



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ - ΑΓΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΚΑΙ Η
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ

ΒΑΛΕΡΑ ΣΤΥΛΙΑΝΗ

ΛΑΡΙΣΑ, 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ - ΑΓΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΚΑΙ Η
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ

ΒΑΛΕΡΑ ΣΤΥΛΙΑΝΗ

Τριμελής Επιτροπή: Γκουγκουλιάς Νικόλαος (Επιβλέπων)
Αλαμανής Νικόλαος
Λιάκος Βασίλειος

ΛΑΡΙΣΑ, 2024

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω ότι είμαι η συγγραφέας της παρούσας ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ με τίτλο: ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΚΑΙ Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ που συντάχθηκε στα πλαίσια των υποχρεώσεων μου ως φοιτήτριας του Τμήματος Γεωπονίας-Αγροτεχνολογίας του ΠΘ.

Η αναφερόμενη Διπλωματική Εργασία δεν αποτελεί αντιγραφή από ηλεκτρονικές πηγές, έντυπες πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές, αναπαραγωγή από άλλους ερευνητές/τριες ή φοιτητές/τριες, ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στο κείμενο και στην βιβλιογραφία, κάθε εξωτερική βοήθεια αν υπήρξε, αναγνωρίζεται ρητά ακολουθώντας τα προβλεπόμενα περί αποφυγής της λογοκλοπής.

ΒΑΛΕΡΑ ΣΤΥΛΙΑΝΗ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των σπουδών μου στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας – Αγροτεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Στις σπουδές μου ήταν καθοριστική η συμβολή των καθηγητών μου στα γνωστικά αντικείμενα που παρακολούθησα, στους οποίους οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες, για τη βοήθεια τους στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα επιθυμούσα να εκφράσω στον καθηγητή μου και επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας κ. Νικόλαο Γκουγκουλιά για την επιστημονική και την συμβουλευτική καθοδήγησή του, που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης και ολοκλήρωσης της εργασίας.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου, για τη συνεχή και ανεκτίμητη υπομονή αλλά και στήριξη τους, τόσο στην παρούσα εργασία, όσο και στην επιτυχή ολοκλήρωση των σπουδών μου.

ΒΑΛΕΡΑ ΣΤΥΛΙΑΝΗ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μια ολοκληρωμένη μελέτη που διερευνά τις συνθήκες του εδάφους που απαιτούνται για την επιτυχή καλλιέργεια του σιταριού, καθώς και τις γεωργικές πρακτικές που συμβάλλουν στη βέλτιστη απόδοση. Στόχος της εργασίας είναι να προσφέρει μια αναλυτική εικόνα των παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα του σιταριού, οι οποίοι αποτελούνται από τις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η θερμοκρασία, η δομή, το πορώδες, και η χημική σύσταση, καθώς και τις κατάλληλες καλλιεργητικές τεχνικές όπως η σπορά, η λίπανση, η άρδευση, και οι μέθοδοι αντιμετώπισης των ασθενειών και των παρασίτων του σιταριού. Μέσα από τη μελέτη αυτή, εξετάζεται ο ρόλος του εδάφους ως καθοριστικού παράγοντα στη γεωργική παραγωγή. Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η επιτυχής καλλιέργεια σιταριού εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των εδαφικών συνθηκών, της σωστής εφαρμογής γεωργικών πρακτικών και της διαχείρισης των ασθενειών και των παρασίτων. Παρέχονται συγκεκριμένες συστάσεις για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών σιταριού.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία με τίτλο "Απαιτούμενες Εδαφικές Συνθήκες του Σιταριού και η Καλλιέργειά του" αποτελεί μια ολοκληρωμένη μελέτη που διερευνά τις ιδανικές συνθήκες εδάφους για την καλλιέργεια σιταριού και τις γεωργικές πρακτικές που απαιτούνται για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης της καλλιέργειας.

Η εργασία ξεκινά με την ανάλυση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, όπως η θερμοκρασία, η δομή, το πορώδες, και η κοκκομετρική σύσταση. Αυτά τα στοιχεία επηρεάζουν την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί νερό και θρεπτικά συστατικά, καθώς και τη συνολική γονιμότητα του. Η μελέτη προχωρά στην ανάλυση των χημικών ιδιοτήτων του εδάφους, όπως τα κολλοειδή, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και το pH, που επηρεάζουν άμεσα τον εφοδιασμό των φυτών με θρεπτικά στοιχεία. Επισημαίνεται ότι η κατάλληλη ισορροπία αυτών των ιδιοτήτων είναι απαραίτητη για την υγεία και την ανάπτυξη του σιταριού. Στη συνέχεια, η εργασία εξετάζει τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους, με έμφαση στην οργανική ύλη, τους γαιοσκώληκες και τη μικροβιακή βιοποικιλότητα, που παίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της δομής και της γονιμότητας του εδάφους. Η αναπνοή του εδάφους, η οποία συνδέεται άμεσα με τη βιολογική του δραστηριότητα, εξετάζεται ως δείκτης της γενικής υγείας του εδάφους.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας εστιάζει στην ιστορία και την καλλιέργεια του σιταριού. Αναλύεται η σημασία του σιταριού ως μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες παγκοσμίως και η εξέλιξη των σύγχρονων ποικιλιών του μέσα από την υβριδική αναπαραγωγή. Παρουσιάζονται οι διάφορες ποικιλίες σιταριού, η μορφολογία του φυτού, και οι μέθοδοι καλλιέργειάς του, συμπεριλαμβανομένων της σποράς, της λίπανσης, της άρδευσης, και της αντιμετώπισης ασθενειών και παρασίτων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαχείριση των εδαφικών συνθηκών και των ασθενειών, καθώς αυτές οι παράμετροι είναι καθοριστικές για την επιτυχή παραγωγή σιταριού.

Η εργασία ολοκληρώνεται με τα αποτελέσματα και τη συζήτηση για τις καλύτερες πρακτικές καλλιέργειας του σιταριού, καθώς και τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη μελέτη. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας: Η επιτυχής καλλιέργεια του σιταριού εξαρτάται από την προσεκτική διαχείριση των εδαφικών συνθηκών και των καλλιεργητικών πρακτικών. Συγκεκριμένα, η σωστή χρήση του αζώτου, του καλίου και του φωσφόρου έχει σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση, την ποιότητα και την αποδοτικότητα της καλλιέργειας. Το άζωτο είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την ανάπτυξη της φυλλικής μάζας και την αύξηση της απόδοσης του σιταριού. Επίσης, η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της εφαρμογής κατάλληλων ποσοτήτων φωσφόρου, καθώς η υπερβολική εφαρμογή μπορεί να μην είναι

αποδοτική. Αντίθετα, η στρατηγική προσαρμογή της ποσότητας φωσφόρου στις ανάγκες της καλλιέργειας μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα χρήσης του φωσφόρου και να οδηγήσει σε αυξημένη παραγωγικότητα. Επιπλέον, οι συνδυασμένες στρατηγικές άρδευσης και λίπανσης, όταν εφαρμόζονται σωστά, μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα χρήσης του νερού και του αζώτου, ειδικά σε περιοχές με περιορισμένους πόρους. Τέλος, τα αποτελέσματα της έρευνας καταδεικνύουν ότι η βέλτιστη διαχείριση των θρεπτικών συστατικών σε συνδυασμό με την προσεκτική διαχείριση των εδαφικών συνθηκών, αποτελεί κλειδί για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της απόδοσης των καλλιεργειών σιταριού, ιδιαίτερα σε περιοχές με δύσκολες γεωργικές συνθήκες.

Abstract

The thesis titled "Required Soil Conditions for Wheat and Its Cultivation" is a comprehensive study that explores the ideal soil conditions for wheat cultivation and the agricultural practices necessary to achieve optimal crop yield.

The thesis begins with an analysis of the physical properties of the soil, such as temperature, structure, porosity, and texture. These factors affect the soil's ability to retain water and nutrients, as well as its overall fertility. The study proceeds to analyze the chemical properties of the soil, including colloids, cation exchange capacity, and pH, which directly influence the supply of nutrients to plants. It is highlighted that the appropriate balance of these properties is essential for the health and growth of wheat. The thesis then examines the biological properties of the soil, with an emphasis on organic matter, earthworms, and microbial biodiversity, which play a critical role in maintaining soil structure and fertility. Soil respiration, which is directly linked to biological activity, is studied as an indicator of overall soil health.

The second part of the thesis focuses on the history and cultivation of wheat. The importance of wheat as one of the most significant crops globally and the evolution of modern varieties through hybrid breeding are analyzed. Various wheat varieties, plant morphology, and cultivation methods, including sowing, fertilization, irrigation, and pest and disease management, are presented. Particular emphasis is placed on managing soil conditions and diseases, as these parameters are crucial for the successful production of wheat.

The thesis concludes with the results and discussion on best practices for wheat cultivation, as well as the conclusions drawn from the study. According to the thesis conclusions: The successful cultivation of wheat depends on the careful management of soil conditions and agricultural practices. Specifically, the proper use of nitrogen, potassium, and phosphorus has a significant impact on yield, quality, and crop efficiency. Nitrogen is particularly critical for the development of foliar mass and the increase in wheat yield. Additionally, the study underscores the importance of applying appropriate amounts of phosphorus, as excessive application may not be efficient. Conversely, strategically adjusting the amount of phosphorus to the crop's needs can improve phosphorus use efficiency and lead to increased productivity. Furthermore, combined irrigation and fertilization strategies, when applied correctly, can improve water and nitrogen use efficiency, especially in resource-limited areas. Finally, the research results demonstrate that optimal nutrient management combined with careful management of soil conditions is key to improving the efficiency and yield of wheat crops, particularly in areas with challenging agricultural conditions.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες	4
Πρόλογος	5
Περίληψη	6
Abstract	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΔΑΦΟΣ

1.1	ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	11
1.1.1	ΧΡΩΜΑ	11
1.1.2	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	12
1.1.3	ΔΟΜΗ	13
1.1.4	ΠΟΡΩΔΕΣ	15
1.1.5	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	15
1.2	ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	17
1.2.1	ΚΟΛΛΟΕΙΔΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	17
1.2.2	ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ	18
1.2.3	ΕΝΕΡΓΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	19
1.3	ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	20
1.3.1	ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ	21
1.3.2	ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΕΣ	21
1.3.3	ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ	23
1.3.4	ΑΝΑΠΝΟΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΣΙΤΑΡΙ

2.1	ΙΣΤΟΡΙΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	27
2.2	ΣΙΤΑΡΙ ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΑ	28
2.3	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΙΤΟΥ	29
2.4	ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΣΙΤΟΥ	31
2.5	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΙΤΟΥ	32
2.5.1	ΡΙΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	32
2.5.2	ΒΛΑΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	33
2.5.3	ΒΛΑΣΤΟΣ	34
2.5.4	ΦΥΛΛΑ	34

2.5.5	ΤΑΞΙΑΝΘΙΑ	36
2.5.6	ΣΠΟΡΟΣ	36
2.6	ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ ΣΙΤΟΥ	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

3.1	ΣΠΟΡΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	39
3.2	ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΙΤΟΥ	40
3.3	ΕΔΑΦΙΚΟ Ph	41
3.4	ΛΙΠΑΝΣΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	41
3.5	ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	44
3.6	ΚΛΙΜΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	46
3.7	ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	48
3.7.1	ΦΟΥΖΑΡΙΟ	48
3.7.2	ΩΙΔΙΟ	49
3.7.3	ΣΕΠΤΟΡΙΑ	50
3.7.4	ΣΕΠΤΟΡΙΑ	50
3.7.5	ΜΑΥΡΗ ΣΚΩΡΙΑΣΗ	51
3.7.6	ΚΙΤΡΙΝΗ ΣΚΩΡΙΑΣΗ	51
3.8	ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	52
3.8.1	ΑΦΙΔΑ	52
3.8.2	ΜΥΓΑ Hessian	53
3.9	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	57
4.1.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ (ΑΖΩΤΟ, ΚΑΛΙΟ, ΦΩΣΦΟΡΟ)	57
4.1.2	ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	72
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΔΑΦΟΣ

Το έδαφος από γεωπονική άποψη προσφέρει στήριξη στα φυτά και λειτουργεί ως δεξαμενή νερού και θρεπτικών συστατικών. Ωστόσο το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί ένα σύστημα ζωτικής σημασίας για την παραγωγή της τροφής και των φυτικών ινών που χρειάζονται οι άνθρωποι και για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων από τα οποία εξαρτάται όλη η ζωή. Τα εδάφη επηρεάζουν έμμεσα και άμεσα τη γεωργική παραγωγικότητα, την ποιότητα του νερού και το παγκόσμιο κλίμα ως μέσο για την ανάπτυξη των φυτών και ως ρυθμιστή της ροής του νερού και του κύκλου των θρεπτικών ουσιών (Villalobos & Fereres, 2016). Το έδαφος αποτελείται από ανόργανα και οργανικά υλικά και δημιουργείται με την αποσάθρωση του μητρικού υλικού σε συνάρτηση με τη δράση φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων (Σινάνης, 2022). Επιπλέον παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την εδαφογένεση είναι το ανάγλυφο, το κλίμα, τα έμβρυα όντα και ο χρόνος. Η εδαφική κατατομή η οποία προκύπτει από την μετακίνηση των συστατικών του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία οριζόντιων στρώσεων με συγκεκριμένη αλληλουχία. Η μελέτη αυτής της αλληλουχίας με μια κατακόρυφη τομή του εδάφους ονομάζεται προφίλ του εδάφους. Οι βασικοί ορίζοντες που υπάρχουν στο έδαφος είναι ο ορίζοντας O, ορίζοντας A, ορίζοντας E, ορίζοντας B και ορίζοντας C (BRANDY & WEIL, 2011).

1.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η κοκκομετρική ή μηχανική σύσταση, η δομή, το χρώμα, η θερμοκρασία και το πορώδες του εδάφους είναι μερικές από τις φυσικές ιδιότητες, οι οποίες συμβάλουν στη συμπεριφορά ή στην αντίδραση του εδάφους σε συνάρτηση με το περιβάλλον, τα φυτά και τη μηχανική του κατεργασία (Σινάνης, 2022).

1.1.1 ΧΡΩΜΑ

Το χρώμα του εδάφους έχει μεγάλη γεωπονική σημασία, καθώς αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την αναγνώριση του και μαρτυρά πληροφορίες για διάφορες ιδιότητες και συνθήκες του εδάφους. Τα εδάφη παρέχουν μεγάλη ποικιλομορφία χρωμάτων όπως καφέ, κόκκινα, κίτρινα αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και πράσινα. Η περιεκτικότητα της οργανικής

ουσίας και των οξειδίων σιδήρου στο έδαφος, καθώς και η υγρασία του αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες για τον χρωματισμό των εδαφών. Η οργανική ουσία τείνει να δημιουργεί σκούρα εδάφη. Τα σκοτεινά αυτά εδάφη γενικά έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και παρουσιάζουν υψηλή εδαφική υγρασία. Από την άλλη πλευρά τα οξείδια του σιδήρου τείνουν να δημιουργούν κοκκινωπά εδάφη. Τα κόκκινα εδάφη αποτελούν καλά αποστραγγισμένα εδάφη. Ακόμα ένα στοιχείο που μαρτυρά το χρώμα είναι η οξύτητα του εδάφους. Εδάφη που προήλθαν από όξινα πετρώματα είναι συνήθως πιο ανοιχτόχρωμα και με λιγότερα θρεπτικά συστατικά από άλλα που δημιουργήθηκαν από βασικό μητρικό υλικό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόχρωση του εδάφους επηρεάζει τη θερμοκρασία του, διότι ένα έδαφος με σκοτεινό χρώμα απορροφά μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολία σε σύγκριση με ένα έδαφος πιο ανοιχτού χρώματος. Το γεγονός αυτό αποτελεί χαρακτηριστικό ότι σκουρόχρωμα και κοκκινωπά εδάφη συναντώνται σε διάφορα τροπικά και υποτροπικά τοπία, ενώ ανοιχτόχρωμα και καστανά απαντώνται σε εύκρατα και δροσερά κλίματα.

Τέλος για την ακριβή περιγραφή και ταξινόμηση των εδαφών με βάση το χρώμα τους οι ειδικοί σε ολόκληρη την επικράτεια στηρίζονται στο σύστημα Munsell. Οι πίνακες Munsell αποτελούνται από χρωματικούς δείκτες σύμφωνα με τρία στοιχεία : την χροιά, την ένταση σύμφωνα με την οποία η τιμή 0 αντιστοιχεί στο απόλυτο μαύρο και την καθαρότητα κατά την οποία η τιμή 0 αντιστοιχεί στο ουδέτερο γκρι (LYNN & PEARSON, 2000)

1.1.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η θερμοκρασία του εδάφους και οι μεταβολές της είναι σημαντικές για τον καθορισμό των φυσικών διεργασιών του εδάφους, όπως η εξάτμιση και ο αερισμός των χημικών αντιδράσεων (Luo, Loomis, & Hisio, 1992). Σε μεγάλο βαθμό η θερμοκρασία αποτελεί σημαντική παράμετρο στις χημικές και βιολογικές διεργασίες που έχουν ως στόχο τη διατήρηση της παραγωγικότητας και της λειτουργικότητας των γεωργικών οικοσυστημάτων, ενώ ταυτόχρονα έχει καθοριστική επίδραση στη σύνθεση και την κατανομή των φυτικών και ζωικών κοινοτήτων.

Η θερμοκρασία εδάφους εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες :

1. Το ποσό της θερμικής ενέργειας που απορροφά το έδαφος
2. Το ποσό της θερμικής ενέργειας που χρειάζεται οποιαδήποτε μεταβολή της θερμοκρασίας
3. Την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η κύρια πηγή θέρμανσης των εδαφών. Μικρό ποσοστό αυτής φτάνει στο έδαφος, απορροφάται και χρησιμοποιείται για θέρμανση. Ο προσανατολισμός της

ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά στην αύξηση της θερμοκρασίας, καθώς όταν η γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες είναι κάθετη στο έδαφος παρατηρείται μεγαλύτερη συγκράτηση ενέργειας άρα και αύξηση της εδαφικής θερμοκρασίας.

Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο έδαφος έχουν άμεση επίδραση από την κάλυψη του και το ποσοστό της ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του. Τα εδάφη με κάλυψη σε θερμές περιόδους διατηρούν χαμηλότερες θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους σε αντίθεση με τα γυμνά εδάφη, ενώ σε ψυχρότερες συνθήκες περιβάλλοντος διατηρούν μεγαλύτερη θερμοκρασία στο επιφανειακό έδαφος από ότι ένα έδαφος χωρίς κάλυψη.

Η εξάτμιση του νερού από το έδαφος καταναλώνει μεγάλο ποσό ενέργειας για την πραγμάτωση της διεργασίας. Η θερμοκρασία εδάφους όταν αυτό είναι υγρό είναι χαμηλή, διότι η εξάτμιση έχει την τάση να ψύχει το έδαφος. Η επιφανειακή θερμοκρασία ενός καλά στραγγιζόμενου εδάφους είναι υψηλότερη κατά 3°C με 6°C από ένα υγρό έδαφος.

1.1.3 ΔΟΜΗ

Η δομή του εδάφους αναφέρεται στη ποιότητα, το μέγεθος, το σχήμα και τη διάταξη των αδρανών και των οργανικών τεμαχιδίων στα εδάφη (Rabot & et.al., 2018). Η περιγραφή τη δομής του εδάφους εξαρτάται από την εδαφική υγρασία. Για τον λόγο αυτό η εκτέλεση παρατήρησης είναι πιο εύκολο να πραγματοποιηθεί σε ένα ξηρό και στεγνό έδαφος από ότι σε ένα με υψηλά ποσοστά υγρασίας. Η ευνοϊκή δομή του εδάφους και η υψηλή σταθερότητα των αδρανών είναι σημαντικά για τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους, την αύξηση της αγροτικής παραγωγικότητας, την ενίσχυση του πορώδους και τη μείωση της διάβρωσης.

Η σταθερότητα των αδρανών χρησιμοποιείται ως δείκτης για την δομή στο έδαφος (Bronick & Lal, 2005). Τα αδρανή τεμαχίδια συνενώνονται και δημιουργούν δομικές ομάδες που ονομάζονται peds ή συσσωματώματα. Τα peds σχηματίζονται από φυσικές διεργασίες και δεν πρέπει να συγχέονται με τα θραύσματα, τα οποία είναι μικρά αδρανή που σχηματίζονται τεχνητά, καθώς και με τους σβώλους που αποτελούν μεγάλα αδρανή και δημιουργούνται επίσης με τεχνητό τρόπο από εργασίες καλλιέργειας. Ο σχηματισμός των συσσωματωμάτων προκύπτει από τα πρωτογενή σωματίδια (< 20μm) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σε μικροσυσσωματώματα (20-250μm) και αυτά με τη σειρά τους ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μακροσυσσωματώματα (>250μm). Οι δεσμοί που περιέχονται στα μικροσυσσωματώματα είναι πιο ανθεκτικοί σε σχέση με εκείνους των μακροσυσσωματωμάτων, με αποτέλεσμα να είναι πιο σταθερά (Rabot & et.al., 2018). Τα μακροσυσσωματώματα και τα μικροσυσσωματώματα περιέχουν συνήθως ορισμένα τεμαχίδια οργανικής ύλης.

Τα peds στο έδαφος παρουσιάζονται με διάφορους τύπους ή σχήματα. Τα τέσσερα βασικά σχήματα που αποτελούνται τα συσσωματώματα είναι τα σφαιροειδή, τα κυβοειδή, τα πρισματικά και τα πλακοειδή.

- **ΣΦΑΙΡΟΕΙΔΗΣ**

Τα συσσωματώματα έχουν διάμετρο από 1 έως 10 mm. Η κοκκώδης δομή αποτελείται από σφαιροειδή συσσωματώματα και αποτελεί την βασική δομή εδάφους.

- **ΚΥΒΟΕΙΔΗΣ**

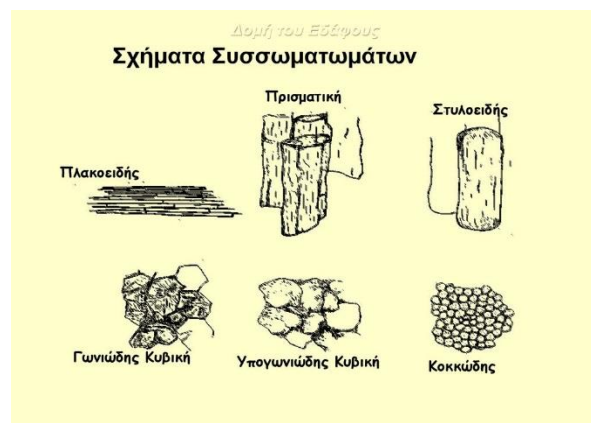
Τα συσσωματώματα είναι από 5 έως 50 mm, με σχετικά κυβοειδή σχήμα. Ως υπογωνιώδη κυβοειδή ονομάζονται τα peds όπου οι ακμές των κύβων τους στρογγυλοποιούνται, ενώ ως γωνιώδη κυβοειδή ονομάζονται αυτά που οι ακμές είναι ευδιάκριτες και σαφείς.

- **ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΗ**

Τα συσσωματώματα έχουν διάμετρο 150 mm ή και περισσότερο και αποτελούνται από πρίσματα σε κατακόρυφη θέση ή peds σε μορφή στύλων. Αυτός ο τύπος δομής συναντάται συνήθως σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές σε υποεπιφανειακούς ορίζοντες.

- **ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ**

Αυτός ο τύπος δομής εδάφους αποτελείται από λεπτά οριζόντια peds ή πλάκες και συνήθως εμφανίζεται σε επιφανειακούς και υποεπιφανειακούς ορίζοντες (BRANDY & WEIL, 2011).



ΕΙΚΟΝΑ 1: ΣΧΗΜΑΤΑ ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΩΝ ΔΟΜΗΣ

Πηγή:: (<https://slideplayer.gr/slide/14093642/>, χ.χ.)

1.1.4 ΠΟΡΩΔΕΣ

Το πορώδες του εδάφους εκφράζει το εκατοστιαίο ποσοστό του όγκου εδάφους που καταλαμβάνουν οι πόροι και καθορίζει τις ιδιότητες του εδάφους στην κίνηση του νερού και του αέρα, στην ανάπτυξη των ριζών και στην εδαφική δραστηριότητα των οργανισμών. Ένα

μέσο μέτρησης του πορώδους του εδάφους είναι η φαινομενική πυκνότητα. Η φαινομενική πυκνότητα εξαρτάται από την ορυκτολογική και την κοκκομετρική σύσταση, τη δομή και την περίσσεια οργανικής ουσίας. Στα εδάφη με ίδια ποσότητα τεμαχιδίων όσο μικρότερη είναι η φαινομενική πυκνότητα τόσο μεγαλύτερο είναι το εδαφικό πορώδες (BRANDY & WEIL, 2011).

Οι πόροι που συναντώνται ανάμεσα και εντός των συσσωματωμάτων ανάλογα με το μέγεθος τους ταξινομούνται σε μακρόπορους, μεσόπορους και μικρόπορους. Ως πόροι υφής χαρακτηρίζονται αυτοί που δημιουργούνται από τη διάταξη του εδάφους στα πρωτογενή σωματίδια, ενώ δομικοί πόροι ονομάζονται οι μεγαλύτεροι πόροι που προκύπτουν από τη βιολογική δραστηριότητα, το κλίμα και τις πρακτικές διαχείρισης των εδαφών (Rabot & et.al., 2018).

- **ΜΑΚΡΟΠΟΡΟΙ**

Οι μακρόποροι είναι μεγάλοι κενοί χώροι μεταξύ των συσσωματωμάτων, οι οποίοι προάγουν την άμεση κίνηση του νερού και του αέρα στο έδαφος.

- **ΜΙΚΡΟΠΟΡΟΙ**

Οι μικρόποροι είναι μικρότερου μεγέθους πόροι, οι οποίοι επιτρέπουν την αργή κίνηση του νερού και του αέρα μέσω αυτών. Ένα ποσοστό νερού που παραμένει στους πόρους αυτούς συνήθως δεν είναι διαθέσιμο για τα φυτά (BRANDY & WEIL, 2011).

1.1.5 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

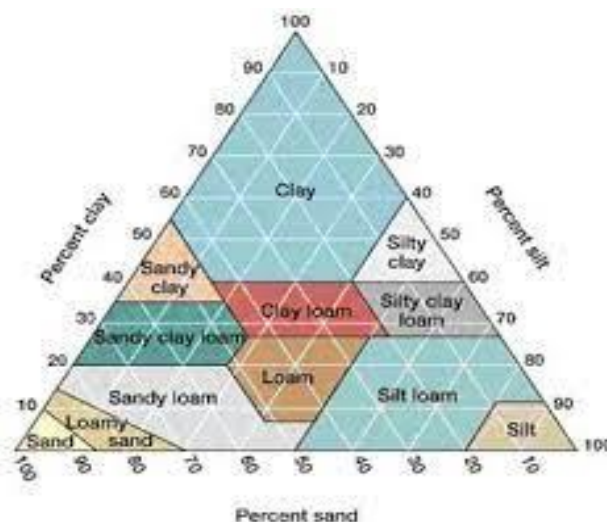
Η κοκκομετρική σύνθεση ή αλλιώς μηχανική σύσταση του εδάφους αναφέρεται στο χαρακτηριστικό του εδάφους που σχετίζεται με το μέγεθος των τεμαχιδίων (κόκκων) από τα οποία αποτελείται και καθορίζεται ως η εκατοστιαία περιεκτικότητα ενός εδάφους σε άμμο (S), ιλύ (Si) και άργιλο (C) (BRANDY & WEIL, 2011).

ΑΜΜΟΣ : Οι κόκκοι που αποτελούν την άμμο είναι αποστρογγυλωμένοι ή γωνιώδεις ή ακανόνιστου σχήματος (Σινάνης, 2022). Η άμμος παρουσιάζει χαμηλή ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών στοιχείων και εξαιτίας της γρήγορης κίνησης του νερού σχηματίζονται κατάλληλες συνθήκες αερισμού και στράγγισης των εδαφών.

ΙΛΥΣ : Οι κόκκοι που σχηματίζουν την ιλύ έχουν παρόμοιο σχήμα και δομή με της άμμου. Η ιλύς παρουσιάζει αυξημένη ικανότητα συγκράτησης του νερού, ενώ η συγκράτηση των θρεπτικών στοιχείων είναι μειωμένη. Η πλαστικότητα που φέρουν τα τεμαχίδια της ιλύς οφείλεται στο γεγονός ότι περιβάλλονται από μια μεμβράνη αργίλου. Οι συνθήκες του αερισμού είναι ιδιαίτερα δυσμενείς για την ανάπτυξη των φυτών (BRANDY & WEIL, 2011).

ΑΡΓΙΛΟΣ : Οι κόκκοι της αργίλου είναι μικροί και πεπλατυσμένοι, ενώ παρουσιάζουν και αυξημένη πλαστικότητα σε υγρή κατάσταση (Σινάνης, 2022). Η άργιλος έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων, ενώ λόγω της χαμηλής ταχύτητας διάχυσης του νερού μέσα στα τεμαχίδια της αργίλου δημιουργούνται δυσμενείς συνθήκες αερισμού.

