι και η ακαλλιέργεια, είναι λογικό να παρουσιάζει κάποια αρνητικά χαρακτηριστικά, υπό ορισμένες συνθήκες. Στα μειονεκτήματα λοιπόν, περιλαμβάνονται η εκτεταμένη χρήση χημικών και ζιζανιοκτόνων στην προσπάθεια ελέγχου των υπολειμμάτων και των ζιζανίων, οι μειωμένες θερμοκρασίες του εδάφους, οι οποίες καθυστερούν την εγκατάσταση της καλλιέργειας και πιθανώς μειώνουν τις αποδόσεις και τα δυνητικά αυξημένα προβλήματα εξαιτίας των παρασίτων όπως εντόμων, ασθeneιών και τρωκτικών.

Κατά γενική, όμως, ομολογία, πρόκειται για μια αποτελεσματική μέθοδο καλλιέργειας κάτω από ένα ευρύ φάσμα συνθηκών σε πολλά μέρη του κόσμου, της οποίας τα μειονεκτήματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με σωστή διαχείριση (Unger, 2006).

1.2 Επιδράσεις της ακαλλιέργειας στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών

Είναι παγκοσμίως αποδεκτό πως η ακαλλιέργεια αποτελεί μια δημοφιλή και περιβαλλοντικά φιλική καλλιεργητική τεχνική. Τα κριτήρια για την επιλογή του συστήματος αυτού, πέρα από τα οφέλη που προφέρει, έχουν να κάνουν και με την απόδοση της καλλιέργειας και κατ' επέκταση με το κέρδος που αυτή επιφέρει. Ωστόσο, οι επιδράσεις της σε επίπεδο παραγωγής επιδέχονται αμφισβήτησης (Zhao *et al*, 2017).

Ο τρόπος με τον οποίο επιδρά η ακαλλιέργεια στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι εξ αυτών είναι ο τύπος του εδάφους, το είδος της φυτείας που θα εγκατασταθεί (κάποια φυτικά είδη επιδέχονται ακαλλιέργειας ενώ άλλα όχι), το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή εγκατάστασης (οι θερμοκρασίες και οι κατακρημνίσεις γενικά παίζουν σημαντικό ρόλο), τα προ υπάρχοντα επίπεδα SOC, τις εισροές N και την παρουσία ή όχι φυτικών υπολειμμάτων στο πεδίο. Τέλος σημαντικότερο ρόλο παίζει το χρονικό διάστημα, κατά το οποίο εφαρμόζεται η τεχνική αυτή.

Όπως έχει προ ειπωθεί, αφού η ακαλλιέργεια παρουσία υπολειμμάτων αυξάνει την οργανική ουσία, την ύπαρξη θρεπτικών, συντελεί στην συγκράτηση νερού και γενικά συμβάλλει στην βελτιστοποίηση στην ποιότητας του εδάφους, είναι φυσικό να αναμένεται πως θα επιφέρει και μια αύξηση στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Και πράγματι, η αύξηση αυτή, σύμφωνα με έρευνες, είναι της τάξεως του $4,6 \pm 1,3\%$ (Zhao *et al*, 2017).

Εντούτοις, προβληματισμό προκαλεί το θέμα γύρω από το αδιατάρακτο του εδάφους σε σχέση με την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Όταν ένα έδαφος πάψει να υφίσταται κατεργασία και σε συνδυασμό με τη συμπίεση που έχει δεχτεί από τη χρήση μηχανημάτων τα προηγούμενα έτη θα παραμείνει συνεκτικό και συμπαγές, αφήνοντας μικρό περιθώριο για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος στα βαθύτερα στρώματα (Busari *et al*, 2015). Τα συμπιεσμένα κατώτερα εδαφικά στρώματα των ακαλλιεργειών εμποδίζουν τον σωστό και ικανοποιητικό σχηματισμό των ριζών και την ανάπτυξη των κύριων αξόνων τους ενώ μόνο στα ανώτερα στρώματα παρατηρείται αύξηση της πυκνότητας και του μήκους των ριζών

(Busari *et al*, 2015). Προωθείται έτσι, ο σχηματισμός ενός επιφανειακού ριζικού συστήματος, με ρίζες αδύναμες να διεισδύσουν στα βαθύτερα στρώματα μη έχοντας έτσι πρόσβαση στα θρεπτικά και μη μπορώντας να προσφέρουν την απαραίτητη στήριξη στα φυτά. Τα προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών είναι προφανή. Σε αντίθεση, ο Καβαλάρης (2004) κατέγραψε στα πειράματά του τη δημιουργία λεπτότερων αλλά μεγαλύτερων σε μήκος ριζών που προσλαμβάνουν αποτελεσματικότερα το νερό και τα θρεπτικά εξαιτίας της μεγαλύτερης ενεργούς επιφάνειας που διαθέτουν. Οι ρίζες εμφανίστηκαν λεπτότερες στην ακαλλιέργεια σε σχέση με την συμβατική είναι όμως τελικά πιο αποδοτικές.

Η μειωμένη ή μηδενική κατεργασία ευνοεί την εμφάνιση ζιζανίων και δη πολυετών. Επομένως, καθοριστικό ρόλο για την επιτυχία της εφαρμογής συστημάτων ακαλλιέργειας παίζει επίσης και η διαχείριση των ζιζανίων. Σε συστήματα που έχει γίνει αποτελεσματική διαχείρισή τους και δεν υπάρχει ανταγωνισμός με τα καλλιεργούμενα φυτά, οι αποδόσεις αυξάνονται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το αρδευόμενο βαμβάκι, το οποίο σε σύστημα ακαλλιέργειας απουσία ζιζανίων, δίνει αποδόσεις σε σύσπορο και σε ίνα παρόμοιες με τη συμβατική καλλιέργεια. Επιπρόσθετα, πειράματα ακαλλιέργειας σε σιτάρι, πατάτα, τεύτλα και κάποια είδη του γένους Brassica ανέδειξαν τα τελευταία ως τα καλύτερα προσαρμοζόμενα στο σύστημα αυτό με ικανοποιητικές αποδόσεις, ενώ τα τεύτλα παρουσίασαν μειωμένη απόδοση (Καβαλάρης, 2004).

Η άρδευση και η καλή στράγγιση είναι εξίσου καθοριστικές για την απόδοση και ειδικά στην περίπτωση της ακαλλιέργειας συμβάλλει σημαντικά στο να διατηρούνται οι αποδόσεις των καλλιεργειών σε ικανοποιητικά επίπεδα. Εφαρμογή ακαλλιέργειας σε ξηρική καλλιέργεια καλαμποκιού, σύμφωνα με τους Karunatilake και Schindelbeck (2000), έδωσε χαμηλότερες αποδόσεις συγκριτικά με τη συμβατική.

Τέλος, από σχετικά πειράματα φαίνεται ότι η ακαλλιέργεια κατά τα πρώτα έτη εφαρμογής της μειώνει τις αποδόσεις σε σχέση με αυτές που προκύπτουν από την συμβατική (Καβαλάρης, 2004). Με το πέρασμα, όμως, του χρόνου και ύστερα από συνεχόμενη εφαρμογή της τεχνικής αυτής η ακαλλιέργεια τελικά αποδίδει βελτιώνοντας τη δομή του εδάφους και εμπλουτίζοντας το με οργανική ουσία. Έτσι είναι πιθανό να οδηγήσει τελικά σε αυξημένες αποδόσεις, μεγαλύτερες ίσως και από αυτές της συμβατικής. Ο Καβαλάρης (2004) αναφέρει πως ικανοποιητικές αποδόσεις της ακαλλιέργειας επιτυγχάνονται από το 4^ο έως και το 8^ο έτος ακαλλιέργειας. Μελέτες έχουν δείξει μάλιστα, πως η ακαλλιέργεια αποδίδει καλύτερα ύστερα από 10 έτη συνεχούς εφαρμογής (Zhao *et al*, 2017).

1.3 Εφαρμογή ακαλλιέργειας σε φυτείες σιταριού

1.3.1 Το σιτάρι ως χειμερινό σιτηρό

Το σιτάρι ανήκει στην κατηγορία των χειμερινών σιτηρών και είναι το πιο διαδεδομένο καλλιεργούμενο σιτηρό στον κόσμο (Παπακώστα, 2012). Καλλιεργείται κυρίως σε περιοχές της Εύκρατης ζώνης σαν φθινοπωρινή καλλιέργεια αλλά και ως εαρινή, εάν ο χειμώνας είναι βαρύς. Το σιτηρό αυτό καλλιεργείται ως ξερική καλλιέργεια, ενώ η εγκατάστασή του σε

αρδευόμενους αγρούς πραγματοποιείται μόνο για λόγους αμειψισποράς. Το σιτάρι ανήκει στο γένος *Triticum* και στην Ελλάδα καλλιεργούνται το κοινό (μαλακό) σιτάρι *T. aestivum* και το σκληρό *T. durum*. Από το πρώτο, προέρχεται το αλεύρι, συστατικό αλευροποιίας και αρτοποιίας, ενώ από το δεύτερο το σιμιγδάλι, που χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή των ζυμαρικών. Η σπορά σιταριού στη χώρα μας γίνεται φθινόπωρο και συγκεκριμένα τον μήνα Νοέμβριο (ενώ στα ορεινά τον Οκτώβριο). Συνήθως αποφεύγεται η σπορά την άνοιξη λόγω των μειωμένων αποδόσεων που εμφανίζει (Παπακώστα, 2012).

Το σιτάρι χρησιμοποιείται ευρέως για τη διατροφή του ανθρώπου αλλά και των ζώων. Ξεχωρίζει λόγω των συστατικών του και κυρίως των πρωτεϊνών που περιέχει, οι οποίες εμφανίζουν μοναδικές φυσικές και χημικές ιδιότητες (Παπακώστα, 2012).

Τα συστατικά του κόκκου σιταριού αλλά και του άσπρου αλεύρου δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Συστατικό	Κόκκος (%)	Αλεύρι (%)
Υγρασία	9,0-18	13,0-15,5
Άμυλο	60-68	65,0-70,0
Πρωτεΐνη	8,0-15	8,0-13
Ακατέργαστες Ίνες	2,0-2,5	(0,2)
Λιπαρές Ουσίες	1,5-2,0	0,8-1,5
Σάκχαρα	2,0-3,0	1,5-2,0
Ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες	1,5-2,0	0,3-0,6

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά και συστατικά του κόκκου και αλεύρου (Παπακώστα, 2012)

1.3.2 Ακαλλιέργεια σε συστήματα σιταριού

Σε όλο και περισσότερες χώρες, συμπεριλαμβανομένων των Η.Π.Α, Καναδά, Βραζιλίας, Αργεντινής αλλά και κάποιων ευρωπαϊκών χωρών, γίνονται τα συστήματα ακαλλιέργειας όλο και πιο δημοφιλή (Καραμάνος, 2012). Προς την υιοθέτηση των συστημάτων αυτών, οδηγεί το γεγονός πως πλέον οι συμβατικές μέθοδοι εγκατάστασης και διαχείρισης των καλλιεργειών φαίνεται να μειώνουν σημαντικά την παραγωγικότητα και αποδοτικότητα αυτών (Das *et al*, 2017). Το πιο διαδεδομένο σύστημα, πάνω στο οποίο γίνονται μελέτες για την ακαλλιέργεια, στην ευρύτερη περιοχή της Ασίας, είναι αυτό του ρυζιού-σιταριού, ενώ σύμφωνα με τους Das *et al* (2017) το δεύτερο πιο εφαρμοσμένο είναι το σύστημα βαμβακιού-σιταριού.

1.3.3 Επιδράσεις της ακαλλιέργειας στα συστήματα σιταριού

Η τεχνική της ακαλλιέργειας βελτιώνει σημαντικά τις αποδόσεις του σιταριού, σε σχέση με άλλα είδη καλλιεργειών (συμβατική, μειωμένη κατεργασία κ.α.). Με την ακαλλιέργεια επιτυγχάνεται επίσης αύξηση στην απόδοση του σπόρου του σιταριού (Khan *et al*, 2017). Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, η ακαλλιέργεια παρουσιάζεται ως μια πιο οικονομική μέθοδος καθώς έχει μικρότερο κόστος παραγωγής, είναι βιώσιμη και φιλική προς το

περιβάλλον και ταυτόχρονα επιτυγχάνει το μέγιστο καθαρό εισόδημα, όπως καταγράφηκε τόσο στο σύστημα βαμβάκι-σιτάρι όσο και στο σύστημα ρύζι-σιτάρι.

Σύμφωνα με έρευνα των Khan *et al* (2017), η ακαλλιέργεια γενικότερα φαίνεται ότι επηρεάζει θετικά χαρακτήρες όπως το αδελφωμα και τον αριθμό των σταχυδίων πάνω στους στάχεις και κατ' επέκταση των σπόρων σε αυτά. Θετική επίδραση της ακαλλιέργειας παρατηρείται και στην περίπτωση της αποδοτικότητας των σπόρων, η οποία είναι συνάρτηση του αριθμού των αδελφιών, των σπόρων ανά στάχυ και του βάρους 1000 σπόρων. Προκύπτει ότι στην ακαλλιέργεια, το μέγεθος αυτό, εμφανίζεται σημαντικά αυξημένο. Το μήκος του στάχυ, όπως και το βάρος 1000 σπόρων δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στις μεθόδους καλλιέργειας που εφαρμόζονται, εντούτοις στην ακαλλιέργεια το βάρος 1000 σπόρων παρουσιάζεται πιο υψηλό. Παρομοίως, οι διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές φαίνεται να μην επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση σε βιομάζα, η οποία όμως στην περίπτωση της ακαλλιέργειας παρουσιάζεται ελαφρώς ευνοημένη. Ωστόσο, η ακαλλιέργεια τείνει να μειώσει την απόδοση σε άχυρο συγκριτικά με την ελάχιστη κατεργασία και στην συμβατική καλλιέργεια.

Από την σκοπιά των οικονομικών επιδράσεων, ερευνητές από το Νεπάλ, απέδειξαν ότι κατά την εφαρμογή ακαλλιέργειας σε σιτάρι, οι γεωργοί εξοικονόμησαν 10% ανθρώπινης εργασίας, 41,67% εργασίας μηχανημάτων και 25% ποσότητας σπόρου. Το καθαρό εισόδημα αυξήθηκε και μαζί με αυτό, αύξηση επήλθε και στην αναλογία κέρδους/κόστους της τάξης του 23,64% παραπάνω από τη συμβατική (Prasad *et al*, 2018). Στην δυνατότητα απόκτησης συμπληρωματικού εισοδήματος αλλά και εξοικονόμησης των ανανεώσιμων και μη πόρων μέσω της ακαλλιέργειας κατέληξαν και οι Tripathi *et al*. (2013).

1.4 Ακαλλιέργεια και Μικροοργανισμοί του εδάφους

1.4.1 Εδαφική χλωρίδα και πανίδα

Ο Καραμάνος (2012) αναφέρει ότι το 1-10% του ξηρού βάρους του συνόλου της οργανικής ουσίας εδάφους αποτελείται από ζωντανούς οργανισμούς που ζουν, τρέφονται και δραστηριοποιούνται μέσα σε αυτό. Οι ζωντανοί οργανισμοί αυτοί αποτελούν την εδαφική χλωρίδα και πανίδα. Η εδαφική πανίδα αποτελείται από την **μικροπανίδα**, που περιλαμβάνει πρωτόζωα και νηματώδεις, την **μεσοπανίδα** (ακάρεα και χητόποδα) και τη **μακροπανίδα**, στην οποία ανήκουν οι γαιοσκώληκες, τα έντομα, τα μυριάποδα, οι τερμίτες, τα γαστερόποδα και τα τρωκτικά. Η χλωρίδα του εδάφους απαρτίζεται από **βακτήρια**, **ακτινομύκητες**, **μύκητες** και **φύκη**.

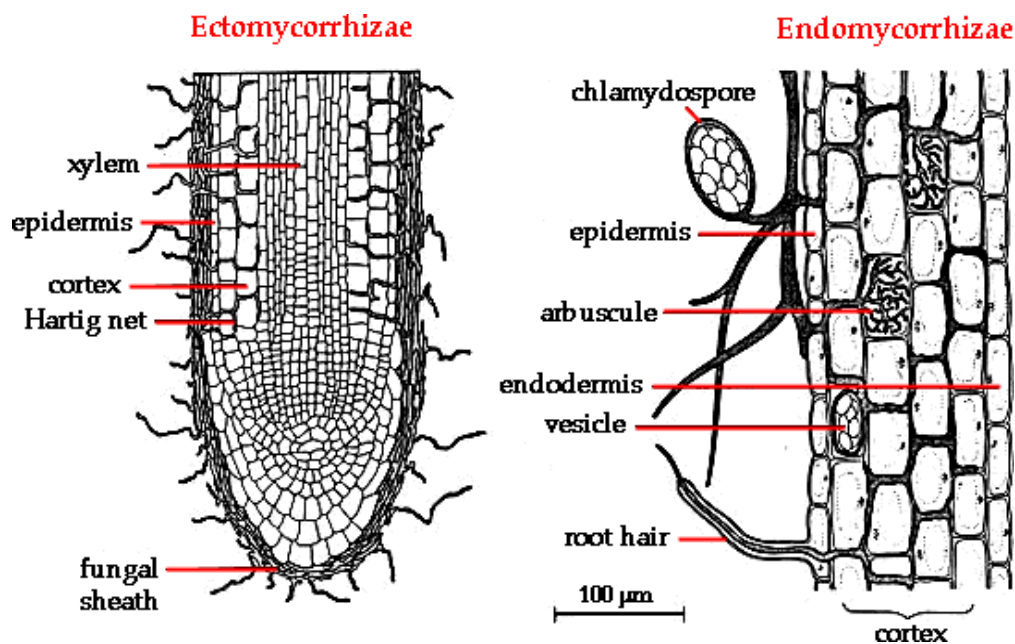
Οι μικροοργανισμοί που συνιστούν την εδαφική χλωρίδα, ανάλογα με την πηγή από την οποία αντλούν ενέργεια και άνθρακα διακρίνονται στους **αυτότροφους** και στους **ετερότροφους** οργανισμούς. Οι αυτότροφοι οργανισμοί περιλαμβάνουν φύκη και κυανοβακτήρια, που είναι ουσιαστικά φωτοαυτότροφοι οργανισμοί μιας και αντλούν ενέργεια από τον ήλιο και άνθρακα από το CO₂. Στην ίδια κατηγορία υπάγονται και οι χημειοαυτότροφοι οργανισμοί, όπως κάποια θειοβακτήρια, σιδηροβακτήρια και

νιτροβακτήρια (*Nitrosomonas* και *Nitrobacter*), που χρησιμοποιούν ενέργεια από αντιδράσεις οξειδωσης, στις οποίες παίρνουν μέρος. Οι ετερότροφοι οργανισμοί, καλύπτουν τις ενεργειακές απαιτήσεις τους και αντλούν άνθρακα από την αποσυντιθέμενη οργανική ύλη. Περιλαμβάνουν μύκητες, ακτινομύκητες και μη αυτότροφα βακτήρια. Επίσης ανάλογα τις ανάγκες τους σε οξυγόνο διακρίνονται σε αερόβιους, αναερόβιους και προαιρετικά αναερόβιους οργανισμούς. Οι αερόβιοι οργανισμοί είναι κυρίως μύκητες, ακτινομύκητες και ορισμένα βακτήρια ενώ αναερόβιοι ή προαιρετικά αναερόβιοι οργανισμοί είναι κυρίως βακτήρια.

