

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Φυτοπαθολογίας



**«ΦΑΙΝΟΤΥΠΙΚΗ ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΗ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΣΙΤΟΥ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΗ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ»**

ΚΑΡΑΒΟΥΛΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ (ΑΜ 02264)

Επιβλέπων Καθηγητής
Ιωάννης Βαγγέλας
Αναπληρωτής Καθηγητής Φυτοπαθολογίας

Βόλος, 2025

**«Φαινοτυπική και Μοριακή Μελέτη στη Φυτοπροστασία και Ανάπτυξη του Σίτου Έπειτα
από Μακρόχρονη Μηδενική Κατεργασία»**

**«Phenotypic and Molecular Study in Plant Protection and Wheat Development Following
Long-Term Zero Tillage»**

Η εξεταστική επιτροπή αποτελείται από τους:

Ιωάννη Βαγγέλα, Αναπληρωτής Καθηγητής Φυτοπαθολογίας

Παναγιώτη Μαδέση, Αναπληρωτής Καθηγητής Μοριακής Βιολογίας

Χρήστο Καβαλάρη Μέλος Ε.ΔΙ.Π. Γεωργικής Μηχανολογίας

Υπεύθυνη Δήλωση

«Πιστοποιώ ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής διατριβής που εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος».

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία υλοποιήθηκε στο Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, με πειραματικό μέρος που διεξήχθη στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου στο Βελεστίνο και στο Εργαστήριο Μοριακής Βιολογίας, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2022–2023.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ιωάννη Βαγγέλα, Αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη καθοδήγησή του, τη συνεργασία και τη συνεχή στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. Παναγιώτη Μαδέση, Αναπληρωτή Καθηγητή του ίδιου Πανεπιστημίου, για την επίβλεψη και υποστήριξή του στο Εργαστήριο Μοριακής Βιολογίας, καθώς και τον κ. Χρήστο Καβαλάρη, Μέλος Ε.ΔΙ.Π. στη Γεωργική Μηχανολογία, για τη διάθεση του πειραματικού αγρού και την αμέριστη βοήθειά του σε όλα τα στάδια του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Μοριακής Βιολογίας για την ουσιαστική συνεισφορά και υποστήριξή τους στην υλοποίηση και ολοκλήρωση των πειραμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	1
1.2. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	2
1.3. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ 3	
1.4. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΑΡΟΣΗΣ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑΣ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ	5
1.5. ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΘΟΓΟΝΑ.....	6
1.6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΣΤΟ ΣΙΤΑΡΙ	7
1.6.1. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ.....	7
1.6.2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ.....	8
1.6.3. ΧΗΜΙΚΑ ΣΚΕΥΑΣΜΑΤΑ	9
1.7. ΣΚΟΠΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	11
2.1. ΓΕΝΙΚΑ	11
2.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	12
2.2.1. ΥΛΙΚΑ – ΟΡΓΑΝΑ.....	12
2.3. ΜΕΘΟΔΟΙ	13
2.3.1. ΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ.....	13
2.3.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΕΙΨΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	15
2.3.3. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΡΥΒΑΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΜΟΝΩΣΕΙΣ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ.....	16
2.3.4. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΦΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΜΟΝΩΣΕΙΣ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ.....	17
2.3.5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ DNA.....	18
2.3.5.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ «CTAB»	19
2.3.6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΗΣΗΣ	20
2.3.7. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΦΟΡΗΣΗΣ ΣΕ ΠΗΚΤΗ ΑΓΑΡΟΖΗ.....	21
2.3.8. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΛΥΣΙΔΩΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΜΕΡΑΣΗΣ (PCR).....	22
2.3.9. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	23
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	24

3.1. ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ	24
3.1.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	26
3.2. ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	31
3.2.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	32
3.3. ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΜΥΚΗΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	36
3.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	37
3.4.1. ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	38
3.4.2. ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΣΗ ΤΟΥ ΔΥΤΕΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	39
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	40
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42
5.1. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	42
5.2. ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	47

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

CO: Conventional tillage	Συμβατική άροση
HC: Reduced tillage with heavy cultivator	Μειωμένη άροση με βαρύ καλλιεργητή
DH/ST: Disc harrow (8 cm) or Strip tillage (30 cm)	Δισκοβάρνα (8cm) ή όργωμα σε λωρίδες (30cm)
NT1: No – Tillage (long term)	Μηδενική άροση (μακροπρόθεσμα)
NT2: No – Tillage (after 2019)	Μηδενική άροση (μετά το 2019)
CTAB: Cetyltrimethylammonium bromide	Βρωμιούχιο κετυλο - τριμεθυλο - αμμώνιο
DNA: Deoxyribonucleic acid	Δεσοξυριβονουκλεϊκό οξύ
PCR: Polymerase Chain Reaction	Αλυσιδωτή Αντίδραση Πολυμεράσης
UV: Ultraviolet	Υπεριώδης ακτινοβολία
PDA: Potato Dextrose Agar	Άγαρ δεξτρόζης πατάτας
LN2: Liquid Nitrogen	Υγρού Άζωτου
dsDNA: Double – stranded DNA	δίκλωνο DNA
TAE: Tris – Acetate - EDTA	Ρυθμιστικό διάλυμα ηλεκτροφόρησης
NCBI: National Center for Biotechnology Information	Εθνικό Κέντρο Βιοτεχνολογικής Πληροφόρισης
s.d.: sine datum	Αναφέρεται όταν το έτος δημοσίευσης του έργου δεν είναι γνωστό

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η φαινοτυπική και μοριακή μελέτη στη φυτοπροστασία και ανάπτυξη του σίτου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πεδία έρευνας στον αγροτικό τομέα. Ο σίτος, ως ένα από τα πιο βασικά δημητριακά, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διατροφή του παγκόσμιου πληθυσμού και στην οικονομία πολλών χωρών. Η κατανόηση των μηχανισμών που επηρεάζουν την ανάπτυξη του και την προστασία του από παθογόνους οργανισμούς είναι ζωτικής σημασίας για την εξασφάλιση υψηλών αποδόσεων και την αειφόρο διαχείριση των καλλιεργειών.

Η μακροχρόνια μηδενική κατεργασία του εδάφους είναι μια γεωργική πρακτική που έχει κερδίσει έδαφος τα τελευταία χρόνια λόγω των περιβαλλοντικών και οικονομικών της πλεονεκτημάτων. Η μηδενική κατεργασία μειώνει τη διάβρωση του εδάφους, αυξάνει την οργανική ύλη και βελτιώνει τη δομή του εδάφους, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των καλλιεργειών σε ακραίες κλιματικές συνθήκες. Ωστόσο, οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις αυτής της πρακτικής στη φυτοπροστασία και την ανάπτυξη του σίτου δεν είναι πλήρως κατανοητές.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην ανάλυση των φαινοτυπικών και μοριακών παραμέτρων που επηρεάζονται από τη μακροχρόνια μηδενική κατεργασία του εδάφους, με σκοπό την κατανόηση των επιπτώσεών της στη φυτοπροστασία και την ανάπτυξη του σίτου. Μέσω της συνδυαστικής χρήσης σύγχρονων τεχνολογιών και μεθόδων, επιδιώκεται η διερεύνηση των μηχανισμών που εμπλέκονται και η ανάπτυξη στρατηγικών για τη βελτίωση της απόδοσης και της υγείας των καλλιεργειών σίτου υπό συνθήκες μηδενικής κατεργασίας.

Λέξεις κλειδιά: σιτάρι, παθογόνα, μηδενική κατεργασία εδάφους, μοριακή ανάλυση, φυτοπροστασία.

ABSTRACT

Phenotypic and molecular research in crop protection and wheat development constitutes one of the most significant areas of study in the agricultural sector. Wheat, being one of the most fundamental cereal crops, plays a crucial role in the global food supply and the economies of many countries. Understanding the mechanisms that affect its growth and its protection from pathogenic organisms is vital for ensuring high yields and the sustainable management of crops.

Long-term no-till farming is an agricultural practice that has gained traction in recent years due to its environmental and economic benefits. No-till farming reduces soil erosion, increases organic matter, and improves soil structure, thereby enhancing crop resilience to extreme climate conditions. However, the long-term effects of this practice on crop protection and wheat development are not yet fully understood.

This study focuses on analyzing the phenotypic and molecular parameters affected by long-term no-till soil management, aiming to understand its impact on crop protection and wheat development. By combining modern technologies and methodologies, the research seeks to explore the underlying mechanisms and to develop strategies for improving wheat yield and crop health under no-till conditions.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραγωγή σιταριού αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της παγκόσμιας γεωργίας. Το σιτάρι είναι το τρίτο πιο παραγόμενο δημητριακό στον κόσμο, μετά το καλαμπόκι και το ρύζι, και το δεύτερο πιο παραγόμενο για ανθρώπινη κατανάλωση. Η κατανόηση των παγκόσμιων τάσεων στην παραγωγή σιταριού και των προκλήσεων που αντιμετωπίζει είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της διατροφικής ασφάλειας παγκοσμίως.

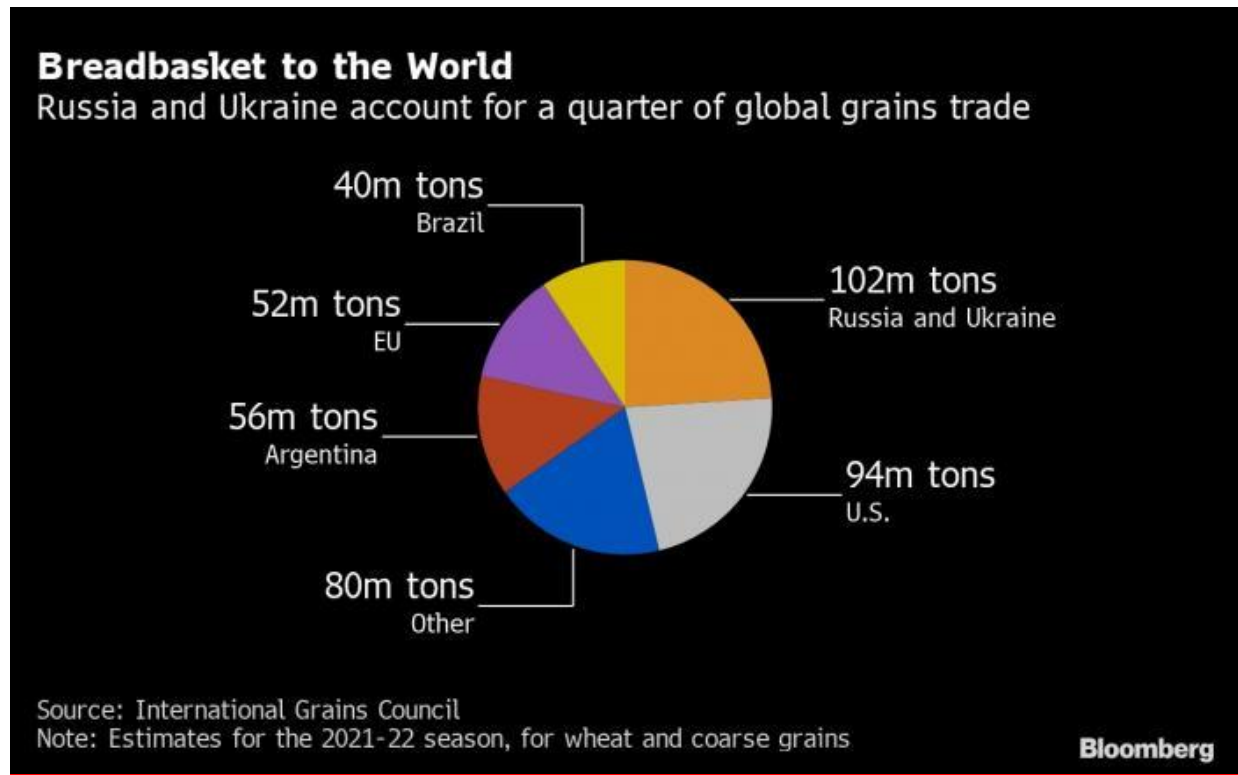
Η καλλιέργεια του σιταριού έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα, όταν οι πρώτες καλλιέργειες εμφανίστηκαν στη Μεσοποταμία περίπου 10,000 χρόνια πριν. Το σιτάρι αποτέλεσε βασικό συστατικό στη διατροφή των ανθρώπων και έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των πρώτων πολιτισμών. Η ικανότητα αποθήκευσης του σιταριού για μεγάλες περιόδους το καθιστούσε ιδανικό για τη δημιουργία αποθεμάτων τροφής, κάτι που συνέβαλε στην ανάπτυξη των πρώτων πόλεων και κρατών.

1.1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Το σιτάρι είναι ένα από τα βασικά γεωργικά προϊόντα που θρέφουν μεγάλο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού. Σύμφωνα με τους Giulioni et al. (2023), πάνω από τα δύο τρίτα της παγκόσμιας παραγωγής σιταριού χρησιμοποιούνται για τροφή, ενώ το υπόλοιπο διατίθεται για ζωοτροφές και βιομηχανικές χρήσεις (Giulioni et al., 2023). Οι κύριες χώρες παραγωγής σιταριού περιλαμβάνουν την Κίνα, την Ινδία, τις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Ρωσία και τη Γαλλία και συνεισφέρουν σημαντικά στις παγκόσμιες προμήθειες σιταριού, με την Κίνα και την Ινδία να αποτελούν κυρίαρχο ρόλο στην παραγωγή (Giulioni et al., 2023).

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), η παγκόσμια παραγωγή σιταριού το 2020 έφτασε τους 763 εκατομμύρια τόνους, σημειώνοντας αύξηση σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια και λόγω ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα φτάσει τα 9,7 δισεκατομμύρια έως το 2050, θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη αύξηση της ζήτησης για το σιτάρι ως βασική τροφή κατά 132 εκατομμύρια τόνους ετησίως (Cappelli & Cini, 2021). Η αύξηση αυτή αποδίδεται κυρίως στις βελτιωμένες γεωργικές πρακτικές και στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, που έχουν αυξήσει τις αποδόσεις των καλλιεργειών (Halecki & Bedla, 2022).

Σήμερα, η παγκόσμια παραγωγή σιταριού διαμορφώνεται από μια σειρά παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των κλιματολογικών συνθηκών, της ποιότητας του εδάφους, των γεωργικών πρακτικών και των τεχνολογικών καινοτομιών.



Εικόνα 1: Κορυφαίες Χώρες στην Παραγωγή Σιταριού με πρώτη τη Ρωσία (λόγω των εκτεταμένων καλλιεργήσιμων εκτάσεων και των ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών στις νότιες περιοχές της χώρας.) και μετά τις Ηνωμένες Πολιτείες (ΗΠΑ) να αποτελούν τους τους κορυφαίους παραγωγούς και εξαγωγείς σιταριού στον κόσμο.

1.2. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή σιταριού σε όλο τον κόσμο. Η ανάλυση των Sacks et al. (2010) δείχνει ότι η περίοδος καλλιέργειας σιταριού διαφέρει σημαντικά ανά περιοχή, με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών να είναι επίσης διαφορετικές ανάλογα με το πότε πραγματοποιείται η σπορά και η συγκομιδή. Σύμφωνα με τους Giulioni et al. (2023), οι σημαντικές στατιστικές σχέσεις μεταξύ ENSO και των αποδόσεων σιταριού βοηθούν στην κατανόηση των επιπτώσεων του ENSO στις παγκόσμιες αγορές.

Συγκεκριμένα, οι κλιματικές διακυμάνσεις εξηγούν το ένα τρίτο της παγκόσμιας μεταβλητότητας στις αποδόσεις των καλλιεργειών (Ray et al., 2015), ενώ τα φαινόμενα όπως το El Niño και το La Niña έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή σιταριού. Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στις βροχοπτώσεις και τις θερμοκρασίες, επηρεάζοντας την απόδοση των καλλιεργειών σε μεγάλες περιοχές, όπως η Βόρεια Αμερική και η Αυστραλία (Iizumi et al., 2014). Στις μέρες μας, οι κλιματικές αλλαγές αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την παραγωγή σιταριού. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως οι ξηρασίες, οι πλημμύρες και οι αυξημένες θερμοκρασίες, έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην απόδοση των καλλιεργειών. Για αυτό και η ανάπτυξη ποικιλιών σιταριού ανθεκτικών στην ξηρασία και την υψηλή θερμοκρασία, καθώς και η εφαρμογή βιώσιμων γεωργικών πρακτικών, είναι κρίσιμης σημασίας για τη διασφάλιση της παραγωγής σιταριού υπό αυτές τις συνθήκες (Anderson et al., 2020; Bapela et al., 2022; Langridge et al., 2022).

