



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ



ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΦΥΤΙΚΟΥ
ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ»

**Ενδοποικιλιακή επιλογή υψηλοαποδοτικού γενετικού υλικού
σκληρού σίτου με αυξημένα ποιοτικά χαρακτηριστικά**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
στην «Παραγωγή, πιστοποίηση και διακίνηση φυτικού πολλαπλασιαστικού υλικού»

από την

Καραγιάννη Ιουλία

Φλώρινα 2022

Δήλωση περί μη λογοκλοπής

Η μεταπτυχιακή φοιτήτρια που εκπόνησε την παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κ.λπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την ΕΕ του Τμήματος Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, σύμφωνα με τον νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του ΠΜΣ «Παραγωγή, πιστοποίηση και διακίνηση φυτικού πολλαπλασιαστικού υλικού». Τα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής ήταν:

1. Παπαθανασίου Φωκίων (Επιβλέπων)
Καθηγητής
Τμήμα Γεωπονίας
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

2. Ξυνιάς Ιωάννης (Μέλος)
Καθηγητής
Τμήμα Γεωπονίας
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

3. Καραγιάννης Ευάγγελος (Μέλος)
Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Γεωπονίας
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής από το Τμήμα Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παπαθανασίου Φωκίων, Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, για την ανάθεση του θέματος, την διαρκή καθοδήγηση και την συμβολή στην επίλυση των προβλημάτων που προέκυπταν, τις υποδείξεις κατά την διαδικασία της συγγραφής, την διόρθωση του κειμένου και την συνολική βοήθεια και καθοδήγησή σε όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου σε μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ερευνητή Δρ. Μυλωνά Ιωάννη για τις χρήσιμες συμβουλές και την καθοδήγηση στον πειραματικό αγρό σε όλα τα στάδια, την επίλυση αποριών, τις συμβουλές και υποδείξεις για την συγγραφή του κειμένου, τις συζητήσεις για θέματα βελτίωσης φυτών, την στατιστική επεξεργασία του πειράματος και την στήριξη του σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της διατριβής μου.

Ευχαριστώ θερμά τη συμφοιτήριά μου Σόνια Μιχαηλίδου, για την πολύτιμη βοήθειά στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον πειραματικό αγρό, στην διαδικασία των μετρήσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών και κυρίως την ηθική της συμπαράσταση. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την Καλλιόπη Κοκκινίδου για την προθυμία της και την συνδρομή της κατά τις μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.

Σημαντική βοήθεια για μένα ήταν η συμβολή των φίλων μου Γεώργιου Ραμαδανίδη, Λαμπρινής Καραμούζας και Κατερίνας Αβραάμ που συνέβαλαν τόσο στην διαδικασία μετρήσεων στον αγρόν αλλά και στην βοήθεια επεξεργασίας του πειραματικού αγρού κατά την διάρκεια της εργασίας μου.

Τέλος, ευγνωμοσύνη εκφράζω στους γονείς μου, Κώστα και Σταυρούλα, για την συνεχή ηθική συμπαράστασή και στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα και για την κατανόησή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σκληρό σιτάρι (*Triticum durum* L.) καλύπτει περίπου 17 εκατομμύρια εκτάρια σε όλο τον κόσμο, λίγο λιγότερο από το 10% της συνολικής έκτασης σιταριού. Ωστόσο, η σημασία του για την ανθρώπινη κατανάλωση είναι πολύ υψηλή επειδή χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή ζυμαρικών αλλά και άλλων διατροφικών ειδών (Batten field et al., 2016). Στις μεσογειακές χώρες το σκληρό σιτάρι είναι η κορυφαία εμπορική καλλιέργεια μεταξύ των σιτηρών, καθώς η κατανάλωση του είναι η υψηλότερη μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών. Οι αποδόσεις σκληρού σιταριού σε διάφορες περιοχές του κόσμου έχουν αυξηθεί σημαντικά από τη δεκαετία του 1960 ως αποτέλεσμα της γενετικής βελτίωσης και των καλύτερων αγρονομικών πρακτικών. Δεδομένης της συνεχώς αυξανόμενης προσοχής των καταναλωτών στην υγιεινή διατροφή, οι στόχοι των προγραμμάτων αναπαραγωγής του σκληρού σιταριού επικεντρώνονται όχι μόνο στην αύξηση της παραγωγικότητας αλλά και στην δημιουργία προϊόντων με υψηλότερη θρεπτική αξία (Iqbal et al. 2016).

Οι κορυφαίες ποικιλίες σκληρού σιταριού που έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια πιστεύεται ότι εμφανίζουν περιορισμένη ή μη σημαντική γενετική παραλλακτικότητα με το πέρασμα του χρόνου. Πολυάριθμες μελέτες όμως σε διάφορες καλλιέργειες με την επιλογή σε χαμηλή πυκνότητα σποράς εφαρμόζοντας τις αρχές της κυψελωτής μεθοδολογίας, έχουν δείξει σημαντική παραλλακτικότητα εντός μια ποικιλίας (Fasoula and Fasoula 2000; Tokatlidis et al. 2010; Tokatlidis 2017). Παρά τη σπουδαιότητά της, η ενδοποικιλιακή διαφοροποίηση δεν έχει διερευνηθεί ευρέως. Μια τέτοια δυνατότητα στο σκληρό σιτάρι θα μπορούσε να είναι χρήσιμη διατηρώντας υψηλά πρότυπα ομοιομορφίας σε βάθος χρόνου και βελτιώνοντας τα επιθυμητά αγρονομικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, η μικρή ποσότητα σπόρου των ατομικών φυτών δεν επέτρεπε αναλύσεις για ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η δυνατότητα αυτή που δίνει η τεχνολογία Near –infrared spectroscopy για μη καταστρεπτικές αναλύσεις μικρών δειγμάτων σπόρων κυρίως ως προς την πρωτεΐνη, επιτρέπει την ανάλυση της ποιότητας των σπόρων γενοτύπων, όταν η διαθέσιμη ποσότητα είναι περιορισμένη και δεν επαρκεί για εργαστηριακές αναλύσεις που είναι καταστρεπτικές για τους σπόρους οι οποίοι θα πρέπει σπαρθούν στην επόμενη καλλιεργητική περίοδο για να συνεχιστεί η βελτίωση. Σε προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο εγκαταστάθηκε πείραμα κυψελωτής διάταξης και

χρησιμοποιήθηκε η ποιοτικότερη με βάση την αγορά εμπορική ποικιλία σκληρού σίτου Svevo.

Σκοπός της παρούσας ερευνητικής διπλωματικής εργασίας ήταν η αξιολόγηση των φαινοτυπικών διακυμάνσεων στην απόδοση σε σπόρο (GY) και στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (PC) σε δύο ελίτ εμπορικές ποικιλίες σκληρού σίτου και να αξιολογηθεί η δυνατότητα επιλογής για GY και PC, για να διερευνηθεί εάν οι διακυμάνσεις είναι εκμεταλλεύσιμες και θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αναβαθμίσεις στην απόδοση και την ποιότητα των δυο αυτών σημαντικών ποικιλιών.

ABSTRACT

Durum wheat (*Triticum durum* L.) covers about 17 million hectares worldwide, just under 10% of the major wheat area. However, its importance for human consumption is very high because it is mainly used for the preparation of pasta and other food items (Batten field et al., 2016). In Mediterranean countries durum wheat is the leading commercial crop among cereals, as its consumption is the highest among European countries. Durum wheat yields in various regions of the world have increased significantly since the 1960s as a result of genetic improvement and better agronomic practices. Given the ever-increasing consumer attention to nutrition, the goals of healthy durum wheat breeding programs focus not only on increasing productivity but also on creating products with higher nutritional value (Iqbal et al. 2016).

The leading durum wheat cultivars developed in recent years are believed to show little or no significant genetic variability over time. However, numerous studies in various crops with selection at low seeding density applying the principles of cellular methodology, have shown significant variability within a variety (Fasoula and Fasoula 2000; Tokatlidis et al. 2010; Tokatlidis 2017). Despite its importance, intra varietal variation has not been widely investigated. Such a potential in durum wheat could be useful by maintaining high standards of uniformity over time and improving desirable agronomic and quality traits. However, the small amount of seed of individual plants did not allow analyzes for quality traits. This possibility given by Near-infrared spectroscopy technology for non-destructive analyzes of small seed samples mainly in terms of protein, allows the analysis of the quality of the seeds of genotypes, when the available quantity is limited and is not sufficient for laboratory analyzes that are destructive to the seeds which should be sown in the next growing season to continue the improvement. In a previous growing season, a cell layout experiment was installed and the highest quality commercial durum wheat cultivar Svevo was used.

The purpose of this research thesis was to evaluate the phenotypic variation in grain yield (GY) and protein content (PC) in two elite commercial durum wheat

cultivars and to assess the potential for selection for GY and PC, to investigate whether the variations are exploitable and could lead to GY and PC upgrades for these crops.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

		Σελίδα
2	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	11
2.1	Προέλευση, εξάπλωση, οικονομική σημασία και μελλοντικές προοπτικές του σιταριού	11
2.2	Παγκόσμια παραγωγή σκληρού σίτου	16
2.3	Γεωγραφική κατανομή του σκληρό σιτάρι και χαρακτηριστικά	17
2.4	Ταξινόμηση	18
2.5	Μορφολογικά χαρακτηριστικά	19
2.6	Διαμόρφωση της απόδοσης	19
2.6.1	Στάδια και φάσεις ανάπτυξης	19
2.7	Οικολογικές απαιτήσεις	20
2.8	Διαχείριση άροσης και υπολειμμάτων	20
2.9	Επιλογή χωραφιού και αμειψισπορά	22
2.10	Λίπανση	23
2.11	Σπορά	24
2.12	Επιλογή ποικιλίας	24
2.13	Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπού	25
2.13.1	Σύσταση των κόκκων	25
2.14	Ορισμός της ποιότητας	27
2.14.1	Ποιότητα σκληρού σίτου	28
2.15	Προοπτικές για το μέλλον	30
2.16	Βιοτική ανθεκτικότητα	31
2.17	Αβιοτική Ανοχή	32
3	Πειραματικός μέρος	33
3.1	Υλικά και μέθοδοι	33
3.1.1	Φυτικό υλικό	33
3.2	Εγκατάσταση πειράματος	35
3.3	Λήψη παρατηρήσεων	39

3.4	Επιλογή εντός της καλλιέργειας σε εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα φυτών (ULD)	44
3.5	Αξιολόγηση απογόνων υπό Τυπική πυκνότητα καλλιέργειας (TCD)	44
3.6	Στατιστική ανάλυση	44
4	Αποτελέσματα	45
4.1	Χαμηλή πυκνότητα φυτών (ULD) εντός της καλλιέργειας.	45
4.2	Αξιολόγηση απογόνων υπό Τυπική πυκνότητα καλλιέργειας (TCD)	54
4.3	Σχέσεις μεταξύ GY και PC υπό ULD και TCD	58
5	Συζήτηση	59
6	Συμπεράσματα	60
7	Βιβλιογραφία	62
7.1	Ξένη βιβλιογραφία	62
7.2	Ελληνική βιβλιογραφία	70

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Προέλευση, εξάπλωση, οικονομική σημασία και μελλοντικές προοπτικές του σιταριού

Η καλλιέργεια σιταριού άρχισε από την αρχαιότητα και δεν έχει προσδιορισθεί μέχρι σήμερα η περιοχή καταγωγής του, ούτε και η περιοχή στην οποία καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά. Έρευνες δείχνουν ότι οι διπλοειδείς και τετραπλοειδείς γενότυποι πρωτοεμφανίστηκαν πριν από το 8.000 π.Χ. στις λεκάνες των ποταμών Τίγρη και Ευφράτη σήμερα στις περιοχές Ιράν και Συρία (Smith 1995).

