

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας

(Πρώην Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων ΤΕΙΔΜ)

«Αξιολόγηση ποικιλιών μαλακού σιταριού με ή χωρίς τη 1BL.1RS μετατόπιση με φυσιολογικά κριτήρια»

«Physiological criteria evaluation of common wheat varieties with
and without the 1BL.1RS chromosomal translocation»

ΤΑΣΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Φλώρινα 2020

Επιμέλεια: Παπαθανασίου Φωκίων

Δήλωση περί μη λογοκλοπής

Δηλώνω ότι είμαι η συγγραφέας της παρούσας εργασίας με τίτλο «**Αξιολόγηση ποικιλιών μαλακού σιταριού με ή χωρίς τη 1BL.1RS μετατόπιση με φυσιολογικά κριτήρια**» που συντάχθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής μου εργασίας και παραδόθηκε το μήνα οκτώβριο του έτους 2024. Η αναφερόμενη εργασία δεν αποτελεί αντιγραφή ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται σαφώς στη βιβλιογραφία και στο κείμενο ενώ κάθε εξωτερική βοήθεια, αν υπήρξε, αναγνωρίζεται ρητά

Όνομα (κεφαλαία)

AM

Υπογραφή:

ΤΑΣΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

FG30759

.....

Ημερομηνία:

.....

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το τέλος της πτυχιακής μου διατριβής σημαίνει για έμένα το τέλος ενός ταξιδιού. Θα ήθελα να ευχαριστήσω σε αυτό το σημείο όλους τους συνοδοιπόρους μου.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές μου κ. Ξυνιά Ιωάννη και κ. Παπαθανασίου Φωκίων για τον χρόνο που αφιέρωσε ο καθένας ξεχωριστά, την υπομονή, την καθοδήγηση και την στήριξη τους ανά τα χρόνια.

Έπειτα, τους υπόλοιπους καθηγητές μου που μου έδωσαν και αυτοί με τη σειρά τους τα εφόδια για να φτάσω εδώ και να μπορέσω να πάω παρακάτω.

Τέλος, ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένεια μου που με στήριξε σε κάθε μου βήμα στα εύκολα και στα δύσκολα και που έκαναν τόσες θυσίες για να φτάσω ως εδώ.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί μια ερευνητική προσπάθεια την αξιολόγηση της αποδοτικότητας και των φυσιολογικών κριτηρίων που μπορεί να έχουν δέκα διαφορετικές ποικιλίες μαλακού σίτου, οι οποίες φέρουν ή δεν φέρουν την 1BL.1RS χρωμοσωματική μετατόπιση.

Αρχικά γίνεται μια αναφορά, σε στοιχεία που σχετίζονται με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του σιταριού, στους εχθρούς και τις ασθένειες που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των φυτών, καθώς και στις περιβαλλοντικές – κλιματικές συνθήκες που πρέπει να επικρατούν, ώστε να μπορούν να αποδώσουν τα μέγιστα οι ποικιλίες του μαλακού σίτου.

Ακολούθως, γίνεται παρουσίαση της έννοιας της χρωμοσωματικής μετατόπισης 1BL.1RS, πως ανακαλύφθηκε και μελετήθηκε, αλλά και πως μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και την ποιότητα των ποικιλιών του σιταριού.

Έπειτα, στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στο πειραματικό τμήμα της εργασίας, τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν καθώς και οι συσχετίσεις μεταξύ των φυσιολογικών γνωρισμάτων. Πιο συγκεκριμένα, κατά την διάρκεια του πειράματος συγκεντρώθηκαν στοιχεία για την απόδοση σε g/πειραματικό τεμάχιο των τριών μεσαίων γραμμών κάθε τεμαχίου, την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, τον φθορισμό της χλωροφύλλης, της φωτοσύνθεσης, της στοματικής αγωγιμότητας, της συγκέντρωσης του CO₂ και τον ρυθμό της διαπνοής.

Σκοπός είναι να ερευνηθεί εάν οι ποικιλίες που φέρουν την μετατόπιση 1BL.1RS, παρουσιάζουν υψηλότερο δυναμικό απόδοσης, από τις ποικιλίες του μαλακού σίτου που δεν έφεραν την εν λόγω μετατόπιση και αν έχουν διαφορές όσον αφορά τα φυσιολογικά τους κριτήρια. Συμπερασματικά μπορεί να αναφερθεί ότι η συμπεριφορά των ποικιλιών που έφεραν τη μετατόπιση δε διέφερε ουσιαστικά από τα φυτά που δεν την έφεραν. Ένα άλλο συμπέρασμα είναι ότι δεν αρκεί η παρουσία της μετατόπισης για να εξασφαλίσει κάποια υπεροχή ως προς την απόδοση. Τέλος, δεν βρέθηκαν συσχετίσεις μεταξύ των διαφόρων γνωρισμάτων πέραν της φωτοσύνθεσης.

Λέξεις Κλειδιά: Μετατόπιση, φυσιολογία, Μαλακός Σίτος

Abstract

This thesis is a research effort aimed at evaluating the efficiency and physiological criteria of ten different soft wheat varieties, which either carry or do not carry the 1BL.1RS chromosomal translocation.

Initially, the work references information related to the morphological characteristics of wheat, the pests and diseases that can affect plant yield, and the environmental and climatic conditions required for the soft wheat varieties to perform optimally.

Next, the concept of the 1BL.1RS chromosomal translocation is presented, including its discovery and study, and how it may influence both the yield and quality of wheat varieties.

In the second chapter, the materials and methods used in the experimental section of the study are presented, along with the data collected and the correlations between the physiological traits. Specifically, during the experiment, data was gathered on the yield (in g/experimental plot) of the three central rows of each plot, chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, photosynthesis, stomatal conductivity, CO₂ concentration, and respiration rate.

The goal of the study was to investigate whether the varieties that carry the 1BL.1RS translocation exhibit a higher yield potential compared to those that do not carry the translocation, and whether there are differences in their physiological traits. In conclusion, it can be stated that the behavior of the varieties carrying the translocation did not differ significantly from the plants that did not carry it. Another conclusion is that the mere presence of the translocation is not enough to ensure a yield advantage. Finally, no correlations were found between the various traits, other than photosynthesis.

Keywords: Translocation, Physiology, Soft Wheat

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων.....	6
Εισαγωγή.....	7
1. Γενικά στοιχεία της καλλιέργειας του σιταριού	9
1.1. Γενικά στοιχεία μαλακού σιταριού.....	9
1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά σιταριού	9
1.3 Η οικονομική σημασία του σιταριού	13
1.3.1 Η παγκόσμια παραγωγή του σιταριού	13
1.3.2 Η παγκόσμια κατανάλωση σίτου	16
1.4 Οι κλιματικές συνθήκες της καλλιέργειας του σιταριού	18
1.4.1. Έδαφος.....	19
1.4.2. Τα στάδια ανάπτυξης του σιταριού.....	20
1.4.3. Θρέψη και λίπανση	21
1.4.4. Εχθροί και ασθένειες του σιταριού	22
1.5 Η χρωμοσωμική μετατόπιση 1BL.1RS	35
1.6 Η κλασική βελτίωση του μαλακού σιταριού	37
2. Υλικά και Μέθοδοι.....	40
2.1 Υλικά.....	40
2.2 Μέθοδοι.....	40
2.3 Στατιστική επεξεργασία	42
3. Αποτελέσματα	42
4. Συμπεράσματα	51
Βιβλιογραφία.....	53

Εισαγωγή

Τα σιτηρά είναι από τα πρώτα φυτά που καλλιέργησε ο άνθρωπος. Οι αρχαίοι πολιτισμοί ήκμασαν σε περιοχές όπου καλλιεργούνταν κάποιο σιτηρό. Ειδικότερα, οι πρώτες ποικιλίες σιταριού καλλιεργήθηκαν περίπου 9500 χρόνια πριν στις περιοχές της Εγγύς Ανατολής. Αυτές ήταν το *Triticum Monococcum* και το *Triticum Dicocum*. Λόγω του φυσικού υβριδισμού και της επιλογής από τους αγρότες αναπτύχθηκαν νέες ποικιλίες όπως το *Triticum Durum* (σκληρό σιτάρι) το Σπέλτα και το κοινό σιτάρι *Triticum Aestivum*. Καθώς η καλλιέργεια του σιταριού εξημερώθηκε με τον καιρό προσαρμόστηκε σε περιοχές που προηγουμένως ήταν ακατάλληλες για την καλλιέργειά του, τα φυτά γίνανε πιο κοντά σε ύψος, χάσανε της ικανότητα της διασποράς των σπόρων (εύθραυστη ράχη) και ο αριθμός αδελφιών ανά φυτό μειώθηκε.

Σήμερα, τα δημητριακά είναι η πιο σπουδαία κατηγορία φυτών και ο λόγος είναι ότι αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής διατροφής του ανθρώπου. Το κυριότερο παραγόμενο προϊόν είναι το ψωμί, επίσης παράγονται ζωοτροφές, πρώτες ύλες για την βιομηχανία των τροφίμων αλλά και για άλλους βιομηχανικούς κλάδους. Πιο συγκεκριμένα, το σιτάρι το συναντάμε σχεδόν σε όλα τα μήκη και πλάτη της Γης. Καλλιεργείται από την Σουηδία έως και την Αργεντινή. Με βάση τον οργανισμό τροφίμων και γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), η συνολική παραγωγή σιταριού παγκοσμίως έφτασε τα 794 εκατομμύρια τόνους το 2022. Ο λόγος που έχει επεκταθεί τόσο το εύρος της καλλιέργειας είναι η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για αυτήν. Η Κίνα, η Ινδία, η Ρωσία, οι Η.Π.Α και ο Καναδάς είναι οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή σίτου καλύπτοντας περίπου το 50% της παγκόσμιας παραγωγής. Ενώ χώρες όπως η Ολλανδία, η Δανία και η Νέα Ζηλανδία έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής απόδοσης ανά εκτάριο.

Το κοινό σιτάρι (*Triticum aestivum*) είναι το πιο διαδεδομένο σιτάρι που καλλιεργείται παγκοσμίως, η χρήση του οποίου προορίζεται για την παραγωγή ψωμιού. Γενικά, έχει υψηλό περιεχόμενο σε πρωτεΐνη και γλουτένη, ενώ το ενδοσπέρμιό του μπορεί να έχει είτε σκληρή, είτε μαλακή υφή. Εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του ενδοσπερμίου σε πρωτεΐνη, ιδιαίτερα των ποικιλιών με σκληρό ενδοσπέρμιο, θεωρείται ιδανικό για την παρασκευή ψωμιού.

Το σιτάρι ολικής αλέσεως έχει καταστεί το κύριο δημητριακό για την παραγωγή ψωμιού παγκοσμίως, λόγω: της ποσότητας και της ποιότητας της γλουτένης που περιέχει, της ενέργειας που προσφέρει, της συμβολής του στον μυϊκό ιστό, καθώς και της μεγάλης διάρκειας αποθήκευσης.

Για την εξάλειψη διαφόρων διατροφικών ασθενειών, το λευκό αλεύρι εμπλουτίστηκε με νιασίνη, θειαμίνη, βιταμίνες Β, σίδηρο, ριβοφλαβίνη και αργότερα με φολικό οξύ. Παρόλα αυτά, το φύτρο απομακρύνεται κατά τη διαδικασία εξευγενισμού του σιταριού, έχοντας ως αποτέλεσμα την απώλεια βιταμινών και μετάλλων. Εξαιτίας αυτής της απώλειας, επιδεινώνονται οι πεπτικές και διατροφικές διαταραχές. Έχει βρεθεί πως η διαδικασία του ψησίματος ελαττώνει την πεπτικότητα των πρωτεϊνών γλουτένης σίτου (Smith et al., 2015). Η πιο κοινή δυσανεξία στην πεπτική γλουτένη είναι η κοιλιοκάκη και τα άτομα που πάσχουν από αυτήν θα πρέπει να αποφεύγουν την κατανάλωση προϊόντων που περιέχουν υψηλές ποσότητες γλουτένης.

Το σιτάρι, ανάλογα με το είδος, μπορεί να υποστεί επεξεργασία με διαφορετικούς τρόπους και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πολλών άλλων προϊόντων διατροφής όπως μπισκότα, ζυμαρικά, noodles και καλλυντικά. Ενώ οι κόκκοι είναι το κύριο μέρος του φυτού που χρησιμοποιείται περισσότερο, το άχυρο που μένει μετά την συγκομιδή του μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα-εδαφοκάλυψη, βιομάζα για την παραγωγή καυσίμου, μέρος κομπόστ, αχυρόστρωση και άλλα.

1. Γενικά στοιχεία της καλλιέργειας του σιταριού

1.1. Γενικά στοιχεία μαλακού σιταριού

Το μαλακό σιτάρι (*Triticum aestivum*) αποτελεί ένα εξαπλοειδές είδος σιταριού (AABBDD) με συνολικά 42 χρωμοσώματα ($2n=42$, έξι φορές από επτά χρωμοσώματα). Η εξαπλοειδής ποικιλίες είναι αποτέλεσμα διασταύρωσης μεταξύ των τετραπλοειδούς *T. turgidum* και *T. taushii* (πηγή του γονιδιώματος "D"). Αποτέλεσμα της διαδικασίας του αμφιδιπλοειδισμού ήταν ένα νέο είδος, το *Triticum aestivum* με ένα συμπλήρωμα γονιδιώματος AABBDD. Το μαλακό σιτάρι ανήκει στην τάξη *Poales* (Glumiflorae), οικογένεια *Poaceae* (Gramineae), φυλή *Triticeae* και γένος *Triticum*. Η φυλή *Triticeae* διακρίνεται σε 18 γένη, τα οποία με τη σειρά τους χωρίζονται σε δύο υποομάδες: *Triticinae* και *Hordeinae*. Στην υποομάδα *Triticinae* ανήκουν τα γένη *Triticum*, *Aegilops*, *Secale*, *Agropyron* και *Haynaldia* (Odenbach 1985, Zeller 1985, Körber-Grohne 1988).

Τα φυτά του μαλακού σιταριού είναι ετήσια και διακρινόμενα σε ανοιξιάτικες ή χειμερινές μορφές. Εξαιτίας της περιεκτικότητας του ενδοσπερμίου, ιδίως του σκληρού ενδοσπερμίου τους, σε πρωτεΐνες έχει θεωρηθεί ως ιδανικό για την Παρασκευή άρτου. Η αλευρώδης υφή των κόκκων του αξιοποιούνται για την παραγωγή λευκών αλεύρων. Από όλα τα είδη του παραγόμενου σίτου, περίπου το 95% είναι μαλακό σιτάρι, συνιστώντας το πιο καλλιεργήσιμο είδος δημητριακού και με την υψηλότερη χρηματική απόδοση. Ο συνδυασμός της υψηλής θρεπτικής αξίας και της εύκολης αποθήκευσης του σιταριού, το έχουν καταστήσει ως το σημαντικότερο εμπορικό είδος τροφίμου για το 1/3 του πληθυσμού της γης.

1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά σιταριού

Η Ρίζα

Το ριζικό σύστημα του σίτου είναι θυσανωτό και αποτελείται από ρίζες ίσης διαμέτρου που έχουν ως αφετηρία περίπου το ίδιο σημείο του φυτού σε μικρο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι ρίζες του φυτού χωρίζονται σε δύο είδη, τις εμβρυακές και τις μόνιμες. Οι εμβρυακές ρίζες είναι λεπτές, με ομοιόμορφη διάμετρο και έχουν τις καταβολές τους στο έμβρυο. Συνήθως, αναπτύσσονται 5-6 ρίζες οι οποίες άλλοτε είναι πρόσκαιρες και άλλοτε διατηρούνται ενεργές σε όλη τη διάρκεια της ζωής του φυτού. Τέλος, έχουν ταχεία ανάπτυξη κάτω από ευνοϊκές συνθήκες. Από την άλλη πλευρά, οι μόνιμες ρίζες είναι παχύτερες, σκληρότερες και ισχυρότερες σε σύγκριση με τις εμβρυακές. Αυτές εκφύονται αργότερα από ένα κόμβο του στελέχους που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Εμφανίζονται στην αρχή οριζόντια

και στη συνέχεια στρέφονται προς τα κάτω. Πέρα από τις βασικές τους λειτουργίες, είναι υπεύθυνες και για την στήριξη του φυτού στο έδαφος. Η έκταση και το βάθος του ριζικού συστήματος των φυτών του σιταριού έχουν άμεση σχέση με την ικανοποιητική απόδοση σε φτωχά εδάφη και την αντοχή αυτών στην ξηρασία (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Μορφολογία του φυτού του σιταριού

Ο Βλαστός

Ο βλαστός (ή στέλεχος) αποτελείται από ένα κυκλικό σωλήνα (κάλαμος), το εσωτερικό του είναι κενό και συμπαγές στα γόνατα ή κόμβους. Τα γόνατα βοηθούν στη διατήρηση της όρθιας θέσης των φυτών καθώς και στην επιστροφή τους σε αυτήν τη θέση εάν χαθεί μετά από πλάγιασμα. Επομένως, το μεσογονάτιο διάστημα έχει άμεση σχέση με την ανθεκτικότητα των φυτών στο πλάγιασμα. Όσο πιο μικρή είναι η μεταξύ απόσταση των μεσογονατίων διαστημάτων τόσο πιο ανθεκτικά είναι τα φυτά στο πλάγιασμα. Στη βάση του βλαστού υπάρχουν οφθαλμοί από τους οποίους παράγονται τα αδέρφια τα οποία ποικίλουν σε αριθμό ανάλογα με την ποικιλία.