Επιπλέον, οι πολιτικές συνεργασίας μπορούν να συμβάλλουν στη σταθεροποίηση των αγορών και στην εξασφάλιση της πρόσβασης σε τρόφιμα για όλους. Η έρευνα των Heino et al. (2020) υποστηρίζει ότι τα δύο τρίτα της παγκόσμιας γεωργικής έκτασης επηρεάζονται από τις κλιματικές διακυμάνσεις, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη λήψη μέτρων για την προσαρμογή των γεωργικών πρακτικών στις νέες κλιματικές συνθήκες.

Συνοψίζοντας, η παραγωγή σιταριού αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις αλλά και ευκαιρίες για βελτίωση. Οι συντονισμένες προσπάθειες για την αντιμετώπιση των κλιματικών, πολιτικών, βιοτικών και τεχνολογικών προκλήσεων θα είναι κρίσιμες για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας και της αποδοτικότητας της καλλιέργειας του σιταριού στο μέλλον.

1.3. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Η παραγωγή σιταριού αντιμετωπίζει μια σειρά από περιβαλλοντικές προκλήσεις παρά τις τεχνολογικές προόδους που έχουν γίνει τις τελευταίες δεκαετίες. Οι κλιματικές αλλαγές αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες απειλές για την παραγωγή σιταριού. Επηρεάζει τόσο τους βιοτικούς παράγοντες (ασθένειες και παράσιτα), όσο και τους αβιοτικούς παράγοντες (έλλειψη νερού και οι εδαφικές συνθήκες) ενώ σε συνδυασμό με ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως η ξηρασία και οι πλημμύρες, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στις καλλιέργειες και μπορούν να καταστρέψουν τις καλλιέργειες (Lobell & Asseng, 2017). Για παράδειγμα, οι

ασθένειες του γένους *Fusarium* μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές απώλειες στην καλλιέργεια του σίτου, ενώ η έλλειψη νερού αποτελεί μείζονα πρόκληση ιδιαίτερα σε περιοχές με ξηρά κλίματα (Tadesse et al., 2018; Bapela et al., 2022). Επιπλέον, η απώλεια της βιοποικιλότητας και η υποβάθμιση του εδάφους αποτελούν σημαντικά προβλήματα που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών (Ren et al., 2019).

Οι τεχνολογικές καινοτομίες στον τομέα της γεωργίας έχουν διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην αύξηση της παραγωγής και της απόδοσης σιταριού. Η χρήση σύγχρονων μηχανημάτων, όπως οι θεριζοαλωνιστικές μηχανές, η ανάπτυξη νέων ποικιλιών σιταριού με αυξημένη ανθεκτικότητα σε ασθένειες και η εφαρμογή προηγμένων συστημάτων άρδευσης έχουν συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητας (Giulioni et al., 2023). Επιπλέον, η χρήση τεχνολογιών πληροφορικής και τηλεπισκόπησης (γεωργία ακριβείας), η εφαρμογή αισθητήρων και η ανάλυση δεδομένων επιτρέπει στους γεωργούς να παρακολουθούν τις καλλιέργειές τους σε πραγματικό χρόνο και να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με τη διαχείριση των καλλιεργειών τους μειώνοντας τις απώλειες και αυξάνοντας τις αποδόσεις (Cappelli & Cini, 2021; Langridge et al., 2022).

Η παραγωγή σιταριού επηρεάζεται επίσης από τις οικονομικές και πολιτικές παραμέτρους. Οι εμπορικοί πόλεμοι, οι γεωπολιτικές εντάσεις και οι πολιτικές γεωργικών επιδοτήσεων μπορούν να επηρεάσουν τις παγκόσμιες αγορές σιταριού και να δημιουργήσουν αβεβαιότητα στους παραγωγούς. Για παράδειγμα, οι εμπορικές εντάσεις μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και της Κίνας έχουν επηρεάσει τις εξαγωγές σιταριού και τις τιμές στην αγορά (Li et al., 2020). Επιπλέον, ο πόλεμος στην Ουκρανία, η οποία είναι μία από τις μεγαλύτερες εξαγωγικές χώρες σιταριού, έχουν επηρεάσει τις διεθνείς αγορές και τις τιμές του σιταριού (Langridge et al., 2022).

Η γενετική βελτίωση του σιταριού, με στόχο την ανάπτυξη ποικιλιών που είναι ανθεκτικές σε ακραίες συνθήκες και ασθένειες, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την αντιμετώπιση των προκλήσεων. Η ανάπτυξη ποικιλιών που είναι ανθεκτικές στην ξηρασία, στην αλκαλικότητα του εδάφους και στις ασθένειες έχει ήδη αποφέρει θετικά αποτελέσματα, αλλά απαιτείται συνεχής έρευνα και καινοτομία (Bapela et al., 2022; Langridge et al., 2022).

Οι μελλοντικές προοπτικές για την παραγωγή σιταριού εξαρτώνται από την ικανότητα των γεωργών να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και να υιοθετήσουν νέες τεχνολογίες και πρακτικές. Η έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της γεωργίας, η προώθηση της βιώσιμης γεωργίας και η ενίσχυση της διεθνούς συνεργασίας μπορούν να συμβάλουν στη διασφάλιση της

παραγωγής σιταριού και στην κάλυψη των διατροφικών αναγκών του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού (Mittal & Mehar, 2016).

Συμπερασματικά, η παραγωγή του σιταριού αποτελεί έναν κρίσιμο τομέα για την παγκόσμια γεωργία και τη διατροφική ασφάλεια. Παρά τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει, οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι βελτιωμένες γεωργικές πρακτικές έχουν οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγικότητας. Η κατανόηση των παγκόσμιων τάσεων και η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών και πολιτικών προκλήσεων είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της βιώσιμης παραγωγής σιταριού στο μέλλον.

1.4. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΑΡΟΣΗΣ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑΣ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η ενίσχυση και η αύξηση της παραγωγής καθώς και η βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων έχουν προάγει το μοντέλο της συμβατικής γεωργίας μέσω της χρήσης φυτοπροστατευτικών ουσιών και λιπασμάτων, καθώς επίσης και τη χρήση μηχανημάτων κατεργασίας του εδάφους.

Η συχνότητα και η ένταση του οργώματος επηρεάζουν τις φυσικοχημικές και μικροβιολογικές ιδιότητες του εδάφους, οι οποίες αποτελούν βασικούς δείκτες της ποιότητας της καλλιεργήσιμης γης, με εκείνο του οργανικού άνθρακα του εδάφους (SOC) να θεωρείται ο σημαντικότερος δείκτης της ποιότητας του χώματος, καθώς επηρεάζει άμεσα τις θεμελιώδεις ιδιότητές του (Gajda et al., 2017). Η κοινότητα των εδαφικών μυκήτων, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τον βιοχημικό κύκλο, τη διάσπαση της οργανικής ύλης και τη διαχείριση των ασθενειών, επηρεάζεται από την άροση, καθώς αυτή τροποποιεί τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, μεταβάλλοντας έτσι τη δομή της (Gao et al., 2022).

Επιπλέον, η τριετής μελέτη που διεξήχθη στη Νότια Ισπανία εξέτασε την επίδραση της άροσης στην ανάπτυξη των ριζών του ανοιξιιάτικου σιταριού (*Triticum aestivum* L.) και διαπιστώθηκε ότι η μεγαλύτερη ανάπτυξη των ριζών στο ανώτερο στρώμα του εδάφους υπό συμβατική άροση μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη αντίσταση διείσδυσης του εδάφους, η οποία εμφανίζεται στα πρώτα 10 cm κάτω από τη μηδενική άροση (Muñoz-Romero et al., 2010). Στην Τουρκία, αν και οι συνθήκες υγρασίας ήταν ιδανικές για την ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών, η

περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό ήταν υψηλότερη στη μειωμένη κατεργασία σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία του εδάφους (Acar et al., 2017).

Οι γεωργικές πρακτικές διατήρησης (conservation agricultural practices), όπως η μειωμένη ή η μηδενική άροση, που χαρακτηρίζονται από χαμηλή διαταραχή του εδάφους και τη διατήρηση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών, εφαρμόζονται όλο και περισσότερο στην καλλιέργεια δημητριακών και βιομηχανικών φυτών σε ξηρές μεσογειακές περιοχές, βελτιώνοντας την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, αυξάνοντας την υγρασία του εδάφους και ενισχύοντας τη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη μείωση της διάβρωσης του εδάφους, της έκπλυσης νιτρικών αλάτων, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και του κόστους καυσίμων (Seddaiu et al., 2016).

1.5. ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΘΟΓΟΝΑ

Οι πρακτικές συντηρητικής γεωργίας, όπως η μειωμένη ή μηδενική άροση (No-Tillage - NT) και η διατήρηση φυτικών υπολειμμάτων, υιοθετούνται παγκοσμίως για τη μείωση της διάβρωσης και των απωλειών θρεπτικών στοιχείων, την αύξηση της οργανικής ουσίας (SOM) και τη βελτίωση της υδατικής συγκράτησης του εδάφους (Aduhene-Chinbuah et al., 2022). Επιπλέον, ο συνδυασμός αυτών των πρακτικών με την εδαφοκάλυψη άχυρου θεωρείται ακόμη πιο αποδοτικός, καθώς έρευνες δείχνουν ότι το άχυρο συμβάλλει καθοριστικά στην αύξηση της παραγωγικότητας, υπερβαίνοντας τα οφέλη της άροσης από μόνο του (Wang et al., 2020). Για παράδειγμα, λειτουργική διαφοροποίηση των εδαφικών μυκήτων μπορεί να ενισχύσει την ικανότητα των φυτών να απορροφούν θρεπτικά στοιχεία, να συμβάλει στην προστασία των καλλιεργειών από ασθένειες και να έχει άμεσο αντίκτυπο στην παραγωγικότητά τους (Gao et al., 2022).

Ωστόσο, το πλήθος και ο αριθμός των μυκήτων που αναπτύσσονται σε καλλιέργειες σιταριού με μειωμένη ή μηδενική άροση είναι υψηλότερος σε σύγκριση με τη συμβατική (Sharma-Poudyal et al., 2017), όπως αυτά του γένους *Alternaria*, *Cladosporium*, *Pyrenophora*, *Aspergillus* και *Penicillium* με τα δύο πρώτα να δημιουργούν σημαντικά προβλήματα στους κόκκους του σιταριού (Suproniene et al., 2008).

Πέρα από τις απώλειες στην παραγωγή και τις τροποποιήσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μολυσμένων φυτικών προϊόντων, ορισμένα είδη του γένους *Alternaria* έχουν την ικανότητα να συνθέτουν διάφορες μυκοτοξίνες όπως, alternariol (AOH), altertoxins I, II, III (ATX I, II και III)

και tenuazonic acid (TeA) που είναι εξειδικευμένες για τον εκάστοτε ξενιστή, οι οποίες έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ή στην υγεία των παραγωγικών ζώων (Müller et al., 2013).

Τα είδη του γένους *Cladosporium* απαντώνται παγκοσμίως και συχνά εντοπίζονται σε πλήθος διαφορετικών περιβαλλοντικών πηγών, όπως το έδαφος, η ατμόσφαιρα, τα τρόφιμα, τα φυτά, άλλοι μύκητες, τα έντομα, καθώς και διάφορα οργανικά υπολείμματα, και έχει τεκμηριωθεί ότι τα είδη *Cladosporium atriellum*, *C. cladosporioides*, *C. graminum*, *C. herbarum*, *C. inversicolor*, *C. macrocarpum*, *C. malorum*, *C. oxysporum*, *C. perangustum* και *C. pseudocladosporioides* βρίσκονται στο σιτάρι σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο (Zhu et al., 2024).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί μια από τις πιο καταστροφικές ασθένειες του φυλλώματος του χειμερινού σιταριού που οφείλεται στον ασκομύκητα του γένους *Pyrenophora* που συναντάται και στα φυτικά υπολείμματα του στελέχους του σιταριού με τη μορφή ψευδοθηκίων, μολυνοντας τα φύλλα του σιταριού κατά την πρώιμη καλλιεργητική περίοδο απελευθερώνοντας ασκοσπόρια, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της απόδοσης και της ποιότητας του σιταριού σε ποσοστό μέχρι και 50% (Vagelas et al., 2022).

1.6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΣΤΟ ΣΙΤΑΡΙ

Η διαχείριση και η αντιμετώπιση των ασθενειών της καλλιέργειας του σιταριού μπορούν να αντιμετωπιστούν με διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές και φροντίδες, ανθεκτικές ποικιλίες (μέχρι σήμερα δεν υπάρχει επαρκής αντοχή για σε όλες τις ασθένειες), και χημικών φυτοφαρμάκων (μυκητοκτόνα) ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του παθογόνου, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και το στάδιο του φυτού.

1.6.1. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ

Η καταστροφή των υπολειμμάτων της καλλιέργειας, το παράχωμα φυτικών υπολειμμάτων με βαθιά άροση στον αγρό, η αραιή σπορά και η εποχή που θα σπείρουμε (όψιμη ή πρώιμη σπορά ανάλογα με την τοποθεσία και τις καιρικές συνθήκες), το είδος της ποικιλίας και η ισορροπημένη λίπανση είναι κάποια από τα μέτρα αντιμετώπισης των ασθενειών στο σιτάρι (Agro24, n.d.).

Επιπλέον, η αμειψισπορά που θεωρείται από τις πιο σημαντικές καλλιεργητικές πρακτικές, πέρα από την εναλλαγή καλλιεργειών για τη διατήρηση της καλής λειτουργίας των εδαφών όπως γονιμότητα, αξιοποίηση νερού κ.α., είναι απαραίτητη και για τον έλεγχο των ασθενειών στην καλλιέργεια. Η διάρκεια της αμειψισποράς εξαρτάται από το παθογόνο που έχει αναπτυχθεί στο χωράφι. Για παράδειγμα για τους άνθρακες και τους δαυλίτες που διατηρούνται στο έδαφος, η αμειψισπορά διαρκεί 2-3 χρόνια, ενώ για το παρασιτικό πλάγισμα των σιτηρών Συνίσταται πενταετής αμειψισπορά (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2013).

Η χρήση υγίων και ποιοτικών σπόρων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη γεωργική παραγωγή, καθώς συμβάλλει τόσο στην εξασφάλιση της επισιτιστικής επάρκειας όσο και στη μείωση της ανάγκης για συνθετικά φυτοφάρμακα στο χωράφι (Moumni et al., 2023). Ωστόσο, η επεξεργασία και η απολύμανση των σπόρων είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι για τον καλλιεργητή ώστε να διασφαλίσει και να προστατεύσει την καλλιέργειά του από παθογόνα συμβάλλοντας σε υγιή φυτά και καλή απόδοση. Οι επεξεργασίες σπόρων προστατεύουν την καλλιέργεια από επιθέσεις παθογόνων και μπορεί να είναι αποτελεσματικά σε ένα μεγάλο βαθμό. Οι φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας, όπως η χρήση ζεστού νερού, ατμού με αερισμό ή ξηρής θερμότητας, έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές σε διάφορες καλλιέργειες για την αντιμετώπιση πολλών παθογόνων και χρησιμοποιούνται εμπορικά κυρίως για τη διαχείριση σπόρων λαχανικών (Koch & Roberts, 2014).