Το σιτάρι (διαφορετικά είδη *Triticum*), μεταξύ άλλων δημητριακών, καταναλωνόταν από τον άνθρωπο πριν από την έναρξη της γεωργίας. Ωστόσο, στην πορεία, η διαισθητική διαδικασία συλλογής των μεγαλύτερων σιτηρών για τη σπορά της επόμενης καλλιέργειας τα άλλαξε σταδιακά για να ταιριάζουν στις ανθρώπινες ανάγκες, ξεκινώντας μια προσέγγιση σε έναν ιδεότυπο φυτού με καλύτερα αγρονομικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων υψηλότερων αποδόσεων (Εικ. 1). Αυτή η πρώτη «πράσινη επανάσταση» για το σιτάρι ξεκίνησε (Hillman and Davies, 1990) με την προοδευτική εξημέρωση ορισμένων ειδών σιταριού, όπως του είκουρου (*Triticum monococum*) και του (*Triticum turgidum* ssp. *Dicocum*) που χρησιμοποιούνταν ευρέως στην αρχαιότητα (Mac Key, 2005) και από το οποίο σε κάποια στιγμή προήλθε το σύγχρονο μαλακό σιτάρι και τα σκληρά σιτάρια.

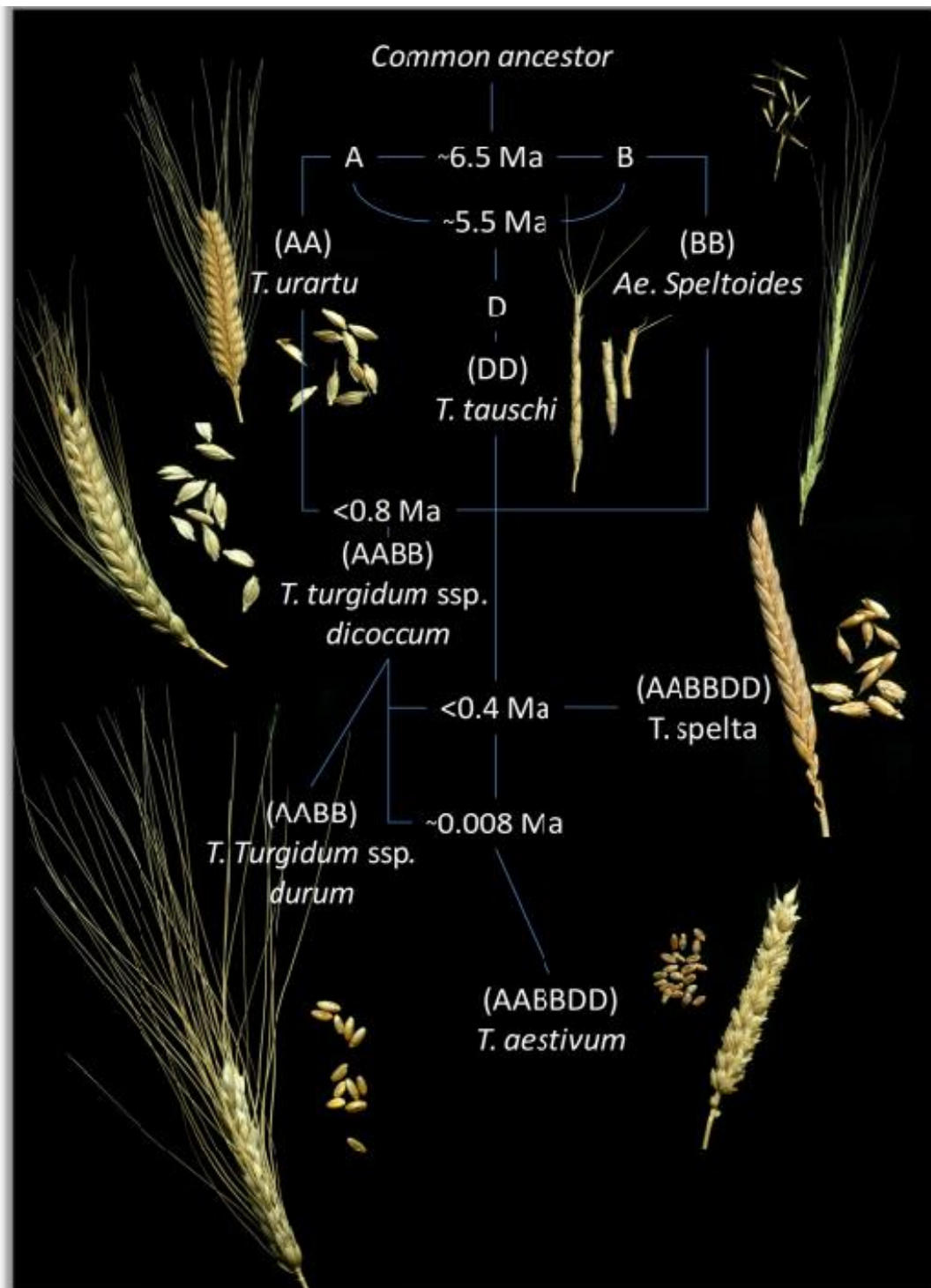
Η καλλιέργεια σιταριού αποτελεί το πιο διαδεδομένο καλλιεργούμενο σιτηρό στον κόσμο. Είναι φθινοπωρινή καλλιέργεια, άλλα σε περιοχές και δριμύ χειμώνα καλλιεργείται σαν εαρινή. Η συγκομιδή στην Εύκρατη ζώνη γίνεται τους μήνες Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο. Το πιο διαδεδομένο είδος σιταριού παγκοσμίως είναι το μαλακό σιτάρι, γιατί προσαρμόζεται καλύτερα στο κρύο από ότι το σκληρό. Το σκληρό σιτάρι δίνει καλή ποιότητα σε ξηροθερμικά περιβάλλοντα. (Παπακώστα-Τασοπούλου 2012)

Η καλλιεργούμενη έκταση με σιτάρι στην χώρα μας, από το 1940 μέχρι σήμερα διατηρείται σε σταθερά επίπεδα 8-10 εκατομμύρια στρέμματα ετησίως. Οι μέσες αποδόσεις αυξήθηκαν σημαντικά και αυτό οφείλεται στην χρησιμοποίηση βελτιωμένων ποικιλιών και λιπασμάτων, στη βελτίωση της τεχνικής καλλιέργειας και στην εκμηχάνιση. Η χώρα μας είναι αυτάρκης στο σιτάρι και έχει περιθώρια

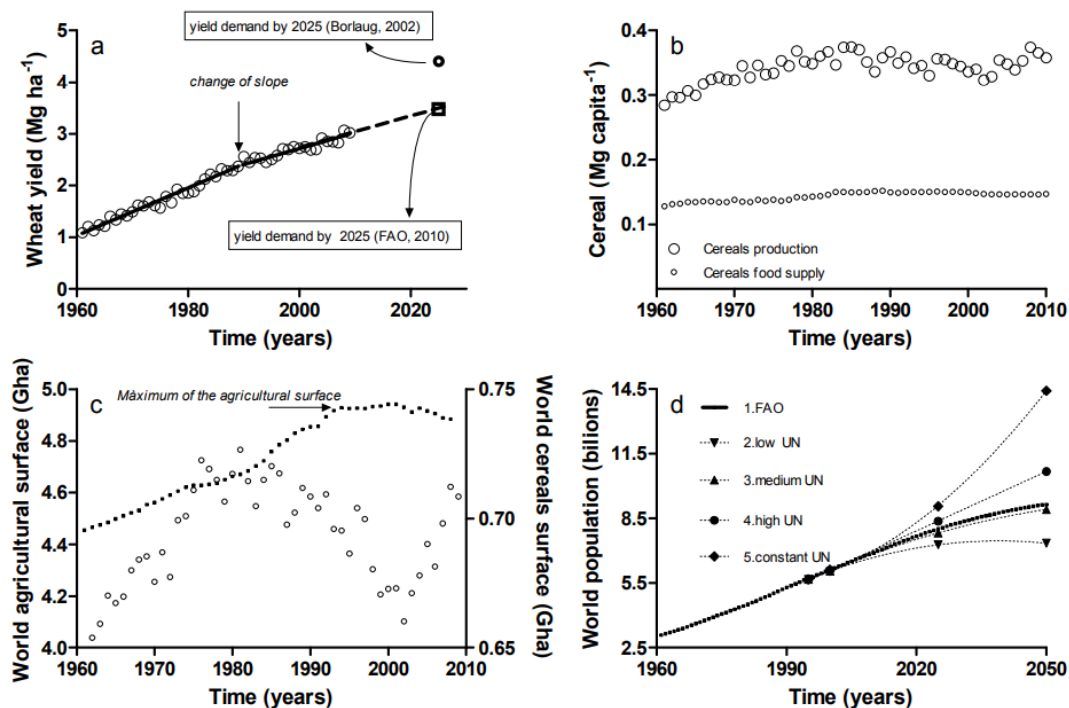
εξαγωγής. Το σιτάρι καλλιεργείται συνήθως σε μη αρδευόμενους αγρούς και μόνο για λόγους αμειψισποράς σε αρδευόμενους.

Το σιτάρι είναι ένα από τα πιο σημαντικά δημητριακά που τροφοδοτούν την ανθρωπότητα (Shewry, 2009). Ωστόσο, με τις τελευταίες εκτιμήσεις αυξάνονται οι ανησυχίες σχετικά με την πιθανότητα η παραγωγή τροφίμων να μην καλύψει τη ζήτηση στο εγγύς μέλλον (Reynolds et al., 2012· Keating et al. 2014), δεδομένου ότι μέχρι το 2050 η ανθρωπότητα θα έχει φτάσει τα 9,1 δισεκατομμύρια, η παραγωγή τροφίμων πρέπει να αυξηθεί περίπου κατά 70% (FAO, 2009) ή έως και 98% λαμβάνοντας υπόψη την υψηλότερη αναμενόμενη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη (Valin et al., 2014). Μετά από αυτές τις σκέψεις, ο Borlaug, 2002 υπολόγισε ένα 57% έως το έτος 2025· που για το σιτάρι σημαίνει ότι η παγκόσμια μέση απόδοση πρέπει να αυξάνεται με ρυθμό 70 kg/ha ετησίως. Ωστόσο, οι αυξήσεις στην παραγωγή τροφίμων (Borlaug, 2002) και στο δυναμικό απόδοσης σίτου μειώνονται (Garcia et al., 2013), ένα γεγονός που μπορεί να παρατηρηθεί ως επί το πλείστον ως μείωση της παραγωγής της δεκαετία του '90 και ότι η παγκόσμια παραγωγή έχει φτάσει στο μέγιστο της απόδοσης των c 5Gh A.

Επιπλέον, λιγότερο από το μισό της ποσότητας των δημητριακών που παράγονται καταναλώνεται ως τρόφιμα. και επομένως η αναδιάρθρωση της τελικής χρήσης των σιτηρών, δηλαδή η αύξηση της άμεσης κατανάλωσης δημητριακών, θα μπορούσε να διατηρήσει αυξημένο ανθρώπινο πληθυσμό. Επιπλέον, το γεγονός ότι η περιοχή καλλιέργειας σιτηρών δεν περιορίζεται από το επίπεδο σταθερότητας που επιτυγχάνεται στη συνολική γεωργική έκταση, υποδηλώνει ότι σήμερα η παραγωγή περιορίζεται περισσότερο από την τιμή παρά από τη διαθεσιμότητα της γης, και γι' αυτό εξακολουθεί να υπάρχει κάποιο περιθώριο αύξησης της παραγωγής δημητριακών μέσω αύξησης της περιοχής όταν οι τιμές και η ζήτηση αυξάνονται.



Εικόνα 2.1: Μοντέλο φυλογενετικής ιστορία μαλακού και σκληρού σίτου και περίοδοι αποκλίσεων και υβριδισμών. Πηγή :Marcusenet al. (2014), <http://www.sortengarten.ethz.ch>.