Τα εδάφη ανάλογα με τα ποσοστά της άμμου, της ιλύος και της αργίλου που περιέχουν κατατάσσονται σε εδαφικά κλάσματα, τα οποία ονομάζονται κλάσεις κοκκομετρικής σύστασης και ταξινομούνται με βάση τις ιδιότητες που προσδίδουν στο έδαφος, οι οποίες διαφέρουν από τις ιδιότητες άλλων κλάσεων. Η ταξινόμηση γίνεται με τη χρήση του συστήματος που καθιερώθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό για την εύρεση του σημείου τομής που καθορίζει την κλάση του εδαφικού δείγματος αρχικά χαράσσεται παράλληλη ευθεία από το σημείο που καθορίζει το ποσοστό της αργίλου προς την πλευρά της άμμου. Έπειτα από το σημείο τομής της άμμου χαράσσεται παράλληλη προς την πλευρά της ιλύος και τέλος χαράσσεται παράλληλη ευθεία από την ιλύ προς την άργιλο.



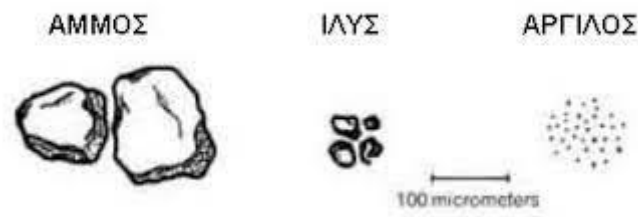
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΚΛΑΣΕΙΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ

Πηγή: <https://hmailotiki.gr/> (ΗΜΑΘΙΩΤΙΚΗ ΓΗ, χ.χ.)

Οι δεκατέσσερις κλάσεις κοκκομετρικής σύστασης που έχουν δημιουργηθεί για την σαφή ταξινόμηση με βάση το μέγεθος των τεμαχιδίων και τις ιδιότητες του εδάφους είναι :

- **Χονδρόκοκκα :** αμμώδη και πηλοαμμώδη
- **Μετρίως χονδρόκοκκα :** αμμοπηλώδη και λεπτή αμμοπηλώδης
- **Μέσης σύστασης :** πολύ λεπτή αμμοπηλώδης, πηλώδη, ιλοπηλώδη και ιλυώδη
- **Μετρίως λεπτόκοκκα :** αμμοαργιλοπηλώδη, ιλοαργιλοπηλώδη και αργιλοπηλώδη

- **Λεπτόκοκκα** : αμμοαργιλώδη, ιλυοαργιλώδη και αργιλώδη (BRANDY & WEIL, 2011).



ΕΙΚΟΝΑ 3: ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ

Πηγή: (https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TGH222/Lecture_1_Ardeuseis_2019.pdf, χ.χ.)

1.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η χημεία του εδάφους ασχολείται κυρίως με τη φύση, τη χημική σύσταση, τις ιδιότητες και τις αντιδράσεις που συμβαίνουν στα εδάφη. Η χημική φύση του εδάφους επηρεάζει άμεσα τον εφοδιασμό των φυτών με θρεπτικά στοιχεία. Οι σπουδαιότερες χημικές ιδιότητες είναι :

1. Τα κολλοειδή του εδάφους
2. Η εναλλακτική ικανότητα
3. Η ενεργός οξύτητα του εδάφους (pH)

1.2.1 ΚΟΛΛΟΕΙΔΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το κολλοειδές σύμπλεγμα εδαφών είναι το κύριο ζωντανό τμήμα του εδάφους και καθορίζει τις περισσότερες από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών. Τα κολλοειδή του εδάφους είναι οργανικά ή ανόργανα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1μm, αλλά έχουν μεγάλη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας ή όγκου. Οι άργιλοι, τα οξείδια μετάλλων και τα οργανικά σωματίδια περιγράφονται ως κολλοειδή του εδάφους. Ανάλογα με τη φύση των δεσμών που υπάρχουν και τους τύπους των ενώσεων που σχηματίζονται, τα κολλοειδή μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε δύο κατηγορίες :

- i. Ανόργανα κολλοειδή ή αργιλικά κολλοειδή
- ii. Οργανικά κολλοειδή που αντιπροσωπεύονται από χούμο

Τα σύνθετα κολλοειδή κλάσματα του ανόργανου εδάφους εμφανίζονται ως πολύ μικρά σωματίδια και τα οργανικά κολλοειδή σύνθετα κλάσματα του εδάφους εμφανίζονται με τη μορφή σωματιδίων χούμου. Τα σύνθετα κολλοειδή κλάσματα του εδάφους εμφανίζουν τις περισσότερες από τις ιδιότητες της συνηθισμένης κολλοειδούς δομής.

Το έδαφος αποτελείται από ένα μίγμα στερεών, υγρών και αέριων φάσεων. Η υγρή φάση που ονομάζεται εδαφικό διάλυμα αποτελείται από διαλυμένα ανόργανα μέταλλα, άλατα και οργανικές ενώσεις και είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά θρεπτικών ουσιών. Τα κολλοειδή είναι μεγάλης ζωτικής σημασίας για την αποθήκευση των θρεπτικών ουσιών, γεγονός που συμβάλλει στο να μην αφαιρούνται τα περισσότερα θρεπτικά συστατικά από το νερό που διηθείται.

Τα ανόργανα (άργιλος) και οργανικά (χούμος) κολλοειδή σύμπλοκα του εδάφους φέρουν υψηλή γονιμότητα. Η γονιμότητα του εδάφους για τα φυτά διέπεται κυρίως από την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους. Τα κολλοειδή του εδάφους έχουν μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, λόγω της μεγάλης επιφάνειας που έχουν και των υψηλών φορτίων τους (Beamlaku & Habtemariam, 2021)

1.2.2 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ (I.A.K)

Η ιονική ανταλλαγή κατιόντων αποτελεί την κυριότερη χημική ιδιότητα των εδαφών (Σινάνης, 2022). Η ανταλλαγή κατιόντων είναι συνέπεια των αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων στα σωματίδια κολλοειδούς αργίλου και χούμου της μήτρας του εδάφους. Υπάρχουν δύο κύρια συστατικά του αρνητικού φορτίου, ένα σταθερό ή μόνιμο φορτίο και ένα μεταβλητό που εξαρτάται από το pH του εδάφους (Bache, 1976). Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων εκφράζεται συνήθως σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά 100g εδάφους και είναι ένα μέτρο της ποσότητας των άμεσα ανταλλάξιμων κατιόντων που εξουδετερώνουν το αρνητικό φορτίο στο έδαφος. Αυτά τα φορτία μπορεί να θεωρηθούν ότι εξισορροπούνται είτε από μια περίσσεια ιόντων αντίθετου φορτίου και ένα έλλειμα ιόντων παρόμοιου φορτίου, είτε από την περίσσεια ιόντων αντίθετου φορτίου σε σχέση με αυτά με παρόμοιο φορτίο (Page, 1982).

Η οργανική ύλη του εδάφους είναι μια κύρια πηγή αρνητικών ηλεκτροστατικών θέσεων, με αποτέλεσμα να υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των τιμών του συντελεστή της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων και της ποσότητας οργανικής ύλης που υπάρχει στο έδαφος (Olorunfemi & et.al., 2016). Η οργανική ύλη του εδάφους θα αναπτύξει μεγαλύτερη ικανότητα ανταλλαγής σε σχεδόν ουδέτερο pH από ότι υπό όξινες συνθήκες (Ross, 1995).

Ο χαρακτηρισμός της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους είναι χρήσιμος για τη διατύπωση συστάσεων για τις ποσότητες φωσφόρου, καλίου και μαγνησίου για εδάφη διαφορετικής τιμής (Olorunfemi & et.al., 2016).

Ένα έδαφος με μεγαλύτερο συντελεστή ικανότητας ανταλλαγής έχει υψηλότερη δυνατότητα να διατηρεί επαρκείς ποσότητες Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^{+} από ένα έδαφος με χαμηλό συντελεστή.

Ένα έδαφος με μεγαλύτερο συντελεστή ικανότητας ανταλλαγής μπορεί να μην είναι απαραίτητα πιο γόνιμο, επειδή η ικανότητα ενός εδάφους μπορεί να καλυφθεί από όξινα κατιόντα όπως το υδρογόνο (H^+) και το αργίλιο (Al^{3+}). Ωστόσο, όταν συνδυάζεται με άλλα μέτρα γονιμότητας του εδάφους, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων αποτελεί έναν καλό δείκτη ποιότητας και παραγωγικότητας του εδάφους (Ross, 1995).

1.2.3 ΕΝΕΡΓΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ (pH)

Η ενεργός οξύτητα του εδάφους θεωρείται η << κύρια μεταβλητή >> της χημείας του εδάφους, λόγω της βαθιάς επίδρασής της σε αμέτρητες χημικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν βασικά φυτικά θρεπτικά συστατικά, φυτοτοξικά στοιχεία και ρύπους. Είτε άμεσα είτε έμμεσα, το pH επηρεάζει τη διαλυτότητα αυτών των στοιχείων καθορίζοντας τη βιολογική τους διαθεσιμότητα και κινητικότητα (Penn & Camberato, 2019). Στην πραγματικότητα το pH του εδάφους ορίζεται ως αρνητικός λογάριθμος της ενεργότητας των ιόντων υδρογόνου, δηλαδή $pH = -\log(H^+)$. Η αντίδραση των εδαφών μπορεί να είναι όξινη, ουδέτερη ή αλκαλική. Το pH που μετράει τα ιόντα του υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα ονομάζεται ενεργός οξύτητα. Ο βαθμός οξύτητας ή αλκαλότητας ενός εδάφους είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα που επηρεάζει πολλές άλλες φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες (Villalobos & Fereres, 2016). Η ενεργός οξύτητα του εδάφους μετριέται για να αξιολογηθούν οι πιθανές ελλείψεις σε θρεπτικά συστατικά, η καταλληλότητα των καλλιεργειών, οι ανάγκες τροποποίησης του pH και για να καθοριστούν οι κατάλληλες μέθοδοι δοκιμής για άλλα θρεπτικά συστατικά του εδάφους (McCauley & et.al., 2009).

Το pH του εδάφους επηρεάζεται τόσο από ιόντα οξέος όσο και από ιόντα που σχηματίζουν βάση στο έδαφος. Τα κοινά κατιόντα που σχηματίζουν οξύ (θετικά φορτισμένα διαλυμένα ιόντα) είναι το υδρογόνο (H^+), το αργίλιο (Al^{3+}), ο σίδηρος (Fe^{3+}), ενώ τα κοινά κατιόντα που σχηματίζουν βάση περιλαμβάνουν το ασβέστιο (Ca^{2+}), το μαγνήσιο (Mg^{2+}), το κάλιο (K^+) και το νάτριο (Na^+) (McCauley & et.al., 2009).

Τα αρνητικά φορτία κυριαρχούν σε υψηλό pH, ενώ τα θετικά φορτία επικρατούν σε χαμηλές τιμές. Επιπλέον, η ποσότητα του διαλυμένου οργανικού άνθρακα, η οποία επηρεάζει επίσης τη διαθεσιμότητα ιχνοστοιχείων ελέγχεται από το pH του εδάφους. Σε χαμηλό pH, τα ιχνοστοιχεία είναι συνήθως διαλυτά λόγω υψηλής εκρόφησης και χαμηλής προσρόφησης. Στο ενδιάμεσο pH, η τάση της προσρόφησης των ιχνοστοιχείων αυξάνεται από σχεδόν μηδενική προσρόφηση σε σχεδόν πλήρη προσρόφηση εντός ενός στενού εύρους pH, που ονομάζεται

ακμή προσρόφησης pH. Από αυτό το σημείο και μετά τα στοιχεία απορροφούνται πλήρως (Neina, 2019).

Τα βασικά ή αλκαλικά εδάφη είναι συνέπεια της ρύθμισης του pH του εδάφους από στοιχεία βάσης ή από την παρουσία ρυθμιστικών ενώσεων όπως τα ανθρακικά. Τα ασβεστούχα εδάφη είναι εκείνα με αξιόλογη συγκέντρωση CaCO_3 που ρυθμίζει το pH κοντά στο 8,5. Η παρουσία άλλων ανθράκων μπορεί να ρυθμίσει το pH πολύ πάνω από 8,5. Το pH ενός ασβεστώδους εδάφους δεν μπορεί να αλλάξει λόγω της υψηλής ρυθμιστικής του ικανότητας. Προβλήματα που προέρχονται από όξινα εδάφη μπορούν να ξεπεραστούν αυξάνοντας τον κορεσμό της βάσης και το pH με τροποποιήσεις εδάφους (ασβεστοποίηση).

Χαρακτηριστικά της γονιμότητας του εδάφους που επηρεάζονται από το pH είναι :

- Διαθεσιμότητα ορυκτών στοιχείων στα φυτά στο έδαφος. Σε χαμηλό pH, ο κίνδυνος ανεπάρκειας βασικών θρεπτικών συστατικών (Ca, K, Mg) αυξάνεται. Η διαλυτότητα Mo και P μειώνεται, μειώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα τους. Σε υψηλό pH, η διαλυτότητα πολλών μετάλλων και ιχνοστοιχείων μειώνεται συμπεριλαμβανομένων των απαραίτητων θρεπτικών για τα φυτά Fe, Mn, Cu ή Zn. Η έλλειψη σιδήρου είναι συχνή στα βασικά εδάφη.
- Οι ακραίες τιμές pH μειώνουν τη μικροβιακή δραστηριότητα στα εδάφη, γεγονός που επηρεάζει πολλές διεργασίες όπως αποσύνθεση οργανικής ουσίας, νιτροποίηση και βιολογική δέσμευση N_2 .
- Χαμηλή συγκέντρωση Ca σε όξινα εδάφη σχετίζεται με αυξημένη διασπορά κολλοειδών, εάν το Al^{3+} (αργίλιο) δεν υπάρχει σε υψηλή συγκέντρωση (Villalobos & Fereres, 2016).

1.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το έδαφος φιλοξενεί μια πολύπλοκη πανίδα και έναν μικροβιακό ιστό που εμπλέκονται σε πολλές διαφορετικές βιολογικές ιδιότητες, οι οποίες επηρεάζουν επίσης τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες και τελικά την παραγωγικότητα των γεωργικών οικοσυστημάτων. Για παράδειγμα, η δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων αυξάνει τον ρυθμό διήθησης και η μικροβιακή δραστηριότητα μειώνει την οργανική ύλη του εδάφους εξαιτίας της ανοργανοποίησης. Οι βιολογικές ιδιότητες του εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έμμεσοι δείκτες της κατάλληλης διαχείρισης του εδάφους και της καλής ποιότητας του, όπως ο ρυθμός αναπνοής ή ορισμένες ενζυματικές δραστηριότητες που μπορούν να προέλθουν από ζωντανούς οργανισμούς στο έδαφος.

Η κατανόηση των βιολογικών ιδιοτήτων είναι σημαντική για τη διαχείριση του εδάφους αλλά και για την πρόληψη και τον έλεγχο παρασίτων και ασθενειών των καλλιεργειών. Οι κύριες βιολογικές ιδιότητες που φέρει το έδαφος είναι :

1. Παρουσία γαιοσκωλήκων (Earthworms presence)
2. Μικροβιακή βιοποικιλότητα (Microbial biodiversity)
3. Αναπνοή του εδάφους (Soil respiration) (Villalobos & Fereres, 2016).

1.3.1 ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ

Η οργανική ουσία του εδάφους είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τη βιολογική δραστηριότητα. Είναι η πηγή άνθρακα για πολλούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένης της μικροχλωρίδας του εδάφους. Όχι μόνο η ποσότητα αλλά και ο τύπος των οργανικών ενώσεων στο έδαφος καθορίζει τη βιολογική του δραστηριότητα. Οι σταθερές μορφές οργανικής ύλης (χουμικές και φουλβικές ενώσεις) δεν συμβάλλουν σημαντικά στη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους, αλλά αποτελούν μια σταθερή αποθηκευτική δεξαμενή άνθρακα (C) στο έδαφος ρυθμίζοντας εν μέρει της συνέπειες της αύξησης των εκπομπών άνθρακα στην ατμόσφαιρα. (Villalobos & Fereres, 2016).

1.3.2 ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΕΣ

Οι γαιοσκώληκες έχουν καθοριστικό ρόλο στο οικοσύστημα του εδάφους, καθώς βοηθούν στη διατήρηση της δομής του εδάφους και της γονιμότητας. Επηρεάζουν τη δυναμική, τη δομή και τη μικροβιακή κοινότητα της οργανικής ύλης. Ενισχύουν το πορώδες του εδάφους τροποποιώντας την οργανική ύλη χημικά καθώς και φυσικά αναμιγνύοντας τα απορρίμματα των φύλλων με το έδαφος, με αποτέλεσμα το σχηματισμό και τη σταθεροποίηση των αδρανών του εδάφους (Tiwari & et.al., 2016).

Οι γαιοσκώληκες είναι ασπόνδυλα με λεπτό δέρμα με μικρή προστασία από τις αλλαγές της υγρασίας και της θερμοκρασίας που συμβαίνουν στα εδάφη ή τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά όπως το πορώδες, ο τύπος του εδάφους, το pH και η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφών στα οποία ζούνε. Ορισμένα περιβαλλοντικά συστατικά όπως το pH, η υγρασία και οι θερμοκρασίες είναι μερικές από τις πιέσεις που υπαγορεύουν την κίνηση και την ανάπτυξη τους.

Η ανάπτυξη, η δραστηριότητα, ο μεταβολισμός, η αναπνοή και η αναπαραγωγή των γαιοσκωλήκων επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία επηρεάζει την κατανάλωση τροφής από τους γαιοσκώληκες. Συνήθως η θερμοκρασία και η

υγρασία σχετίζονται αντιστρόφως. Οι υψηλές επιφανειακές θερμοκρασίες και τα ξηρά εδάφη είναι πολύ πιο περιοριστικά για τους γαιοσκώληκες από τις χαμηλές θερμοκρασίες και τα υδάτινα εδάφη.

Επίσης, έχει αποδειχθεί είναι πολύ ευαίσθητοι στη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH) των υδατικών διαλυμάτων. Ορισμένα είδη είναι δυσανεκτικά στις όξινες συνθήκες του εδάφους, ενώ άλλα ευδοκιμούν σε όξινες συνθήκες και πολλά ακόμα είδη μπορούν να ανεχθούν ένα ευρύ φάσμα pH. Τα εδάφη με χαμηλότερο pH δεν ευνοούν την αύξηση και την ανάπτυξη των γαιοσκωλήκων (Edwards & Arancon, 2022).

Όλες οι δομικές, μικροβιολογικές και βιογεωχημικές επιπτώσεις των γαιοσκωλήκων στο έδαφος ξεκινούν από τις λειτουργίες τροφοδοσίας και πέψης τους, οι οποίες καταλήγουν στη χύτευση. Η πολυπλοκότητα των χημικών σχέσεων που εμφανίζονται στο εσωτερικό των γαιοσκωλήκων μεταξύ των κύριων θρεπτικών συστατικών (άζωτο, οργανικός άνθρακας, κάλιο, φώσφορο, ασβέστιο) υπογραμμίζει την πολυπλοκότητα των βιογεωχημικών κύκλων και τη μεγάλη συμβολή των γαιοσκωλήκων σε αυτούς. Οι γαιοσκώληκες κυριαρχούν στη βιολογία του εδάφους (Iordache, 2023).

Οι γαιοσκώληκες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διάσπαση της οργανικής ύλης και στην απελευθέρωση και ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών που περιέχει. Αφαιρούν μερικών αποσυντεθειμένα φυτικά απορρίμματα και υπολείμματα καλλιεργειών από την επιφάνεια του εδάφους, τα καταπίνουν, τα κατακερματίζουν και τα μεταφέρουν στο υπόγειο στρώμα. Τα κόπρανα τους μπορεί να ποικίλουν πολύ σε μέγεθος και μορφή και εναποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους ή σε χώρους κάτω από την επιφάνεια, διαδραματίζοντας έτσι σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των εδαφικών οριζόντων και στο σχηματισμό μακροσυσσωματωμάτων και μικροσυσσωματωμάτων εδάφους.

Ένα στάδιο στην επεξεργασία της οργανικής ύλης είναι γνωστό ως ύγρανση, που είναι βασικά η διάσπαση μεγάλων σωματιδίων οργανικής ύλης σε πολύπλοκα άμορφα κολλοειδή που περιέχουν φαινολικά υλικά. Μόνο το ¼ της φρέσκιας οργανικής ύλης μετατρέπεται σε χούμο με αυτόν τον τρόπο. Ωστόσο η ύγρανση επιτυγχάνεται επίσης από τη διέλευση του οργανικού υλικού από τα έντερα των γαιοσκωλήκων όταν τρέφονται με αποσυντεθειμένη οργανική ύλη μαζί με ορυκτό έδαφος. Το έντερο των γαιοσκωλήκων έχει υψηλή ειδική δραστηριότητα υπεροξειδάσης, η οποία αποτελεί βασικό ένζυμο σε αυτές τις αντιδράσεις πολυμερισμού. Διαφορετικά είδη γαιοσκωλήκων έχουν διαφορετικές επιδράσεις στην ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών, τη μικροβιακή δραστηριότητα και την υποβάθμιση της οργανικής ύλης λόγω των διαφορετικών ενδαιτημάτων τους, των διατροφικών τους συμπεριφορών, των ρυθμών κατάποσης και των εσωτερικών ενζύμων πέψης.

Οι γαιοσκώληκες μπορούν να έχουν σημαντικές επιδράσεις στις διαδικασίες κύκλου των θρεπτικών ουσιών σε πολλά οικοσυστήματα. Μετατρέποντας μεγάλες ποσότητες εδάφους και οργανικής ύλης μπορούν να αυξήσουν τους ρυθμούς ανοργανοποίησης της οργανικής ύλης, μετατρέποντας τις οργανικές μορφές θρεπτικών ουσιών σε ανόργανες μορφές που μπορούν να προσληφθούν από τα φυτά. Οι γαιοσκώληκες επηρεάζουν τους κύκλους της οργανικής ύλης και των θρεπτικών σε τέσσερις κλίμακες :

1. Κατά τη διέλευση μέσω του εντέρου
2. Σε κόπρανα γαιοσκώληκα που έχουν εναποτεθεί πρόσφατα
3. Σε παλαιά κόπρανα γαιοσκώληκα
4. Κατά τη μακροπρόθεσμη γένεση ολόκληρου του εδάφους (Edwards & Arancon, 2022).

1.3.3 ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΉ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΙΟΤΗΤΑ

Το έδαφος περιέχει ένα περίπλοκο δίκτυο μικροβίων και φυτών σε ένα ετερογενές στερεό μέσο στο οποίο οι χημικές, φυσικές και βιολογικές συνθήκες ποικίλουν σε μοριακή κλίμακα (Wolinska & et.al., 2017). Η παραγωγικότητα και η υγεία των γεωργικών συστημάτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις λειτουργικές διεργασίες που πραγματοποιούνται από τους μικροοργανισμούς του εδάφους και τις μικροβιακές κοινότητες του. Οι δραστηριότητες της μικροχλωρίδας του εδάφους αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας των γεωργικών συστημάτων. Αυτό συμβαίνει επειδή μεμονωμένα είδη και κοινοπραξίες μικροοργανισμών του εδάφους διαδραματίζουν βασικό ρόλο στις πολλές λειτουργικές διαδικασίες που υποστηρίζουν τέτοια συστήματα. Αυτές οι λειτουργικές διεργασίες περιλαμβάνουν την απόκτηση και την ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών, τη διατήρηση της δομής του εδάφους, την αποδόμηση αγροχημικών ρύπων και τον βιολογικό έλεγχο των φυτικών και ζωικών παρασίτων. Η μικροβιακή βιοποικιλότητα μπορεί να αποτυπωθεί ως ένα μέτρο του εύρους σημαντικών διαφορετικών ειδών μικροοργανισμών σε μια φυσική κοινότητα (PANKHURST & et.al., 1996). Η βιοποικιλότητα είναι η ποικιλία των ειδών, καθώς και η γενετική μεταβλητότητα μέσα σε κάθε είδος. Περιλαμβάνει όλες τις μορφές και όλα τα επίπεδα ζωής συμπεριλαμβανομένων των γενετικών, ταξινομικών και οικοσυστημικών επιπέδων (Kennedy & Smith, 1995). Η ποικιλομορφία μιας μικροβιακής κοινότητας τους εδάφους θα καθοριστεί από τη φύση του υποστρώματος και τα είδη των μικροοργανισμών που κατά τύχη έρχονται σε επαφή με το υπόστρωμα στο έδαφος (PANKHURST & et.al., 1996). Η βιοποικιλότητα των

μικροβιακών κοινοτήτων είναι διαφορετική στις καλλιεργούμενες εκτάσεις από ότι στα μη καλλιεργούμενα εδάφη (Wolinska & et.al., 2017).

Τα βακτήρια και οι μύκητες του εδάφους παίζουν καθοριστικό ρόλο σε διάφορους βιογεωχημικούς κύκλους και είναι υπεύθυνοι για τον κύκλο των οργανικών ενώσεων (Kirk & et.al., 2004). Οι ξηρές συνθήκες ευνοούν τους μύκητες έναντι των βακτηρίων, ενώ οι υγρές συνθήκες ευνοούν τα αναερόβια κυρίως βακτήρια. Ομοίως το pH συνήθως ποικίλει ανάλογα με το προφίλ του εδάφους και τον τύπο του εδάφους και οι μύκητες ευνοούνται γενικά έναντι των βακτηρίων σε όξινο έδαφος.

Ο αρχικός αποικισμός ενός τμήματος οργανικής ύλης θα γίνει από μικρόβια που εκμεταλλεύονται διαλυτές οργανικές ενώσεις (π.χ. υδατάνθρακες, οργανικά οξέα, αμινοξέα) και θα κυριαρχούνται από μύκητες *Mucor*, *Pythium* και *Penicillium*, καθώς και από βακτήρια όπως το *Pseudomonas*. Η δεύτερη διαδοχική φάση στην αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων κυριαρχείται από είδη όπως τα *Trichoderma*, *Fusarium*, *Chaetomium* (μύκητες) και *Bacillus* spp.(βακτήρια) που αποσυνθέτουν την κυτταρίνη και την ημικυτταρίνη. Στη ριζόσφαιρα συμβαίνουν παρόμοιες βιολογικές διεργασίες ως απόκριση στο εξίδρωμα της ρίζας και στα νεκρά ριζικά κύτταρα. Αυτή η έκπλυση πρωτογενών αποικοδομητών προκαλεί αντίστοιχες αυξήσεις στην αφθονία των δευτερογενών αποικοδομητών οργανισμών όπως πρωτόζωων, βακτηριοφάγων και μυκητοφάγων νηματωδών που τρέφονται με τους πρωτογενείς αποικοδομητές. Η τρίτη φάση της αποσύνθεσης των οργανικών υπολειμμάτων είναι πολύ πιο αργή και περιλαμβάνει τον αργό μεταβολισμό οργανικών συστατικών με υψηλή περιεκτικότητα σε λιγνίνη και πολυφαινόλη. Μύκητες όπως αυτοί της λευκής σήψης και βασιδιομύκητες κυριαρχούν σε αυτή τη φάση της διαδικασίας (PANKHURST & et.al., 1996). Οι ανθρώπινες επιρροές όπως η ρύπανση, η γεωργία και οι χημικές εφαρμογές είναι πιθανό να επηρεάσουν αρνητικά τη μικροβιακή ποικιλότητα και ίσως επίσης και τη λειτουργία του οικοσυστήματος πάνω και κάτω από το έδαφος (Kirk & et.al., 2004). Οι μικροοργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προώθηση της ανάπτυξης των φυτών με τη στερέωση του ατμοσφαιρικού αζώτου και τη διαλυτοποίηση ανόργανων φωσφορικών αλάτων. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικά των φυτοφαρμάκων για τον έλεγχο των εντόμων και άλλων παθογόνων, καθώς μπορούν να προάγουν την ανάπτυξη των φυτών σε αλατούχα και άνυδρα εδάφη. Επιπλέον χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική λύση στα χημικά λιπάσματα, τα ζιζανιοκτόνα και άλλα φυτοφάρμακα (Barros-Rodriguez & et.al., 2021).

1.3.4 ΑΝΑΠΝΟΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ο όρος αερισμός του εδάφους χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή O_2 και CO_2 μεταξύ της ατμόσφαιρας και του εδάφους. Ο όρος βιομάζα υποδηλώνει τα ζωντανά μεταβολικά ενεργά κύτταρα στο έδαφος, τα οποία τελικά είναι παράγοντες που ευθύνονται για την αναπνοή του εδάφους (ANDERSON, 1982). Η αναπνοή του εδάφους είναι η κύρια οδός για τη μετακίνηση του άνθρακα από το έδαφος στην ατμόσφαιρα και μπορεί να επηρεάσει έντονα την καθαρή πρόσληψη άνθρακα από την ατμόσφαιρα ή και την καθαρή παραγωγή του εδάφους, καθώς και την ισορροπία μεταξύ της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής του εδάφους. Έχει καθοριστεί ως μια αυστηρά ετερότροφη διαδικασία που ανταποκρίνεται στη θερμοκρασία και την υγρασία (RYAN & LAW, 2005). Η αναπνοή επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους πιο έντονα από οποιονδήποτε παράγοντα. Γενικά η αναπνοή αυξάνεται με τη θερμοκρασία και ποικίλει παραβολικά με την υγρασία που διαθέτει το έδαφος (Hashimoto & et.al., 2004).