Μέρος του βλαστού είναι και η μεταβατική ζώνη μεταξύ των ριζών και του στελέχους η οποία καλείται στεφάνη ή σταυρός. Ο σταυρός είναι το πιο ευαίσθητο σημείο στα χειμερινά σιτηρά διότι αποτελείται από μεριστωματικούς ιστούς, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να παράγουν ρίζες και φύλλα. Αν σε οποιοδήποτε περίπτωση ζημιωθεί το σημείο αυτό, οι ιστοί καταστρέφονται και ακολουθεί ξήρανση του φυτού. Το σημείο του σταυρού δεν επηρεάζεται από το βάθος σποράς. Όμως, η θερμοκρασία του εδάφους φαίνεται να επηρεάζει το σημείο της δημιουργίας του. Με υψηλή θερμοκρασία, γύρω στους 24°C, ο σταυρός σχηματίζεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ σε θερμοκρασία κατώτερη των 8°C ο σταυρός σχηματίζεται κοντά στο σπόρο. Η θέση του σταυρού επηρεάζει την αντοχή του φυτού στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα. Όσο πιο ψηλά προς την επιφάνεια του εδάφους είναι ο σταυρός τόσο πιο ευαίσθητα είναι τα φυτά στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα φύλλα

Το αρχέφυτο προστατεύεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες από τα πρώτα φύλλα τα οποία σχηματίζουν μία τούφα. Η φυλλοταξία είναι δίστοιχη δηλ. Τα φύλλα διατάσσονται σε δυο σειρές η μια απέναντι από την άλλη. Κάθε φύλλο αποτελείται από τον *κολεό* και το *έλασμα*. Ως έλασμα χαρακτηρίζεται το ελεύθερο, επίμηκες και συνήθως σε ελαφρά συστροφή ανώτερο μέρος του φύλλου του σιταριού. Καθώς συνενώνεται με τον κολεό, συνήθως σχηματίζονται τα ωτίδια και το γλωσσίδιο, τα οποία συνιστούν τα διακριτά γνωρίσματα μεταξύ των ποικίλων γενών σιτηρών. Το φύλλο εμφανίζεται με παράλληλες νευρώσεις, χωρίς την παρουσία διακλαδώσεων, οι οποίες σε συνέργεια με τον σκληρεγχυματικό ιστό και την πλούσια σε πυρίτιο επιδερμίδα, βοηθούν στη διατήρηση της αντοχής του φύλλου. Παρότι διαθέτει στομάτια και στις δύο πλευρές του φύλλου το σιτάρι, τα περισσότερα είναι στην άνω επιφάνεια και για αυτόν το λόγο υπάρχει συστροφή των φύλλων σε ξηρό καιρό, ώστε να μειωθεί η διαπνοή. Μεταξύ των φύλλων υπάρχουν διαφορές στον χρωματισμό τους, με το επικρατές χρώμα του σιταριού να είναι το ζηρό πράσινο. Ο κολεός ξεκινάει από το γόνατο περιβάλλοντας το στέλεχος, προστατεύοντάς το από τις επιδράσεις του κρύου και της ζέστης.

Η ταξιανθία

Η Ταξιανθία του σιταριού είναι στάχυς. Κάθε γόνιμο στέλεχος σιταριού φέρει ένα επάκριο στάχυ με 22-24 σταχύδια τοποθετημένα επάνω στη ράχη. Το μήκος του στάχως κυμαίνεται από 5-15cm. Υπάρχουν στάχεις με τα σταχύδια τοποθετημένα πυκνά ή αραιά. Συνήθως οι συμπαγέστεροι στάχεις έχουν μικρότερο μήκος και οι αραιότεροι μεγαλύτερο, έτσι ώστε ο τελικός αριθμός των σταχυδίων/στάχυ να τείνει να είναι σχετικά σταθερός.

Κάθε σταχύδιο φέρει δύο έως εννιά άνθη κατά μήκος του ραχιδίου από τα οποία τα ακριανά είναι τα γόνιμα (Ξυνιάς 2014). Συνήθως από κάθε σταχύδιο παράγονται δύο έως τρεις καρποί. Ο αριθμός των σταχυδίων ανά στάχυ καθορίζονται από παράγοντες που επιδρούν κατά το χρόνο της διαφοροποίησής τους. Κάθε άνθος έχει μια μονόχωρη ωοθήκη και τρεις στήμονες.

Υπάρχουν ποικιλίες αγανοφόρες, μη αγανοφόρες και ενδιάμεσες. Τα άγανα είναι μεταμορφωμένα φύλλα από τα οποία έχει απομείνει το κεντρικό νεύρο που περιβάλλεται από λίγο παρεγχυματικό ιστό. Έχουν στόματα και χλωροπλάστες, επομένως φωτοσυνθέτουν και διαπνέουν. Τα άγανα συμβάλλουν αποφασιστικά στις τελικές αποδόσεις εφοδιάζοντας με φωτοσυνθετικά προϊόντα τους καρπούς κατά τη διάρκεια του γεμίσματος των σπόρων. Έχει βρεθεί ότι τα άγανα διπλασιάζουν σχεδόν το ρυθμό καθαρής φωτοσυνθετικής ικανότητας του στάχως (Καραμάνος 1999). Φαίνεται επίσης ότι συμβάλλουν και στον εφοδιασμό των καρπών με κυτοκίνινες. Η συμβολή των αγάνων είναι ιδιαίτερα σημαντική υπό συνθήκες έλλειψης νερού, όπου οι αγανοφόρες ποικιλίες υπερτερούν σε αποδόσεις από τις μη αγανοφόρες. Σε χαμηλά επίπεδα εδαφικού νερού το ανώτερο φύλλο έχει μειωμένο ρυθμό φωτοσύνθεσης, σε αντίθεση με τα άγανα που εξακολουθούν να αφομοιώνουν αποτελεσματικά. Αντίθετα, σε υγρές περιοχές ο ρόλος των αγάνων δεν είναι εξίσου ουσιαστικός. Η σημασία των αγάνων αποδίδεται (α) στην επάκρια θέση τους στο φυτό (σκιάζονται ελάχιστα) (β) στο στενό σύνδεσμο με τους καρπούς μέσω των ηθμαγγειωδών δεσμίδων τους (γ) στην υψηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητά τους ακριβώς κατά το χρόνο του γεμίσματος (είναι από τα νεότερα όργανα του φυτού) και (δ) στην ξηροθερμική προσαρμογή τους λόγω έλλειψης ελάσματος. Παράλληλα τα άγανα προστατεύουν τους στάχεις από προσβολές πουλιών διασώζοντας την τελική παραγωγή σε μεγάλο βαθμό.

Ο καρπός

Το σχήμα των καρπών του σιταριού είναι ωσειδές, με μήκος 4-10mm και με παρουσία τριχιδίων στην κορυφή τους (Εικόνα 2). Το σύννηθες βάρος τους κυμαίνεται μεταξύ 40-60gr., ενώ αναφέρεται και η ύπαρξη μια ασθενούς συσχέτισης μεταξύ του βάρους και της τελικής απόδοσης αυτού. Το χρώμα των καρπών είναι συνέπεια των χρωστικών testa, εμφανίζοντας διακυμάνσεις μεταξύ των διαφόρων αποχρώσεων από το ερυθρό έως το λευκό. Όπως έχει φανεί, σε σύγκριση με τους λευκούς καρπούς, οι κόκκινοι καρποί παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια λήθαργου.



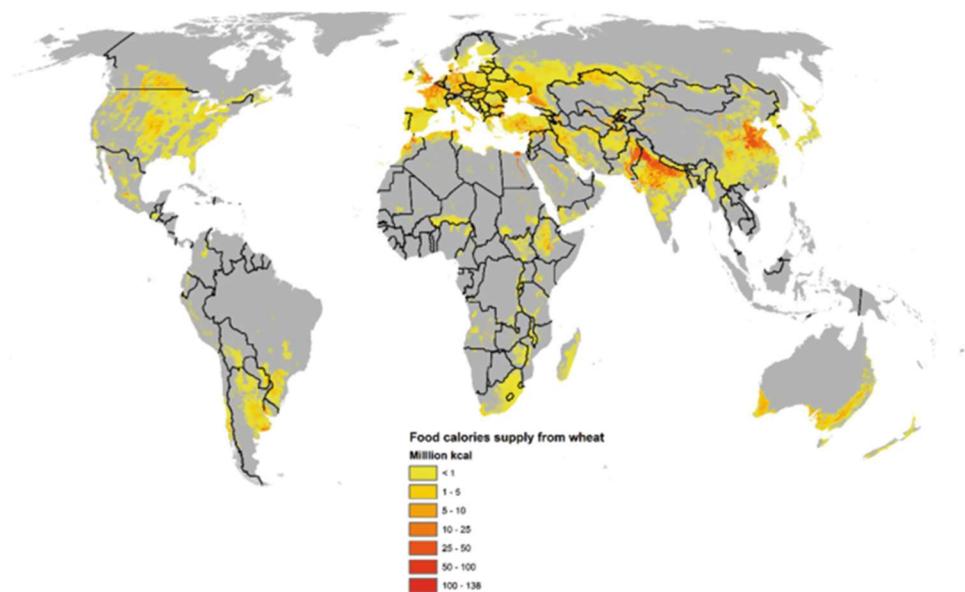
Εικόνα 2. Ανατομία του κόκκου του σιταριού.

Αναλόγως της δομής του ενδοσπερμίου τους, οι καρποί χαρακτηρίζονται ως μαλακοί (αλευρώδες ενδοσπέρμιο), σκληροί (κερατοειδές ή υαλώδες ενδοσπέρμιο) ή ημίσκληροι (ενδοσπέρμιο ενδιάμεσης δομής).

1.3 Η οικονομική σημασία του σιταριού

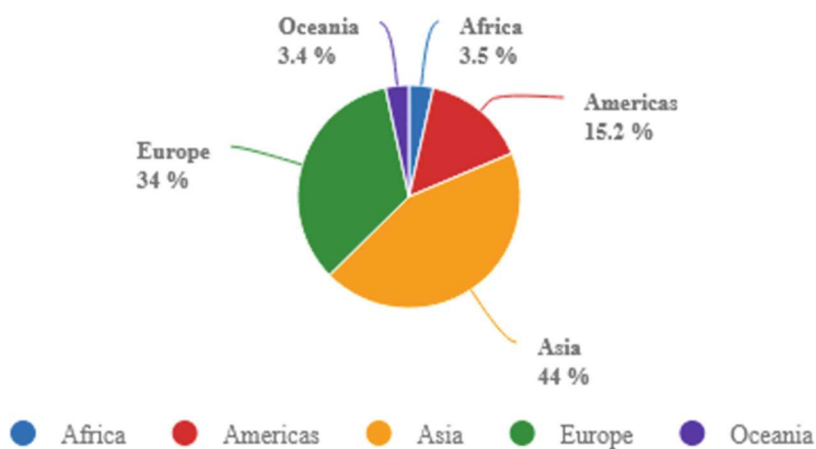
1.3.1 Η παγκόσμια παραγωγή του σιταριού

Έως και το 2018, υπολογίζεται ότι η παγκόσμια καλλιέργεια του σιταριού ανερχόταν περίπου σε 217 εκ. εκτάρια γης παγκοσμίως, γεγονός που την καθιστά την πιο ευρέως καλλιεργούμενη καλλιέργεια διεθνώς (εικόνα 3). Ενδεικτικά, υπό όρους παραγωγής, η καλλιέργεια του σιταριού ανέρχεται σε 752 εκ. τόνους συνολικά, λίγο πίσω από τα 768 εκ. τόνους που ρυζιού παγκοσμίως (Reynolds και Braun, 2023).



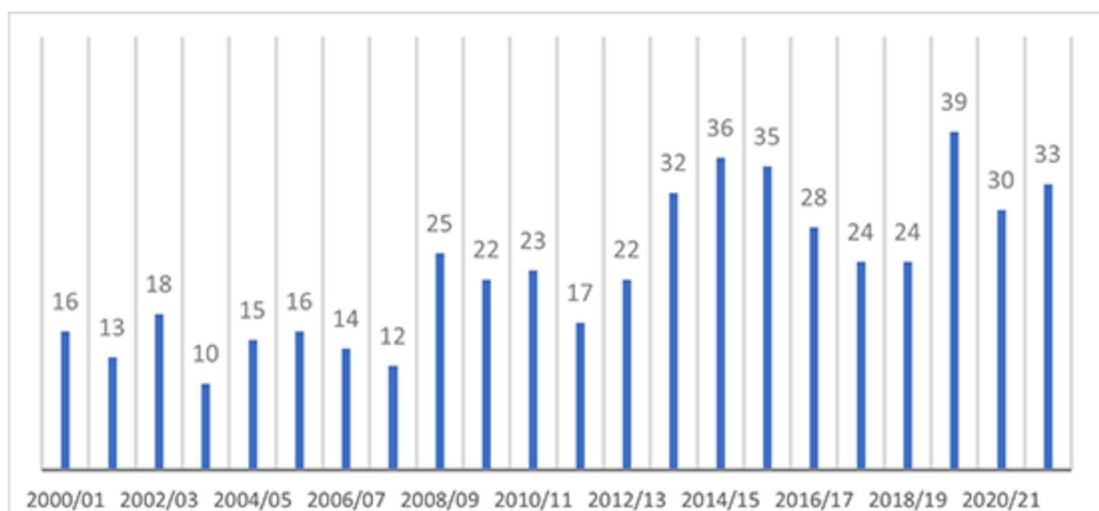
Εικόνα 3. Η παγκόσμια γεωγραφική κατανομή της παραγωγής σιταριού το 2018 (FAOStat, 2020)

Το σιτάρι καλλιεργείται σε περισσότερες από 120 χώρες στην Ευρώπη, στην Αφρική, στην Ασία, στην Αμερική και στην Ωκεανία, τόσο σε αναπτυσσόμενες όσο και σε αναπτυγμένες χώρες. Στην παγκόσμια παραγωγή σιταριού, η Ασία έχει τη μεγαλύτερη συμβολή (44%), ακολουθούμενη από την Ευρώπη (34%), την Αμερική (15%) και σε μικρότερο ποσοστό από την Ωκεανία και την Αφρική (3.4–3.5%) (εικόνα 3). Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, τα σχετικά μερίδια παραγωγής ανά περιοχή παρέμειναν σχετικά παρόμοια, εκτός από μια ελάττωση κατά 5% στην Αμερική και μια μικρότερη μείωση κατά 1-2% στις άλλες περιοχές (εικόνα 4) .



Εικόνα 4. Τα μερίδια παραγωγής του σιταριού ανά περιοχή το 2018 (FAOStat 2020).

Η οικονομική σημασία του σιταριού στην Ευρώπη μπορεί να γίνει κατανοητή μέσα από την αναδρομή των τελευταίων 2 δεκαετιών. Το 1995, οι εκτάσεις του σιταριού στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπολογιζόταν στα 12 εκ. εκτάρια, με την παραγωγή να φτάνει τα 75 εκ. τόνους, από τους οποίους περίπου οι 16 με 18 τόνοι ήταν εξαγωγίμοι.(FAOStat 2020) Σήμερα, η Ε.Ε. θεωρείται ένας σημαντικός παίκτης στην παραγωγή του σιταριού στη διεθνή σκηνή (ακόμη και μετά την έξοδο του Ην. Βασιλείου), καθώς η υπό καλλιέργεια έκταση του σιταριού ανέρχεται στα 22 εκ. εκτάρια, τα οποία αντιπροσωπεύουν περίπου το 10% της παγκόσμιας αγοράς. Η ετήσια παραγωγή ανέρχεται στους 125 με 140 εκ. τόνους, με τις εξαγωγές να ξεπερνούν τα 30 εκ. τόνους. Μέσα στα πρώτα 22 έτη του 21^{ου} αιώνα, υπολογίζεται ότι η Ε.Ε. θα έχει εξάγει περίπου μισό δις. τόνους σιταριού, μόλις 100 εκ. τόνους λιγότερους από τις Ηνωμένες Πολιτείες, αλλά και περίπου 100 εκ. τόνους περισσότερους από αυτούς που εξάγονται από την Ρωσία για την ίδια περίοδο (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Οι τάσεις των παγκόσμιων εξαγωγών σιταριού από την ΕΕ από την αρχή του αιώνα σε εκατομμύρια τόνους (Abis, 2023).

Όπως γίνεται κατανοητό, η Ε.Ε. έχει ιδιαίτερα ενισχυμένη παραγωγική και εξαγωγική ικανότητα σιταριού τα τελευταία χρόνια. Ενδεικτικά, μεταξύ του 2015 και 2022, εξήχθησαν περίπου οι μισές ποσότητες σιταριού του συνόλου των εξαγωγίμων ποσοτήτων των τελευταίων 2 δεκαετιών. Οι προορισμοί των εξαγωγών είναι συνήθως διεθνείς, με κύριους αποδέκτες την Αλγερία, την Αίγυπτο, το Μαρόκο, την Κίνα και τη Νιγηρία. Ωστόσο, περίπου το 40% του όγκου προορίζεται για τις χώρες της Ε.Ε. Η

Γαλλία από μόνη της, αντιπροσωπεύει περίπου το ένα τρίτο της ποσότητας του σιταριού που εξάγεται από την Ε.Ε., ακολουθούμενη από τη Ρουμανία (περίπου 20% του συνολικού όγκου), τη Γερμανία (15%), τη Λιθουανία (7%), τη Λετονία και τη Βουλγαρία (6% η κάθε μια). Οι χώρες της Ανατολικής Ευρώπης υπολογίζεται ότι αντιπροσωπεύουν περίπου ένα 40% του συνόλου των ευρωπαϊκών εξαγωγικών ποσοτήτων σιταριού (Schiavo et al., 2021).

Παρόλα αυτά, δεν πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι η Ε.Ε. κάνει επίσης εισαγωγή σιταριού, περίπου 4-6 εκ. τόνων ετησίως, με το 1/3 αυτού να συνιστά σκληρό σιτάρι, καθιστώντας έτσι τον Καναδά ως έναν από τους βασικούς προμηθευτές αυτής. Εκτός αυτού, εισάγονται σιτηρά από την Ουκρανία, τη Ρωσία, τη Μολδαβία, το Ην. Βασίλειο και τις Ην. Πολιτείες (Schiavo et al., 2021).