1.6.2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

Για λόγους περιβαλλοντικής και οικονομικής βιωσιμότητας, είναι αναγκαία η αναβάθμιση της καλλιέργειας του σκληρού σιταριού μέσω της υιοθέτησης οικολογικά υπεύθυνων πρακτικών, όπως τα ολοκληρωμένα συστήματα φυτοπροστασίας, ώστε να περιοριστούν οι απώλειες απόδοσης λόγω βιοτικών στρες και να παραχθούν πιο υγιεινά προϊόντα που ανταποκρίνονται στις διατροφικές ανάγκες του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού, ιδιαίτερα καθώς η ζήτηση για βιολογικά τρόφιμα έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες τρεις δεκαετίες (Rebouh et al., 2022).

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η χρήση των Βιο-παρασιτοκτόνα (biological control agents-BCAs) όπως *Trichoderma spp.*, *Bacillus spp.*, *Pseudomonas fluorescens*, *Beauveria bassiana*, και *Gliocladium spp* για τη βιολογική αντιμετώπιση των ασθενειών (Madlhophe et al., 2025). Οι βασικοί μηχανισμοί του βιολογικού ελέγχου περιλαμβάνουν τον μυκοπαρασιτισμό, την παραγωγή

αντιβιοτικών ουσιών, τον ανταγωνισμό και την επαγόμενη αντίσταση, και άλλοι μηχανισμοί που σχετίζονται με την υπο-μολυσματικότητα, την παρουσία ιών και την αναστολή των ενζύμων που συμμετέχουν στην παθογένεια των φυτών (Chaudhary et al., 2024). Επιπλέον, η ενίσχυση της ανθεκτικότητας του σίτου σε διάφορα παθογόνα και σε συνδυασμό με την ορθή γεωργική πρακτική, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη διασφάλιση της παγκόσμιας επισιτιστικής επάρκειας και για τη βελτίωση της αποδοτικότητας της παραγωγής ώστε να ανταποκριθεί στις μελλοντικές ανάγκες (Ren et al., 2024).

1.6.3. ΧΗΜΙΚΑ ΣΚΕΥΑΣΜΑΤΑ

Από την άλλη, η υπερβολική και αλόγιστη χρήση χημικών φυτοφαρμάκων στη γεωργία αποτελεί σοβαρό ζήτημα, καθώς προκαλεί τοξικές επιδράσεις σε μη στοχευμένους οργανισμούς και αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον, επηρεάζοντας δυσμενώς τη γονιμότητα του εδάφους, τη μικροπανίδα του και την ανθρώπινη υγεία (Singh 2018).

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη χρονική περίοδο του ψεκασμού περιλαμβάνουν: α) το στάδιο ανάπτυξης του της ασθένειας αλλά και της καλλιέργειας, β) τις προσδοκίες της απόδοσης των καλλιεργειών, γ) η αντοχής της ποικιλίας, δ) η αντοχή της ασθένειας στα σκευάσματα, ε) την περιοχή της καλλιέργειας και την εποχή (π.χ. αν έχει υψηλό ή χαμηλό ποσοστό βροχόπτωσης), και στ) από το στάδιο ανάπτυξης των κόκκων (Grains Research and Development Corporation, 2013). Ανάλογα με τους παράγοντες που προαναφέραμε, χρησιμοποιούμε και διαφορετικές δραστικές ουσίες φυτοφαρμάκων, όπως: α) pyraclostrobin (προληπτικά ή με το πρωτοεμφανιστούν τα συμπτώματα της ασθένειας), β) trifloxystrobin και prothioconazole (προστατευτική και θεραπευτική δράση), γ) διασυστηματικά μυκητοκτόνά με δύο δραστικές της ομάδας των DMIs (prothioconazole και tebuconazole) που έχουν με προληπτική και θεραπευτική δράση (κατάλληλο για τις καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών), δ) propiconazole (τριαζολικό μυκητοκτόνο της ομάδας DMIs) με προστατευτική και θεραπευτική δράση (BASF Ελλάς, n.d.; Bayer Ελλάς, n.d.; e-Agro, n.d.; Φυτοφάρμακα.net, n.d.).

1.7. ΣΚΟΠΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα μελέτη στοχεύει στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ μειωμένης κατεργασίας και της ανάπτυξης ασθενειών στο σιτάρι, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο αυτή επηρεάζει την καλλιέργεια και το επίπεδο μόλυνσης.

Διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές, όπως η άροση, η μειωμένη κατεργασία, η αμειψισπορά και η διαχείριση των υπολειμμάτων, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον κίνδυνο εμφάνισης ασθενειών του φυλλώματος, του σπόρου αλλά και με μολύνσεις στα φυτικά υπολείμματα του σιταριού (καλαμιά).

Στο πλαίσιο του πειράματος, η ένταση και το στάδιο ανάπτυξης της ασθένειας αξιολογήθηκαν μέσω διαφορετικών τρόπων αναλύσεων όπως α) επιτόπιες παρατηρήσεις στον αγρό, β) εργαστηριακές μετρήσεις και γ) στατιστικές μεθόδους.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη διεξήχθη στον πειραματικό αγρό καλλιέργειας σιταριού (σκληρό σιτάρι) του Πανεπιστημίου, που βρίσκεται στο Βελεστίνο (Νομός Μαγνησίας), κατά την περίοδο από Νοέμβριο 2022 έως Μάιο 2023, όπου έγιναν όλες οι μετρήσεις της καλλιέργειας. Επιπλέον ένα μέρος της έρευνας πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Φυτοπαθολογίας και στο Εργαστήριο Μοριακής Βιολογίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τις φυτοπαθολογικές και μοριακές αναλύσεις των φυτών σίτου.



Εικόνα 2: Σχολή Γεωπονικών Επιστημών του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος στην περιοχή Φυτόκου στον Βόλο (α), και το Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην Εθνική Οδό Αθηνών Θεσσαλονίκης, στην περιοχή Βελεστίνο, Μαγνησίας (β).

2.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.2.1. ΥΛΙΚΑ – ΟΡΓΑΝΑ

Παρακάτω, αναγράφονται αναλυτικά (Πίνακας 1) όλα τα υλικά και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος τόσο στον αγρό όσο και στα εργαστήρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας.

Πίνακας 1: Υλικά και Όργανα του πειραματικού μέρους

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Σπορά	- Ποικιλία σπόρου: <i>Iride</i> - Σπαρτική μηχανή: Kuhn SD Liner 3000
Δειγματοληψία	Μαρκαδόρος, Ψαλίδι, Γάντια, Χάρτινες σακούλες
Εργαστήριο Μοριακής Βιολογίας	Υλικά: Τρυβλία Petri, Σωληνάρια τύπου Eppendorf, Γουδί & γουδοχέρι, Σπάτουλα, Πιπέτες, Καλούπι, Πάγος, Απορροφητικό χαρτί, Κυψελίδες UV Όργανα: Κλίβανος αποστείρωσης, Θάλαμος νηματικής ροής, Ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας, Φυγόκεντρος, Συσκευή vortex, Ξηρό θερμαντικό λουτρό, Συσκευή ηλεκτροφόρησης, Φασματοφωτόμετρο, PCR Fast Gene
Στατιστική	Λογισμικό πρόγραμμα: JASP (0.18.1.0)

2.3. ΜΕΘΟΔΟΙ

2.3.1. ΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ

Στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, με γεωγραφικές συντεταγμένες 39°23'43.26"N, 22°45'26.37"E, βρίσκεται ο πειραματικός αγρός που μελετήθηκε με διαστάσεις 120x20m. Την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο (2021-2022), ο αγρός είχε καλλιεργηθεί με σιτάρι.

Η πειραματική διάταξη περιλάμβανε πέντε διαφορετικές μεταχειρίσεις κατεργασίας του εδάφους, καθεμία από τις οποίες επαναλήφθηκε τέσσερις φορές (Εικόνα 1):

- **CO (Μάρτυρας):** Συμβατική κατεργασία
- **HC:** Μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή
- **DH/ST:** Μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα
- **NT1:** Μηδενική κατεργασία από το 1997
- **NT2:** Μηδενική κατεργασία μετά το 2019



Εικόνα 3: Άποψη και διάγραμμα του πειραματικού αγρού στις 20/4/2023 από Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (ΣμηΕΑ) όπου CO: Μάρτυρας, HC: Μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, DH/ST μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα, NT1: Μηδενική κατεργασία από το 1997, NT2: μηδενική κατεργασία μετά το 2019.

Στην παρούσα πτυχιακή μελέτη εξετάστηκαν οι μόνο μεταχειρίσεις **NT1** (μηδενική κατεργασία από το 1997) και **CO** (Συμβατική κατεργασία) που είναι και ο μάρτυρας του πειραματικού αγρού. Για τον μάρτυρα (CO), εφαρμόστηκαν οι παραδοσιακές τεχνικές κατεργασίας του εδάφους για τη σπορά του σιταριού όπως όργωμα που πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2022, ακολουθούμενο από τρία περάσματα με δισκοσβάρνα για τη διάσπαση των βόλων και την τελική προετοιμασία της σποροκλίνης ενώ στη μεταχείριση NT1, δεν πραγματοποιήθηκε καμία μηχανική κατεργασία του εδάφους πριν από τη σπορά. Ψεκασμός με glyphosate και σε ποσότητα 300 g ανά στρέμμα έγινε για την καταπολέμηση ζιζανίων στις 28/10/2022.

Με τη χρήση της σπαρτικής μηχανής Kuhn SD Liner 3000 έγινε η σπορά και στις δύο μεταχειρίσεις που πραγματοποιήθηκε στις 10/11/2022, η οποία είναι κατάλληλη τόσο για κατεργασμένο όσο και για ακατέργαστο έδαφος. Η καλλιέργεια έγινε με τη μεσοπρώιμη ποικιλία σκληρού σίτου IRIDE (ποσότητα σπόρου: 21 kg ανά στρέμμα).



***Εικόνα 4:** Πειραματικός αγρός του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο κατά τη διάρκεια σποράς.*



Εικόνα 5: Σπαρτική μηχανή Kuhn SD Liner 3000 (α-β) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

2.3.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΕΙΨΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Όλα τα δείγματα λαμβάνονται από τέσσερα προκαθορισμένα σημεία σε κάθε αγροτεμάχιο, ενώ παράλληλα καταγράφεται ο συνολικός αριθμός φυτών ανά σειρά και ο αριθμός εκείνων που είχαν ολοκληρώσει συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης, όπως το αδέρφωμα, το καλάμωμα και το ξεστάχιασμα, το οποίο σηματοδοτούσε την επιτυχή μετάβαση στο επόμενο στάδιο. Επιπλέον, η δειγματοληψία περιλαμβάνει και τη συλλογή δειγμάτων, τα οποία μεταφέρονται στο εργαστήριο για επεξεργασία και λεπτομερή ανάλυση, με στόχο την αξιολόγηση της έντασης της ασθένειας. Επίσης, πραγματοποιούνταν συστηματικές μετρήσεις, όπως η καταγραφή του μεγέθους και της ανάπτυξης του στάχυ, σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια των διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης των φυτών.

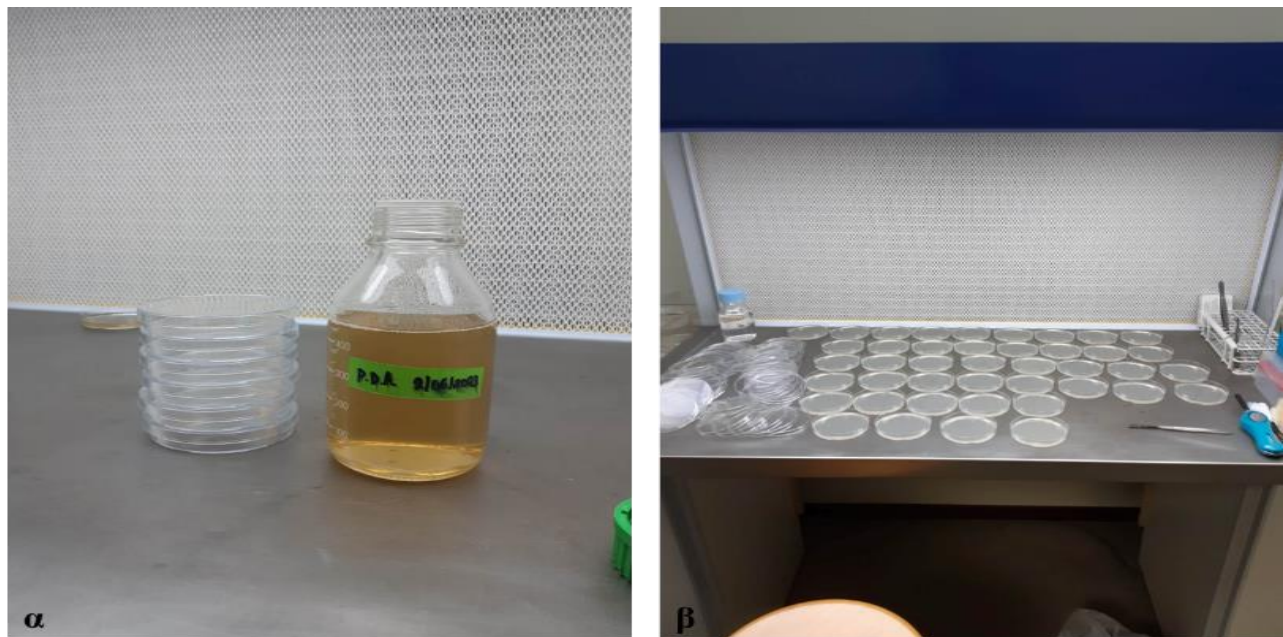
Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στις ακόλουθες ημερομηνίες:

- **22/12/2022 και 20/01/2023:** GS 20-29 (στάδιο αδελφώματος)
- **09/03/2023 και 28/03/2023:** GS 30-39 (στάδιο καλαμώματος)
- **25/05/2023:** GS 50-59 (στάδιο ξεσταχιάσματος)

Όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες χάρτινες σακούλες και συντηρήθηκαν στους -20°C έως ότου ξεκινήσει η διαδικασία απομόνωσης DNA του πειράματος.

2.3.3. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΡΥΒΛΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΜΟΝΩΣΕΙΣ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ

Για την προετοιμασία των τρυβλίων χρησιμοποιήθηκε το θρεπτικό υπόστρωμα **Potato Dextrose Agar (PDA)** για την καλλιέργεια μυκήτων, σύμφωνα με το πρωτόκολλο της εταιρείας **NEOGEN**. Συγκεκριμένα, 39 γραμμάρια PDA διαλύθηκαν σε ένα λίτρο απεσταγμένου νερού, και το μείγμα αποστειρώθηκε σε αυτόκλειστο στους 115°C για δέκα λεπτά. Στη συνέχεια, το αποστειρωμένο υγρό υπόστρωμα μεταφέρθηκε σε τρυβλία **Petri** κάτω από αποστειρωμένες συνθήκες, εντός θαλάμου νηματικής ροής, διασφαλίζοντας έτσι την αποφυγή επιμολύνσεων κατά τη διαδικασία προετοιμασίας.



Εικόνα 6: Αποστειρωμένο *Potato Dextrose Agar* σε γυάλινη φιάλη των 500ml (α) και τρυβλία *Petri* σε θάλαμο νηματικής ροής (β).

2.3.4. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΦΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΜΟΝΩΣΕΙΣ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ

Για την προετοιμασία του φυτικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την απομόνωση ασθενειών ακολουθήθηκε μια συγκεκριμένη διαδικασία. Αρχικά, έγινε η συλλογή των δειγμάτων από τα όρια μεταξύ υγιούς και προσβεβλημένου ιστού, τα οποία απολυμάνθηκαν σε διάλυμα χλωρίνης 5% για πέντε λεπτά, ώστε να απομακρυνθούν τυχόν μικροοργανισμοί. Στη συνέχεια, τα δείγματα ξεπλύθηκαν τρεις φορές με αποστειρωμένο νερό και αφέθηκαν να στεγνώσουν σε θερμοκρασία δωματίου.