Το CO_2 που παράγεται στην επιφάνεια του εδάφους προκύπτει από διάφορες αναπνευστικές διεργασίες. Περίπου το ήμισυ της αναπνοής του εδάφους προέρχεται από τη μεταβολική δραστηριότητα για την υποστήριξη και την ανάπτυξη των ριζών και των σχετικών μυκορριζών. Το μεγαλύτερο μέρος σχετίζεται με ετερότροφη αναπνοή από μικροβιακές κοινότητες που χρησιμοποιούν πρόσφατα παραγόμενο οργανικό υλικό ως ενεργειακό υπόστρωμα. Μόνο ένα μικρό κλάσμα (10%) της αναπνοής του εδάφους προέρχεται από την αποσύνθεση παλαιότερων πιο ανθεκτικών ενώσεων άνθρακα. Το ποσοστό της αναπνοής μπορεί να ποικίλει εποχιακά και μεταξύ των οικοσυστημάτων.

Ο μεταβολισμός των φυτών ή αποσύνθεση του πρόσφατα παραγόμενου οργανικού υλικού δημιουργεί το μεγαλύτερο μέρος της αναπνοής του εδάφους και η αναπνοή αντανakλά έντονα το μεταβολισμό των φυτών. Η αναπνοή συντελεί έναν καλό δείκτη του μεταβολισμού του εδάφους αλλά από την άλλη πλευρά αποτελεί ένα φτωχό δείκτη αλλαγών στην αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος.

Η αναπνοή και οι υπέργειες διαδικασίες συνδέονται στενά. Η φωτοσύνθεση παρέχει υπόστρωμα άνθρακα για το μεταβολισμό και την ανάπτυξη της ρίζας και η μείωση της παροχής υποστρώματος μπορεί να μειώσει την αναπνοή του εδάφους εντός ημερών. Η παραγωγή απορριμμάτων, ο χρόνος και η κατανομή στις ρίζες, στις μυκορριζές και στα εκκρίματα μπορεί επίσης να μεταβάλει την αναπνοή του εδάφους και την αποθήκευση του άνθρακα σε αυτό. Αυτές οι αλλαγές κατανομής είναι σημαντικό στοιχείο του επίγειου κύκλου του άνθρακα.

Οι μετρήσεις της αναπνοής έχουν μεγάλες δυνατότητες ως δείκτες του μεταβολισμού του εδάφους και της διαδικασίας λεπτής κλίμακας. Οι ολοκληρωμένες μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της υπόγειου κατανομής άνθρακα (RYAN & LAW, 2005), καθώς επίσης έχουν αξιοποιηθεί για τη μέτρηση της ανοργανοποίησης του άνθρακα, τη σταθεροποίηση του άνθρακα σε σχέση με τον τύπο της οργανικής ύλης και τους ρυθμούς εισόδου του στο έδαφος. Επιπλέον οι μετρήσεις της αναπνοής του εδάφους έχουν λάβει μέρος για την αξιολόγηση της γενικής δραστηριότητας της υπόγειας βιομάζας, διότι επηρεάζεται από το κλίμα, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες και τις γεωργικές πρακτικές. Τα γεμάτα ή βυθισμένα εδάφη ως επί το πλείστον θα είναι αναερόβια και η αναπνοή σε αυτά θα περιοριστεί στα βακτήρια και τους ζυμομύκητες, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις θα συμβεί και ριζική αναπνοή. Σε ξηρά ή καλά στραγγιζόμενα υγρά εδάφη, η αναπνοή θα είναι κυρίως αερόβια και θα περιλαμβάνει ελεύθερες ανταλλαγές τόσο του O_2 όσο και του CO_2 από τη μικροχλωρίδα, τη μικροπανίδα, τη μακροπανίδα και τις ρίζες των φυτών. Ωστόσο, στα υγρά εδάφη τουλάχιστον μια μικρή συμβολή στη παραγωγή του CO_2 θα προέλθει από διάσπαρτους αναερόβιους μικροβιότοπους. Η έκταση αυτής της συνεισφοράς θα εξαρτηθεί από τη δομή του εδάφους και την περιεκτικότητα του σε νερό. (ANDERSON, 1982).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΣΙΤΑΡΙ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Το σιτάρι αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές και ευρέως καλλιεργούμενες καλλιέργειες στον κόσμο, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για ανθρώπινη κατανάλωση και υποστηρίζει σχεδόν το 35% του παγκόσμιου πληθυσμού παρέχοντας το 20% των συνολικών διατροφικών θερμίδων. Έχει χαρακτηριστεί ως ο << Βασιλιάς των δημητριακών>> λόγω της έκτασης που καταλαμβάνει, της υψηλής παραγωγικότητας και της εξέχουσας θέσης που κατέχει στο διεθνές εμπόριο δημητριακών τροφίμων (PATEL & et.al., 2019). Το σιτάρι είναι ένα από τα σιτηρά που αποτελούν την πλειοψηφία των αγροτικών προϊόντων και συγκαταλέγεται στα προϊόντα με υψηλή βιομηχανική ζήτηση, καθώς είναι ένα απαραίτητο θρεπτικό συστατικό το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλεύρων και ζωοτροφών (Sabanci & et.al., 2020).

Το κοινό και το σκληρό σιτάρι είναι από τα πρώτα φυτά που εξημερώθηκαν κατά τη διάρκεια της Αγροτικής Επανάστασης περίπου 10.000 χρόνια πριν. Σε όλη αυτή την περίοδο καλλιέργειας αυτές οι δύο καλλιέργειες ήταν ύψιστης σημασίας ως βασική τροφή που διευκόλυνε και διατήρησε την ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού. Δεδομένου ότι μόνο ένας μικρός αριθμός άγριων γονοτύπων ελήφθησαν στην καλλιέργεια, η γενετική βάση του εξημερωμένου σίτου στα πρώιμα στάδια της καλλιέργειας ήταν σχετικά στενή αντιπροσωπεύοντας μόνο ένα κλάσμα της μεγάλης ποικιλίας που υπάρχει στον άγριο πρόγονό τους. Ωστόσο κατά την διάρκεια των 10.000 ετών καλλιέργειας σίτου η γενετική βάση του εξημερωμένου σίτου έχει διευρυνθεί σε κάποιο βαθμό λόγω μεταλλάξεων και σποραδικών γονιδιακών ροών από τους άγριους προγόνους τους και άλλα σχετικά είδη στη Νοτιοδυτική Ασία (Molnar-Lang, Ceoloni, & Dolezel, 2015). Τα αρχαία καλλιεργούμενα σιτάρια προέρχονται από την εύφορη ημισέληνο, μια περιοχή στη Μέση Ανατολή που εξαπλώνεται από την Ιορδανία, την Παλαιστίνη και το Λίβανο στη Συρία, την Τουρκία, το Ιράκ και το Ιράν. Τα αρχαία σιτάρια έχουν αναγνωριστεί ως πρωταρχικό συστατικό της ανθρώπινης διατροφής

στον παλαιό κόσμο κατά την Εποχή του Χαλκού και της Νεολιθικής Εποχής. Αντιπροσωπεύουν μιας στρατηγικής σημασίας καλλιέργεια τροφίμων των αρχαίων Ασσυριακών, Βαβυλωνιακών και Αιγυπτιακών εθνών. Τα σύγχρονα είδη σιταριού (σκληρό και μαλακό) έχουν αναπτυχθεί από παλαιά σιτάρια χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνικές αναπαραγωγής όπως ο υβριδισμός και η επακόλουθη επιλογή ανασυνδυασμένου με υψηλές δυνατότητες απόδοσης. Αυτή η διαδικασία έχει προσδώσει πλεονεκτήματα απόδοσης σιτηρών στο σύγχρονο σιτάρι σε σχέση με τα προγονικά του αρχαία σιτάρια. Ωστόσο, όχι μόνο ορισμένα συστατικά ποιότητας των δημητριακών, φυτοχημικά και θρεπτικά στοιχεία έχουν μειωθεί ή χαθεί στους σύγχρονους απογόνους αλλά ορισμένα θρεπτικά συστατικά έχουν επίσης ενισχυθεί. Οι ιδιότητες που προάγουν την υγεία του αρχαίου σιταριού έχουν πιστωθεί στα ανώτερα επίπεδα φυτοχημικών του όπως καροτενοειδή, φλαβονοειδή, φυτοστερόλες και φαινολικές ενώσεις (λιγνάνες και φερουλικό οξύ) σε σύγκριση με τα σύγχρονα είδη σίτου. Τα αρχαία σιτάρια αποτελούν καλύτερες πηγές μικροθρεπτικών συστατικών και φυτοχημικών σε σύγκριση με τα σύγχρονα τους. Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι οι σύγχρονες ποικιλίες σίτου υψηλής απόδοσης έχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις ορυκτών θρεπτικών συστατικών από τις παλαιές χαμηλής απόδοσης (Arzani & Ashraf, 2017).

Τα τελευταία 50 χρόνια η έκταση σποράς του σιταριού κυμαίνεται σε στενό εύρος και καλλιεργείται στη μεγαλύτερη κλίμακα μεταξύ γεωγραφικών πλατών 30° και 60° Β και 27° και 40° Ν, κυρίως στη Νότια και Ανατολική Ασία, τη Βόρεια Αμερική και την Ανατολική Ευρώπη. Οι χώρες που παράγουν σιτάρι στις μεγαλύτερες εκτάσεις είναι η Ε.Ε, η Κίνα, η Ινδία, η Ρωσία, οι Η.Π.Α, η Αυστραλία και το Καζακστάν. Οι αποδόσεις σιταριού έχουν τριπλασιαστεί τα τελευταία 50 χρόνια. Η αύξηση της απόδοσης μπορεί να αποδοθεί κυρίως στην αύξηση της μέσης απόδοσης ανά εκτάριο ανέρχεται σε 40 κιλά/έτος, ενώ η έκταση σποράς έχει αλλάξει ελάχιστα την ίδια περίοδο (Molnar-Lang, Ceoloni, & Dolezel, 2015).

2.2 ΣΙΤΑΡΙ ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα η σύγχρονη καλλιέργεια σιταριού ξεκίνησε το 1923 από τον Ιωάννη Παπαδάκη, ο οποίος ίδρυσε το Ινστιτούτο Φυτικής Καλλιέργειας, το πρώτο ερευνητικό κέντρο στη Βαλκανική Χερσόνησο. Ο Παπαδάκης εισήγαγε τις νέες μεθόδους της εποχής, όπως η επιλογή και η διασταύρωση και πραγματοποίησε πειράματα σε διαφορετικές τοποθεσίες χρησιμοποιώντας διαφορετικούς ελέγχους και επαναλήψεις για την αξιολόγηση του γενετικού υλικού του σιταριού. Η αρχή έγινε εισάγοντας επιλογές σε μαλακό και ντόπιο σκληρό σιτάρι.

Το 1924 πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες διασταυρώσεις επιλέγοντας γονείς τόσο από ντόπιες όσο και από ξένες τοπικές φυλές. Το 1929 κατέγραψε και περιέγραψε λεπτομερώς το γενετικό υλικό του σιταριού που βρέθηκε στην Ελλάδα, σύμφωνα με την ταξινόμηση του καθηγητή Percival. Αυτή η μελέτη περιλάμβανε 47 τοπικές ποικιλίες σκληρού σίτου που καλλιεργούνται στην Ελλάδα και οι πρώτες από αυτές κυκλοφόρησαν το 1930. Οι τοπικές φυλές σκληρού σίτου καλλιεργήθηκαν έως το 1932 και στη συνέχεια αντικαταστάθηκαν από τις νέες βελτιωμένες ποικιλίες. Οι διασταυρώσεις του προγράμματος αναπαραγωγής φυτών του Ινστιτούτου Φυτοκαλλιέργειας παρήχθησαν το 1946 με αποτέλεσμα τις ποικιλίες <Μεθώνη> και <Ηλέκτρα>, οι οποίες είχαν καλύτερη ποιότητα και πρόωμη ωρίμανση κατά μια εβδομάδα σε σύγκριση με τη <Λήμνος>. Μετά από 30 χρόνια οι νέες βελτιωμένες ποικιλίες κάλυψαν το 60% της καλλιεργούμενης έκτασης σκληρού σίτου στην Ελλάδα, με τη βελτιωμένη ποικιλία <Λήμνος> να καταλαμβάνει το 42% της έκτασης.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, η ομάδα από το Ινστιτούτο Σιτηρών στη Θεσσαλονίκη κυκλοφόρησε ποικιλίες που είχαν δημιουργηθεί από ενδοκαλλιιεργικές επιλογές γενετικού υλικού από τη λεκάνη της Μεσογείου, συμπεριλαμβανομένων των < Kallithea>, <Athos> και <Selas>. Από τις προαναφερθείσες ποικιλίες που κυκλοφόρησαν το <Selas> είχε εξαιρετική ποιότητα κόκκου και χρησιμοποιήθηκε μέχρι το 2015 από βιομηχανία ζυμαρικών στην Ελλάδα. Οι νεότερες ποικιλίες που κυκλοφόρησαν από το Ινστιτούτο Σιτηρών προήλθαν είτε από διασταύρωση διαφορετικών ποικιλιών είτε από επιλογές διαχωρισμού που περιλαμβάνονται στον Ελληνικό Εθνικό και στον Κοινό Κατάλογο Καλλιεργούμενων Φυτών (Xynias & et.al., 2020).

2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΙΤΟΥ

Η ταξινόμηση του γένους *Triticum* L. (σίτος) έχει ως εξής :

Τάξη : Poales

Συνομοταξία : Angiospermatophyta

Ομοταξία : Monocotyledonopsida

Οικογένεια : Poaceae Υποοικογένεια : Pooideae

Φυλή : Triticeae Υποφυλή : Triticinae

Γένος : *Triticum* L. (BALINT & et.al., 2000)

Η οικονομικά σημαντική φυλή των Triticeae αποτελείται ανάλογα με την ταξινομική επεξεργασία από περίπου 360 είδη και πολλά υποείδη σε 20-30 γένη. Τα Triticeae εμφανίζονται

σε εύκρατες περιοχές σε όλη τη Γη και φιλοξενούν τα σημαντικά δημητριακά, το σιτάρι, το κριθάρι, τη σικάλη και τους άγριους συγγενείς τους, καθώς και πολλά κτηνοτροφικά χόρτα, είδη ζωτικής σημασίας για τη σταθεροποίηση του εδάφους και σημαντικά στοιχεία διαφορετικών φυτικών κοινοτήτων. Η φυλή περιλαμβάνει ετήσια και πολυετή είδη, με τα ετήσια να είναι πιο άφθονα στη Δυτική Ασία και τη Μεσόγειο, ενώ η μεγαλύτερη ποικιλία ειδών για τα πολυετή μέλη αναφέρεται στην Κεντρική Ασία, ιδιαίτερα στην Κίνα.

Εντός των Triticeae όλα τα taxa έχουν αριθμό βάσης χρωμοσώματος $x = 7$ και οι αριθμοί χρωμοσωμάτων $2n$ είναι 14 ή πολλαπλάσια του 14. Τα γονιδιώματα ποικίλουν σε μέγεθος αλλά είναι γενικά πολύ μεγάλα. Περίπου 80 είδη της φυλής είναι διπλοειδή, ενώ η πλειοψηφία των ειδών είναι αλλοπολυπλοειδές, δηλαδή συνδυάζουν γονιδιώματα από διαφορετικά διπλοειδή είδη ή γένη της φυλής (Molnar-Lang, Ceoloni, & Dolezel, 2015).

Το γένος *Triticum* ταξινομήθηκε για πρώτη φορά από τον Linnaeus το 1753 και το προτεινόμενο ταξινομικό σύστημα βασίστηκε σε εύκολα αναγνωρίσιμα μορφολογικά χαρακτηριστικά. Οι οργανισμοί ταξινομήθηκαν σε ταξινομήσεις με ιεραρχική βάση και τα είδη περιεγράφηκαν με τη χρήση διωνυμικής ονοματολογίας. Τα είδη σιταριού αναγνωρίστηκαν με βάση απλά χαρακτηριστικά, όπως η ημερομηνία σποράς ή η μορφολογία των φυτών. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά ήταν επίσης τα θεμελιώδη κριτήρια στο σύστημα ταξινόμησης που προτάθηκε από τον Kornicke, ο οποίος περιέγραψε πολλά νέα είδη και ποικιλίες του γένους *Triticum* και εντόπισε διαφορές μεταξύ των ταξινομημένων ταξινομικών κατηγοριών. Αυτές οι ταξινομήσεις βασίστηκαν σε ομοιότητες μεταξύ των εξεταζόμενων οργανισμών.

Το ταξινομικό σύστημα που προτάθηκε από τον MacKey επεκτάθηκε και τροποποιήθηκε από τον Van Slageren (Goriewa-Duba & et.al., 2018). Ο MacKey διατύπωσε την ιδέα του με βάση την κλασική γενετική, δηλαδή παρατηρήσεις που έγιναν σε έναν μικρό αριθμό μορφολογικών χαρακτήρων στο σιτάρι. Ο Van Slageren ακολούθησε τον MacKey στο γεγονός ότι τα taxa σε επίπεδο ειδών και υποειδών θα πρέπει να περιέχουν μόνο <εμπορικά> καλλιεργούμενο σιτάρι και τους στενότερους άγριους προγόνους του (Molnar-Lang, Ceoloni, & Dolezel, 2015). Η παρούσα κλάση ταξινόμησης είχε αναπτυχθεί από τον Goncharov και βασίζεται στα αποτελέσματα συγκριτικών μοριακών αναλύσεων. Προς το παρόν η ταξινομική ταξινόμηση του σίτου βασίζεται κυρίως σε μορφολογικά χαρακτηριστικά αναλύσεις ζευγών χρωμοσωμάτων, βιοχημικούς και μοριακούς δείκτες για τη σύγκριση πολυπλοειδών ειδών και των πιθανών προγόνων τους.

Το γένος *Triticum* αποτελείται από διπλοειδή, τετραπλοειδή και εξαπλοειδή είδη (Goriewa-Duba & et.al., 2018). Το *Triticum aestivum* είναι το πιο σημαντικό αλλοπολυπλοειδές είδος που σχηματίζεται από επαναλαμβανόμενη υβριδική ειδογένεση που περιλαμβάνει τρία

διπλοειδή είδη της φυλής και ως εκ τούτου συνδυάζει τρία σχετικά γονιδιώματα που ονομάζονται A,B και D (Molnar-Lang, Ceoloni, & Dolezel, 2015). Τα τρία βασικά γονιδιώματα του μαλακού σίτου(ABD) σχετίζονται εν μέρει μεταξύ τους, δηλαδή η απώλεια ενός χρωμοσώματος μπορεί να αντισταθμιστεί με την παρουσία του ομόλογού του (BALINT & et.al., 2000).

2.4 ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΣΙΤΟΥ

Οι τύποι σιταριού που έχουν επιλεχθεί με το πέρασμα του χρόνου και έχουν κυρίαρχο ρόλο στις περιοχές όπου καλλιεργείται το σιτάρι είναι δύο, το κοινό ή μαλακό σιτάρι και το σκληρό σιτάρι.

Το κοινό ή μαλακό σιτάρι (*Triticum aestivum*) αποτελεί τη βασική τροφή για ένα ευρύ φάσμα του παγκόσμιου πληθυσμού. Το μαλακό σιτάρι είναι εξαπλοειδές σιτάρι και είναι το πιο ευρέως καλλιεργούμενο είδος που αντιπροσωπεύει το 95% του συνόλου με το σκληρό σιτάρι να κατέχει το υπόλοιπο 5%.

Το σκληρό σιτάρι προσαρμόζεται καλύτερα σε ημίξηρα κλίματα από ότι το κοινό σιτάρι. Η παγκόσμια έκταση και παραγωγή σκληρού σίτου συγκεντρώνεται στη Μέση Ανατολή, τη Βόρεια Αφρική, τις μεγάλες πεδιάδες της Βόρειας Αμερικής, την Ινδία και τη Μεσογειακή Ευρώπη. Το σκληρό σιτάρι είναι ανοιξιότικο σιτάρι, αν και καλλιεργείται ως και χειμερινό. Παρά το γεγονός της χαμηλής έκτασης του έκτασης το σκληρό σιτάρι είναι μια οικονομικά σημαντική καλλιέργεια, λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών και της τελικής του παραγωγής. Οι πυρήνες του σκληρού σίτου είναι συνήθως μεγάλοι, έχουν χρυσαφένιο κεχριμπαρένιο χρώμα και ημιδιαφανές. Γενικά θεωρείται ο πιο σκληρός πυρήνας από όλα τα είδη σίτου. Αυτά τα χαρακτηριστικά, μαζί με την περιεκτικότητα του σε πρωτεΐνες και την ισχύ σε γλουτένη, το καθιστούν κατάλληλο για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων διατροφής, τα ζυμαρικά αποτελούν το πιο κοινό σκληρό τελικό προϊόν (ELIAS, 1995). Το σκληρό σιτάρι είναι τετραπλοειδές σιτάρι. Το σκληρό σιτάρι είναι παγκοσμίως ο δεύτερος πιο καταναλώμενος και παραγόμενος τύπος σιταριού. Το μέγεθος του γονιδιώματος είναι 12 Mbp και το είδος είναι δισωματικό πολυπλοειδές ($2n = 4x = 28$, AABB) (Mulugeta & et.al., 2023).

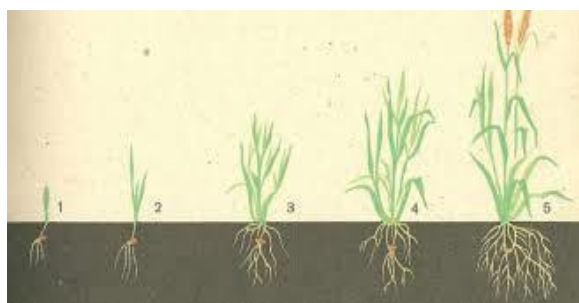
2.5 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΙΤΟΥ

2.5.1 ΡΙΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το φυτό του σιταριού έχει γενικά δύο τύπους ριζών. Οι σπερματικές ρίζες αναπτύσσονται από την αρχέγονη ρίζα που περιέχεται στον κόκκο που ανήκει στο έμβρυο και παράγονται από τα φυτά που βλαστάνουν. Αναδύεται στο βάθος όπου φυτεύεται ο σπόρος. Υπάρχουν συνήθως πέντε σπερματικές ρίζες, ριζίδια και δύο ζεύγη πλευρικών. Οι σπερματικές ρίζες είναι λεπτές ομοιόμορφης διαμέτρου, με λεπτά πλευρικά κλαδιά. Καθώς συμβαίνει πρόοδος ανάπτυξης των φυτών, αυτό το πρωτεύον ριζικό σύστημα, δηλαδή η σπερματική ρίζα συνήθως πεθαίνει και αντικαθίσταται από το πιο μόνιμο, το δευτερεύον ριζικό σύστημα. Το δεύτερο σύνολο ριζών ονομάζεται κομβικές (στεφανιαίες) ρίζες ή δευτερεύον ριζικό σύστημα, το οποίο προκύπτει από τους βασικούς κόμβους των κύριων βλαστών ή των φυτών και σχηματίζει τη συμπαγή βλαστική μάζα γνωστή ως <στεφάνι> και δημιουργεί το μόνιμο ριζικό σύστημα. Δύο ή περισσότερες κομβικές ρίζες σχηματίζονται γενικά σε κάθε κόμβο. Κάθε φυτό μπορεί να παράγει το δικό του κομβικό ριζικό σύστημα, όπως και το κύριο στέλεχος με τη διαφορά ότι μια ρίζα αντί για ένα ζευγάρι μειώνεται σε κάθε κόμβο (KUMAR & et.al., 2017). Οι σπερματικές και οι κομβικές ρίζες στο σιτάρι φέρουν πλάγιες ρίζες πρώτης τάξης και οι πλευρικές ρίζες πρώτης τάξης παράγουν πλάγιες ρίζες δεύτερης τάξης και ούτω καθεξής. Ο σχηματισμός πλευρικών ριζών σχηματίζεται επίσης διαδοχικά με την ανάπτυξη βλαστών. Επιπλέον οι σπερματικές και οι κομβικές ρίζες, καθώς και οι περισσότερες πλευρικές έχουν ριζικά τριχίδια, τα οποία αποτελούν σημαντικά συστατικά των ριζικών συστημάτων. Με την ανάπτυξη των βλαστών η ζώνη ριζοβολίας διευρύνεται στο σιτάρι. Ο όγκος της ζώνης ριζοβολίας είναι σχετικά μεγάλος (Ito & et.al., 1996). Το κομβικό ριζικό σύστημα γίνεται μια άφθονα διακλαδισμένη μάζα ινωδών ριζών που υπό ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης, το ανοιξιάτικο σιτάρι μπορεί να εξαπλωθεί από 6-9 ίντσες σε όλες τις πλευρές και να διεισδύσει στο έδαφος σε βάθος 2-3 ποδιών. Το χειμερινό σιτάρι είναι πιο βαθιά ριζωμένο και διεισδύει σε βάθος μεγαλύτερο από 6 πόδια. Γενικά με την ανθοφορία το ριζικό σύστημα εγκαθίσταται πλήρως (KUMAR & et.al., 2017). Επειδή το σιτάρι έχει περισσότερες σπερματικές ρίζες και λιγότερες κομβικές, η συμβολή των σπερματικών ριζών σε ολόκληρο το ριζικό σύστημα είναι σημαντική στο σιτάρι. Οι σπερματικές και οι κομβικές ρίζες του σιταριού κατανέμονται

διαφορετικά, διαφέρουν ως προς το χρόνο και τη θέση ανάδυσης, καθώς και ως προς τον αριθμό και τη διάμετρο.

Το βάρος και το μήκος της ρίζας μειώνονται εκθετικά με το βάθος του εδάφους και οι περισσότερες ρίζες κατανέμονται στα ανώτερα στρώματα του εδάφους, ειδικά στο στάδιο της πλήρωσης των κόκκων. Αν και οι βαθύτερες ρίζες είναι σχετικά λίγες σε ένα ριζικό σύστημα φέρουν σχετικά μεγάλους λειτουργικούς ρόλους (Ito & et.al., 1996).



ΕΙΚΟΝΑ 4: ΡΙΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Πηγή: <https://farms-el.desigusxpro.com/posadka/ogorod/zlaki/pshenitsa/osobennosti-kornevoj-sistemy.html>, χ.χ.)

2.5.2 ΒΛΑΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το βλαστικό σύστημα εφαρμόστηκε συλλογικά σε όλα τα ορατά μέρη πάνω από το έδαφος. Ο βλαστός αποτελείται από μια σειρά επαναλαμβανόμενων μονάδων ή φυτομερών, κάθε μια από τις οποίες δυνητικά έχει έναν κόμβο, ένα φύλλο, ένα επιμήκη μεσογονάτιο και ένα μπουμπούκι στη μασχάλη του φύλλου. Υπάρχουν από 6 έως 16 ή περισσότερες από αυτές τις μονάδες που σχηματίζουν το βλαστικό μέρος κάθε βλαστού. Στις εγγύς ή βλαστικές μονάδες, το μεσογονάτιο παραμένει κοντό και οι κόμβοι ενώνονται στενά μεταξύ τους.

Αποτελείται από μίσχους, φύλλα και ταξιανθία. Ένα στέλεχος και η ταξιανθία μπορούν να ονομαστούν <ακμή> (Ito & et.al., 1996).



ΕΙΚΟΝΑ 5: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Πηγή: <https://GAIApedia>, χ.χ.)

2.5.3 ΒΛΑΣΤΟΣ

Ο βλαστός του φυτού του σιταριού είναι όρθιος, κυλινδρικός, ενωμένος και λείος. Από 4 έως 7 από τις πιο απομακρυσμένες μονάδες φυτομερών φέρουν ένα επιμήκη μεσογονάτιο. Το τμήμα του βλαστού με επιμήκεις μεσογονάτια είναι το επιμήκης στέλεχος ή ακμή. Η διάμετρος μειώνεται σταδιακά προς το πάνω μεσογονάτιο (ποδίσκος) που φέρει την ακίδα. Στο κοινό σιτάρι οι μίσχοι είναι κούφιοι με άτριχους ή τριχωτούς κόμβους, εκτός από τους κόμβους που είναι συμπαγείς, αλλά σε μερικές ποικιλίες σιταριού τα μεσογονάτια είναι πλήρως γεμάτα με μαλακό καρπό. Το περίβλημα του φύλλου τυλίγεται γύρω από το στέλεχος παρέχοντας στήριξη στον βλαστό. Κάθε ακροφύσιο έχει 5 έως 7 επιμήκεις κόμβους, ενώ οι βασικοί κόμβοι είναι στενά συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Κάθε ακμή φέρει περίπου έξι φύλλα με λεπίδες πλάτους έως 20mm και μήκος έως 35cm. ένα φύλλο αναπτύσσεται σε κάθε κόμβο, τα βασικά φύλλα πεθαίνουν νωρίς και στην ωριμότητα περίπου 4 ή 5 από τους άνω κόμβους των φύλλων. Το στέλεχος καταλήγει στο στάχυ του φυτού του σιταριού. Η ανάπτυξη των στελεχών δεν είναι κορυφαία αλλά παράγεται από τέντωμα των ιστών πάνω από τους κόμβους (μερίστωμα) (KUMAR & et.al., 2017). Ο βλαστός τερματίζεται με μια ακίδα που φέρει περίπου είκοσι στάχυα. Στην ακίδα το φυτομερές αποτελείται από το στάχυ (τα μασχαλιαία μπουμπούκια) και τη ράχη (κόμβους και μεσογονάτιο), η ανάπτυξη του φύλλου καταστέλλεται (Kirby, 2002).