Σχήμα 2.1. Παγκόσμια μέση απόδοση σίτου (κύκλοι) και πρόβλεψη απόδοσης για την κάλυψη της ζήτησης το 2025 (διακεκομμένη γραμμή)

α), Παγκόσμια παραγωγή δημητριακών ανά θερμότητα

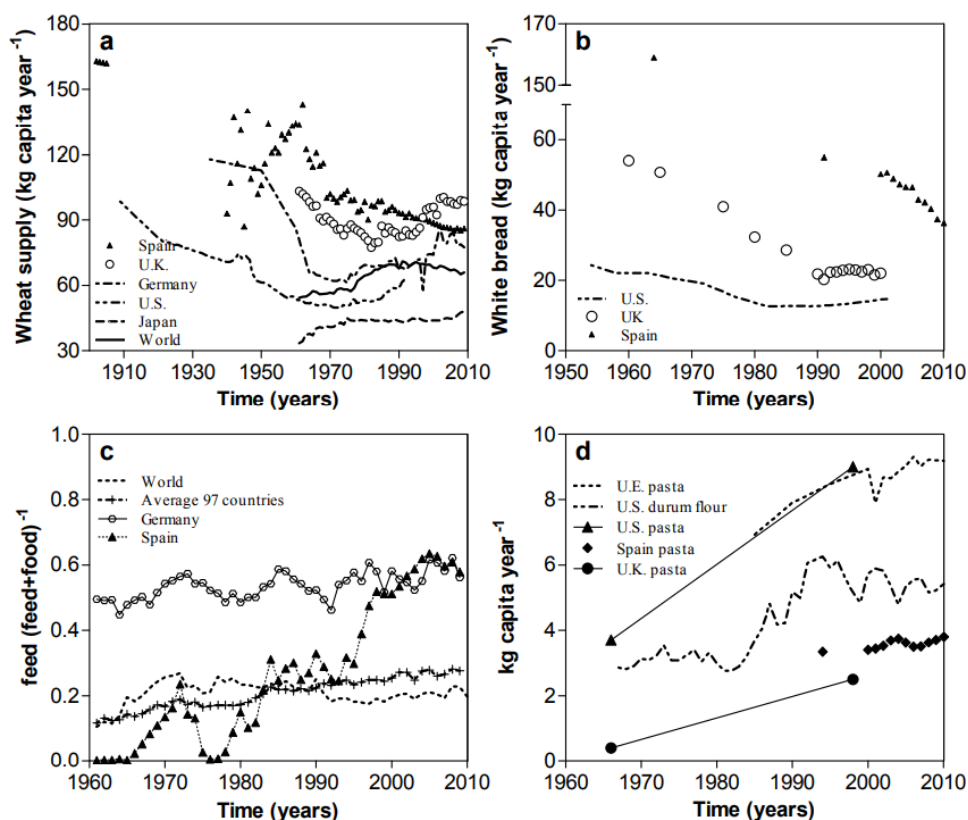
β), Γεωργική επιφάνεια (διάστικτη γραμμή) και επιφάνεια δημητριακών (κύκλοι) στον κόσμο

γ), Κόσμος ανθρώπινος πληθυσμός και πιθανά μελλοντικά σενάρια: 1.FAO και OHE,

Πηγή: www.fao.org και OHE www.un.org

Ωστόσο, η κλιματική αλλαγή και η υπερβολική χρήση των πόρων μπορεί δυνητικά να επιδεινώσει δραματικά την κατάσταση (Wheeler and von Braun, 2013), οι παγκόσμιες αυξήσεις έως και 2,2 °C αναμένονται μέχρι το μισό αυτού του αιώνα (IPCC, 2014) με άμεσες απώλειες απόδοσης μεταξύ 2,5 και 16% υπολογίζονται για κάθε 1°C αύξησης της εποχιακής θερμοκρασίας (Battisti και Naylor, 2009). Τα φαινόμενα ξηρασίας του νερού θα διπλασιαστούν μέχρι τα μέσα αυτού του αιώνα (Sheffield and Wood, 2008) και εκτιμάται ότι απαιτείται αύξηση κατά 20% της ζήτησης νερού άρδευσης προκειμένου να διατηρηθούν οι τρέχουσες αρδευόμενες εκτάσεις (Wada et al., 2013). Επιπλέον, το N αναμένεται να είναι λιγότερο διαθέσιμο λόγω των αυξήσεων του κόστους των λιπασμάτων, που σχετίζεται με τις αναμενόμενες αυξήσεις στις τιμές της βενζίνης (Abas et al., 2015) και επειδή οι

κυβερνητικές πολιτικές θα περιορίσουν τη χρήση N (Winiwarter and Hetelingh, 2011), ως συνέπεια του σημαντικού ρόλου του στην υπερθέρμανση του πλανήτη και στη ρύπανση των υδάτων (Pinderetal., 2012). Σε αυτό το πλαίσιο, θα πρέπει να καταβληθεί προσπάθεια για την αύξηση της απόδοσης και την προσαρμογή των καλλιεργειών αγρού, ιδίως με έμφαση στην αύξηση της αποτελεσματικότητας στη χρήση των πόρων των βασικών σιτηρών.



Σχήμα 2.2. Συνολική προσφορά σίτου τροφίμων ανά έτος α), προσφορά λευκού ψωμιού ανά έτος β), αναλογία ζωοτροφών έναντι του συνόλου των τροφίμων και ζωοτροφών που παρέχονται κατά έτος γ), κατανάλωση ζυμαρικών κατά κεφαλήν ανά έτος. Πηγή: www.fao.org, Cussó and Garrabou, 2007, (<http://www.magrama.gob.es>, www.gov.uk/και www.usda.gov .

Η κατανομή των καλλιεργούμενων εκτάσεων στην χώρα μας μεταξύ μαλακού και σκληρού σίτου καθορίστηκε από τη στήριξη των τιμών των προϊόντων των δύο αυτών ειδών από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Το μέλλον της καλλιέργειας σιτηρών στην χώρα μας μετά την αναμόρφωση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ 2023-2027) θα παίζει σημαντικό ρόλο, λόγω της διατήρησης και αύξησης της ενίσχυσης. (Παπακώστα- Τασοπούλου 2012)

2.2 Παγκόσμια παραγωγή σκληρού σίτου

Το σκληρό σιτάρι (*Triticum durum*) είναι μια σημαντική τροφή στον κόσμο, με εκτιμώμενη ετήσια παγκόσμια παραγωγή 36 εκατομμύρια τόνους (Chris, 2017). Οι μεγαλύτερες χώρες παραγωγής είναι η Τουρκία και ο Καναδάς με εκτιμώμενα 2 εκατομμύρια εκτάρια έκταση (Statistics Canada, 2017; USDAFAS, 2015), ακολουθούμενες από την Αλγερία, την Ιταλία και την Ινδία, η καθεμία καλλιεργεί πάνω από 1,5 εκατομμύρια εκτάρια (Le Lamer & Rousselin, 2011; Bonjean et al., 2016). Γαλλία, Ελλάδα, Μαρόκο, Πακιστάν, Πορτογαλία, Καζακστάν, Ρωσία, Ισπανία και η Τυνησία καλλιεργούν σκληρό σιτάρι σε 0,5 έως 0,8 εκατομμύρια εκτάρια ετησίως (USDAFAS, 2015). Αζερμπαϊτζάν, Ιράκ και το Ιράν μαζί καλλιεργούν σκληρό σιτάρι σε πάνω από 0,7 εκατομμύρια εκτάρια (Bonjean et al., 2016). Επιπλέον, η Αίγυπτος, η Ιορδανία και ο Λίβανος καλλιεργούν σε σχετικά μεγάλες εκτάσεις (El – Areed et al., 2014). Η έρημος Σονόρα και άλλες μικρές περιοχές του Μεξικού στοχεύουν επίσης στην παραγωγή αυτής της καλλιέργειας για την εξαγωγική αγορά σε περίπου 0,2 εκατομμύρια εκτάρια (Juarez & Wolf, 2015). Η Αυστραλία διερευνά παρομοίως την καλλιέργεια αυτής της καλλιέργειας με 0,1 εκατομμύρια εκτάρια που διατίθενται ετησίως για παραγωγή (John, 2016). Στην υποσαχάρια Αφρική (SSA), η Αιθιοπία είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός σκληρού σίτου, με περίπου 0,6 εκατομμύρια εκτάρια (EPAR, 2016).

Υπάρχει πολύ μεγάλο ποσοστό γενετικής ποικιλότητας για αυτήν την καλλιέργεια και αυτή η ποικιλομορφία εκτείνεται στους πολλούς παραδοσιακούς τρόπους κατανάλωσής του, συμπεριλαμβανομένων πολλών μοναδικών πιάτων που αντιπροσωπεύουν με υπερηφάνεια οι εθνικές ταυτότητες: ζυμαρικά, κουσκούς, άζυμα ψωμιά κλπ (Elias, 1995). Ανεξάρτητα από τη στενή σύνδεσή του με τα παραδοσιακά πιάτα, το σκληρό σιτάρι σήμερα καλλιεργείται στις ανεπτυγμένες χώρες κυρίως ως καλλιέργεια που τροφοδοτήσει την ακμάζουσα βιομηχανία τροφίμων. Η ετήσια παραγωγή ζυμαρικών υπολογίστηκε σε 14,3 εκατομμύρια τόνους το 2013, με την παγκόσμια αγορά να προσεγγίζει τα 14,9 δισεκατομμύρια (IPO,

2016). Σε παγκόσμια κλίμακα, το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσής και παραγωγής τους εντοπίζεται στην Ευρώπη, τη Νότια Αμερική και τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Η Αφρική παράγει μόνο το 5,6% της συνολικής παραγωγής ζυμαρικών, κυρίως στην Αίγυπτο, τη Νότια Αφρική και την Τυνησία (IPO, 2016).

Ενώ το σκληρό σιτάρι παραμένει μια κρίσιμη βασική τροφή για τους μικροκαλλιεργητές σε παραμεθόριες περιοχές, χάρη στην εξαιρετική προσαρμογή του στις κλιματικές πιέσεις, η μεγάλη κλίμακα παραγωγή του συνδέεται στενά με τη μεγαλύτερη νομισματική του απόδοση. Ελλείπει κρατικών επιδοτήσεων που ωθούν προς την καλλιέργεια άλλων καλλιεργειών, οι αγρότες τείνουν να προτιμούν το σκληρό σιτάρι όσο η αγορά συνεχίζει να εγγυάται πρόσθετα κέρδη.

2.3 Γεωγραφική κατανομή του σκληρό σιτάρι και χαρακτηριστικά

Το σκληρός σίτος είναι ένα δημητριακό που καλλιεργείται σε ένα πιο περιορισμένο φάσμα γεωργικών περιοχών, αξιολογείται στη λεκάνη της Μεσογείου που αντιπροσωπεύει περισσότερο από το ήμισυ της παγκόσμιας έκτασης καλλιέργειας σκληρού σίτου (International Grains Council, 2010). Το μεσογειακό κλίμα, το 10% της έκτασης καλλιέργειας σιταριού, χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη συστατικών καταπονήσεων που επηρεάζουν μάλλον κρίσιμα την απόδοση των σιτηρών της ξηράς, οι πιο σημαντικές από αυτές είναι οι καταπονήσεις νερού και υψηλής θερμοκρασίας, οι οποίες συνδυάζονται χρονικά, συνήθως κατά το τελικό τμήμα της καλλιεργητικής περιόδου. (Loss and Siddique, 1994), το οποίο συνήθως επηρεάζει την ικανότητα πλήρωσης των δημητριακών. Η ξηρή περίοδος μπορεί να διαρκέσει από 1 έως 8 μήνες και οι βροχοπτώσεις, συνήθως μικρότερες από 500 mm ετησίως (Acevedo et al., 1999), εμφανίζονται ακανόνιστα από το χειμώνα έως την άνοιξη.

Στη λεκάνη της Μεσογείου, όπου σπέρνεται τόσο μαλακό όσο και σκληρό σιτάρι (αναλογίες ανάλογα με κάθε συγκεκριμένη χώρα), παραδοσιακά η καλλιέργεια σκληρού σίτου και κριθαριού ήταν σε συνθήκες χαμηλότερης απόδοσης (< 450 mm έτος⁻¹) και μαλακό σιτάρι σε σχετικά λιγότερο στρεσογόνες συνθήκες (Ceccarelli et al. 1987· Acevedo, 1991). Επιπλέον, σε άλλες περιοχές του κόσμου, όπως τον Καναδά, τη Βόρεια Ντακότα (ΗΠΑ) ή το νότιο τμήμα της επαρχίας του Μπουένος Άιρες (Αργεντινή), το σκληρό σιτάρι καλλιεργείται επίσης σε συνθήκες σχετικά χαμηλότερης απόδοσης από το μαλακό σιτάρι. Ίσως λόγω της ιδιαίτερης κατανομής

του, η παραγωγή σκληρού σίτου συνδέεται με σχετικά καλές αποδόσεις σε συνθήκες χαμηλής απόδοσης (Morris et al., 2015). Ο άλλος λόγος πίσω από την ιδιαίτερη κατανομή του σε συνθήκες χαμηλότερης απόδοσης μπορεί να είναι η απαίτησή του για σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη μαζί με τις εμπειρικές ενδείξεις αρνητικών σχέσεων μεταξύ απόδοσης και ποσοστού πρωτεΐνης (Kibite και Evans, 1984). Ωστόσο, καθώς οι απαιτήσεις μιας υψηλής πρωτεΐνης μπορούν επίσης να επιτευχθούν υπό συνθήκες υψηλής απόδοσης άρδευσης, με την επαρκή λίπανση και τον γονότυπο (π.χ. Abadetal., 2004· Rharrabti et al., 2001), ο κύριος λόγος πρέπει να ήταν η υπόθεση ότι ο σκληρός σίτος είναι πιο ανεκτικός στις καταπονήσεις.