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία απολύμανσης και ξήρανσης, τέσσερα έως πέντε μικρά κομμάτια φυτικού ιστού τοποθετήθηκαν σε τρυβλία που περιείχαν θρεπτικό υπόστρωμα **PDA**. Τα τρυβλία επωάστηκαν σε θερμοκρασία **22°C** μέσα σε ειδικό επωαστήριο του εργαστηρίου. Μετά από διάστημα πέντε έως επτά ημερών, αναπτύχθηκαν αποικίες μυκήτων, από τις οποίες δίσκοι μυκηλίου μεταφέρθηκαν σε νέα τρυβλία με **PDA** για τη δημιουργία καθαρής καλλιέργειας. Οι καθαρές καλλιέργειες διατηρήθηκαν σε θερμοκρασία **4°C** για μελλοντική χρήση.

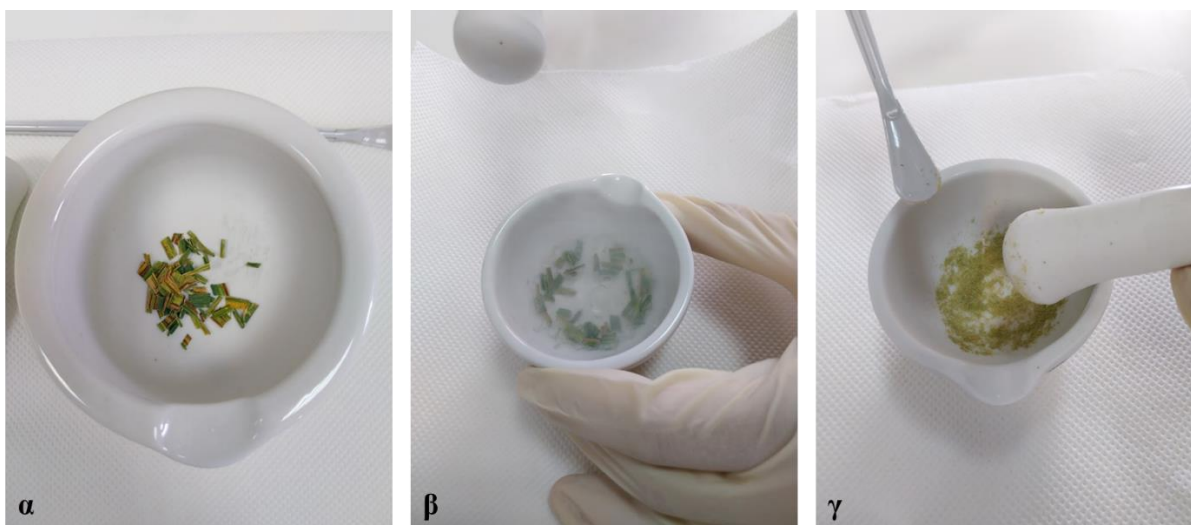


Εικόνα 7: Διαδικασία απολύμανσης φυτικού ιστού για την απομάκρυνση μικροοργανισμών.

2.3.5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ DNA

Τα δείγματα διατηρήθηκαν στους -20°C έως την ημέρα εφαρμογής του πρωτοκόλλου απομόνωσης DNA στο Εργαστήριο Μοριακής Βιολογίας, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο CTAB. Η προετοιμασία περιλαμβάνει την επεξεργασία των μολυσμένων τμημάτων φύλλων με τη χρήση υγρού άζωτου (LN_2 , Liquid Nitrogen), για την εξασφάλιση και τη διατήρηση της ακεραιότητας του DNA για περαιτέρω ανάλυση ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- **Επιλογή ιστού:** Με τη βοήθεια ψαλιδιού, κόβουμε μόνο τα τμήματα των φύλλων που εμφανίζουν συμπτωματολογία ασθενειών, αποφεύγοντας τα υγιή μέρη.
- **Λειοτρίβηση φυτικού υλικού:** Χρειάζονται περίπου 100-200 mg ιστού από τα φύλλα που έχουν εκδηλώσει συμπτώματα, τοποθετούνται σε γουδί με το υγρό άζωτο και με το γουδοχέρι αλέθεται γρήγορα μέχρι να γίνει μία ομοιόμορφη σκόνη.
- **Αποθήκευση δείγματος:** η σκόνη του φυτικού ιστού μεταφέρεται μέσα σε ένα αριθμημένο, αποστειρωμένο σωληνάριο Eppendorf των 2 ml και φυλάσσεται στους -20°C μέχρι την έναρξη του πρωτοκόλλου απομόνωσης DNA.



Εικόνα 8: Διαδικασία λειοτρίβησης. Μικρά κομμάτια μολυσμένου φυτικού υλικού (α), φυτικό υλικό με υγρό άζωτο (β) και ομοιογενείς σκόνη φυτικού υλικού (γ).

2.3.5.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ «CTAB»

Το πρωτόκολλο CTAB που εφαρμόστηκε για την απομόνωση DNA του μύκητα στο δείγμα μας είναι μια διαδικασία δύο ημερών όπως ακριβώς εφαρμόζεται στο εργαστήριο της Μοριακής Βιολογίας του Τμήματος του Πανεπιστημίου κάτω από την επίβλεψη του Διευθυντή Δρ Μαδέση, για την απομόνωση καθαρού DNA, κατάλληλου για περαιτέρω ανάλυση.

Το πρωτόκολλο 1^{ης} ημέρας ακολουθείται από: μια μικρή ποσότητα σκόνης φυτικού ιστού τοποθετείται σε αποστειρωμένο σωλήνα των 2 ml. Στη συνέχεια, προστίθενται 800 μ L CTAB και 10 μ L β -μερκαπτοαιθανόλης ανά δείγμα, τα οποία αναδεύονται με vortex για 10 δευτερόλεπτα. Τα δείγματα επωάζονται στους 65°C για 30 λεπτά, ενώ κάθε 10 λεπτά αναδεύονται για 10 δευτερόλεπτα. Μετά την επώαση, γίνεται φυγοκέντρηση στα 13.000 rpm για 10 λεπτά και το υπερκείμενο (s/n) μεταφέρεται σε νέο μικροσωλήνα των 2 ml. Ακολούθως, προστίθενται 800 μ L χλωροφόρμιο και αναδεύονται για 10 δευτερόλεπτα με vortex, ενώ έπειτα τα δείγματα υποβάλλονται σε φυγοκέντρηση στους 7.000 rpm για 20 λεπτά. Η ανώτερη φάση (top phase) μεταφέρεται σε νέο μικροσωλήνα των 1,5 ml. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μία ακόμη φορά, παραλείποντας την επώαση. Το τελικό δείγμα τοποθετείται σε μικροσωλήνα των 1,5 ml, όπου προστίθενται ισοπροπανόλη (2/3 του όγκου) και οξικό νάτριο (1/10 του όγκου, 3M), και το μείγμα αναμειγνύεται απαλά με πιπέτα. Ο όγκος της ισοπροπανόλης υπολογίζεται ως το 2/3 του όγκου του δείγματος, ενώ ο όγκος του οξικού νατρίου ως το 1/10. Τα δείγματα τοποθετούνται στους -20°C για όλη τη νύχτα.

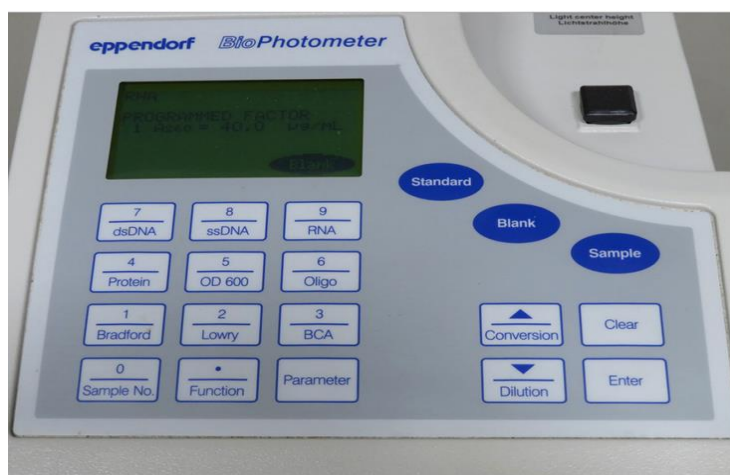
Κατά τη διάρκεια της 2^{ης} μέρας του πρωτοκόλλου: τα δείγματα αφήνονται να επανέλθουν σε θερμοκρασία δωματίου και υποβάλλονται σε φυγοκέντρηση στα 10.000 rpm για 10 λεπτά. Το υπερκείμενο απομακρύνεται, αφήνοντας το ίζημα των νουκλεϊκών οξέων (DNA) στον πυθμένα του μικροσωλήνα. Στη συνέχεια, προστίθεται 1 ml αιθανόλης 70% για το πλύσιμο του ιζήματος, και το δείγμα φυγοκεντρείται στα 13.000 rpm για 10 λεπτά. Το υπερκείμενο απομακρύνεται και η διαδικασία του πλυσίματος επαναλαμβάνεται άλλη μία φορά. Το δείγμα αφήνεται να στεγνώσει στον αέρα για 10 λεπτά ώστε να εξατμιστεί η υπολειπόμενη αιθανόλη. Κατόπιν, προστίθενται 50 μ L διαλύματος TE και 2 μ L RNase, και τα δείγματα επωάζονται στους 37°C για 45 λεπτά. Το ίζημα διαλύεται πλήρως με χρήση πιπέτας και το τελικό δείγμα αποθηκεύεται στους -20°C για μελλοντική χρήση.

2.3.6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

Το πρωτόκολλο της φασματοφωτομέτρησης εξασφαλίζει ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις για την ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση του κάθε δείγματος DNA. Η διαδικασία ξεκινά με την ενεργοποίηση του φωτόμετρου και τη ρύθμιση του στο κατάλληλο πρόγραμμα για τη μέτρηση δίκλωνου DNA (dsDNA). Ακολουθεί η προετοιμασία του τυφλού (Blank), όπου 500 μL αποστειρωμένου νερού τοποθετούνται σε μια UV κυψελίδα που χρησιμοποιείται ως τυφλό. Η κυψελίδα καθαρίζεται εξωτερικά στα σημεία διέλευσης του φωτός με απορροφητικό χαρτί πριν τοποθετηθεί στη συσκευή. Στη συνέχεια, τοποθετείται στο φωτόμετρο και ενεργοποιείται η λειτουργία 'Blank' για τη μέτρηση του τυφλού.

Για την προετοιμασία των δειγμάτων, κάθε δείγμα τοποθετείται σε καθαρή UV κυψελίδα, στην οποία προστίθενται 495 μL αποστειρωμένου νερού και 5 μL γενετικού υλικού που έχει παραχθεί από τη μέθοδο CTAB. Το μείγμα αναδεύεται καλά με τη βοήθεια της πιπέτας. Πριν από κάθε μέτρηση, η κυψελίδα καθαρίζεται όπως και στην περίπτωση του τυφλού και τοποθετείται στη συσκευή. Η λειτουργία 'Sample' επιλέγεται για τη μέτρηση κάθε δείγματος.

Κατά τη διάρκεια της φωτομέτρησης, καταγράφονται τα αποτελέσματα κάθε δείγματος, με έμφαση στην απορρόφηση στα 260 nm. Η αναλογία A260/280 χρησιμοποιείται ως ένδειξη της καθαρότητας του DNA, με αποδεκτές τιμές μεταξύ 1,8 και 2, που υποδεικνύουν την απουσία ανεπιθύμητων ουσιών όπως δευτερογενείς μεταβολίτες ή πολυσακχαρίτες. Η συγκέντρωση του απομονωμένου DNA υπολογίζεται με τον τύπο: **C DNA (ng/ μL) = A260 x 50 x 100**



Εικόνα 9: Φασματοφωτόμετρο Eppendorf BioPhotometer Model 6131

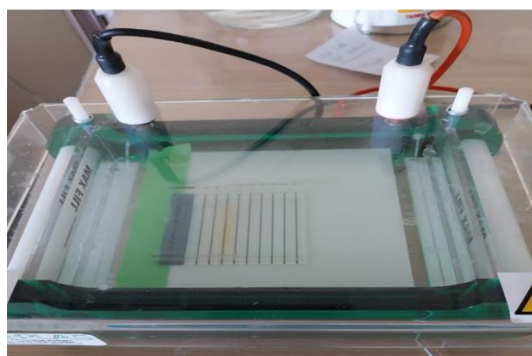
2.3.7. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΦΟΡΗΣΗΣ ΣΕ ΠΗΚΤΗ ΑΓΑΡΟΖΗ

Η διαδικασία της ηλεκτροφόρησης ξεκινά με την προετοιμασία της αгарόζης. Ζυγίζονται 0,2 g αгарόζης, τα οποία τοποθετούνται σε κωνική φιάλη των 100 mL. Στη συνέχεια, προστίθενται 20 mL διαλύματος TAE (1x) χρησιμοποιώντας έναν ογκομετρικό κύλινδρο 50 mL, και το μείγμα θερμαίνεται σε φούρνο μικροκυμάτων, καλυμμένο με απορροφητικό χαρτί, μέχρι να διαλυθεί πλήρως η αгарόζη. Αφού διαλυθεί, το διάλυμα αφήνεται να κρυώσει για 5-7 λεπτά. Όταν φτάσει σε κατάλληλη θερμοκρασία, μεταφέρεται στο καστ μαζί με ένα ειδικό χτενάκι, το οποίο δημιουργεί πηγάδια για τα δείγματα, και αφήνεται να στερεοποιηθεί για 30 λεπτά.

Μόλις το gel στερεοποιηθεί, αφαιρείται το χτενάκι, αποκαλύπτοντας τα πηγαδάκια για τα δείγματα και τον ladder. Το gel τοποθετείται στη συσκευή ηλεκτροφόρησης, και προστίθεται διάλυμα TAE (1x) μέχρι να καλυφθεί. Τα δείγματα προετοιμάζονται σε μικροσωληνάρια των 1 mL, στα οποία προστίθενται 3 μ L από κάθε δείγμα DNA και 1 μ L χρωστικής. Τα σωληνάρια αριθμούνται αντίστοιχα. Παράλληλα, προετοιμάζεται ένα σωληνάριο με 3 μ L ladder και 1 μ L χρωστικής για τον μοριακό δείκτη.

Κατά τη φόρτωση του gel, τοποθετούνται 4 μ L ladder στο πρώτο πηγαδάκι, ενώ τα υπόλοιπα πηγαδάκια φορτώνονται διαδοχικά με τα δείγματα DNA, αφήνοντας ένα κενό πηγαδάκι ανάμεσα στον ladder και το πρώτο δείγμα. Η συσκευή ηλεκτροφόρησης ρυθμίζεται στα 100 V και ενεργοποιείται για 20 λεπτά. Τα καλώδια συνδέονται στις αντίστοιχες εσοχές, επιτρέποντας στο ρεύμα να διαπεράσει το gel (εικόνα 10).

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, η συσκευή σταματά, τα καλώδια αποσυνδέονται και το gel αφαιρείται προσεκτικά. Στη συνέχεια, το gel μεταφέρεται σε ειδική συσκευή για την ανάλυση των αποτελεσμάτων ή τη λήψη φωτογραφιών, προκειμένου να αξιολογηθούν τα δείγματα DNA.



Εικόνα 10: Gel κατά τη διάρκεια φόρτωσης της διαδικασίας της ηλεκτροφόρησης με τη συσκευή Scie-Plas.

2.3.8. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΛΥΣΙΔΩΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΜΕΡΑΣΗΣ (PCR)

Η εκτέλεση μιας αντίδρασης PCR (Polymerase Chain Reaction) περιλαμβάνει αρκετά διαδοχικά βήματα. Αρχικά, οι εκκινητές, οι οποίοι αποθηκεύονται σε θερμοκρασία -20°C , πρέπει να ξεπαγώσουν πριν από τη χρήση. Μόλις ξεπαγώσουν, τοποθετούνται σε φυγόκεντρο για ένα σύντομο 'pulse', προκειμένου να διαλυθούν πλήρως, καθώς βρίσκονται σε μορφή σκόνης. Παράλληλα, τα μικροσωληνάρια με καθαρό νερό, τα οποία φυλάσσονται επίσης στους -20°C , πρέπει να ξεπαγώσουν.