Σε σύγκριση με τις άλλες χώρες του κόσμου στις οποίες υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στην παραγωγή του σιταριού (όπως είναι η Αυστραλία), η Ευρώπη έχει το πλεονέκτημα της μεγάλης σταθερότητας της παραγωγής του. Οι κλιματικές συνθήκες και ιδίως η θερμοκρασία και η υγρασία ευνοούν τη καλλιέργεια του σιταριού, χωρίς να το καθιστούν πολύ «στρεσαρισμένο» από αγρονομικής πλευράς, σε σύγκριση με άλλες κλιματικές συνθήκες σε άλλες περιοχές του κόσμου, όπου τα ατυχήματα είναι πιο συχνά. Αυτές οι κλιματικές συνθήκες, σε συνδυασμό με την υψηλή τεχνογνωσία των σύγχρονων ευρωπαϊών γεωργών και το υψηλό κατά κεφαλήν εισόδημα των τελευταίων δεκαετιών, διευκολύνουν την επίτευξη υψηλών παραγωγικών αποδόσεων, πάνω από τον παγκόσμιο μέσο όρο, με 19 από τα κράτη μέλη της Ε.Ε. να συγκαταλέγονται μεταξύ των 30 υψηλότερων εθνικών αποδόσεων στη παραγωγή του σιταριού παγκοσμίως (Abis, 2022).

Ωστόσο, το από καιρό πλεονέκτημα της Ευρωπαϊκής Ηπείρου, είναι δυνατόν να αλλάξει πολύ γρήγορα, δεδομένης της ταχείας αύξησης των ακραίων φαινομένων της κλιματικής αλλαγής, με την εμφάνιση των εντονότερων ξηρασιών και έχουν ιδιαίτερο αντίτυπο στα δημητριακά.

1.3.2 Η παγκόσμια κατανάλωση σίτου

Παρά το γεγονός ότι το σιτάρι αντιπροσωπεύει ένα από τα πιο θεμελιώδη τρόφιμα και βασικά συστατικά για όλες τις χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο, ωστόσο, η κατανάλωσή του διαφέρει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων χωρών.

Ο μεγαλύτερος καταναλωτής σιταριού με βάση τον συνολικό όγκο, είναι σε παγκόσμιο επίπεδο η Κίνα, καθώς καταναλώνει περισσότερους από 97.000 εκ. τόνους σιτηρών σε ετήσια βάση. Ακολουθεί η Ινδία με περισσότερους από 90.000 εκ. τόνους, με τις δύο αυτές χώρες να καταναλώνουν περίπου 65 κιλά σιταριού ανά άτομο. Η τρίτη σε σειρά καταναλώτρια χώρα είναι οι Ην. Πολιτείες, με μόλις λίγο πάνω από 27.000 εκ. τόνους ετησίως. Ωστόσο, σε σύγκριση με τις δύο πρώτες χώρες, οι Η.Π.Α. έχουν υψηλότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση σιταριού, με περίπου 82 κιλά ανά άτομο. Οι χώρες με την υψηλότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση σιτηρών είναι το Αζερμπαϊτζάν (204.3), η Τυνησία (199.79), το Τουρκμενιστάν (186.23) και η Αλγερία (175.5.) Στην Ασία βρίσκονται οι έξι χώρες με την υψηλότερη κατανάλωση σιταριού παγκοσμίως (Κίνα, Ινδία, Πακιστάν, Ρωσία, Τουρκία και Ιράν), καθώς και οι χώρες με την υψηλότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση (Αζερμπαϊτζάν, Τουρκμενιστάν, Ουζμπεκιστάν, Τουρκία, Γεωργία, Συρία και Αφγανιστάν) (World Population Review, 2024).

Οι χώρες με την μικρότερη ετήσια κατανάλωση ετησίως είναι μικρές χώρες όπως το Ναούρου, η Μικρονησία, ο Άγιος Χριστόφορος, η Νέβις και η Δομινικανή Δημοκρατία, με την κατανάλωση να μην υπερβαίνει του 5 τόνους στην κάθε μία. Οι δέκα χώρες με τη χαμηλότερη ετήσια κατανάλωση είναι κατά κύριο λόγο μικρά νησιά. Οι χώρες της Αφρικής διακρίνονται για την μικρότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση σιταριού, με τους κατοίκους των χωρών της Κεντρικής Αφρικής να καταναλώνουν μόλις 3,7 κιλά ανά άτομο. Ακολουθούν η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (3,99) και το Τσαντ και το Νότιο Σουδάν (5,14 κιλά η κάθε μία) (World Population Review, 2024).

Η κατανάλωση του σιταριού μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του κατά πόσο αυτό καλλιεργείται και επεξεργάζεται εγχώρια, η σημασία και η συμμετοχή του στην τοπική κουζίνα και το οικονομικό επίπεδο της εκάστοτε χώρας. Επιπρόσθετα, ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζει το σιτάρι στα επεξεργασμένα τρόφιμα, έχει ως αποτέλεσμα την υψηλότερη κατανάλωσή του σε χώρες με πιο επεξεργασμένες διαιτητικές συνήθειες (World Population Review, 2024).

1.4 Οι κλιματικές συνθήκες της καλλιέργειας του σιταριού

Το σιτάρι έχει τη δυνατότητα προσαρμογής σε μια μεγάλη ποικιλία οικολογικών συνθηκών, με το μαλακό σιτάρι να επιδεικνύει μεγαλύτερη αντοχή στο ψύχος. Είναι δυνατόν να καλλιεργηθεί σε τροπικές και υποτροπικές ζώνες, καθώς και σε εύκρατες ζώνες, ακόμη και στις απομακρυσμένες περιοχές του Βορρά. Το σιτάρι αντέχει στο δριμύ ψύχος και μπορεί να συνεχίσει την ανάπτυξή του με την ρύθμιση του στο ζεστό καιρό της άνοιξης. Σε σχέση με το υψόμετρο, η καλλιέργεια του σιταριού μπορεί να γίνει σε περιοχές από το επίπεδο της θάλασσας, έως και σε υψόμετρο 3300 μέτρων. Οι ευνοϊκότερες κλιματικές συνθήκες για την καλλιέργειά του είναι ο δροσερός και υγρός καιρός κατά τη βλαστική περίοδο του φυτού και ο μετέπειτα ξηρός και ζεστός καιρός κατά την περίοδο της ωρίμανσης του φυτού και των κόκκων του (Kumar et al., 2016).

Κατά τη διάρκεια του σταδίου ανάπτυξης της κεφαλής και της άνθησης του σιταριού, η ύπαρξη υψηλών ή χαμηλών θερμοκρασιών και η ξηρασία καθίστανται επιβλαβείς για την ανάπτυξη του. Παρομοίως, ο συνεφιασμένος καιρός με συνθήκες υψηλής υγρασίας και χαμηλών θερμοκρασιών ευνοεί την προσβολή του σιταριού από τη σκουριά. Η άριστη θερμοκρασία κατά το στάδιο της βλαστήσεως του σιταριού είναι 20-22 °C, με ελάχιστη 3-4 °C και με μεγίστη 35 °C. Η βέλτιστη μέση θερμοκρασία κυμαίνεται κατά το στάδιο της ωρίμανσης είναι μεταξύ 25-30 °C. Ιδιαίτερα σημαντικός για την απόδοση του σιταριού είναι ο ρόλος της θερμοκρασίας κατά το στάδιο της πλήρωσης και της ανάπτυξης των κόκκων, με τις θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 25 °C να προκαλούν ελάττωση του βάρους των κόκκων (πίνακας 1) (Kumar et al., 2016).

Πίνακας 1. Απαιτήσεις της θερμοκρασίας σε διάφορα στάδια ανάπτυξης του σιταριού

Στάδιο ανάπτυξης	Θερμοκρασιακές απαιτήσεις
Βλάστηση	Μέση ημερήσια 20 έως 25°C
Επιταχυνόμενη ανάπτυξη	Μέση ημερήσια 20 έως 23°C
Κατάλληλη πλήρωση των κόκκων	Μέση ημερήσια 23 έως 25°C

1.4.1. Έδαφος

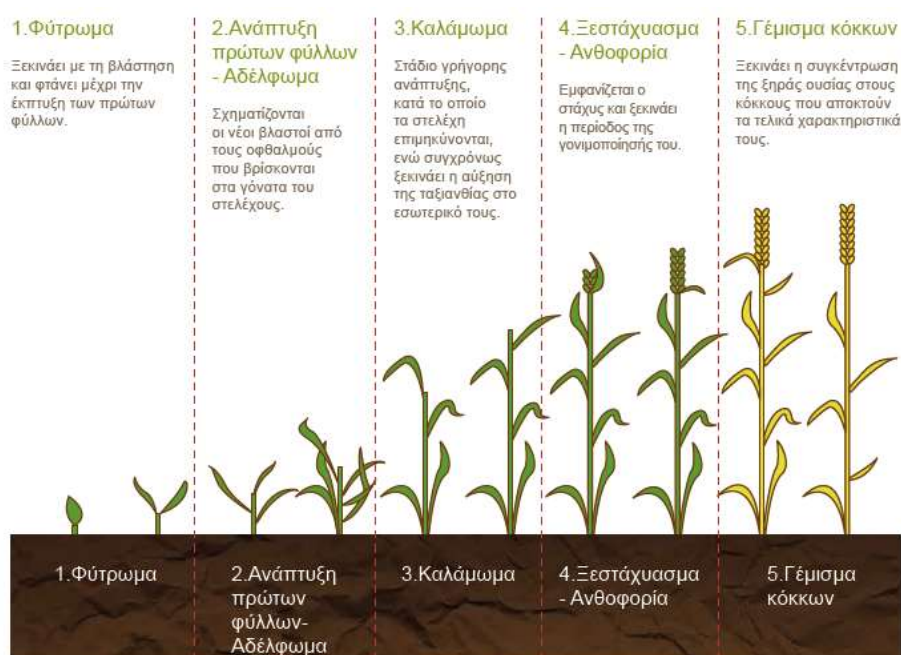
Η καλλιέργεια του σιταριού είναι δυνατόν να διενεργηθεί σε ποικίλες υφές εδάφους. Ωστόσο, ως βέλτιστα θεωρούνται τα εδάφη μέσης υφής, ενώ συστήνεται η αποφυγή καλλιέργειας σε τυρφώδη εδάφη που περιέχουν υψηλές ποσότητες ανόργανων συστατικών (νάτριο, σίδηρο και μαγνήσιο). Η υφή του εδάφους επιδρά στο ύψος των φυτών, στην επιφάνεια των φύλλων του, στη φυτική του βιομάζα, στον αριθμό και στα χαρακτηριστικά των κόκκων του (Mojid και άλλοι 2020).

Ως ιδανικές συνθήκες καλλιέργειας του σιταριού είναι η παρουσία ενός ουδέτερου pH (γύρω στο 7) του εδάφους. Η υπερβολική και μακροχρόνια χρήση αζωτούχων λιπασμάτων έχει ως συνέπεια την όξυνση του pH του εδάφους στις περισσότερες από τις περιοχές καλλιέργειας του σιταριού. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος αύξησης του pH του εδάφους είναι η χρήση του γεωργικού ασβεστόλιθου. Αρνητική επίδραση στην απόδοση των σιτηρών έχουν και τα εδάφη χαμηλής γονιμότητας και υψηλής αλατότητας, με τα προβλήματα της αλατότητας να συναντώνται συχνότερα σε αρδευόμενες καλλιέργειες. Η υψηλή αλατότητα μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της επιβίωσης των φυταρίων του σιταριού, του αριθμού των πρωτογενών και δευτερογενών φυταρίων, του αριθμού των φύλλων και των καρπών, καθώς και της διαθεσιμότητας του νερού. Προκειμένου να βοηθηθούν τα φυτά στην αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, προτείνεται η αύξηση του K^+ και η ελάττωση του Na^+ (Rahman et al., 2005). Επιπρόσθετα, σε επίπεδα αλατότητας άνω των 100mM NaCl, σημειώνεται σημαντική μείωση της ποιότητας των κόκκων (Farooq και Azam, 2005).

Προκειμένου οι γεωργοί να μπορέσουν να προσδιορίσουν και να παρακολουθήσουν τα χαρακτηριστικά του εδάφους, μπορούν να συλλέξουν δείγματα από τα χωράφια τους. Για τον καθορισμό του pH του εδάφους, προτείνεται η συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από διάφορες περιοχές του χωραφιού, από την επιφάνεια του εδάφους και από βάθος 10-20 cm και 20-30 cm, ενώ για τον καθορισμό των θρεπτικών συστατικών συστήνεται τα δείγματα να συλλέγονται από βάθος 0 έως 10-25 cm (Mojid et al., 2020).

1.4.2. Τα στάδια ανάπτυξης του σιταριού

Η ανάπτυξη του φυτού του σιταριού διακρίνεται σε τρεις ξεχωριστές φυσιολογικές φάσεις, από την σπορά μέχρι την συγκομιδή του: *Εγκατάσταση* (Βλαστικό στάδιο), *Σχηματισμός* (Αναπαραγωγικό στάδιο) και *Παραγωγή* (Στάδιο γεμίσματος του κόκκου) (εικόνα 6) (Yara, 2024).



Εικόνα 6. Τα στάδια ανάπτυξης του σιταριού (πηγή <https://www.yara.gr/threpsi-lipansi/lipansi-sitari/stadia-sitariou/>)

Εγκατάσταση (Βλαστικό στάδιο)

Στη φάση αυτή περιλαμβάνονται τα στάδια της ανάπτυξης του σιταριού από τη στιγμή της σποράς έως και την έναρξη του καλαμώματος (Φύτρωμα, Ανάπτυξη πρώτων φύλλων-Αδέλφωμα). Κατά τη διάρκεια αυτών των σταδίων αναπτύσσονται οι βλαστοί (αδέλφια) και το ριζικό σύστημα του σιταριού. Μόλις το αναδυόμενο από το έδαφος κολεόπτιλο δει το φως σταματά η ανάπτυξή του. Το πρώτο πραγματικό φύλλο αναπτύσσεται από την κορυφή του κολεόπτιλου, ενώ κατά το στάδιο των φύλλων, εξελίσσονται 3 φύλλα στο μέγιστο βαθμό τους. Ταυτόχρονα, μεταξύ του σπόρου και του εδάφους αναπτύσσεται μια κόμη, προκαλώντας την έναρξη της ανάπτυξης του σπερματικού ριζικού συστήματος. Κατά τη διάρκεια του σταδίου της φυλλοβόλησης, έχουμε τον σχηματισμό των πρώτων φύλλων στον κύριο μίσχο του

κολεόπτου και στις κατώτερες προσθήκες των φύλλων. Εάν υπάρχει αρκετός χώρος για την ανάπτυξη του φυτού, από τα αρχικά φύλλα αναπτύσσονται περαιτέρω φύλλα. Προς το τέλος του σταδίου αυτού διαμορφώνεται και ο αριθμός των κόκκων του σταχέως (Yara, 2024).

Σχηματισμός (Αναπαραγωγικό στάδιο)

Η έναρξη της φάσης αυτής γίνεται με την εμφάνιση του πρώτου κόμβου, έως και το τέλος της ανθοφορίας. Η φάση αυτή συνιστά ένα κρίσιμο στάδιο του βιολογικού κύκλου του σιταριού, καθώς κατά τη διάρκεια αυτής πραγματοποιείται η ανάπτυξη του στελέχους, η αύξηση των φύλλων, των ριζών και της ταξιανθίας, κατά την οποία διαμορφώνεται και ο αριθμός των αναπτυσσόμενων σταχυδίων. Στο στάδιο αυτό, η φυλλική επιφάνεια του σιταριού είναι σε θέση να απορροφήσει έως και το 95% της εισερχόμενης ενεργής ακτινοβολίας. Η φάση αυτή ονομάζεται και φάση της γρήγορης ανάπτυξης, καθώς υπάρχει μια γρήγορη ανάπτυξη του φυτού και με αυξημένες ανάγκες θρεπτικών συστατικών από το έδαφος (Yara, 2024).

Παραγωγή (Στάδιο γεμίσματος του κόκκου)

Η έναρξη της φάσης αυτής είναι στο τέλος της άνθισης έως και την πλήρη ωρίμανση των κόκκων του σιταριού. Κατά τη διάρκεια αυτής γίνεται η οριστικοποίηση των χαρακτηριστικών της παραγωγής, όπως για παράδειγμα το ειδικό βάρος και ο αριθμός των κόκκων ανά m^2 . Ιδιαίτερα σημαντικό της φάσης αυτής η διατήρηση της υγιούς κατάστασης του «φύλλου-σημείας» καθώς και η επάρκεια σε άζωτο. Το άζωτο είναι βασικό συστατικό για τον σχηματισμό των παραγόμενων υδατανθράκων και της μεταφοράς τους στους κόκκους, συμμετέχοντας έως και κατά 70% στη διεργασία αυτή (Yara, 2024).

1.4.3. Θρέψη και λίπανση

Οι θρεπτικές ανάγκες του σιταριού διαφέρουν μεταξύ των σταδίων της ανάπτυξής του. Τα απαιτούμενα για την ποσοτική και ποιοτική ανάπτυξη θρεπτικά συστατικά ανά στάδιο ανάπτυξης είναι (Yara, 2024):

- *Στάδιο Φυτρώματος και Εγκατάστασης:* τα αναγκαία θρεπτικά συστατικά είναι το Άζωτο (N) και ο Φώσφορος (P). Το άζωτο είναι απαραίτητο για τη

γρήγορη και πρώιμη ανάπτυξη κατά την έναρξη της καλλιέργειας, ενώ ο φώσφορος παρέχει την απαραίτητη ενέργεια κατά τη φάση της αρχικής ανάπτυξης, αλλά και κατά την ανάπτυξη του πλούσιου ριζικού συστήματος, ώστε να βοηθηθούν τα φυτά για μια καλύτερη προσαρμογή τους στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα.