1.4.2 Μυκόρριζες (*Mycorrhizae*)

Με τον όρο μυκόρριζα περιγράφεται η αμοιβαία ωφέλιμη σχέση ορισμένων εδαφικών μυκήτων με τις ρίζες ανωτέρων φυτών, μια σχέση υψηλής οικολογικής και οικονομικής σημασίας. Το σύστημα μύκητας-ρίζα λειτουργεί προς όφελος και των δύο παραγόντων που το αποτελούν: από τη μια οι μυκορριζικοί μύκητες προσλαμβάνουν σάκχαρα απευθείας από τα κύτταρα των ριζών, χωρίς να χρειάζεται να ανταγωνιστούν ετερότροφους οργανισμούς του εδάφους για την οργανική ουσία που έχει αποσυντεθεί. Βέβαια αυτό κοστίζει στο φυτό μια απώλεια σε φωτοσυνθετική παραγωγή της τάξης του 5-30%. (Brady & Weil, 2011). Από την άλλη όμως τα φυτά απολαμβάνουν σημαντικά πλεονεκτήματα από τη συμβίωση. Πιο αναλυτικά, οι υφές των μυκορριζικών μυκήτων διεισδύουν στο έδαφος 5-15 cm μακρύτερα από τη ρίζα του φυτού και φτάνουν σε μικρότερους πόρους από ότι τα τριχίδια της ρίζας. Προκύπτει έτσι μια φυσική επέκταση της ρίζας, η οποία αυξάνει την αποτελεσματικότητα του ριζικού συστήματος και καθιστά την πρόσληψη νερού ικανοποιητικότερη, καθιστώντας τα φυτά ανθεκτικά σε καταπόνηση ξηρασίας και αλατότητας. Επιπροσθέτως, η παρουσία των μυκορριζών διευκολύνει την πρόσληψη φωσφόρου και άλλων θρεπτικών συστατικών που είναι δυσκίνητα ή σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Έχει προκύψει ότι εξαιτίας των μυκορριζών σε κάποιες περιπτώσεις αυξάνεται η απορρόφηση των νιτρικών, τα οποία ο μύκητας τα μετατρέπει σε αμινοξέα και έτσι απελευθερώνεται αμμώνιο στη ρίζα των ξενιστών (Govindarajulu *et al*, 2005). Προσφέρουν ακόμη προστασία από εδαφογενείς μολύνσεις και παρασιτικούς νηματώδεις, αφού εκκρίνουν αντιβιοτικά, διαφοροποιούν την επιδερμίδα των ριζών και ανταγωνίζονται παθογόνους μύκητες για θέσεις προσβολής. Τέλος, οι μυκόρριζες βοηθούν την ανάπτυξη του φυτού σε εδάφη που έχουν ρυπανθεί με μέταλλα, εμποδίζοντας την πρόσληψή τους από τα φυτά (Brady & Weil, 2011).

Οι μυκόρριζες διακρίνονται σε δυο κατηγορίες. Η μια κατηγορία περιλαμβάνει τις εκτομυκόρριζες ή αλλιώς εκτοτροφικές (ectotrophic) μυκόρριζες, των οποίων οι μυκηλιακές υφές, εισχωρούν στον ριζικό φλοιό, αναπτύσσονται στους μεσοκυττάριους χώρους και ανάμεσα στα κυτταρικά τοιχώματα του φλοιού, χωρίς όμως να τα διαπερνούν. Στην δεύτερη κατηγορία υπάγονται οι ενδομυκόρριζες ή ενδοτροφικές (endotrophic ή VA-mycorrhizae) μυκόρριζες που προκαλούνται κυρίως από φυκομύκητες των γενών *Endogone* και *Glomus* (Καραμάνος, 2012). Πρόκειται για μύκητες, των οποίων οι υφές αφού διαπεράσουν τα κύτταρα του φλοιού της ρίζας, σχηματίζουν μικρές, υπερ-διακλαδισμένες δομές (θυσσάνους), που μεταφέρουν σάκχαρα από τα φυτά προς τους μύκητες και ανόργανα θρεπτικά από τους μύκητες προς τα φυτά.



Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση της δομής (α) εκτομυκόρριζας και (β) ενδομυκόρριζας. (Πηγή: Jeff Schalau, Agent, Agriculture & Natural Resources University of Arizona Cooperative Extension, Yavapai County).

Μυκόρριζες έχουν βρεθεί σε μεγάλο ποσοστό σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας, όπως σιτηρά, σε λειμώνια αγρωστώδη και ψυχανθή. Αντίθετα, στις οικογένειες Compositae και Chenopodiaceae παρατηρείται μικρό έως και μηδενικό ποσοστό αποικισμού από μυκόρριζες (Καραμάνος, 2012).

1.4.3 Άζωτο, Κύκλος του αζώτου και εμπλεκόμενοι μικροοργανισμοί του εδάφους

Το άζωτο (N) αποτελεί ένα από τα κύρια και πιο αναγκαία για το φυτό ανόργανα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους. Το άζωτο είναι βασικό συστατικό των αμινοξέων και κατ' επέκταση των πρωτεϊνών και των ενζύμων, τα οποία ελέγχουν όλες τις βιολογικές διαδικασίες των φυτών. Επίσης, άζωτο περιέχεται και στα νουκλεϊκά οξέα και στη χλωροφύλλη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οργανισμούς μόνο αφότου έχει δεσμευτεί ή ενωθεί με άλλα στοιχεία όπως O_2 ή H_2 (Θεριός, 1996). Οι κύριες πηγές αζώτου για το έδαφος είναι η οργανική ουσία, η συμβιωτική ή μη δέσμευση του ατμοσφαιρικού N, το νερό της βροχής και η λίπανση. Από την άλλη στις απώλειες συγκαταλέγονται η έκπλυση, η απονίτρωση και η εξαέρωση της αμμωνίας (Καραμάνος, 2012). Βρίσκεται στο έδαφος σε οργανική μορφή ενώ μετακινείται σε αυτό και προσλαμβάνεται από τα φυτά με τη μορφή ανιόντων. Το άζωτο παρουσιάζεται επίσης με τη μορφή οξειδίων του αζώτου (N_2O) αλλά και με τη μορφή του ίδιου του στοιχείου N, το οποίο όμως είναι αδρανές. Όσον αφορά τις οργανικές του μορφές, το άζωτο μπορεί να δεσμευτεί και με τη μορφή υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών, αμινοξέων, υδροξυοξέων και άλλων πολύπλοκων μιγμάτων αζώτου (Μιχαήλ, 2010). Στη μορφή όμως αυτή δεν μπορεί να προσληφθεί από τα

ανώτερα φυτά και για το λόγο αυτό, θα πρέπει να προηγηθεί μια σειρά από διαδικασίες ώστε να προκύψουν ανόργανες μορφές αζώτου.

Ο κύκλος του αζώτου αποτελείται από τα εξής (4) στάδια:

A) **αζωτοδέσμευση**, δηλαδή μετατροπή του ατμοσφαιρικού N.

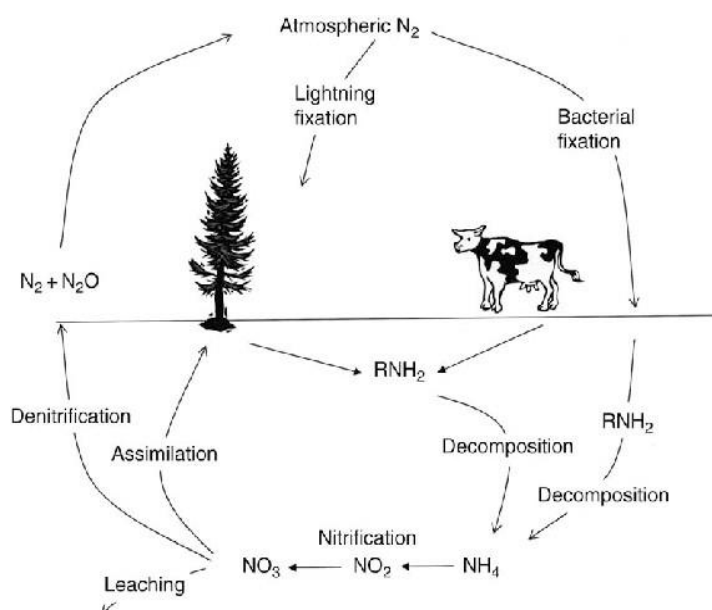
B) **ανοργανοποίηση** (mineralization) του αζώτου, κατά την οποία το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε NH_4 . Την διεργασία αυτή απαρτίζουν δυο αντιδράσεις:

- Η λεγόμενη **αμινοποίηση** (aminization), όπου συμβαίνει υδρόλυση των πρωτεϊνών και κατόπιν απελευθέρωση αμινών, αμινοξέων και ουρίας και
- Η λεγόμενη **αμμωνιοποίηση** (ammonification), κατά την οποία οι αμίνες και τα αμινοξέα που παράχθηκαν στην προηγούμενη αντίδραση, υφίστανται αποσύνθεση από άλλους ετερότροφους οργανισμούς με αποτέλεσμα το σχηματισμό NH_3

Η **ακινητοποίηση** του αζώτου (immobilization), από την άλλη, είναι η αντίστροφη διαδικασία της ανοργανοποίησης, κατά την οποία ανόργανα ιόντα του αζώτου μετατρέπονται σε οργανικές μορφές. Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται τόσο με βιολογικές όσο και με αβιοτικές διαδικασίες (Brady & Weil, 2011).

Γ) **νιτροποίηση** (nitrification) που είναι μια αερόβια βιολογική διαδικασία οξείδωσης ποσοτήτων NH_4 , που έχουν προκύψει από την ανοργανοποίηση, προς παραγωγή νιτρωδών και τελικά νιτρικών ιόντων.

Δ) **απονιτροποίηση** (denitrification), η οποία είναι μια σειρά βιοχημικών αναγωγικών αντιδράσεων ευρείας κλίμακας που πραγματοποιούνται κατά κύριο λόγο από προαιρετικά αναερόβια βακτήρια (Brady & Weil, 2011).

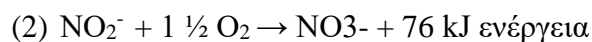
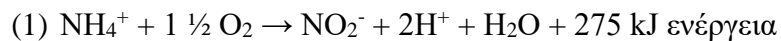


Σχήμα 2: Ο κύκλος του αζώτου στη φύση (πηγή: Μιχαήλ, 2010).

1.4.4 Νιτροποίηση και Ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης

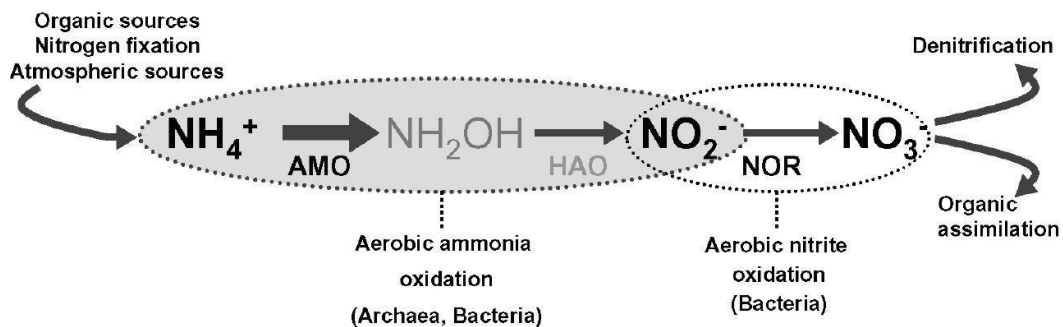
Ένα από τα αντικείμενα της παρούσας μελέτης αποτελεί το στάδιο του κύκλου του αζώτου που αφορά στην νιτροποίηση και τον προσδιορισμό το ρυθμού δυνητικής νιτροποίησης.

Η νιτροποίηση είναι η διαδικασία μετατροπής της αμμωνίας προς νιτρικά ιόντα και αποτελείται από δύο διαδοχικές αντιδράσεις, ώστε να παραχθούν τα τελικά προϊόντα (NO_3^-). Πρώτο βήμα της διαδικασίας αυτής είναι η νιτρωδοποίηση, κατά την οποία τα αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+) μετατρέπονται σε νιτρώδη. Στη συνέχεια, ακολουθεί η αντίδραση της νιτρικοποίησης, όπου τα παραχθέντα νιτρώδη οξειδώνονται σε νιτρικά ιόντα.



Σχήμα 3: Οι διαδοχικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά τη νιτροποίηση: (1) Νιτρωδοποίηση και (2) Νιτρικοποίηση (πηγή: Brady, N.C. & Weil, R.R., 2011).

Η αντίδραση της νιτρωδοποίησης είναι το πιο σημαντικό και καθοριστικό στάδιο της νιτροποίησης τόσο για την ολοκλήρωσή της ίδιας της διαδικασίας, όσο και για το σύνολο του κύκλου του αζώτου (Καρπούζας, 2013). Πραγματοποιείται και αυτή σε δύο βήματα: Πρώτα η αμμωνία μετατρέπεται σε υδροξυλαμίνη, με τη βοήθεια του ενζύμου μονοξυγενάση της αμμωνίας (AMO) και στη συνέχεια, η υδροξυλαμίνη μετατρέπεται σε νιτρώδη ιόντα, παρουσία του ενζύμου οξειδοοδουκτάση της υδροξυλαμίνης (HAO).



Σχήμα 4: Η διαδικασία της νιτρωδοποίησης (γκρι πλαίσιο), πραγματοποιείται παρουσία αρχαίων και βακτηρίων και ελέγχεται από τα ένζυμα AMO και HAO. Τα νιτρώδη που παράγονται οξειδώνονται προς νιτρικά με τη βοήθεια νιτροποιητικών βακτηρίων. (πηγή: Καρπούζας, 2013).

Ο ρυθμός νιτροποίησης στο έδαφος προσδιορίζεται με τη μέθοδο της δυνητικής νιτροποίησης (potential nitrification). Πιο συγκεκριμένα, ο ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης (potential nitrification rate) είναι ο μέγιστος ρυθμός μετατροπής κατιόντων αμμωνίου (NH_4^+) ή της αμμωνίας (NH_3) προς νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) που λαμβάνει χώρα υπό συνθήκες κορεσμού, όσον αφορά την παροχή υποστρώματος ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$) (Καρπούζας, 2013)

1.4.5 Νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα

Τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-), είναι η κύρια πηγή αζώτου για τα φυτά και είναι αρνητικά φορτισμένα ιόντα (ανιόντα), γεγονός που εξηγεί την ελεύθερη κίνησή τους στο εδαφικό διάλυμα, αφού απωθούνται από τα επίσης αρνητικά φορτισμένα σωματίδια του εδάφους. Η κίνησή τους αυτή πραγματοποιείται μέσω των υδάτων έκπλυσης και απορροής και η συσσώρευσή τους από τους φυτικούς οργανισμούς επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων. Σε αυτούς συγκαταλέγονται η θερμοκρασία, το διαθέσιμο N, η ένταση του φωτός και η παρουσία του νερού (Μήτσιος, 2013). Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο ίδιος ερευνητής, ο ρυθμός με τον οποίο κινούνται/εκπλύνονται τα νιτρικά ιόντα εξαρτάται από την κίνηση του νερού στα εδαφικά στρώματα, την άροση που υφίσταται το ριζικό σύστημα, τη διόγκωση ή συρρίκνωση των αργίλων και την παρουσία γαιοσκωλήκων. Μάλιστα, τα νιτρικά εκτός από το να κινούνται μέσω του εδάφους, παράγονται και καταναλώνονται από εδαφικούς μικροοργανισμούς. Οι Smirnoff και Stewart (1983), υποστηρίζουν πως υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών έχουν βρεθεί σε είδη συγκεκριμένων οικογενειών φυτών, με αυτές των *Amaranthaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cruciferae*, *Compositae*, *Graminae* και *Solanaceae* να είναι οι πιο δημοφιλείς.

Τα αμμωνιακά (NH_4^+) ιόντα, σε αντίθεση με τα νιτρικά, είναι θετικά φορτισμένα ιόντα (κατιόντα) και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έλξη και τελικά τη δέσμευσή τους από τα αρνητικά φορτισμένα εδαφικά σωματίδια. Απόρροια των ανωτέρω, είναι η μεγάλη υπολειμματική δράση των ιόντων αυτών και η εύκολη μεταφορά τους στα υπόγεια ύδατα (Μήτσιος, 2013). Εδάφη στα οποία περιέχονται ορυκτά της αργίλου, δεσμεύουν μεγάλες ποσότητες αμμωνιακών και η δέσμευση αυτή, τα καθιστά λιγότερο διαθέσιμα από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς, καθώς τα ιόντα δεν είναι ελεύθερα ούτε εύκολα ανταλλάξιμα. Από την άλλη, η διαδικασία της δέσμευσης των αμμωνιακών ιόντων είναι ζωτικής σημασίας τόσο για την λειτουργία του κύκλου του αζώτου, όσο και για την ανάπτυξη των φυτών μιας και η έλλειψη των ιόντων αυτών την περιορίζει σημαντικά. Τα μη ανταλλάξιμα αμμωνιακά ιόντα, καθορίζουν την κατανομή του διαθέσιμου προς τα φυτά αζώτου, αφού απελευθερώνονται σταδιακά, γεγονός που τα καθιστά διαθέσιμα στους φυτικούς οργανισμούς (Μήτσιος, 2013). Τέλος, τα αμμωνιακά ιόντα, παρουσία νιτροδοποιητικών και νιτροποιητικών βακτηρίων (*Nitrosomonas* και *Nitrobacter*, αντίστοιχα) που τρέφονται με αυτά, μετατρέπονται σε νιτρικά ιόντα μέσω της διαδικασίας νιτροποίησης (3^ο στάδιο κύκλου του αζώτου), στη μορφή δηλαδή που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών.

Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων στο έδαφος δίνουν πληροφορίες για το διαθέσιμο άζωτο που υπάρχει στο έδαφος αλλά και για τους πληθυσμούς των μικροοργανισμών που σχετίζονται με αυτό. Οι σχετικές τους συγκεντρώσεις κάθε δεδομένη στιγμή στο έδαφος αντανακλούν τη δραστηριότητα των αντίστοιχων μικροοργανισμών. Να σημειωθεί εδώ ότι τα νιτρικά ιόντα δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν σε επίπεδο αγρού, λόγω της κίνησης και έκπλυσης τους, εντούτοις ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων και κατ' επέκταση των απωλειών τους πραγματοποιείται έμμεσα στο εργαστήριο (Μήτσιος, 2013).