Στη συνέχεια, 50 μL καθαρού νερού μεταφέρονται σε κάθε ένα από δύο μικροσωληνάρια των 1,5 mL. Στο πρώτο μικροσωληνάριο προστίθενται 5 μL από τον πρόσθιο εκκινητή και στο δεύτερο 5 μL από τον οπίσθιο εκκινητή. Κατά την προετοιμασία της PCR, οι ρυθμίσεις του μηχανήματος προσαρμόζονται ανάλογα με τον εκκινητή που χρησιμοποιείται.

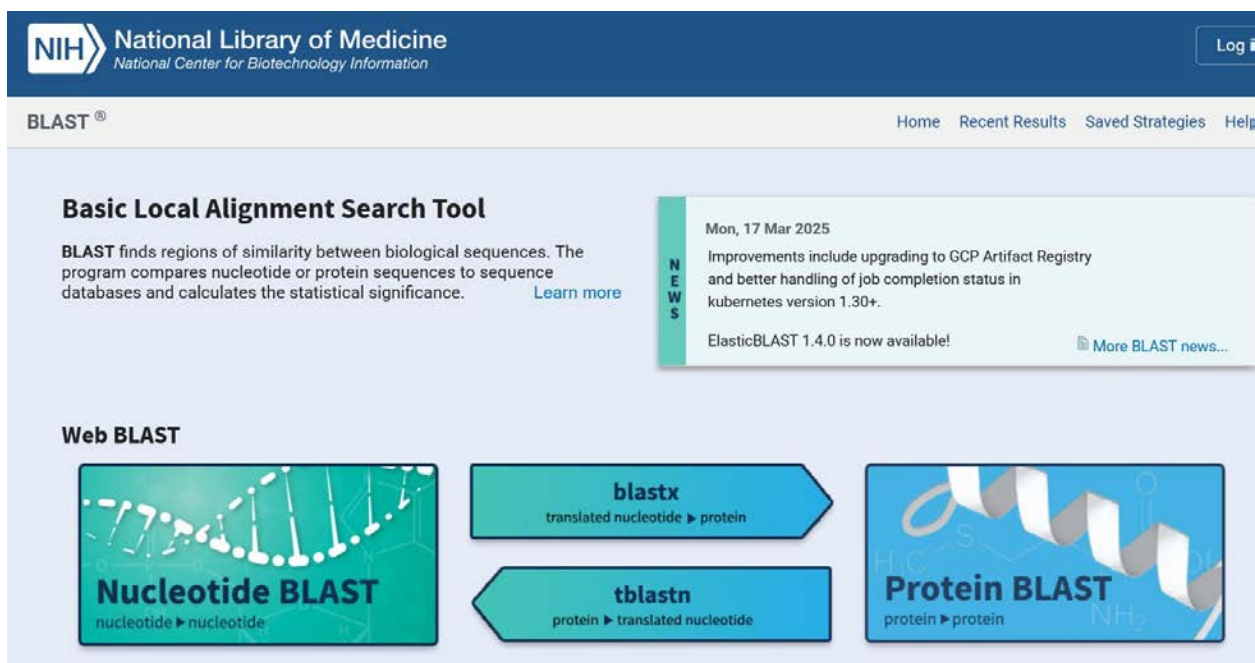
Για την καλύτερη οργάνωση της διαδικασίας, στην πλαϊνή επιφάνεια κάθε σωληναρίου σημειώνεται η ημερομηνία και ο αριθμός του δείγματος. Τέλος, πραγματοποιείται η δημιουργία του Master mix, το οποίο περιέχει διάφορα αντιδραστήρια, εξασφαλίζοντας την ομοιόμορφη και αποτελεσματική διεξαγωγή της αντίδρασης.

Πίνακας 2: Αντιδραστήρια με την ακριβή ποσότητα που χρειάζεται για τη δημιουργία του Master mix.

ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΟ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ενός δείγματος
DNA	2 μL
dNTP's	0.5 μL
MgCl ₂	0.75 μL
Buffer	2.5 μL
Primer F (1270)	1 μL
Primer R (1273)	1 μL
Taq	0.5 μL
H ₂ O	16.75 μL

2.3.9. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Στο εργαστήριο της εταιρείας βιοτεχνολογίας Cemla SA στη Λάρισα μεταφέρθηκαν όλα τα δείγματα για την ολοκλήρωση της διαδικασίας των μοριακών αναλύσεων και των αποτελεσμάτων των αλληλουχίσεων των δειγμάτων μας. Περαιτέρω ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Chromas.Ink για την αλληλούχιση και ανάλυση του DNA των δειγμάτων. Ακολούθως, τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε επεξεργασία μέσω της βάσης δεδομένων NCBI (National Center for Biotechnology Information) και του εργαλείου Blast, ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα για κάθε δείγμα ξεχωριστά, τα οποία θα παρουσιαστούν αναλυτικά στα αποτελέσματα.



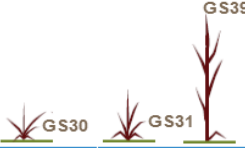
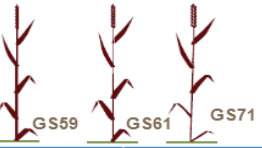
Εικόνα 11: Ιστοσελίδα του National Center for Biotechnology Information (NCBI) με το πρόγραμμα Blast που είναι το εργαλείο σύγκρισης αλληλουχιών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ

Η ακριβής αναγνώριση των σταδίων ανάπτυξης μιας καλλιέργειας είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείρισή της. Η κλίμακα Zadoks (εικόνα 12) προσφέρει την πιο ολοκληρωμένη περιγραφή των σταδίων ανάπτυξης του σίτου και βασίζεται σε έναν κωδικοποιημένο σύστημα με τα δέκα κύρια στάδια της καλλιέργειας, τα οποία μπορούν να διασπαστούν σε μικρότερα υπο-στάδια, καθιστώντας την ιδιαίτερα κατάλληλη για μηχανογραφική επεξεργασία (Fowler, 2018). Στην παρούσα διατριβή θα εξετάσουμε τρία από αυτά τα στάδια: α) το στάδιο GS 20 – 29 (Tillering) ή στάδιο αδελφώματος, β) το στάδιο GS 30 – 39 (Stem elongation) ή στάδιο επιμήκυνσης του στελέχους – καλάμωμα, και τέλος γ) το στάδιο GS 91 – 93 (Ripening) ή στάδιο ξεσταχνάσματος.

Wheat growth stages (Zadoks decimal code)

							
Growth Stage	Description of stage	Growth Stage	Description of stage	Growth Stage	Description of stage	Growth Stage	Description of stage
Seedling Growth		Stem Elongation		Ear Emergence		Dough Development	
GS10	First leaf through coleoptile	GS30	Ear at 1cm (pseudostem erect)	GS51	First spikelet of ear just visible above flag leaf ligule	GS83	Early dough
GS11	First leaf unfolded (ligule visible)	GS31	First node detectable	GS55	Half of ear emerged above flag leaf ligule	GS85	Soft dough
GS13	3 leaves unfolded	GS32	Second node detectable	GS59	Ear completely emerged above flag leaf ligule	GS87	Hard dough (thumbnail impression held)
GS15	5 leaves unfolded	GS33	Third node detectable	Flowering		Ripening	
GS19	9 or more leaves unfolded	GS37	Flag leaf just visible	GS61	Start of flowering	GS91	Grain hard (difficult to divide)

Εικόνα 12: Αναλυτική περιγραφή της ανάπτυξης του σιταριού χρησιμοποιώντας την Κλίμακα Zadoks (Πηγή: <https://www.yara.co.uk>)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3) παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις που έγιναν στον αγρό κατά τη διάρκεια του πειράματος στα διάφορα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας σιταριού με στις διαφορετικές μεταχειρίσεις και τις ημερομηνίες αντιστοίχως.

Πίνακας 3: Αναλυτικός πίνακας με τις μετρήσεις στα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας του σιταριού με τις ημερομηνίες εφαρμογής των μεταχειρίσεων από τον πειραματικό αγρό του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο (Δεκέμβριος 2022 – Απρίλιος 2023). Σε παρένθεση βρίσκεται ο αριθμός των φυτών της εκάστοτε σειράς του εκάστοτε αγροτεμάχιου που έχουν ολοκληρώσει το στάδιο ανάπτυξης (GS) στο οποίο βρίσκονται. Επιπλέον, η μεταχείριση CO: Conventional tillage είναι ο μάρτυρας με τα αγροτεμάχια 5, 9, 12 και 17, και η μεταχείριση που εξετάζουμε είναι η NT1: No – Tillage (long term) που αντιστοιχεί στη μακροχρόνια μηδενική κατεργασία από το 1997 με τα αγροτεμάχια 1, 7, 11 και 20.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ & ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΙΤΟΥ	ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ/ ΣΕΙΡΑ	ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΑ							
		1(NT1)	5(C)	7(NT1)	9(C)	11(NT1)	12(C)	17(C)	20(NT1)
22/12/2022 GS 20-29	A	37(22)	28(4)	24(9)	26(4)	33(11)	35(6)	24(0)	20(3)
	B	43(17)	31(8)	41(22)	21(2)	38(9)	28(5)	17(0)	23(0)
	Γ	57(32)	23(3)	38(18)	30(6)	29(16)	40(7)	23(2)	25(1)
	Δ	39(24)	25(0)	35(13)	29(8)	35(18)	35(6)	19(4)	25(5)
20/01/2023 GS 20-29	A	36(34)	29(22)	26(8)	40(31)	28(20)	17(15)	19(5)	22(18)
	B	42(38)	37(27)	28(4)	45(33)	33(27)	8(6)	21(7)	16(11)
	Γ	28(27)	26(18)	46(24)	30(20)	30(19)	11(8)	11(4)	20(16)
	Δ	31(18)	32(18)	22(10)	32(25)	29(20)	17(15)	17(8)	19(13)
09/03/2023 GS 30 - 39	A	26	22(20)	25(4)	24	40(25)	24	39(37)	49
	B	41	43(42)	42(40)	27(25)	40(35)	30(25)	42	10(2)
	Γ	24(22)	51(48)	36(33)	32(30)	20(17)	33(28)	35	23(16)
	Δ	26	47	47(42)	34(32)	30(27)	34(31)	34(30)	38(33)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ & ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΙΤΟΥ	ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ/ ΣΕΙΡΑ	ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΑ							
		1(NT1)	5(C)	7(NT1)	9(C)	11(NT1)	12(C)	17(C)	20(NT1)
28/3/2023 GS 30 - 39	A	30	26	32	35	38	22	29	20
	B	38	28	37	30	32	29	30	19
	Γ	27	32	40	40	36	41	35	18
	Δ	35	25	35	32	47	43	37	22
25/4/2023 GS 51 - 59	A	28	42	49	57	43	28	27	26
	B	35	28	50	22	38	35	48	12
	Γ	32	35	58	62	41	41	50	17
	Δ	43	38	61	55	58	54	33	36

3.1.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων του πειράματος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης **JASP (έκδοση 0.18.1.0)**, το οποίο αποτελεί δωρεάν πρόγραμμα που αναπτύχθηκε από ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου του Άμστερνταμ.

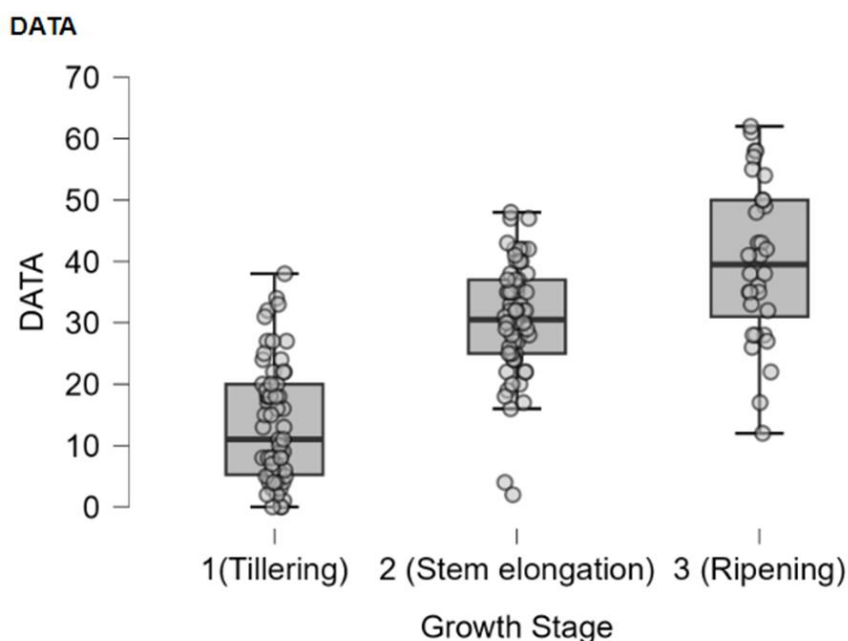
Τα δεδομένα εισήχθησαν αρχικά στο Excel και ακολούθησε η ανάλυσή τους στο JASP σύμφωνα με μια συγκεκριμένη διαδικασία. Πρώτα, εφαρμόστηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση (Descriptive Statistics), συνοδευόμενη από θηκόγραμμα (Boxplots) για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA), επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση και κατανόηση των διαφορών μεταχειρίσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων.

Πίνακας 4: Descriptive Statistics (λογισμικό πρόγραμμα JASP) των διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας του σιταριού: α) στάδιο του αδελφώματος (Tillering), β) στάδιο του καλαμώματος (Stem Elongation), και γ) στάδιο του ξεσταχύσματος (Ripening).

Descriptive Statistics			
	DATA		
	1(Tillering)	2 (Stem elongation)	3 (Ripening)
Valid	62	64	32
Missing	0	0	0
Mean	13.484	30.547	40.063
Std. Deviation	9.781	9.182	13.073
Minimum	0.000	2.000	12.000
Maximum	38.000	48.000	62.000

Note. Excluded 2 rows from the analysis that correspond to the missing values of the split-by variable Growth Stage

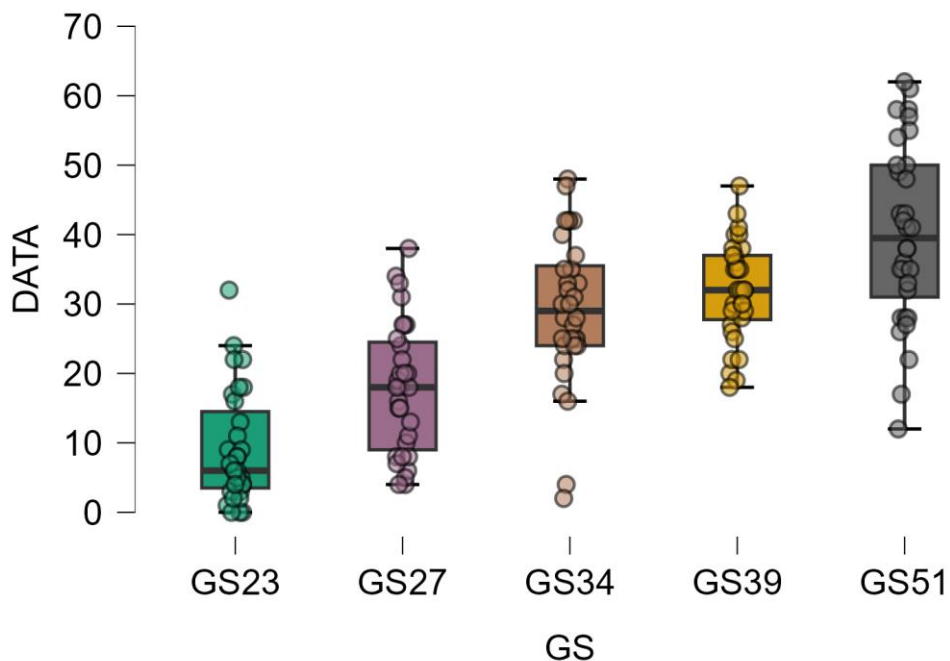


Διάγραμμα 1: BOXPLOT (θηκόγραμμα) που απεικονίζουν το ποσοστό των φυτών της καλλιέργειας που έχουν ολοκληρώσει το στάδιο του αδελφώματος (Tillering), το στάδιο του καλαμώματος (Stem Elongation) και τέλος το στάδιο του ξεσταχύσματος (Ripening).