2.4 Ταξινόμηση

Το σιτάρι ανήκει στο γένος *Triticum*. Η κατάταξη των ειδών του γένους γίνεται με βάση τις ομάδες χρωμοσωμάτων που περιέχουν. Το γένος *Triticum* έχεις τρεις κύριες ομάδες χρωμοσωμάτων τις A, B, D. Ανάλογα με τον αριθμό των ομάδων τα είδη διακρίνονται σε διπλοειδή AA ($2n=14$), τετραπλοειδή AABB ($2n=28$) και εξαπλοειδή AABBDD ($2n=42$). Υπάρχει και μια τέταρτη ομάδα χρωμοσωμάτων, η οποία μοιάζει με την B και προσδιορίστηκε στο είδος *Triticum timopheevii*, με γένωμα AAGG.

Από τα καλλιεργούμενα είδη το πιο διαδεδομένο παγκοσμίως είναι το *T. aestivum* L. subsp. *aestivum* κοινό σιτάρι, το οποίο χρησιμοποιείται για την παρασκευή ψωμιού. Ακολουθεί με μεγάλη διαφορά το *T. turgidum* L. subsp. *Durum* (Desf.) Husn., σκληρό σιτάρι το οποίο παράγεται το σιμιγδάλι που χρησιμοποιείται για την παρασκευή ζυμαρικών. (Παπακώστα- Τασοπούλου 2012)

Διασταυρώσεις μεταξύ ειδών του γένους *Triticum* και συγγενικών γενών έδωσαν βιώσιμους απογόνους. Το Τριτικάλε προήλθε από τη διασταύρωση του *Triticum* και *Secale*, ενώ το *Agroticum* με το *Agropyron*. Οι στόχοι αυτών των διασταυρώσεων είναι η δημιουργία γενετικής παραλλακτικότητας στο σιτάρι, η αντοχή στις ασθένειες και έντομα, οι αυξημένες αποδόσεις κάτω από δυσμενείς συνθήκες, όπως οι χαμηλές θερμοκρασίες και τα άγονα εδάφη. Επίσης έχει ως στόχο την δημιουργία πολυετούς σιταριού. (Παπακώστα- Τασοπούλου 2012)

2.5 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Η ταξιανθία είναι στάχυς, ο οποίος αποτελείται από πολλά σταχύδια τοποθετημένα εναλλάξ επάνω στην ράχη. Σε κάθε θέση υπάρχει ένα σταχύδιο. Η ράχη σε άλλα είδη είναι ισχυρή και σε άλλα εύθραυστη. Το μήκος του στάχου είναι συνήθως 7-10 cm και η ταξιανθία είναι συμπαγής. Οι συμπαγέστεροι στάχτες έχουν μικρότερο μήκος και οι αραιότεροι μεγαλύτερο, ώστε ο αριθμός σταχυδίων ανά στάχυ να είναι σχετικά σταθερός.

Κάθε σταχύδιο αποτελείται από 2 έως 9 άνθη από τα οποία το ένα ή τα δύο ανώτερα είναι στείρα. Παράγονται συνήθως 2 έως 3 καρποί σε κάθε σταχύδιο. Στις αγανοφόρες ποικιλίες κατά την ωρίμανση το χρώμα των αγάνων είναι λευκό, ερυθρό ή μαύρο. Τα μαύρα άγανα τα συναντάμε συνήθως στο σκληρό σιτάρι. Το μέγεθος και το σχήμα του κόκκου ποικίλλει εντός ευρύτατων ορίων. Στο αντίθετο του εμβρίου άκρο του κόκκου υπάρχει ένας θύσσανος τριχιδίων, ο οποίος καλείται βούρτσα. Το μήκος των τριχιδίων και η έκταση που καταλαμβάνει η βούρτσα ποικίλει ανάλογα με το είδος του σιταριού και την ποικιλία. Οι κόκκοι επίσης διαφέρουν ως προς το χρώμα και την σκληρότητα.

2.6 Διαμόρφωση της απόδοσης

2.6.1 Στάδια και φάσεις ανάπτυξης

Η ανάπτυξη του σιταριού ακολουθεί μια φάση τριών επιπέδων: την βλαστική, την αναπαραγωγική και την φάση γεμίσματος του κόκκου. Στη διάρκεια αυτών των φάσεων το φυτό διαμορφώνεται και αυξάνει τα διάφορα όργανα του. Η διάρκεια της κάθε φάσης και ο αριθμός των καταβολών καθορίζεται από την αλληλεπίδραση του γενοτύπου και του περιβάλλοντος. Η βλαστική φάση ξεκινάει με την σπορά μέχρι την έναρξη των καταβολών των ανθέων, η αναπαραγωγική από την έναρξη των καταβολών των ανθέων μέχρι και την άνθηση και η τρίτη του γεμίσματος του κόκκου από την άνθηση μέχρι την ωρίμανση. Πριν από την άνθηση διαμορφώνεται ο αριθμός των κόκκων και μετά την άνθηση καθορίζεται το βάρος των κόκκων.

Η περίοδος μεταξύ του τέλους σχηματισμού των σταχυδίων και της άνθησης είναι πολύ μεγάλης σημασίας. Αυτό προκύπτει από την υψηλή συσχέτιση που παρουσιάζει η απόδοση με τον αριθμό των κόκκων ανά μονάδα επιφάνειας σε σχέση με το ατομικό βάρος του κόκκου.

Η αύξηση του κόκκου από το σιτάρι ακολουθεί την τυπική σιγμοειδή καμπύλη η οποία στην ουσία είναι μια εικόνα της φυσιολογίας εναπόθεσης του

αμύλου, καθόσον το άμυλο λόγω της υψηλής συγκέντρωσής του στον κόκκο συντελεί στη διαμόρφωση της καμπύλης. Το άμυλο στον καρπό βρίσκεται με την μορφή αμυλοκόκκων στα κύτταρα του ενδοσπερμίου.

Σιγμοειδή καμπύλη ακολουθεί και η συγκέντρωση της πρωτεΐνης στον κόκκο. Ο ρυθμός εναπόθεσης πρωτεΐνης στη διάρκεια της ευθύγραμμης φάσης είναι περίπου 0,15-0,20 mg/κόκκο/ημέρα ανάλογα με το γενότυπο, τη λίπανση, τη θερμοκρασία και άλλους παράγοντες. Λόγω της επίδρασης όλων αυτών των παραγόντων, η συγκέντρωση πρωτεΐνης στον κόκκο μπορεί να κυμαίνεται από 4 έως 10 mg. Κάθε κλάσμα πρωτεΐνης παρουσιάζει διαφορετικό ρυθμό και διάρκεια σύνθεσης. (Παπακώστα- Τασοπούλου 2012)

2.7 Οικολογικές απαιτήσεις

Το σιτάρι είναι από τα ελάχιστα φυτά μπορούν να παράγουν ικανοποιητικά σε τόσο μεγάλη ποικιλία εδαφοκλιματικών συνθηκών. Το σιτάρι είναι C3 φυτό και ευνοείται από τις χαμηλές θερμοκρασίες. Η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος και αναπτύξης είναι από 3oC έως και 4oC η άριστη από 20o έως 25o C και η μέγιστη από 32o έως 35o C. Οι θερμοκρασίες στο στάδιο γεμίσματος του κόκκου καθορίζουν τον αριθμό των κόκκων που θα συγκομισθούν καθώς και το βάρος του κόκκου. Στις περιοχές που καλλιεργείται η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 250 έως 1750mm. Στην χώρα μας οι περισσότερες βροχοπτώσεις κυμαίνονται στο διάστημα φθινόπωρου με χειμώνα με αποτέλεσμα η απόδοση να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πιθανότητα βροχής κατά τα τελευταία στάδια της ανάπτυξης των φυτών. Επίσης πολλές βροχές κατά την περίοδο της ωρίμανσης δημιουργούν προβλήματα όπως καθυστέρηση ωρίμανσης, ανάπτυξη ασθενειών, πλάγιασμα , προσβολές από έντομα, φύτευμα των σπόρων στο στάχυ και μείωση της περιεκτικότητας των κόκκων σε πρωτεΐνη. (Παπακώστα- Τασοπούλου 2012)

2.8 Διαχείριση άροσης και υπολειμμάτων

Η άροση ήταν από καιρό ένα πρωταρχικό μέσο διαχείρισης των υπολειμμάτων των καλλιεργειών, ελέγχου των ζιζανίων και προετοιμασίας του σπόρου για την καλλιέργεια. Ωστόσο, η άροση επιταχύνει την απώλεια της υγρασίας του εδάφους μέσω της εξάτμισης και εκθέτει την επιφάνεια του εδάφους σε

μεγαλύτερο κίνδυνο διάβρωσης από τον άνεμο και το νερό και μειώνει τη μακροπρόθεσμη παραγωγικότητα.

Με νεότερα μηχανήματα και τεχνολογία ζιζανιοκτόνων, η μη άροση φύτευση του σκληρού χώματος εξαλείφει τα αρνητικά της άροσης ενώ παράλληλα επιτρέπει τον επαρκή έλεγχο των ζιζανίων και την εξαιρετική τοποθέτηση σπόρων και ανάδυση της καλλιέργειας. Η μη εδαφική φύτευση με συγκρατημένα υπολείμματα καλλιεργειών είναι μια από τις πιο σημαντικές τεχνικές ανακαλύψεις του περασμένου αιώνα για τις ξηρότερες περιοχές. Έχει επιτρέψει πιο εντατική καλλιέργεια, υψηλότερες αποδόσεις, καλύτερη απόδοση χρήσης του νερού και ανώτερη προστασία του εδαφικού πόρου.

Επιπλέον, οι παράμετροι υγείας του εδάφους γενικά βελτιώνονται μετά από μερικά χρόνια συνεχούς καλλιέργειας χωρίς καλλιέργεια. Οι ρυθμοί διείσδυσης του νερού βελτιώνονται και η ευεργετική βιολογική δραστηριότητα αυξάνεται. Τα ποσοστά λιπασμάτων αζώτου (N) είναι 22.67 kg ανά στρέμμα λιγότερα για μακροχρόνια παραγωγή σκληρού χωρίς άροση, σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καλλιεργούμενα χωράφια, λόγω της ενισχυμένης απόδοσης αζώτου από τον βιολογικό κύκλο του N και της μείωσης της πιθανότητας απωλειών έκπλυσης και απονιτροποίησης.

Η συγκράτηση των υπολειμμάτων βοηθά στην προστασία του εδάφους από την αιολική διάβρωση και την εξάτμιση της καλλιεργητικής περιόδου και ενισχύει τη μεγαλύτερη μικροβιακή δραστηριότητα και ποικιλομορφία εντός της κύριας ριζικής ζώνης των καλλιεργειών. Τα υπολείμματα προηγούμενων καλλιεργειών έχουν αξία ως κάλυψη και πηγή άνθρακα επειδή επιστρέφουν στο έδαφος. Αποτελούν επίσης πολύτιμη πηγή φυτικών θρεπτικών συστατικών που θα ανακυκλωθούν πίσω στο σύστημα καλλιέργειας μέσω της αποσύνθεσης. Ένας αριθμός πόρων στον ιστό μπορεί να σας παρέχει μια κατά προσέγγιση τιμή λιπάσματος ενός δεδομένου υπολείμματος καλλιέργειας (<http://igrow.org/livestock/beef/determining-a-fairvalue-of-straw/>).