- *Στάδιο Αδελφώματος*: τα αναγκαία θρεπτικά συστατικά είναι το Άζωτο (N) για την ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας και για την αύξηση του αριθμού των αδελφών και ο Φώσφορος (P) ως δομικό στοιχείο για τον σχηματισμό των φωτοσυνθετικών πρωτεϊνών και ενζύμων.
- *Στάδιο Καλαμώματος* (επιμήκυνση στελέχους): τα αναγκαία θρεπτικά συστατικά είναι το Άζωτο (N), ο Φώσφορος (P), το Κάλιο (K), το Θείο (S), το Μαγγάνιο (Mn) και ο Ψευδάργυρος (Zn). Το άζωτο βοηθάει στη καλή και γρήγορη αύξηση της φυλλικής επιφάνειας, ο φώσφορος παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για την ανάπτυξη του φυτού, το κάλιο ρυθμίζει την υδατική ισορροπία και ενισχύει τη σταθερότητα των φυτών, το θείο βελτιώνει την απόδοση και την ποιότητα της παραγωγής, το μαγγάνιο συνιστά δομικό στοιχείο για τον σχηματισμό φωτοσυνθετικών πρωτεϊνών και ενζύμων και ο ψευδάργυρος επιταχύνει τις ενζυματικές αντιδράσεις, το μεταβολισμό του αζώτου και τη σύνθεση των πρωτεϊνών.
- *Στάδιο της έκπτυξης της ταξιανθίας και του γεμίσματος του κόκκου*: τα αναγκαία θρεπτικά συστατικά είναι το Άζωτο (N), ο Φώσφορος (P), το Μαγνήσιο (Mg) και το Βόριο (B). Το άζωτο βοηθάει στην επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων μέσω της συμβολής του στη φωτοσύνθεση, στο μέγεθος και στον αριθμό των κόκκων και στο περιεχόμενο των κόκκων σε πρωτεΐνη. Το μαγνήσιο βοηθάει στη διατήρηση του πράσινου χρώματος των φύλλων και στην φωτοσυνθετική τους ικανότητα. Ο φώσφορος βοηθάει στην ενεργοποίηση της ξηράς ουσίας και στη βελτίωση της απόδοσης, ενώ το βόριο επιδρά στη βιωσιμότητα της γύρης.

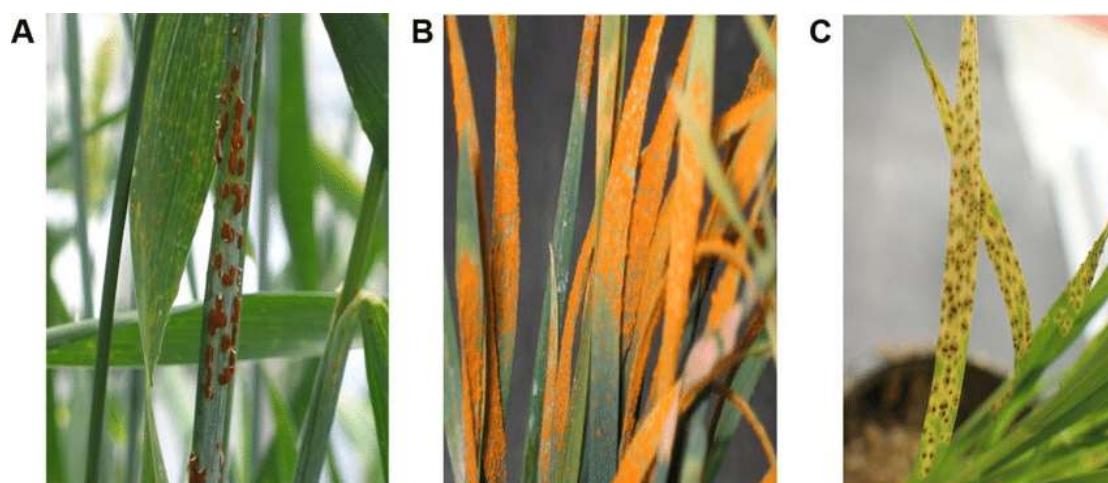
1.4.4. Εχθροί και ασθένειες του σιταριού

Η παραγωγή του σιταριού σε όλο τον κόσμο, είναι εκτεθειμένη σε μια σειρά βιοτικών και αβιοτικών καταπονήσεων. Οι πιο σημαντικές από αυτές που επιδρούν

σημαντικά στην παραγωγή του σιταριού οφείλονται σε παθολογικές ασθένειες, όπως είναι οι βιοτροφικοί μύκητες, τα νεκροφυτικά είδη και τα νηματοειδή, καθώς και σε ιούς και βακτήρια. Από πλευράς των μυκήτων, οι πιο σημαντικές ασθένειες αφορούν τις σκουριές, το ωίδιο, την ψώρα Karnal και τη χαλαρή καπνιά (Singhroha et al., 2017).

1.4.4.1 Σκωρίαση

Οι ασθένειες της σκουριάς του σιταριού υπήρξαν από ιστορικής πλευράς μια από τις σημαντικότερες αιτίες περιορισμού της παραγωγής σε παγκόσμιο επίπεδο (Saari και Prescott, 1985). Οι κυριότερες αιτίες σκουριάς του σιταριού αφορούν την κίτρινη σκουριά (*Puccinia striiformis f. sp. tritici*), τη σκουριά του στελέχους (*Puccinia graminis f. sp. tritici*) και τη σκουριά των φύλλων (*Puccinia triticina*) (Roelfs et al., 1992) (εικόνα 7).



Εικόνα 7. Συμπτώματα προκαλούμενα από τη σκωρίαση του σιταριού: A. *Puccinia graminis f. sp. Tritici*, B. *Puccinia striiformis f. sp. tritici* και C. *Puccinia triticina*

Η προκαλούμενη από το *Puccinia graminis f. sp. tritici* καφέ σκωρίαση των φύλλων του σιταριού συνιστά ένα σημαντικό πρόβλημα για τις καλλιέργειες σε παγκόσμιο επίπεδο. Η προέλευση του εντοπίζεται στις Υπερκαυκάσιες περιοχές (Αρμενία, Αζερμπαϊτζάν και Γεωργία), με τα αγρωστώδη να αποτελούν τον κύριο ξενιστή του παθογόνου και την μετέπειτα εξάπλωσή του σε όλο τον κόσμο. Η σκωρίαση επιδρά στην απόδοση, στην ποιότητα των κόκκων και στην χορτοδοτική αξία του σιταριού, με την χρήση ευπαθών ποικιλιών να οδηγεί σε μία απώλεια

απόδοσης περίπου 10%-70% των καλλιεργειών. Η εικόνα από την προσβολή περιλαμβάνει την παρουσία κυκλικών ή ελαφρών ελλειπτικών μεταλλίων, μικρότερων σε μέγεθος από τα αντίστοιχα της σκωρίασης του στελέχους, συνήθως χωρίς την συνένωση αυτών, περιέχοντας από πορτοκαλί έως πορτοκαλοκαστάνα ουρεδοσπόρια. Τα συνήθη σημεία μόλυνσης είναι οι άνω επιφάνειες των φύλλων και των περιβλημάτων τους, ενώ μπορεί να επηρεαστεί και ο λαιμός και οι γόνατες. Η εξάπλωση της νόσου επιτυγχάνεται μέσω ουρεδοσπορίων από λόφους και λαμβάνει επιδημική μορφή σε θερμοκρασίες 20-25°C με ελεύθερη υγρασία (βροχή ή δροσιά).

Η προκαλούμενη από το *Puccinia striiformis f. sp. tritici* κίτρινη σκωρίαση των φύλλων αντιπροσωπεύει την κυρίαρχη αιτία περιορισμού του δυναμικού απόδοσης του σιταριού. Επηρεάζει κυρίως τα φύλλα, παρά τα φυλλοφόρα περιβλήματα και το στέλεχος, με την εμφάνιση φωτεινών κίτρινων έως πορτοκαλί φλυκταινών (Uredia) διαταγμένων σε γραμμικές σειρές, κατά τα πρώιμα στάδια της καλλιέργειας του φυτού. Σε αντίστοιχη διάταξη σε μακριές λωρίδες παρατάσσονται και τα τελιοσπόρια, έχοντας ένα θαμπό μαύρο χρώμα. Οι βλάβες μπορούν επίσης να εντοπιστούν στις θήκες των φύλλων, στο λαιμό και στα πτερύγια. Ο μύκητας επιβιώνει και εξαπλώνεται υπό μορφή ουρεδοσπορίων/τελιοσπορίων και σε θερμοκρασίες 10-20°C με υψηλή υγρασία.

Η μαύρη σκωρίαση του στελέχους οφείλεται στον μύκητα *Puccinia triticina* και εμφανίζεται με τη μορφή επιμηκών φλυκταινών κατά κύριο λόγο στις θήκες των φύλλων, αλλά μπορεί να εντοπιστεί και στο στέλεχος, στα φύλλα, στα πτερύγια και στις γόνες. Συνήθως οι φλύκταινες εμφανίζονται στην κάτω επιφάνεια των φύλλων, αλλά είναι πιθανή η διείσδυσή τους και στην επάνω πλευρά. Με την ωρίμαση των φύλλων, τα ουρεντίνια μετατρέπονται σε τελία, λαμβάνοντας ένα χρώμα από κόκκινο έως και μαύρο. Η σοβαρή μόλυνση του στελέχους έχει ως συνέπεια τη διακοπή της ροής των θρεπτικών συστατικών προς τις αναπτυσσόμενες κεφαλές, με αποτέλεσμα την εμφάνιση συρρικνωμένων κόκκων καθώς και την τάση των στελεχών στο σπάσιμο. Η πρωτογενής εξάπλωση επιτυγχάνεται μέσω ουρεδοσπορίων, ενώ ευνοείται από την υγρασία και από θερμοκρασίες υψηλότερες των 20°C (Roelfs et al., 1992).

1.4.4.2 Σκόνη ωιδίου

Το προκαλούμενο από τον βιοτροφικό ασκομύκητα *Blumeria graminis sp. tritici* ωίδιο του σιταριού εμφανίζεται συνήθως προς τα τέλη του χειμώνα με αρχές της άνοιξης. Η μόλυνση μπορεί να εμφανιστεί σε οποιοδήποτε υπέργειο μέρος του φυτού, με το σύνηθες σημείο να αφορά την άνω επιφάνεια των φύλλων. Οι συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη του μύκητα είναι η σχετικά υψηλή υγρασία (>95%), οι θερμοκρασίες μεταξύ 10 με 22°C, η βαριά αζωτούχος λίπανση και η ύπαρξη πυκνών πλούσιων συστάδων (Jones και Clifford, 1983; Parry, 1990). Τα συμπτώματα είναι ορατά υπό τη μορφή τούφας λευκού βαμβακερού μυκηλίου, κατά κύριο λόγο στα φύλλα και στα περιβλήματα αυτών. Η ανάπτυξη του μύκητα οδηγεί στη παραγωγή αγενών σπορίων στο μυκήλιο και σεξουαλικών σπορίων στα μαύρα καρποφόρα σώματα (εικόνα 8). Οι συνέπειες από την μόλυνση του ωιδίου σχετίζονται με την ελάττωση των συνιστωσών της απόδοσης και ειδικότερα των αριθμών της καλλιέργειας, του αριθμού των κόκκων και το βάρος του πυρήνα (Parry, 1990; Bowen et al., 1991). Η απώλεια της απόδοσης των καλλιεργειών εξαιτίας της σκωρίασης μπορεί να φτάσει το 10-15%, ενώ σε μερικές περιπτώσεις να είναι ακόμη υψηλότερη, της τάξης των 30%-35% (Afonin et al., 2009).



Εικόνα 8. Το προκαλούμενο από το *Blumeria graminis sp. tritici* ωίδιο του σιταριού

1.4.4.3 Η καπνιά

Ο σπορογενής μύκητας *Ustilago tritici* της καπνιάς, προσβάλλει τις καλλιέργειες σιταριού σε όλο τον κόσμο, επιβιώνοντας από καλλιέργεια σε καλλιέργεια στο έμβρυο, με αποτέλεσμα τη γρήγορη εξάπλωση και τη δύσκολη αντιμετώπισή του. Ο μύκητας βρίσκεται προστατευμένος εντός του σπόρου και αναπτύσσεται με το

σημείο της ανάπτυξης του φυτού (Nielsen και Thomas, 1996), με συνέπεια τόσο την καλή προστασία του από το καθάρισμα του σπόρου, όσο και από τα μυκητοκτόνα επαφής. Τα συμπτώματα της μόλυνσης είναι ορατά ως μια μάζα χαλαρών καφέ σπορίων, η οποία αντικαθιστά τους ιστούς της ακίδας, εκτός από τη ράχη αυτής (εικόνα 9). Η μη έγκαιρη αναγνώρισή της κατά την ανθοφορία, μπορεί να οδηγήσει στον μη εντοπισμό αυτής, καθώς αμέσως μετά την εμφάνισή τους στην ακίδα τα σπόρια χάνονται, αφήνοντας μόνο μια δυσδιάκριτη γυμνή ράχη. Συνήθως η ασθένεια δεν συνδέεται με καταστροφικές απώλειες της απόδοσης των σπόρων, με την συχνότητα εμφάνισής της να διαφέρει σημαντικά από έτος σε έτος (Nielsen και Thomas, 1996). Κατά μέσο όρο η καπνιά εντοπίζεται περίπου στο 20% των καλλιεργειών εξαπλοειδούς σιταριού και στο 50% των καλλιεργειών σκληρού (τετραπλοειδούς) σιταριού σε ετήσια βάση (Menzies et al., 2009).



Εικόνα 9. Ο σπορογενής μύκητας *Ustilago tritici* της καπνιάς του σιταριού

1.4.4.4 Η κηλίδωση τύπου «φύλλο-σημαία» του σιταριού

Η προκαλούμενη από *Urocystis agropyri* κηλίδωση τύπου «φύλλο-σημαία» του σιταριού πήρε το όνομά της από την προκαλούμενη χαρακτηριστική εικόνα των στριμμένων και λυγισμένων δενδρυλλίων. Σε κάποιες ευπαθείς ποικιλίες, μπορεί να εμφανιστούν στα κολεόπτιλα λευκές περιοχές με φουσαλίδες ή φουσκάλες (Churchward, 1934; McIntosh, 1968). Στα γηραιότερα φύλλα εμφανίζεται αρχικά ως λευκωπές ραβδώσεις, με αποχρώσεις που κυμαίνονται από λευκό, γκρι έως και μαύρο (εικόνα 10). Οι καλλιέργειες που έχουν επιμολυνθεί παράγουν μεγάλο αριθμό καχεκτικών, στριμμένων και παραμορφωμένων φυτών, πιθανόν με λιγότερες αιχμές,

με λιγότερο ανεπτυγμένες ρίζες (Angell et al., 1937) και με πιο φτωχή βλάστηση των σπορίων (Pal και Mundkur, 1941). Οι απώλεια της απόδοσης λόγω της κηλίδωσης ποικίλει μεταξύ 5-20% (Murray et al., 1998).



Εικόνα 10. Η προκαλούμενη από *Urocystis agropyri* κηλίδωση τύπου «φύλλο-σημαία» του σιταριού

1.4.4.5 Karnal Bunt

Η οφειλόμενη στον μύκητα *Tilletia indica* (Mitra) ασθένεια Karnal bunt (KB) του σιταριού έχει μια ποικίλη επίπτωση από έτος σε έτος, αναλόγως των καιρικών συνθηκών κατά το στάδιο της ανάπτυξης της κεφαλής της καλλιέργειας του φυτού (Joshi et al., 1980). Η μεγάλη σημασία της ασθένειας οφείλεται στο γεγονός ότι είναι διαδεδομένη σε λίγες μόνο χώρες παγκοσμίως, η μετάδοση γίνεται μέσω σπόρων, εδάφους και αερογενώς, με την εμφάνιση της σε μια περιοχή να καθιστά δύσκολη της αντιμετώπισή της. Επιπρόσθετα, δεν είναι εύκολο να εντοπιστεί σε συνθήκες αγρού. Η εκδήλωσή της έγκειται στη συσσώρευση κόκκων στους καρπούς της κεφαλής, με την επέκταση αυτών να εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι λοβοί των επιμολυσμένων σπόρων εξαπλώνονται παράγοντας μια εικόνα ασημένιας γυαλιστερής όψης, ενώ με τη διάρρηξη του περικαρπίου απελευθερώνεται μια μαύρη κονιορτοποιημένη μάζα με χαρακτηριστική οσμή ψαριού (εικόνα 11).



Εικόνα 11. Η οφειλόμενη στον μύκητα *Tilletia indica* (Mitra) ασθένεια Karnal bunt (KB) του σιταριού

1.4.4.6 Ο Δαυλός του σιταριού

Ο προκαλούμενος από τον μύκητα *Tilletia caries* δαυλός συνιστά μια καταστροφική ασθένεια για τις καλλιέργειες του σιταριού. Κατά την περίοδο της ωριμότητας της καλλιέργειας, στη θέση των υγιών σπόρων στις ακίδες του σιταριού, δημιουργούνται πυρήνες γεμάτοι με μάζες σπόρων που αναδίδουν μια οσμή ψαριού. Κατά τη συγκομιδή του σιταριού, τα επιμολυσμένα σπόρια προσκολλώνται και επιμολύνουν και τους υγιείς σπόρους. Συνήθως οι ανώριμες αιχμές που έχουν προσβληθεί εμφανίζονται σκουροπράσινες, διατηρώντας το χρώμα αυτό για μεγαλύτερο διάστημα από τις υγιείς. Οι ώριμες επιμολυσμένες αιχμές εμφανίζονται συνήθως πιο ανοιχτόχρωμες, με ένα ελαφρώς γαλαζωπό γκρι χρώμα. Τα άνθη παρότι εμφανίζονται πιο διογκωμένα, συνήθως έχουν φυσιολογική εμφάνιση (εικόνα 12).