Πίνακας 5: Descriptive Statistics(Περιγραφική Στατιστική) κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του σιταριού βάσει όλων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στον αγρό μεταξύ των διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας του σιταριού (GS 23 μέχρι και GS51), του προγράμματος JASP.

Descriptive Statistics					
	DATA				
	GS23	GS27	GS34	GS39	GS51
Valid	31	31	32	32	32
Missing	0	0	0	0	0
Mean	9.194	17.774	29.219	31.875	40.063
Std. Deviation	8.171	9.472	10.785	7.170	13.073
Minimum	0.000	4.000	2.000	18.000	12.000
Maximum	32.000	38.000	48.000	47.000	62.000

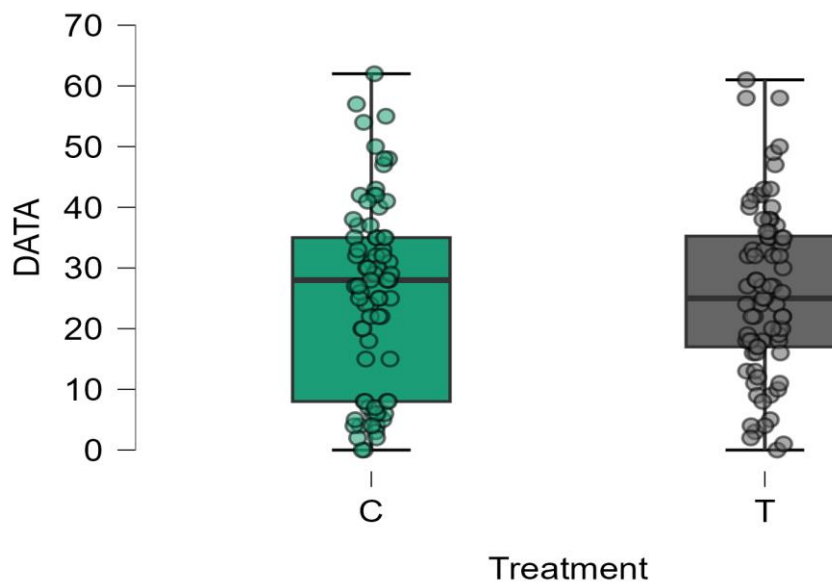
Note. Excluded 2 rows from the analysis that correspond to the missing values of the split-by variable GS



Διάγραμμα 2: BOXPLOT (θηκόγραμμα) που παρουσιάζεται ο αριθμός των φυτών του σίτου σε όλα τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας του σιταριού από όλες τις μετρήσεις που έχουν γίνει στον αγρό από τις 22.12.22 (GS 23) μέχρι και τις 25.04.23 (GS51).

Πίνακας 6: Descriptive Statistics(Περιγραφική Στατιστική) μεταξύ των μεταχειρίσεων α) της μακροχρόνιας μηδενικής κατεργασίας από το 1997 (T), και β) του μάρτυρα (C), του προγράμματος JASP.

Descriptive Statistics		
	DATA	
	C	T
Valid	78	80
Missing	0	0
Mean	25.615	25.938
Std. Deviation	15.547	13.864
Minimum	0.000	0.000
Maximum	62.000	61.000
Note. Excluded 2 rows from the analysis that correspond to the missing values of the split-by variable Treatment		

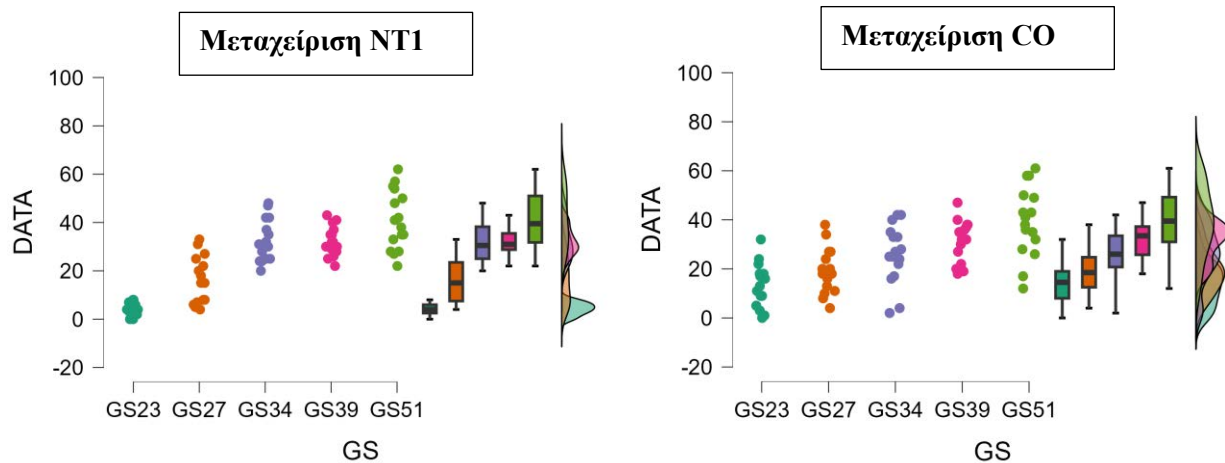


Διάγραμμα 3: Απεικόνιση του αριθμού των φυτών σιταριού που έχουν ξεκινήσει το στάδιο του αδελφώματος (Tillering) μεταξύ της μακροχρόνιας μηδενικής κατεργασίας (T) και του μάρτυρα (C).

Πίνακας 7: Αποτελέσματα της ανάλυσης ANOVA μεταξύ της μακροχρόνιας μηδενικής κατεργασίας και του μάρτυρα.

ANOVA - DATA					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
GS	18779.173	4	4694.793	49.392	< .001
Treatment	19.619	1	19.619	0.206	0.650
GS * Treatment	1107.735	4	276.934	2.914	0.023
Residuals	14067.517	148	95.051		

Note. Type III Sum of Squares



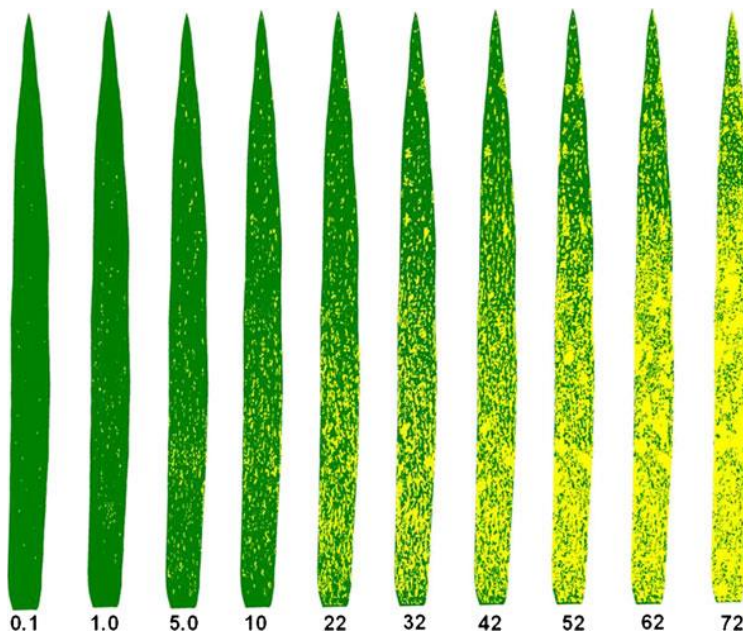
Διάγραμμα 4: Στο θηκόγραμμα απεικονίζεται η συμπεριφορά των πρωτογενή δεδομένων και η διαφορά μεταξύ του μάρτυρα (CO) και της μεταχείρισης της μακροχρόνιας μηδενικής κατεργασίας από το 1997 (NT1).

3.2. ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Το σιτάρι αποτελεί μία από τις κύριες βασικές τροφές παγκοσμίως. Η σημαντική αύξηση της παραγωγικότητάς του τα τελευταία χρόνια έχει διατηρήσει μια σταθερή ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Ωστόσο, η αναμενόμενη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και οι μεταβολές στις διατροφικές συνήθειες δημιουργούν την ανάγκη για σημαντική ενίσχυση της απόδοσης τα επόμενα χρόνια, ώστε να καλυφθούν οι αυξανόμενες απαιτήσεις.

Ένας κρίσιμος παράγοντας για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι η αποτελεσματικότερη διαχείριση των ασθενειών που οφείλονται σε μύκητες, οι οποίες ευθύνονται για απώλειες απόδοσης που κυμαίνονται μεταξύ 15% και 20% ετησίως και αποτελούν ολοένα και μεγαλύτερη απειλή για την παγκόσμια παραγωγή σιτηρών (Figuerola et al., 2018).

Είναι πολύ σημαντικό να καταγραφεί η ένταση της ασθένειας στα φύλλα της καλλιέργειας του σιταριού στον πειραματικό αγρό του Πανεπιστημίου στο Βελεστίνο και να αποτυπωθούν όλες οι μετρήσεις για την ένταση της ασθένειας με στατιστικές μεθόδους. Για το ποσοστό της καταγραφής της έντασης της ασθένειας χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα SADs (standard area diagram set) όπως δείχνει και η εικόνα 13 η οποία θεωρείται αξιόπιστη μέθοδος για τη μέτρηση των συμπτωμάτων από παθογόνους οργανισμούς (Rios et al., 2013).



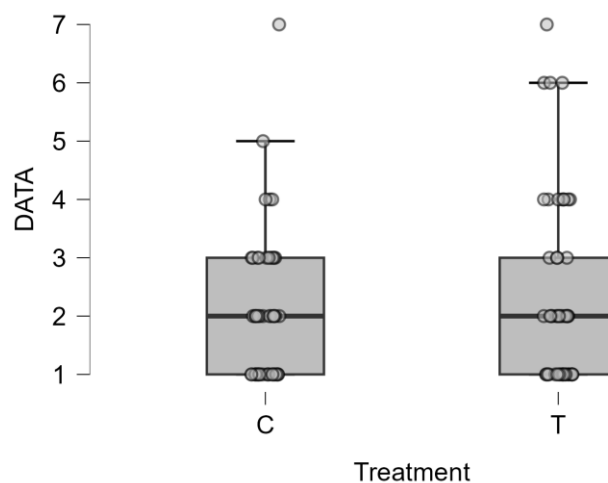
Εικόνα 13: Διάγραμμα SADs που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της έντασης της ασθένειας στα φύλλα του σιταριού.

3.2.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Για την ανάλυση των δεδομένων θα ακολουθήσουμε πάλι την ίδια διαδικασία με το λογισμικό πρόγραμμα του JASP (Descriptive Statistics, Boxplots και ANOVA) έτσι ώστε να έχουμε μία ολοκληρωμένη αξιολόγηση στον πειραματικό αγρό για την ένταση της ασθένειας τόσο στις μεταχειρίσεις όσο και στα στάδια ανάπτυξης. Στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων.

Πίνακας 8: Descriptive Statistics της έντασης της ασθένειας ανάμεσα στον μάρτυρα (C) και στην μακροχρόνια μηδενική κατεργασία (T) της καλλιέργειας του σιταριού.

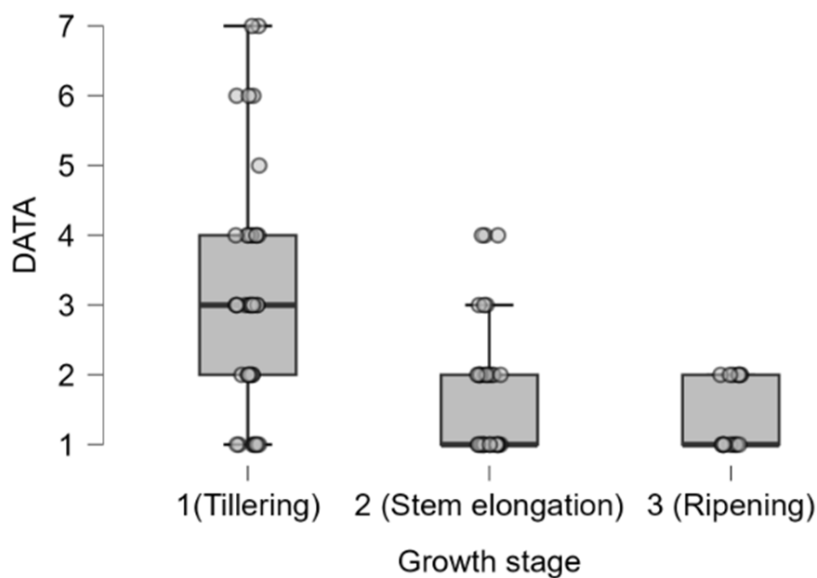
Descriptive Statistics		
	DATA	
	C	T
Valid	50	50
Missing	0	0
Mean	2.040	2.340
Std. Deviation	1.261	1.586
Minimum	1.000	1.000
Maximum	7.000	7.000



Διάγραμμα 5: Ένταση της ασθένειας μεταξύ των μεταχειρίσεων CO (C) και NTI (T) της καλλιέργειας του σιταριού.

Πίνακας 9: Descriptive Statistics (Περιγραφική Στατιστική) της έντασης της ασθένειας στα στάδια ανάπτυξης α) Tilling/αδέλφωμα, β) Stem Elevation/καλάμωμα, και γ) Ripening/ξεστάχνασμα του σιταριού μέσω του στατιστικού προγράμματος JASP.

Descriptive Statistics			
	DATA		
	1(Tilling)	2 (Stem elongation)	3 (Ripening)
Valid	40	40	20
Missing	0	0	0
Mean	3.100	1.700	1.350
Std. Deviation	1.676	0.911	0.489
Minimum	1.000	1.000	1.000
Maximum	7.000	4.000	2.000

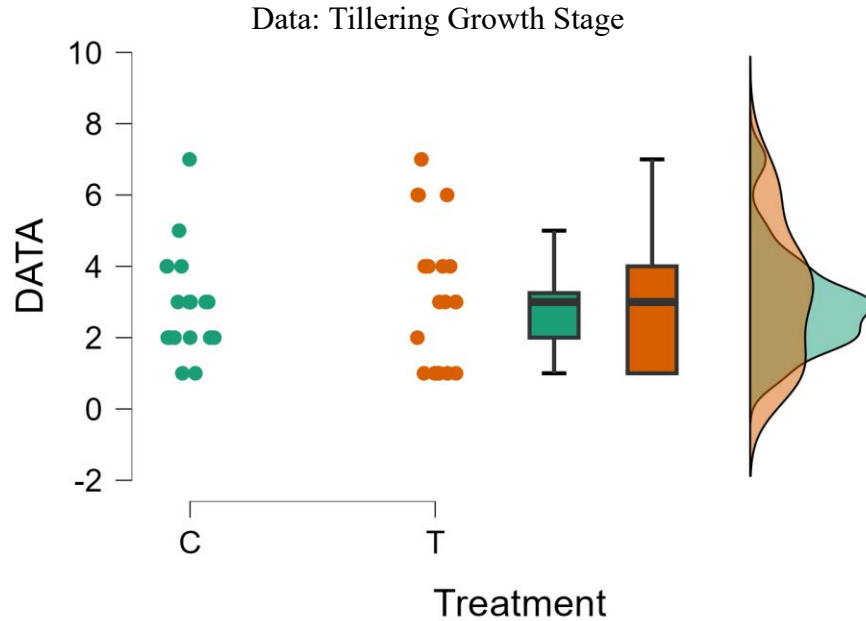


Διάγραμμα 6: Ένταση της ασθένειας στα 3 διαφορετικά στάδια (Tilling/αδέλφωμα, Stem Elevation/καλάμωμα και Ripening/ξεστάχνασμα) ανάπτυξης της καλλιέργειας του σιταριού μέσω JASP.