Στα συστήματα χωρίς άροση, τα υπερβολικά υπολείμματα μπορεί να είναι προβληματικά, ιδιαίτερα εάν η προηγούμενη καλλιέργεια είχε καλή απόδοση ή αν ήταν καλαμπόκι. Η χρήση κοπτών και διανομέων κατά τη συγκομιδή μπορεί να βοηθήσει στην παραγωγή πιο ομοιόμορφης κάλυψης και στη διευκόλυνση της φύτευσης την επόμενη σεζόν.

Εάν κοπεί η προηγούμενη σοδειά ψηλά και αφεθεί όσο το δυνατόν περισσότερο κοτσάνι σε μικρούς κόκκους και καλαμπόκι μπορεί να βοηθήσει στην

αποφυγή ματιών υπολειμμάτων. Η δεματοποίηση και η αφαίρεση άχυρου περιστασιακά (μία στα τρία χρόνια) στις περισσότερες περιπτώσεις δεν θα επηρεάσει αρνητικά τη βιωσιμότητα του συστήματος.

Οι αμειψισπορές που εναλλάσσουν καλλιέργειες με χαμηλή παραγωγή υπολειμμάτων με καλλιέργειες υψηλής παραγωγής υπολειμμάτων είναι επίσης ένα αποτελεσματικό μέσο ρύθμισης της συσσώρευσης υπολειμμάτων. Οι περισσότεροι καλλιεργητές που έχουν χρησιμοποιήσει το άρομα για περισσότερα από 10 χρόνια παραπονιούνται για τη δυσκολία διατήρησης των υπολειμμάτων το επόμενο έτος λόγω της τεράστιας ποικιλίας μακρο και μικροοργανισμών στο σύστημά τους.

2.9 Επιλογή χωραφιού και αμειψισπορά

Η επιτυχής παραγωγή σκληρού μπορεί να είναι προβληματική κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας και της πρώιμης πλήρωσης των κόκκων σε συνθήκες υγρασίας που ευνοούν την *Fusarium head blight* (FHB)) επειδή το σκληρό σιτάρι δεν έχει υψηλό επίπεδο γενετικής αντοχής σε αυτή την ασθένεια. Οι βροχοπτώσεις μετά την ωρίμανση και πριν από τη συγκομιδή είναι επίσης προβληματικές γιατί αυτές οι συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν λεύκανση του κόκκου και να χάσει το κεχριμπαρένιο χρώμα του.

Η ανάπτυξη σκληρού σίτου μέσα σε μια κατάλληλη αμειψισπορά επηρεάζει την παραγωγικότητα της καλλιέργειας και τη δυνατότητα μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας των συστημάτων καλλιέργειας. Η καλλιέργεια σκληρού μετά από καλλιέργεια μη δημητριακών συνιστάται ιδιαίτερα. Τα θετικά για την ανάπτυξη του σκληρού μετά από πλατύφυλλη καλλιέργεια περιλαμβάνουν τα ακόλουθα, σε σύγκριση με άλλη καλλιέργεια δημητριακών:

- Αυξημένη απόδοση
- Μειωμένη πίεση της νόσου, ειδικά για ασθένειες του φυλλώματος που μεταδίδονται από υπολείμματα, όπως η σεπτορία αιτιώδης οργανισμός FHB ή ψώρα
- Μειωμένη πιθανότητα συσσώρευσης παθογόνων παραγόντων που μεταδίδονται στο έδαφος
- Ικανότητα χρήσης ζιζανιοκτόνων με διαφορετικούς τρόπους δράσης, γεγονός που βοηθά στην καθυστέρηση της συσσώρευσης ανθεκτικών/ανεκτικών στα ζιζανιοκτόνα ζιζανίων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς υπάρχουν

περιορισμένες επιλογές για ορισμένα από τα ζωτικής σημασίας ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των ζιζανίων στο σκληρό σιτάρι.

Κατά την καλλιέργεια θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Όταν μια καλλιέργεια οσπρίων προηγείται του σκληρού σιταριού, υπάρχει διαθέσιμη ποσότητα αζώτου 18,14 kg ανά στρέμμα και μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του κόστους λιπάσματος. Το να ακολουθηθεί μια καλλιέργεια οσπρίων μειώνει επίσης τον κίνδυνο για FHB, σε σύγκριση με το να ακολουθηθεί καλαμπόκι ή μικρό κόκκο.

- Καλλιέργειες με ρηχές ρίζες και νωρίτερα ωρίμανση όπως ο αρακάς και οι φακές γενικά χρησιμοποιούν λιγότερο νερό από άλλες καλλιέργειες και αφήνουν περισσότερο νερό για την επόμενη καλλιέργεια.

- Οι καλλιέργειες με βαθιές ρίζες, όπως ο ηλίανθος, το καλαμπόκι τείνουν να χρησιμοποιούν περισσότερο νερό από το έδαφος και να το εξάγουν από βαθύτερα βάρη από άλλες καλλιέργειες. Αυτές δεν είναι καλές προηγούμενες καλλιέργειες εάν η βροχόπτωση είναι πιθανό να είναι χαμηλή ή η αποθηκευμένη υγρασία είναι σημαντικό μέρος του νερού που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου και όταν σημειώθηκε μικρή αναπλήρωση υγρασίας του εδάφους κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

- Το καλαμπόκι παράγει σημαντικές ποσότητες υπολειμμάτων. Τα υπολείμματα καλαμποκιού μπορούν να φιλοξενήσουν *Fusarium* και να αυξήσουν το πρόβλημα της FHB σε χρόνια που το περιβάλλον είναι ευνοϊκό για FHB. Επομένως, δεν συνιστάται η καλλιέργεια σκληρού μετά από καλαμπόκι.

- Το σκληρό σιτάρι που καλλιεργείται για την παραγωγή θεμελιώδους ή καταχωρισμένης κατηγορίας σπόρων δεν μπορεί να φυτευτεί σε γη που είχε καλλιεργηθεί σε ανοιξιάτικο, σκληρό ή χειμερινό σιτάρι τα δύο προηγούμενα έτη.

- Τα δεδομένα υποδηλώνουν ότι σε ορισμένες αλληλουχίες καλλιεργειών, οι αποδόσεις σκληρού σκληρού μπορεί να βελτιωθούν όταν τα δημητριακά καλλιεργούνται μόνο μία φορά στα τρία χρόνια (www.ars.usda.gov/ARUserFiles/30640500/CSC/CSC.htm).

2.10 Λίπανση

Για τις κλιματολογικές συνθήκες και τον τρόπο καλλιέργειας του σιταριού στην χώρα μας συνιστώνται 10-15 kg N / στρ. Οι μεγαλύτερες ποσότητες πρέπει να

εφαρμόζονται σε περιοχές όπου η απόδοση σκληρού σίτου ξεπερνάει τα 500 kg/ στρ. Η αζωτούχος λίπανση των υψηλόσωμων ποικιλιών πρέπει να είναι σχετικά περιορισμένη. Μεγάλη περιεκτικότητα του εδάφους σε N συντελεί στην ανάπτυξη μεγάλης βλαστικής μάζας με αυξημένο κίνδυνο πλαγιάσματος. Η λίπανση με φώσφορο δεν είναι απαραίτητη σε όλα τα εδάφη και σε κάθε καλλιεργητική περίοδο. Ο φώσφορος δεν εκπλύνεται αλλά δεσμεύεται στο έδαφος και αποδίδεται σταδιακά στα φυτά. Σε εδάφη με έλλειψη P συνιστώνται μέχρι 6 kg/στρ. Προσθήκη K και άλλων στοιχείων δεν χρειάζεται γιατί στα εδάφη στην Ελλάδα δεν παρατηρείται έλλειψη. Η λίπανση με το μεγαλύτερο ποσοστό του N και όλο το P γίνεται πριν από τη σπορά με διασκορπισμό σε όλη την επιφάνεια του αγρού και ενσωμάτωση και το υπόλοιπο N προστίθεται την άνοιξη επιφανειακά. (Παπακώστα- Τασοπούλου 2012)

2.11 Σπορά

Το σιτάρι στην χώρα μας σπέρνεται το φθινόπωρο. Για τις ορεινές περιοχές κατάλληλος μήνας είναι ο Οκτώβριος και για τις υπόλοιπες ο Νοέμβριος. Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας σπόρου για σπορά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η γονιμότητα του εδάφους, η εποχή σποράς, οι θερμοκρασίες κάθε περιοχής κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η προετοιμασία του εδάφους και η ποικιλία. Στην χώρα μας συνιστάται από 14 έως 18 kg σπόρου/στρ σε περιοχές με ήπιο χειμώνα και μέχρι 20 kg σπόρου/στρ σε ορεινές περιοχές και για ποικιλίες που δεν αδελφώνουν πολύ. (Παπακώστα- Τασοπούλου 2012)

2.12 Επιλογή ποικιλίας

Η έρευνα προτείνει ότι η επιλογή ποικιλίας είναι ένα θεμελιώδες συστατικό για την απόκτηση σκληρού σίτου υψηλής απόδοσης, υψηλής ποιότητας. Η επιλογή της ποικιλίας μπορεί να επηρεάσει την απόδοση, την ποιότητα των σιτηρών και το είδος των πρακτικών διαχείρισης που μπορεί να χρειαστούν για τη βελτιστοποίηση της κερδοφορίας. Οι σκληρές ποικιλίες ποικίλλουν ως προς τα αγρονομικά και ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Επιπλέον, η απόδοση της ποικιλίας μπορεί να αλληλεπιδράσει με το περιβάλλον, που σημαίνει ότι η απόδοση μιας ποικιλίας σε

σχέση με μια άλλη ποικιλία μπορεί να αλλάξει, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο καλλιεργούνται.

Όταν εξετάζουν μια ποικιλία σκληρού σίτου, οι παραγωγοί θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία που μπορεί να προσφέρει μια ποικιλία, τα χαρακτηριστικά του αγρού και τις καιρικές συνθήκες και τις προκλήσεις ασθενειών που μπορεί να σχετίζονται με την καλλιέργεια.

Η απόδοση είναι ένα σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Κατά την αξιολόγηση μιας ποικιλίας ως προς το δυναμικό απόδοσης της, χρησιμοποιούνται δεδομένα από επαναλαμβανόμενες δοκιμές σε πολλές τοποθεσίες και έτη, εάν είναι δυνατόν. Οι ποικιλίες που έχουν καλή απόδοση όταν τα αποτελέσματα υπολογίζονται κατά μέσο όρο από πολλά περιβάλλοντα πιθανότατα θα έχουν καλή απόδοση στις μελλοντικές εποχές. Αυτές οι ποικιλίες χαρακτηρίζονται ως σταθερές ποικιλίες και είναι πιο πιθανό να είναι οι πιο παραγωγικές, χρόνο με το χρόνο, σε σύγκριση με μια ποικιλία με σχετικά πολύ υψηλή απόδοση σε μια τοποθεσία/έτος και μόνο μέση απόδοση σε άλλα περιβάλλοντα.

Ένα άλλο στοιχείο είναι η αντοχή σε ασθένειες. Το να δίνεται μεγαλύτερο βάρος στην απόδοση είναι σύνηθες όταν επιλέγεται μια ποικιλία. Ωστόσο, η αντίσταση του ξενιστή σε ασθένειες μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την απόδοση της καλλιέργειας, επομένως θεωρήστε την αντοχή στις ασθένειες ως σημαντικό κριτήριο κατά την επιλογή μιας ποικιλίας.

Οι περισσότερες διαθέσιμες ποικιλίες έχουν καλά επίπεδα αντοχής στη σκουριά των φύλλων και του στελέχους και μέτρια αντοχή σε άλλες ασθένειες των φυλλωμάτων. Ωστόσο, τα γονίδια αντοχής σε ασθένειες μπορούν να διασπαστούν καθώς εξελίσσονται τα παθογόνα. Ακόμη και με την ικανότητα διαχείρισης πολλών ασθενειών από μύκητες με ένα μυκητοκτόνο, η πιο βιώσιμη, μακροπρόθεσμη στρατηγική είναι να έχουμε την καλύτερη διαθέσιμη γενετική αντοχή σε μια προσαρμοσμένη ποικιλία.