Εικόνα 12. Ο προκαλούμενος από τον μύκητα *Tilletia caries* δαυλός του σιταριού.

Οι επιπτώσεις από τον μύκητα αφορούν τόσο στην απόδοση όσο και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του σιταριού. Τα επιμολυσμένα σιτηρά έχουν συνήθως μια χαρακτηριστική πικάντικη οσμή ψαριού, η οποία εντοπίζεται τόσο στο αλεύρι όσο και στα παραγόμενα από αλεύρι προϊόντα.

1.4.4.7 Φουζαρίωση

Η φουζαρίωση ή φουζάριο του σιταριού προκαλείται από τον μύκητα *Fusarium spp.* και συνιστά μια από τις πιο καταστροφικές ασθένειες του σιταριού. Η εμφάνισή της ευνοείται συνήθως από θερμές και υγρές κλιματικές συνθήκες κατά το στάδιο της ανθοφορίας του φυτού (Parry, 1995). Η επιμόλυνση αφορά συνήθως σε κάποιο μέρος της κεφαλής ή και σε ολόκληρη τη κεφαλή του φυτού, η οποία εμφανίζεται λευκασμένη. Είναι δυνατή και η επιμόλυνση του στελέχους (ποδίσκος) αμέσως κάτω από την κεφαλή, προκαλώντας καφέ/μωβ αποχρωματισμό του ιστού του στελέχους. Επίσης, είναι δυνατή η εμφάνιση ροζ έως σομόν-πορτοκαλί μαζών σπορίων στα γλοία και στα ακίδια κατά τη περίοδο καιρικών συνθηκών παρατεταμένης υγρασίας. Μεγάλο μέρος των επιμολυσμένων σπόρων του σιταριού είναι συρρικνωμένοι, ελαφροί με μια θαμπή γκριζωποί εμφάνιση ή ροζιασμένοι (εικόνα 13).



Εικόνα 13. Η προκαλούμενη από τους μύκητες *Fusarium spp* φουζαρίωση του σιταριού

1.4.4.8 Η κηλίδωση

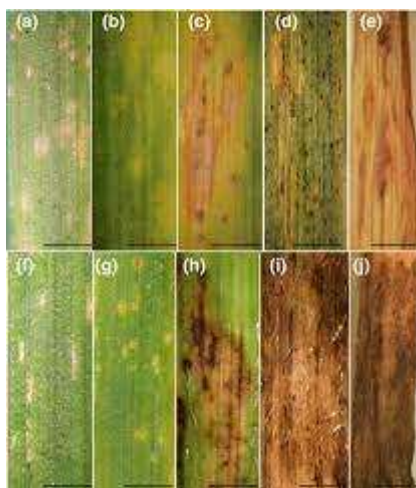
Η προκαλούμενη από τον μύκητα *Pyrenophora tritici repentis* κηλίδωση του φυλλώματος του σιταριού, γνωστή και ως κίτρινη κηλίδα ή κίτρινη κηλίδα των φύλλων, εντοπίζεται σε όλες τις μεγάλες καλλιεργούμενες με σιτάρι περιοχές στον κόσμο (Strelkon και Lamari, 2003). Η ικανότητα του μύκητα για μόλυνση μεγάλου αριθμού αγρωστωδών, με την πλειονότητα αυτών να είναι πολυετή και αναπτυσσόμενα δίπλα σε καλλιέργειες σίτου, έχει ως συνέπεια την υπερχειμάτωση του παθογόνου και την πρόκληση επιδημιών. Η εκδήλωση της ασθένειας είναι ορατή με τη μορφή ροζ-κόκκινου αποχρωματισμού (κόκκινη κηλίδα), συρρικνωμένου, σκούρο μουντζούρωμα, μαύρου σημείου και χαμηλής βλαστικότητας. Τα αρχικά συμπτώματα είναι η παρουσία μικρών καφέ σκούρων έως μαύρων κηλίδων στα κατώτερα φυλλώματα του φυτού. Στη συνέχεια υπάρχει διεύρυνση των κηλίδων σε καστανές, ακανόνιστες βλάβες με σχήμα φακού, με μια σκούρα καφέ κηλίδα στο κέντρο και μια φωτεινή κίτρινη ζώνη η οποία και περιβάλλει την καστανή βλάβη (εικόνα 14). Οι προκαλούμενες απώλειες στην απόδοση είναι κατά μέσο όρο 5-10%, αλλά σε ευνοϊκές για την ανάπτυξη συνθήκες μπορεί να φτάσουν και το 50% της απόδοσης (Shabeer και Bockus, 1988).



Εικόνα 13. Η προκαλούμενη από τον μύκητα *Pyrenophora tritici repentis* κηλίδωση του φυλλώματος του σιταριού

1.4.4.8 Σεπτορίωση των σιτηρών

Η Σεπτορίωση των σιτηρών αφορά μια σύμπλοκη ασθένεια η οποία προκαλείται από τα παθογόνα *Mycosphaerella graminicola*, *Phaeosphaeria nodorum* και *P. avenaria triticae triticae* (εικόνα 14). Η επιμόλυνση έχει ως συνέπεια την ελάττωση της απόδοσης, του δοκιμαστικού βάρους των κόκκων και της ποιότητας αυτών, με την ελάττωση της απόδοσης σε περιόδους με σοβαρές επιδημίες να κυμαίνεται από 30-50% (Eyal et al., 1987). Συνήθως οι πιο σοβαρές επιδημίες εμφανίζονται σε περιοχές με παρατεταμένες περιόδους δροσερού, υγρού καιρού, όπως είναι η Βόρεια Αμερική, η βόρεια Ευρώπη και σε περιοχές με μεσογειακό κλίμα (όπως η Βόρεια Αφρική, η Νότια Αφρική, τμήματα της Νότιας Αμερικής και η δυτική Βόρεια Αμερική).



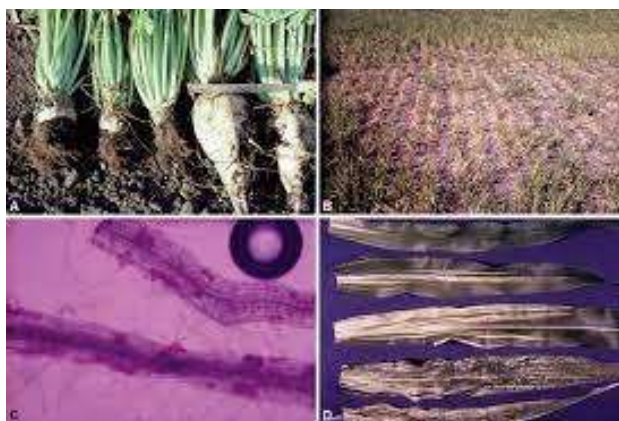
Εικόνα 15. Σεπτορίωση των σιτηρών

1.4.4.9 Ιογενείς ασθένειες του σιταριού

Οι πιο σημαντικές ασθένειες του σιταριού που οφείλονται σε ιούς προέρχονται από εδαφογενείς ιούς μωσαϊκού του σιταριού του γένους *Furovirus* (family Potyviridae) [ο ιός του μωσαϊκού του σιταριού που μεταδίδεται από το έδαφος (SBWMV) και ο ιός του μωσαϊκού των σιτηρών που μεταδίδεται από το έδαφος (SBCM)] και του γένους *Bymovirus* [ο ιός του μωσαϊκού της ατράκτου του σιταριού (WSSMV) και ο ιός του κίτρινου μωσαϊκού του σιταριού (WYMV)]. Η μετάδοση των ιών αυτών γίνεται μέσω του εδαφογενούς πλασμοδιοφοριδίου *Polymyxa graminis* Ledingham (Rao και Brakke, 1969).

Ο ιός *SBWMV* συνιστά μια από τις σημαντικότερες ασθένειες κατά τη χειμερινή περίοδο, έχοντας σημειώσει απώλειες των αποδόσεων της τάξης έως και 50% στις Η.Π.Α. και έως 80% στη Βραζιλία (Myers et al., 1993; Prestes και Wietholter, 1993). Στα νεότερα μολυσμένα φυτά, τα φύλλα εμφανίζουν ένα ανοικτό πράσινο μωσαϊκό ή λωρίδες, με τα μεγαλύτερα φυτά να εμφανίζονται καχεκτικά ή με σχηματισμό από ροζέτες υπερβολικής βλάστησης ή με ελαττωμένο ριζικό σύστημα.

Ο ιός *SBCMV* προσβάλλει κυρίως το σιτάρι και το triticale σε περιοχές τις Δυτικής και Νότιας Ευρώπης, ενώ κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει σημειωθεί μια αύξηση των επιμολυσμένων εκτάσεων. Τα συνήθη συμπτώματα είναι η εμφάνιση ωχρών μωσαϊκών στα φύλλα και στα περιβλήματα, με την εξέλιξη αυτών σε χλωρωτικές ραβδώσεις (εικόνα 16).



Εικόνα 16. Ιός μωσαϊκού του σιταριού του γένους *Furovirus*

Ο ιός *WSSMV* επηρεάζει κατά κύριο λόγο το σιτάρι, το triticale και τη σίκαλη, προκαλώντας απώλειες της τάξης του 30% της απόδοσης του σιταριού κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Brakke et al., 1982). Οι κυριότερες βλάβες του είναι οι χλωρωτικές έως νεκρωτικές ραβδώσεις οι οποίες είναι παράλληλες με τις φλέβες των φύλλων, η ελαφρά καχεξία του φυτού, η μειωμένη καλλιέργεια και η μειωμένη απόδοση των σπόρων.

Ο ιός του κίτρινου μωσαϊκού *WYMV* αναφέρθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία (Sawada, 1927) και μετέπειτα στην Κίνα (Hen et al., 2000) και ευθύνεται για απώλεια της απόδοσης ακόμη και κατά 70% κατά τη διάρκεια του χειμώνα (εικόνα 17).



Εικόνα 17. Συμπτώματα από την προσβολή του ιού μωσαϊκού του σιταριού του γένους *Bymovirus*

Ο ιός του κίτρινου κριθαριού *BYDV* και ο ιός του κίτρινου νάνου των σιτηρών *CYDV*, εμφανίζονται σε περιοχές σε όλο τον κόσμο, επηρεάζοντας την απόδοση του συνόλου των σιτηρών και αγρωστωδών, με τις απώλειες στα σιτηρά να φτάνουν ακόμη και στο 50% της απόδοσης (Lister και Raniri, 1995; Riedell et al., 1999). Τα κυριότερα συμπτώματα αφορούν στον νανισμό των βλαστών, στο κιτρίνισμα των φύλλων, στον ελαττωμένο αριθμό και στην στείρωση των σταχύων και στη καθυστέρηση της ανάπτυξης της κεφαλής.

Ο προκαλούμενος από τη μετάδοση του είδους *Psammotettix alienus* ιός του νάνου του σιταριού (*WDV*), προσβάλλει κυρίως τις καλλιέργειες του σιταριού, του κριθαριού, της βρώμης, της σίκαλης και του triticale. Τα κυριότερα συμπτώματα στο σιτάρι αφορούν στη χλώρωση, στο κοκκίνισμα και στις ραβδώσεις των φύλλων, ενώ υπάρχει και έντονος νανισμός όλου του φυτού, με τις τοπικές επιδημίες να οδηγούν σε σημαντικές απώλειες της απόδοσης (Sirlova et al., 2005).

Ο ιός του μωσαϊκού της ράβδωσης του σιταριού (*WSMV*) αντιπροσωπεύει μια από τις σοβαρότερες ιογενείς ασθένειες του σιταριού, με την περιοδική επιδημική του εμφάνιση σε περιοχές του Καναδά και των Η.Π.Α., προκαλώντας σημαντικού βαθμού απώλειες της απόδοσης, οι οποίες κυμαίνονται από 30 έως και 95% (Wiese, 1985). Επιπρόσθετα, επιδρά αρνητικά στις ιδιότητες της άλεσης των σπόρων. Στα φυτά που έχουν προσβληθεί εμφανίζεται ένα μωσαϊκό από κιτρινοπράσινες ραβδώσεις των φύλλων, με τα φυτά να είναι καχεκτικά, αναπτύσσοντας ροζέτα (Atkinson και Grant, 1967).

1.4.4.10 Νηματώδεις ασθένειες του σιταριού

Οι προκαλούμενες από φυτοπαρασιτικές νηματώδεις ασθένειες του σιταριού αποτελούν μια από τις κυριότερες αιτίες της ελάττωσης της απόδοσης της παραγωγής του σιταριού. Υπάρχουν περίπου 17 είδη νηματωδών, με την πλειονότητα αυτών να κατατάσσονται σε τρία γένη: *Heterodera*, *Pratylenchus* και *Meloidogyne*. Ο κυστικός νηματώδης του σιταριού (CCN) *Heterodera avenae*, αποτελεί τον πιο σημαντικό νηματώδη που προσβάλλει το σιτάρι, έχοντας μια πληθώρα ξενιστών, συμπεριλαμβανομένης της βρώμης, της σίκαλης, του αραβόσιτου και άλλων ειδών σιτηρών (εικόνα 18). Πρόκειται για ενδοπαρασίτα που επικάθονται στη ρίζα των φυτών, με την εκκόλαψη των αυγών να γίνεται στο έδαφος και την μετέπειτα διείσδυση αυτών στη ρίζα του ξενιστή και την περαιτέρω μετανάστευση τους προς το λοιπό αγγειακό σύστημα του φυτού. Ως απόκριση στα σήματα των νηματωδών, τα γειτνιάζοντα με την κεφαλή του νηματώδους φυτικά κύτταρα μεγεθύνονται, σχηματίζοντας συγκυτιακά κύτταρα, τα οποία είναι μεγεθυμένα, μεταβολικά ενεργά, χρησιμεύοντας ως πηγή θρεπτικών συστατικών για τα αναπτυσσόμενα ενδοπαρασίτα. Μετά από την έναρξη της σίτισής τους, αρχίζει η ανάπτυξη των νηματωδών και η ακινητοποίηση αυτών. Τα ενήλικα θηλυκά εμφανίζονται βολβοειδή και ακινητοποιημένα, ενώ τα αντίστοιχα αρσενικά είναι σπειροειδή, ανακτούν την κινητικότητά τους και απομακρύνονται από τη ρίζα. Η παραγωγή των αυγών ξεκινάει περίπου στις 3-6 εβδομάδες από την επιμόλυνση, αναλόγως του είδους και των περιβαλλοντικών συνθηκών.



Εικόνα 18. Νηματώδεις ασθένειες του σιταριού

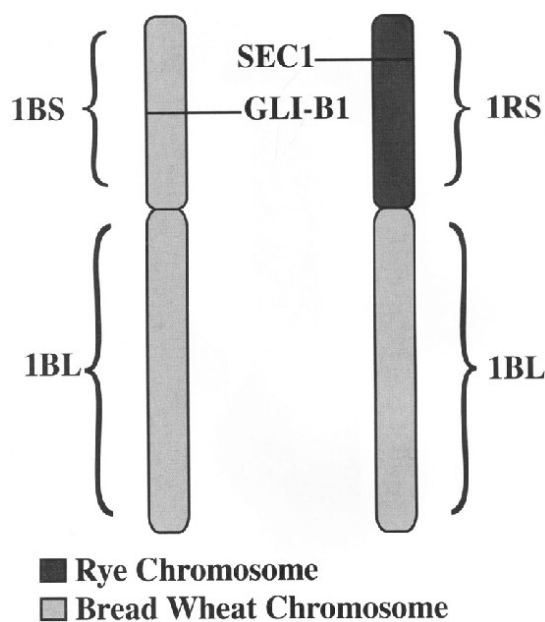
Ο οφειλόμενος στο *Anguina tritici* νηματώδης πυρήνας του σπόρου θεωρείται ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα καραντίνας/ποιότητας, επιβάλλοντας μηδενική ανοχή για τα εισαγόμενα σιτηρά. Τα συμπτώματα εμφανίζονται με τη μορφή παραμορφωμένων φύλλων και στελεχών, καθώς και με τον σχηματισμό στα άνθη πυρήνων που αντικαθιστούν τις φυσιολογικές δομές των σπορίων. Οι πυρήνες έχουν παρόμοιο σχήμα με τους σπόρους, αλλά με πιο σκούρο καφέ χρωματισμό. Εντός των κηλίδων αναπτύσσεται μεγάλος αριθμός κινητών προνυμφών, οι οποίες ενεργοποιούνται μετά την ύγρανση των κηλίδων. Εκτός από τη δυνητική δράση του παρασίτου *Anguina tritici* από μόνο του, μπορεί να δράσει και ως φορέας του παρασίτου *Rathayibacter tritici*, το οποίο είναι υπεύθυνο για την κίτρινη σήψη της γλίτσας (Singhroha et al., 2017).

1.5 Η χρωμοσωμική μετατόπιση 1BL.1RS

Η προσθήκη ξένης χρωματίνης στο γενετικό υπόβαθρο των σιτηρών αποσκοπούσε στη απόδοση σε αυτά των πλεονεκτημάτων άλλων ειδών, όπως η σίκαλη. Ενδεικτικό είναι το παράδειγμα της δημιουργίας του Triticale, στο οποίο υπάρχει ένας συνδυασμός των A και B γονιδιωμάτων του σιταριού με το γονιδίωμα R της σίκαλης. Η πρώτη χρωμοσωμική μετατόπιση 1BL. 1RS σιταριού/βρόμης εντοπίστηκε σε προγράμματα αναπαραγωγής με αντικατάσταση 1R (IB) σε γραμμές της Γερμανίας, από τους Zeller και Hsam (1983). Ίσως η πιο γνωστή περίπτωση μεταφερομένου σιταριού στα σύγχρονα προγράμματα αναπαραγωγής να είναι αυτή της ποικιλίας Kavkaz, η οποία χρησιμοποιήθηκε ως η βασική πηγή του χρωμοσώματος 1BL.1RS (Henry et al., 1993)

Οι μεταφερόμενες ποικιλίες προτιμήθηκαν κατά κύριο λόγο για την ανθεκτικότητα που επιδεικνύουν έναντι του ωιδίου, του πράσινου σκουληκιού, του ακάρεου του σίτου και της σκωρίασης του στελέχους (Zeller, 1973; Zeller and Hsam, 1983). Επιπρόσθετα, παρουσιάζουν και άλλα πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της βελτιωμένης απόδοσης των κόκκων και της περιεκτικότητας αυτών σε πρωτεΐνες (Villareal 1995, Kim 2004, Lee κα 1995). Εκτός αυτού, έχει φανεί ότι η *in vitro*, μετατόπιση 1BL.1RS βελτιώνει σημαντικά την αναγέννηση των προερχόμενων από μικροσπόρια απλοειδών εμβρύων (Henry κα 1993).