1.4.6 Πως επηρεάζει η ακαλλιέργεια τους μικροοργανισμούς και την βιολογική δραστηριότητα του εδάφους

Οι μικροοργανισμοί ζουν και δραστηριοποιούνται στα διάφορα στρώματα και βάθη του εδάφους ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Όταν ένα έδαφος διαταράσσεται κάποιοι από αυτούς τους οργανισμούς επηρεάζονται. Αντιθέτως, κάτι τέτοιο σπάνια αναμένεται να συμβεί στο αδιατάρακτο έδαφος της ακαλλιέργειας. Για παράδειγμα, έχει προκύψει ότι μεγαλύτερη δυνατότητα ακινητοποίησης του N μπορεί να συμβεί στα επιφανειακά στρώματα ενός εδάφους σε ακαλλιέργεια (Shixue *et al*, 1992), γεγονός που υποδεικνύει μια πιο έντονη δραστηριότητα των μικροοργανισμών εκεί. Διαφορές προκύπτουν και στους πληθυσμούς των μικροοργανισμών που παρουσιάζονται αυξημένοι και πιο συγκεντρωμένοι στα ανώτερα εδαφικά στρώματα (0-7cm), όπως μυκήτων του γένους *Rhizopus*, *Mucor* αλλά και Gram αρνητικών βακτηρίων, σε σχέση με τα εδάφη που εφαρμόζεται συμβατική καλλιέργεια (Shixue *et al*, 1992), υποδεικνύοντας έτσι αλλαγές στο βιολογικό περιβάλλον του εδάφους. Επιπροσθέτως, αυξημένες (1,6 έως 2,1 φορές υψηλότερες) εμφανίζονται και δραστηριότητες που σχετίζονται με την ουρεάση και την αναπνοή στα εδάφη της ακαλλιέργειας (περί τα 0-7 cm), σε σχέση με τη συμβατική. Οι Höflich *et al* (1999) υποστηρίζουν πως η μηδενική άροση προωθεί την αύξηση των πληθυσμών βακτηρίων της ριζόσφαιρας του γένους *Agrobacterium* spp. και *Pseudomonas* spp. Αντίθετα, δεν παρατηρούνται διαφορές στον αποικισμό της ρίζας από μυκόρριζες και σαπροφυτικούς μύκητες μεταξύ των εδαφών όπου εφαρμόζεται ακαλλιέργεια ή συμβατική καλλιέργεια.

Πέρα από το αδιατάρακτο του εδάφους που ευνοεί την αύξηση των μικροοργανισμών στην ακαλλιέργεια, αύξηση προκαλούν και τα φυτικά υπολείμματα που παραμένουν στην επιφάνεια. Οι Liu *et al* (2011) υποστηρίζουν αύξηση των βακτηρίων του εδάφους μετά την εφαρμογή ακαλλιέργειας με ταυτόχρονη χρήση επιστρώματος από άχυρο. Τονίζουν μάλιστα χαρακτηριστικά ότι επήλθε αύξηση της τάξεως του 12,8% στο σύνολο των εδαφικών μικροοργανισμών μετά την εφαρμογή αυτή. Οι ίδιοι ερευνητές παρατήρησαν επίσης, ότι το προφίλ των μικροοργανισμών του εδάφους αλλάζει ανάλογα με το στάδιο της καλλιέργειας. Επίσης, η βιοποικιλότητα των μικροοργανισμών ήταν μεγαλύτερη στο στάδιο αύξησης της καλλιέργειας από ότι στα στάδια της σποράς και ωριμότητας.

1.5 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη των επιδράσεων της ακαλλιέργειας σε σημαντικές διεργασίες στο έδαφος, αλλά και στην ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας σκληρού σίτου στο Θεσσαλικό κάμπο. Το σύστημα που συγκεκριμένα εξετάστηκε ήταν ακαλλιέργεια με υπολείμματα βαμβακιού που αποτελούσε την καλλιέργεια της προηγούμενης χρονιάς και πραγματοποιήθηκε σύγκριση με συμβατική καλλιέργεια σίτου. Επιπροσθέτως, εξετάστηκαν δύο διαφορετικές ημερομηνίες σποράς σε σύστημα ακαλλιέργειας, μία νωρίς τον Νοέμβριο και μία τον Δεκέμβριο. Σε όλες τις παραπάνω μεταχειρίσεις μελετήθηκε η δυνητική νιτροποίηση ως παράμετρος της μικροβιακής δραστηριότητας, φυσικοχημικές παράμετροι τους εδάφους καθώς και ο αποικισμός της ρίζας του σιταριού από μυκορριζικούς μύκητες. Τέλος, μετρήθηκαν αναπτυξιακές παράμετροι του φυτού και μεγέθη που αποτυπώνουν την απόδοση της καλλιέργειας σίτου, ώστε να καταγραφούν οι πιθανές διαφορές ανάμεσα στην ακαλλιέργεια και τη συμβατική καλλιέργεια.

2 Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Πειραματικός Σχεδιασμός

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό αγρό στην περιοχή της Μοδέστου, Λάρισας (Θεσσαλία) στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου Νοέμβριος 2018- Ιούνιος 2019. Ο αγρός συνολικής έκτασης 67 στρεμμάτων χωρίστηκε σε 3 τεμάχια, στα οποία εφαρμόστηκαν οι ακόλουθες μεταχειρίσεις:

1. Συμβατική καλλιέργεια (**SIM**) 12 στρεμμάτων με ημερομηνία σποράς 6 Δεκεμβρίου 2018.
2. Ακαλλιέργεια (**AKA-1**) 18 στρεμμάτων με ημερομηνία σποράς 16 Νοεμβρίου 2018 και
3. Ακαλλιέργεια (**AKA-2**) 15 στρεμμάτων με ημερομηνία σποράς 6 Δεκεμβρίου 2018.

Η σπορά στις μεταχειρίσεις της ακαλλιέργειας πραγματοποιήθηκε με ειδική σπαρτική μηχανή του Π.Θ, με δυνατότητα για απευθείας σπορά. Στη συμβατική μέθοδο η σπορά πραγματοποιήθηκε με συμβατική μηχανή γραμμικών καλλιεργειών του παραγωγού. Προηγουμένως όμως είχε χρησιμοποιηθεί ένας μέσος καλλιεργητής για το όργωμα και την προετοιμασία του εδάφους.

Σε όλες τις μεταχειρίσεις εγκαταστάθηκε σιτάρι της ποικιλίας Sveno, με ποσότητα σπόρου 23kg/στρέμμα.

Τέλος, σε κάθε μια από τις μεταχειρίσεις οριοθετήθηκαν 3 plots για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Τα plots ήταν διαστάσεων 30*30m.

2.2 Προσδιορισμός ρυθμού δυνητικής νιτροποίησης

Οι μετρήσεις δυνητικής νιτροποίησης πραγματοποιήθηκαν καθόλη τη διάρκεια της καλλιέργειας, με αρχή νωρίς το Φεβρουάριο και τέλος στις αρχές Ιουνίου. Οι δειγματοληψίες γίνονταν μία φορά το μήνα κατά το Φεβρουάριο και Μάρτιο, και δύο φορές το μήνα (περίπου ανά 15ήμερο) κατά την περίοδο έντονης ανάπτυξης της καλλιέργειας, Απρίλιο και Μάιο. Κάθε φορά γινόταν συλλογή συνολικά 21 δειγμάτων εδάφους (3 από την ΑΚΑ1, 9 από την ΑΚΑ2 και 9 από την SIM) σε βάθος 15cm. Από τη μέτρηση των αρχών Απριλίου η ίδια ποσότητα δειγμάτων λήφθηκε και από βάθος εδάφους 3cm. Ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο Kandeler (1995), όπως καταγράφεται από τον Καρπούζα (2013).

Τα αντιδραστήρια παράχθηκαν σύμφωνα με το ακόλουθο πρωτόκολλο:

- Διάλυμα $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 10 mM: 1.3214g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ διαλύθηκαν σε 1L απεσταγμένου νερού.
- Διάλυμα $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 mM: παρασκευή με αραιώση 100ml διαλύματος $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 10 mM σε τελικό όγκο 1L με απεσταγμένο νερό.
- Διάλυμα NaClO_3 1,5 M: 15.97 g NaClO_3 διαλύθηκαν σε 100ml απεσταγμένου νερού.
- Διάλυμα KCl 2 M: 149.12 g KCl διαλύθηκαν σε 1L απεσταγμένο νερό.
- Ρυθμιστικό διάλυμα NH_4Cl 0,19 M, pH 8.5: 10.163 g NH_4Cl διαλύθηκαν σε 1L αποσταγμένου νερού και το pH ρυθμίστηκε στην τιμή 8,5

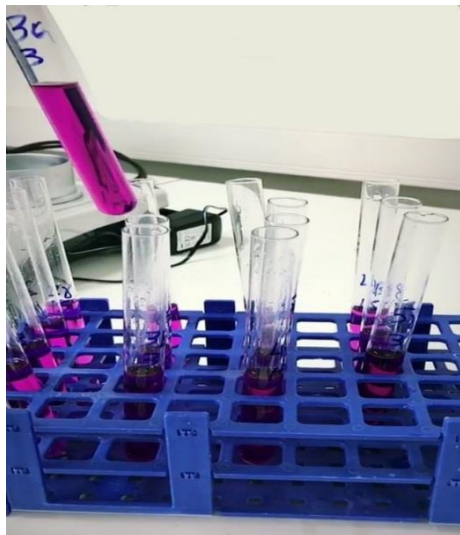
- Χρωματικός δείκτης: 2g σουλφανιλαμίδιο και 0,1 g υδροχλωρική N-(1-ναφθυλ)-αιθυλενο-διαμίνη διαλύθηκαν σε 150ml απεσταγμένου νερού και στη συνέχεια προστέθηκαν σε αυτά 20ml πυκνού ορθο-φωσφορικού οξέος και ο όγκος του διαλύματος συμπληρώθηκε στα 200ml με απεσταγμένο νερό.
- Πυκνό διάλυμα NaNO_2 ($1000\mu\text{mol NO}_2^{-1}\text{-N ml}^{-1}$): 4.926 g NaNO_2 διαλύθηκαν σε 1L απεσταγμένου νερού.
- Διάλυμα εργασίας NaNO_2 ($10\mu\text{mol NO}_2^{-1}\text{-N ml}^{-1}$): παρασκευή με αραιώση 5ml πυκνού διαλύματος NaNO_2 σε τελικό όγκο 500ml με απεσταγμένο νερό.

Από τα επιμέρους εδαφικά δείγματα ζυγίστηκαν 5g και μεταφέρθηκαν σε κωνικές φιάλες των 250ml, όπου στη συνέχεια προστέθηκαν 20ml διαλύματος $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 mM, ως αμμωνιακό υπόστρωμα για τη μετατροπή του NO_2^- , και 0.1ml NaClO_3 1,5 M, ως ανταγωνιστικού αναστολέα της οξειδωσης των νιτρωδών προς νιτρικά ιόντα, ώστε να προκύψει συσσώρευση νιτρωδών (NO_2^-) αντί νιτρικών (NO_3^-) ιόντων. Κατόπιν ακολούθησε ήπια ανάδευση των μιγμάτων. Παράλληλα με τα προς ανάλυση δείγματα, παρασκευάζονταν και ένα δείγμα για κάθε μεταχείριση που θα χρησιμοποιούνταν ως μάρτυρας αναφοράς (negative control). Τα προς ανάλυση δείγματα τοποθετήθηκαν για επώαση στους 20°C , για 5 ώρες υπό συνεχή ανάδευση, ενώ τα δείγματα μάρτυρες διατηρήθηκαν στους -20°C για το ίδιο χρονικό διάστημα, ώστε να απενεργοποιηθούν τα ένζυμα, αναστέλλοντας έτσι την νιτρωδοποίηση. Μετά το πέρας των 5 ωρών, τα δείγματα μαζί με τους μάρτυρες αφέθηκαν σε ηρεμία ώστε να επανέλθουν σε θερμοκρασία δωματίου και αμέσως προστέθηκαν σε αυτά 5ml KCl 2M, ώστε να σταματήσει η αντίδραση με τη δέσμευση των ιόντων NH_4^+ και NO_3^- . Τα δείγματα υπέστησαν σύντομη ανάδευση και διήθηση.

Για τη φωτομετρική ανάλυση, 5ml από το εκχύλισμα που παραλήφθηκε από τη διήθηση, αναμίχθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα μαζί με 3ml ρυθμιστικού διαλύματος χλωριούχου αμμωνίου NH_4Cl 0,19 M και 2ml διαλύματος χρωματικού δείκτη. Ο χρωματικός δείκτης αντιδρά με τα παραχθέντα NO_2^- και μέσω της φωτομέτρησης καταδεικνύει την συγκέντρωσή τους στα δείγματα. Τα δείγματα αναδεύτηκαν και ομογενοποιήθηκαν και στη συνέχεια παρέμειναν για 15 λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου, ώστε να επέλθει πλήρης ανάπτυξη του χρώματός τους. Για τον μηδενισμό του φωτομέτρου παρασκευάστηκαν διαλύματα από ανάμιξη 5ml απεσταγμένου νερού με 3ml NH_4Cl 0,19 M και 2ml χρωματικού δείκτη και η φωτομέτρηση πραγματοποιήθηκε στα 520nm.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των παραγόμενων νιτρωδών ιόντων στα εδαφικά δείγματα πραγματοποιήθηκε μέσω μιας πρότυπης καμπύλης δυνητικής νιτροποίησης. Για την κατασκευή της, παρασκευάστηκαν πρότυπα διαλύματα NaNO_2 διαφορετικών συγκεντρώσεων. Συγκεκριμένα, σε ογκομετρικούς κυλίνδρους των 100ml, μεταφέρθηκαν 0 (μάρτυρας), 2, 4, 8 και 10 mL διαλύματος NaNO_2 ($10\mu\text{mol NO}_2^{-1}\text{-N ml}^{-1}$). Σε αυτά προστέθηκαν 20ml KCl 2M και ο όγκος συμπληρώθηκε μέχρι τα 100 ml με απεσταγμένο νερό. Με τον τρόπο αυτό, προέκυψαν διαλύματα συγκεντρώσεων 0, 0.2, 0.4, 0.8 και 1.0 $\mu\text{mol NO}_2^{-1}\text{-N ml}^{-1}$. Κατόπιν, 5 mL από τα παραπάνω πρότυπα διαλύματα (τελικές συγκεντρώσεις 0, 0.1, 0.2, 0.4 και 0.5 $\mu\text{mol NO}_2^{-1}\text{-N ml}^{-1}$) αναμίχθηκαν με 3 ml ρυθμιστικού διαλύματος χλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl 0.19M) και 2 mL διαλύματος χρωματικού δείκτη και ακολούθησε φωτομέτρηση στα 520nm.

Τέλος, για τον προσδιορισμό του ρυθμού δυνητικής νιτροποίησης πραγματοποιήθηκε υπολογισμός της υγρασίας του εδάφους, ζυγίζοντας περίπου 10g από κάθε εδαφικό δείγμα και τοποθετώντας τα στο ξηραντήριο στους 80°C για 24 ώρες.



Εικόνα 1 και 2: Εκχυλίσματα για μέτρηση δυνητικής νιτροποίησης έτοιμα προς φωτομέτρηση (αριστερά) και δείγματα για την πρότυπη καμπύλη (δεξιά).

2.3 Προσδιορισμός συγκεντρώσεων νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων στα εδαφικά δείγματα

2.3.1 Χρωματομετρικός προσδιορισμός νιτρικών ιόντων σε εκχυλίσματα χλωριούχου καλίου με τη μέθοδο χλωριούχου βαναδίου (VCl₃/Griess)

Μετά τις εκχυλίσεις με χλωριούχο κάλιο, τα νιτρικά ιόντα (NO₃⁻) ανάγονται σε νιτρώδη (NO₂⁻) με τη βοήθεια όξινου διαλύματος χλωριούχου βαναδίου (VCl₃) και η συγκέντρωση τους καταδεικνύεται ύστερα από άμεση σύζευξη με το αντιδραστήριο Griess, σύμφωνα με την ακόλουθη μέθοδο, όπως καταγράφεται από τον Καρπούζα (2013),:

Αντιδραστήρια και πρότυπα διαλύματα

- Διάλυμα νιτρικού καλίου (KNO₃) 1000 mg N L⁻¹: σε 500ml milli-Q νερό διαλύονται 3,611g KNO₃
- Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (HCl) 3M: προετοιμασία διαλύματος 1L HCl 3M διαλύοντας 295ml HCl 32% σε milli-Q νερό
- Διάλυμα χλωριούχου βαναδίου (VCl₃) 50,9 mM: (να προετοιμάζεται φρέσκο καθημερινά) 400mg χλωριούχου βαναδίου (III) διαλύονται σε 50mL HCl 1M και πραγματοποιείται διήθηση, μέσω διηθητικού χαρτιού Whatman, για απομάκρυνση περισσειας συσσωματωμάτων.

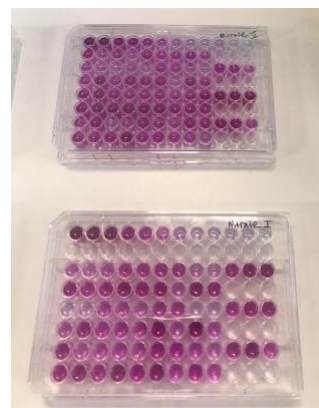
- Αντιδραστήριο Griess1 (0,77 mM): 50mg διυδροχλωρικής N-ναφθυλ αιθυλενοδιαμίνης διαλύονται σε 250mL απιονισμένου νερού. Το διάλυμα μπορεί να αποθηκευτεί στο σκοτάδι στους 4 °C για αρκετούς μήνες.
- Αντιδραστήριο Griess2 (58 mM σουλφανιλαμιδίου): 5g σουλφανιλαμιδίου διαλύονται σε 500mL HCl 3M και το διάλυμα μπορεί να αποθηκευτεί στο σκοτάδι στους 4 °C για αρκετούς μήνες.

Πειραματική διαδικασία

Μέρος από τα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν για τη μέτρηση της δυνητικής νιτροποίησης χρησιμοποιήθηκε και για την μέτρηση των νιτρικών ιόντων. Έτσι, από κάθε εδαφικό δείγμα ζυγίστηκαν 2g και τοποθετήθηκαν σε Falcon 50ml. Στη συνέχεια, σε κάθε Falcon τοποθετήθηκαν 20mL KCl 1M και τα δείγματα επώαστηκαν υπό ανάδευση για 30 λεπτά. Μετά το πέρας των 30 λεπτών πραγματοποιήθηκε διήθηση για τη λήψη των εκχυλισμάτων χλωριούχου καλίου.

Για τη μέτρηση των νιτρικών ιόντων είναι απαραίτητη η δημιουργία καμπυλών, οι οποίες προκύπτουν από πρότυπα διαλύματα. Τα πρότυπα διαλύματα προετοιμάζονται την ημέρα που θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση, από διάλυμα KNO_3 1000 mg N L^{-1} με διαδοχικές αραιώσεις 1:2. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν συγκεντρώσεις από 5mg/L έως 0.0195mg/L.