2.5.4 ΦΥΛΛΑ

Τα φύλλα στο σιτάρι είναι διατεταγμένα εναλλάξ στις πλευρές του στελέχους και είναι αριθμημένα έτσι ώστε όλα τα άρτια αριθμημένα φύλλα να βρίσκονται σε μια πλευρά του φυτού και κάθε φύλλο σε γωνία 180° από την πάνω και από κάτω. Η δομή του φύλλου αποτελείται κυρίως από το περίβλημα και το έλασμα του φύλλου που σχηματίζονται από ξεχωριστά μεριστώματα και μαζί με ένα ζεύγος αύλακας στη βάση του ελάσματος. Το περίβλημα των φύλλων είναι το βασικό τμήμα του φύλλου, το οποίο περιβάλλει περίπου τα 2/3 του βλαστού και υπό δυσμενείς συνθήκες εκτείνεται μέχρι την ακίδα. Κάθε θήκη χωρίζεται προς τα κάτω στον κόμβο και το έλασμα που λυγίζει μακριά από το στέλεχος. Το έλασμα των φύλλων είναι το γραμμικό, πεπλατυσμένο, παράλληλο τμήμα του φύλλου, το οποίο αποτελεί το βασικό των Gramineae. Η βάση των φύλλων στο άκρο είναι πιο παχιά λόγω της ένωσης της θήκης και του ελάσματος, για να σχηματιστεί ένας σκληρός κόμπος. Η θέση του ανώτερου ελάσματος <φύλλου σημαίας> είναι ένας σημαντικός χαρακτήρας, καθώς παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο

στο ρυθμό μεταβολικής αφομοίωσης και ως εκ τούτου στην παραγωγικότητα του φυτού. Στην άνω επιφάνεια του φύλλου υπάρχει μια σειρά από διαμήκεις νευρώσεις που αποτελούνται από ιστό πάνω από τις αγγειακές δέσμες (KUMAR & et.al., 2017). Το έλασμα έχει ένα αρκετά καλό μεσαίο τμήμα κατά μήκος του οποίου εκτείνεται η κύρια αγγειακή δέσμη του φύλλου. Χωρίζει το έλασμα σε δύο ίσα μέρη, καθένα από τα οποία έχει έναν αριθμό παράλληλων πλευρικών πλευρών ή φλεβών. Κάθε φλέβα σηματοδοτεί τη θέση μιας αγγειακής δέσμης και ο ιστός πάνω από τη δέσμη ανυψώνεται δημιουργώντας μια ράχη, έτσι ώστε η αξονική επιφάνεια του ελάσματος να είναι κυματοειδής. Το έλασμα του φύλλου φέρει φυσικά μια συστροφή και ακριβώς κάτω από το άκρο, συνήθως στα 2/3 κατά μήκος του φύλλου, υπάρχει συχνά μια στένωση (Kirby, 2002).

Ο ιστός των φύλλων αποτελείται από την άνω επιδερμίδα, τη μεσόφυλλη και την κάτω επιδερμίδα. Οι κυτταρικοί τύποι που αποτελούν την άνω επιδερμίδα διαφέρουν από την κάτω πλευρά του φύλλου με τους λιγότερους κυτταρικούς τύπους. Και τα δύο επιδερμικά στρώματα καλύπτονται με επιδερμικό κερί. Η μεσόφυλλη περικλείεται από τα επιδερμικά στρώματα και δια τέμνεται από τον αγγειακό ιστό.

Τα ωτίδια είναι οι λοβοί του ελάσματος του φύλλου, τα οποία εκτείνονται προς τα κάτω σε κάθε πλευρά στη συμβολή του ελάσματος και του περιβλήματος. Αποτελούν κοντά εξαρτήματα στη βάση του ελάσματος του φύλλου, τα οποία τείνουν να σφίγγουν το περίβλημα στο μεσογονάτιο του άκρου. Το χρώμα που φέρουν τα ωτίδια είναι συνήθως ανοιχτό πράσινο ή ροζ.

Το γλωσσίδιο αποτελεί μια λεπτή μεμβρανώδης δομή μήκους 1mm ή μεγαλύτερο, το οποίο σηματοδοτεί τη διασταύρωση μεταξύ μια θήκης φύλλου και του ελάσματος και βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τη θήκη. Πρόκειται για τροποποιημένη προέκταση του περιβλήματος του φύλλου που βρίσκεται στη βάση του ελάσματος. Εκτείνεται προς τα πάνω και τυλίγεται στο στέλεχος. Το γλωσσίδιο είναι άχρωμο με μικρές τρίχες και ξεκινάει όταν το φύλλο έχει μήκος περίπου 20 χιλιοστά (KUMAR & et.al., 2017).

Το σχήμα και το μέγεθος των φύλλων αλλάζουν ανάλογα με τη θέση του φύλλου. Το κατώτερο φύλλο στον κύριο βλαστό έχει παράλληλες πλευρές σε απόσταση 1cm περίπου από την άκρη. Τα φύλλα πάνω από το πρώτο έχουν περισσότερο ή λιγότερο παράλληλες πλευρές για περίπου στα 2/3 του μήκους τους πάνω από το οποίο λεπταίνουν σε μια αιχμηρή αιχμή. Το τελευταίο φύλλο που παράγεται στην κορυφή, το φύλλο σημαία, έχει ένα επιμήκη ωοειδή σχήμα. Κάθε φύλλο ξεκινάει από την κορυφή του βλαστού. Εμφανίζεται αρχικά σαν εξόγκωμα στο πλευρό της κορυφής, το οποίο με τη συνεχή πλάγια και ακροπεταλιακή ανάπτυξη σχηματίζει μια κορυφογραμμή σε σχήμα ημισέληνου. Περαιτέρω ανάπτυξη δημιουργεί μια διχασμένη

κυλινδρική μορφή με τα περιθώρια να επικαλύπτονται. Το φύλλο τελικά μεγαλώνει μέσα από τα υποστρώματα των φύλλων, το έλασμα διαστέλλεται και τέλος η ανάπτυξη σταματά (Kirby, 2002).

2.5.5 ΤΑΞΙΑΝΘΙΑ

Η ταξιανθία του φυτού του σιταριού είναι γνωστή ως στάχυ, αλλά η βοτανική του ονομασία είναι ακίδα. Ο κύριος άξονας ή ράχη της ακίδας είναι μια ημιτονοειδής, οδοντωτή δομή που αποτελείται από έναν αριθμό βραχέων κόμβων και μεσογονατίων. Η μια πλευρά κάθε μεσογονατίου είναι περισσότερο ή λιγότερο κυρτή και η άλλη είναι πεπλατυσμένη ή ελαφρώς κοίλη. Τα στάχυα φέρονται εναλλάξ στις πλευρές της ράχης, γεγονός που τους δίνει μια ζιγκ-ζαγκ εμφάνιση. Στο σιτάρι τα στάχυα είναι άμισχα. Η ακίδα χωρίζεται σε 15 έως 30 στάχυα. Αιχμές που περιγράφονται ως ατρακτοειδής κωνικότητας ως προς την κορυφή ή από τη μέση προς τη βάση και την κορυφή. Αυτός είναι ο πιο κοινός τύπος σχήματος ακίδας του κοινού σιταριού. Κάθε στάχυ με τη σειρά του είναι ένας συμπυκνωμένος αναπαραγωγικός βλαστός που αποτελείται από δύο στείρα βράκτια που περικλείουν 3-5 ανθοδέσμες. Η μικρότερη αναπαραγωγική μονάδα μέσα σε ένα στάχυ ονομάζεται άνθος. Δεν έχει κάλυκα ή στεφάνι όπως βρίσκεται στα περισσότερα δικοτυλήδονα άνθη. Κάθε άνθος αποτελείται από δύο δομές που μοιάζουν με βράκτια. Το τερματικό στάχυ, είναι το τελικό στάχυ που θα σχηματιστεί από την ακίδα και βρίσκεται στις 90° ως προς το επίπεδο όλων των υπόλοιπων σταχύων. Όταν εμφανιστεί το τερματικό στάχυ έχει προσδιοριστεί ο πιθανός αριθμός γόνιμων σταχύων για την ακίδα. (KUMAR & et.al., 2017).

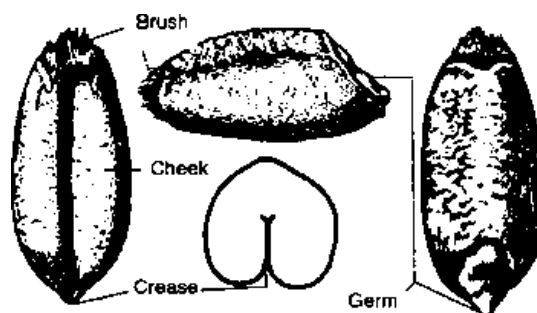
2.5.6 ΣΠΟΡΟΣ

Το σιτάρι έχει σπόρο βοτανικά καρύοψη. Ο σπόρος σιταριού είναι ένας μικρός, ξηρός, μονόσπορος καρπός με λεπτό σφιχτό περικάρπιο, ελλειπτικό ή ωοειδές σχήμα με το έμβρυο στη βάση της ραχιαίας πλευράς, ενώ μια πτυχή εκτείνεται από άκρη σε άκρη στην κοιλιακή πλευρά. Το σχήμα επηρεάζεται από τη θέση στο στάχυ, τη θέση στην ακίδα και το βαθμό παχύτητας. Ο σπόρος σιταριού αποτελείται από ένα φυτό, ένα έμβρυο και ένα ενδοσπέρμιο (KUMAR & et.al., 2017). Το έμβρυο ή το φυτό βρίσκεται στο σημείο προσκόλλησης του άξονα του σταχίου και το περιφερειακό άκρο έχει μια βούρτσα από λεπτές τρίχες. Γύρω από το ενδοσπέρμιο υπάρχει ένα μεταβολικά ενεργό στρώμα κυττάρων, το περίβλημα του σπόρου και το περικάρπιο ή το τρίχωμα του καρπού (Kirby, 2002). Ο τυπικός πυρήνας σιταριού έχει μήκος 3 έως 10mm και διάμετρο 3 έως 5mm.

Η ταξινόμηση του σπόρου κατά την ωριμότητα πραγματοποιείται με βάση το χρώμα σε λευκό, κεχριμπαρένιο και κόκκινο. Η έκφραση του χρώματος επηρεάζεται από την υφή του ενδοσπερμίου. Η υφή μπορεί να είναι σκληρή ή απαλή. Οι σπόροι του σκληρού σιταριού αποτελούν τους πιο σκληρούς σπόρους από όλα τα είδη σιταριού (KUMAR & et.al., 2017).



ΕΙΚΟΝΑ6: ΣΠΟΡΟΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ



ΕΙΚΟΝΑ7: ΔΟΜΗ ΣΠΟΡΟΥ

Πηγή: (<https://agroklima.weebly.com/piomicroniotakappaiootalambda943epsilonpsilonigmaf.html>, χ.χ.)

2.6 ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ ΣΙΤΟΥ

Η άνθηση του σίτου λαμβάνει μέρος περίπου 3 έως 10 ημέρες ανάλογα με το περιβάλλον μετά την έξοδο του ωτιδίου από το περίβλημα του φύλλου σημαίας, όταν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα συμβαίνουν συσχετισμένα συμβάντα. Οι λωρίδες κάθε λουλουδιού διογκώνονται, αναγκάζοντας με τον τρόπο αυτό να χωρίσουν το λήμμα και την παλέα. Τα νημάτια των στημόνων επιμηκύνονται και μπορεί τελικά να φθάσουν σε μήκος 10mm. Καθώς το νήμα μεγαλώνει, ο ανθήρας αποκόπτεται και κάθε θάλαμος αναπτύσσει ένα διαμήκη σχίσσιμο, ξεκινώντας από την άκρη του ανθήρα μέσω του οποίου η γύρη απελευθερώνεται. Οι λοβοί του στίγματος, οι οποίοι συμπίεζονται μεταξύ τους πριν από την άνθηση απομακρύνονται και οι δεκτικοί κλάδοι απλώνονται ευρέως δίνοντας μια μεγάλη περιοχή για την αναχαίτηση της γύρης. Η όλη διαδικασία ολοκληρώνεται μέσα σε διάστημα των 5 min. Οι ποικιλίες διαφέρουν ως προς τον βαθμό διαχωρισμού του λήμματος και της παλέας και σε ορισμένους τύπους κλειστής ανθοφορίας το λήμμα και η παλέα δεν αποκλίνουν, ενώ οι ανθήρες και το στίγμα παραμένουν κλεισμένα μέσα στο λήμμα και την παλέα. Σε τύπους ανοιχτής ανθοφορίας οι στήμονες κρέμονται από τα άνθη και το στίγμα εξαπλώνεται ευρέως.

Ο κόκκος γύρης, ο οποίος έχει διάρκεια ζωής περίπου πέντε ώρες κατακάθεται σε ένα στίγμα, βλασταίνει σε περίπου μιάμιση ώρα, για να δημιουργήσει έναν σωλήνα γύρης. Αυτό μεγαλώνει προς τα κάτω μεταξύ των κυττάρων και τελικά φτάνει στον εμβρυικό σάκο μέσω της μικροπύλης. Δύο πυρήνες σπέρματος κινούνται προς τα κάτω στην άκρη του σωλήνα γύρης. Σε κανονικές θερμοκρασίες ο σωλήνας γύρης φτάνει στον εμβρυικό σάκο σε περίπου 40 min.

Όταν φτάσουν στον εμβρυικό σάκο οι πυρήνες του σπέρματος απορρίπτονται και συγχωνεύονται με τον πυρήνα του ωαρίου (που αναπτύσσεται για να γίνει έμβρυο) και τους πολικούς πυρήνες (που σχηματίζουν το ενδοσπέρμιο).

Η διαίρεση του πυρήνα του γονιμοποιημένου ωαρίου αρχίζει αργότερα από αυτή του ενδοσπερμίου. Οι πρώιμες διαιρέσεις παράγουν ένα πεντοκύτταρο έμβρυο με ένα βασικό κύτταρο. Η συνεχής κυτταρική διαίρεση παράγει αρχικά μια δομή σε σχήμα ράβδου, η οποία τελικά διαφοροποιείται για να σχηματίσει ένα ώριμο έμβρυο στον ώριμο σπόρο. Η ανάπτυξη του εμβρύου υποστηρίζεται από θρεπτικά συστατικά που προέρχονται από τα αντιποδικά κύτταρα και από την υδρόλυση των κυττάρων του παρεγχύματος του πυρήνα και των γειτονικών κυττάρων του ενδοσπερμίου. Αργότερα στην ανάπτυξη, τα κύτταρα μεταφοράς εμφανίζονται στην επιδερμίδα του πυρηνικού ενδοσπέρματος κοντά στην βάση του εμβρύου και στον προ-αγγειακό ιστό.

Μετά τη σύντηξη του πυρήνα του σπέρματος και των πολικών πυρήνων, η κυτταρική διαίρεση είναι για κάποιο χρονικό διάστημα σύγχρονη, ο αριθμός των κυττάρων του ενδοσπέρματος διπλασιάζεται κάθε 4 έως 5 ώρες. Στην αρχή το ενδοσπέρμιο είναι ομοιοκυτταρικό, αλλά μετά περίπου από τρεις ημέρες σχηματίζονται κυτταρικά τοιχώματα. Η ανάπτυξη του κυτταρικού τοιχώματος ξεκινάει στην άκρη του εμβρυικού σάκου. Τα κύτταρα στην περιφέρεια του ενδοσπερμίου διαιρούνται και τελικά ολόκληρος ο εμβρυικός σάκος είναι κυτταρικός. Αφού ολοκληρωθεί ο σχηματισμός των κυττάρων, σχηματίζονται οι υποκυτταρικές δομές, οι οποίες θα συνθέσουν τα πρωτεϊνικά σώματα και τα υπόλοιπα πρωτεϊνικά συστατικά.

Τα περισσότερα καρπόφυλλα επικονιάζονται με γύρη από ανθήρες στο ίδιο άνθος, αλλά υπάρχει πιθανότητα επικονίασης από άλλα φυτά, με αποτέλεσμα τη διασταυρούμενη γονιμοποίηση. Το άνθος κλείνει εάν δεν έχει επικονιαστεί, τα στίγματα παραμένουν δεκτικά για έως και πέντε ημέρες μετά την άνθηση και το άνθος μπορεί να ανοίξει ξανά αυτή τη φορά από τη διόγκωση μέρους της ωοθήκης (Kirby, 2002).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

3.1 ΣΠΟΡΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Η φύτευση καλλιεργειών δημητριακών την κατάλληλη στιγμή είναι ένα μέσο για την επίτευξη υψηλότερων οικονομικών αποδόσεων, καθώς επιτρέπει στις καλλιέργειες να επιτύχουν το πλήρες δυναμικό απόδοσης. Η καθυστερημένη φύτευση σιταριού έχει αναγνωριστεί ως κύριο σημείο συμφόρησης για υψηλή παραγωγικότητα. Η επακόλουθη καθυστέρηση μίας ημέρας από τον βέλτιστο χρόνο φύτευσης έχει μειώσει την απόδοση σιτηρών κατά 1% και η καθυστερημένη σπορά μπορεί επίσης να αυξήσει τους κινδύνους απώλειας της απόδοσης (Meleha & et.al., 2020).

Οι ημερομηνίες σποράς ποικίλλουν ανάλογα με την περιοχή στην οποία θα τοποθετηθεί η καλλιέργεια, την επικρατούσα θερμοκρασία, την ποικιλία του σίτου και τη διαθεσιμότητα του νερού. Ιδανικά το χειμερινό σιτάρι φυτεύεται ενώ οι θερμοκρασίες του εδάφους και του αέρα είναι ακόμα ζεστές, με σκοπό να διασφαλιστεί ότι τα σποριόφυτα θα καταφέρουν να αναδυθούν γρήγορα για να αναπτύξουν ένα ισχυρό ριζικό σύστημα (Pennington & et.al., 2022). Οι ημερομηνίες σποράς για τις ποικιλίες του χειμερινού σιταριού είναι γενικά από Σεπτέμβριο έως Νοέμβριο. Ο Baloch et al. κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η καλλιέργεια σιταριού με ημερομηνίες φύτευσης από 25 Οκτωβρίου έως 10 Νοεμβρίου έδωσαν το μεγαλύτερο βάρος και απόδοση των κόκκων, το οποίο μειώθηκε με αργότερες ημερομηνίες σποράς του σιταριού (Meleha & et.al., 2020).

Η πραγμάτωση κορυφαίων αποδόσεων παραγωγής σίτου απαιτεί οι σπόροι να κατανέμονται ομοιόμορφα και σε ομοιόμορφο βάθος στο έδαφος. Η επίτευξη σταθερού βάθους των σπόρων είναι σημαντική, ώστε να αυξηθεί η πιθανότητα ομοιόμορφης ανάδυσης. Γενικά ένα βάθος φύτευσης από 2,5 έως 3,8 cm είναι αρκετό σε βαρύ έδαφος. Η βαθύτερη τοποθέτηση σπόρων είναι πιθανό να παρουσιάζει ένα πλεονέκτημα σε ορισμένους τύπους χειμερινού σιταριού,

αλλά συνήθως αυτό αντισταθμίζεται από το πλεονέκτημα που κατέχουν οι πιο ρηχά τοποθετημένοι σπόροι εξαιτίας της ταχύτερης ανάδυσης τους. Στην περίπτωση ενός ξηρού εδάφους, ο σπόρος πρέπει να φυτεύεται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος για να φτάσει σε υγρό έδαφος. Η ορθή τοποθέτηση των σπόρων απαιτεί και αυτή με τη σειρά της τα αγροτεμάχια να είναι κατάλληλα προετοιμασμένα για την καλλιεργητική περίοδο.

Η εγκατάσταση σίτου μπορεί να είναι επιτυχής με συμβατικά συστήματα ελάχιστης άροσης και μη άροσης. Η άροση του εδάφους ακόμα και σε ένα ελάχιστο επίπεδο μπορεί να είναι βοηθητική για τη διανομή και την ενσωμάτωση υπολειμμάτων, λιπασμάτων και ασβέστη και πετύχει τη δημιουργία ενός πιο ομοιόμορφου σπόρου. Η μη άροση από την άλλη πλευρά παρουσιάζει ανομοιομορφία στη βάση, αλλά τείνει να προσφέρει βελτιωμένη συγκράτηση υγρασίας και λιγότερη ευαισθησία σε ζημιές που μπορούν να προκληθούν από πιο ψυχρές θερμοκρασίες (Pennington & et.al., 2022).

3.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΛΑΦΟΥΣ ΣΙΤΟΥ

Η καλλιέργεια του σιταριού μπορεί να καλλιεργηθεί σε διάφορους τύπους εδάφους. Ο τύπος του εδάφους μπορεί να επηρεάσει το ύψος των φυτών, τα φύλλα, τη βιομάζα των φυτών και τον αριθμό καθώς και τα χαρακτηριστικά των κόκκων. Γενικά τα μέσης σύστασης εδάφη θεωρούνται τα καλύτερα και τα καταλληλότερα, σε αντίθεση με τα τυρφώδη εδάφη με υψηλές ποσότητες μετάλλων τα οποία θα πρέπει να αποφεύγονται για την καλλιέργεια σίτου. Μεταξύ των πέντε υφών του εδάφους το αμμοπηλώδες και το αργιλώδες έδαφος θεωρήθηκαν οι πιο κατάλληλες υφές εδάφους, διότι παρήγαγαν τις μεγαλύτερες αποδόσεις σε σιτηρά και βιομάζα σε σύγκριση με την αργιλώδη άμμο (Mojid & et.al., 2020). Σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός το ότι το σιτάρι παρουσιάζει μέτρια αντοχή στην αλατότητα, γεγονός που οδηγεί στον περιορισμό της καλλιέργειας του σε αλατούχα εδάφη. Όλες οι φαινολογικές φάσεις επιταχύνονται υπό πίεση αλατότητας στο σιτάρι. Η ανάπτυξη της ακίδας επιταχύνεται, μειώνοντας τον χρόνο μέχρι τον τερματισμό των σταχύων και τον κύκλο της καλλιέργειας. Η τοξικότητα που προκαλείται στο φυτό από την καταπόνηση της αλατότητας γίνεται ιδιαίτερα εμφανής μετά την άνθηση. Χαρακτηρίζεται από την πρόωμη γήρανση και το χαμηλό βάρος του πυρήνα, καθώς και από την αποβολή περιφερικών σταχύων (Acevedo & et.al., 2002).

3.3 ΕΛΑΦΙΚΟ pH

Το σιτάρι συνήθως αποτελεί καλλιέργεια σε κλιματικά εύκρατη περιοχή και καλλιεργείται σε μεγάλο βαθμό σε ρηχά, μη αρδευόμενα εδάφη. Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται το φαινόμενο μετατόπισης αυτών των πεδίων από έντονα αναερόβιες συνθήκες σε υγρές περιόδους, με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζουν σημαντικές διακυμάνσεις στις συνθήκες οξειδοαναγωγής του εδάφους και του pH (Cottes & et.al., 2020). Το σιτάρι αναπτύσσεται ορθότερα όταν το pH του εδάφους είναι μεταξύ τιμών 6,0 και 7,0. Η καλλιέργεια του σίτου σε pH κάτω του 6,0 συχνά φέρει επιπτώσεις όπως ανεπάρκεια μαγνησίου, βραδύτερη ανοργανοποίηση του αζώτου, μειωμένη διαθεσιμότητα φωσφόρου και αυξάνει τη πιθανότητα τοξικότητας από αλουμίνιο και μαγγάνιο, το οποίο μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς τις ρίζες ανάπτυξης. Όταν το σιτάρι καλλιεργείται σε εδάφη που παρουσιάζουν pH άνω από 7,0 είναι πιθανό να εμφανιστεί ανεπάρκεια μαγγανίου. Η γη με σιτάρι είναι απαραίτητο να ασβεστωθεί όταν το pH του εδάφους είναι στην τιμή 6,5. Για τον προσδιορισμό του pH του εδάφους προτείνεται να συλλέγονται αντιπροσωπευτικά δείγματα από διαφορετικές περιοχές μέσα σε ένα χωράφι, τόσο από την επιφάνεια του εδάφους όσο και από βάθος εδάφους 10-20 cm και 20-30 cm (Vitosh, 1994).

3.4 ΛΙΠΑΝΣΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Το άζωτο (N) αποτελεί το πιο περιοριστικό θρεπτικό συστατικό για την καλλιέργεια του σιταριού. Η μη επαρκής παροχή αζώτου (N) μειώνει σημαντικά την απόδοση και το κέρδος της παραγωγής. Από την άλλη πλευρά όμως, η μειωμένη ποσότητα αζώτου (N) μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένες αποδόσεις και μειωμένα κέρδη. Οι πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο της οργανικής ύλης, την υφή του εδάφους και τον στόχο απόδοσης της καλλιέργειας χρησιμοποιούνται για την επιλογή της βέλτιστης ποσότητας αζωτούχου λιπάσματος που θα εφαρμοστεί (Vitosh, 1994).

Η ποιότητα του σκληρού σιταριού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα της πρωτεΐνης που διαθέτει ο κόκκος, η οποία εξαρτάται με τη σειρά της από τους γονότυπους και επηρεάζεται από το περιβάλλον και ιδιαίτερα από τη διαθεσιμότητα του εδαφικού αζώτου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διαχείριση της αζωτούχου λίπανσης να οδηγεί στην αύξηση της περιεκτικότητας της πρωτεΐνης του σίτου, καθώς και άλλων συναφών ποιοτικών χαρακτηριστικών (Gerba & et.al., 2013).

Το άζωτο (N) έχει καθοριστικό ζωτικό ρόλο στις διαδικασίες ανάπτυξης, καθώς αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της χλωροφύλλης, της πρωτεΐνης και του νουκλεϊκού οξέος και θεωρείται ως το κεντρικό στοιχείο εξαιτίας του ρόλου του στη σύνθεση ουσιών. Το άζωτο αποτελεί το 1,5% έως 5% του ξηρού βάρους του ανώτερου φυτού (Malghani & et.al., 2010). Περίοδοι ανά των κανονικών βροχοπτώσεων τον Απρίλιο και το Μάιο ευνοούν τις διαχωρισμένες εφαρμογές λόγω της απώλειας αζώτου από την έκπλυση και την απονιτροποίηση. Σημαντικό μειονέκτημα του διαχωρισμού της αζωτούχου εφαρμογής είναι οι ξηρές οι συνθήκες που είναι πιθανό να επικρατούν μετά την τελευταία εφαρμογή και οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μη ορθή χρήση του αζώτου. Ακόμα ένα πρόβλημα της διαχωρισμένης αζωτούχου λίπανσης αποτελούν οι συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος, οι οποίες μπορούν να καθυστερήσουν σε σημαντικό βαθμό ή να αποτρέψουν τη δεύτερη εφαρμογή. Όλες οι πηγές αζωτούχων λιπασμάτων είναι ισοδύναμες αν εφαρμοστούν κατάλληλα. Εφαρμογές λιπασμάτων οι οποίες συνήθως παρουσιάζουν ίσα αποτελέσματα στις αρχές της άνοιξης είναι νιτρικού αμμωνίου (33% N), ουρίας (46% N), θεικού αμμωνίου (21% N) και διαλυμάτων ουρίας – νιτρικού αμμωνίου (28% N).

Εφαρμογές με νιτρικό αμμώνιο και θεικό αμμώνιο καθώς και προτεινόμενες πηγές αζώτου για δεύτερη εφαρμογή λίγο πριν την επιμήκυνση του στελέχους είναι κατάλληλες εφόσον οι συνθήκες που επικρατούν είναι ζεστές και ξηρές. Οι εφαρμογές ουρίας και διαλυμάτων ουρίας – νιτρικού αμμωνίου που πραγματοποιούνται σε θερμές και ξηρές συνθήκες είναι πιθανό να οδηγήσουν σε κάποια απώλεια λόγω της εξάτμισης αμμωνίας. Η χρήση διαλυμάτων ουρίας – νιτρικού αμμωνίου μετά το πρασίνισμα απαιτεί προσοχή στη ποσότητα αζώτου, η οποία δεν θα πρέπει να υπερβαίνει 36kg N/στρ., για την αποφυγή του υπερβολικού καψίματος των φυλλωμάτων.