2.13. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού

2.13.1 Σύσταση των κόκκων

Ένας καλά αναπτυγμένος κόκκος σιταριού κατά μέσο όρο αποτελείται το έμβρυο από 3% του βάρους, το περικάρπιο το 9%, το στρώμα της αλευρόνης το 8% και το αμυλώδες ενδοσπέρμιο το 80%. Οι διάφορες κλάσεις σιταριού έχουν

διαφορετική σύσταση κόκκου κυρίως όσον αφορά την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και το είδος του αμύλου, στο σκληρό σιτάρι από 14,0 έως 15,0 %.

Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες του σιταριού με βάση τη διαλυτότητά τους κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες 1) αλβουμίνες, οι οποίες είναι διαλυτές στο νερό, 2) γλοβουλίνες, οι οποίες είναι αδιάλυτες στο νερό αλλά διαλυτές σε αραιά αλατούχα διαλύματα, 3) γλοιαδίνες οι οποίες είναι αδιάλυτες τόσο στο νερό όσο και στα αλατούχα διαλύματα, αλλά διαλυτές σε αλκοολούχο διάλυμα 70% και 4) γλουτενίνες, οι οποίες είναι αδιάλυτες σε όλα τα προηγούμενα διαλύματα, αλλά διαλυτές σε αραιά οξέα ή αλκάλια. Οι πρωτεΐνες του σιταριού έχουν χαμηλή περιεκτικότητα στα απαραίτητα αμινοξέα λυσίνη, τρυπτοφάνη και μεθειονίνη.

Οι μεταβολικές πρωτεΐνες παρόλο ότι είναι σε αφθονία, συνεισφέρουν ελάχιστα στη δύναμη της ζύμης και την ποιότητα για την Παρασκευή ψωμιού. Αυτές οι πρωτεΐνες όμως είναι ουσιώδεις για την αύξηση και ανάπτυξη του νεαρού φυταρίου κατά τη βλάστηση.

Οι αποθηκευτικές πρωτεΐνες (αλβουμίνες και γλοβουλίνες) καθορίζουν τις φυσικές ιδιότητες της ζύμης. Όταν το αλεύρι αναμιγνύεται με το νερό οι αποθηκευτικές πρωτεΐνες συνδέονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίζεται μια συμπαγής μάζα που καλείται γλουτένη. Η γλουτένη έχει μοναδικές μηχανικές ιδιότητες όπως είναι η ελαστικότητα, η πλαστικότητα και η αντοχή στην έκταση. Οι υψηλού μοριακού βάρους αποθηκευτικές πρωτεΐνες είναι λιγότερο διαλυτές και συνεισφέρουν περισσότερο στη δύναμη της ζύμης από ότι οι μικρότερου μοριακού βάρους και περισσότερο διαλυτές πρωτεΐνες, οι οποίες κυρίως καθορίζουν την εκτατότητα της ζύμης. Η υφή εξαρτάται επίσης και από το λόγο γλοιαδίνης προς γλουτενίνη. Επομένως εύκολα συνάγεται το συμπέρασμα της σπουδαιότητας όχι μόνον του ποσοστού γλουτένης αλλά και της ποιότητας της.

Στο σκληρό σιτάρι η γλουτένη είναι ασθενέστερη σε σχέση με το μαλακό. Εντούτοις όμως σε ορισμένες χώρες το σκληρό σιτάρι χρησιμοποιείται και για την παραγωγή ψωμιού, το οποίο όμως έχει μικρότερο όγκο σε σχέση με το κανονικό ψωμί. Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και η ασθενέστερη γλουτένη του σκληρού σιταριού είναι τα στοιχεία που το κάνουν κατάλληλο για την παραγωγή των ζυμαρικών.

Υδατάνθρακες

Σχεδόν το σύνολο των υδατανθράκων βρίσκεται σε μορφή άμυλου. Το άμυλο αποτελείται από αμυλόζη κατά 25% και αμυλοπηκτίνη κατά 75%. Το άμυλο παίζει σπουδαίο ρόλο στον καθορισμό της ποιότητας του ψωμιού και την ικανότητα να απορροφά το νερό, να ζελατινοποιείται κ.α. Το ενζυμικό δυναμικό σε α- και β-αμυλάσες έχει μεγάλη σημασία κατά την αρτοποιήση, γιατί διασπών το άμυλο.

Λιπαρές ουσίες

Η περιεκτικότητα του κόκκου του σιταριού σε λιπαρές ουσίες είναι μικρή 1,5-2,0%.

Ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες

Ο κόκκος του σιταριού είναι πλούσιος σε κάλιο, φώσφορο, θείο, μαγνήσιο και ασβέστιο. Σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύονται Cl, Fe και Na. Επίσης στον κόκκο περιέχονται σημαντικές ποσότητες βιταμινών . Ο κόκκος του σιταριού είναι εξαιρετική πηγή λιποδιαλυτής βιταμίνης E και υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών της ομάδας B κυρίως θειαμίνη, ριβοφλαβίνη και νιασίνη. Οι βιταμίνες αυτές βρίσκονται κυρίως στο έμβρυο και συνεπώς απομακρύνονται στους κυλινδρόμυλους για την παραγωγή του λευκού αλεύρου.

2.14 Ορισμός της ποιότητας

Ο απλούστερος ορισμός είναι αυτός που αναφέρεται στην καταλληλότητα για τον σκοπό που προορίζεται : σιτάρι που είναι επιθυμητό για μια συγκεκριμένη χρήση, είναι καλής ποιότητας, σιτάρι μη επιθυμητό, είναι κατώτερης ποιότητας. Η ποιότητα του σκληρού σιταριού καθορίζεται σύμφωνα με την καταλληλότητα για παραγωγή σιμιγδαλιού και μακαρονιών.

Για τον καθορισμό της ποιότητας λαμβάνονται υπόψη διάφορα κριτήρια όπως η συμπεριφορά στο άλεσμα, η ρεολογία της ζύμης, η ποιότητα αρτοποιήσης, η θρεπτική αξία για τον άνθρωπο και τα ζώα, η ικανότητα αποθήκευσης κ.α.

2.14.1 Ποιότητα σκληρού σίτου

Τα προγράμματα αναπαραγωγής στοχεύουν στην ανάπτυξη ποικιλιών υψηλής απόδοσης με καλή ποιότητα, ανθεκτικές στις καταπονήσεις. Για να ενισχυθεί αυτή η ανοχή σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, είναι σημαντικό να βελτιωθεί η απόδοση και η ποιότητα της καλλιέργειας. Το ύψος των φυτών και των στάχων σιταριού, ο αριθμός των σταχυδίων και των σπόρων ανά στάχυ, το βάρος σπόρου ανά στάχυ, ο δείκτης συγκομιδής και η απόδοση σπόρων είναι γενικά οι πιο χρησιμοποιούμενες παράμετροι στη γονοτυπική ταξινόμηση. Τόσο ο γενότυπος όσο και η δυνατότητα απόδοσης, είναι σημαντικά στην καλλιέργεια σίτου υψηλής απόδοσης. (Atli, 1999).

Για το σκληρό σιτάρι, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνης, η περιεκτικότητα σε γλουτένη και η περιεκτικότητα σε κίτρινη χρωστική είναι οι πιο σημαντικές ποιοτικές παράμετροι. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες έχει μεγάλη σημασία στην παραγωγή σκληρού σίτου και αποτελεί τον πιο σημαντικό καθοριστικό παράγοντα για την ποιότητα της τελικής χρήσης, όπως στην παρασκευή ζυμαρικών, όπου είναι επιθυμητή η υψηλή διατροφική αξία και η υψηλή γλουτένη (Anderson, Shackley&Sawkins, 1998; Troccoli et al., 2000). Η υψηλή περιεκτικότητα γλουτένης επιτρέπει σημαντική σφριγηλότητα και σταθερότητα στα ζυμαρικά μετά το μαγείρεμα, ενώ τα ζυμαρικά που παρασκευάζονται με σιμιγδάλι ασθενούς γλουτένης τείνουν να αλλοιώνονται γρήγορα και να γίνονται μαλακά. Οι ποιοτικές και αγρονομικές παράμετροι χρησιμοποιούνται συνήθως σε προγράμματα αναπαραγωγής, αλλά ο προσδιορισμός της ποιότητας και των αγρονομικών χαρακτηριστικών σε γονότυπους χρειάζεται αρκετές μετρήσεις για την επίτευξη των διαθέσιμων αποτελεσμάτων, καθώς επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Ojaghi&Akhundova, 2010).

Οι ποιοτικές απαιτήσεις σκληρού σίτου διαφέρουν ανάλογα με τον τελικό χρήστη (Troccoli et al., 2000). Οι παραγωγοί, οι εταιρείες σπόρων, οι αγοραστές σιτηρών, οι μύλοι σιτηρών, η βιομηχανία ζυμαρικών και οι καταναλωτές αξιολογούν την ποιότητα του σκληρού σίτου από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Ωστόσο, το σκληρό σιτάρι καλλιεργείται κυρίως για την παραγωγή ζυμαρικών υψηλής ποιότητας. Για την παραγωγή ζυμαρικών υψηλής ποιότητας απαιτούνται ποιοτικά χαρακτηριστικά των συγκομισμένων σιτηρών, όπως η πυκνότητα, η υψηλή

περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και η περιεκτικότητα σε γλουτένη. Οι παράγοντες παραγωγής μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του σκληρού σίτου. Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες περιλαμβάνουν τη σωστή διαχείριση ασθενειών και τον περιορισμό της συσσώρευσης βαρέων μετάλλων.

Πολιτιστικές πρακτικές όπως καλλιέργεια ποικιλίας, επιλογή χωραφιού, αμειψισπορά, γονιμότητα, ρυθμός σποράς και ημερομηνία φύτευσης μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των σιτηρών. Η ημερομηνία φύτευσης και ο ρυθμός σποράς του σκληρού σίτου μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον παραγωγό και θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ποιότητα του συγκομιζόμενου κόκκου λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά την πλήρωση και τη συγκομιδή των κόκκων. Πολλές ασθένειες μπορούν να επηρεάσουν το σκληρό σιτάρι και συχνά απαιτείται η χρήση προστατευτικών εφαρμογών μυκητοκτόνων που είναι απαραίτητες λόγω της περιορισμένης γενετικής αντοχής.

Η μόλυνση από βαρέα μέταλλα μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα και την εμπορευσιμότητα του σκληρού σίτου. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) είναι η πιο αυστηρή όσον αφορά τη ρύθμισή της για τους ρύπους βαρέων μετάλλων όπως το Cd. Η Επιτροπή Codex Alimentarius του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών και του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (FAO/WHO) έχει ορίσει το αποδεκτό επίπεδο Cd στους κόκκους σίτου των 0,2 mg kg⁻¹ (CAC, 2009).

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά για την παραγωγή ζυμαρικών από σκληρό σιτάρι περιλαμβάνουν την ολική εκχύλιση, την εκχύλιση σιμιγδαλιού, την περιεκτικότητα σε τέφρα, τις κηλίδες, την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και τη βαθμολογία του μικρογράμματος (Troccoli et al., 2000). Η ολική εκχύλιση είναι το τμήμα του πυρήνα του σκληρού σίτου που μπορεί να αλεσθεί σε αλεύρι ή σιμιγδάλι. Η εκχύλιση σιμιγδαλιού είναι το μέρος του σιμιγδαλιού που λαμβάνεται από τον πυρήνα. Η περιεκτικότητα σε τέφρα είναι ένα μέτρο της περιεκτικότητας σε μεταλλικά στοιχεία στο αλεύρι ή το σιμιγδάλι που εξάγεται. Τα στίγματα είναι πίτουρο που ξέφυγε από τη διαδικασία καθαρισμού και καθαρισμού. Αυτές οι κηλίδες στα τελικά προϊόντα ζυμαρικών μπορούν να γίνουν αντιληπτές ως μολυσματικές ουσίες. Το σκληρό σιτάρι με υψηλή περιεκτικότητα σε ασθένειες ή ξένο υλικό είναι πιο πιθανό να προκαλέσει στίγματα στο σιμιγδάλι. Η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη στο σκληρό σιτάρι συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την υψηλή περιεκτικότητα σε γλουτένη. Η υψηλή αντοχή σε γλουτένη 4 βελτιώνει την

ποιότητα μαγειρέματος. Η ποιότητα γλουτένης του σιμιγδαλιού μπορεί να προσδιοριστεί αξιολογώντας την καμπύλη Mixogram. Οι βαθμολογίες του Mixogram βασίζονται σε μια κλίμακα από το 1 έως το 8, με υψηλότερη τιμή που υποδεικνύει την ποιότητα της ζύμης (Troccoli et al., 2000).