Ο χρωματομετρικός προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε απευθείας στο πλακίδιο του φωτομέτρου όπου και τοποθετήθηκαν 100μl από κάθε δείγμα (εκχύλισμα), από κάθε πρότυπο διάλυμα και κάθε μάρτυρα (νερό). Σε αυτά τα 100μl προστέθηκαν και 100μl του χλωριούχου βαναδίου και αμέσως μετά προστέθηκαν 50μl από το αντιδραστήριο Griess 1 και 50μl από το Griess 2 ώστε να προκύψει τελικός όγκος 300μl. Σε αυτό το σημείο καλό είναι να αναφερθεί πως θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να ακολουθείται πιστά η διαδικασία και πως τα αντιδραστήρια Griess 1 και 2 μπορούν να αναμιχθούν σε ίσους όγκους (100 μL) απευθείας πριν από την προσθήκη τους στα υπόλοιπα χημικά. Τέλος, τα προς μέτρηση δείγματα επώαστηκαν στους 37° C για 1 ώρα και πραγματοποιήθηκε μέτρησή τους στα 540nm.



Εικόνα 3 και 4 :Εκχυλίσματα εδάφους για προσδιορισμό νιτρικών ιόντων (αριστερά) και δείγματα προς φωτομέτρηση (δεξιά).

2.3.2 Χρωματομετρικός προσδιορισμός αμμωνιακών ιόντων σε εκχυλίσαις γλωριούχου καλίου

Η μέθοδος έχει τη βάση της στην οξείδωση του αμμωνίου προς χλωροαμίνη, από το διχλωροϊσοκυανουρικό οξύ του νατρίου. Από την αντίδραση αυτή σχηματίζεται μια ινδοφαινόλη πράσινου χρώματος παρουσία φαινολικών ενώσεων σε ένα αλκαλικό μέσο. Η μέθοδος είναι η ακόλουθη, όπως καταγράφεται από τον Καρπούζα (2013).

Αντιδραστήρια και πρότυπα διαλύματα

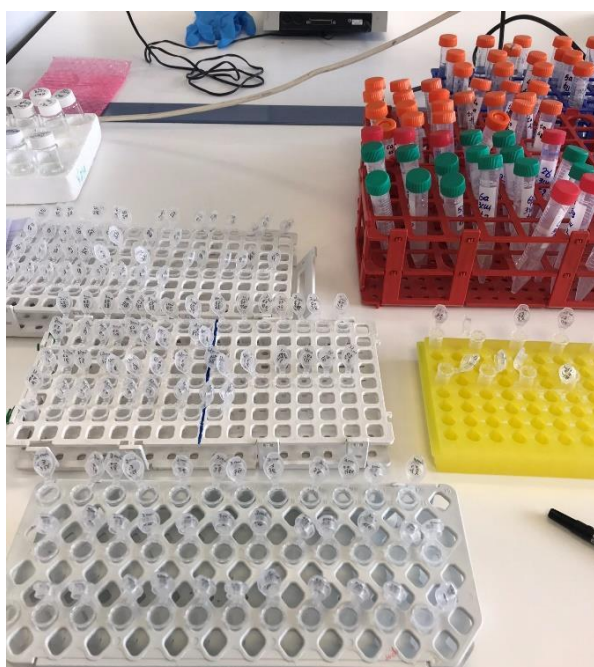
- Διάλυμα NaOH 0.3 M: παρασκευή σε 50ml MilliQ νερό, με αραιώση 785μl υδροξειδίου του νατρίου 50%
- Διάλυμα σαλικυλικού νατρίου: (να προετοιμάζεται κάθε μέρα ώστε να είναι φρέσκο) 8,5g σαλικυλικού νατρίου και 63,9mg διένυδρου νιτροπρωσσικού νατρίου, διαλύθηκαν σε 50ml MilliQ νερό.
- Χρωματικός δείκτης: (να προετοιμάζεται αμέσως πριν από τη χρήση) προκύπτει από ανάμιξη διαλύματος NaOH 0.3 M με διάλυμα σαλικυλικού νατρίου και MilliQ νερό σε αναλογία 1:1:1
- Διάλυμα οξείδωσης: (να προετοιμάζεται κάθε μέρα ώστε να είναι φρέσκο) 0,1g διένυδρου άλατος νατρίου διχλωροϊσοκυανουρικού οξέος διαλύονται σε 100ml MilliQ νερό.
- Πρότυπο διάλυμα NH_4^+ (1000 mg N l^{-1}): 0,382 g NH_4Cl διαλύονται σε 100ml KCl 1M ή MilliQ νερό (το διάλυμα μπορεί να αποθηκευτεί στους 4°C για αρκετό χρονικό διάστημα)

Πειραματική διαδικασία

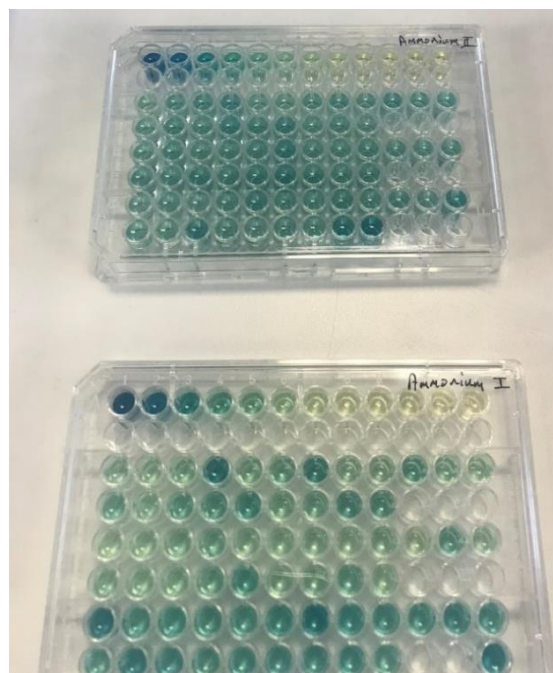
Και στην περίπτωση των αμμωνιακών ιόντων χρησιμοποιήθηκαν τα εδαφικά δείγματα των προηγούμενων πειραμάτων από το ίδιο σημείο και βάθος. Έτσι ζυγίστηκαν 2g και τοποθετήθηκαν σε Falcon των 50ml. Κατόπιν, προστέθηκαν σε αυτά 20mL KCl 1M. και τα δείγματα επώστηκαν υπό ανάδευση για 30 λεπτά. Μετά το πέρας των 30 λεπτών, πραγματοποιήθηκε διήθηση και λήψη των εκχυλισμάτων γλωριούχου καλίου.

Για τον προσδιορισμό των αμμωνιακών χρειάστηκαν και πάλι πρότυπες καμπύλες, οι οποίες προέκυψαν από διαδοχικές αραιώσεις 1:2 του πρότυπου διαλύματος NH_4^+ με νερό, ώστε να προκύψουν συγκεντρώσεις από 5mg/L έως 0.0195mg/L.

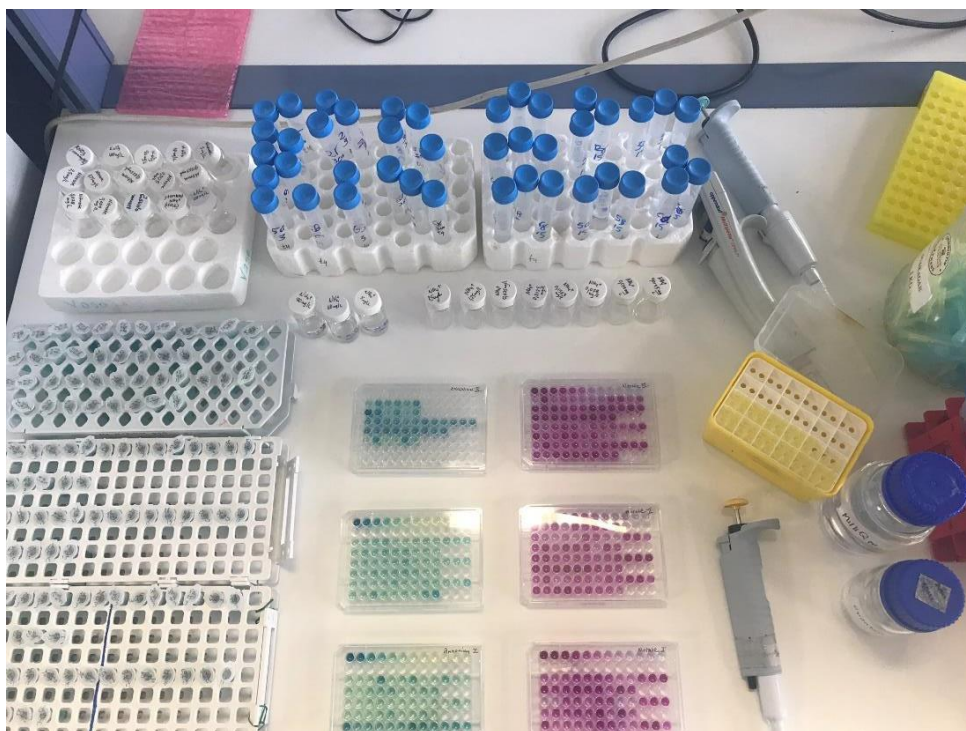
Σε Eppendorf των 1,5ml τοποθετήθηκαν 600μl από κάθε εκχύλισμα, 600μl από κάθε πρότυπο διάλυμα των διαφορετικών συγκεντρώσεων που προέκυψαν και 600μl από τους μάρτυρες (νερό). Κατευθείαν, έγινε προσθήκη σε κάθε Eppendorf 300μl χρωματικού δείκτη και 120μl διαλύματος οξείδωσης. Τα δοχεία τοποθετήθηκαν σε ανακινητήρα, όπου και αναδεύτηκαν για μια ώρα, πριν την τοποθέτησή τους σε πλακίδιο του φωτομέτρου και την μέτρησή τους στα 660nm.



Εικόνα 5: Eppendorf δοχεία με δείγματα για τον προσδιορισμό αμμωνιακών ιόντων.



Εικόνα 6: Δείγματα προς φωτομέτρηση για τον προσδιορισμό αμμωνιακών ιόντων.



Εικόνα 7: Plates φωτομέτρου με δείγματα για τη μέτρηση αμμωνιακών ιόντων (αριστερά) πράσινου χρώματος και νιτρικών ιόντων (δεξιά) ροζ χρώματος.

2.4 Μέτρηση αποικισμού ριζών

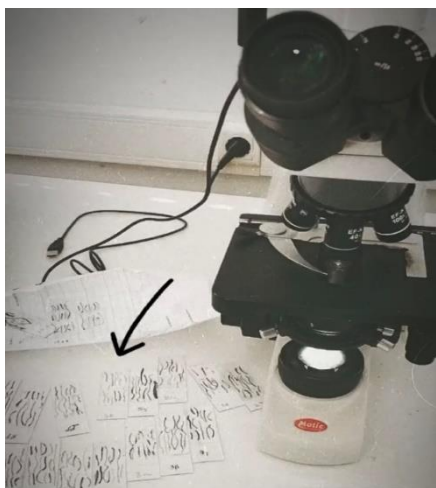
Για τον προσδιορισμό του επί τις εκατό ποσοστού αποικισμού της ρίζας από μυκορριζικούς μύκητες πραγματοποιήθηκε λήψη δειγμάτων ριζών τον Φεβρουάριο και τον Ιούνιο του 2019. Έγινε τυχαία δειγματοληψία 15 φυτών σιταριού από διάφορα σημεία των plot της κάθε μεταχείρισης. Οι ρίζες κόπηκαν και καθαρίστηκαν παρουσία νερού και αραιού χλωριούχου διαλύματος και πραγματοποιήθηκε η χρώση τους.

Χρώση των ριζών στο εργαστήριο

Αρχικά, έγινε διαλογή των πιο λεπτών και μακριών ριζών, οι οποίες στη συνέχεια κόπηκαν με τη βοήθεια νυστεριού, ώστε να δημιουργηθούν μικρά δείγματα. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε falcon μαζί με 15mL διαλύματος KOH 10%, με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτονται πλήρως οι ρίζες. Τα falcon μπήκαν στο υδατόλουτρο όπου και παρέμειναν για 40 λεπτά στους 80-90 °C, έως ότου μαλακώσουν και αποχρωματιστούν οι ρίζες. Μετά το πέρας των 40 λεπτών χρησιμοποιήθηκε νερό βρύσης ώστε να ξεπλυθούν τα δείγματα από το KOH. Σε επόμενο στάδιο, τα δείγματα παρουσία διαλύματος HCl 2% αφέθηκαν σε ηρεμία για 10 λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου. Ύστερα, το HCl απομακρύνθηκε χωρίς να επέλθει ξέπλυμα των δειγμάτων και αμέσως προστέθηκε σε αυτά διάλυμα trypan blue. Κατόπιν, τα δείγματα οδηγήθηκαν στο υδατόλουτρο στους 80-90 °C για 45 λεπτά. Στη συνέχεια το διάλυμα trypan blue απομακρύνθηκε από τα δοχεία και αντικαταστάθηκε από απεσταγμένο νερό. Τα δείγματα διατηρήθηκαν στο ψυγείο στους 4°C μέχρι να λάβει χώρα η μέτρηση.

Μέτρηση αποικισμού ριζών από μυκορριζικούς μύκητες στο μικροσκόπιο

Σε αντικειμενοφόρους πλάκες τοποθετήθηκαν 15 δείγματα ριζών από κάθε plot και πραγματοποιήθηκε μέτρηση στο μικροσκόπιο. Ο τρόπος σάρωσης των ριζών σε κάθε αντικειμενοφόρο γινόταν με βάση τα σχετικά πρωτόκολλα μέτρησης από αριστερά προς τα κάτω και μετά από δεξιά προς τα πάνω έως ότου καλυφθεί όλη η επιφάνεια της αντικειμενοφόρου πλάκας. Το ποσοστό αποικισμού στις ρίζες των φυτών υπολογίστηκε σύμφωνα με τον αριθμό κομμένων ριζών που εμφάνισαν αποικισμό προς τον συνολικό αριθμό των κομμένων ριζών που παρατηρήθηκαν, εκφρασμένο επί τοις %.



Εικόνα 8: Αντικειμενοφόροι με δείγματα ριζών προς σάρωση στο μικροσκόπιο.



Εικόνα 9: Χρωματισμένη ρίζα στην οποία διακρίνονται οι κατασκευές των μυκορριζικών μυκήτων (πηγή: <http://archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/microbes/mycorr.htm>)

2.5 Μέτρηση pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC)

Στις 23 Μαΐου 2019 τα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν για τον προσδιορισμό της δυναμικής νιτροποίησης και τη μέτρηση νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων, συμμετείχαν και σε πειράματα προσδιορισμού εδαφικού pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC).

pH

Από κάθε δείγμα ζυγίστηκαν 10g εδάφους και τοποθετήθηκαν σε falcon 50ml. Κάθε δοχείο falcon πληρώθηκε με 25ml απεσταγμένου νερού και τα διαλύματα οδηγήθηκαν στον ανακινητήρα, όπου και αναδεύτηκαν για 10 ολόκληρα λεπτά. Μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου ανάδευσης, τα διαλύματα αφέθηκαν σε ηρεμία για 30 λεπτά και στη συνέχεια μετρήθηκαν με τη βοήθεια πεχαμέτρου (HI 9024, HANNA instruments).

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

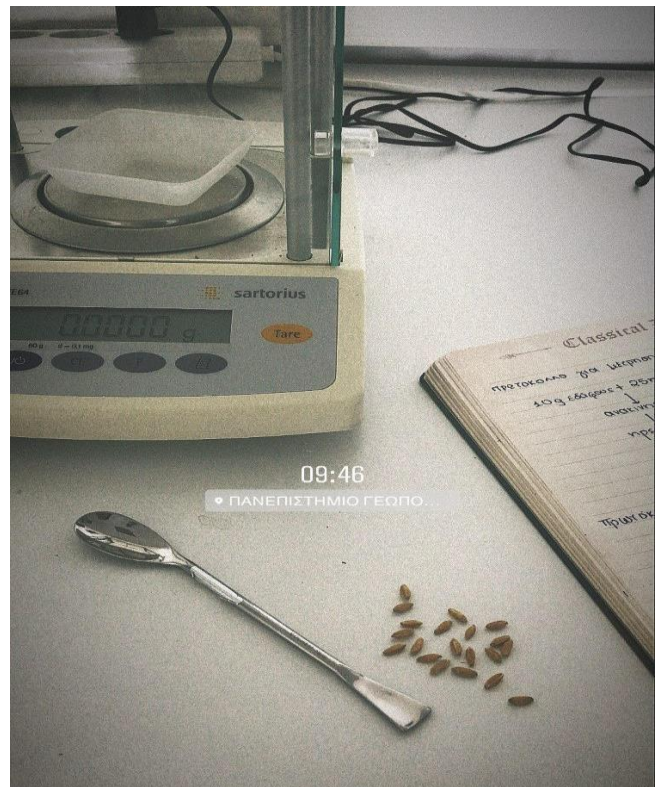
Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη μέτρηση της EC, μόνο που σε αυτή την περίπτωση ζυγίστηκαν 20g από κάθε εδαφικό δείγμα και τοποθετήθηκαν μαζί με 20ml απεσταγμένου νερού σε falcon των 50ml. Κατόπιν τα παραχθέντα διαλύματα αναδεύτηκαν για 20 λεπτά στον ανακινητήρα και μετρήθηκαν κατευθείαν, χωρίς αφεθούν σε ηρεμία. Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας διενεργήθηκε με αγωγιμόμετρο (Consort, C5020).

2.6 Αναπτυξιακά χαρακτηριστικά φυτών και σπόρων σιταριού

Η συλλογή των δειγμάτων ολόκληρων σιταριών πραγματοποιήθηκε στις 20 Ιουνίου 2019, λίγο πριν την συγκομιδή της καλλιέργειας. Πραγματοποιήθηκε τυχαία δειγματοληψία 15 δειγμάτων ανά plot της κάθε μεταχείρισης. Σε κάθε ένα φυτό σιταριού έγινε μέτρηση του μήκους του στελέχους και του στάχυ του (σε cm) και των σειρών σπόρων που εμφανίζονταν πάνω στον στάχυ. Ακόμη, ολόκληρο το κάθε δείγμα (συμπεριλαμβανομένου του στελέχους και του στάχυ) τοποθετήθηκαν σε σακουλάκια και οδηγήθηκαν στο ξηραντήριο, όπου και παρέμειναν για περίπου 3 μέρες, μέχρις ότου ξεραθούν εντελώς ώστε να υπολογιστεί το ξηρό τους βάρος. Τέλος πραγματοποιήθηκε δια χειρός αλωνισμός των σιταριών για την παραλαβή των σπόρων, καταγράφηκε το βάρος του συνόλου των σπόρων ανά στάχυ, ενώ επίσης καταγράφηκε το βάρος ενός υποσυνόλου 20 σπόρων ανά δείγμα, ώστε να υπολογιστεί το βάρος 1000 σπόρων.