Η χρήση άνυδρης αμμωνίας στέφθηκε με επιτυχία όταν εφαρμόστηκε το φθινόπωρο σε βάθος 38cm πριν από την φύτευση της καλλιέργειας. Η αυξημένη ποσότητα αζώτου το φθινόπωρο μπορεί να φέρει ως αποτέλεσμα την υπερβολική ανάπτυξη και την αυξημένη ασθένεια. Οι θερμές εδαφικές συνθήκες ύστερα από την εφαρμογή μπορεί να καταλήξουν στην ταχεία μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό άζωτο, το οποίο μπορεί να χαθεί με έκπλυση ή απονιτροποίηση πριν από την απορρόφηση του από την καλλιέργεια (Vitosh, 1994).

Ο φώσφορος (P) διεγείρει την άνθηση και τον σχηματισμό σπόρων. Η έλλειψη του φωσφόρου σχετίζεται άμεσα με το βάρος των χιλίων κόκκων.

Το κάλιο (K) είναι στοιχείο σημαντικής σημασίας λόγω του ζωντανού του ρόλου στις βιοχημικές λειτουργίες του φυτού όπως η ενεργοποίηση διαφόρων ενζύμων, η βελτίωση της

συγκέντρωσης πρωτεϊνών και υδατανθράκων, η ανοχή στην λειψυδρία και η αντοχή στην αποθήκευση, τον παγετό, την προσβολή παρασίτων και ασθενειών (Malghani & et.al., 2010). Ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K) χρησιμοποιούνται με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα όταν τοποθετούνται σε μικρή απόσταση από τον σπόρο κατά την φύτευση (Vitosh, 1994). Η συνδυασμένη εφαρμογή λιπασμάτων NPK φέρει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή του σιταριού. Η χρήση NPK σε σταθερές ποσότητες και στον κατάλληλο χρόνο παρουσιάζει μεγάλη απήχηση στην απόδοση της καλλιέργειας (Malghani & et.al., 2010).

Το άζωτο (N) και ο φώσφορος (P) είναι δυνατό να τροποποιήσουν την επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη του σιταριού. Η λίπανση με τη χρήση αζώτου και φωσφόρου μειώνει εν μέρει σε ποσοστό την επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη και στην απόδοση του σίτου. Το άζωτο και ο φώσφορος που εφαρμόζονται στο νερό της άρδευσης από τη σπορά μέχρι και το τέλος των σταδίων της βλαστικής και της αναπαραγωγικής ανάπτυξης είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των φυτών όπως αυτή μετρήθηκε με την απόδοση σε άχυρο και κόκκο. Οι επεξεργασίες λίπανσης παρουσιάζουν διαφορετικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών, την απόδοση των κόκκων, την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες τόσο των φύλλων όσο και των κόκκων, καθώς και την περιεκτικότητα NO_3 των φύλλων. Η εφαρμογή των λιπασμάτων αζώτου και φωσφόρου στο τέλος του σταδίου πλήρωσης των κόκκων έχει ως αποτέλεσμα τις υψηλότερες αποδόσεις σε κόκκο, το υψηλότερο βάρος κόκκου και το υψηλότερο ποσοστό πρωτεϊνικής περιεκτικότητας στους κόκκους, καθώς και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε NO_3 στο φύλλο σημαία. Η χρήση των δύο αυτών λιπασμάτων στον τέλος της αναπαραγωγικής περιόδου δεν έχει αντίκτυπο στη μειωμένη παραγωγή της καλλιέργειας. Σε οποιοδήποτε επίπεδο αλατότητας η αύξηση της διάρκειας λίπανσης με άζωτο και φώσφορο αυξάνει την περιεκτικότητα σε NO_3 του φύλλου σημαίας.

Η παράταση της αζωτούχου λίπανσης οδηγεί στο γεγονός της αύξησης της διαλυτής πρωτεΐνης των φύλλων, η οποία αντιστοιχεί σε αύξηση της περιεκτικότητας της πρωτεΐνης των κόκκων. Η παράταση της φωσφορικής λίπανσης έως την ολοκλήρωση του σταδίου πλήρωσης των κόκκων από τη μια πλευρά μειώνει το ποσοστό της πρωτεΐνης που είναι διαθέσιμη στο φύλλο σημαία αλλά από την άλλη πλευρά αυξάνει το ποσοστό πρωτεΐνης στους κόκκους.

Η ανοχή του σιταριού στην αλατότητα αυξάνεται, καθώς αναπτύσσεται το φυτό. Οι Soliman και Elkeiy (1992) απέδειξαν πως η λίπανση με άζωτο και φώσφορο υπό αλατούχες συνθήκες εδάφους αύξησε τις αποδόσεις σε κόκκους και προξένησε μια ταυτόχρονη αύξηση στην περιεκτικότητα νατρίου (Na), ασβεστίου (Ca) και χλωρίου (Cl) των φύλλων (SOLIMAN & et.al., 1994).

Η δειγματοληψία για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων σε ασβέστη, φώσφορο , κάλιο και άλλων δευτερευόντων μικροθρεπτικών στοιχείων πραγματοποιείται σε βάθος εδάφους από 23cm έως 25,5cm και τα στοιχεία αυτά εφαρμόζονται πριν από την φύτευση. Η εφαρμογή αυτών των θρεπτικών στοιχείων γίνεται σε συνδυασμό με 4,5kg έως 11kg N/στρ. που απαιτούνται για το στάδιο της εγκατάστασης και την αρχική ανάπτυξη των φυτών την περίοδο του φθινοπώρου.

Τα δευτερεύοντα μικροθρεπτικά στοιχεία είναι αναγκαία για τη βέλτιστη ανάπτυξη του σιταριού. Τα καλά ασβεστούχα εδάφη αποτελούνται συνήθως από επαρκή ποσότητα ασβεστίου, μαγνησίου και θείου. Η έλλειψη μαγγανίου (Mn) παρουσιάζεται σε οργανικά εδάφη και σε λιμνώδη εδάφη που έχουν υψηλές τιμές Ph. Η αποτελεσματικότερη πηγή μαγγανίου είναι το θειικό μαγγάνιο και η εφαρμογή του λιπάσματος μαγγανίου πραγματοποιείται σε άμεση επαφή με τον σπόρο για να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοση (Vitosh, 1994).

3.5 ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Το σιτάρι είναι μια σημαντική καλλιέργεια της οικογένειας των δημητριακών και είναι προσαρμοσμένο σε ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών. Ωστόσο σε άνυδρες και ημίξηρες περιοχές, η απόδοση του περιορίζεται σε σημαντικό βαθμό από το έλλειμα νερού. Η άρδευση είναι μια από τις πιο σημαντικές εισροές που ελέγχουν την παραγωγικότητα της καλλιέργειας του σιταριού. Από την άλλη πλευρά όμως η ακατάλληλη εφαρμογή του νερού άρδευσης είναι πιθανό να θεωρηθεί επιζήμια για την παραγωγικότητα και τα επίπεδα απόδοσης. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η ορθή χρήση του νερού άρδευσης για την βιώσιμη παραγωγικότητα και την αυξημένη αποδοτικότητα του σιταριού.

Η ανάγκη και ο αριθμός των αρδεύσεων που είναι χρήσιμοι για την καλλιέργεια καθορίζεται από :

- τον αριθμό των βροχοπτώσεων
- την ποικιλία του σιταριού
- τον τύπο του εδάφους (τα αμμώδη εδάφη χρειάζονται μεγαλύτερο αριθμό αρδεύσεων με λιγότερη ποσότητα νερού)
- την επικρατούσα θερμοκρασία
- τη διαθεσιμότητα του νερού στο σύστημα άρδευσης και στο έδαφος

Σε συνθήκες λειψυδρίας η άρδευση είναι πιθανό να πραγματοποιηθεί στο 45% της μέγιστης επιτρεπόμενης εξάντλησης του διαθέσιμου νερού για τα μη κρίσιμα στάδια ανάπτυξης του σίτου σε αργιλοαμμώδη εδάφη σε υποτροπικές περιοχές με στόχο τη μεγαλύτερη απόδοση παραγωγής σε κόκκο και ξηρή ύλη όπως και τη μέγιστη αποδοτικότητα χρήσης νερού στο χωράφι. Η προγραμματισμένη άρδευση με την κατάλληλη και αναγκαία ποσότητα νερού που απαιτείται κατά τα ευαίσθητα στην υγρασία στάδια της ανθοφορίας και του σχηματισμού σπόρων , καθώς και η ελάχιστη υδατική καταπόνηση στα στάδια της βλαστικής ωριμότητας παρουσιάζει τη βέλτιστη απόδοση με μέγιστη αποδοτικότητα χρήσης νερού και οικονομίας νερού στις περισσότερες καλλιέργειες.

Η ημερήσια ανάγκη του σιταριού για νερό είναι μηδαμινή από το φύτευμα του φυτού έως και το στάδιο του αδελφώματος. Η πορεία της υδατοκατανάλωσης αυξάνεται κατά τα στάδια της βλαστικής περιόδου και κορυφώνεται κοντά στο στάδιο της ανθοφορίας. Η σημαντικότερη απαίτηση του φυτού σε νερό βασίζεται από τις συνθήκες στις οποίες βρίσκεται η καλλιέργεια. Σε συνθήκες λειψυδρίας η μέγιστη ποσότητα νερού είναι περίπου 3 mm/ημέρα, ενώ σε αρδευόμενες συνθήκες ανέρχεται σε 8-9 mm/ημέρα. Η καθολική ετήσια κατανάλωση νερού για την καλλιέργεια του σιταριού ανέρχεται σε 400 mm για ξηρικές καλλιέργειες και μεσογειακό περιβάλλον και είναι πιθανό να φτάσει στις διπλάσιες απαιτήσεις υπό αρδευόμενες συνθήκες (Alderfasi & Nielsen, 2001).

Στα στάδια του ανάπτυξης του καλαμώματος και στην αρχή της διόγκωσης του κολεού του τελευταίου φύλλου, η μη επαρκής ποσότητα νερού δημιουργεί ελάττωση στον αριθμό των σταχυδίων. Η έλλειψη νερού πριν από το στάδιο της ανθοφορίας προκαλεί μείωση στην παραγωγή ζωτικών γυρεόκοκκων, ενώ η έλλειψη νερού κατά την άνθηση μειώνει την αποτελεσματικότητα της επικονίασης του φυτού. Η μεγάλη διάρκεια λειψυδρία κατά το γέμισμα των κόκκων έχει ως αποτέλεσμα το μειωμένο βάρος των καρπών και την αύξηση της συχνότητας των συρρικνωμένων καρπών εξαιτίας της λιγοστής παραγωγής φωτοσυνθετικών ουσιών. Η σημαντικότερη φάση κατά την οποία η απαιτούμενη ποσότητα νερού είναι αναγκαία να προσλαμβάνεται από το φυτό είναι 5-15 ημέρες πριν από τη διαδικασία του ξεσταχυάσματος , καθώς με τον τρόπο αυτό μειώνεται σημαντικά ο αριθμός των καρπών που παράγεται ανά στάχυ. Επίσης στη φάση αυτή τα φυτά παρουσιάζουν το μάξιμουμ των απαιτήσεων τους σε νερό, λόγω της μεγάλης ανάπτυξης του φυλλώματος και της αυξημένης εξατμισοδιαπνοής της ατμόσφαιρας. Τέλος η έλλειψη νερού κατά το στάδιο του αδελφώματος μειώνει τον αριθμό των αδελφιών που σχηματίζονται και φέρει αρνητικές επιπτώσεις στην τελική απόδοση της καλλιέργειας.

Η άρδευση του χωραφιού πριν από τη σπορά της καλλιέργειας του σιταριού εξασφαλίζει την υδατοϊκανότητα του εδάφους σε βάθος έως 100 cm προάγει ποικίλες ωφέλιμες επιδράσεις. Συνεισφέρει στην σωστή εγκατάσταση της καλλιέργειας και την πρώτη ανάπτυξή της και σε συνάρτηση με τις βροχοπτώσεις που πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια του χειμώνα εφοδιάζει τα εδάφη με νερό μέχρι το επίπεδο του ξεσταχυάσματος. Η δεύτερη άρδευση πρέπει να πραγματοποιείται 10-15 ημέρες πριν από το ξεστάχυασμα για την διασφάλιση επαρκούς ποσότητας νερού κατά το κρίσιμο αυτό στάδιο , καθώς μια τρίτη άρδευση μπορεί να λάβει μέρος στα πρώτα στάδια του γεμίσματος.

Βασική προϋπόθεση για την μεγαλύτερη και καλύτερη απόδοση της παραγωγής αποτελεί η εξασφάλιση 400 mm νερού κατά την καλλιεργητική περίοδο του σιταριού με βροχή ή με άρδευση. Από την ολική αυτή ποσότητα του νερού που απαιτείται τα 200-250 mm θα πρέπει να εφαρμοστούν έπειτα από το μέσο του σταδίου του αδελφώματος. Η άρδευση του σιταριού πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο με καταιονισμό (τεχνητή βροχή), διότι οι πυκνές αποστάσεις των φυτών μεταξύ των γραμμών δυσκολεύουν το άνοιγμα αυλακιών (Καραμάνος, 2008).

3.6 ΚΛΙΜΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Διάφοροι κλιματικοί παράγοντες επηρεάζουν την γεωργία μεταξύ των οποίων είναι και η θερμοκρασία, η οποία αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα διότι η υψηλή θερμοκρασία επιδρά στην ανάπτυξη και την απόδοση πολλών καλλιεργειών. Η καταπόνηση από την υψηλή θερμοκρασία είναι ένας ουσιαστικός περιοριστικός παράγοντας απόδοσης τόσο στην καλλιέργεια του ανοιξιάτικου όσο και στην καλλιέργεια του χειμερινού σιταριού στις περισσότερες περιοχές του κόσμου. Οι αποκρίσεις του σίτου στη θερμοκρασία διαφέρουν ανάλογα με την ποικιλία και το φαινολογικό στάδιο της εκάστοτε καλλιέργειας. Τα φαινολογικά στάδια και η απόδοση του σιταριού ποικίλουν και ως προς την ευαισθησία που αναπτύσσουν στις μέγιστες και στις ελάχιστες θερμοκρασίες (KUMAR & et.al., 2015).

Η θερμοκρασία ασκεί επιρροή στη φαινολογία των καλλιεργειών και κάθε είδος παρουσιάζει μια συγκεκριμένη ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας ή βασική θερμοκρασία, μια βέλτιστη τιμή θερμοκρασίας και ένα ανώτατο όριο θερμοκρασίας. Οι αυξήσεις της θερμοκρασίας πάνω από τη βέλτιστη αυτή τιμή έχουν δείξει αρνητικό αντίκτυπο στην απόδοση σιταριού με προβλεπόμενη μείωση της απόδοσης κατά 5,3% και 6% ανά αύξηση 1°C (Hatfield & Dold, 2018).

Η έναρξη βλάστησης του σίτου απαιτεί θερμοκρασία 4°C με βέλτιστο εύρος θερμοκρασίας 12°C και 25°C. Η βλάστηση του φυτού επιταχύνεται όταν η επικρατούσα θερμοκρασία είναι γύρω στους 18°C–20°C. Η βλαστική ανάπτυξη σταματάει όταν η τιμή της θερμοκρασίας πέσει κάτω από 5°C, ενώ μια ημερήσια θερμοκρασία 15°C – 22°C απαιτείται για τη βέλτιστη ανάπτυξη και το αδέλφωμα.

Το σιτάρι είναι γνωστό ότι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στο θερμικό στρες κατά τα στάδια αναπαραγωγής, ειδικά κατά την άνθηση (HLAVACOVA & et.al., 2017). Η θερμική εξάντληση κατά την αναπαραγωγική περίοδο μπορεί να οδηγήσει σε στειρότητα, χαμηλότερη αφομοίωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και αυξημένη φωτοαναπνοή, με αποτέλεσμα την μειωμένη απόδοση (KUMAR & et.al., 2015). Οι θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 30°C κατά την ανθοφορία μπορεί να καταλήξουν σε μείωση του μεγέθους των κόκκων ή στην πλήρη στειρότητά τους (HLAVACOVA & et.al., 2017). Η ελάχιστη θερμοκρασία που απαιτείται κατά την διάρκεια της άνθησης είναι 4°C – 6°C, ενώ η μέγιστη 19°C – 22°C.

Οι υψηλές θερμοκρασίες περιορίζουν σοβαρά την απόδοση του σιταριού. Επιταχύνουν την ανάπτυξη των φυτών και επηρεάζουν σημαντικά τα ανθικά όργανα, τον σχηματισμό καρπών και τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες φέρουν αρνητικές επιδράσεις στο μεγαλύτερο ποσοστό των καλλιεργούμενων φυτών μειώνοντας την παραγωγή τους περίπου στους 12°C. Ο κορεσμός του φωτός σε χαμηλότερους ρυθμούς φωτοσύνθεσης και η φωτοαναστολή αποτελούν σύνθετες φαινόμενα σε συνθήκες με χαμηλών θερμοκρασιών. Η μεγάλης διάρκειας έκθεση στον φως υπό χαμηλές θερμοκρασίες πιθανό να δημιουργήσει σοβαρή και μη αναστρέψιμη φωτοαναστολή, η οποία ακολουθείται από καταστροφή της χλωροφύλλης από φωτοξείδωση και καταληκτικά τον θάνατο του ιστού. Ακόμα η εξαγωγή άνθρακα (C) από τα φύλλα ελαττώνεται και συσσωρεύονται υδατάνθρακες. Η σημαντικότερη βλάβη που δημιουργείται στο φυτό του σιταριού από την επίδραση του κρύου σε αυτό είναι η μείωση της φωτοσύνθεσης.

Οι ήπιοι παγετοί δεν επηρεάζουν συνήθως το πράσινο μέρος των φυτών, σε αντίθεση με τους δυνατούς παγετούς οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν τη νέκρωση των φύλλων καθώς μέχρι και το θάνατο των φυτών. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανάπτυξη των φυτών κατά τη διάρκεια των σοβαρών χαμηλών θερμοκρασιών τόσο πιο ευαίσθητα είναι τα φυτά απέναντι στο κρύο, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη επίδραση στην απόδοσή τους.

Το φαινόμενο του παγετού μπορεί να δημιουργήσει σημαντική βλάβη στην καλλιέργεια μεταξύ του σταδίου ανάδυσης του φύλλου σημαίας και δέκα ημέρες μετά την άνθηση του φυτού. Η βλάβη παρουσιάζεται ως ακανόνιστη εμφάνιση απόβλητων σταχτών στη βάση, στο κέντρο ή στην άκρη των ακίδων. Επιπλέον εμφανίζεται ως στείρα άνθη σε μέρη ολόκληρης

της ακίδας, γεγονός το οποίο στηρίζεται στην αρχική υπέρψυξη των φυτικών ιστών και σε μια επακόλουθη εξάπλωση αυτής της δυνατής ψύξης μέσω του μίσχου και των ωτιδίων του φυτού. Η ζημία σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης λαμβάνει μέρος σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κάτω από τους 0°C και σε θερμοκρασίες ιστού περίπου στους -4°C.

3.7 ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Η εμφάνιση μιας ασθένειας μέσα στην καλλιέργεια απαιτεί τρία κύρια στοιχεία τα οποία είναι ο ευαίσθητος ξενιστής, το παθογόνο και το ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη της ασθένειας. Μια οποιαδήποτε μετατροπή σε κάποιον από αυτούς τους κύριους όρους είναι δυνατόν να επηρεάσει την εμφάνιση της νόσου.

3.7.1 ΦΟΥΖΑΡΙΟ (*Fusarium* spp.)

Η ασθένεια φουζάριο (*Fusarium* spp.), η οποία ονομάζεται και ψώρα αποτελεί την πιο σημαντική προσβολή παθογόνου στη καλλιέργεια του σιταριού. Ο κίνδυνος της προσβολής από την συγκεκριμένη ασθένεια δεν μπορεί να εξαλειφθεί ολικά αλλά με τη γνώση, τη χρήση βελτιωμένων ποικιλιών σπόρων και τις κατάλληλες εφαρμογές μυκητοκτόνων μπορεί να αποφευχθεί ο κίνδυνος της μειωμένης απόδοσης παραγωγής και των μεγάλων οικονομικών ζημιών που δημιουργεί η νόσος. Οι ποικιλίες σιταριού διαφέρουν σημαντικά ως προς την ευαισθησία που διαθέτουν απέναντι στη ψώρα. Η συγκεκριμένη αρρώστια έχει τη δυνατότητα παραγωγής μιας μυκοτοξίνης, που ονομάζεται δεοξυνιβαλενόλη, στους μολυσμένους σπόρους του σίτου. Τα προσβεβλημένα στάχυα αποκτούν μερική ή ολική λεύκανση και ξήρανση, οι σπόροι είναι συρρικνωμένοι, ελαφριοί και συχνά παρουσιάζουν λευκή ή ροζ απόχρωση, ενώ στο στέλεχος του φυτού εμφανίζονται καφέ κηλίδες και πιθανό πλάγιασμα των φυτών. Οι σπόροι μπορεί να έχουν λίγα έως και καθόλου ορατά συμπτώματα της ασθένειας και να εξακολουθούν να περιέχουν το παθογόνο και ένα σημαντικό ποσοστό της μυκοτοξίνης.



ΕΙΚΟΝΑ 8: ΑΣΘΕΝΕΙΑ ΦΟΥΖΑΡΙΟΥ

Πηγή: <https://syngeta.n.d.>

Τον σημαντικότερο ρόλο για την εμφάνιση της ασθένειας τον έχει το περιβάλλον. Οι υγρές συνθήκες και οι σχετικά μέτριες θερμοκρασίες που επικρατούν το χρονικό διάστημα τόσο λίγες ημέρες πριν όσο και κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας είναι ωφέλιμες για την ανάπτυξη του παθογόνου. Οι υγρές συνθήκες κατά τη διάρκεια του σταδίου πλήρωσης των σιτηρών ευνοούν την ανάπτυξη ασθενειών και την παραγωγή μυκοτοξίνης.

Το φουζάριο παραμένει στο έδαφος στα υπολείμματα της προηγούμενης μολυσμένης καλλιέργειας, στα ζιζάνια ή και στον σπόρο. Η χρήση άροσης για την ενσωμάτωση των υπολειμμάτων από αυτές τις καλλιέργειες μειώνει την ποσότητα του παθογόνου που δημιουργείται στο χωράφι. (Chilvers & et.al.).

3.7.2 ΩΙΔΙΟ (*Erysiphe graminis*)

Η ασθένεια μεταδίδεται με αγενή ή εγγενή σπόρια, τα οποία προσβάλλουν τα υπέργεια όργανα του φυτού και κυρίως τα φύλλα καθώς άμα οι συνθήκες που επικρατούν είναι ευνοϊκές μπορούν να εξαπλωθούν έως και το φύλλο σημαία, ενώ δημιουργούν και κηλίδες από το χαρακτηριστικό άσπρο μυκήλιο. Αρχικά παράγονται αγενή σπόρια και στη συνέχεια τα μαύρα κλειστοθήκια του μύκητα τα οποία παραμένουν στα υπολείμματα της καλλιέργειας. Η νόσος αναπτύσσεται υπό χαμηλές θερμοκρασίες (15°C-22°C) και σχετικά υψηλές συνθήκες υγρασίας με ποσοστό πάνω από 85%. Η προσβολή του παθογόνου μειώνει τη φωτοσύνθεση, με αποτέλεσμα το μειωμένο αριθμό και βάρος καρπών ανά στάχυ και ως εκ τούτου αυξάνει τις απώλειες της απόδοσης (Chilvers & et.al.).



ΕΙΚΟΝΑ 9: ΜΟΛΥΝΣΗ ΩΙΔΙΟΥ

Πηγή: [https://novagreen, n.d.](https://novagreen.n.d.)

3.7.3 ΣΕΠΤΟΡΙΑ (*Septoria tritici*)

Η ασθένεια της σεπτόρια εμφανίζεται για πρώτη φορά στις αρχές της άνοιξης από πολύ νωρίς, πιθανός ακόμα και από το φύτευμα στα νεαρά φύλλα ως μικρές κίτρινες νεκρωτικές κηλίδες στα κάτω φύλλα. Ο μύκητας διαστέλλεται για να δημιουργήσει μαύρες έως καφέ χρώματος βλάβες που περιέχουν μαύρες νεκρωτικές κηλίδες (πυκνίδια) στα φύλλα και στους βλαστούς, τα οποία σχηματίζονται από τη νέκρωση των προσβεβλημένων από τη νόσο κυττάρων. Η ασθένεια προτιμάει τις υγρές και ψυχρές θερμοκρασίες (10°C-20°C) (Chilvers & et.al.).



ΕΙΚΟΝΑ 10: ΦΥΛΛΟ ΜΕ *Septoria tritici*

Πηγή: [https://syngeta, n.d.](https://syngeta.n.d.)

3.7.4 ΣΕΠΤΟΡΙΑ (*Septoria nodorum*)

Η προσβολή από τον μύκητα αρχικά ξεκινάει από τα πρώτα φύλλα και εξαπλώνεται προς τα επάνω. Η ασθένεια δημιουργεί μικρές σχήματος οβάλ κηλίδες, οι οποίες εξελίσσονται σε νεκρωτικές όπως και η αρχική προσβολή του στάχewος μετατρέπεται σε καφέ απόχρωση. Η προσβολή του σιταριού επιτυγχάνεται στο τέλος της άνοιξης όπου επικρατούν ευνοϊκές υψηλές θερμοκρασίες (20°C-27°C) και υγρές συνθήκες (Chilvers & et.al.).



ΕΙΚΟΝΑ 11: ΑΣΘΕΝΕΙΑ *Septoria nodorum*

Πηγή: <https://syngeta.com>, n.d.)

3.7.5 ΜΑΥΡΗ ΣΚΩΡΙΑΣΗ (*Puccinia graminis*)

Η ανάπτυξη της νόσου καθυστερεί έως ότου εμφανιστεί το φύλλο σημαία. Οι μολύνσεις που δημιουργούνται είναι κοκκινωπές φλύκταινες στην επάνω επιφάνεια των φύλλων, στο στέλεχος αλλά και σε όλα τα άλλα όργανα. Η ασθένεια ευνοείται από τον υγρό καιρό και την υγρασία που υπάρχει στην επιφάνεια των φύλλων, καθώς και θερμοκρασίες μεταξύ των τιμών 15,5°C-26.5°C. Σε ευνοϊκές συνθήκες εξάπλωσης της ασθένειας μπορεί να καταστραφεί το 85%-90% της παραγωγής (Chilvers & et.al.).

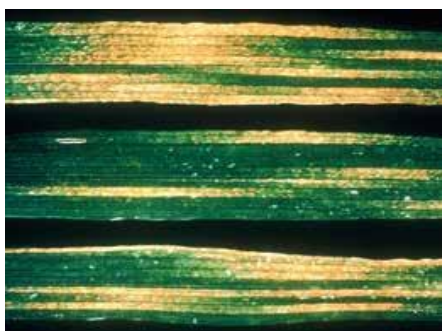


ΕΙΚΟΝΑ 12: ΜΟΛΥΝΣΗ ΜΕ ΜΑΥΡΗ ΣΚΩΡΙΑΣΗ

Πηγή: <https://gaia-pedia.com>, n.d.)

3.7.6 ΚΙΤΡΙΝΗ ΣΚΩΡΙΑΣΗ (*Puccinia striiformis*)

Η προσβολή από τον μύκητα δημιουργεί λωρίδες στο μολυσμένα φύλλα, τα οποία καλύπτονται από κίτρινου χρώματος ραβδώσεις παράλληλα με τα νεύρα του φύλλου. Στο σπόρο είναι πιθανό να παρουσιαστούν εστίες μυκηλίου, ενώ η εμφάνιση του μπορεί να πραγματοποιηθεί σε σχετικά νεαρό στάδιο έως το τέλος του αδελφώματος (Chilvers & et.al.).



ΕΙΚΟΝΑ 13: ΦΥΛΛΑ ΜΕ ΚΙΤΡΙΝΗ ΣΚΩΡΙΑΣΗ

Πηγή: <https://syngeta.com>, n.d.)

3.8 ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Τα έντομα δεν αποτελούν κατά κύριο λόγο σοβαρό πρόβλημα για την καλλιέργεια του σιταριού. Οι επιπτώσεις από μια πιθανή προσβολή είναι πιθανό να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και να πραγματοποιούνται σε διαφορετικό χρονικό διάστημα, ενώ ακόμη και οι ποικιλίες του σιταριού έχουν ιδιαίτερο ρόλο στην ευαισθησία της προσβολής. Η μονοκαλλιέργεια του σιταριού θα μπορούσε να βοηθήσει στην ανάπτυξη ενός μεγαλύτερου και πιο επικίνδυνου πληθυσμού εντόμων. Μεταξύ των παρασίτων που προσβάλλουν την καλλιέργεια του σιταριού είναι οι αφίδες και η μύγα Hessian.

3.8.1 ΑΦΙΔΑ

Οι αφίδες συνήθως εμφανίζονται για αρχή στην καλλιέργεια του σιταριού στα τέλη Απριλίου ή στις αρχές Μαΐου. Το σώμα της αφίδας έχει μέγεθος ίσο με την κεφαλή μιας καρφίτσας και είναι πράσινου χρώματος. Αυτός ο εχθρός προσβάλλει όλα τα υπέργεια όργανα του σιταριού, καθώς τρέφεται απομυζώντας χυμούς από τα φλοιώδη κύτταρα του φυτού. Μια μεγάλου μεγέθους βλάβη μπορεί να καταπονήσει τα φυτά αφαιρώντας νερό και θρεπτικά στοιχεία. Η αφίδα δημιουργεί σημαντικές ζημιές όταν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν είναι ευνοϊκές και θερμοκρασίες κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα, διότι δεν μπορεί να επιβιώσει σε χαμηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα το χειμώνα η μετάδοση της να είναι σε πολύ μικρό βαθμό και να απαιτεί εκ νέου αποίκηση την άνοιξη (Difonzo).