2.15 Προοπτικές για το μέλλον

Η αύξηση της παραγωγής του σιταριού θα προέλθει από την γενετική βελτίωση και την ένταξη της καλλιέργειας του σιταριού σε αειφορικά γεωργικά συστήματα και την ολοκληρωμένη διαχείριση περιλαμβάνοντας και το έδαφος.

Η γενετική βελτίωση επιτυγχάνει αύξηση της απόδοσης τόσο σε περιβάλλοντα με υψηλό δυναμικό παραγωγής όσο και σε χαμηλό. Η αύξηση έως τώρα προέκυψε από το χειρισμό λίγων κύριων γονιδίων όπως αυτών που ρυθμίζουν τη μείωση του ύψους, την εαρινοποίηση και την προσαρμοστικότητα στη φωτοπερίοδο.

Στα περιβάλλοντα με υψηλό δυναμικό παραγωγής θα πρέπει να δημιουργηθούν νέες παραγωγικές ποικιλίες που θα διαθέτουν αυξημένη και πιο αποτελεσματική εκμετάλλευση του νερού, του αζώτου και των άλλων εισροών με αυξανόμενο ρυθμό ανάπτυξης και αύξησης της υπέργειας βιομάζας, της φωτοσυνθετικής ικανότητας, της ικανότητας μετακίνησης των προϊόντων φωτοσύνθεσης στον καρπό, του αριθμού των κόκκων στο στάχυ και την αντοχή στους εχθρούς και στις ασθένειες.

Στα περιβάλλοντα χαμηλής δυναμικότητας θα πρέπει να δημιουργηθούν ποικιλίες που να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως αντοχή στην ξηρασία, στις υψηλές θερμοκρασίες, στην οξύτητα, στην αλκαλότητα και την μειωμένη γονιμότητα του εδάφους. (Παπακώστα- Τασοπούλου 2012)

Η γενετική βελτίωση θα προέλθει κυρίως με : 1) την ελεύθερη διακίνηση του γενετικού υλικού σε παγκόσμιο επίπεδο, 2) τα διαγονιδιακά φυτά, 3) την εξεύρεση νέας γενετικής παραλλακτικότητας μέσα στο γένος *Triticum* με διασταυρώσεις μεταξύ ειδών διαφόρου προέλευσης, ώστε να αυξηθεί η γενετική βάση του σιταριού,

4) την εφαρμογή των μοριακών δεικτών 5) τη βιοτεχνολογία 6) τη γενετική μηχανική και 7) τη διερεύνηση της ετέρωσης με σκοπό τη δημιουργία υβριδίων.

2.16 Βιοτική ανθεκτικότητα

Το σκληρό σιτάρι με ανθεκτικότητα σε βιοτικές καταπονήσεις αναπτύσσεται σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και περιβάλλοντα κάτω από διαφορετικά συστήματα παραγωγής, καθιστώντας τον εκτεθειμένο σε διάφορα βιολογικά παθογόνα που μπορεί να προκαλέσουν τεράστια απώλεια απόδοσης ή μείωση της ποιότητας των κόκκων. Οι κοινές ασθένειες περιλαμβάνουν τη σκωρίαση των φύλλων (LR), τη σκωρίαση λωρίδων (YR), τη σκωρίαση του στελέχους (SR), το ωίδιο (PM), το φουζάριο κεφαλής (FHB) κ.λπ.. Μέσω της διασταύρωσης με ανθεκτικό σκληρό σιτάρι ή εξαπλοειδές σιτάρι, τα γονίδια *Fhb1*, *Pm13* και *Lr19* (στενά συνδεδεμένα με την κίτρινη χρωστική στο ενδοσπέρμιο) και ορισμένα QTL ανθεκτικά στις ασθένειες μεταφέρθηκαν επιτυχώς στο σκληρό σιτάρι. Αναφέρθηκε ότι ορισμένες σειρές σκληρού σίτου έφεραν πολλαπλά βελτιωμένα χαρακτηριστικά, όπως αντίσταση στη σκουριά των φύλλων (*Lr14*) και στο μαύρισμα (φυλές 4 και 6), υψηλότερη απόδοση κόκκων και υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη κόκκου, μέσω διασταύρωσης με *T. araraticum*, *T. dicoccoides*, και *Ae. Speltoides* (Zaimetal., 2017). Το συνθετικό σιτάρι είναι ένας άλλος τρόπος εισαγωγής γονιδίων βιοτικής αντοχής στο σκληρό σιτάρι. Το συντιθέμενο ανθεκτικό αμφιπλοειδές AABBAA του *T. durum* και του *T. boeoticum*, του *T. monococcum* ή του *T. urartu* είναι χρήσιμοι γενετικοί πόροι για τη σκουριά, τη σκουριά των φύλλων και την αντοχή στο ωίδιο, που θα μπορούσαν να μεταφερθούν σε καλλιεργούμενο σκληρό σιτάρι (Rinaldoetal., 2017)

2.17 Αβιοτική Ανοχή

Το περιβαλλοντικό στρες, όπως η ξηρασία, η υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία και η αλατότητα του εδάφους, αποτελούν μεγάλη απειλή για την παραγωγή σκληρού σίτου. Η ενίσχυση της περιβαλλοντικής προσαρμοστικότητας του σκληρού σίτου έχει μεγάλες δυνατότητες αύξησης της απόδοσης και της ποιότητάς του. Η θερμοανοχή του σκληρού σίτου θα μπορούσε να βελτιωθεί με την πρόκληση της έκφρασης των πρωτεϊνών θερμικού σοκ. Με την εισαγωγή εξωγενών γονιδίων από το άγριο σιτάρι ο σκληρός σίτος εμφάνισε σημαντική αύξηση στην αναλογία ρίζας προς βλαστό για ενίσχυση της ανοχής στο υδάτινο στρες (Bacheretal., 2021). Η υπερέκφραση ενός γονιδίου ακουαπορίνης σίτου, θα μπορούσε να ενισχύσει σημαντικά την ανοχή στην ξηρασία και το αλάτι σε διαγονιδιακές σειρές σκληρού σίτου μειώνοντας την υπερβολική εξάτμιση νερού από τα φύλλα ως απόκριση στο έλλειμμα νερού (Ayadietal., 2019). Η επεξεργασία ασκορβικού οξέος (AsA) θα μπορούσε επίσης να είναι χρήσιμη για την ενίσχυση της ανοχής στο αλάτι του σκληρού σίτου, ενώ μπορεί να μην είναι κατάλληλη για χρήση στο χωράφι (Azzedineetal., 2011). Εκτός από τις πηγές ανθεκτικές στο γονιδίωμα D, ένα ευρύ φάσμα διασταυρώσεων με υποείδη της ομάδας σιταριού *turgidum* (*emmer*, *durum*, *carthlicum*, *turgidum*, *turanicum*, *polonicum*) βελτίωσε επίσης την ανοχή του σκληρού σίτου στο αλάτι (Munnsetal., 2000).

3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Υλικά και μέθοδοι

3.1.1 Φυτικό υλικό

Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν ποικιλίες με αυξημένη ζήτηση στην παραγωγή ζυμαρικών λόγω των ποιοτικών και ποσοτικών τους αποδόσεων καθώς επίσης και μεγάλης ζήτησης από τους γεωργούς λόγω της υψηλής τους απόδοσης. Πρόκειται για τις ιταλικές ποικιλίες σκληρού σίτου Svevo και Maestrале με ανθεκτικότητα στις ασθένειες και βελτιωμένα χαρακτηριστικά που αποδίδουν ποιοτική παραγωγή.

Η ποικιλία Svevo είναι κορυφαία ποικιλία σκληρού σίτου που δημιούργησε ο Ιταλός οίκος PSB και καλλιεργείται αποκλειστικά με συμβόλαιο για την Barilla, κατάλληλη για παραγωγή ζυμαρικών εξαιρετικής ποιότητας. (http://www.alfa-seeds.gr/el/static/wheat_svevo)

Χαρακτηριστικά ποικιλίας

Γενεαλογία	Linea Cimmyt/zenith
Εγγεγραμμένη	1996
Ιδιοκτησία	SYNGENTA

Χαρακτηριστικά φυτού

Εποχή ξεσταχιάσματος	Πρώιμη
Ύψος	Μέσο - υψηλό
Χρώμα αγάνων	Καφέ
Δυναμικό παραγωγής	Μέσο - υψηλό
Αδέλφωμα	Καλό

Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπού

Δείκτης χρώματος (Υαλλώδες), (b Minolta)	25-27
Περιεκτικότητα πρωτεΐνης	Πολύ υψηλή
Ποιότητα γλουτένης (1-10)	6

Βάρος 1000 σπόρων	>48 gr
-------------------	--------

Αντοχή σε ασθένειες- Συνθήκες

Σκωριάσεις, σεπτόρια, ωΐδιο, φουζαριώσεις	Ανθεκτικό
Κρύο, πλάγιασμα	Ανθεκτικό



Εικόνα 3.1: Ποικιλία Svevo

Η ποικιλία Maestrale καταχωρήθηκε το 2004, δημιουργήθηκε επίσης από την PSB, είναι ιδιοκτησία της Sygenta και χαρακτηρίζεται για υψηλή παραγωγικότητα και ποιότητα