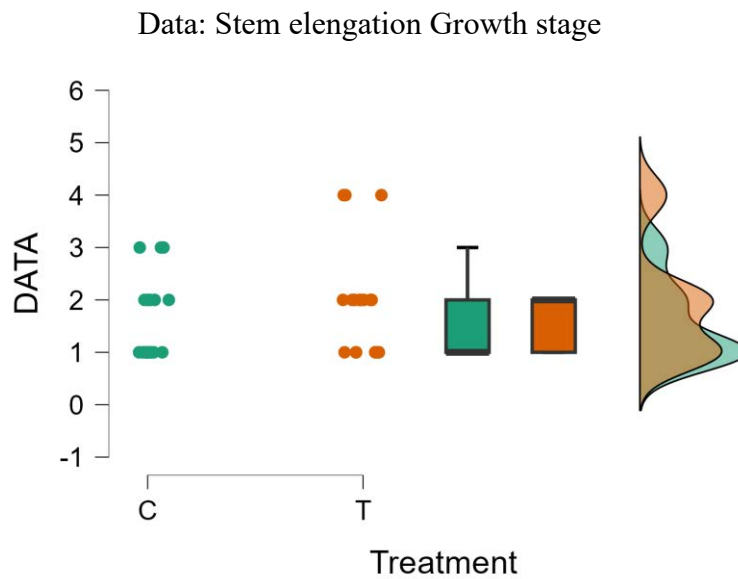
Πίνακας 10: Δεδομένα ANOVA μέσω του στατιστικού προγράμματος JASP για την ένταση της ασθένειας στην καλλιέργεια του σιταριού, μεταξύ του μάρτυρα (C) και της μακροχρόνιας μηδενικής κατεργασίας (T), στα στάδια ανάπτυξης: α) αδελφώματος (Tillering), β) καλαμώματος (Stem Elongation), και γ) ξεσταχνάσματος (Ripening).

ANOVA - DATA					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Treatment	2.025	1	2.025	1.319	0.254
Growth stage	56.840	2	28.420	18.513	< .001
Treatment * Growth stage	0.000	2	0.000	0.000	1.000
Residuals	144.300	94	1.535		

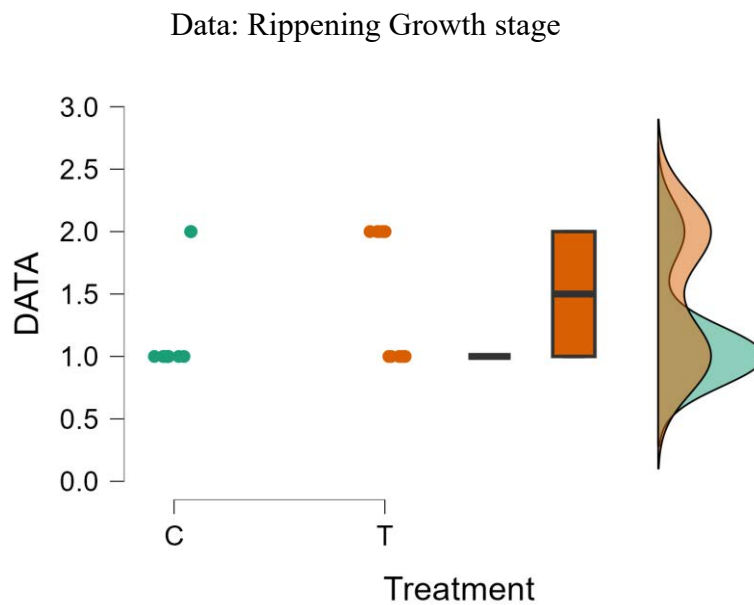
Note. Type III Sum of Squares



Διάγραμμα 7: Ένταση της ασθένειας ανάμεσα στη μακροχρόνια μηδενική κατεργασία (T) και στον μάρτυρα (C) στο στάδιο ανάπτυξης του αδελφώματος (Tillering) στο σιτάρι.

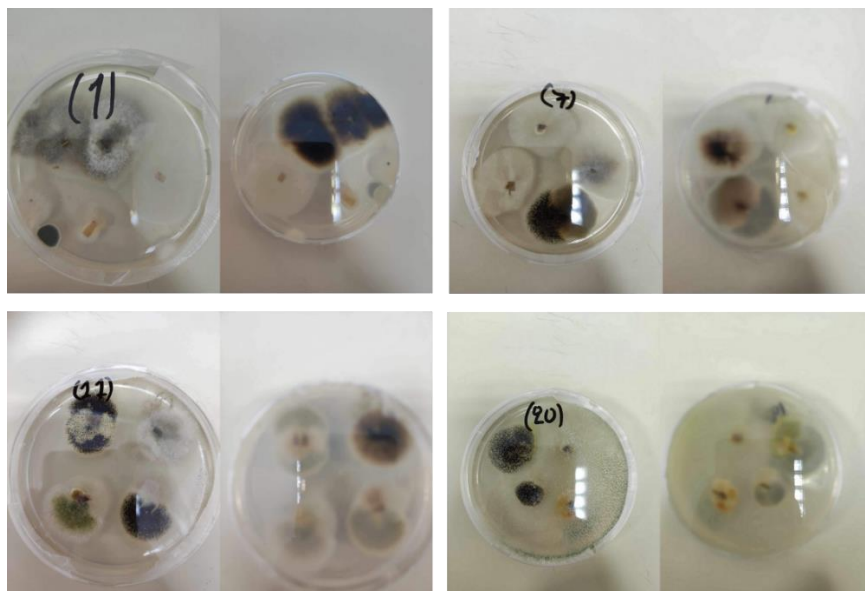


Διάγραμμα 8: Ένταση της ασθένειας ανάμεσα στη μακροχρόνια μηδενική κατεργασία (T) και τον μάρτυρα (C) στο στάδιο ανάπτυξης του καλαμώματος (Stem Elagnation) στο σιτάρι.

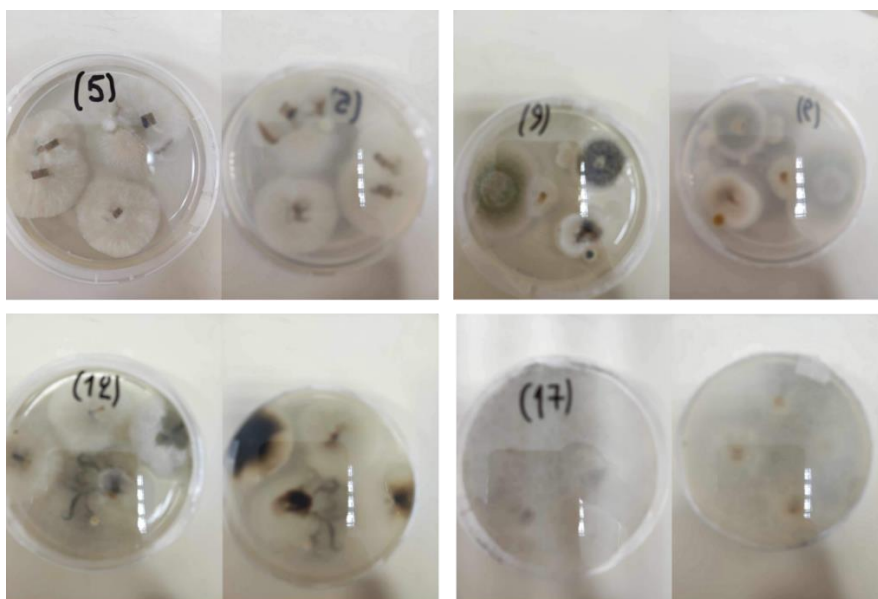


Διάγραμμα 9: Ένταση της ασθένειας ανάμεσα στην μηδενική κατεργασία μετά το 2019 (T) και τον μάρτυρα (C) στο στάδιο ανάπτυξης του ξεσταχυάσματος (Ripening) στο σιτάρι.

3.3. ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΜΥΚΗΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ



Εικόνα 14: Απομονώσεις μυκήτων της μεταχείρισης της μακροχρόνιας μηδενικής κατεργασίας: αγροτεμάχια 1, 7, 11 και 20.



Εικόνα 15: Απομονώσεις μυκήτων από μολυσμένα φύλλα σιταριού από τα αγροτεμάχια 5, 9, 12 και 17 του μάρτυρα.

3.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η διορθωμένη αλληλουχία του δείγματος μέσω του λογισμικού CHROMAS (<https://technelysium.com.au/wp/chromas/>), το οποίο είναι σχεδιασμένο για την προβολή, επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων αλληλούχησης DNA. Το CHROMAS είναι ιδανικό για έργα αλληλούχησης μικρής έως μεσαίας κλίμακας που δεν απαιτούν σύνθετες διαδικασίες. Στη συνέχεια, η αλληλουχία υποβλήθηκε σε ανάλυση με το εργαλείο BLAST, χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων του National Center for Biotechnology Information (NCBI) (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).



Εικόνα 16: Το λογισμικό πρόγραμμα CHROMAS (α) και το BLAST μέσω της βάσης δεδομένων του National Center for Biotechnology Information (β).

3.4.1. ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Παρακάτω παρουσιάζεται η διορθωμένη αλληλουχία του πρώτου δείγματος στο στάδιο GS 30-39 (28.03.2023) από το έβδομο αγροτεμάχιο της μεταχείρισης της μακροχρόνιας μηδενικής κατεργασίας (>20240130AS2P1_B01_2024-02-05.ab1), καθώς και τα αποτελέσματα (πίνακας 11) που προέκυψαν από τη βάση δεδομένων του NCBI (National Center for Biotechnology Information) μέσω του προγράμματος Blast:

CACCCCCCGCTGGGCACTGCTTCACGGCGTGCGCGGCGGGGCCGGCCCTGCTGAATT
ATTCACCCGCGTCTTTTGCCTACTTCTTGTTCCTGGGTGGGCTCGCCCGCCCTCAGG
ACCAACCACAAACCTTTTGCAATAGCAATCATCGTCAGTAACAACGTAATTAATTACA
ACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGGAAATGCGA
TACGTA GTGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGC
CCTTTGGTATTCCAAAAGGGCATGCCTGTTTCGAGCGTCATTTGTACCCTCAAGCTTTGC
TTGGTGTGTTGGGCGTCTTTTGTCTCCAGTTCGCTGGAGACTCGCCTTAAAATCATTGGC
AGCCGGCCTACTGGTTTCGGAGCGCAGCACAAAGTCGCGCTCTTTGCCAGCCAAGGTC
AGCGTCCAGCAAGCCTTTTTTTC AACCTTTGACCTCGGATCAGGTAGGGATACCCGCT
GAACTTAAGCATAT

Πίνακας 11: Αποτελέσματα της βάσης δεδομένων του NCBI.

Discription	Max Score	E - value	Per Ident	Accession length	Accession
<i>Alternaria infectoria</i>	968	0.0	99.44%	573	<u>MN982879.1</u>

3.4.2. ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΣΗ ΤΟΥ ΔΥΤΕΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Αντιστοίχως, θα παρουσιαστούν και τα δεδομένα από την διορθωμένη αλληλουχία και του δεύτερου δείγματος, που προέρχεται από διαφορετική ημερομηνία (09/03/2023) αλλά από το στάδιο ανάπτυξης (GS 30-39) και συλλέχθηκε από εξίσου από το έβδομο αγροτεμάχιο της μεταχείρισης μακροχρόνιας μηδενικής κατεργασίας (>20240130AS7P1_G01_2024-02-05.ab1). Επιπλέον, παρατίθενται τα αποτελέσματα (πίνακας 12) που προέκυψαν από την ανάλυση στη βάση δεδομένων του National Center for Biotechnology Information (NCBI) μέσω του εργαλείου BLAST:

CCGAGTTGTTCA~~GT~~TCCTTTGTTGTCTGACTCTGTTGCCTCCGGGGCGACCCTGCCTT
CGGG~~T~~GGGAGCTCC~~T~~GGTGGACCTTCTAGCTCTTGCGAT~~T~~CTTTGCGTACAGAGTAAAC
TTAATTAATACATTAAAACTTTTAACAACCTTATCTCTTGGTTCTGGCGTCTATGAACAA
CACT~~T~~ACGAAATGGCGAAGTAATGTGAATTGCATAATTTCG~~G~~TGAATCATC~~G~~AATCTTTG
AACT~~T~~CTTATTGCGCCCCCTGGTATTCCGGGGGGGATGCCTGTTTCGAGCGCCATTTAC
CACTTTGTCCTCGTTTGGCATTGGGCAACGCGGGCCGCCCCGTGCCTCAAATCGCCG
GGCTGGGTCTTCTGTCCCCTAACCGTTGTG~~C~~AAACTATT~~CC~~~~T~~AGAGGGTGTTCGG~~G~~A
GGCTACGCC~~G~~TAAAA~~C~~AACCCC~~A~~TTTCTAAGGTTGACCTC~~GG~~ATCA~~AG~~TATGGATACC
CGCTGAACTTAAGCATATCAATAAACG~~A~~~~AG~~~~C~~AAAAAAATAGG~~G~~AAAGAAA

Πίνακας 12: Αποτελέσματα της βάσης δεδομένων του NCBI.

Discription	Max Score	E - value	Per Ident	Accession length	Accession
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	627	7e-175	89.86%	759	ON229449.1

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της μηδενικής κατεργασίας του εδάφους έχει τεκμηριωθεί ότι συμβάλλει στην αύξηση της αποδοτικότητας της παραγωγής σιταριού και στην ενίσχυση της ασφάλειας της διατροφής, ενώ ταυτόχρονα μειώνει το κόστος καλλιέργειας — ένα αμοιβαία επωφέλες αποτέλεσμα που προωθεί την ταχεία διάδοση της τεχνολογίας, παρά το γεγονός ότι η υιοθέτησή της παραμένει έως σήμερα σχετικά περιορισμένη (Gupta et al., 2019). Επιπροσθέτως, συμβάλλει στην προστασία της δομής του εδάφους, στη μείωση της διάβρωσης από τον άνεμο και το νερό, και στη διατήρηση της καλής υγείας του εδάφους ενισχύοντας τη δέσμευση του άνθρακα και συνεισφέρει στις δράσεις για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής (Kelly Tillage, n.d.).

Παρ’ όλα αυτά, οι καλλιεργητές αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις όπως τη διαχείριση παθογόνων, ζιζανίων και παρασίτων και επιπλέον το έδαφος ενδέχεται να χρειαστεί μια περίοδο προσαρμογής στην αρχή της εφαρμογής της μειωμένης άροσης, κάτι που μπορεί προσωρινά να επηρεάσει την εγκατάσταση των καλλιεργειών και τις αποδόσεις τους (JCBL Agri, n.d.).

Στην παρούσα μελέτη, τόσο στα αγροτεμάχια της μηδενικής κατεργασίας όσο και στον μάρτυρα, παρατηρείται μια παρόμοια αντίδραση στην ανάπτυξη του σιταριού κατά τη διάρκεια του αδελφώματος που έχουμε πιο έντονο το φαινόμενο της ασθένειας του γένους *Pyrenophora*, ενώ στο στάδιο του καλαμώματος και του ξεσταχυάσματος υπάρχει μια μικρή αύξηση στον αριθμό των φυτών που αναπτύσσονται και σημαντική μείωση της έντασης της ασθένειας κάτω από την εφαρμογή της μηδενικής άροσης.

Στην παρούσα εργασία, οι μοριακές αναλύσεις έδειξαν την παρουσία του παθογόνου *Cladosporium cladosporioides* (Τάξη: *Cladosporiales*; Οικογένεια: *Cladosporiaceae*) στην καλλιέργεια του σιταριού στα μεγαλύτερα στάδια. Σύμφωνα με τη μελέτη των Zhang et al. (2022), ο μύκητας *Cladosporium cladosporioides* είναι ικανός να παρασιτεί τον υποχρεωτικό βιοτροφικό μύκητα της σκουριάς *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (Pst), και από τα αποτελέσματα της έρευνας υποδεικνύουν ότι ο *C. cladosporioides* αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο βιολογικό παράγοντα για την καταπολέμηση της σκουριάς, ανοίγοντας νέους δρόμους για τη βιολογική διαχείριση των βλαβερών φυτοπαθογόνων οργανισμών με περαιτέρω έρευνα.