Εικόνα 10: Δείγματα σιταριών απευθείας από τον αγρό.



Εικόνα 11: Κόκκοι σπόρων προς μέτρηση σε ζυγό ακριβείας.

2.7 Στατιστική ανάλυση

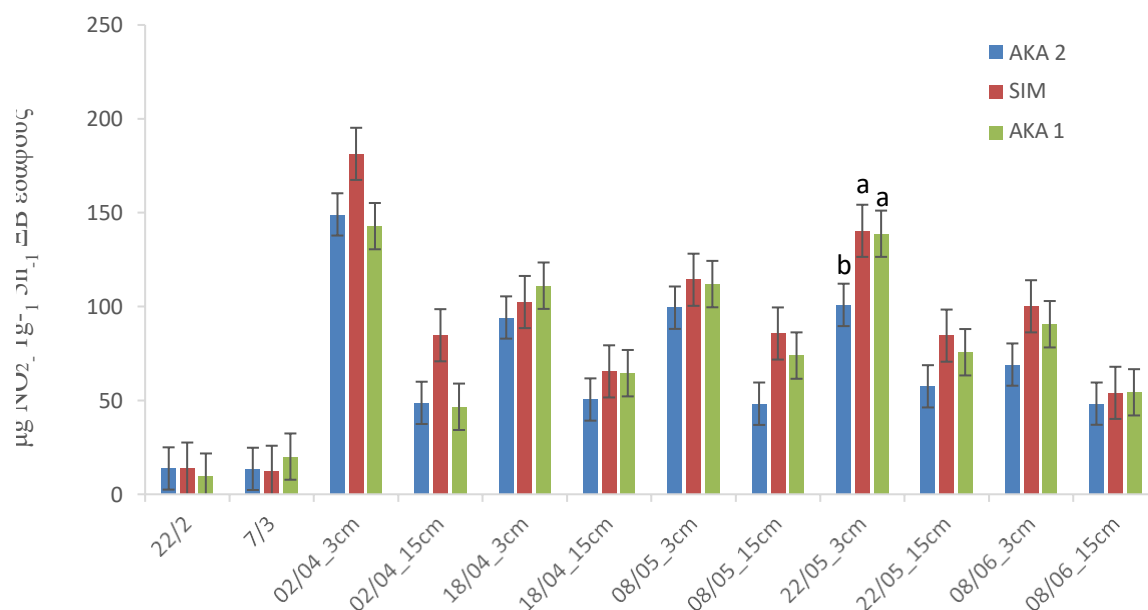
Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (One Way ANOVA) σε επίπεδο σημαντικότητας 5% και στη συνέχεια Post Hoc Tests (Tukey) για να βρεθούν οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διάφορων μεταχειρίσεων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το JASP (JASP Team 2021, Version 0.14).

3. Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων όλων των παραμέτρων σε μορφή γραφημάτων ύστερα από στατιστική ανάλυση. Σκοπός είναι να μελετηθούν οι διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων, οι οποίες παρουσιάζονται στα υπομνήματα ως εξής:

- Νέα ακαλλιέργεια: ΑΚΑ2
- Συμβατική καλλιέργεια: SIM
- Παλιά ακαλλιέργεια: ΑΚΑ1

3.1 Δυνητική νιτροποίηση (potential nitrification)



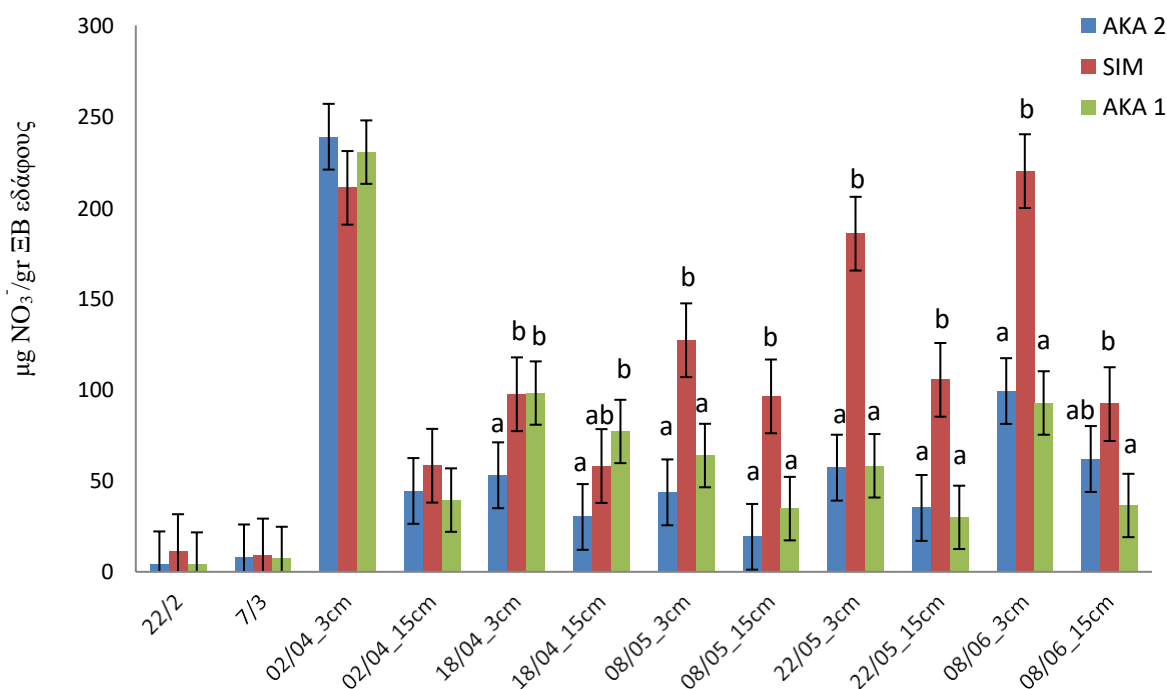
Γράφημα 1: Ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης για τις τρεις μεταχειρίσεις και τα διαφορετικά βάθη με επτά ξεχωριστές μετρήσεις (M.O. \pm Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Ο ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης παρουσίασε έντονες διακυμάνσεις στην διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, με την μεγαλύτερη ένταση να παρουσιάζεται στις 02/04 (3cm), όπως φαίνεται στο γράφημα 1. Παρά τις έντονες διακυμάνσεις, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ούτε ως προς το είδος της καλλιεργητικής τεχνικής (ακαλλιέργεια, συμβατική), που εφαρμόστηκε, ούτε ως προς το βάθος, από το οποίο πάρθηκαν τα εδαφικά δείγματα (3cm-15cm). Εξάιρεση αποτελεί η στατιστικώς σημαντική διαφορά που παρουσίασε η ΑΚΑ2 σε σύγκριση με την ΑΚΑ1 και SIM στις 02/04/19 και σε βάθος 3cm. Σύμφωνα με την πλειονότητα των μετρήσεων, ο ρυθμός

δυνητικής νιτροποίησης βρέθηκε μεγαλύτερος στην συμβατική καλλιέργεια έναντι της ακαλλιέργειας, και μόνο τον Μάρτιο μεγαλύτερος στην ακαλλιέργεια. Τέλος, ως προς το βάθος, η δυνητική νιτροποίηση βρέθηκε αυξημένη στα 3cm από ότι στα 15cm.

3.2 Προσδιορισμός νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων

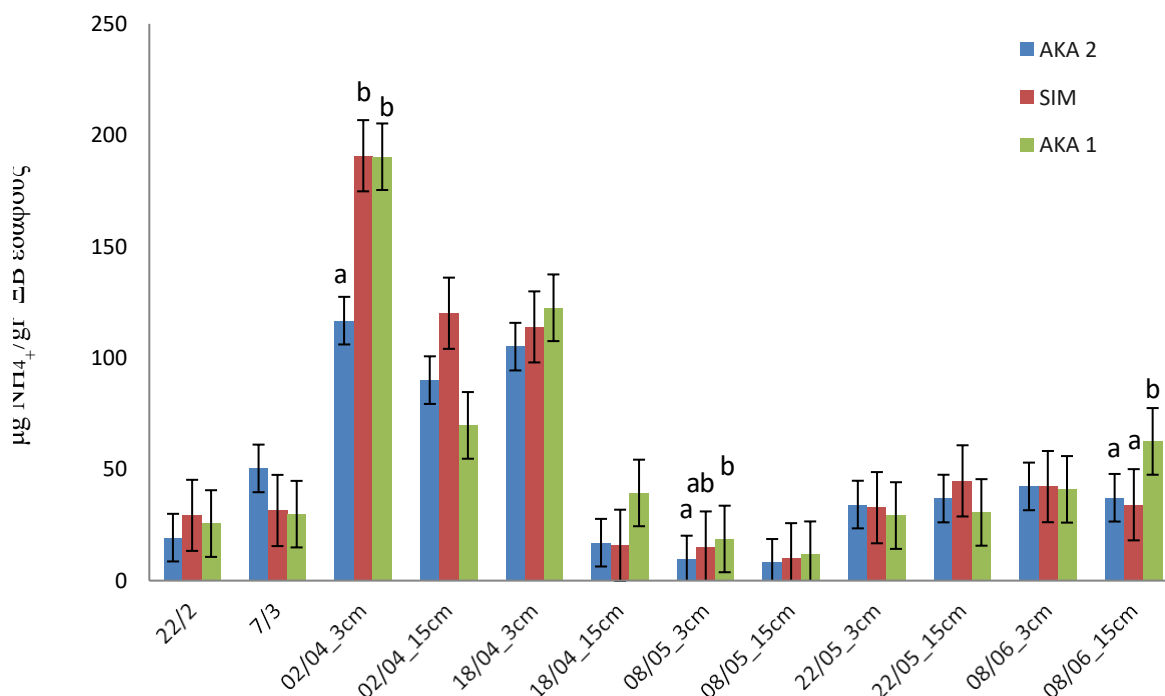
3.2.1 Νιτρικά (NO_3^-) ιόντα



Γράφημα 2: Συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων για τις τρεις μεταχειρίσεις και τα διαφορετικά βάθη με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε επτά διαφορετικές ημερομηνίες (M.O. \pm Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Έντονες διακυμάνσεις παρουσιάστηκαν και στην περίπτωση των συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων στο εδαφικό διάλυμα. Σύμφωνα με το γράφημα 2, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων εμφανίστηκαν, κατά τις 2 πρώτες μετρήσεις, ιδιαίτερα χαμηλές. Αντιθέτως, στην ακριβώς επόμενη μέτρηση (02/04 3cm) προέκυψε το μέγιστο των συγκεντρώσεων, οι οποίες στη συνέχεια υπέστησαν διαρκείς αυξομειώσεις. Χαρακτηριστικό είναι ότι από την 4^η μέτρηση αρχίζει να επικρατεί η συμβατική καλλιέργεια έναντι της ακαλλιέργειας, με στατιστικώς σημαντικές διαφορές, ενώ δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους οι δύο μεταχειρίσεις της ακαλλιέργειας. Αναφορικά με το βάθος, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν στα 3cm από ότι στα 15cm.

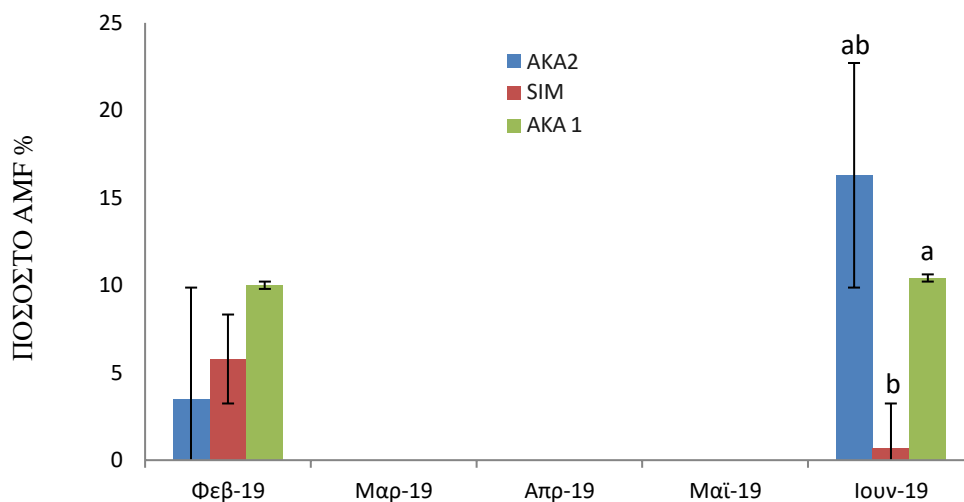
3.2.2 Αμμωνιακά (NH₄⁺) ιόντα



Γράφημα 3: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων για τις τρεις μεταχειρίσεις και τα διαφορετικά βάθη με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε επτά διαφορετικές ημερομηνίες (M.O. ± Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών ιόντων εμφάνισαν διακύμανση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Κατά τις 2 πρώτες μετρήσεις, οι ποσότητες των αμμωνιακών στο εδαφικό διάλυμα ήταν χαμηλές ενώ εμφανίστηκαν ιδιαίτερα υψηλές κατά τις αμέσως επόμενες μετρήσεις, συγκεκριμένα στις 02/04 στα 3 και 15cm αλλά και στις 18/04 στα 3cm. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν εμφανώς μειωμένες, όπως και παρέμειναν μέχρι το τέλος των μετρήσεων. Παρουσιάστηκαν μικρές διαφοροποιήσεις στις ποσότητες των αμμωνιακών στις μεταχειρίσεις, όμως οι τιμές της παλιάς ακαλλιέργειας φαίνεται ότι διαχωρίστηκαν από τις άλλες σε τρία χρονικά σημεία (Γράφημα 3) καλλιέργειας. Τέλος, σε ότι αφορά τις διαφορές μεταξύ των βαθών φαίνεται να είναι μειωμένες σε σχέση με την εικόνα των νιτρικών, αλλά στην πλειονότητα των μετρήσεων τα αμμωνιακά ήταν περισσότερο συγκεντρωμένα στα 3cm.

3.3 Μέτρηση του αποικισμού της ρίζας από μυκορριζικούς μύκητες

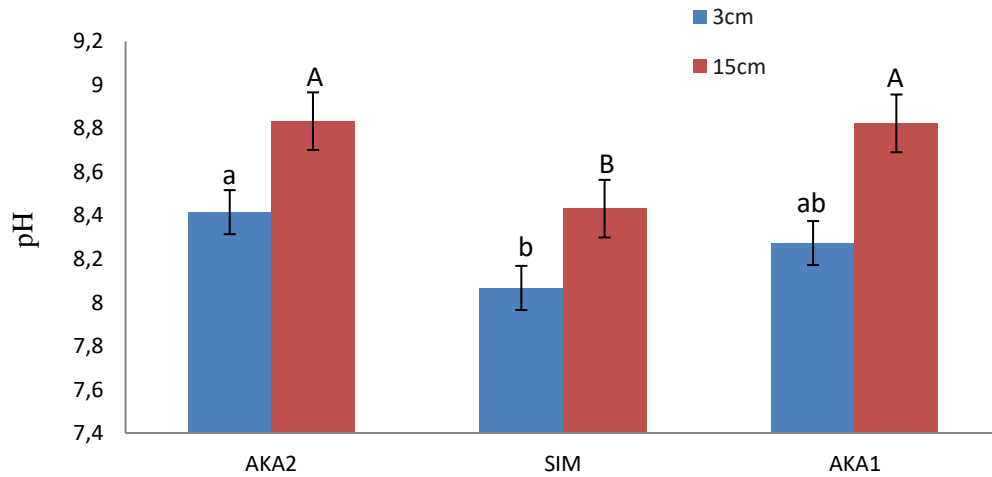


Γράφημα 4: Ποσοστό (%) αποικισμού της ρίζας για τις τρεις μεταχειρίσεις με δυο ξεχωριστές μετρήσεις (Μ.Ο. ± Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Η παρουσία μυκορριζών τον Φεβρουάριο του 2019 δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων. Ο πληθυσμός εμφανίστηκε αυξημένος στην παλιά ακαλλιέργεια αγγίζοντας το 10% σε σχέση με την συμβατική καλλιέργεια που ήταν σχεδόν ο μισός (5.78%) και την νέα ακαλλιέργεια με ποσοστό μόλις 3,44%.

Το ποσοστό αποικισμού της ρίζας από μυκορριζικούς μύκητες τον Ιούνιο του 2019 εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ και των τριών μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, η ΑΚΑ2 εμφάνισε ποσοστό 16,20%, η ΑΚΑ1 10,41% και η SIM 0,69%, ποσοστό σχεδόν μηδενικό.

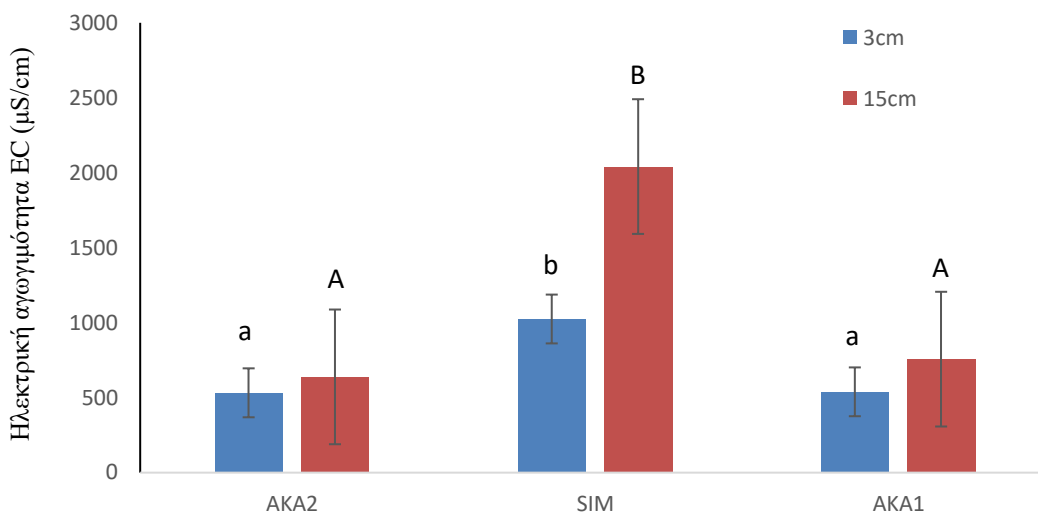
3.4 Το pH του εδάφους



Γράφημα 5: Τιμές pH του εδάφους των διαφορετικών μεταχειρίσεων και σε διαφορετικά βάθη στο μέσον της καλλιεργητικής περιόδου (M.O. \pm Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων στα 3cm (με μικρά γράμματα) και στα 15cm (με κεφαλαία γράμματα).