Η χρωμοσωμική μετατόπιση 1RS.1BL αποτελεί μια από τις πρώτες αποκαλούμενες προσθήκες ξένης χρωματίνης στο σιτάρι και θεωρείται ως μια προσθήκη που συνέβαλε στην ανθεκτικότητα του φυτού στις ασθένειες και στην αλματώδη αλλαγή της απόδοσης, όπως αυτή επιτεύχθηκε κατόπιν της απελευθέρωσης των σειρών Veery από την CIMMYT (Zeller 1973). Σε ένα ποσοστό περίπου 30% των ποικιλιών σιταριών που κυκλοφόρησαν έπειτα από το 2000, φαίνεται ότι επικρατεί η μετατόπιση 1RS.1BL (Schlegel και Korzun 1997). Στα χρωμοσώματα 1RS.1BL είναι εντοπισμένα τα γονίδια ανθεκτικότητας στη σκωρίαση Lr26, Sr31, Yr9, Sr50, ο τόπος Mlg του ωιδίου, καθώς και άλλοι γενετικοί παράγοντες που επιδρούν στην βιομάζα της ρίζας των σιτηρών (Mago et al., 2002 and 2015; Ehdaie et al., 2003; Waines and Ehdaie, 2007; Sharma et al., 2011) (εικόνα 19).



Εικόνα 19. Η χρωμοσωμική μετατόπιση 1RS.1BL. Αριστερά απεικονίζεται το φυσιολογικό χρωμόσωμα 1B και δεξιά το χρωμόσωμα με την εν λόγω 1RS.1BL μετατόπιση (Χυγίας et al., 2014).

Οι έρευνες δείχνουν ότι η απόδοση των σιτηρών που συνδέονται με την μετατόπιση 1RS.1BL, μπορούν να διαταραχθούν από ανασυνδυασμούς στη τελική περιοχή του 1RS (Lukaszewski et al., 2000; Howell et al., 2014 and 2019). Στις ποικιλίες του σιταριού, το τμήμα 1RS του χρωμοσώματος φαίνεται ότι προέρχεται από τουλάχιστον 3 πηγές, και ειδικότερα την 1RS.1BL στο *Triticum aestivum* cv Salmon

(Japan), την 1RS.1BL στις ποικιλίες *T. aestivum* που προέρχονται από τη Γερμανία και την στο *T. aestivum* cv Amigo που προέρχεται από τις Η.Π.Α. (Schlegel και Korzun, 1997).

Η ευρεία εισαγωγή της μετατόπισης 1RS.1BL στη καλλιέργεια των διαφόρων ποικιλιών σιταριού σε παγκόσμιο επίπεδο, αποσκοπούσε στην απόκτηση ενός ευρέως φάσματος ανθεκτικότητας έναντι των φυλών αλευρώδους ωιδίου και της σκουριάς, την ενίσχυση της προσαρμοστικότητας στο περιβάλλον και την αύξηση της απόδοσης (Zeller, 1973; Schlegel and Korzun, 1997; Bartoš and Bareš, 1971; Sukumaran et al., 2015). Σε δομικό επίπεδο, η μετατόπιση 1RS.1BL αποτελεί ένα από τα πρώτα χρωμοσώματα συγκεκριμένων αλληλουχιών DNA, οι οποίες αποδόθηκαν μέσω της ανάλυσης χρωμοσωμάτων με τη χρήση ενδογαμικών σειρών σίκαλης, αποσκοπώντας στη διευκόλυνση του εντοπισμού μοριακών δεικτών και αγρονομικών χαρακτηριστικών τόσο του 1RS όσο και του λοιπού γονιδιώματος της σίκαλης (Lawrence and Appels, 1986; Miedaner et al., 2012; Bauer et al., 2016).

Ωστόσο, η μετατόπιση 1BL.1RS έχει συσχετιστεί και με αρκετά ελαττώματα, κυρίως τελικής χρήσης, όπως είναι η κολλώδης ζύμη, η κακή ρεολογία της ζύμης (αντοχή, ελαστικότητα και εκτατικότητα), η χαμηλή αντοχή σε υπερβολικές αναμείξεις και ο μικρός όγκος ψωμιού. Αρχικά, τέτοιου είδους ιδιότητες είχαν αποδοθεί στη σεκαλίνη που κωδικοποιείται από το χρωμόσωμα 1RS, αλλά όπως φάνηκε αργότερα, το ποιοτικό ελάττωμα που συσχετίζεται με τη μετατόπιση 1BL.1RS, ήταν αποτέλεσμα της απώλειας της LMW-GS και των γλιαδινών, η κωδικοποίηση των οποίων γίνεται στις Glu-BS και Gli-BI αντίστοιχα. Η αδυναμία ανασυνδυασμού μεταξύ 1BS και 1RS, έχει ως συνέπεια την κληρονόμηση της μετατόπισης 1BL.1RS ως μπλοκ. Ως εκ τούτου, υπάρχει σύνδεση τόσο μεταξύ των πλεονεκτημάτων όσο και των μειονεκτημάτων αυτής (Henry et al., 1993).

1.6 Η κλασική βελτίωση του μαλακού σιταριού

Από ιστορικής σκοπιάς, οι προσπάθειες βελτίωσης της απόδοσης του σιταριού είχαν ως σκοπό την αύξηση του Δείκτη Συγκομιδής (ΔΣ) (Harvest Index, H.I), ο οποίος έχει σχέση με τα χαρακτηριστικά του ιδεοτύπου (Perry και D'Antuono, 1989; Siddique et al., 1989a). Ειδικότερα, έχει βρεθεί ότι η αύξηση του ΔΣ συσχετίζεται με τη συσσώρευση της ξηράς ουσίας (Wych και Stuthman, 1983). Ωστόσο, υπάρχουν

ερευνητές που υποδεικνύουν ότι η αύξηση του ΔΣ δεν οδηγεί και στην αλλαγή της βιομάζας του σιταριού (Austin et al., 1980, Waddington et al., 1986). Οι υψηλότερες αποδόσεις του αυξημένου ΔΣ είναι συνέπεια της καλύτερης μετακίνησης των αποθησαυριστικών ουσιών στον κόκκο του σιταριού, των περισσότερων κόκκων ανά σταχύδιο και στάχυ, της μεγαλύτερης ανθεκτικότητας στο πλάγιασμα, της πρωιμότητας, της διάρκειας της φυλλικής επιφάνειας μετά το ξεστάχιασμα και της αυξημένης ανθεκτικότητας έναντι των βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων (Χατζηδημόπουλος, 2005)

Οι κλασικές κατευθύνσεις της αναπαραγωγής του σιταριού αποσκοπούν στη δημιουργία ποικιλιών υψηλής απόδοσης και με εξαιρετική ποιότητα των κόκκων τους (Guzman et al., 2016). Παρόλα αυτά, κατά τα τελευταία χρόνια διαπιστώθηκε μια τάση αύξησης της απόδοσης της παραγωγής του σιταριού η οποία συνοδεύεται από μια ελάττωση της ποιότητας των κόκκων του (Rybalka, 2011). Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, σήμερα διεξάγονται πολλές εργασίες με σκοπό τη δημιουργία ποικιλιών σιταριού υψηλής απόδοσης και ποιότητας κόκκων, αλλά και ανθεκτικών έναντι δυσμέων περιβαλλοντικών συνθηκών. Παρά το γεγονός ότι τα δεδομένα της παγκόσμιας πρακτικής υποδεικνύουν ότι μια από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους αναπαραγωγής είναι η διασταύρωση γεωγραφικά απομακρυσμένων μορφών, ωστόσο ο βαθμός επιτυχίας των εργασιών αναπαραγωγής εξαρτάται από την επιτυχημένη επιλογή των κατάλληλων υλικών υβριδισμού (Rybalka, 2011; Xie et al., 2015).

Η δημιουργία νέων ποικιλιών μαλακού σιταριού που να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της σύγχρονης γεωργικής παραγωγής, στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση γενετικά τροποποιημένων απομακρυσμένων μορφών (Peleg et al., 2011; Polyanetska, 2012). Παράλληλα, αξιοποιούνται και οι άγριες, ημιάγριες και ξεχασμένες μορφές σιταριού ως χορηγοί επίτευξης υψηλής ποιότητας πρωτεϊνών, γλουτένης, λυσίνης και ανθεκτικότητας σε ασθένειες και παράσιτα. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση του σιταριού σπέλτα συνιστά έναν δότη πολύτιμων χαρακτηριστικών, καθώς επιτυγχάνει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και περιέχει τα απαιτούμενα θρεπτικά συστατικά που χρειάζεται ο ανθρώπινος οργανισμός. Οι έρευνες δείχνουν ότι ο υβριδισμός του μαλακού σιταριού με το σιτάρι σπέλτα επιφέρει σημαντικά θετικά αποτελέσματα και πιο ειδικά τη επίτευξη μιας

σημαντικής επέκτασης της υπάρχουσας γενετικής ποικιλότητας με την απόκτηση νέων μορφών σιταριού, οι οποίες περιλαμβάνουν έναν συνδυασμό της υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και γλουτένη του σπέλτα και της υψηλής παραγωγικότητας του σιταριού (Polyanetska, 2012; Guzman et al., 2016).

Ωστόσο, υπάρχει και η άποψη ότι αυτού του είδους η πραγματοποίηση διασταυρώσεων δεν είναι επιθυμητή, καθώς οδηγούν σταδιακά στην απομείωση της ποιότητας της σπέλτα και σε μια κληρονομικότητα του μαλακού σιταριού που χαρακτηρίζεται από περίπλοκο άλεσμα των κόκκων και με ευθραυστότητα των σταχύων του (Rybalka, 2011). Σε πολλές χώρες του κόσμου η βελτίωση της ποιότητας του σιταριού μέσω του υβριδισμού του με τη σπέλτα, οδήγησε στη δημιουργία ποικιλιών σπέλτα, όπως είναι οι ποικιλίες *Bauländer*, *Schwabenkorn*, *Frankenkorn* (Αυστρία), *Nirvana* (Σερβία) και *Altgold Rotkorn* (Σουηδία) (Dvorak et al., 2012).

2. Υλικά και Μέθοδοι

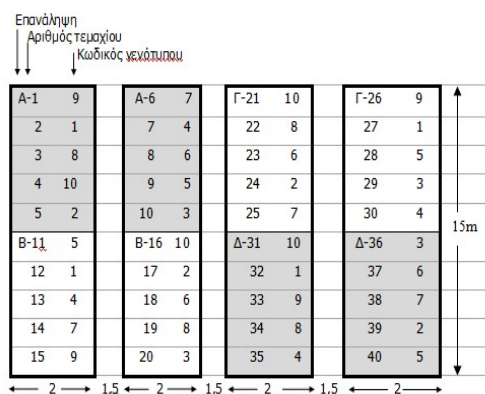
2.1 Υλικά

Χρησιμοποιήθηκαν δέκα ελληνικές ποικιλίες μαλακού σιταριού. Κάθε ποικιλία έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, πιο συγκεκριμένα, οι ποικιλίες Αχέροντας, Ελισάβετ, Ορφέας, και Κανκαζ, φέρουν τη 1BL.1RS μετατόπιση. Οι ποικιλίες Απολλωνία, Αχελώος, Βεργίνα, Δοϊράνη, Νέστος, και Στρυμόνας που δεν την φέρουν. Οι ποικιλίες αυτές έχουν δημιουργηθεί στο Ινστιτούτο Σιτηρών Θεσσαλονίκης. Εξαίρεση αποτελεί η ποικιλία Κανκαζ, που είναι Ρωσικής προελεύσεως και συμπεριελήφθη στην εργασία γιατί ήταν μια από τις ποικιλίες που χρησίμευσαν ως γέφυρα για τη μεταφορά της μετατόπισης στις διάφορες ποικιλίες σιταριού.

2.2 Μέθοδοι

Ο πειραματικός αγρός εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας στη Φλώρινα την καλλιεργητική περίοδο 2015-2016. Χρησιμοποιήθηκε το σχέδιο των τυποποιημένων πλήρων ομάδων σε ελεύθερη διάταξη με τέσσερις επαναλήψεις. Για να αντιμετωπισθεί το φαινόμενο του περιθωρίου, σε κάθε πειραματικό τεμάχιο σπάρθηκαν πέντε γραμμές, ενώ συγκομίσθηκαν οι τρεις μεσαίες. Η απόσταση των γραμμών μεταξύ τους ήταν 30 cm και μεταξύ των επαναλήψεων αφέθηκε διάδρομος ενάμιση μέτρου για να διευκολυνθούν οι καλλιεργητικές εργασίες. Το σύνολο των πειραματικών τεμαχίων ήταν 40, ενώ η έκταση του πειραματικού ήταν 187,5m². Καταβλήθηκε κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε τα φυτά να αναπτυχθούν κανονικά, σε συνθήκες όμως μηδενικών εισροών ενέργειας.

**ΣΧΕΔΙΟ ΣΠΟΡΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΣΙΤΑΡΙΟΥ
ΤΥΠΟΥ ΠΛΗΡΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.**



ΥΠΟΜΝΗΜΑ.							
Κωδ.	Γενότυπος	A	B	Γ	Δ	Ποικιλίες	10
1	Αγέριον	2	12	27	32	Επανάληψεις	4
2	Ελισάβετ	5	17	24	39	Πειραματικά τεμάχια	40
3	Καυκάζ	10	20	29	36	Γραμμές / τεμάχιο	5
4	Ορφέας	7	13	30	35	Αποστάσεις γραμμών	0,30 m
5	Απολλωνία	9	11	28	40	Πλάτος διαδρόμων	1,50 m
6	Αγελώος	8	18	23	37	Διαστάσεις πειρ. Τεμ.	1,5 x 2m
7	Βεργίνα	6	14	25	38	Εμβαδό πειρ. Τεμ.	3 m ²
8	Δοιράνη	3	19	22	34	Συνολική έκταση πειρ./κωδ.	187,5 m ²
9	Νέστος	1	15	26	33		
10	Στρυμώνας	4	16	21	31		

Εικόνα 20. Σχεδιάγραμμα πειραματικού αγρού



Εικόνα 21. Μετρήσεις φυσιολογικών χαρακτηριστικών

2.3 Στατιστική επεξεργασία

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα mstatc (Freed και Eisensmith 1986). Για τις συγκρίσεις των ποικιλιών στα διάφορα γνωρίσματα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Snedecor και Cochran 1980) με τη βοήθεια του προγράμματος mstatc.

3. Αποτελέσματα

Πίνακας 2. Ανάλυση παραλλακτικότητας της απόδοσης των 10 ποικιλιών μαλακού σιταριού

Πηγή	B. E.	AT	M. T.	F	Πιθανότητα
Επαναλήψεις	3	108094.797	36031.599	4.0382 **	0.0171
Παράγοντες	9	598775.749	66530.639	7.4564 **	0.0000
Σφάλμα	27	240909.853	8922.587		
Σύνολο	39	947780.398			

Συντελεστής παραλλακτικότητας: 16,62%

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων όσον αφορά την απόδοση των 10 ποικιλιών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Οι διαφορές μεταξύ των ποικιλιών ήταν στατιστικώς σημαντικές σε επίπεδο 1%, ενώ ο συντελεστής παραλλακτικότητας έλαβε τιμή 16,62% κάτι που ήταν αναμενόμενο λόγω της σημαντικότητας που παρατηρήθηκε μεταξύ των διαφόρων επαναλήψεων.

Πίνακας 3. Κατάταξη των 10 ποικιλιών σιταριού ως προς την απόδοση με τη μέθοδο της Ελάχιστης σημαντικής διαφοράς

Ποικιλία	Κωδικός	Τιμή	Κατάταξη			
KVZ/Cgn	3	822.3	A			
Αχελώος	6	672.5		B		
Ελισάβετ	2	631.3		B	C	
Βεργίνα	7	587.4		B	C	
Δοϊράνη	8	574.0		B	C	
Νέστος	9	567.3		B	C	
Στρυμόνας	10	535.2			C	D
Ορφέας	4	513.5			C	D
Απολλωνία	5	422.6				D E
Αχέροντας	1	357.0				E

ΕΣΔ = 137.0, P= 0,050

Η κατάταξη των 10 ποικιλιών έγινε με τη μέθοδο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (ΕΣΔ). Η απόδοση κυμάνθηκε από 357 g/ πειραματικό τεμάχιο για την ποικιλία Αχέροντας, που φέρει τη μετατόπιση και κατέλαβε την τελευταία θέση έως 822,3 g/ πειραματικό τεμάχιο για την ποικιλία KVZ/Cgn που επίσης φέρει τη μετατόπιση. Δεύτερος ήλθε ο Αχελώος που δεν φέρει τη μετατόπιση.

Οι υπόλοιπες ποικιλίες που φέρουν τη μετατόπιση κατέλαβαν την τρίτη θέση (η ποικιλία Ελισάβετ) και όγδοη θέση (η ποικιλία Ορφέας) χωρίς να διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικά (Πίνακας 3). Οι ποικιλίες χωρίς τη μετατόπιση κατέλαβαν τις υπόλοιπες θέσεις με τις ποικιλίες Δοϊράνη, Βεργίνα, Αχελώο και Στρυμόνα να μη διαφέρουν μεταξύ τους ενώ την τελευταία θέση από τις ποικιλίες που δεν φέρουν τη μετατόπιση κατέλαβε η ποικιλία Απολλωνία.