Θα μπορούσαμε κάλλιστα να πούμε ότι και στην καλλιέργεια σίτου του πειραματικού αγρού του Πανεπιστημίου, μετά από μακροχρόνια μηδενική κατεργασία του εδάφους έχουν δημιουργηθεί μικροοργανισμοί όπως *C. cladosporioides* που θα μπορούσαν να διαχειριστούν καταστροφικούς

παθογόνους μύκητες των δημητριακών και να συμβάλλουν στην ανάπτυξη βιολογικής καταπολέμησης βλαβερών ασθενειών.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το είδος *Cladosporium cladosporioides* δύναται να παράγει λυτικά ένζυμα, όπως β-1,3-γλουκανάση, χιτινάση και πρωτεάση, τα οποία αναστέλλουν την ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών (Torres et al., 2017; Chaibub et al., 2019), τα οποία θεωρούμε ότι μπορούν να περιορίζουν το φυτοπαθογόνο είδος *P. tritici repentis*.

Η ανταγωνιστική δράση του *C. cladosporioides* περιλαμβάνει την παραγωγή δευτερογενούς μεταβολίτες όπως η cladosporin, η οποία εμφανίζει σημαντική αντιμυκητιακή δράση ενάντια σε διάφορους φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς (Wang et al., 2013). Επιπλέον, το *C. cladosporioides* μπορεί να παράγει γλυκανάσες, που διασπούν τα κυτταρικά τοιχώματα των παθογόνων (Chaibub et al., 2019).

Γενικά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι με βάση τη βιβλιογραφία, το είδος *Cladosporium cladosporioides* θα μπορούσε στη παρούσα μελέτη να χαρακτηριστεί πιθανός βιολογικός ανταγωνιστής του παθογόνου μύκητα *Pyrenophora tritici-repentis* στο σιτάρι. Οι πιθανοί μηχανισμοί δράσης του περιλαμβάνουν την παραγωγή λυτικών ενζύμων δευτερογενών μεταβολιτών όπως η cladosporin, που με βάση τη βιβλιογραφία εμφανίζουν ισχυρή αντιμυκητιακή δράση.

Τέλος, η ανίχνευση του *Alternaria infectoria* στην καλλιέργεια εγείρει ανησυχίες, καθώς η παρουσία του συνδέεται με την παραγωγή μυκοτοξινών στους σπόρους του σιταριού, καθιστώντας την καλλιέργεια ακατάλληλη για κατανάλωση.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

5.1. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Acar, M., Çelik, İ., & Günel, H. (2017). Effects of long-term tillage systems on soil water content and wheat yield under mediterranean conditions. *Journal of New Theory* (17), 98-108.

Aduhene-Chinbuah, J., Sugihara, S., Komatsuzaki, M., Nishizawa, T., & Tanaka, H. (2022). No Tillage Increases SOM in Labile Fraction but Not Stable Fraction of Andosols from a Long-Term Experiment in Japan. *Agronomy*, 12(2), 479. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020479>

Anderson, R., Bayer, P. E., & Edwards, D. (2020). Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current opinion in plant biology*, 56, 197-202.

Bapela, T., Shimelis, H., Tsilo, T. J., & Mathew, I. (2022). Genetic improvement of wheat for drought tolerance: Progress, challenges and opportunities. *Plants*, 11(10), 1331.

Cappelli, A., & Cini, E. (2021). Challenges and opportunities in wheat flour, pasta, bread, and bakery product production chains: A systematic review of innovations and improvement strategies to increase sustainability, productivity, and product quality. *Sustainability*, 13(5), 2608.

Chaibub, A. A., Sousa, T. P., Araújo, L. G., & Filippi, M. C. (2019). Molecular and morphological characterization of rice phylloplane fungi and determination of the antagonistic activity against rice pathogens. *Microbiological Research*, 231, 126353. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126353>

Chaudhary, R., Nawaz, A., Khattak, Z., Butt, M. A., Fouillaud, M., Dufossé, L., Munir, M., ul Haq, I., & Mukhtar, H. (2024). Microbial bio-control agents: A comprehensive analysis on sustainable pest management in agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101421. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101421>

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO (2022). The state of food security and nutrition in the world 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. FAO.

- Figuerola, M., Hammond-Kosack, K. E., & Solomon, P. S. (2018). A review of wheat diseases—a field perspective. *Molecular Plant Pathology*, 19(6), 1523–1536. <https://doi.org/10.1111/mpp.12618>
- Fowler, D. B. (2018). Growth stages of wheat. In *Winter Wheat Production Manual* (Ch. 10). Ducks Unlimited Canada & Conservation Production Systems Ltd.
- Gajda, A. M., Czyż, E. A., Stanek-Tarkowska, J., Dexter, A. R., Furtak, K. M., & Grządziel, J. (2017). Effects of long-term tillage practices on the quality of soil under winter wheat. *Plant Soil and Environment*, 63(5), 236–242. <https://doi.org/10.17221/174/2017-PSE>
- Gao, M., Li, H., & Li, M. (2022). Effect of no tillage system on soil fungal community structure of cropland in Mollisol: A case study. *Frontiers in Microbiology*, 13, Article 847691. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.847691>
- Giulioni, G., Di Giuseppe, E., & Pasqui, M. (2023). Global coordination of wheat sowing: A possible policy against climate variability. *World Food Policy*, 9(1), 6-27.
- González, H. H. L., Resnik, S. L., & Pacin, A. M. (2013). *Alternaria* species and their mycotoxins in wheat grain and products. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44(2), 447–455. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822013000200017>
- Grains Research and Development Corporation. (2013, May). *Cereal fungicides: Managing cereal fungicide use* [Fact sheet]. GRDC. <https://www.grdc.com.au>
- Gupta, S., Kumar, S., Sohane, R., Pathak, S., Patil, S., Patel, A., & Srinivasaraghavan, A. (2019). Adaptation and impact of zero tillage technology for wheat cultivation in eastern region of Bihar. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 38(6), Article 30397. <https://doi.org/10.9734/cjast/2019/v38i630397>
- Halecki, W., & Bedla, D. (2022). Global wheat production and threats to supply chains in a volatile climate change and energy crisis. *Resources*, 11(12), 118.
- Heino, M., Guillaume, J. H. A., Müller, C., Iizumi, T., & Kummu, M. (2020). A multi-model analysis of teleconnected crop yield variability in a range of cropping systems. *Earth System Dynamics*, 11(1), 113–128.

- Hertz, M., Jensen, I. R., Jensen, L. Ø., Thomsen, S. N., Winde, J., Dueholm, M. S., Sørensen, L. H., Wollenberg, R. D., Sørensen, H. O., Sondergaard, T. E., & Sørensen, J. L. (2016). The fungal community changes over time in developing wheat heads. *International Journal of Food Microbiology*, 222, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.01.018>
- Iizumi, T., Luo, J.-J., Challinor, A. J., Sakurai, G., Yokozawa, M., Sakuma, H., Brown, M. E., & Yamagata, T. (2014). Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature Communications*, 5, 1–7.
- Koch, E., & Roberts, S. J. (2014). Non-chemical seed treatment in the control of seed-borne pathogens. In M. Gullino & G. Munkvold (Eds.), *Global perspectives on the health of seeds and plant propagation material* (Vol. 6, pp. 105–123). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9389-6_8
- Langridge, P., Alaux, M., Almeida, N. F., Ammar, K., Baum, M., Bekkaoui, F., ... & Zhang, X. (2022). Meeting the challenges facing wheat production: The strategic research agenda of the Global Wheat Initiative. *Agronomy*, 12(11), 2767.
- Li, J., Yang, J., Li, Y., & Ma, L. (2020). Current strategies and advances in wheat biology. *The Crop Journal*, 8(6), 879-891.
- Lobell, D. B., & Asseng, S. (2017). Comparing estimates of climate change impacts from process-based and statistical crop models. *Environmental Research Letters*, 12(1), 015001.
- Madlhophe, S., Ogugua, U. V., Makhubu, F. N., et al. (2025). Use of biological control agents for managing fungal pathogens in Solanaceae crops: Progress and future perspectives—a review. *Discover Applied Sciences*, 7, 83. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06500-9>
- Mittal, S., & Mehar, M. (2016). Socio-economic factors affecting adoption of modern information and communication technology by farmers in India: Analysis using multivariate probit model. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 22(2), 199-212.
- Moumni, M., Brodal, G., & Romanazzi, G. (2023). Recent innovative seed treatment methods in the management of seedborne pathogens. *Food Security*, 15, 1365–1382. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01384-2>

- Müller, M. E. H., & Korn, U. (2013). *Alternaria* mycotoxins in wheat – A 10 years survey in the Northeast of Germany. *Food Control*, 34(1), 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.018>
- Muñoz-Romero, V., Benítez-Vega, J., López-Bellido, R. J., & López-Bellido, L. (2010). Effect of tillage system on the root growth of spring wheat. *Plant and Soil*, 326(1), 97–107. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9983-3>
- Pittman, K., Hansen, M. C., Becker-Reshef, I., Potapov, P. V., & Justice, C. O. (2019). Global land analysis & discovery (glad) global cropland extent. USDA.
- Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6(1), 5989.
- Rios, J., Debona, D., Duarte, H., & Rodrigues, F. (2013). Development and validation of a standard area diagram set to assess blast severity on wheat leaves. *European Journal of Plant Pathology*, 136, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0191-x>
- Rebouh, N. Y., Aliat, T., Polityko, P. M., Kherchouche, D., Boulelouah, N., Temirbekova, S. K., Afanasyeva, Y. V., Kucher, D. E., Plushikov, V. G., Parakhina, E. A., Latati, M., & Gadzhikurbanov, A. S. (2022). Environmentally Friendly Wheat Farming: Biological and Economic Efficiency of Three Treatments to Control Fungal Diseases in Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Field Conditions. *Plants*, 11(12), 1566. <https://doi.org/10.3390/plants11121566>
- Ren, R., Zhou, X., & Feng, J. (2024). Editorial: Wheat disease resistance: Diagnosis, germplasm mining, and molecular breeding. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1500414. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1500414>
- Ren, S., Qin, Q., Ren, H., Sui, J., & Zhang, Y. (2019). Heat and drought stress advanced global wheat harvest timing from 1981–2014. *Remote Sensing*, 11(8), 971.
- Sacks, W. J., Deryng, D., Foley, J. A., & Ramankutty, N. (2010). Crop planting dates: An analysis of global patterns. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 607–620.
- Seddaiu, G., Iocola, I., Farina, R., Orsini, R., Iezzi, G., & Roggero, P. P. (2016). Long-term effects of tillage practices and N fertilization in rainfed Mediterranean cropping systems: Durum wheat,

sunflower, and maize grain yield. *European Journal of Agronomy*, 77, 166–178.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.02.008>

Sharma-Poudyal, D., Schlatter, D., Yin, C., Hulbert, S., & Paulitz, T. (2017). Long-term no-till: A major driver of fungal communities in dryland wheat cropping systems. *PLoS ONE*, 12(9), e0184611. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184611>

Singh, V. K. (2018). Biological control of wheat diseases. In *Biological control of crop diseases: Recent advances & perspective (Vol. 2: Cereals, pulses, oilseeds and other crops)* (Vol. 2, pp. 433–463). New Delhi: Today & Tomorrow's Printers and Publishers.

Suproniene, S., Mankevičienė, A., & Kadžienė, G. (2008). The effect of different tillage-fertilization practices on the mycoflora of wheat grains. *Agricultural and Food Science*, 20(1), 60–68. <https://doi.org/10.23986/afsci.6028>

Tadesse, W., Bishaw, Z., & Assefa, S. (2018). Wheat production and breeding in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities in the face of climate change. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 11(5), 696-715.

Torres, D., Rojas-Martínez, R. I., Zavaleta-Mejía, E., Guevara-Fefer, P., Márquez-Guzmán, G., & Pérez-Martínez, C. A. (2017). *Cladosporium cladosporioides* and *Cladosporium pseudocladosporioides* as potential new fungal antagonists of *Puccinia horiana* Henn., the causal agent of chrysanthemum white rust. *PLOS ONE*, 12(2), e0170782. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170782>

Wang, H., Guo, Q., Li, X., Li, X., Yu, Z., Li, X., Yang, T., Su, Z., Zhang, H., & Zhang, C. (2020). Effects of long-term no-tillage with different straw mulching frequencies on soil microbial community and the abundances of two soil-borne pathogens. *Applied Soil Ecology*, 148, 103488. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103488>

Wang, X., Radwan, M. M., Tarawneh, A., Gao, J., Wedge, D. E., Rosa, L. H., Cutler, H. G., & Cutler, S. J. (2013). Antifungal activity against plant pathogens of metabolites from the endophytic fungus *Cladosporium cladosporioides*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(19), 4551–4555. <https://doi.org/10.1021/jf400212y>

Yin, C., McLaughlin, K., Paulitz, T. C., Kroese, D. R., & Hagerty, C. H. (2020). Population dynamics of wheat root pathogens under different tillage systems in Northeast Oregon. *Plant Disease*, 104(10), 2649–2657. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-19-2706-RE>

Zhang, H., He, M., Fan, X., Dai, L., Zhang, S., Hu, Z., & Wang, N. (2022). Isolation, Identification and Hyperparasitism of a Novel *Cladosporium cladosporioides* Isolate Hyperparasitic to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the Wheat Stripe Rust Pathogen. *Biology*, 11(6), 892. <https://doi.org/10.3390/biology11060892>

Zhu, M., Bai, H., Zhang, W., Zhao, S., Qiu, Z., & He, F. (2024). Identification and Biocontrol of Cladosporium Mold Caused by *Cladosporium cladosporioides* on Wheat Spikes in Central China. *Agronomy*, 14(10), 2330. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102330>

5.2. ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Agro24. (n.d.). *Οργώστε μαζί με τις καλαμιές για να αποφύγετε μυκητιάσεις*. Agro24.gr. Retrieved April 10, 2025, from <https://www.agro24.gr/agrotika/symvoyles/geotehnikes-symvoyles/orgoste-mazi-me-tis-kalamies-gia-na-apofygete-mykitiaseis>

BASF Ελλάς. (n.d.). *Comet® 20 EC*. Retrieved April 10, 2025, from <https://www.agro.basf.gr/el/Products/Overview/Comet-20-EC.html>

Bayer Ελλάς. (n.d.). *Madison*. Retrieved April 10, 2025, from <https://www.cropscience.bayer.gr/Resources/News/Products/Madison?overviewId=9C3519CE-9C6D-4B84-8BB8-22AEB387A433>

Business Daily. (2022, March 8). *Ξέφρενη άνοδος στις τιμές των σιτηρών μετά τον πόλεμο στην Ουκρανία*. Business Daily. https://www.businessdaily.gr/agores/59112_xefreni-anodos-stis-times-ton-sitiron-meta-ton-polemo-stin-oykrania

e-Agro. (n.d.). *Μυκητοκτόνο σιτηρών Shalimar EC 1lt*. Retrieved April 10, 2025, from <https://www.e-agro.gr/product/mykitoktono-sitiron-shalimar-ec-1lt/?v=cf99f4b199f6>

JCBL Agri. (n.d.). *Advantages and disadvantages of zero tillage in agriculture*. <https://jcblagri.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-zero-tillage-in-agriculture/>

Kelly Tillage. (n.d.). *Advantages and disadvantages of zero tillage*. Kelly Tillage USA.
<https://kellytillage.com/us/advantages-and-disadvantages-of-zero-tillage/>

Marshall Scientific. (n.d.). *Eppendorf BioPhotometer model 6131*. Retrieved January 14, 2025,
from <https://www.marshallscientific.com/Eppendorf-BioPhotometer-Model-6131-p/e-bp6131.htm>

Yara International ASA. (2025, April 7). *Wheat growth and development*. Yara UK.
<https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/wheat/wheat-growth-and-development/>

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. (2013). *Σιτάρι: Καλλιέργεια και παραγωγή*.
Διαθέσιμο από <https://www.opengov.gr/ypaat/wp-content/uploads/downloads/2013/07/sitari.pdf>

Φυτοφάρμακα.net. (n.d.). *Product No. 1166*. Retrieved April 10, 2025, from
<https://fytofarmaka.net/db/product.php?ProductAA=1166>