Οι τιμές του εδαφικού pH παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων της νέας ακαλλιέργειας και της συμβατικής και στα δύο βάθη που εξετάστηκαν, καθώς παρουσιάζονται ελαφρώς υψηλότερες (βλ. μικρό εύρος άξονα Y) στην πρώτη περίπτωση. Επίσης, φαίνεται στο γράφημα το pH αυξάνει με το βάθος δειγματοληψίας (γράφημα 5: pH 15cm > pH 3cm).

3.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) εδάφους

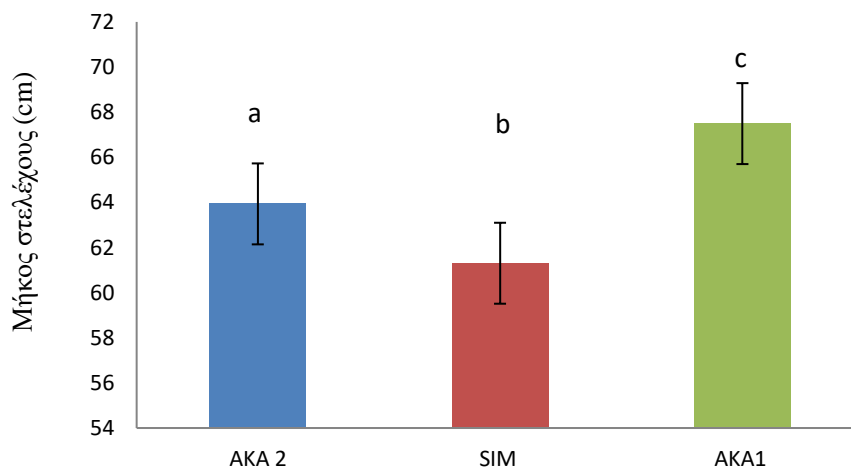


Γράφημα 6: Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC σε διαφορετικά βάθη του εδάφους των μεταχειρίσεων, όπως προέκυψαν από μια μεμονωμένη μέτρηση (M.O. ± Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων στα 3cm (με μικρά γράμματα) και στα 15cm (με κεφαλαία γράμματα).

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των εδαφικών δειγμάτων εμφάνισαν επίσης στατιστικά σημαντικές διαφορές. Πιο αναλυτικά, οι τιμές των AKA1 και AKA2 δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους αλλά παρουσίασαν και οι δυο τις ίδιες σημαντικές διαφορές από τις αντίστοιχες τιμές της συμβατικής καλλιέργειας και στα δύο βάθη που εξετάστηκαν. Επίσης, προέκυψε πως σε μεγαλύτερα βάθη (15cm), η ηλεκτρική αγωγιμότητα, τόσο στην ακαλλιέργεια όσο και στην συμβατική, παρουσιάστηκε αυξημένη έναντι τους ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα 3cm.

3.6 Αναπτυξιακά χαρακτηριστικά

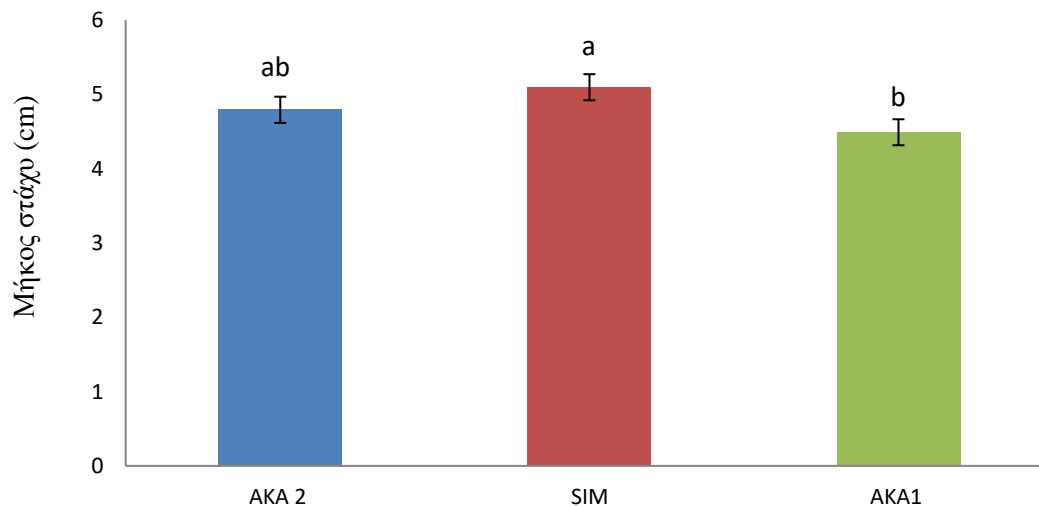
3.6.1 Μήκος στελέχους σιταριών



Γράφημα 7: Μήκος στελέχους σιταριών κάθε μεταχείρισης (Μ.Ο. \pm Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Το μήκος του στελέχους των σιταριών παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων. Έτσι, τόσο η SIM όσο και οι AKA1 και AKA2 διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, με την AKA1 να έρχεται πρώτη, έχοντας σιτάρια με μέσο όρο μήκους τα 67cm, την AKA2 με μέσο όρο 63.9 cm και τελευταία την SIM με μέσο όρο 61,8 cm.

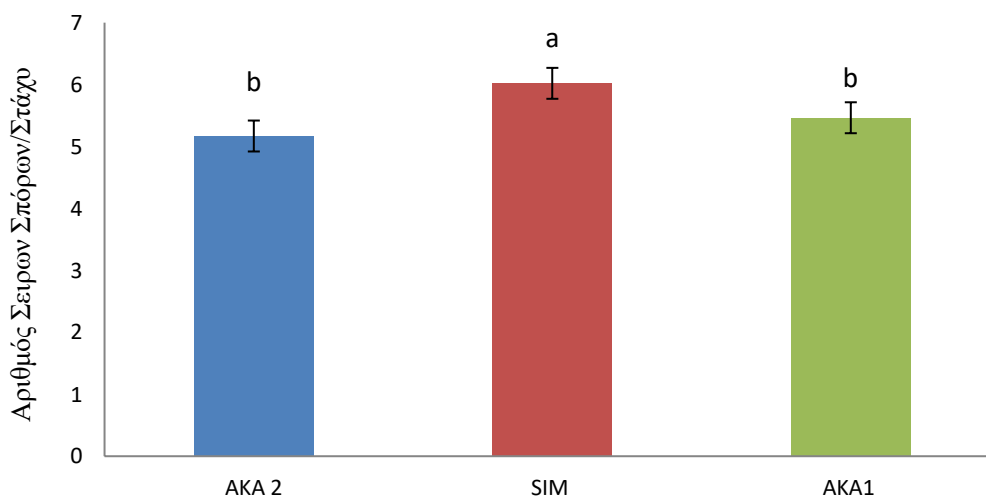
3.6.2 Μήκος στάχυ των σιταριών



Γράφημα 8: Μήκος στάχυ σιταριών κάθε μεταχείρισης (M.O. \pm Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων εμφάνισε και το μήκος του στάχυ των σιταριών. Αναλυτικότερα, το μήκος του στάχυ των σιταριών στην SIM διέφερε στατιστικώς σημαντικά από αυτό των σιταριών στην AKA1. Μεγαλύτερο μήκος στάχυ εμφάνισαν τα σιτάρια, που αναπτύχθηκαν υπό συμβατική καλλιέργεια.

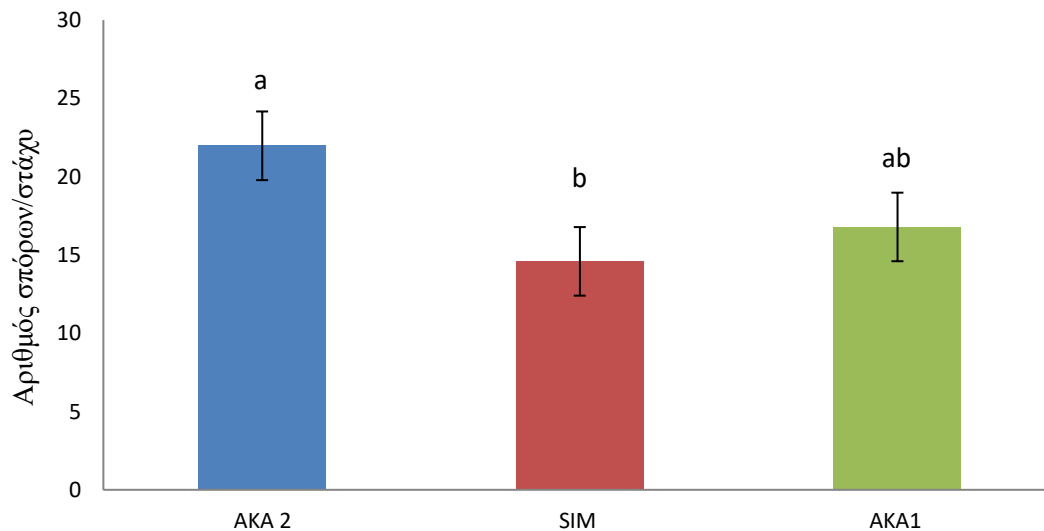
3.6.3 Αριθμός σειρών σπόρων/στάχυ



Γράφημα 9: Σειρές σπόρων ανά στάχυ στις διαφορετικές μεταχειρίσεις (M.O. ± Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπέδειξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές του αριθμού σειρών σπόρων/στάχυ μεταξύ των σιταριών της SIM και των μεταχειρίσεων AKA1 και AKA2 της ακαλλιέργειας. Ο αριθμός σειρών σπόρων/στάχυ της SIM εμφανίζεται μεγαλύτερος και από τις δύο μεταχειρίσεις ακαλλιέργειας.

3.6.4 Αριθμός σπόρων ανά στάχυ

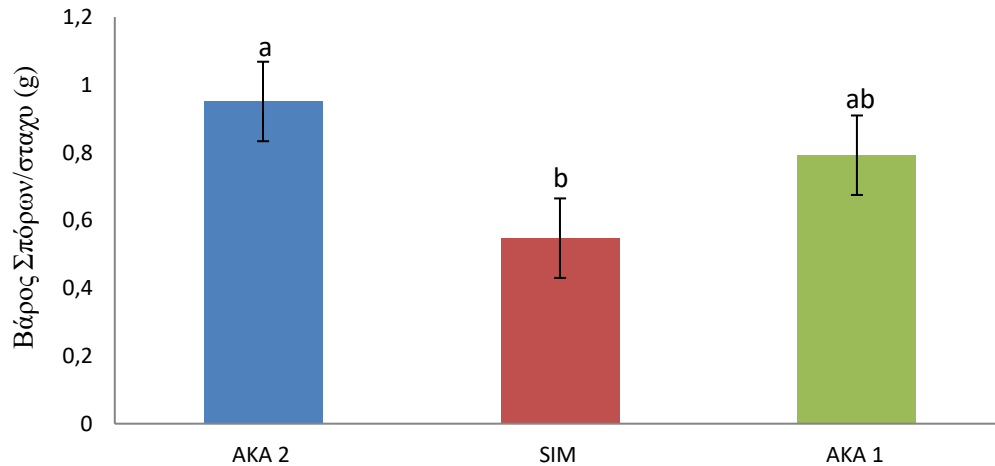


Γράφημα 10: Αριθμός σπόρων ανά στάχυ σιταριών της κάθε μεταχείρισης (M.O. ± Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Ο αριθμός των σπόρων/στάχυ εμφανίζεται μεγαλύτερος στα σιτάρια νέας ακαλλιέργειας με στατιστικώς σημαντική διαφορά από τον αντίστοιχο αριθμό των σιταριών της συμβατικής (SIM). Δεν καταγράφηκαν διαφορές της παλαιότερης ακαλλιέργειας (AKA1) με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

3.6.5 Βάρος σπόρων

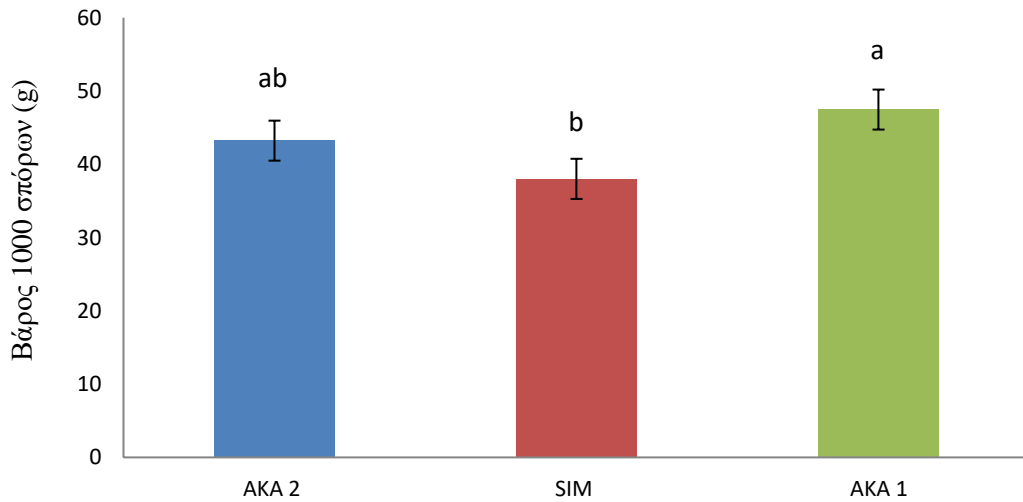
3.6.5.1 Βάρος σπόρων ανά στάχυ



Γράφημα 11: Βάρος σπόρων/στάχυ της κάθε μεταχείρισης (Μ.Ο. ± Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Το βάρος των σπόρων ανά στάχυ των σιταριών της συμβατικής καλλιέργειας ήταν σημαντικά μικρότερο από το βάρος των σπόρων της νέα ακαλλιέργειας (AKA2). Για μία ακόμη φορά η AKA1 εμφάνισε ενδιάμεσες τιμές, χωρίς σημαντικές διαφορές από τις άλλες μεταχειρίσεις.

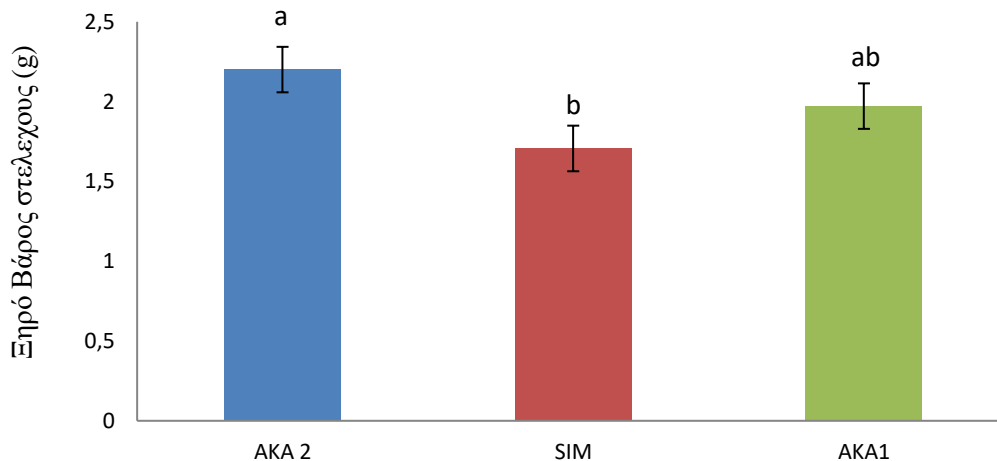
3.6.5.2 Βάρος 1000 σπόρων



Γράφημα 12: Βάρος 1000 σπόρων των σιταριών κάθε μεταχείρισης (Μ.Ο. ± Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Το βάρος 1000 σπόρων εμφάνισε διακύμανση ανά τις μεταχειρίσεις και, όπως προκύπτει από το γράφημα 12, στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στην ΑΚΑ1 και SIM. Το βάρος 1000 σπόρων που προέκυψαν από την ακαλλιέργεια ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με το αντίστοιχο της συμβατικής.

3.6.6 Ξηρό βάρος στελέχους σιταριών



Γράφημα 13: Ξηρό βάρος στελέχους σιταριών της κάθε μεταχείρισης (Μ.Ο. ± Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Το ξηρό βάρος παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ νέας ακαλλιέργειας και συμβατικής. Προέκυψε ότι το ξηρό βάρος των φυτών στην ΑΚΑ1 ήταν στατιστικώς σημαντικά υψηλότερο από αυτό των σιταριών της συμβατικής. Αντίθετα, δεν καταγράφηκαν διαφορές της ΑΚΑ2 με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

4. Συζήτηση

Στην παρούσα έρευνα έγινε καλλιέργεια φυτών σιταριού σε τρεις μεταχειρίσεις: παλιά-ακαλλιέργεια, νέα-ακαλλιέργεια και συμβατική καλλιέργεια, με σκοπό να συγκριθούν οι τρεις μεταχειρίσεις ώστε να μελετηθούν οι επιδράσεις της ακαλλιέργειας, ως μιας τεχνικής μειωμένης κατεργασίας, σε χαρακτηριστικά τόσο του εδάφους όσο και των φυτών.