Πίνακας 4. Ανάλυση παραλλακτικότητας ως προς την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη των 10 ποικιλιών μαλακού σιταριού.

Πηγή	BE	AT	MT	F
Επαναλήψεις	3	5.010	1.670	0.1474
Ποικιλίες	9	1500.164	166.685	14.7109 **
Σφάλμα	27	305.930	11.331	
Σύνολο	39	1811.104		

Συντελεστής παραλλακτικότητας = 9.09%

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων όσον αφορά την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη των 10 ποικιλιών παρουσιάζονται στον πίνακα 4. Οι διαφορές μεταξύ των ποικιλιών ήταν στατιστικώς σημαντικές σε επίπεδο 1%, ενώ ο συντελεστής παραλλακτικότητας έλαβε τιμή 9,09%, δηλαδή αρκετά χαμηλότερη από το προηγούμενο γνώρισμα, κάτι που ήταν αναμενόμενο λόγω των μικρότερων διαφορών που παρατηρήθηκαν μεταξύ των επαναλήψεων.

Πίνακας 5. Κατάταξη των 10 ποικιλιών σιταριού ως προς το την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη με τη μέθοδο της Ελάχιστης σημαντικής διαφοράς.

Ποικιλία	Κωδικός	Τιμή	Κατάταξη					
Στρυμόνας	10	44.33	A					
Απολλωνία	5	42.35	A	B				
Δοϊράνη	8	41.98	A	B				
Αχελώος	6	40.00	A	B				
Ελισάβετ	2	39.60	A	B	C			
Αχέροντας	1	38.70		B	C			
Νέστος	9	34.85			C	D		
Ορφέας	4	33.23				D		
KVZ/Cgn	3	32.75				D		
Βεργίνα	7	22.43						E

ΕΣΔ = 4.884, P= 0,050

Οι τιμές της χλωροφύλλης κυμάνθηκαν από 22.43 για την ποικιλία Βεργίνα έως 44,33 για την ποικιλία Στρυμόνας που κατέλαβε την πρώτη θέση (Πίνακας 5). Η ποικιλία Ελισάβετ κατέλαβε την πέμπτη θέση, μη διαφέροντας σημαντικά από τις τέσσερις πρώτες, ενώ οι υπόλοιπες ποικιλίες με τη μετατόπιση κατέλαβαν την έκτη, όγδοη και ένατη θέση αντίστοιχα.

Πίνακας 6. Ανάλυσης παραλλακτικότητας του Φθορισμού της χλωροφύλλης των 10 ποικιλιών μαλακού σιταριού

Πηγή	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F
Επαναλήψεις	3	0.003	0.001	0.5348
Ποικιλίες	9	0.091	0.010	4.6662 **
Σφάλμα	27	0.059	0.002	
Σύνολο	39	0.154		

Συντελεστής παραλλακτικότητας = 11.72%

Στην περίπτωση του φθορισμού της χλωροφύλλης των 10 ποικιλιών, η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έδειξε την παρουσία στατιστικών διαφορών μεταξύ των ποικιλιών σε επίπεδο 1% ενώ ο συντελεστής παραλλακτικότητας έλαβε τιμή 11,72%.

Πίνακας 7. Κατάταξη των 10 ποικιλιών σιταριού ως προς το φθορισμό της χλωροφύλλης με τη μέθοδο της Ελάχιστης σημαντικής διαφοράς

Ποικιλία	Κωδικός	Τιμή	Κατάταξη			
Νέστος	9	0.4520	A			
Στρυμόνας	10	0.4470	A			
Απολλωνία	5	0.4340	A	B		
Ορφέας	4	0.4210	A	B		
Δοϊράνη	8	0.4170	A	B		
KVZ/Cgn	3	0.4050	A	B	C	
Αχελώος	6	0.3980	A	B	C	
Ελισάβετ	2	0.3700		B	C	
Αχέροντας	1	0.3500			C	D
Βεργίνα	7	0.2880				D

ΕΣΔ = 0.06488, P= 0,050

Οι τιμές για το γνώρισμα του φθορισμού της χλωροφύλλης κυμάνθηκαν από 0,288 για την ποικιλία Βεργίνα που δεν έφερε την μετατόπιση, έως 0,452 που ήταν και η μέγιστη τιμή και αφορούσε τον Νέστο, μια ποικιλία που επίσης δεν έφερε τη μετατόπιση (Πίν. 9). Την υψηλότερη τιμή από τις ποικιλίες που φέρουν τη μετατόπιση

την είχε η ποικιλία Ορφέας που βρίσκεται στην τέταρτη θέση ενώ οι υπόλοιπες ποικιλίες που φέρουν την μετατόπιση είχαν την έκτη θέση (KVZ), την όγδοη (Ελισάβετ) και την ένατη θέση (Αχέροντας) χωρίς όμως να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Πίνακας 8. Ανάλυση παραλλακτικότητας της φωτοσύνθεσης των 10 ποικιλιών μαλακού σιταριού.

Πηγή	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F
Επαναλήψεις	3	12.910	4.303	2.1423
Ποικιλίες	9	175.141	19.460	9.6877 **
Σφάλμα	27	54.236	2.009	
Σύνολο	39			

Συντελεστής παραλλακτικότητας = 11.24%

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων όσον αφορά την παραλλακτικότητα της φωτοσύνθεσης των 10 ποικιλιών παρουσιάζεται στον πίνακα 10. Υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών σε επίπεδο 1%. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας έλαβε τιμή 11,24%.

Πίνακας 9. Κατάταξη των 10 ποικιλιών σιταριού ως προς της φωτοσύνθεσης με τη μέθοδο της Ελάχιστης σημαντικής διαφοράς

Ποικιλία	Κωδικός	Τιμή	Κατάταξη				
Απολλωνία	5	15.65	A				
Αχέροντας	1	14.26	A	B			
Νέστος	9	13.68	A	B	C		
Στρυμόνας	10	13.42		B	C		
KVZ/Cgn	3	12.87		B	C	D	
Ορφέας	4	12.87		B	C	D	
Αχελώος	6	12.82		B	C	D	
Δοϊράνη	8	11.95			C	D	
Ελισάβετ	2	11.20				D	
Βεργίνα	7	7.373					E

ΕΣΔ = 2.056, P= 0,050

Οι τιμές για το γνώρισμα της φωτοσύνθεσης κυμάνθηκαν από 7,373 για την ποικιλία Βεργίνα που δεν φέρει την μετατόπιση, έως 15,65 που ήταν και η μέγιστη τιμή και αφορούσε μια ποικιλία που επίσης δε φέρει τη μετατόπιση και ήταν η Απολλωνία. (Πίν. 9). Το ενδιαφέρον σημείο στην περίπτωση αυτή είναι ότι αν και παρατηρήθηκαν ομαδοποιήσεις μεταξύ των ποικιλιών, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών με τη μετατόπιση. Εξαιρέση αποτελεί η ποικιλία Ελισάβετ σε σχέση με την ποικιλία Αχέροντας.

Πίνακας 10. Ανάλυσης παραλλακτικότητας της στοματικής αγωγιμότητας των 10 ποικιλιών μαλακού σιταριού

Πηγή	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F
Επαναλήψεις	3	0.152	0.051	0.9738
Ποικιλίες	9	1.232	0.137	2.6362 *
Σφάλμα	27	1.403	0.052	
Σύνολο	39	2.787		

Συντελεστής παραλλακτικότητας = 32.70%

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων όσον αφορά την παραλλακτικότητας της στοματικής αγωγιμότητας των 10 ποικιλιών παρουσιάζεται στον πίνακα 10. Υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η τιμή του συντελεστή παραλλακτικότητας ήταν 32.70%.

Πίνακας 11. Κατάταξη των 10 ποικιλιών σιταριού ως προς τη στοματική αγωγιμότητα με τη μέθοδο της Ελάχιστης σημαντικής διαφοράς

Ποικιλία	Κωδικός	Τιμή	Κατάταξη			
Απολλωνία	5	1.033	A			
Αχελώος	6	0.9100	A	B		
Δοϊράνη	8	0.7430	A	B	C	
Ορφέας	4	0.7200	A	B	C	
Νέστος	9	0.7120	A	B	C	
ΚVZ/Cgn	3	0.6630		B	C	D
Αχέροντας	1	0.6500		B	C	D
Ελισάβετ	2	0.6470		B	C	D
Στρυμόνας	10	0.5350			C	D
Βεργίνα	7	0.3570				D

ΕΣΔ = 0.3308, P= 0,050

Οι τιμές για το γνώρισμα της στοματικής αγωγιμότητας κυμάνθηκαν από 0,357 για την ποικιλία Βεργίνα που δεν έφερε την μετατόπιση, έως 1,033 που ήταν και η μέγιστη τιμή και αφορούσε επίσης μια ποικιλία χωρίς τη μετατόπιση, την Απολλωνία (Πίν. 11). Το ενδιαφέρον σημείο και στην περίπτωση αυτή είναι ότι αν και παρατηρήθηκαν ομαδοποιήσεις μεταξύ των ποικιλιών δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των ποικιλιών με και χωρίς τη μετατόπιση.

Πίνακας 12. Ανάλυση παραλλακτικότητας της Συγκέντρωσης Co₂ των 10 ποικιλιών μαλακού σιταριού

Πηγή	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F
Επαναλήψεις	3	26.465	8.822	0.0481
Ποικιλίες	9	3837.187	426.354	2.3230 *
Σφάλμα	27	4955.462	183.536	
Σύνολο	39	8819.114		

Συντελεστής παραλλακτικότητας = 4.29%

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων όσον αφορά την παραλλακτικότητα της συγκέντρωσης του Co₂ των 10 ποικιλιών παρουσιάζεται στον πίνακα 12. Σε αυτήν την περίπτωση οι ποικιλίες διέφεραν μεταξύ τους σε επίπεδο

σημαντικότητας 5%. Ωστόσο οι ποικιλίες που έφεραν την μετατόπιση δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας έλαβε τιμή 4,29%.

Πίνακας 13. Κατάταξη των 10 ποικιλιών σιταριού ως προς τη συγκέντρωση CO_2 με τη μέθοδο της Ελάχιστης σημαντικής διαφοράς

Ποικιλία	Κωδικός	Τιμή	Κατάταξη				
Βεργίνα	7	334.9	A				
Ελισάβετ	2	324.9	A	B			
Αχελώος	6	324.5	A	B	C		
Ορφέας	4	320.8	A	B	C	D	
Απολλωνία	5	316.3	A	B	C	D	
Νέστος	9	312.5		B	C	D	
KVZ/Cgn	3	311.3		B	C	D	
Αχέροντας	1	305.2			C	D	
Δοϊράνη	8	304.8				D	
Στρυμόνας	10	303.7				D	

ΕΣΔ = 19.63, P= 0,050

Οι τιμές ως προς τη τιμή συγκέντρωσης του CO_2 κυμάνθηκαν από 303,7 για την ποικιλία Στρυμόνας που δε φέρει τη μετατόπιση, έως 334,9 που ήταν και η μέγιστη τιμή και αφορούσε μια ποικιλία που επίσης δε φέρει τη μετατόπιση την Βεργίνα (Πίν. 13). Και στην περίπτωση αυτή αν και παρατηρήθηκαν ομαδοποιήσεις μεταξύ των ποικιλιών δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των ποικιλιών με τη μετατόπιση.

Πίνακας 14. Ανάλυσης παραλλακτικότητας ως προς το ρυθμό διαπνοής των 10 ποικιλιών μαλακού σιταριού

Πηγή	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F
Επαναλήψεις	3	6.136	2.045	3.1714 **
Ποικιλίες	9	15.736	1.748	2.7108 *
Σφάλμα	27	17.415	0.645	
Σύνολο	39	39.287		

Συντελεστής παραλλακτικότητας = 17.24%

Τέλος, η στατιστική ανάλυση των δεδομένων όσον αφορά την παραλλακτικότητα ως προς το ρυθμό διαπνοής των 10 ποικιλιών παρουσιάζεται στον πίνακα 14. Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σε επίπεδο 1% μεταξύ των επαναλήψεων αλλά και διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας 5% μεταξύ των ποικιλιών. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας έλαβε τιμή 17,24%.

Πίνακας 15. Κατάταξη των 10 ποικιλιών σιταριού ως προς το ρυθμό διαπνοής με τη μέθοδο της Ελάχιστης σημαντικής διαφοράς

Ποικιλία	Κωδικός	Τιμή	Κατάταξη		
Απολλωνία	5	5.495	A		
KVZ/Cgn	3	5.350	A		
Νέστος	9	5.130	A	B	
Αχελώος	6	4.865	A	B	
Αχέροντας	1	4.740	A	B	
Ορφέας	4	4.668	A	B	
Δοϊράνη	8	4.645	A	B	
Στρυμόνας	10	4.617	A	B	
Ελισάβετ	2	4.090		B	C
Βεργίνα	7	3.175			C

ΕΣΔ = 1.165, P= 0,050

Οι τιμές ως προς το ρυθμό διαπνοής κυμάνθηκαν από 3,175 για την ποικιλία Βεργίνα που δε φέρει τη μετατόπιση, έως 5,495 και αφορούσε την ποικιλία Απολλωνία που επίσης δε φέρει τη μετατόπιση (Πίν. 15). Παρατηρήθηκαν ομαδοποιήσεις μεταξύ των ποικιλιών και διαφορές μεταξύ των ποικιλιών Ελισάβετ και KVZ/Cgn που φέρουν την μετατόπιση αλλά και μεταξύ ποικιλιών χωρίς τη μετατόπιση.

Πίνακας 16. Συσχετίσεις μεταξύ φυσιολογικών γνωρισμάτων

Γνώρισμα	Περιεχόμενη χλωροφύλλη	Φθορισμός	Φωτοσύνθεση	Αγωγιμότητα	CO ₂ συγκέντρωση	Διαπνοή
Απόδοση	-0,497	-0,042	-0,482	0,426	0,042	0,239
Περιεχόμενη χλωροφύλλη	-	1,383	2,225	1,082	-1,206	1,173
Φθορισμός	-	-	1,191	0,825	1,102	0,854
Φωτοσύνθεση	-	-	-	1,287	-1,406	2,919**
Αγωγιμότητα	-	-	-	-	0,880	0,906
CO ₂ συγκέντρωση	-	-	-	-	-	-0,867
Διαπνοή	-	-	-	-	-	-

Τα μόνα γνωρίσματα που συσχετίζονται μεταξύ τους σημαντικά σε επίπεδο 1% είναι η φωτοσύνθεση με την διαπνοή. Η συσχέτιση αυτή είναι θετική που σημαίνει ότι με κάθε αύξηση του ρυθμού της διαπνοής αυξάνεται και η φωτοσύνθεση των φυτών. Δεν εντοπίστηκαν άλλες συσχετίσεις σε σημαντικό επίπεδο.

4. Συμπεράσματα

Το πείραμα έδειξε ότι η χρωμοσωματική μετατόπιση 1BL.1RS δεν επηρεάζει θετικά την απόδοση των ποικιλιών που εξετάστηκαν. Αντίθετα, η διεθνής βιβλιογραφία αναφέρει ότι η παρουσία της μετατόπισης συνδέεται με υψηλό δυναμικό απόδοσης, κυρίως μέσω της αυξημένης παραγωγής και του βάρους του σπόρου σε συνθήκες έλλειψης νερού (Kim κ.ά., 2004· Ehdaie κ.ά., 2003). Επιπλέον, τα φυτά με αυτήν τη μετατόπιση παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στην ξηρασία, λόγω μεγαλύτερου ριζικού συστήματος και αυξημένης αναλογίας ξηράς ουσίας βλαστού/ρίζας (Hoffmann, 2008).

Ωστόσο, τα ευρήματα του πειράματος δεν υποστήριξαν αυτούς τους ισχυρισμούς. Οι ποικιλίες που έφεραν τη μετατόπιση 1BL.1RS δεν παρουσίασαν ουσιαστική διαφορά στη συμπεριφορά τους σε σύγκριση με εκείνες που δεν την έφεραν. Αυτό δείχνει ότι, υπό τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες, η παρουσία της μετατόπισης από μόνη της δεν αποτελεί παράγοντα υπεροχής για την απόδοση. Αντίθετα, οι διαφορές στην απόδοση πιθανώς επηρεάζονται περισσότερο από άλλους περιβαλλοντικούς ή γενετικούς παράγοντες, τους οποίους θα πρέπει να διερευνήσουν μελλοντικές μελέτες.

Ανεξάρτητα από τη χρωμοσωματική μετατόπιση, το πείραμα ανέδειξε μια σημαντική θετική συσχέτιση σε επίπεδο 1% μεταξύ της φωτοσύνθεσης και της διαπνοής. Αυτό το εύρημα επιβεβαιώνει τη στενή αλληλεξάρτηση αυτών των φυσιολογικών διαδικασιών, που είναι κρίσιμες για τη λειτουργία των φυτών. Η αποτελεσματικότητα της φωτοσύνθεσης και της διαπνοής επηρεάζει άμεσα τη συνολική φυσιολογική κατάσταση και ανάπτυξη των φυτών, καθιστώντας αυτές τις διαδικασίες θεμελιώδεις για τη φυτική παραγωγικότητα.

Παράλληλα, δεν εντοπίστηκαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ άλλων γνωρισμάτων που μελετήθηκαν, κάτι που υποδηλώνει ότι τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν πιθανώς δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της απόδοσης των ποικιλιών.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι, ενώ η χρωμοσωματική μετατόπιση 1BL.1RS αναφέρεται ως πλεονέκτημα στη βιβλιογραφία, η πραγματική

της επίδραση στην απόδοση εξαρτάται από το περιβάλλον και τις συνθήκες καλλιέργειας. Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα, με στόχο να διερευνηθούν οι σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ γενετικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των φυτών.