ΕΙΚΟΝΑ 14: ΑΦΙΔΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Πηγή: [https://GAIApedia, n.d.](https://GAIApedia.com)

3.8.2 ΜΥΓΑ HESSIAN

Η μύγα Hessian ανήκει στην οικογένεια των εντόμων Diptera : Cecidomyiidae και αποτελεί σημαντική απειλή κυρίως για την καλλιέργεια του σιταριού αν και μπορεί να είναι επιβλαβής και για άλλα φυτά της οικογένειας των δημητριακών. Οι ενήλικες μύγες παρομοιάζονται με μικρά κουνούπια, έχουν γκρι χρώμα και μυτερή κοιλιά. Η θηλυκή μύγα φέρει κόκκινο χρώμα στην περιοχή της κοιλιάς της εξαιτίας της παρουσίας κόκκινων αυγών. Η βλάβη στα φυτά δημιουργείται λόγω του ότι οι προνύμφες τρέφονται από τα φύλλα κοντά στους κόμβους, πιέζουν τα στοματικά τους μέρη στο φυτό εγχέοντας το σάλιο τους προκαλώντας τον ιστό να απελευθερώσει.



ΕΙΚΟΝΑ 15: ΜΥΓΑ HESSIAN

Πηγή: (<https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1923/2009/html/view>, n.d.)

Η προσβολή μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βλάβη στα φυτά , διότι οι τοξίνες του σάλιου που απελευθερώνουν κατά τη διαδικασία της σίτισης παρεμποδίζουν τη φυσιολογική ανάπτυξη του σιταριού. Τα σπορόφυτα που προσβάλλονται σε αρχικό στάδιο μπορούν να μέχρη και να θανατωθούν. Το σιτάρι που δέχεται σε μεταγενέστερο στάδιο επίθεση θα αντιμετωπίσει σημαντική καθυστέρηση. Τα φυτά που μολύνθηκαν το φθινόπωρο

παρουσιάζουν πιο σκούρο από το κανονικό τους χρώμα και φέρουν φύλλα με ασυνήθιστα πλατιές λεπίδες. Από την άλλη πλευρά τα φυτά τα οποία μολύνθηκαν κατά τη διάρκεια της άνοιξης αντιμετωπίζουν εξασθένηση στην περιοχή του μίσχου, με αποτέλεσμα να σπάσουν πάνω από τον πρώτο και δεύτερο κόμβο (Foster & Hein, 2009).



ΕΙΚΟΝΑ 16: ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΣΤΟ ΣΙΤΑΡΙ

Πηγή: https://www.youtube.com/watch?v=Hessian_Fly_on_Wheat

3.9 ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Η συγκομιδή του σιταριού αρχίζει όταν η καλλιέργεια φτάσει σε επίπεδο ωριμότητας. Γενικά στην οικογένεια των δημητριακών όταν μια καλλιέργεια έρθει στη φυσιολογική ωριμότητα για τα δικά της δεδομένα και η υγρασία φτάσει περίπου στο 20%, τότε η καλλιέργεια επιτρέπεται να συγκομιστεί (Metz, 2006).

Υπάρχουν δύο δείκτες που μαρτυρούν αν έχει φτάσει η καλλιέργεια στη φυσιολογική ωριμότητά της και αυτοί είναι :

1) Η απώλεια πράσινου στον πυρήνα

Η απώλεια του πράσινου χρώματος από την περιοχή του πυρήνα του φυτού και η εμφάνιση ενός σκούρου χρώματος κατά μήκος της πτυχής. Οι πυρήνες στην ίδια ακίδα θα έρθουν σε επίπεδο φυσιολογικής ωριμότητας σε διαφορετικό χρονικό διάστημα, με τη μέση του κεφαλιού να είναι το πρώτο σημείο ωρίμανσης.

2) Η απώλεια πράσινου από το μεσογονάτιο ή το μίσχο

Το ανώτερο σημείο του μίσχου ακριβώς κάτω από την ακίδα θα αποκτήσει πολύ ανοιχτό πράσινο ή κίτρινο χρώμα κατά τη φυσιολογική ωριμότητα του φυτού. Εκείνη τη στιγμή η μεταφορά του νερού και των θρεπτικών στοιχείων έχει τερματίσει και η καλλιέργεια έχει φτάσει στο μέγιστο γέμισμα των κόκκων της (Wiersma & Bongard, 2018).

Οι τεχνικές διαχείρισης του συγκομισμένου προϊόντος έχουν πρωταρχικό ρόλο για τον προσδιορισμό της συγκομιδής με βάση τα ποσοστά εργασίας που φέρει το φυτό του σιταριού.

Ένα συγκομισμένο προϊόν με πρόσβαση σε θερμαινόμενο ξηραντήρα αέρα μπορεί να μαζευτεί όταν το ποσοστό υγρασίας που κατέχει είναι περίπου 18%, ένα προϊόν που θα λάβει αεριούχο αποθήκευση μπορεί να συγκομιστεί έχοντας υγρασία περίπου 15%, ενώ ένα συγκομισμένο προϊόν το οποίο δεν θα λάβει κάποια τεχνική διαχείρισης για την αντιμετώπιση της υψηλής υγρασίας θα πρέπει να συγκομιστεί όταν το ποσοστό υγρασίας του θα περιορίζεται κάτω από 12,5%. Γενικά η συγκομιδή της παραγωγής μπορεί να ξεκινήσει μόλις η υγρασία του κόκκου κατέβει κάτω από περίπου 20% (Wiersma & Bongard, 2018).

Τα σιτηρά με υψηλά επίπεδα υγρασίας πρέπει να στεγνωθούν με τεχνητό τρόπο σε ποσοστό υγρασίας 13%-14% για να λάβουν ασφαλή αποθήκευση. Οι παραγωγοί συχνά συγκομίζουν την καλλιέργεια όταν τα σιτηρά είναι ακόμα αρκετά υγρά για να περιορίσουν τις απώλειες συγκομιδής ή εξαιτίας του υγρού καιρού (Wilcke & Hellevang, 2021).

Οι καλλιεργητές έχουν στη διάθεση τους δύο βασικούς τύπους στεγνωτηρίων σιτηρών ως μέσο διαχείρισης της υψηλής υγρασίας των σιτηρών :

1. Στεγνωτήρια που δεν χρησιμοποιούν θερμότητα (ξηραντήρες φυσικού αέρα) ή πολύ λίγη θερμότητα (ξηραντήρες χαμηλής θερμοκρασίας)

Ο αερισμός πραγματοποιείται τη διαβίβαση σχετικά μικρών όγκων αέρα διαμέσων των κόκκων που βρίσκονται σε αποθήκευση. Ο αέρας εισέρχεται μέσω ενός συστήματος αγωγών στην περιοχή αποθήκευσης των κόκκων και πρέπει να περάσει μέσα από αυτούς πριν εξέλθει από τον χώρο. Οι κόκκοι ξηραίνονται με αργούς ρυθμούς από 3 έως 6 εβδομάδες. Μια ζώνη στεγνώματος δημιουργείται κοντά στην επιφάνεια του πατώματος και αργά μεταφέρεται προς το επάνω μέρος του σιλό. Οι κόκκοι που βρίσκονται κάτω από την ζώνη αυτή έρχονται μια σχεδόν ισορροπία με τον αέρα ξήρανσης και πρακτικά είναι αρκετά ξηροί για επιτυχή αποθήκευση. Οι κόκκοι που βρίσκονται στο επάνω μέρος του σιλό διατηρούν την αρχική τους υγρασία μέχρι η ζώνη του αέρα ξήρανσης μετακινηθεί τελείως μέσα στο σιλό αποθήκευσης. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η ροή του αέρα να είναι υψηλή, ώστε οι επάνω κόκκοι να χάσουν την υγρασία τους πριν υποστούν ζημιά και χαλάσουν. Ο κύριος στόχος του αερισμού είναι η αποφυγή της αλλοίωσης των σιτηρών παρέχοντας την δυνατότητα στους κόκκους να διατηρούνται με ασφάλεια μέχρι να στο σημείο όπου μπορούν να αναμειχθούν, να στεγνώσουν ή να υποστούν κάποιο είδος επεξεργασίας ακόμα και έπειτα την κορύφωση της συγκομιδής.

2. Στεγνωτήρια που θερμαίνουν τον αέρα ξήρανσης σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τους 38°C (στεγνωτήρια υψηλής θερμοκρασίας ή υψηλής ταχύτητας)

Η ξήρανση των κόκκων περιλαμβάνει τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων αέρα για την απομάκρυνση της υγρασίας από τους κόκκους της παραγωγής. Μεγάλοι όγκοι αέρα θερμαίνονται σε θερμοκρασίες των 38°C ή και πιο υψηλές. Το χρονικό διάστημα που απαιτεί

το σιτάρι για να ξηραθεί είναι ανάμεσα από λίγες ώρες ή λίγες ημέρες. Η ξήρανση συγκροτεί την πιο ακριβή τεχνική διαχείρισης των υψηλών επιπέδων υγρασίας που φέρουν οι κόκκοι της παραγωγής του σιταριού, όμως παρέχει τον μεγαλύτερο βαθμό ευελιξίας και δυνατότητας συγκομιδής στις συνθήκες αυτών των υψηλών επιπέδων (Metz, 2006) (Wilcke & Hellevang, 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η καλλιέργεια του σιταριού είναι σημαντική για την παραγωγή τροφίμων παγκοσμίως και οι απαιτούμενες εδαφικές συνθήκες παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία της καλλιέργειας. Η επιτυχής καλλιέργεια σιταριού απαιτεί προσοχή στις εδαφικές και κλιματολογικές συνθήκες, καθώς και στη σωστή διαχείριση των καλλιεργητικών πρακτικών για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από μελέτες και έρευνες που έχουν διεξαχθεί με σκοπό την συμβολή των εδαφικών συνθηκών στην καλλιέργεια του σιταριού. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αποτελέσματα από την παραγωγή σιταριού με την χρήση αζώτου, καλίου και φωσφόρου και από τα διαφορετικά συστήματα άρδευσης.

4.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ (ΑΖΩΤΟ, ΚΑΛΙΟ, ΦΩΣΦΟΡΟ)

Η μελέτη των **Salim & Raza (2019)** εστιάζει στην αποδοτικότητα χρήσης θρεπτικών ουσιών (Nutrient Use Efficiency - NUE) στη βιώσιμη παραγωγή σίτου, προσφέροντας μια λεπτομερή ανασκόπηση των παραγόντων που επηρεάζουν την NUE και των στρατηγικών που μπορούν να ενισχύσουν τη βιώσιμη γεωργία. Η μελέτη υπογραμμίζει ότι η βελτίωση του NUE δεν ωφελεί μόνο την παραγωγικότητα των καλλιεργειών σίτου, αλλά επίσης μειώνει την περιβαλλοντική υποβάθμιση και τη ρύπανση. Το υψηλό NUE σχετίζεται με χαμηλότερη απώλεια θρεπτικών ουσιών και βελτίωση της υγείας του εδάφους. Η ανασκόπηση των Salim & Raza (2019) επισημαίνει τη σημασία της βελτίωσης της αποδοτικότητας χρήσης θρεπτικών ουσιών (NUE) στη βιώσιμη παραγωγή σίτου. Μέσω των προτεινόμενων στρατηγικών, η NUE μπορεί να ενισχυθεί, συμβάλλοντας στην οικονομική βιωσιμότητα των αγροτών, τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και την αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων (Salim & Raza, 2019).

Η μελέτη των **Fradgley et al. (2021)** επικεντρώνεται στον καθορισμό των φυσιολογικών παραγόντων που επηρεάζουν τη χαμηλή απαίτηση σε άζωτο (N) στο σιτάρι. Ο στόχος της μελέτης είναι να κατανοήσει καλύτερα ποιοι φυσιολογικοί μηχανισμοί επιτρέπουν σε ορισμένες ποικιλίες σιταριού να απαιτούν λιγότερο άζωτο για να επιτύχουν αποδεκτές

αποδόσεις, γεγονός που είναι κρίσιμο για τη βιωσιμότητα της γεωργίας και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση λιπασμάτων. Η χαμηλή απαίτηση σε άζωτο (Low Nitrogen Requirement - LNR) αναφέρεται στην ικανότητα των φυτών να επιτυγχάνουν υψηλές αποδόσεις με χαμηλή εισροή αζώτου. Η μελέτη των Fradgley et al. προσπαθεί να εντοπίσει τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των ποικιλιών σιταριού που παρουσιάζουν αυτή τη δυνατότητα, με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης αζώτου (NUE) σε συστήματα γεωργίας χαμηλής εισροής. Η ικανότητα του φυτού να αξιοποιεί το άζωτο που λαμβάνει για να μεγιστοποιήσει τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη της βιομάζας. Η μελέτη αναδεικνύει τον ρόλο των γενετικών διαφορών μεταξύ των ποικιλιών σιταριού, καθώς και την αλληλεπίδραση με περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως το έδαφος και οι κλιματικές συνθήκες, που επηρεάζουν τις απαιτήσεις σε άζωτο. Οι ποικιλίες που μπορούν να εκμεταλλευτούν καλύτερα το διαθέσιμο άζωτο με χαμηλότερες εισροές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα στη βιωσιμότητα και την παραγωγικότητα. Η ανάπτυξη και υιοθέτηση ποικιλιών σιταριού με χαμηλή απαίτηση σε άζωτο μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από αζωτούχα λιπάσματα. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, στη μείωση της μόλυνσης των υδάτων και στην προώθηση πιο βιώσιμων γεωργικών πρακτικών (Fradgley & et.al., 2021).

Η μελέτη των **Sanyal & Graham (2022)** εξετάζει τη χρήση της δοκιμής εδάφους Haney (HST) για την πρόβλεψη των απαιτήσεων αζώτου (N) στο χειμερινό σιτάρι (*Triticum aestivum* L.), με στόχο τη βελτίωση της διαχείρισης του αζώτου και την επίτευξη περιβαλλοντικής και οικονομικής βιωσιμότητας. Ο στόχος της μελέτης είναι να αξιολογήσει την ακρίβεια της δοκιμής εδάφους Haney (HST) για την πρόβλεψη των απαιτήσεων αζώτου στο χειμερινό σιτάρι. Η διαχείριση του αζώτου είναι κρίσιμη για τη μεγιστοποίηση της φυτικής παραγωγής και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την περίσσεια αζώτου. Με την αύξηση των τιμών των λιπασμάτων, η βελτιστοποίηση της χρήσης του αζώτου έχει καταστεί ακόμα πιο σημαντική. Η αναθεώρηση των συστάσεων για την εφαρμογή αζώτου μπορεί να μειώσει τα κόστη και τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ιδίως σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα με τα υδάτινα σώματα λόγω περίσσειας αζώτου. Η μελέτη διαπιστώνει ότι η ακρίβεια του HST για την πρόβλεψη του οικονομικά βέλτιστου ποσοστού αζώτου (EONR) εξαρτάται από τη βροχόπτωση. Σε περιοχές που είναι επιρρεπείς στην ξηρασία, το HSTNR μπορεί να υποτιμά σημαντικά τις απαιτήσεις αζώτου, λόγω της υπερεκτίμησης της ανοργανοποίησης του αζώτου, γεγονός που υποδηλώνει ότι η δοκιμή μπορεί να χρειάζεται προσαρμογή για καλύτερη απόδοση σε τέτοιες συνθήκες. Η μελέτη των Sanyal & Graham (2022) αποκαλύπτει ότι η χρήση της δοκιμής εδάφους Haney (HST) για την πρόβλεψη των

απαιτήσεων αζώτου στο χειμερινό σιτάρι μπορεί να έχει περιορισμούς, ιδιαίτερα σε σχέση με τη βροχόπτωση (Sanyal & Graham, 2022).

Η μελέτη των **Alemu & Melese (2019)** διερεύνησε την προσρόφηση του φωσφόρου και τις απαιτήσεις του από ποικιλίες σιταριού ψωμιού (*Triticum aestivum* L.) σε όξινα εδάφη των περιοχών Cheha και Dinsho, Southern Highlands της Αιθιοπίας. Η μελέτη αποσκοπούσε στη διερεύνηση της ικανότητας προσρόφησης του φωσφόρου από όξινα εδάφη και την κατανόηση των απαιτήσεων φωσφόρου των ποικιλιών σιταριού ψωμιού που καλλιεργούνται στις περιοχές Cheha και Dinsho της Αιθιοπίας. Σκοπός ήταν η βελτίωση της διαχείρισης του φωσφόρου για την ενίσχυση της παραγωγικότητας του σίτου σε συνθήκες όξινων εδαφών. Τα εδάφη στις περιοχές Cheha και Dinsho είναι όξινα, με χαμηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου φωσφόρου. Η οξύτητα του εδάφους επηρεάζει την προσρόφηση και τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου για τα φυτά. Η μελέτη εξετάζει την ικανότητα του εδάφους να προσροφά φωσφόρο, η οποία εξαρτάται από τη σύσταση του εδάφους και τη pH του εδάφους. Η υψηλή προσρόφηση φωσφόρου σε όξινα εδάφη περιορίζει την ποσότητα φωσφόρου που είναι διαθέσιμη για τα φυτά. Οι ποικιλίες σιταριού ψωμιού που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε φωσφόρο. Οι απαιτήσεις φωσφόρου διαφέρουν ανάλογα με τις ποικιλίες και τις συνθήκες καλλιέργειας. Η μελέτη αναλύει πώς οι ποικιλίες σιταριού ανταγωνίζονται για το διαθέσιμο φωσφόρο στο όξινο έδαφος. Η ανάλυση περιλάμβανε εργαστηριακές μετρήσεις της προσρόφησης του φωσφόρου από τα εδάφη και τη σχετική ικανότητα των ποικιλιών σιταριού να απορροφούν φωσφόρο. Χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μεθοδολογίες για τη μέτρηση της διαθεσιμότητας του φωσφόρου και της ανταγωνιστικής ικανότητας των ποικιλιών σιταριού. Η υψηλή προσρόφηση φωσφόρου από τα όξινα εδάφη σημαίνει ότι η διαθεσιμότητα του φωσφόρου για τα φυτά είναι περιορισμένη. Η ικανότητα των εδαφών να κρατούν φωσφόρο επηρεάζει την παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Διαπιστώθηκε ότι οι ποικιλίες σιταριού ψωμιού έχουν διαφορετικές απαιτήσεις φωσφόρου. Ορισμένες ποικιλίες είναι πιο αποδοτικές στη χρήση του διαθέσιμου φωσφόρου, ενώ άλλες παρουσιάζουν αυξημένες απαιτήσεις. Για την ενίσχυση της παραγωγικότητας του σίτου σε όξινα εδάφη, προτείνεται η εφαρμογή στρατηγικών διαχείρισης του φωσφόρου, όπως η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων που μπορούν να βελτιώσουν τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου και η ανάπτυξη ποικιλιών σιταριού που είναι πιο ανεκτικές σε συνθήκες χαμηλής διαθεσιμότητας φωσφόρου. Η μελέτη των Alemu & Melese (2019) επισημαίνει την ανάγκη για στρατηγικές διαχείρισης του φωσφόρου σε όξινα εδάφη, ειδικά στις περιοχές Cheha και Dinsho της Αιθιοπίας. Η υψηλή προσρόφηση του φωσφόρου από τα εδάφη περιορίζει τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου για τα φυτά,

επηρεάζοντας αρνητικά την παραγωγικότητα του σίτου. Η επιλογή κατάλληλων ποικιλιών σιταριού και η εφαρμογή κατάλληλων λιπασμάτων είναι κρίσιμες για τη βελτίωση της απόδοσης και της βιωσιμότητας της καλλιέργειας (Alemu & Melese, 2019).

Η μελέτη των **Sharma et al. (2022)** εξετάζει τις επιδράσεις της εφαρμογής αζώτου (N) και καλίου (K) στην παραγωγικότητα, την κερδοφορία και την αποδοτικότητα χρήσης θρεπτικών στοιχείων (NUE) του αρδευόμενου σίτου (*Triticum aestivum* L.). Η μελέτη είχε ως στόχο την αξιολόγηση της επίδρασης της εφαρμογής διαφορετικών συνδυασμών αζώτου και καλίου στην απόδοση της καλλιέργειας, τη οικονομική κερδοφορία και την αποδοτικότητα χρήσης των θρεπτικών στοιχείων στο σιτάρι. Από την μελέτη αυτή προέκυψε πως η εφαρμογή αζώτου και καλίου βελτίωσε σημαντικά την απόδοση του σίτου. Οι συνδυασμοί με υψηλότερες δόσεις αζώτου και καλίου συνήθως παρείχαν καλύτερα αποτελέσματα στην παραγωγή. Η αυξημένη απόδοση λόγω της βελτιωμένης θρεπτικής διαχείρισης οδήγησε σε αύξηση της οικονομικής κερδοφορίας. Ο ορθός συνδυασμός αζώτου και καλίου προσδιόρισε την ιδανική ισορροπία για τη βέλτιστη οικονομική απόδοση. Η αποδοτικότητα χρήσης θρεπτικών στοιχείων (NUE) αυξήθηκε με τη σωστή εφαρμογή αζώτου και καλίου, με αποτέλεσμα τη βελτιωμένη χρήση των θρεπτικών στοιχείων από τις καλλιέργειες. Οι συνδυασμοί αζώτου και καλίου που παρέχουν μια ισορροπημένη θρεπτική φόρμουλα συνέβαλαν στη βελτίωση της NUE. Η αποδοτικότητα χρήσης θρεπτικών στοιχείων βελτιώθηκε με τη σωστή εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων, που οδήγησε σε καλύτερη ανάπτυξη του φυτού και αυξημένη παραγωγή. Η μελέτη των Sharma et al. (2022) δείχνει ότι η σωστή διαχείριση των θρεπτικών στοιχείων, συγκεκριμένα οι ισορροπημένες εφαρμογές αζώτου και καλίου, μπορούν να βελτιώσουν την παραγωγικότητα του σίτου, την οικονομική κερδοφορία και την αποδοτικότητα χρήσης θρεπτικών στοιχείων. Ειδικότερα, οι συνδυασμοί που περιλαμβάνουν τις κατάλληλες δόσεις αζώτου και καλίου μπορούν να μεγιστοποιήσουν την απόδοση των καλλιεργειών και να βελτιώσουν τη συνολική αποδοτικότητα της θρεπτικής διαχείρισης (Sharma & et.al., 2022).

Η μελέτη των **Sedri et al. (2022)** εστιάζει στις διαδραστικές επιδράσεις των λιπασμάτων αζώτου (N) και καλίου (K) σε ποσοτικά και ποιοτικά γνωρίσματα, καθώς και σε δείκτες ανοχής στην ξηρασία της καλλιέργειας βρόχινου σίτου (*Triticum aestivum* L.). Η μελέτη είχε ως στόχο να διερευνήσει πώς η αλληλεπίδραση των λιπασμάτων αζώτου και καλίου επηρεάζει την απόδοση του σίτου, την ποιότητα των σιτηρών και την ικανότητα του σίτου να αντέχει σε συνθήκες ξηρασίας. Η συνδυασμένη εφαρμογή αζώτου και καλίου επηρέασε θετικά την απόδοση των καλλιεργειών. Υψηλότερες δόσεις N και K βελτίωσαν την παραγωγή σιτηρών. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη του σίτου βελτιώθηκε με τη χρήση αζώτου. Οι ποιοτικές

παράμετροι του σιταριού, όπως η υφή και η περιεκτικότητα σε γλουτένη, επηρεάστηκαν θετικά από τη διαχείριση N και K. Οι συνδυασμοί αζώτου και καλίου βελτίωσαν την ανοχή του σίτου στην ξηρασία, με την εφαρμογή K να έχει ιδιαίτερα σημαντική επίδραση στην ικανότητα του φυτού να ανταπεξέλθει σε συνθήκες περιορισμένης υγρασίας. Βελτιώθηκε η αναλογία υγρασίας του εδάφους, γεγονός που συνέβαλε στη μειωμένη επίδραση της ξηρασίας. Η μελέτη των Sedri et al. (2022) καταδεικνύει ότι η αλληλεπίδραση των λιπασμάτων αζώτου και καλίου έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση, την ποιότητα και την ανοχή στην ξηρασία της καλλιέργειας βρόχινου σίτου. Οι συνδυασμοί αζώτου και καλίου μπορούν να βελτιώσουν τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά χαρακτηριστικά του σίτου. Η σωστή διαχείριση των λιπασμάτων μπορεί να ενισχύσει την αντοχή του σίτου σε συνθήκες ξηρασίας, κάνοντάς το πιο ανθεκτικό σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Αυτά τα ευρήματα μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες και τους γεωργικούς επιστήμονες να προσαρμόσουν τις στρατηγικές λίπανσης για την επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων και ποιότητας σίτου, ενώ παράλληλα ενισχύουν την ανθεκτικότητα των καλλιεργειών σε συνθήκες ξηρασίας (Sedri & et.al., 2022).

Η μελέτη των **Boubekri et al. (2021)** διερεύνησε τη δυνατότητα βιοαπόπλυσης του καλίου (K) και του φωσφόρου (P) από ακτινοβακτήρια και τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και της ανάπτυξης των φυτών μέσω στρατηγικών βιολίπανσης. Η μελέτη αποσκοπούσε στην αξιολόγηση των ικανοτήτων εννέα στελεχών ακτινοβακτηρίων στη διαλυτοποίηση των θρεπτικών στοιχείων καλίου και φωσφόρου, και στη διερεύνηση της επίδρασης αυτών των στελεχών στην ανάπτυξη του σίτου. Όλα τα στελέχη ακτινοβακτηρίων ήταν ικανά να διαλύσουν το K. Με τη χρήση διαλυτού P, μόνο τέσσερα στελέχη (*Streptomyces alboniridis* P18, *Streptomyces griseorubens* BC3, *Streptomyces griseorubens* BC10 και *Nocardiosis alba* BC11) διαλύθηκαν. Όλα τα στελέχη παρήγαγαν ινδολο-3-οξεϊκό οξύ (IAA), σιδηροφόρους, υδροκυανικό οξύ (HCN) και αμμωνία. Τα στελέχη *Streptomyces griseorubens* BC10 και *Nocardiosis alba* BC11 αποδείχθηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην ενίσχυση της γονιμότητας του εδάφους και της ανάπτυξης του σίτου. Αυτά τα στελέχη έχουν σημαντική υπόσχεση για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των στρατηγικών βιολίπανσης σε εδάφη που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια σίτου, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται φωσφορικά πετρώματα και λιπάσματα K. Η μελέτη παρέχει μια ισχυρή βάση για την εφαρμογή των ακτινοβακτηρίων ως φυσικών παραγόντων βελτίωσης της γονιμότητας του εδάφους, προσφέροντας μια βιώσιμη εναλλακτική στις παραδοσιακές μεθόδους λίπανσης (Boubekri & et.al., 2021).

Η μελέτη των **Tabak et al. (2020)** εξετάζει την αποδοτικότητα της αζωτούχου λίπανσης του χειμερινού σίτου σε συνάρτηση με τη χρήση θείου. Η έρευνα αποσκοπούσε στη διερεύνηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ αζωτούχου και θειικού λιπάσματος, και της επίδρασής τους στην αποδοτικότητα της αζωτούχου λίπανσης για την καλλιέργεια χειμερινού σίτου. Διεξήχθη πείραμα με διάφορες συνθήκες λίπανσης, όπου χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί αζωτούχου και θειικού λιπάσματος. Οι πειραματικές συνθήκες περιλάμβαναν διάφορες δόσεις θείου σε συνδυασμό με την αζωτούχο λίπανση. Αξιολογήθηκαν η αποδοτικότητα της αζωτούχου λίπανσης, η ανάπτυξη του φυτού, η απόδοση της καλλιέργειας και η περιεκτικότητα σε θείο. Η προσθήκη θείου συνδυαστικά με αζωτούχο λίπανση βελτίωσε την αποδοτικότητα της αζωτούχου λίπανσης. Το θείο βελτίωσε την αφομοίωση του αζώτου από το φυτό, ενισχύοντας τη συνολική ανάπτυξη και απόδοση του σίτου. Η αποδοτικότητα της αζωτούχου λίπανσης αυξήθηκε με την προσθήκη θείου, υποδεικνύοντας ότι το θείο βοηθά στην καλύτερη αφομοίωση του αζώτου από το σιτάρι. Η αύξηση της αποδοτικότητας της αζωτούχου λίπανσης ήταν ιδιαίτερα έντονη σε συνθήκες όπου το θείο ήταν διαθέσιμο σε επαρκείς ποσότητες. Το θείο επηρεάζει θετικά τις αναπτυξιακές παραμέτρους του σίτου, όπως το μήκος και ο όγκος των ριζών, καθώς και την ανάπτυξη των βλαστών. Η συνδυασμένη εφαρμογή αζώτου και θείου οδήγησε σε αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας, με σημαντική βελτίωση της ποιότητας των σπόρων. Η προσθήκη θείου στη λίπανση με άζωτο μπορεί να αποτελέσει μια στρατηγική για τη βελτίωση της αποδοτικότητας της αζωτούχου λίπανσης στο χειμερινό σιτάρι. Η χρήση θείου ενισχύει την αφομοίωση του αζώτου και βελτιώνει την ανάπτυξη και την απόδοση της καλλιέργειας, καθιστώντας το θείο κρίσιμο για τη βιώσιμη και αποδοτική λίπανση. Η μελέτη των Tabak et al. υπογραμμίζει τη σημασία της ολοκληρωμένης διαχείρισης των θρεπτικών στοιχείων για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας της καλλιέργειας χειμερινού σίτου (Tabak & et.al., 2020).