Σε ότι αφορά τα χαρακτηριστικά του εδάφους μετρήθηκε ο ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης και οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων στο εδαφικό διάλυμα. Οι παράμετροι αυτοί μετρήθηκαν σε δύο βάθη δειγματοληψίας, στα 3cm και στα 15cm. Είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι στα ανώτερα εδαφικά στρώματα οι τιμές των παραμέτρων αυτών είναι αυξημένες (Groffman, 1985 και Staley *et al*, 1990), όμως επιπλέον μας ενδιέφεραν οι τιμές τους στο βάθος που φτάνουν οι ρίζες του σιταριού (15cm). Ο ρυθμός νιτροποίησης, προσδιορίζεται μέσω της δυνητικής νιτροποίησης, μιας μεθόδου μέσω της οποίας μετράται ο μέγιστος αριθμός κατιόντων αμμωνίου (NH_4^+) ή αμμωνίας (NH_3) που μετατρέπονται σε νιτρώδη (NO_2^-) ιόντα, τα οποία οξειδώνονται στη συνέχεια σε νιτρικά (NO_3) ιόντα. Ο ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης εμφάνισε έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Πιο αναλυτικά, στην αρχή των μετρήσεων παρουσιάστηκε χαμηλός, χωρίς όμως να εμφανίζει σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις μεταχειρίσεις. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι η νιτροποίηση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, κυρίως από τις συγκεντρώσεις του αζώτου στο έδαφος που είναι άμεσα σχετιζόμενες και με τις απαιτήσεις σε N για την ανάπτυξη των φυτών σιταριού σε εκείνες τις περιόδους. Η γενική εικόνα του ρυθμού της δυνητικής νιτροποίησης είναι ότι εμφανίστηκε ελαφρώς μεγαλύτερος στην συμβατική καλλιέργεια συγκριτικά με την νέα ακαλλιέργεια, με την όποια διαφορά να μηδενίζεται μεταξύ συμβατικής και παλιάς ακαλλιέργειας. Πολλοί ερευνητές μεταξύ των οποίων και οι Staley *et al*, (1990) υποστηρίζουν ότι η ακαλλιέργεια προκαλεί υψηλούς ρυθμούς απονιτροποίησης και χαμηλούς ρυθμούς νιτροποίησης σε σχέση με την συμβατική καλλιέργεια. Την αντίθεσή τους σε αυτό εξέφρασαν οι Rice and Smith (1983), οι οποίοι υποστήριξαν ότι ο ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης μπορεί να είναι υψηλότερος στην ακαλλιέργεια από ότι στην συμβατική, εξαιτίας των ευνοϊκότερων, για την νιτροποίηση, συνθηκών υγρασίας που επικρατούν σε εδάφη που εφαρμόζεται ακαλλιέργεια. Επιπροσθέτως, υποστηρίζεται ότι οι αυξημένοι ρυθμοί δυνητικής νιτροποίησης είναι άμεσα συνδεδεμένοι με την υγρασία, το pH, τον C και το N που απαντώνται στην επιφάνεια ακαλλιέργητου εδάφους. (Rice and Smith, 1983). Όσον αφορά τα διαφορετικά βάθη από τα οποία πάρθηκαν τα δείγματα εδάφους προκύπτει ότι ο ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης σε όλη την πειραματική διαδικασία παρουσιάζεται αυξημένος σε βάθος εδάφους 3cm από ότι σε βάθος 15cm. Τόσο ο Groffman (1985) όσο και οι Staley *et al*, (1990) βρήκαν ότι οι νιτροποιητικές δραστηριότητες επηρεάζονται από το βάθος του εδάφους και εμφανίζονται πιο αυξημένες και έντονες κοντά στην επιφάνεια του εδάφους σε βάθος 0-5cm και 0-3.8 αντίστοιχα. Αντιθέτως, βρέθηκε ότι όσο αυξάνει το βάθος του εδάφους (15-30cm) που μελετάται (Staley *et al*, 1990), τόσο μειώνεται και ο ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης. Στην παρούσα εργασία, η δυνητική νιτροποίηση βρέθηκε μεγαλύτερη στη συμβατική καλλιέργεια από ότι στην ακαλλιέργεια, σε όλες τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε βάθος 15cm. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι σε μεγαλύτερα βάθη παράγοντες που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα των αμμωνιακών,

το pH και την υγρασία αλληλεπιδρούν, προκαλώντας υψηλότερα επίπεδα νιτροποίησης στη συμβατική καλλιέργεια έναντι της ακαλλιέργειας (Groffman, 1985).

Τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) είναι η κύρια πηγή N για τα φυτά και προκύπτουν από την διαδικασία της νιτροποίησης που συντελείται στο εδαφικό διάλυμα. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο εδαφικό διάλυμα παρουσιάζεται ιδιαίτερα χαμηλή στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στις αυξημένες απαιτήσεις των φυτών, παρόλο που το ριζικό τους σύστημα δεν είναι επαρκώς ανεπτυγμένο, αλλά ίσως και στις χαμηλές θερμοκρασίες Φεβρουαρίου και Μαρτίου. Προς αυτή την κατεύθυνση στρέφονται και οι Kaiser *et al.* (2010), οι οποίοι πραγματοποίησαν πειράματα σε φυτείες καπνού, με σκοπό την εκτίμηση των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων και τυχόν διαφορών μεταξύ των συγκεντρώσεων αυτών ανά τις διάφορες καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν. Οι ίδιοι ερευνητές υποστηρίζουν πως οι συγκεντρώσεις υφίστανται μια σταδιακή μείωση με την πάροδο του χρόνου που οφείλεται στην πρόσληψη N από τα αναπτυσσόμενα φυτά, στην ακινητοποίηση του στοιχείου αυτού από μικροοργανισμούς και στις απώλειες λόγω απορροής, απονιτροποίησης ή έκπλυσης από το εδαφικό διάλυμα. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων εμφανίζουν έντονες διακυμάνσεις. Από την μέτρηση του Απριλίου και μετά εμφανίζονται στατιστικώς σημαντικές αυξήσεις στη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στην συμβατική καλλιέργεια σε σχέση με την ακαλλιέργεια. Φαίνεται λοιπόν ότι στη συμβατική καλλιέργεια ευνοείται η νιτροποίηση και κατ' επέκταση αυξάνονται τα διαθέσιμα νιτρικά ιόντα, σε αντίθεση με την ακαλλιέργεια. Οι Kaiser *et al.* (2010) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ακαλλιέργεια χαρακτηρίζεται συνήθως από χαμηλούς ρυθμούς νιτροποίησης, σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπησή τους. Πιθανώς το πρόβλημα των χαμηλών συγκεντρώσεων NO_3^- στα εδαφικά διαλύματα της ακαλλιέργειας ίσως σχετίζεται με την έκπλυση, η οποία ευνοείται από την ακαλλιέργεια. Σύμφωνα με τους Khan *et al.*, (2017) η κίνηση του νερού στα αδιατάρακτα εδάφη είναι 100% μεγαλύτερη από ότι στα εδάφη που υφίστανται κατεργασία. Φαίνεται επομένως ότι στο αδιατάρακτο έδαφος της ακαλλιέργειας οι μακροπόροι βρίσκονται σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους εξασφαλίζοντας έτσι ένα άμεσο μονοπάτι στο νερό το οποίο συμπαρασύρει τα νιτρικά στα κατώτερα εδαφικά στρώματα. Επιπροσθέτως, οι χαμηλές συγκεντρώσεις της ακαλλιέργειας σε νιτρικά, ίσως οφείλονται και στην απορροή, η οποία παρουσιάζεται αυξημένη κατά την ακαλλιέργεια. Οι Daryanto *et al.* (2017) εξετάζοντας την απορροή των νιτρικών ιόντων σε καλλιέργειες σιταριού, καλαμποκιού και σόγιας, διαπίστωσαν ότι η ακαλλιέργεια οδηγεί σε αύξηση της απορροής σε σύγκριση με την συμβατική μέθοδο. Τέλος, αφού η διαδικασία της νιτροποίησης τείνει να είναι πιο έντονη στα ανώτερα εδαφικά βάθη, αναμένεται πως και η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων θα ακολουθήσει την ίδια κατεύθυνση. Πράγματι, οι συγκεντρώσεις των NO_3^- στα 3cm εμφανίστηκαν να ξεπερνούν οριακά αυτές στα 15cm (Γράφημα 2).

Τα αμμωνιακά (NH_4^+) ιόντα είναι αυτά που μετατρέπονται μέσω της νιτροποίησης σε νιτρώδη και τελικά σε νιτρικά ιόντα, επηρεάζουν επομένως τη νιτροποίηση και κατ' επέκταση τις συγκεντρώσεις των νιτρικών που θα προκύψουν. Στην παρούσα μελέτη, οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών ιόντων εμφάνισαν διακυμάνσεις, με στατιστικώς σημαντικές διαφορές να εμφανίζονται σε τρία μόνο χρονικά σημεία, με την παλιά ακαλλιέργεια να υπερτερεί. Η σταδιακή ελάττωση των συγκεντρώσεων όλων των μεταχειρίσεων, όπως παρουσιάζεται στο

γράφημα 3, οφείλεται πιθανώς στην νιτροποίηση που συντελείται αλλά και στην πρόσληψη αμμωνιακών από το ριζικό σύστημα των αναπτυσσόμενων σιταριών. Αυτό το συμπέρασμα έρχεται σε συμφωνία με τους Kaiser *et al* (2010), οι οποίοι παρατήρησαν παρόμοια αποτελέσματα και τα απέδωσαν σε αυτό το φαινόμενο. Καθώς οι διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων δεν ήταν πολύ σημαντικές φαίνεται πως τα αμμωνιακά ιόντα δεν επηρεάστηκαν τόσο από τις διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν. Το ίδιο υποστηρίζουν και οι Staley *et al*, (1990) καθώς στα πειράματά τους οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών δεν επηρεάστηκαν ούτε από την τοποθεσία ούτε και από την εφαρμογή ακαλλιέργειας ή συμβατικής καλλιέργειας. Αντιθέτως, οι Lurwayi *et al* (2006) αναφέρουν, χαρακτηριστικά, πως στα πειράματά τους, που αφορούσαν την κατανομή και πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων του εδάφους από το σιτάρι σε συμβατική καλλιέργεια και ακαλλιέργεια, βρήκαν ότι οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών στην ακαλλιέργεια ήταν μεγαλύτερες από αυτές της συμβατικής στα 0-5cm βάθος. Όπως, καταδεικνύεται στο γράφημα 3, στην πλειοψηφία των μετρήσεων παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές όσον αφορά τα διαφορετικά βάθη, στα οποία πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες, με τις συγκεντρώσεις των αμμωνιακών να είναι ελαφρώς αυξημένες στα 3cm από ότι στα 15cm. Επομένως, υπάρχει, θα λέγαμε, συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων και του βάθους του εδάφους, παρόμοια με τη συσχέτιση που παρατηρούν και οι Lurwayi *et al* (2006).

Οι μυκορριζικές συμβιώσεις είναι πληθυσμοί που παίζουν σημαντικότερο ρόλο στην θρέψη των φυτών. Ο Kabir (2005) αναφέρει πως όταν το έδαφος είναι αδιατάρακτο οι υφές των μυκήτων είναι αυτές που επιτυγχάνουν την καλύτερη προσβολή των ριζών των φυτών, παρόλο που τα σπόρια είναι οι πιο ανθεκτικές μορφές τους που συνήθως αναλαμβάνουν τον πολλαπλασιασμό. Υποστηρίζει πως στα εδάφη που υφίστανται μικρή ή μεγάλη κατεργασία, ορισμένα είδη μυκορριζικών μυκήτων μπορεί να επιβιώσουν ενώ κάποια άλλα μπορεί να εξαφανιστούν εντελώς. Επομένως, η συμβατική καλλιέργεια, μπορεί να αποβεί καταστρεπτική για τους μυκορριζικούς μύκητες, ενώ η ακαλλιέργεια είναι σαφώς καλύτερη, ειδικά όταν οι μύκητες βρίσκονται κοντά στο φυτό ξενιστή μέσω του οποίου αναπτύχθηκαν. Επιπροσθέτως, ο Kabir (2005) υποστηρίζει ότι οι μυκορριζικοί μύκητες είναι άφθονοι στο ανώτερο στρώμα του εδάφους και το βαθύ όργωμα είναι ικανό να μειώσει το μέσο πολλαπλασιασμού τους, μειώνοντας την ριζική προσβολή από τον μύκητα. Τέλος, εικάζει ότι στην ακαλλιέργεια τα φυτά ακολουθούν τα παλαιότερα ριζικά κανάλια και δυνητικά, συναντούν περισσότερους μυκορριζικούς μύκητες από ότι στην συμβατική καλλιέργεια. Στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιήθηκαν δύο καταγραφές του ποσοστού αποικισμού της ρίζας σιταριού από μυκόρριζες. Βρέθηκε ότι τον Ιούνιο υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων, με τη νέα ακαλλιέργεια να εμφανίζει τα υψηλότερα ποσοστά, ακολουθούμενη από την παλιά ακαλλιέργεια, ενώ η συμβατική εμφάνισε σχεδόν μηδενικά ποσοστά. Στη δειγματοληψία του Φεβρουαρίου, όπου το υπέργειο μέρος των φυτών δεν είχε αναπτυχθεί ολοκληρωτικά, τα ποσοστά σχηματισμού μυκορριζών ήταν χαμηλότερα από τον Ιούνιο, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Προκύπτει λοιπόν ότι στην ακαλλιέργεια οι μυκόρριζες ήταν περισσότερες εν συγκρίσει με την συμβατική. Προς αυτή την κατεύθυνση στρέφονται και οι Mathew *et al*, (2012) και οι Moitinho *et al*, (2020), σύμφωνα με τους οποίους η ακαλλιέργεια αυξάνει σημαντικά τους πληθυσμούς μυκορριζικών μυκήτων. Μάλιστα, οι τελευταίοι προτείνουν συνδυασμό ακαλλιέργειας με αμειψισπορά ώστε να αυξηθεί η μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους. Το εννεαετές πρόγραμμα του

πειράματός τους, που συνδυάζει ακαλλιέργεια και αμειψισπορά, έδειξε αύξηση του πληθυσμού των μυκορριζών ειδικά κατά την θερινή καλλιέργεια με καλαμπόκι, η οποία προκάλεσε αύξηση του συνολικού μήκους του εξωτερικού μυκηλίου και του αριθμού των σπορίων των μυκορριζών. Τέλος, οι Schalamuk και Cabello (2008) διερεύνησαν ποια είδη μυκορριζικών μυκήτων έχουν αυξημένη ικανότητα προσβολής ριζών μέσα από πειράματα σε ακαλλιέργεια και συμβατική καλλιέργεια. Κατέληξαν ότι οι μεγαλύτεροι πληθυσμοί αποκτήθηκαν σε μη αρόσιμα εδάφη λόγω της μη διακοπής του δικτύου υφών σε αυτά, ενώ οι πιο αποδοτικοί μύκητες στον αποικισμό ανήκουν στην οικογένεια Glomeraceae και πλεονεκτούν έναντι των Acaulosporaceae και Gigasporaceae.

Το pH είναι μια από τις χημικές ιδιότητες του εδάφους και αποτελεί παράμετρο που προσφέρει πληροφορίες τόσο για τις υπόλοιπες χημικές αλλά και βιολογικές ιδιότητες του. Οι τιμές του εδαφικού pH στο πείραμα αυτό, παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ ακαλλιέργειας και συμβατικής καλλιέργειας και προέκυψαν μεγαλύτερες στα εδάφη, στα οποία είχε εφαρμοστεί η τεχνική της ακαλλιέργειας. Το εύρημα αυτό, συμφωνεί με πολλούς ερευνητές, οι οποίοι υποστηρίζουν, μέσα από τα πειράματά τους, ότι το εδαφικό pH εμφανίζεται μεγαλύτερο στην ακαλλιέργεια, σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη κατεργασίας. Συγκεκριμένα, οι Simansky and Kovacik, (2015), βρήκαν τιμές pH αυξημένες κατά 4% σε εδάφη που είχαν υποστεί μειωμένη κατεργασία έναντι αυτών τους συμβατικής. Οι Lopez-Fando και Pardo (2009) αλλά και ο Woźniak (2019) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ακαλλιέργεια παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερο εδαφικό pH. Οι τιμές pH κυμάνθηκαν σε υψηλότερα επίπεδα στα 15cm βάθος από ότι στα 3cm και αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι το έδαφος που έχει υποστεί κατεργασία χαρακτηρίζεται από έναν ομοιογενή οργωμένο ορίζοντα ενώ το ακαλλιέργητο από ισχυρές κατακόρυφες διαβαθμίσεις pH (Limousin, and Tessier, 2007). Οι ίδιοι ερευνητές, ανακάλυψαν ότι το pH στα 5 πρώτα εκατοστά ακαλλιέργητου εδάφους εμφανίστηκε μειωμένο, πιθανώς, εξαιτίας της επιφανειακής συσσώρευσης οργανικών υπολειμμάτων. Την ίδια άποψη, ότι το εδαφικό pH μειώνεται όσο μειώνεται το βάθος του εδάφους είχαν και οι Martinez *et al.*, (2007), οι οποίοι ανακάλυψαν ότι στα ανώτερα 2 -2.5 cm το pH μειώνεται λόγω της αποσύνθεσης των υπολειμμάτων, η οποία απελευθερώνει ιόντα H^+ . Οι ίδιοι τονίζουν ότι τα ιόντα H^+ αναμένεται να μετακινηθούν προς τα κάτω σε όλο το έδαφος, αλλά ο αργός ρυθμός διήθησης, υπό συνθήκες ακαλλιέργειας, αυξάνει την πιθανότητα διατήρησης των απελευθερωμένων αυτών ιόντων κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι το μέγεθος που μετράει και ποσοτικοποιεί την αλατότητα των εδαφών, άρα παραπέμπει στη συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα (Brady & Weil, 2011). Έχει βρεθεί πως η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους είναι μια ιδιότητα που επηρεάζεται από πληθώρα συνθηκών και παραγόντων, όπως τη μηχανική σύσταση του εδάφους, τη συμπίεση που δέχεται το έδαφος, την περιεκτικότητα σε νερό, την αλατότητα, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, την οργανική ουσία και τη θερμοκρασία. Σε ότι αφορά την μηχανική σύσταση του εδάφους, η άργιλος εμφανίζει υψηλή EC, η ιλύς μεσαία και η άμμος μικρή. Η συμπίεση που υφίσταται ένα έδαφος και η περιεκτικότητά του σε νερό τείνουν να αυξήσουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ομοίως και η αυξημένη περιεκτικότητα σε άλατα και η I.A.K προκαλούν αύξηση της EC, όπως και η ύπαρξη πολλών ιόντων στην οργανική ουσία. Τέλος, σε θερμοκρασίες >0 , η θερμοκρασία δεν μεταβάλλει σημαντικά την

αγωγιμότητα, εντούτοις σε $\theta < 0$, η EC υφίσταται μείωση (Γεωργάς και Λοϊζίδης, 2018). Στο παρόν πείραμα, προέκυψε ότι οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας διέφεραν σημαντικά στην συμβατική καλλιέργεια και ήταν υψηλότερες από την ακαλλιέργεια. Φαίνεται λοιπόν ότι στη συμβατική καλλιέργεια η περιεκτικότητα του εδάφους σε άλατα είναι αυξημένη σε σχέση με την ακαλλιέργεια. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι στα αδιατάρακτα εδάφη η κίνηση του νερού είναι 100% μεγαλύτερη από ότι στα εδάφη που υφίστανται κατεργασία (Khan *et al*, 2017) και έτσι τα άλατα εκπλύνονται, ενώ στη συμβατική κατακρατούνται στα εδαφικά στρώματα. Ένας ακόμη λόγος που η EC παρουσιάζεται αυξημένη στην συμβατική καλλιέργεια θα μπορούσε να είναι η συμπίεση που έχει υποστεί το έδαφος αυτό. Η ακαλλιέργεια μπορεί να μην χαρακτηρίζεται από επεμβάσεις και το έδαφός της να παραμένει συμπιεσμένο, όμως τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή της, δεν είναι τόσο βαριά όσο στην συμβατική, ώστε να προκαλέσουν μεγάλες συμπίεσεις του εδάφους. Αντιθέτως, η συμβατική υφίσταται έντονες συμπίεσεις, επομένως η αυξημένη EC αποδίδεται σε αυτό. Αναφορικά με το βάθος των μετρήσεων, οι τιμές της EC, όπως και οι τιμές του pH, παρουσιάστηκαν ιδιαίτερα αυξημένες στα 15cm από ότι στα 3cm. Οι Martinez *et al*, (2007) υποστηρίζουν πως στα πειράματά τους η ηλεκτρική αγωγιμότητα στα 2cm ακαλλιέργειας ήταν μεγαλύτερη από ότι στη συμβατική, ενώ οι Roldán, *et al*. (2005) δεν βρήκαν διαφορές μεταξύ συμβατικής καλλιέργειας και ακαλλιέργειας ως προς την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά του σιταριού που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία αφορούσαν το μήκος στελέχους και στάχυ, τον αριθμό σειρών σπόρων/στάχυ, τον αριθμό σπόρων/στάχυ, το βάρος των σπόρων/στάχυ και του βάρους των 1000 σπόρων όπως και του ξηρού βάρους του στελέχους. Το μήκος του στελέχους διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ και των τριών μεταχειρίσεων και προέκυψε πως ήταν και στις δυο μεταχειρίσεις ακαλλιέργειας (AKA1 και AKA2) μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής. Το εύρημα αυτό, ωστόσο, έρχεται σε διαφωνία με αρκετούς ερευνητές. Μεταξύ αυτών βρίσκεται και ο Καβαλάρης (1994), ο οποίος βρήκε ότι δεν υπήρξε μεταβολή του ύψους και των μεσογονατίων διαστημάτων μεταξύ των μεταχειρίσεων, κατά το διάστημα τους ανάπτυξης των σιταριών. Τα αποτελέσματα σχετικά με το μήκος του στάχυ των σιταριών έδειξαν και αυτά στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Πιο αναλυτικά, προέκυψε ότι τα σιτάρια της συμβατικής καλλιέργειας εμφάνισαν πιο μακρύ στάχυ από αυτά των ακαλλιεργειών. Τα ευρήματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τους Hemmat *et al*, (2001), οι οποίοι διαπίστωσαν ότι οι διαφορετικές τεχνικές κατεργασίας πράγματι επηρεάζουν το μήκος του στάχυ. Αντίθετα, τόσο τα πειράματα των Khan *et al*, (2017) όσο και των Ram *et al*, (2012) δεν υπέδειξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων όσον αφορά το μήκος του στάχυ.