Βιβλιογραφία

- Abis, S. (2023). *The geopolitics of European Wheat*. European issues n°669 May 16th 2023. LA FONDATION ROBERT SCHUMAN.
- Afonin, A.N., Greene, S.L., Dzyubenko, N.I., και Frolov, A.N. (2009). *Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighbouring Countries*. <http://www.agroatlas.ru>.
- Angell, H., Allan, F., και Hely, F. (1937). The effect of *Urocystis tritici* Koern. on the extent of development of the roots and aerial parts of the wheat plant II. *J. Coun. Sci. Ind. Res.*, 11, 256-257.
- Atkinson, T.G., και Grant, M.N. (1967). An evaluation of streak mosaic losses in winter wheat. *Phytopathology*, 57, 188-192.
- Austin, R., Bingham, J., Blackwell, R., Evans, L., Ford, M., Morgan, C., και Taylor, M. (1980). Genetic improvements in winter wheat yield since 1900 and associated physical changes. *J. Agric. Sci.*, 94, 675-689.
- Bartoš, P., και Bareš, I. (1971). Leaf and stem rust resistance of hexaploid wheat cultivars Salzmünder Bartwiezen and Wei que. *Euphytica*, 20, 435–440.
- Bauer, S.E., Tsigaridis, K., και Miller, R.L. (2016). Significant atmospheric aerosol pollution caused by world food cultivation. *Geophys. Res. Lett.*, 43(10), 5394-5400, doi:10.1002/2016GL068354.
- Bowen, K.L., Everts, K.L., και Leath, S. (1991). Reduction in yield of winter wheat in North Carolina due to powdery mildew and leaf rust. *Phytopathology*, 81, 503-511.
- Brakke, M.K., Langenberg, W.G., και Samson, R.G. (1982). Wheat spindle streak mosaic virus in Nebraska. *Plant Disease*, 66, 958-959.
- Chruchward, J. (1934). A Note on the occurrence of seedlings lesions caused by cereal smuts. *Proc. Linn. Soc., New South Wales*, 59, 197-199.
- Dvorak, J., Deal, K.R., Luo, M.C., You, F.M., von Borstel, K. και Dehghani, H. (2012). The origin of spelt and free-threshing hexaploid wheat. *Journal of Heredity*, 103, 426–441. doi: 10.1093/jhered/esr152.
- Ehdaie, B., Whitkus, R.W., και Waines, J.G. (2003). Root Biomass, Water-Use Efficiency, and Performance of Wheat–Rye Translocations of Chromosomes 1 and 2 in Spring Bread Wheat ‘Pavon’. *Crop Science*, 43(2), 710-717.

- Eyal, Z., Scharen, A.L., Prescott, J.M., και Van Ginkel, M. (1987). *The Septoria Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. CIMMYT, Mexico, D.F
- FAOStat (2020). *FAO Stat*. Retrieved from: <http://www.fao.org/faostat>.
- Farooq, S., και Azam, F. (2005). The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. *J. Plant Physiol.*, 163, 629–637. doi: 10.1016/j.jplph.2005.06.006.
- Guzman, C., Mondal, S., Govindan, V., Autrique, J.E., Posadas-Romano, G. και Cervantes, F. (2016). Use of rapid tests to predict quality traits of CIMMYT bread wheat genotypes grown under different environments. *LWT Food Sci. Technol*, 69, 327–333. doi: 10.1016/j.lwt.2016.01.068.
- Henry, Y., Bernard, S., Bernard, M., Gay, G, Marcotte, J.L., και Debuyser, J. (1993). Nuclear Gametophytic Genes from Chromosome Arm IRs Improve Regeneration of Wheat Microspore-Derived Embryos. *Genome*, 36, 808-814.
- Howell, T., Hale, I., Jankuloski, L., Bonafede, M., Gilbert, M., και Dubcovsky, J. (2014). Mapping a region within the 1RS.1BL translocation in common wheat affecting grain yield and canopy water status. *Theoretical and Applied Genetics*, 127, 2695–2709. <https://doi.org/10.1007/s00122-014-2408-6>
- Howell, T., Moriconi, J. I., Zhao, X. Q., Hegarty, J., Fahima, T., Santa-Maria, G. E., και Dubcovsky, Jorge (2019). A wheat/rye polymorphism affects seminal root length and yield across different irrigation regimes. *Journal of Experimental Botany*, 70, 4027–4037. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz169>.
- Jones, D.G., και Clifford, B.C. (1983). *Cereal diseases: their pathology and control*. New York, NY, John Wiley and Sons.
- Joshi, L.M., Singh, D.V., και Srivastava, K.D. (1980). *Wheat Disease Survey-I. Karnal Bunt 1975-1980. Wheat Pathology Series No. 7. Division of Mycology and Plant Pathology*. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi.
- Kim, W., Johnson, J.W., Baenziger, P.S., Lukaszewski, A.J., και Gaines, CS. (2004). Agronomic

- effect of wheat-rye translocation carrying rye chromatin (1R) from different sources. *Crop Science* 44, 1254-1258.
- Koebner, R. M. D., Martin, P. K., και Anamthawat-Jonsson K. (1995). Multiple branching stems in a hybrid between wheat (*Triticum aestivum*) and lymegrass *Leymus mollis*. *Can. J. Bot.*, 73, 1504- 1507.
- Kumar, P. V., Rao, V. U. M., Bhavani, O., Dubey, A. P., Singh, C. B., και Venkateswarlu, B. (2016). Sensitive growth stages and temperature thresholds in wheat (*Triticum aestivum* L.) for index-based crop insurance in the Indo-Gangetic Plains of India. *The Journal of Agricultural Science*, 154(2), 321-333.
- Lawrence, G.L., και Appels, R. (1986). Mapping the nucleolus organizer region, seed protein loci, and isozyme loci on chromosome 1R in rye. *Applied Genetics*, 71, 742–749.
- Lee, J.H., Graybosch, R.A., και Peterson, C.J. (1995). Quality and Biochemical Effects of a Ibl/Irs Wheat-Rye Translocation in Wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 90, 105-112.
- Lister, R.M., και Raniri, R. (1995). Distribution and Economic Importance of Barley Yellow Dwarf. *In: Barley Yellow Dwarf: 40 Years of Progress. D'Arcy, C.J. and Burnett, P.A. (eds.)* (pp. 29-53). APS Press, St. Paul, Minnesota, USA.
- Lukaszewski A. J. (2000). Manipulation of the 1RS.1BL translocation in wheat by induced homoeologous recombination. *Crop Sci.*, 40, 216–225. [10.2135/cropsci2000.401216x](https://doi.org/10.2135/cropsci2000.401216x).
- Mago, R. et al. (2005) Development of PCR markers for the selection of wheat stem rust resistance genes Sr24 and Sr26 in diverse wheat germplasm. *Theoretical and Applied Genetics*, 111, 496-504.
- Mago, R., Spielmeyer, W., και Lawrence, G. et al. (2002). Identification and mapping of molecular markers linked to rust resistance genes located on chromosome 1RS of rye using wheat-rye translocation lines. *Theor Appl Genet*, 104, 1317–1324. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-0879-3>.
- McIntosh, R. (1968). *Genetic and cytogenetic studies on resistance to flag smut in wheat*. Thesis. Univ. of Sydney.

- Menzies, J.G., Turkington, T.K., και Knox, R.E. (2009). Testing for resistance to smut diseases of barley, oats and wheat in western Canada. *Can. J. of Plant Pathol.*, *31*, 265-279.
- Miedaner, T., Akel, W., Flath, K., Jacobi, A., Taylor, M., Longin, F., και Würschum, T. (2020). Molecular tracking of multiple disease resistance in a winter wheat diversity panel. *Theoretical and Applied Genetics*, *133*. 10.1007/s00122-019-03472-4.
- Mojid, M. A., Mousumi, K. A., και Ahmed, T. (2020). Performance of wheat in five soils of different textures under freshwater and wastewater irrigation. *Agricultural Science*, *2*(2), p89-p89.
- Murray, T., Parry, D., και Cattlin N. (1998). *Bunts/smuts-diseases of small grain cereal crops*. Iowa State University Press, Ames, pp. 9-12.
- Myers, L.D., Sherwood, J.L., Siegerist, W.C., και Hunger, R.M. (1993). Temperature-influenced virus movement in expression of resistance to soilborne wheat mosaic virus in hard red winter wheat (*Triticum aestivum*). *Phytopathology*, *83*, 548-551.
- Nielsen, J., και Thomas, P. (1996). Loose smut. In R.D. Wilcoxson and E.E. Saari, (eds.) *Bunt and Smut Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management* (p. 33-47). CIMMYT, Mexico, D.F.
- Odenbach, W. (1985). Weizen - Zuchtziele, Hybridzüchtung, Genreserven, Abstammungslinien in der deutschen Weizenzüchtung. In: Hoffman W., Mudra A. and Plarre W. (eds.) *Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen* (pp. 51-67). Bd. 2; Paul Parey Verlag, Berlin.
- Pal, B., και Mundkur, B. (1941). Studies in Indian cereal smuts III Varietal resistance of Indian and other wheats to flag smut. *Indian J. of Agric Sci.*, *11*, 687-694.
- Parry, D.W. (1990). Diseases of small grain cereals. In: *Plant Pathology in Agriculture* (pp. 160-224). Cambridge, U.K., Cambridge University Press.
- Parry, D.W., Jenkinson, P., και Mcleod, L. (1995). Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals—a review. *Plant Pathology*, *44*, 207-238.
- Peleg, Z., Fahima, T., Korol, A.B., Abbo, S. και Saranga, Y. (2011). Genetic analysis of wheat domestication and evolution under domestication. *Journal of Experimental Botany*, *62*, 5051–5061. doi: 10.1093/jxb/err206

- Perry, M., και D'Antuono, M. (1989). Yield improvement and associated characteristics of some Australian spring wheat cultivars introduced between 1860 and 1982. *Aust. J. Agric. Res.*, *40*, 457-472.
- Polyanetska, I.O. (2012). *Breeding-genetic improvement of Triticum spelta (L.) and its use breeding of Triticum aestivum (L.)*. [PhD. Thesis] Kyiv, Institute of Agriculture. (in Ukrainian).
- Prestes, A.M., και Wietholter, S. (1993). Efeito da virosa do mosaico no rendimento da biomassa de cultivares de trigo. *Fitopatologia Brasileira*, *18*, 293.
- Rahman, M. A., Chikushi, J., Yoshida, S., Yahata, H., και Yasunaga, E. (2005). Effect of high air temperature on grain growth and yields of wheat genotypes differing in heat tolerance. *J. Agric. Meteorol.*, *60*, 605–608. doi: 10.2480/agrmet.605
- Rao, A.S., και Brakke, M.K. (1969). Relation of soil-borne wheat mosaic virus and its fungal vector, *Polymyxa graminis*. *Phytopathology*, *59*, 581-587.
- Reynolds, M.R., και Braun, H-J. (2023). *Wheat Improvement Food Security in a Changing Climate*. Springer.
- Riedell, W.E., Kiekhefer, R.W., Haley, S.D., Langham, M.A.C., και Evenson, P.D. (1999). Winter wheat responses to bird cherry-oat aphids and barley yellow dwarf virus infection. *Crop Science*, *39*, 158-163.
- Roelfs, A.P. Singh, R.P., και Saari, E.E. (1992). *Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Rybalka, O.I. (2011). *Wheat quality and its improvement*. Logos, Kyiv, 496 pp. (in Ukrainian).
- Saari, E.E., και Prescott, J.M. (1985). World distribution in relation to economic losses. *In Roelfs A.P., Bushnell W.R. (eds), The cereal rusts, vol 2, diseases, distribution, epidemiology, and control* (pp. 259–298). Academic Press, Orlando, Florida.
- Sawada, E. (1927). Control of wheat yellow mosaic virus. *J. Plant Protection*, *14*, 444-449
- Schiavo, M., Le Mouël, C., Poux, X., και Aubert, P.-M. (2021). *An agroecological Europe by 2050: What impact on land use, trade and global food security?* IDDRI, Study n°08, July 2021.
- Schlegel, R., και Korzun, V. (1997). About the origin of 1RS.1BL wheat-rye chromosome translocations from Germany. *Plant Breed.*, *116*(6), 537–540.

- Shabeer, A., και Bockus, W.W. (1988). Tan spot effects on yield and yield components relative to growth stage in winter wheat. *Plant Disease*, 72, 599-602.
- Sharma, O. P., Bambawale, O. M., Gopali, J. B., Bhagat, S., Yelshetty, S., Singh, S. K., Anand, R., και Singh, O.M. (2011). *Field guide Mung bean and Urd bean*. Government of India, Department of agricultural and co-operation, NCIPM, ICAR, New Delhi, India.
- Siddique, K., Belford, R., Perry, M., και Tennant, D. (1989). Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agric. Res.*, 40, 473-487.
- Singhroha, G., Reddy, G., Gupta, V., και Kumar, S. (2017). Wheat Diseases and Their Management. In *Wheat a Premier Food Crop* (pp.348-372). Publisher: Kalyani Publisher.
- Sirlova, L., Vacke, J., και Chaloupková, M. (2005). Reaction of selected winter wheat varieties to autumnal infection with Wheat dwarf virus. *Plant Protection Science*, 41, 1-7.
- Strelkov, S.E., και Lamari, L. (2003). Host-parasite interactions in tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) of wheat. *Can. J. Plant Pathol.*, 25, 339-349.
- Sukumaran, S., Dreisigacker, S., Lopes, M., Chavez, P., και Reynolds, M. P. (2015). Genome-wide association study for grain yield and related traits in an elite spring wheat population grown in temperate irrigated environments. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik*, 128(2), 353–363. <https://doi.org/10.1007/s00122-014-2435-3>
- U.S. Wheat Associates (USW). (2023). *SOFT RED WINTER WHEAT. QUALITY SURVEY*. <https://www.uswheat.org/>.
- Waddington, S., Ransom, J., Osmanzai, M., και Saunders, D. (1986). Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to Northwest Mexico. *Crop Science*, 26, 698-703
- Waines, J.G., και Ehdaie, B. (2007). Domestication and Crop Physiology: Roots of Green-Revolution Wheat. *Annals of Botany*, 100(5), 991–998, <https://doi.org/10.1093/aob/mcm180>.
- Wiese, M.V. (1985). *Compendium of Wheat Diseases*. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota, pp. 62-82.

- World Population Review (2024). *Wheat Consumption by Country 2024*. Retrieved from: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/wheat-consumption-by-country>
- Wych, R., και Stuthman, D. (1989). Genetic improvement in Minnesota-adapted oat cultivars since 1923. *Crop Sci*, 23, 879-881.
- Xie, Q., Mayes, S. και Sparkes, D.L. (2015). Spelt as a genetic resource for yield component improvement in bread wheat. *Crop Sci*, 55, 2753–2765.
- Xynias, I., Koufalis, A., Gouli-Vavdinoudi, E., και Roupakias, D. (2015). Factors Affecting Doubled Haploid Plant Production Via Maize Technique in Bread Wheat. *Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica*. 56. 10.2478/abcsb-2014-0022.
- Zeller F. J., Lutz J., και Stephan U. (1993) Chromosome location of genes for resistance to powdery mildew in common wheat (*Triticum aestivum* L.) 1. *MLk* and other alleles at the *Pm3* locus. *Euphytica*, 68, 223-229.
- Zeller, F.J. (1973). 1B/1R wheat-rye chromosome substitutions and translocations. In: Proceedings of the 4th International Wheat Genetics Symposium, (Eds.) Sears LMS, University of Missouri, Columbia, pp. 209.
- Zeller, F.J., και Hsam, S.L.K. (1983). Broadening the genetic variability of cultivated wheat by utilizing rye chromatin. In: Proceedings of the 6th International Wheat Genetics Symposium, (Eds.) S. Sakamoto, Kyoto University, Kyoto, pp. 161-173.
- Yara (2024). *Θρέψη και Λίπανση Καλλιεργειών*. Σιτάρι. <https://www.yara.gr/threpsi-lipansi/lipansi-sitari/stadia-sitariou/>.
- Χατζηδημόπουλος, Μ. (2005). *Απόδοση παλαιών και νέων ποικιλιών μαλακού σιταριού (*T. aestivum*) και σκληρού (*T. durum*) σε βιολογική και συμβατική καλλιέργεια*. Διπλωματική διατριβή. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ. Βόλος.
- PANKOU, C. I., PAPATHANASIOU, F., LAZARIDOU, T. B. and XYNIAS, I. N. 2017. Study of the performance of bread wheat cultivars carrying the 1BL.1RS wheat-rye chromosomal translocation with physiological criteria. pp. 251-255. In Proceedings of VIII International Agricultural Symposium "AGROSYM", Jahorina, 5-8 October 2017, Bosnia and Herzegovina.

XYNIAS, I. N., MAVROMATIS, A. G., PANKOU, C. I., KOUTSOURA, T., KYPARISSAS, D., LILIOPOULOU, E., PRIAMI, M., TASIOS, I., TRAKOSIARIS, D., and PAPATHANASIOU, F. 2018. Physiological study of cultivars carrying the 1BL.1RS wheat-rye chromosomal translocation in bread wheat. pp. 460-465. In Proceedings of International Conference on Agricultural, Biological and Life Sciences. September, 2-5 2018, Erdine Turkey.

PAPATHANASIOU, F., TASIOS, I., TRAKOSIARIS, D., KOUTSOURA, T., MAVROMATIS, A. G., PANKOU, C. I., and XYNIAS, I. N. 2019. Effect of the 1BL.1RS wheat-rye chromosomal translocation in bread wheat cultivars on physiological traits pp. 186-190. In D. Kovacevic (Ed.) Proceedings of X International Agricultural Symposium "AGROSYM", Jahorina, 03-06 October 2019, Bosnia and Herzegovina.