Η μελέτη των **Ahmad et al. (2022)** εστιάζει στη βελτίωση της διαχείρισης της διαθεσιμότητας του φωσφόρου (P) για τη βελτίωση της παραγωγικότητας του σίτου σε ασβεστούχα εδάφη, χρησιμοποιώντας διάφορους τύπους οργανικών και ανόργανων λιπασμάτων. Η έρευνα είχε στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διαφόρων πηγών φωσφόρου, τόσο οργανικών όσο και ανόργανων, για τη βελτίωση της διαθεσιμότητας του P και της παραγωγικότητας του σίτου σε ασβεστούχα εδάφη. Το πείραμα περιλάμβανε οργανικές πηγές (Control, FYM, άχυρο ζαχαροκάλαμου) και ανόργανα λιπάσματα (Έλεγχος, 100% φωσφορικό βράχο (RP), 50% οξινισμένο RP, 100% οξινισμένο RP, απλά υπερφωσφορικά (SSP), φωσφορικό διαμμώνιο (DAP)). Τα λιπάσματα εφαρμόστηκαν σε δόση 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ σε

ασβεστούχα έδαφος με σιτάρι ως δοκιμαστική καλλιέργεια. Το απλό υπερφωσφορικό (SSP) έδειξε την καλύτερη απόδοση σε πολλά χαρακτηριστικά, όπως στον μέσο αριθμό φυτών m^{-2} (126), σε υψηλότερη απόδοση σπόρων m^{-2} (431), σε μεγαλύτερο αριθμό καρπών ανά φυτό (419), σε υψηλότερη απόδοση κόκκων (4022 kg ha^{-1}), σε καλύτερη αποδοτικότητα χρήσης φωσφόρου (10,5%) και σε υψηλότερη περιεκτικότητα σε φωσφόρο στα φύλλα ($2,63\text{ mg kg}^{-1}$) και στο έδαφος μετά τη συγκομιδή ($1,56\text{ mg kg}^{-1}$). Η κοπριά FYM (Farm Yard Manure) είχε τις καλύτερες επιδόσεις σε όλα τα ελεγμένα χαρακτηριστικά μεταξύ των οργανικών πηγών, όπως σε υψηλότερη βιολογική απόδοση (11.023 kg ha^{-1}), σε υψηλότερο ύψος φυτού (95,1 cm) και σε καλύτερη ανάπτυξη και ξηρό βάρος ριζών και βλαστών. Η ενσωμάτωση ανόργανων πηγών φωσφόρου με οργανική κοπριά (π.χ., 10 τόνων FYM ha^{-1} με SSP ή 100% οξινισμένη RP) βελτίωσε περαιτέρω την απόδοση της καλλιέργειας και την περιεκτικότητα σε P του εδάφους μετά τη συγκομιδή. Η χρήση SSP και FYM βελτιώνει σημαντικά την παραγωγικότητα του σίτου σε ασβεστούχα εδάφη. Η συνδυασμένη εφαρμογή οργανικών και ανόργανων πηγών φωσφόρου προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα. Συνιστάται η εφαρμογή 10 τόνων FYM ha^{-1} σε συνδυασμό με SSP ή 100% οξινισμένη RP για βέλτιστη παραγωγικότητα σίτου σε ασβεστούχα εδάφη. Η μελέτη αυτή καταδεικνύει την ανάγκη για ολοκληρωμένη διαχείριση των θρεπτικών στοιχείων, συνδυάζοντας οργανικά και ανόργανα λιπάσματα, για την αποτελεσματική καλλιέργεια του σίτου σε ασβεστούχα εδάφη (Ahmad & et..al., 2022).

Η μελέτη των **Rafiullah et al. (2020)** εστιάζει στη βελτίωση της διαχείρισης του φωσφόρου (P) μέσω στρατηγικών συγχρονισμού εφαρμογής και ποσοτήτων λιπασμάτων σε καλλιέργειες σίτου και αραβοσίτου. Η έρευνα επιδιώκει να αξιολογήσει πώς οι διαφορετικές μέθοδοι εφαρμογής και ποσοστά φωσφορικών λιπασμάτων επηρεάζουν την απόδοση και την αποδοτικότητα χρήσης του φωσφόρου σε καλλιέργειες σίτου και αραβοσίτου. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με τη δοκιμή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής και ποσοτήτων φωσφορικών λιπασμάτων. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι μέθοδοι εφαρμογής του φωσφόρου, όπως η ενσωμάτωσή του στο έδαφος, η εφαρμογή στην επιφάνεια και η χρήση διαλυτών ή αδιάλυτων φωσφορικών λιπασμάτων. Διαφορετικές ποσότητες φωσφόρου εφαρμόστηκαν για να αξιολογηθεί η επίδρασή τους στην παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα της χρήσης. Οι στρατηγικές εφαρμογής φωσφόρου που περιλάμβαναν την ενσωμάτωσή του στο έδαφος και την εφαρμογή κοντά στη ρίζα του φυτού παρουσίασαν βελτιωμένη απόδοση σίτου σε σύγκριση με την εφαρμογή στην επιφάνεια. Η εφαρμογή φωσφόρου με στρατηγική ενσωμάτωσης και βελτιστοποιημένα ποσοστά είχε επίσης θετική επίδραση στην απόδοση του αραβοσίτου. Οι στρατηγικές εφαρμογής που διασφάλισαν την καλύτερη επαφή του φωσφόρου με τις ρίζες των

φυτών και τη βελτιωμένη διαθεσιμότητα του στοιχείου είχαν υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης φωσφόρου. Η εφαρμογή φωσφόρου σε βέλτιστες ποσότητες βελτίωσε την αποδοτικότητα της χρήσης του στοιχείου, μειώνοντας τις απώλειες και ενισχύοντας τη διαθεσιμότητά του για τα φυτά. Ο συνδυασμός κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής και βέλτιστης ποσότητας φωσφόρου παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα και για τις δύο καλλιέργειες. Η ενσωμάτωση του φωσφόρου στο έδαφος σε συνδυασμό με μειωμένα ποσοστά λιπάσματος μπορεί να προσφέρει καλύτερη αποδοτικότητα και οικονομικά οφέλη. Η ενσωμάτωσή του φωσφόρου στο έδαφος κοντά στη ρίζα των φυτών και η χρήση διαλυτών λιπασμάτων βελτιώνουν την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα. Η εφαρμογή φωσφόρου σε κατάλληλες ποσότητες αποδεικνύεται πιο αποτελεσματική από την υπερβολική εφαρμογή, εξασφαλίζοντας καλύτερη απορρόφηση και χρήση από τα φυτά. Συνιστάται η προσαρμογή της στρατηγικής εφαρμογής φωσφόρου και των ποσοτήτων του στις ανάγκες των συγκεκριμένων καλλιεργειών για τη βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης του φωσφόρου και της παραγωγικότητας. Η μελέτη των Rafiullah et al. προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για τη βελτίωση της διαχείρισης του φωσφόρου μέσω της στρατηγικής εφαρμογής και ποσότητας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα σε καλλιέργειες σίτου και αραβοσίτου (Rafiullah, 2020).

Η μελέτη των **Ding et al. (2020)** επικεντρώνεται στην επίδραση της συνδυασμένης εφαρμογής οργανικών τροποποιήσεων με λιπάσματα φωσφόρου (P) στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και την απόδοση του σιταριού, διεξάγοντας πειράματα σε διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες. Η μελέτη εξετάζει τις επιπτώσεις της συνδυασμένης εφαρμογής οργανικών τροποποιήσεων και λιπασμάτων P στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και στην ανάπτυξη, απόδοση και ποιότητα του σιταριού. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε αγρούς σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες για να εξεταστεί η αλληλεπίδραση μεταξύ οργανικών τροποποιήσεων, λιπάσματος P, και των επιπτώσεών τους στο έδαφος και τις καλλιέργειες. Εξετάστηκαν οι επιδράσεις της εφαρμογής λιπασμάτων P σε συνδυασμό με οργανικές τροποποιήσεις (όπως οργανικά λιπάσματα) σε σχέση με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και την παραγωγικότητα του σιταριού. Η συνδυασμένη εφαρμογή οργανικών τροποποιήσεων και λιπάσματος P μείωσε την αλατότητα του εδάφους, αύξησε τη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και βελτίωσε τη ποσότητα διαθέσιμου νερού και την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Ακόμη, αυξήθηκαν τα διαθέσιμα μακροθρεπτικά συστατικά και μειώθηκε η χύδην πυκνότητα του εδάφους. Η απόδοση του σιταριού βελτιώθηκε σημαντικά με την εφαρμογή συνδυασμένων ορυκτού P και οργανικών

τροποποιήσεων. Η ποιότητα του σιταριού επίσης βελτιώθηκε σημαντικά. Ο συνδυασμός οργανικών τροποποιήσεων με ορυκτό P αναδεικνύεται ως μια οικονομικά αποδοτική πρακτική για τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και της παραγωγής σιταριού. Η συνδυασμένη εφαρμογή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τις άνυδρες και ημίξηρες περιοχές που πλήττονται από λειψυδρία και περιορισμούς φυσικών πόρων. Η μελέτη των Ding et al. επιβεβαιώνει ότι η στρατηγική συνδυασμού οργανικών τροποποιήσεων με φωσφορικά λιπάσματα μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη για την παραγωγικότητα και την ποιότητα των καλλιεργειών, ενώ επισημαίνει και τους κινδύνους για τη ρύπανση του εδάφους (Ding & et.al., 2020).

Η μελέτη των **Daba et al. (2021)** διερευνά τις επιπτώσεις της μακροπρόθεσμης λίπανσης και των αλλαγών στο pH του εδάφους λόγω εφαρμογής ασβέστη στην αποτελεσματικότητα χρήσης αζώτου (N) και στις αποδόσεις κόκκων σε όξινα εδάφη, στο πλαίσιο μιας εναλλαγής καλλιέργειας σιταριού και καλαμποκιού. Η μελέτη επικεντρώνεται στη μακροχρόνια επίδραση της εφαρμογής ασβέστη για τη βελτίωση της οξύτητας του εδάφους, η οποία επηρεάζει την απορρόφηση και χρήση του αζώτου από τις καλλιέργειες και συνεπώς την απόδοσή τους. Οι εναλλαγές καλλιεργειών σιταριού-καλαμποκιού διερευνώνται ως προς την αντίδραση τους σε όξινα εδάφη. Η εφαρμογή ασβέστη αύξησε το pH του εδάφους, με αποτέλεσμα τη μείωση της οξύτητάς του και τη βελτίωση των συνθηκών για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Η αύξηση του pH βελτίωσε την απορρόφηση του αζώτου από τα φυτά, συμβάλλοντας στην καλύτερη απόδοση των καλλιεργειών. Η εφαρμογή ασβέστη βελτίωσε την αποτελεσματικότητα χρήσης αζώτου στις καλλιέργειες, αυξάνοντας την ικανότητα των φυτών να απορροφούν και να χρησιμοποιούν το διαθέσιμο άζωτο. Αυτή η βελτιωμένη απορρόφηση αζώτου συνέβαλε σε σημαντικές αυξήσεις στις αποδόσεις κόκκων τόσο στο σιτάρι όσο και στο καλαμπόκι. Οι αποδόσεις των κόκκων βελτιώθηκαν σημαντικά με την εφαρμογή ασβέστη, ειδικά σε σχέση με τις στρατηγικές αζωτούχας λίπανσης. Οι βελτιωμένες συνθήκες εδάφους επέτρεψαν καλύτερη ανάπτυξη και παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Η μελέτη υποδεικνύει ότι η εφαρμογή ασβέστη μπορεί να μειώσει την οξύτητα του εδάφους και να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα χρήσης αζώτου, οδηγώντας σε αυξημένες αποδόσεις σε όξινα εδάφη με καλλιέργειες σιταριού και καλαμποκιού. Η στρατηγική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί ως βιώσιμη προσέγγιση για τη διαχείριση όξινων εδαφών και την αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας (Daba & et.al., 2021).

4.1.2 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Η μελέτη των **Si et al. (2020)** επικεντρώθηκε στην επίδραση της άρδευσης με σταγόνες και της εφαρμογής αζώτου στο χειμερινό σιτάρι που καλλιεργείται στην πεδιάδα της Βόρειας Κίνας (NCP). Διεξήχθη ένα πείραμα πεδίου με σκοπό να καθοριστούν τα βέλτιστα επίπεδα άρδευσης και λίπανσης για τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας χρήσης νερού (WUE) και της αποδοτικότητας χρήσης αζώτου (NPFP). Το πείραμα περιλάμβανε πέντε επίπεδα εφαρμογής αζώτου (N0, N1, N2, N3, N4, με ανώτατο επίπεδο στα 300 kg ha⁻¹) και τρία επίπεδα άρδευσης (I1, I2, I3, με ανώτατο στα 40 mm ανά άρδευση). Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν κατά τις περιόδους χειμερινού σίτου 2015-2016 και 2016-2017. Η αύξηση των επιπέδων άρδευσης και αζώτου βελτίωσε σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών, την απόδοση των κόκκων και την βιομάζα. Ωστόσο, τα επίπεδα αζώτου άνω των 240 kg ha⁻¹ δεν παρείχαν πρόσθετα οφέλη στην απόδοση, την WUE και την αποδοτικότητα της χρήσης νερού άρδευσης (IWUE). Η μέγιστη απόδοση σιτηρών (8034 και 8760 kg ha⁻¹) επιτεύχθηκε με συνδυασμό αζώτου 240 kg ha⁻¹ (N3) και άρδευσης 40 mm ανά εφαρμογή (I1). Η WUE κυμάνθηκε από 2,08 έως 2,23 kg m⁻³ και η IWUE από 4,46 έως 4,87 kg m⁻³ για τις δύο χρονιές του πειράματος. Ο συνδυασμός N3I1 διατήρησε υψηλή παραγωγικότητα αζώτου (NPFP), με μέσο όρο 34,99 kg kg⁻¹ για τις δύο εποχές. Η μελέτη κατέδειξε ότι ο συνδυασμός 240 kg ha⁻¹ αζώτου και 40 mm άρδευσης ανά εφαρμογή ήταν το βέλτιστο σύστημα για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων χειμερινού σιταριού, εξασφαλίζοντας παράλληλα υψηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού και αζώτου. Αυτά τα ευρήματα παρέχουν μια επιστημονική βάση για τη διαχείριση του νερού και των θρεπτικών συστατικών σε καλλιέργειες σιταριού στην NCP, όπου οι πόροι είναι περιορισμένοι (Si & et.al., 2020).

Η μελέτη των **Birthal et al. (2021)** αξιολόγησε τον αντίκτυπο της θερμικής καταπόνησης στην παραγωγή σίτου στην Ινδία, αναλύοντας δεδομένα σε επίπεδο περιοχής από το 1966-67 έως το 2011-12. Χρησιμοποιώντας την τεχνική παλινδρόμησης σταθερών επιδράσεων για την εκτίμηση αυτών των δεδομένων, οι ερευνητές κατέληξαν σε τρία βασικά συμπεράσματα: Η θερμική καταπόνηση έχει αρνητικές συνέπειες στην απόδοση του σίτου, και η ένταση αυτών των επιπτώσεων έχει αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου. Η άρδευση, αν και βοηθά στη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών και μετριάξει τις επιπτώσεις της θερμικής καταπόνησης, έχει μειούμενη αποτελεσματικότητα με την πάροδο των χρόνων. Αυτή η μείωση σχετίζεται με την αυξανόμενη έλλειψη νερού και την αυξημένη θερμοκρασία. Ο αντίκτυπος της θερμότητας εξηγείται καλύτερα όταν λαμβάνονται υπόψη πολλές πτυχές της υπερβολικής

θερμοκρασίας, όπως η ένταση, η διάρκεια και η συχνότητα, αντί να αξιολογείται μια μόνο παράμετρος θερμοκρασίας. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της έλλειψης νερού, απαιτείται διερεύνηση νέων τεχνολογικών και πολιτικών μέτρων. Αυτές οι επιλογές περιλαμβάνουν την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης του νερού άρδευσης και την ανάπτυξη ανθεκτικών στην θερμότητα ποικιλιών καλλιεργειών που απαιτούν λιγότερο νερό (Birthal & et.al., 2021).

Η μελέτη των **Jabeen et al. (2022)** αξιολόγησε την απόδοση σε κόκκους σιταριού και την αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) υπό περιορισμένες πρακτικές άρδευσης σε άνυδρες και ημίξηρες περιοχές του Πακιστάν. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο προσομοίωσης DSSAT, η έρευνα εξέτασε τις επιπτώσεις διαφορετικών επιπέδων άρδευσης, από το πραγματικό επίπεδο έως 65% λιγότερη άρδευση. Τα ευρήματα ανέδειξαν ότι η υψηλή άρδευση σε ημίξηρες περιοχές μείωσε την WUE και την απόδοση σιταριού, ενώ η μείωση της άρδευσης προώθησε την ανάπτυξη του σιταριού σε ορισμένες περιπτώσεις. Στην άνυδρη τοποθεσία, η υψηλότερη απόδοση σε κόκκους σιταριού (2394 kg/ha) και η μεγαλύτερη WUE (5,9 kg/m³) επιτεύχθηκαν με το πραγματικό επίπεδο άρδευσης, αλλά με τη μείωση του νερού η απόδοση μειώθηκε. Σε ημίξηρες περιοχές, η βέλτιστη άρδευση επιτεύχθηκε με 50% λιγότερο νερό, όπου η απόδοση και η WUE ήταν 1925 kg/ha και 4,47 kg/m³ αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης νερού μπορεί να επιτευχθεί μέσω της προσεκτικής διαχείρισης της άρδευσης και της υγρασίας του εδάφους, μειώνοντας την κατανάλωση νερού χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά η παραγωγή (Jabeen & et.al., 2022).

Η μελέτη των **Memon et al. (2020)** επικεντρώνεται στην επίδραση των στρατηγικών ελλειμματικής άρδευσης στο χειμερινό σιτάρι σε ημίξηρο κλίμα της Σίνδης. Οι ερευνητές αξιολόγησαν την απόδοση σε κόκκους και την αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) του σιταριού υπό διαφορετικά επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η ελλειμματική άρδευση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση νερού χωρίς μεγάλες απώλειες στην απόδοση των κόκκων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αποδοτικότητα χρήσης νερού βελτιώθηκε με την εφαρμογή ελεγχόμενων ελλείψεων στην άρδευση, προσφέροντας μια βιώσιμη λύση για τη γεωργία σε ημίξηρες περιοχές. Η στρατηγική της ελλειμματικής άρδευσης μπορεί να μειώσει την κατανάλωση νερού και να προάγει τη βελτίωση της WUE, συμβάλλοντας στη διατήρηση των υδάτινων πόρων σε κλιματικά απαιτητικές περιοχές όπως η Σίνδη. Σύμφωνα με τη μελέτη των Memon et al. (2020), το στάδιο της άρδευσης 42 ημέρες μετά τη σπορά αναγνωρίζεται ως το πιο κρίσιμο και ευαίσθητο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας σιταριού, όπου η διαθεσιμότητα νερού είναι ζωτικής σημασίας

για την επίτευξη υψηλότερης απόδοσης και αποδοτικότητας χρήσης νερού (WUE). Ειδικότερα, οι ερευνητές τονίζουν ότι η έλλειψη νερού θα πρέπει να αποφεύγεται στο στάδιο της κοπής, καθώς είναι καθοριστική για την ανάπτυξη των φυτών και την απόδοση σε κόκκους. Ωστόσο, η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης, με μείωση κατά 50% της ποσότητας νερού στο στάδιο της ωρίμανσης των κόκκων, μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική στρατηγική για τη βελτίωση της WUE χωρίς σημαντική μείωση της συνολικής απόδοσης. Αυτή η στρατηγική μπορεί να εφαρμοστεί σε ημίξηρες κλιματικές συνθήκες, όπως αυτές της περιοχής Σίνδη, καθώς προσφέρει μια ισορροπημένη προσέγγιση για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων με ελάχιστες επιπτώσεις στην παραγωγικότητα (Memon & et.al., 2020).

Η μελέτη των **Zeng et al. (2021)** αξιολογεί τις επιπτώσεις της βροχόπτωσης και της άρδευσης στην απόδοση του χειμερινού σιταριού και την παραγωγικότητα του νερού (WUE) στην πεδιάδα της Βόρειας Κίνας (NCP). Σε αυτήν την περιοχή, η γεωργική παραγωγή σιταριού βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην άρδευση λόγω της περιορισμένης βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του χειμώνα. Η μελέτη διαπίστωσε ότι τόσο η ποσότητα όσο και το χρονοδιάγραμμα της βροχόπτωσης έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση του σιταριού, αλλά η άρδευση είναι εξίσου κρίσιμη για τη σταθεροποίηση της παραγωγής σε περιόδους με χαμηλή βροχόπτωση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο σωστός συγχρονισμός της άρδευσης με τα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης του χειμερινού σιταριού (όπως το στάδιο της άνθησης και της κοπής) μπορεί να αυξήσει σημαντικά την απόδοση των καλλιεργειών και να βελτιώσει την παραγωγικότητα του νερού. Συγκεκριμένα, η στρατηγική άρδευσης με επίκεντρο τα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης, σε συνδυασμό με τις φυσικές βροχοπτώσεις, μπορεί να μεγιστοποιήσει τη χρήση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων και να βελτιώσει την απόδοση και την WUE σε αυτήν την περιοχή. Η έρευνα καταλήγει ότι ο συνδυασμός της κατάλληλης άρδευσης και της βροχόπτωσης μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη προσέγγιση για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των υδάτινων πόρων στην πεδιάδα της Βόρειας Κίνας, με στόχο τη διατήρηση της παραγωγικότητας του χειμερινού σιταριού εν μέσω περιβαλλοντικών και κλιματικών προκλήσεων (Zeng & et.al., 2021).

Σύμφωνα με τους **Zhang et al. (2022)**, η μελέτη τους εστιάζει στη χρήση του μοντέλου AquaCrop για τη διερεύνηση της βέλτιστης στρατηγικής άρδευσης του χειμερινού σιταριού, προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση των σιτηρών και η παραγωγικότητα του νερού. Το μοντέλο AquaCrop χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της επίδρασης διαφόρων επιπέδων άρδευσης στην ανάπτυξη, την απόδοση και την αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) του

χειμερινού σιταριού σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η μελέτη αξιολόγησε διαφορετικά σενάρια άρδευσης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις κλιματικές συνθήκες όσο και τις ανάγκες του σιταριού σε νερό κατά τα κρίσιμα στάδια της ανάπτυξής του. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης έδειξαν ότι η βελτιστοποίηση της άρδευσης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση των σιτηρών και την παραγωγικότητα του νερού, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιορισμένους υδάτινους πόρους. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η στρατηγική της ελλειμματικής άρδευσης (δηλαδή η παροχή νερού μόνο σε κρίσιμα στάδια ανάπτυξης και όχι σε όλη την καλλιεργητική περίοδο) μπορεί να αποφέρει υψηλές αποδόσεις σιτηρών με σημαντική εξοικονόμηση νερού. Η ελλειμματική άρδευση ήταν αποτελεσματική στη βελτίωση της WUE, ειδικά σε ημίξηρα περιβάλλοντα, όπου το νερό είναι ένας κρίσιμος και περιορισμένος πόρος. Η χρήση του μοντέλου AquaCrop επέτρεψε στους ερευνητές να αναγνωρίσουν βέλτιστες στρατηγικές άρδευσης που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για τη διασφάλιση της βιώσιμης παραγωγής σιταριού με μειωμένη χρήση νερού, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για τις περιοχές που αντιμετωπίζουν έλλειψη υδάτινων πόρων (Zhang & et.al., 2022).

Σύμφωνα με τους **Rady et al. (2021)**, η μελέτη τους εστιάζει στη χρήση των υπερυψωμένων κλινών ως μέθοδο καλλιέργειας για τη ρύθμιση των φυσιολογικών αποκρίσεων του σιταριού (*Triticum aestivum* L.) σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης. Η μέθοδος αυτή έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη βελτίωση της απόδοσης και της αποδοτικότητας χρήσης νερού (WUE) του σιταριού, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με περιορισμένους υδάτινους πόρους. Η έρευνα έδειξε ότι η καλλιέργεια σε υπερυψωμένες κλίνες ενισχύει την ικανότητα του φυτού να προσαρμόζεται στις συνθήκες υδατικού στρες, βελτιώνοντας παράλληλα τις φυσιολογικές αποκρίσεις του, όπως η φωτοσύνθεση, η διαπνοή και η κατανομή των θρεπτικών ουσιών. Επιπλέον, η χρήση υπερυψωμένων κλινών συμβάλλει στη μείωση της απώλειας νερού από το έδαφος, επιτρέποντας την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου νερού από τα φυτά. Τα ευρήματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να βελτιώσει τόσο την απόδοση όσο και την WUE σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης, καθιστώντας την μια βιώσιμη στρατηγική για την αύξηση της παραγωγικότητας του σιταριού σε περιοχές με περιορισμένα υδάτινα αποθέματα (Rady & et.al., 2021).

Η έρευνα των **Stallmann et al. (2020)** εξετάζει την επίδραση της συνεχούς και παλμικής ελλειμματικής άρδευσης στην ανάπτυξη του σιταριού, στην αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) και στον μεταβολισμό των φύλλων σημαίας. Οι επιστήμονες αξιολόγησαν δύο τύπους ελλειμματικής άρδευσης την συνεχή ελλειμματική άρδευση, όπου εφαρμόζεται μειωμένη

ποσότητα νερού καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και την παλμική ελλειμματική άρδευση, όπου το νερό εφαρμόζεται περιοδικά σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές ανάπτυξης του σιταριού. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η παλμική ελλειμματική άρδευση είχε θετική επίδραση στην απόδοση του σιταριού σε σύγκριση με τη συνεχή ελλειμματική άρδευση, κυρίως λόγω του καλύτερου ελέγχου του μεταβολισμού των φύλλων σημαίας. Τα φύλλα σημαίας, που παίζουν κρίσιμο ρόλο στην παραγωγή φωτοσυνθετικών προϊόντων για την πλήρωση των σπόρων, παρουσίασαν καλύτερες φυσιολογικές αποκρίσεις υπό παλμική άρδευση, γεγονός που ενίσχυσε την απόδοση και τη WUE. Η παλμική ελλειμματική άρδευση αποδείχθηκε πιο αποδοτική στη διατήρηση της υδατικής κατάστασης των φυτών και στην ενίσχυση της παραγωγικότητας του σιταριού, καθιστώντας την μια πιο βιώσιμη στρατηγική για τη διαχείριση του νερού σε περιοχές με περιορισμένους υδατικούς πόρους (Stallmann & et.al., 2020).