Ο αριθμός των σειρών σπόρων, δηλαδή των σταχυδίων πάνω τους στάχεις, επηρεάζεται άμεσα από το μήκος των στάχων. Σε έναν στάχυ με μεγάλο μήκος, αναμένεται να υπάρχουν περισσότερα σταχύδια, σε σχέση με έναν στάχυ μικρότερου μήκους. Έτσι, αφού κατά τη μέτρηση του μήκους των στάχων βρέθηκε ότι μεγαλύτερο μήκος είχαν οι στάχεις στην συμβατική καλλιέργεια, αναμενόμενος είναι και ο αυξημένος αριθμός σειρών σπόρων στη συμβατική, έναντι των ακαλλιεργειών. Πράγματι, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο αριθμός σειρών δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των δυο ακαλλιεργειών, εντούτοις διέφερε σημαντικά με αυτόν στην συμβατική. Οι Alijani *et al*, (2012) επιβεβαιώνουν ότι υπάρχει

επίδραση των τεχνικών κατεργασίας του εδάφους στον αριθμό των σταχυδίων, όμως τα αποτελέσματά τους βρίσκονται στην αντίθετη κατεύθυνση με αυτά της παρούσας μελέτης καθώς βρήκαν αυξημένο αριθμό σταχυδίων και κατ' επέκταση μεγαλύτερο μήκος στάχυ στα φυτά της ακαλλιέργειας.

Ο αριθμός των σπόρων/στάχυ είναι ένα σημαντικό μέγεθος για την εκτίμηση της απόδοσης του σιταριού (Khan *et al*, 2017). Παρότι ο αριθμός των σταχυδίων πάνω στους στάχεις ήταν μεγαλύτερος στην συμβατική καλλιέργεια από ότι στην ακαλλιέργεια, ο αριθμός σπόρων/στάχυ ήταν στατιστικώς σημαντικά υψηλότερος στη νέα ακαλλιέργεια σε σύγκριση με την συμβατική. Υψηλότερες τιμές έδωσε και η παλιά ακαλλιέργεια συγκριτικά με την συμβατική, χωρίς όμως οι διαφορές να είναι σημαντικές. Ο Maqsood (1998) και οι Khan *et al*, (2017) μέσα από τα πειράματά τους κατέληξαν και αυτοί στο ανωτέρω συμπέρασμα. Εντούτοις, στη βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί τόσο αντίθετα με τα παραπάνω αποτελέσματα, όπως των Ruisi *et al*, (2016) που βρήκαν μεγαλύτερο αριθμό σπόρων στην συμβατική καλλιέργεια σε σχέση με την ακαλλιέργεια, όσο και ουδέτερα ως προς τις διαφορές, όπως των Ram *et al*, (2012), οι οποίοι κατέληξαν ότι ο αριθμός των σπόρων κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα σε όλες τις μεταχειρίσεις.

Το βάρος σπόρων/στάχυ αποτελεί επίσης ένα από τα χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στη διαμόρφωση της απόδοσης των σιτηρών (Παπακώστα, 2012). Εξαιτίας του αυξημένου αριθμού σπόρων που παρατηρήθηκε στην ακαλλιέργεια, αυξημένο αναμένονταν να είναι και το βάρος αυτών. Πράγματι, οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές υπέδειξαν μεγαλύτερο βάρος σπόρων στην ακαλλιέργεια σε σχέση με την συμβατική καλλιέργεια, με τις σημαντικές διαφορές να καταγράφονται μεταξύ νέας ακαλλιέργειας και συμβατικής. Ενδιαφέρον έχει το πείραμα των De Vita *et al*, (2002) όπου σε δυο διαφορετικές περιοχές της Ιταλίας βρήκαν αντίθετης κατεύθυνσης επιδράσεις της ακαλλιέργειας σε σύγκριση με την συμβατική στο βάρος των σπόρων των σιταριών.

Το βάρος 1000 σπόρων είναι ένα σημαντικό στοιχείο που σχετίζεται με τις αποδόσεις της καλλιέργειας. Το βάρος 1000 σπόρων παρουσιάζεται μεγαλύτερο στην ακαλλιέργεια από ότι στη συμβατική, με την παλιά ακαλλιέργεια να υπερτερεί και να εμφανίζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την συμβατική. Με το αποτέλεσμα αυτό συμφωνούν τα πειράματα των Ram *et al* (2012), αλλά και των Ruisi *et al* (2016), ενώ και οι Chokar *et al* (2007) βρήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο βάρος 1000 σπόρων ανάμεσα στις διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές. Τέλος, κατά τη μέτρηση του ξηρού βάρους των στελεχών βρέθηκε πάλι υπεροχή της ακαλλιέργειας έναντι της συμβατικής κάτι που πιθανώς σχετίζεται και με το αποτέλεσμα των μεγαλύτερων σε μήκος στελεχών της ακαλλιέργειας σε σχέση με τη συμβατική.

Συμπεράσματα

- Ο ρυθμός δυνητικής νιτροποίησης εμφάνισε έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.
- Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο εδαφικό διάλυμα εμφανίστηκε σημαντικά μεγαλύτερη στη συμβατική καλλιέργεια στο μεγαλύτερο μέρος της αναπτυξιακής περιόδου του σιταριού.
- Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων στο εδαφικό διάλυμα ήταν παρόμοια στις τρεις μεταχειρίσεις σχεδόν σε όλο το πείραμα.
- Το ποσοστό αποικισμού της ρίζας από μυκορριζικούς μύκητες ήταν σημαντικά μειωμένο σε όλες τις μεταχειρίσεις τον Φεβρουάριο συγκριτικά με τον Ιούνιο. Τον Ιούνιο όμως οι διαφορές οξύνθηκαν και τα ποσοστά παρουσιάστηκαν υψηλότερα στην νέα ακαλλιέργεια και σχεδόν μηδενικά στη συμβατική.
- Το pH του εδάφους ήταν σημαντικά υψηλότερο στην ακαλλιέργεια και στα δύο βάθη που εξετάστηκαν (3cm και 15cm), ενώ αντίθετης κατεύθυνσης ήταν οι διαφορές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.
- Σε ότι αφορά τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά του φυτού, η ακαλλιέργεια οδήγησε σε μακρύτερα στελέχη και επομένως και μεγαλύτερη ξηρή βιομάζα ανά φυτό, σε σύγκριση με την συμβατική καλλιέργεια.
- Ενώ το μήκος του στάχυ ήταν παρόμοιο σε συμβατική και νέα ακαλλιέργεια, ο αριθμός σταχυιδίων πάνω στους στάχεις ήταν σημαντικά υψηλότερος στην συμβατική.
- Ο αριθμός σπόρων/στάχυ, το βάρος σπόρων/στάχυ και το βάρος 1000 σπόρων ήταν σημαντικά υψηλότερος στην ακαλλιέργεια.
- Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα, η ακαλλιέργεια είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος καλλιέργειας και μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες αποδόσεις σιταριού.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Γέμτος, Φ. 2019. Άρθρο στην Ελευθερία: Η ακαλλιέργεια ή ακατεργασία ή μηδέν κατεργασία: θετικά και αρνητικά

Γεωργάς, Χ. και Λοϊζίδης, Β., 2018. Πτυχιακή εργασία: Ηλεκτρικές Ιδιότητες πορωδών υλικών: εφαρμογές σε γεωλογικά υλικά. Πάτρα, 2018.

Θεριός, Ι.Ν. 1996. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Γαρταγάνη. Θεσσαλονίκη, 2005, σελ. 22

Καβαλάρης, Χ. 1994. Πτυχιακή Εργασία (Π.Θ): Η ακαλλιέργεια στην αμειψισπορά βαμβακιού – σιταριού. Βόλος, 1994.

Καβαλάρης, Χ. 2004. Διδακτορική Διατριβή (Π.Θ): Μελέτη εναλλακτικών μεθόδων κατεργασίας του εδάφους σε συστήματα αμειψισποράς ζαχαρότευτλων, καλαμποκιού και βαμβακιού. Νέα Ιωνία, Βόλος, 2004, σελ. 3-4, 8, 10, 32, 34-35

Καραμάνος, Α.Ι. 2012. Γενική Γεωργία: Αρχές φυτικής παραγωγής στις αροτριάδες καλλιέργειες. Αθήνα, 2012, σελ. 412-422, 429-433, 455

Καρπούζας, Δ. 2013. Εργαστηριακές ασκήσεις Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας.

Κορφιάτης, Κ. και Παρασκευόπουλος, Σ. 2010. Γενικές αρχές οικολογίας και ελληνικά φυσικά οικοσυστήματα. Εκδόσεις Δίσιγμα, 2010, σελ. 27

Μήτσιος, Κ. 2013. Πτυχιακή διατριβή (Π.Θ): μελέτη της συμπεριφοράς ορισμένων εδαφικών συστατικών στην πρόσληψη αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων από τις καλλιέργειες σιταριού και βλίτου.

Μιχαήλ, Γ. 2013. Πτυχιακή εργασία: Οργανικό και ανόργανο άζωτο στο περιβάλλον.

Μουσουλιώτης, Α. Σύσταση, φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Από παρουσίαση τμήματος γεωργίας- κλάδος χρήσης γης και ύδατος.

Παπακώστα, Τ.Δ. 2012. Ειδική Γεωργία: σιτηρά και ψυχανθή. Θεσσαλονίκη, 2012, σελ. 111-146

Παπασταύρου, Α. 2020. Άρθρο στην Ελευθερία: Μηδενική κατεργασία εδάφους: περιβαλλοντικά φιλική ή ακόμα χειρότερα;

Πολυράκης, Γ.Θ. 2003. Περιβαλλοντική Γεωργία: βιολογική και βιοδυναμική γεωργία, ολοκληρωμένη διαχείριση και φυσική καλλιέργεια. Αθήνα, 2003, σελ.179

Διεθνής

Baeumer, K. and Bakermans, W.A.P. 1974. Advances in agronomy: Zero Tillage. Volume 25, 1974, p. 77-123

Baker, J.L., 1985. Conservation Tillage: Water Quality Considerations

Brady, N.C and Weil, R.R., 2011. The Nature and Properties of soils.

Busari, M. A., Kukal, S. S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A. A. 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. International Soil and Water Conservation Research, p. 119–129.

Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P.-A. (2017). Impacts of no-tillage management on nitrate loss from corn, soybean and wheat cultivation: A meta-analysis. Scientific Reports

Das, T. K., Bhattacharyya, R., Sudhishri, S., Sharma, A. R., Saharawat, Y. S., Bandyopadhyay, K. K., Sepat, S., Bana, R.S., Aggarwal, P., Sharma, R.K., Bhatia, A., Singha, G., Datta, S.P., Kar, A., Singha, B., Singha, P., Pathaka, H., Vyas, A.K., Jat, M. L. (2014). Conservation agriculture in an irrigated cotton–wheat system of the western Indo-Gangetic Plains: Crop and water productivity and economic profitability. Field Crops Research, 158, 24–33.

Devita, P., Dipaolo, E., Fecondo, G., Difonzo, N., & Pisante, M. (2007). *No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil and Tillage Research, 92(1-2), 69–78.*

Dinghui, L., Li, S., Qiang, C., Shanghong, C., Honglin, C. and Zhonglin, Z. 2011. Effects of Straw Mulching and Little-or Zero-tillage on Microbial Diversity and Biomass C and N of Alluvial Soil in Chengdu Plain, China.

Douglas Rodrigo Kaiser, Dalvan José Reinert, José Miguel Reichert, Carlos Arnaldo Streck & André Pellegrini. 2010. Nitrate and Ammonium in Soil Solution in Tobacco Management Systems

Govindarajulu, M., Pfeffer, P., Jin, H., Abubaker, J., Douds, D., Allen, J.W., Bücking, H., Lammers, P. and Hill, Y.S. 2005. Nitrogen Transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis.

Groffman, P. M. (1985). Nitrification and Denitrification in Conventional and No-Tillage Soils1. Soil Science Society of America Journal, 49(2), 329.

Höflich, G., Tauschke, M., Kühn, G., Werner, K., Frielinghaus, M. and Höhn, W. 1999. Biology and fertility of soils: Influence of long-term conservation tillage on soil and rhizosphere microorganisms. p. 81-86

Kabir, Z. 2005. Tillage or no-tillage: impact on mycorrhizae. Canadian Journal of Plant Science

Khan, H.Z., Shabir, M.A., Akbar, N., Iqbal, A., Shahid, M., Shakoor, A. and Muhammad Sohail. 2017. Effect of Different Tillage Techniques on Productivity of Wheat (*Triticum aestivum* L.), Department of Agronomy, University of Agriculture, Faisalabad.

Khan, S., Shah, A., Nawaz, M., & Khan, M. (2017). Impact of different tillage practices on soil physical properties, nitrate leaching and yield attributes of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.

Limousin, G. and Tessier, D. 2007. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. *Soil and Tillage Research*, Volume 92, Issues 1–2, January 2007, Pages 167-174

López-Fando C. and Pardo, M.T., 2009. Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment *Soil and Tillage Research* Volume 104, Issue 2, July 2009, Pages 278-284

Lupwayi, N Z; Clayton, G W; O'Donovan, J T; Harker, K N; Turkington, T K; Soon, Y K (2006). Soil nutrient stratification and uptake by wheat after seven years of conventional and zero tillage in the Northern Grain belt of Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, 86(5), 767–778.

Martínez, E., Fuentes, J.-P., Pino, V., Silva, P., & Acevedo, E. (2013). Chemical and biological properties as affected by no-tillage and conventional tillage systems in an irrigated Haploxeroll of Central Chile. *Soil and Tillage Research*, 126, 238–245.

Mathew, R.P., Feng, Y., Githinji, L., Ankumah, R. and Balkcom, K.S. 2012. Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities

Moitinho, M.R., Fernandes, C., Truber, P.V., Marcelo, A.V., Corá, J.E. and Bicalho, E. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation in a no-tillage system with crop rotation.

Prasad, S.K., Rabin, G., Sagar, K., Rajesh, C., Jiban, S. 2018. Farming and management: Zero tillage impacts on economics of wheat production in far western Nepal. Volume 3, p.93-99

Ram, Hari; Singh, Yadvinder; Saini, K. S.; Kler, D. S.; Timsina, J.; Humphreys, E. J. (2012). Agronomic And Economic Evaluation of Permanent Raised Beds, No Tillage and Straw Mulching for An Irrigated Maize-Wheat System In Northwest India. *Experimental Agriculture*, 48(1), 21–38.

Roldán, A., Salinas-García, J. R., Alguacil, M. M., Díaz, E., & Caravaca, F. (2005). Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma*, 129(3-4), 178–185.

Ruisi, P., Saia, S., Badagliacca, G., Amato, G., Frenda, A. S., Giambalvo, D., & Di Miceli, G. (2016). Long-term effects of no tillage treatment on soil N availability, N uptake, and 15 N-fertilizer recovery of durum wheat differ in relation to crop sequence. *Field Crops Research*, 189, 51–58.

Schalamuk, S. and Cabello, M. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungal propagules from tillage and no-tillage systems: possible effects on Glomeromycota diversity

Shixue, Y., Mingzhi, S. and Ke, F. 1992. Effect of zero tillage on soil microorganisms and biological activity, Department of Agronomy, Jiangsu Agricultural College.

Simansky V. , Kovacik P. 2015. Long-term effects of tillage and fertilization on pH and sorption parameters of haplic Luvisol *Journal of Elementology*

Smirnoff, N. and Stewart, G.R. 1983. Nitrate assimilation and translocation by higher plants: Comparative physiology and ecological consequences. *Plant physiology* 64: 133-140

Somasundaram, J., Sinha, N. K., Dalal, R. C., Lal, R., Mohanty, M., Naorem, A. K., Hati, K.M., Chaudhari, R.S., Biswas, A.K., Patra, A.K. and Chaudhari S. K. 2020. No-Till Farming and Conservation Agriculture in South Asia – Issues, Challenges, Prospects and Benefits. *Critical Reviews in Plant Sciences*, p. 1–44.

Staley, T. E.; Boyer, D. G.; Caskey, W. H. (1990). Soil Denitrification and Nitrification Potentials during the Growing Season Relative to Tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 54(6), 1602–.

Tripathi R.S., Raju R. and Thimmappa K. 2013. Impact of Zero Tillage on Economics of Wheat Production in Haryana. *Agricultural Economics Research Review*. Vol. 26, January-June. 2013. pp 101-108

Unger, P.W. 2006. No Till. In: Lal, R., editor. *Encyclopedia of Soil Science*. Dekker Encyclopedias, Taylor and Francis Group, New York, NY. p. 1137-1139.

Woźniak, A. 2019. Chemical Properties and Enzyme Activity of Soil as Affected by Tillage System and Previous Crop. Department of Herbology and Plant Cultivation Techniques, University of Life Sciences in Lublin, Akademicka 13, 20-950 Lublin, Poland

Zhao, X., Liu, S., Pu, C., Zhang, X.Q., Xue, J.F., Ren, Y.X., Zhao, X.L., Chen, F., Lal, R., Zhang, H.L. 2017. Crop yields under no-till farming in China: a meta-analysis, *European Journal of Agronomy*, p.84, 67-75.