Η έρευνα των **Li et al. (2022)** επικεντρώνεται στη διαχείριση της άρδευσης και της λίπανσης για την αύξηση της απόδοσης των σιτηρών και τη βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης νερού και αζώτου σε μια άνυδρη γεωργική λεκάνη απορροής της βορειοδυτικής Κίνας. Η μελέτη εξετάζει διαφορετικά επίπεδα άρδευσης για να αξιολογήσει πώς επηρεάζουν την ανάπτυξη και την απόδοση του ανοιξιάτικου σίτου. Η αποτελεσματικότητα της άρδευσης αξιολογείται με βάση τη βελτίωση της περιεκτικότητας σε νερό του εδάφους και της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Εξετάζονται διάφορες στρατηγικές λίπανσης για την ενίσχυση της αποδοτικότητας χρήσης αζώτου. Η μελέτη αναλύει την επίδραση διαφορετικών τύπων και ποσοτήτων λιπασμάτων αζώτου στην ανάπτυξη των φυτών και στην απόδοση της καλλιέργειας. Η μελέτη αναλύει τη δυναμική του νερού και του αζώτου στο έδαφος και πώς αυτά τα στοιχεία αλληλοεπιδρούν με την άρδευση και τη λίπανση. Εξετάζεται πώς οι πρακτικές άρδευσης και λίπανσης επηρεάζουν την αποδοτικότητα χρήσης της καλλιεργήσιμης γης, δηλαδή τη σχέση μεταξύ της παραγόμενης ποσότητας προϊόντος και των πόρων που χρησιμοποιούνται. Η βελτιστοποίηση των στρατηγικών άρδευσης και λίπανσης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της απόδοσης του ανοιξιάτικου σίτου. Οι συνδυασμένες στρατηγικές άρδευσης και λίπανσης, όταν εφαρμόζονται σωστά, βελτιώνουν την αποδοτικότητα χρήσης του νερού και του αζώτου, ειδικά σε άνυδρες περιοχές όπου οι πόροι είναι περιορισμένοι. Η μελέτη ενισχύει την ανάγκη για στρατηγικές διαχείρισης που συνδυάζουν την αποδοτική χρήση των φυσικών πόρων με τη βελτίωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών σε άνυδρες περιοχές. Συνολικά, η έρευνα των Li et al. παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης άρδευσης και λίπανσης που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση

και την αποδοτικότητα του ανοιξιιάτικου σίτου σε δύσκολες συνθήκες άνυδρης γεωργίας (Li & et.al., 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΣΥΜΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση αζώτου, καλίου και φώσφορου είναι κρίσιμη για την παραγωγή σιταριού και η αποδοτικότητα των θρεπτικών στοιχείων αυτών έχει σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση, την ποιότητα και την αποδοτικότητα της καλλιέργειας. Το άζωτο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη της φυλλικής μάζας και την αύξηση της απόδοσης του σιταριού. Η επαρκής εφαρμογή αζώτου συνδέεται με την αύξηση της βιομάζας, του ύψους των φυτών και της απόδοσης των κόκκων. Η σωστή εφαρμογή αζώτου μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του σιταριού, συμπεριλαμβανομένων της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη και του επιπέδου γλουτένης, που είναι κρίσιμα για τη ζαχαροπλαστική και τη βιομηχανία τροφίμων. Υπάρχει βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης αζώτου (NUE) όταν η εφαρμογή είναι βελτιστοποιημένη, αποφεύγοντας υπερβολικές ποσότητες που μπορεί να οδηγήσουν σε απώλειες από διάβρωση και ρύπανση.

Το κάλιο ενισχύει την ανθεκτικότητα των φυτών σε συνθήκες στρες όπως η ξηρασία και οι ασθένειες. Βοηθά στη ρύθμιση της ισορροπίας νερού και στη μείωση της ευπάθειας σε παθογόνα. Η επαρκής προσφορά καλίου συνδέεται με την αύξηση της απόδοσης των κόκκων και της ποιότητας του σιταριού. Το κάλιο βοηθά στη βελτίωση της δομής και της αντοχής των σιτηρών. Το κάλιο είναι επίσης σημαντικό για την αποτελεσματική χρήση άλλων θρεπτικών στοιχείων, όπως το άζωτο, βελτιώνοντας τη συνολική θρεπτική κατάσταση του φυτού.

Ο φώσφορος είναι κρίσιμος για την ανάπτυξη των ριζών, την άνθηση και την παραγωγή κόκκων. Η επαρκής προμήθεια φώσφορου ενισχύει την απόδοση του σιταριού και την υγιεινή του φυτού. Ο φώσφορος συνεισφέρει στη βελτίωση της ποιότητας του σιταριού, συμπεριλαμβανομένων των δεικτών όπως η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και η αποδοτικότητα της απορρόφησης νερού. Σε περιοχές με χαμηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο, η εφαρμογή λιπασμάτων που περιέχουν φώσφορο μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση και την υγεία του εδάφους.

Η ισορροπημένη χρήση αζώτου, καλίου και φώσφορου είναι κρίσιμη για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής σιταριού. Η υπερβολική ή ανεπαρκής εφαρμογή μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα όπως η ρύπανση του εδάφους, η μείωση της ποιότητας των κόκκων και η μειωμένη αποδοτικότητα χρήσης θρεπτικών στοιχείων. Η ορθή διαχείριση της εφαρμογής

θρεπτικών στοιχείων συμβάλλει στην αειφορία της γεωργίας και στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Η συνδυασμένη εφαρμογή θρεπτικών στοιχείων με στρατηγικές άρδευσης μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα χρήσης νερού και την απόδοση του σιταριού, ιδίως σε περιοχές με περιορισμένα υδατικά αποθέματα. Η σωστή εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων, η παρακολούθηση των αναγκών των φυτών και η εφαρμογή στρατηγικών βελτίωσης της αποδοτικότητας χρήσης θρεπτικών στοιχείων και νερού αποτελούν κλειδιά για την επιτυχία της καλλιέργειας σιταριού.

Η χρονική στιγμή και η μέθοδος εφαρμογής των θρεπτικών στοιχείων είναι κρίσιμη για την αποδοτικότητα τους. Για παράδειγμα, η εφαρμογή αζώτου σε σταδιακά ποσά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου μπορεί να αποτρέψει τις απώλειες και να βελτιώσει την αποδοτικότητα. Ομοίως, ο φώσφορος και το κάλιο συνήθως εφαρμόζονται πριν ή κατά τη φύτευση για την καλύτερη απορρόφηση από τις ρίζες. Η εφαρμογή υπολογισμένων δόσεων βασισμένων σε αναλύσεις εδάφους και στις ανάγκες των φυτών βελτιώνει την αποδοτικότητα και μειώνει την πιθανότητα περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η υπερβολική χρήση αζώτου μπορεί να οδηγήσει σε διαρροές και ρύπανση υδάτων με νιτρικά, επηρεάζοντας την ποιότητα του νερού και τη δημόσια υγεία. Αντίστοιχα, η υπερβολική εφαρμογή φωσφόρου μπορεί να προκαλέσει ευτροφισμό σε επιφανειακά ύδατα. Η εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων πρέπει να συνδυάζεται με στρατηγικές διαχείρισης της απορροής για την ελαχιστοποίηση της απώλειας θρεπτικών ουσιών και την προστασία των οικοσυστημάτων.

Η αποδοτική χρήση αζώτου, καλίου και φωσφόρου μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος της λίπανσης, βελτιώνοντας παράλληλα την απόδοση. Η επένδυση σε λιπάσματα πρέπει να είναι ισοδύναμη με τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας της καλλιέργειας. Η βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης των θρεπτικών στοιχείων συμβάλλει στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της καλλιέργειας σιταριού, μειώνοντας την ανάγκη για επιπλέον εισροές και βελτιώνοντας την οικονομική κερδοφορία.

Οι μελέτες που παρουσιάστηκαν δείχνουν ότι η απόδοση και η ποιότητα του σιταριού εξαρτώνται από τις τοπικές συνθήκες και τις συγκεκριμένες ανάγκες των φυτών. Οι στρατηγικές πρέπει να προσαρμόζονται στις τοπικές συνθήκες εδάφους και κλίματος. Η παρακολούθηση της αποδοτικότητας των θρεπτικών στοιχείων και η προσαρμογή των στρατηγικών εφαρμογής είναι απαραίτητες για τη βελτίωση της διαχείρισης των καλλιεργειών. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, όπως η ακριβείας λίπανση και οι μέθοδοι ακριβούς εφαρμογής θρεπτικών στοιχείων, μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω βελτίωση της αποδοτικότητας και της

βιωσιμότητας της καλλιέργειας. Συνοψίζοντας, η σωστή και στρατηγική εφαρμογή αζώτου, καλίου και φώσφορου είναι θεμελιώδης για την επίτευξη υψηλής απόδοσης και ποιότητας στο σιτάρι, καθώς και για τη βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων. Η ισορροπημένη χρήση αυτών των θρεπτικών στοιχείων, σε συνδυασμό με αποτελεσματικές στρατηγικές άρδευσης και λίπανσης, μπορεί να συμβάλλει στη βιώσιμη παραγωγή σιταριού και την προστασία των φυσικών πόρων.

Τα διαφορετικά συστήματα άρδευσης για την καλλιέργεια σιταριού έχουν ποικίλες επιπτώσεις στην απόδοση, την αποδοτικότητα χρήσης νερού, την ποιότητα του εδάφους και το κόστος παραγωγής. Η άρδευση σταγόνας είναι εξαιρετικά αποδοτική, καθώς παρέχει νερό απευθείας στις ρίζες των φυτών, μειώνοντας την εξάτμιση και τη διαρροή. Αυτό βελτιώνει την αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) και ελαχιστοποιεί τις απώλειες. Ειδικά σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της απόδοσης του σιταριού, καθώς διασφαλίζει την ομοιόμορφη υγρασία του εδάφους. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό, αλλά η μακροχρόνια οικονομία σε νερό και ενέργεια μπορεί να το δικαιολογήσει.

Η άρδευση με μηχανική καταιγίδα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την καταιγίδα και την τεχνολογία ψεκασμού. Μπορεί να προκαλέσει απώλειες νερού λόγω εξάτμισης και διαρροής. Η διαχείριση υγρασίας είναι ικανή για την κάλυψη μεγάλων περιοχών, αλλά μπορεί να μην είναι τόσο αποδοτική στην εφαρμογή νερού στις ρίζες των φυτών όσο η άρδευση σταγόνας. Το κόστος εγκατάστασης είναι πιο προσιτό σε σύγκριση με την άρδευση σταγόνας, αλλά οι λειτουργικές δαπάνες και η συντήρηση μπορεί να είναι υψηλές, ιδιαίτερα σε περιοχές με άνεμο.

Η άρδευση με εγγύηση αλλαγής προσφέρει μέτρια αποδοτικότητα, καθώς το νερό διανέμεται μερικώς σε όλη την καλλιεργούμενη περιοχή και ενδέχεται να προκαλέσει υπερβολική υγρασία ή ξηρασία σε ορισμένα μέρη. Η απόδοση του σιταριού μπορεί να είναι σταθερή αλλά δεν επιτυγχάνει πάντα το ίδιο επίπεδο αποδοτικότητας με άλλες μεθόδους άρδευσης. Το κόστος είναι σχετικά χαμηλό, αλλά η συντήρηση και η ρύθμιση της εφαρμογής μπορεί να είναι απαιτητικές.

Τα συστήματα άρδευσης όπως η άρδευση σταγόνας και η μηχανική καταιγίδα μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα του εδάφους διατηρώντας σταθερή υγρασία και αποφεύγοντας την υπερβολική ξηρασία ή την υπερβολική υγρασία. Συμβάλλουν στην αποφυγή σαθρότητας του εδάφους, που μπορεί να συμβεί με την υπερβολική ή ακατάλληλη άρδευση. Η επιλογή του συστήματος άρδευσης πρέπει να βασίζεται στις τοπικές συνθήκες, περιλαμβάνοντας το κλίμα,

την διαθεσιμότητα νερού, το είδος του εδάφους και τις οικονομικές δυνατότητες. Συνδυασμένα συστήματα ή στρατηγικές διαχείρισης που ενσωματώνουν διαφορετικές μεθόδους άρδευσης μπορεί να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και να μειώσουν τα κόστη. Η χρήση σύγχρονων τεχνολογιών παρακολούθησης και αυτοματοποίησης μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα των συστημάτων άρδευσης. Συνολικά, η επιλογή και εφαρμογή του κατάλληλου συστήματος άρδευσης είναι καθοριστική για τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας του σιταριού, καθώς και για την αποδοτικότητα χρήσης των φυσικών πόρων.

Η ακριβής διαχείριση του χρόνου και της ποσότητας άρδευσης, καθώς και η χρήση συστημάτων παρακολούθησης εδάφους, μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης του νερού. Η αναγνώριση των κλιματικών παραγόντων όπως η βροχόπτωση και οι θερμοκρασίες μπορεί να προσαρμόσει τη στρατηγική άρδευσης για να μειώσει τις ανάγκες σε νερό και να ενισχύσει την απόδοση των καλλιεργειών. Η ενσωμάτωση οργανικών υλικών και η χρήση τεχνικών βελτίωσης του εδάφους (όπως η προσθήκη οργανικών λιπασμάτων) μπορεί να ενισχύσει τη δομή και την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του εδάφους. Η υιοθέτηση πρακτικών όπως η διατήρηση του υγραμένου στρώματος του εδάφους και η αποφυγή διάβρωσης μπορούν να ενισχύσουν την αποδοτικότητα της άρδευσης.

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος άρδευσης για την καλλιέργεια του σιταριού εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων που περιλαμβάνουν το κλίμα, τη διαθεσιμότητα νερού, το είδος του εδάφους και τις οικονομικές συνθήκες. Κάθε σύστημα έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και αδυναμίες, και η βέλτιστη στρατηγική μπορεί να απαιτεί τη συνδυασμένη χρήση διαφορετικών μεθόδων άρδευσης και την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών για την καλύτερη διαχείριση των πόρων. Η υιοθέτηση των βέλτιστων πρακτικών άρδευσης, η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών και η συνεχής εκπαίδευση και υποστήριξη μπορούν να ενισχύσουν την απόδοση του σιταριού, να βελτιώσουν την αποδοτικότητα χρήσης νερού και να συμβάλουν στη βιωσιμότητα της παραγωγής.

Η βέλτιστη μέθοδος λίπανσης και άρδευσης για την καλλιέργεια σιταριού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το κλίμα, το είδος του εδάφους, η διαθεσιμότητα νερού, και οι οικονομικές συνθήκες. Ωστόσο, υπάρχουν γενικές αρχές και στρατηγικές που μπορούν να βοηθήσουν στην επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης. Η εφαρμογή του αζώτου σε δύο ή περισσότερες δόσεις (π.χ., κατά την ανάπτυξη του φυτού) συνήθως βελτιώνει την απόδοση και τη χρήση του αζώτου. Ο συνδυασμός άρδευσης με την εφαρμογή αζώτου μέσω του συστήματος άρδευσης μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα χρήσης του αζώτου.

Η εφαρμογή φωσφόρου κοντά στη ρίζα (π.χ., με την προετοιμασία του εδάφους πριν από τη σπορά) μπορεί να βελτιώσει τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου για το φυτό. Η εφαρμογή καλίου κατά τη διάρκεια κρίσιμων σταδίων ανάπτυξης, όπως η ανθοφορία και η ωρίμανση, μπορεί να ενισχύσει την ποιότητα και την αντοχή του σιταριού. Η ενσωμάτωσή οργανικών λιπασμάτων, όπως κοπριά ή κομπόστ, μπορεί να βελτιώσει τη δομή του εδάφους και τη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων.

Η υψηλή αποδοτικότητα νερού είναι ιδανική για περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού, καθώς ελαχιστοποιεί την εξάτμιση και τη διαρροή. Εφαρμόζεται απευθείας στη ρίζα του φυτού. Μπορεί να βελτιώσει την ανάπτυξη και την απόδοση του σιταριού εάν συνδυάζεται με κατάλληλη λίπανση. Η επιλογή της καλύτερης μεθόδου λίπανσης και άρδευσης εξαρτάται από το τοπικό κλίμα, την ποιότητα του εδάφους και τις οικονομικές συνθήκες. Ο συνδυασμός προηγμένων τεχνικών άρδευσης με στρατηγικές διαχείρισης λιπασμάτων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση και την αποδοτικότητα του σιταριού. Η εφαρμογή ακριβούς διαχείρισης και τεχνολογιών παρακολούθησης είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης και της βιωσιμότητας της καλλιέργειας.

Γενικότερα, η βελτίωση της παραγωγής σιταριού εξαρτάται από την αποτελεσματική συνδυασμένη χρήση λίπανσης και άρδευσης, προσαρμοσμένη στις συγκεκριμένες συνθήκες της κάθε περιοχής. Συνολικά, η βέλτιστη μέθοδος λίπανσης και άρδευσης για την καλλιέργεια σιταριού απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που συνδυάζει τεχνολογικές λύσεις με προσαρμοσμένες στρατηγικές για κάθε περιοχή.

Βιβλιογραφία

(Χ.Χ.). Ανάκτηση από <https://slideplayer.gr/slide/14093642/>.

(Χ.Χ.). Ανάκτηση από <https://www.google.com/imgres?q=%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%BF%CF%83%20%CF%85%CE%BB%CE%B9%CF%83%20%CE%B1%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CF%83%20%CE%B5%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%85%CF%83&imgurl=x-raw-image%3A%2F%2F%2Fa4e9adf9825bdaed31185f2649db222f21301d3aef9f4>.

(Χ.Χ.). Ανάκτηση από https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TGH222/Lecture_1_Ardeuseis_2019.pdf.

(Χ.Χ.). Ανάκτηση από <https://farms-el.desigusxpro.com/posadka/ogorod/zlaki/pshenitsa/osobennosti-kornevoj-sistemy.html>.

(Χ.Χ.). Ανάκτηση από <https://agroktima.weebly.com/piomicroniotakappaiotalambda943epsilonsigmaf.html>.

(Χ.Χ.). Ανάκτηση από <https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1923/2009/html/view>.

Acevedo, E., & et.al. (2002, June). Wheat growth and physiology. *Food and Agriculture Organization* .

Ahmad, M., & et.al. (2022). Managing Phosphorus Availability from Organic and Inorganic Sources for Optimum Wheat Production in Calcareous Soils. *Sustainability*.

Alderfasi, A. A., & Nielsen, D. C. (2001, February). Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. *Agricultural Water Management* .

Alemu, B., & Melese, A. (2019). Phosphorous Adsorption and Its Requirements by Bread Wheat Varieties (*Triticum aestivum* L.), In Acidic Soils of Cheha and Dinsho Districts, Southern Highlands of Ethiopia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*.

ANDERSON, J. P. (1982). Soil Respiration. Στο A. PAGE, *Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties* .

Arzani, A., & Ashraf, M. (2017, March). Cultivated Ancient Wheats (*Triticum* spp.) : A Potential Source of Health-Beneficial Food Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.

Bache, B. (1976, March). The measurement of cation exchange capacity of soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

BALINT, A., & et.al. (2000, December). Origin and Taxonomy of wheat in the light of recent research . *Acta Agronomica Hungarica* .

Barros-Rodriguez, A., & et.al. (2021, October). Impacts of Agriculture on the Environment and Soil Microbial Biodiversity. *Plants*.

Beamlaku, A., & Habtemariam, T. (2021, August 11). Soil Colloids, Types and their Properties. *Open Journal of Bioinformatics and Biostatistics*.

- Birthal, P., & et.al. (2021). Benefits of irrigation against heat stress in agriculture: Evidence from wheat crop in India. *Agricultural Water Management*.
- Boubekri, K., & et.al. (2021). The Screening of Potassium- and Phosphate-Solubilizing Actinobacteria and the Assessment of Their Ability to Promote Wheat Growth Parameters. *Microorganisms*.
- BRANDY, N. C., & WEIL, R. R. (2011). *Εδαφολογία, η φύση και οι ιδιότητες των εδαφών*. Εκδόσεις ΈΜΒΡΥΟ.
- Bronick, C., & Lal, R. (2005, January). Soil structure and management. *Geoderma*.
- Chilvers, M., & et.al. (χ.χ.). Wheat Disease Management. Στο *MICHIGAN WHEAT 101*.
- Cottes, J., & et.al. (2020). Effects of soil redox potential (Eh) and pH on growth of sunflower and wheat. *ARCHIVES OF AGRONOMY AND SOIL SCIENCE*.
- Daba, N., & et.al. (2021). Long-Term Fertilization and Lime-Induced Soil pH Changes Affect Nitrogen Use Efficiency and Grain Yields in Acidic Soil under Wheat-Maize Rotation. *Agronomy*.
- Difonzo, C. (χ.χ.). Wheat Insect Management. Στο *MICHIGAN WHEAT 101*.
- Ding, Z., & et.al. (2020). The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivity. *Scientific Reports*.
- Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2022). *Biology and Ecology of Earthworms (Fourth Edition)*. Springer.
- ELIAS, E. (1995). Durum Wheat Products. *CIHEAM Options Mediterraneennes*.
- Foster, J. E., & Hein, G. L. (2009, January). Hessian Fly on Wheat. *University of Nebraska-Lincoln Extension*.
- Fradgley, N., & et.al. (2021). Defining the physiological determinants of low nitrogen requirement in wheat. *Biochemical Society Transactions*.
- GAIApedia. (χ.χ.). Ανάκτηση από
http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9C%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CF%87%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CF%83%CE%B9%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%8D.
- GAIApedia. (χ.χ.). Ανάκτηση από
http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%91%CF%83%CE%B8%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82_%CF%83%CE%B9%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%8D.
- GAIApedia. (χ.χ.). Ανάκτηση από
http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%95%CF%87%CE%B8%CF%81%CF%8C%CF%82_%CF%83%CE%B9%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%8D_%CE%91%CF%86%CE%AF%CE%B4%CE%B5%CF%82.
- Gerba, L., & et.al. (2013). Nitrogen fertilization effects on grain quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) varieties in central Ethiopia. *Agricultural Sciences*.

- Goriewa-Duba, K., & et.al. (2018, November). The Never-Ending Story of the Phylogeny and Taxonomy of Genus Triticum L. *Russian Journal of Genetics* .
- Hashimoto, S., & et.al. (2004, February). Soil respiration and soil CO₂ concentration in a tropical forest, Thailand. *Journal of Forest Research*.
- Hatfield, J. L., & Dold, C. (2018, February). Agroclimatology and Wheat Production : Coping with Climate Change. *Frontiers in Plant Science*.
- Hessian Fly on Wheat. (x.x.). *University of Nebraska-Lincoln Extension*.
- HLAVACOVA, M., & et.al. (2017, April). Effect oh heat stress at anthesis on yield formation in winter wheat . *Plant, Soil and Environment*.
- lordache, M. (2023). Chemical composition of earthworm casts as a tool in understanding the earthworm contribution to ecosystem sustainability. *Plant, Soil and Environment*.
- Ito, O., & et.al. (1996). *Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics*. Japan International Research Center for Agricultural Sciences.
- Jabeen, M., & et.al. (2022). Enhancing water use efficiency and grain yield of wheat by optimizing irrigation supply in arid and semi-arid regions of Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*.
- Kennedy, A., & Smith, K. (1995, March). Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant ans Soil*.
- Kirby, E. (2002). Botany of the wheat plant. *Food and Agriculture Organization* .
- Kirk, J. L., & et.al. (2004, August). Methods of studying soil microbial diversity. *Journal of Microbiological Methods*.
- KUMAR, A., & et.al. (2017). *Wheat A Premier Food Crop* . KALYANI PUBLISHERS .
- KUMAR, P. V., & et.al. (2015, March). Sensitive growth stages and temperature thresholds in wheat (*Triticum aestivum* L.) for index-based crop insurance in the Indo-Gangetic Plains of India. *AGRICULTURAL SCIENCE* .
- Li, Y., & et.al. (2022). Effects of irrigation and fertilization on grain yield, water and nitrogen dynamics and their use efficiency of spring wheat farmland in an arid agricultural watershed of Northwest China. *Agricultural Water Management*.
- Luo, Y., Loomis, R., & Hisio, T. (1992, September). Simiulation of soil temperature in crops . *Agricultural and Forest Meteorology*.
- LYNN, W. C., & PEARSON, M. J. (2000, May). The Color of Soil. *Science Teacher*.
- Malghani, A. L., & et.al. (2010, January). RESPONSE OF GROWTH AND YIELD OF WHEAT TO NPK FERTILIZER. *Agricultural and Food Sciences*.
- McCauley, A., & et.al. (2009, May). Soil pH and Organic Matter. *Nutrient Management Module* .
- Meleha, A. M., & et.al. (2020, October). Effect of Planting Dates and Planting Methods on Water Relations of Wheat. *Hindawi International Journal of Agronomy*.
- Memon, S., & et.al. (2020). Impact of deficit irrigation strategies on winter wheat in semi-arid climate of Sindh. *Agricultural Water Management*.

- Metz, N. (2006). *The WA Guide to High Moisture Harvest Management, Grain Storage and Handling*.
- Mojid, M. A., & et.al. (2020, July). Performance of Wheat in Five Soils of Different Textures under Freshwater and Wastewater Irrigation. *Agricultural Science*.
- Molnar-Lang, M., Ceoloni, C., & Dolezel, J. (2015). *Alien Introgression in Wheat Cytogenetics Molecular Biology and Genomics*. Springer.
- Mulugeta, B., & et.al. (2023, October). Unlocking the genetic potential of Ethiopian durum wheat landraces with high protein quality : Sources to be used in future breeding for pasta production. *Food and Energy Security*.
- Neina, D. (2019, November). The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Hindawi Applied and Environmental Soil Science*.
- novagreen. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.novagreen.gr/mykitologikes-astheneies-ton-sitiron-agravia/>.
- Olorunfemi, I. E., & et.al. (2016). Modeling cation exchange capacity and soil water holding capacity from basic soil properties. *Eurasian Journal of Soil Science*.
- Page, A. (1982). *METHODS OF SOIL ANALYSIS, Chemical and Microbiological Properties*. Madison, Wisconsin USA.
- PANKHURST, C., & et.al. (1996, February). Biodiversity of soil microbial communities in agricultural systems. *Biodiversity and Conservation*.
- PATEL, C., & et.al. (2019, October). Evaluation of genetic variability in durum wheat (*Triticum durum* L.). *GUJARAT AGRICULTURAL UNIVERSITIES RESEARCH JOURNAL*.
- Penn, C. J., & Camberato, J. J. (2019, June). A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants. *Agriculture*.
- Pennington, D., & et.al. (2022, September). Planting the 2023 Wheat Crop. *Michigan State University Extension*.
- Rabot, E., & et.al. (2018, March). Soil structure as an indicator of soil functions. *Geoderma*.
- Rady, M., & et.al. (2021). Raised beds modulate physiological responses, yield and water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L) under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*.
- Rafiullah, O. e. (2020). Phosphorus Nutrient Management through Synchronization of Application Methods and Rates in Wheat and Maize Crops. *Plants*.
- Ross, D. S. (1995). Recommended Methods for Determining Soil Cation Exchange Capacity.
- RYAN, M. G., & LAW, B. E. (2005, March). Interpreting, measuring and modeling soil respiration. *Biogeochemistry*.
- Sabanci, K., & et.al. (2020, July). Bread and durum wheat classification using wavelet based image fusion. *Journal of The Science of Food and Agriculture*.
- Salim, N., & Raza, A. (2019). Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production. *Journal of Plant Nutrition*.

- Sanyal, D., & Graham, C. (2022). Using the Haney Soil Test to Predict Nitrogen Requirements in Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Nitrogen*.
- Sedri, M., & et.al. (2022). Interactive Effects of Nitrogen and Potassium Fertilizers on Quantitative Qualitative Traits and Drought Tolerance Indices of Rainfed Wheat Cultivar. *Agronomy*.
- Sharma, S., & et.al. (2022). Nitrogen and potassium application effects on productivity, profitability and nutrient use efficiency of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plos One*.
- Si, Z., & et.al. (2020). Effects of nitrogen application rate and irrigation regime on growth, yield, and water-nitrogen use efficiency of drip-irrigated winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*.
- SOLIMAN, M., & et.al. (1994). INTERACTION OF SALINITY, NITROGEN AND PHOSPORUS FERTILIZATION ON WHEAT. *JOURNAL OF PLANT NUTRITION*.
- Stallmann, J., & et.al. (2020). Wheat growth, applied water use efficiency and flag leaf metabolome under continuous and pulsed deficit irrigation. *Scientific Reports*.
- syngenta. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.syngenta.gr/nea/sto-horafi/katapolemise-tis-astheneies-sta-sitira>.
- Tabak, M., & et.al. (2020). Efficiency of Nitrogen Fertilization of Winter Wheat Depending on Sulfur Fertilization. *Agronomy*.
- Tiwari, R. K., & et.al. (2016, November). Enzymes of Earthworm as Indicators of Pesticide Pollution in Soil. *Scientific Research Publishe*.
- Villalobos, F. J., & Fereres, E. (2016). *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer.
- Vitosh, M. (1994, October). WHEAT FERTILITY AND FERTILIZATION. *Michigan State University Extension*.
- Wiersma, J., & Bongard, P. (2018). Managing Wheat Before Harvest. *UNIVERSITY OF MINNESOTA EXTENSION*.
- WIKIFARMER. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://wikifarmer.com/el/%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B9%CF%84%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B1%CF%83%CE%B8%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3-3/>.
- Wilcke, W., & Hellevang, K. J. (2021). Drying wheat and barley. *UNIVERSITY OF MINNESOTA EXTENSION*.
- Wolinska, A., & et.al. (2017). Microbial biodiversity in arable soils is affected by agricultural practices. *International Agrophysics*.
- Xynias, I. N., & et.al. (2020, March). Durum Wheat Breeding in the Mediterranean Region : Current Status and Future Prospects. *Agronomy*.
- Zeng, R., & et.al. (2021). Assessing the effects of precipitation and irrigation on winter wheat yield and water productivity in North China Plain. *Agricultural Water Management*.

Zhang, C., & et.al. (2022). AquaCrop modeling to explore optimal irrigation of winter wheat for improving grain yield and water productivity. *Agricultural Water Management*.

ΗΜΑΘΙΩΤΙΚΗ ΓΗ. (χ.χ.). Ανάκτηση από

<https://www.google.com/imgres?q=%CE%BA%CE%BF%CE%BA%CE%BA%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%B7%20%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7%20%CE%B5%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%85%CF%83&imgurl=http%3A%2F%2Fblog.farmac on.gr%2Fimages%2Farticles%2Ft>.

Καραμάνος, Α. Ι. (2008). *Τα σιτηρά των εύκρατων κλιμάτων*. Εκδόσεις Παπαζήση.

Σινάνης, Κ. (2022). *Εδαφολογία*. Εκδόσεις Κάλλιπος.