Ύψος : Μέσο

Αντοχή σε παγετό: Πολύ καλή

Αντοχή σε ξηροθερμικές συνθήκες: Εξαιρετική

Αδέλφωμα: Πολύ καλό

Αντοχή σε πλάγιασμα : Πολύ καλή

Αντοχή σε σεπτόρια : Καλή

Αντοχή σε σκωρίαση: Πολύ καλή

Αντοχή σε οídio : Καλή

Εκατολιτρικό βάρος σπόρων : Υψηλό



Εικόνα 3.2 Ποικιλία Maestrone

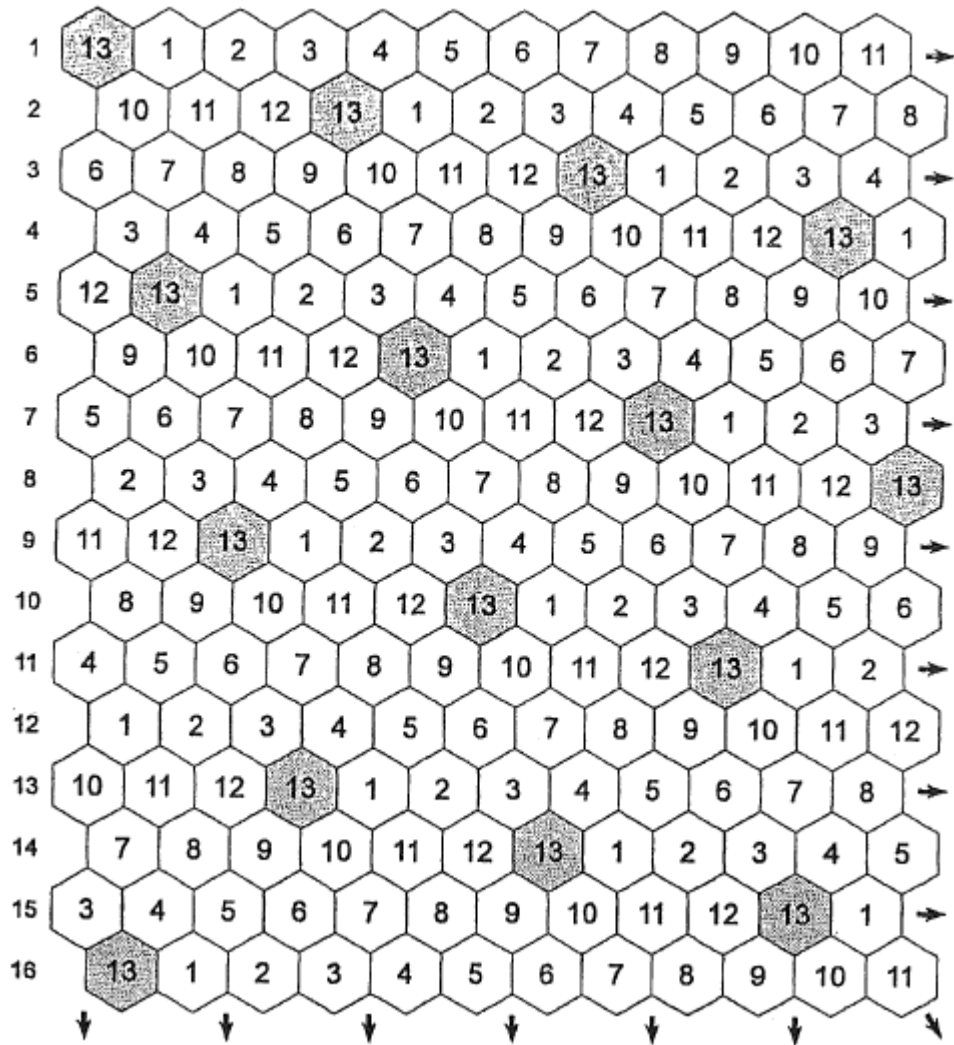
3.2 Εγκατάσταση πειράματος

Το πείραμα έλαβε χώρα στο αγρόκτημα του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων (ΙΓΒΦΠ) στην Θεσσαλονίκη κατά τις καλλιεργητικές περιόδους 2018-2019 και 2019-2020. Κατά την δεύτερη καλλιεργητική περίοδο η σπορά έγινε με το χέρι στις 27 Δεκεμβρίου 2019 και στις 17 Ιανουαρίου 2020. Το έδαφος και στα δύο πειράματα ήταν πανομοιότυπο κατά το πρώτο έτος της δοκιμής αποτελούνταν από άμμο 34,0%, ιλύ 26,0%, άργιλο 40,0% με pH 7, 83 και περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 1,83%. Το δεύτερο έτος η σύσταση του εδάφους ήταν Άμμος 34,5%, Ιλύς 26,5%, Άργιλος 39% με pH 7,80 και περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 1,79%. Όλα τα πειράματα υποβλήθηκαν στις ίδιες μεθόδους ελέγχου ζιζανίων και λίπανσης. Πριν από τη σπορά, εφαρμόστηκαν 64 κιλά αζώτου ανά στρέμμα ως φωσφορικό αμμώνιο ή 16-20-0. Τον Μάρτιο του ίδιου έτους εφαρμόστηκαν 103,5 κιλά αζώτου ως νιτρικό αμμώνιο ή 34-5-0-0. Εκτός από αυτές

τις μεθόδους, χρησιμοποιήθηκε ένα μεταφωτρωτικό ζιζανιοκτόνο για την εξόντωση των ζιζανίων καθώς και χειρονακτικό ξεβοτάνισμα. Το μεταφωτρωτικό ζιζανιοκτόνο αποτελείτο από propxycarbazone-sodium 6,75% κατά βάρος και mesosulfuron-methyl 4,5%.

Το πρώτο έτος που έλαβε χώρα η μελέτη, πραγματοποιήθηκαν δύο πανομοιότυπα πειράματα. Κάθε πείραμα επικεντρώθηκε σε μία ποικιλία δηλαδή ένα για ποικιλία Snevo και ένα για ποικιλία Maestrale. Οι πειραματικές διατάξεις σχεδιάστηκαν σε μια κυψελωτή διάταξη NR-0. Αυτό αφορούσε 540 εγκαταστάσεις φυτών για την ποικιλία Snevo και 525 θέσεις για την ποικιλία Maestrale. Αυτή η διάταξη χρησιμοποιούσε ένα τριγωνικό πλέγμα με απόσταση 1 μέτρου μεταξύ των φυτών που ισοδυναμούσε με 11.547 φυτά ανά εκτάριο. Για να αποφευχθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις του ανταγωνισμού, φυτεύτηκαν λίγα φυτά σε κάθε επιλεγμένο σημείο. Αυτό επιτρέπει τον εντοπισμό και την επιλογή ανώτερων φυτών, ενώ τους επιτρέπει να εκφράζουν πλήρως τις δυνατότητές τους. Επιπλέον, αυτή η διαδικασία διευκόλυνε τον εντοπισμό ανώτερων φυτών αποφεύγοντας τον ανταγωνισμό μεταξύ των φυτών. Κάθε επιλεγμένο σημείο φυτεύτηκε με το χέρι και αργότερα αραιώθηκε σε ένα φυτό επιλεγμένο σημείο. Μετά την ωρίμανση, τα φυτά συγκομίστηκαν χειρονακτικά και αλωνίστηκαν. Τα χαρακτηριστικά που καταγράφηκαν για κάθε φυτό περιελάμβαναν απόδοση σε σπόρο, συγκέντρωση πρωτεΐνης (PC) και βάρος σε γραμμάρια χιλίων σπόρων (TKW) και βάρος σε γραμμάρια φυτικής βιομάζας (PB). Αυτά τα δεδομένα συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας το In-fratec™ 1241 TotalAnalyzer με μονάδα μεταφοράς δείγματος. Αυτό επέτρεψε την ανάλυση δειγμάτων μικρών κόκκων κατάλληλων για σκοπούς αναπαραγωγής φυτών.

R-13 (k=3)



Εικόνα 3.3 Κυψελωτό σχέδιο αγρού R-13 (τροποποιημένο από Fasoulas και Fasoula, 1995).



Εικόνα 3.4 Σπορά 27 Δεκεμβρίου 2019



Εικόνα 3.5 Σπορά 17 Ιανουαρίου 2020

3.3 Λήψη παρατηρήσεων

1)Στις 08 Απριλίου 2020 έγινε αραίωση των φυτών



2)Στις 17 Μαΐου 2020 έγινε αρίθμηση των φυτών



3) Στις 23 Μαΐου 2020 έγινε λίπανση των φυτών και σκάλισμα με το χέρι



4) Στις 13 Ιουνίου 2020 έγινε μηχανική κατεργασία των χόρτων με φρέζα



5) Στις 28 Ιουνίου και 5 Ιουλίου του 2020 έγινε η συγκομιδή του πειραματικού αγροτεμαχίου με το χέρι και κάθε φυτό ανά σειρά τοποθετήθηκε σε ξεχωριστό σακουλάκι.

6) Μέσα στον Σεπτέμβριο έγινε ο διαχωρισμός των σπόρων από το στάχυ



7) Επίσης μέσα στον Σεπτέμβριο έγινε μέτρηση της απόδοσής τους (σε gr.)



8) Μέσα στον Οκτώβριο τα δείγματα πέρασαν από κόσκινο με στόχο την απομάκρυνση ξένων υλών και ετοιμάστηκαν ώστε να χρησιμοποιηθούν για τις μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών.



9) Την περίοδο μεταξύ Ιουλίου και Οκτωβρίου την πρώτη καλλιεργητική περίοδο 2018-2019 και μεταξύ Νοεμβρίου- Δεκεμβρίου 2020 έγινε η μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών .



3.4 Επιλογή εντός της καλλιέργειας σε εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα φυτών (ULD)

Ξεκινώντας με την ποικιλία Svevo, η επιλογή κινούμενου κύκλου χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή επτά φυτών σιτηρών υψηλής απόδοσης (HGY) και τριών φυτών μεσαίας απόδοσης σιτηρών (MGY). Αυτό απέδωσε επτά οικογένειες HGY και τρεις οικογένειες MGY. Στη συνέχεια, επιλέχθηκε η ποικιλία Maestrals ως υλικό εκκίνησης. Χρησιμοποιώντας ξανά την επιλογή κινούμενου κύκλου, επιλέχθηκαν οκτώ φυτά υψηλής απόδοσης δημητριακών (HGY) και δύο φυτά μεσαίας απόδοσης (MGY). Αυτό απέδωσε οκτώ οικογένειες HGY και 2 οικογένειες MGY. Για να δημιουργηθεί κάθε οικογένεια χαμηλής απόδοσης σε σπόρους (LGY) συνδυάστηκαν τέσσερα φυτά χαμηλής απόδοσης σε σπόρους. Αυτό παρείχε αρκετούς σπόρους για την αξιολόγηση των προγόνων.

3.5 Αξιολόγηση απογόνων υπό Τυπική πυκνότητα καλλιέργειας (TCD)

Κατά το δεύτερο έτος που έλαβε χώρα η μελέτη, πραγματοποιήθηκαν δύο πανομοιότυπα πειράματα. Ένα εφαρμόστηκε για 12 επιλεγμένες οικογένειες από το πρώτο πείραμα με διάταξη κυψελοειδούς τύπου για την ποικιλία Svevo. Η άλλη εφαρμόστηκε για 12 γραμμές ποικιλίας Maestrals — συμπεριλαμβανομένων εμπορικών ποικιλιών ως μάρτυρα — σε ένα τυχαιοποιημένο πλήρες μπλοκ με τρεις επαναλήψεις για κάθε επιλεγμένη ποικιλία. Κάθε πείραμα υλοποιήθηκε σε μέγεθος οικοπέδου 2 μέτρα επί 6 σειρές και μήκος 1,34 μέτρα με διαχωρισμό 0,25 μέτρων μεταξύ κάθε σειράς. Αυτό εξασφάλισε ότι κάθε γραμμή είχε πυκνότητα φυτών 5.000.000 ανά εκτάριο και επέτρεψε την καταγραφή της απόδοσης και της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη.

3.6 Στατιστική ανάλυση

Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) διεξήχθη για τον τυχαιοποιημένο σχεδιασμό πλήρους μπλοκ. Το επίπεδο σημαντικότητας όλων των υποθέσεων που δοκιμάστηκαν προκαθορίστηκε στο $p < 0,05$ χρησιμοποιώντας τη δοκιμή Duncan ($p < 0,05$). Οι συντελεστές συσχέτισης Pearson υπολογίστηκαν επίσης για όλα τα χαρακτηριστικά. Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το πακέτο λογισμικού SPSS (έκδοση 18. SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

4. Αποτελέσματα

4.1 Χαμηλή πυκνότητα φυτών (ULD) εντός της καλλιέργειας.

Υπήρξε σημαντική διαφορά σε όλα τα καταγεγραμμένα χαρακτηριστικά μεταξύ μεμονωμένων φυτών και καλλιεργούμενων ποικιλιών π.χ. για GY, PC, PB και TKW (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Για παράδειγμα, η τιμή απόδοσης σπόρου, για τα φυτά ποικιλίας Sveno κυμαινόταν από 78,93 γραμμάρια ανά φυτό έως 169,70 γραμμάρια ανά φυτό — σχεδόν διπλάσια από τη μέση τιμή (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Επίσης, η τιμή βάρους σε γραμμάρια φυτικής βιομάζας κυμαινόταν λίγο πάνω από το διπλάσιο του μέσου όρου, με μέση τιμή 324,03 γραμμάρια ανά φυτό. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ότι το βάρος χιλίων κόκκων (TKW) είχε μέση τιμή 139 γραμμάρια ανά φυτό. Ωστόσο, τα μεμονωμένα φυτά κυμαίνονταν μεταξύ 66 και 230 γραμμάρια ανά φυτό. Επιπλέον, η συγκέντρωση πρωτεΐνης είχε μέσο όρο 19,15% με ελάχιστες και μέγιστες τιμές 16,5 και 22,4. Το μέσο βάρος σε γραμμάρια χιλίων πυρήνων είναι 45,49 γραμμάρια. Η χαμηλότερη και η υψηλότερη τιμή του ήταν 30,80 και 58,02 αντίστοιχα. Ο συντελεστής διακύμανσης για την απόδοση σπόρου, ήταν 37,16% και 26,66% για τη φυτική βιομάζα. Αυτές οι τιμές είναι ποσοτικά χαρακτηριστικά που ήταν πολύ χαμηλότερα από τη συγκέντρωση πρωτεΐνης και του βάρους σε γραμμάρια χιλίων πυρήνων, τα οποία θεωρούνται χαρακτηριστικά που ελέγχονται από λιγότερους γονιδιακούς τόπους από την απόδοση κόκκου και το βάρος της φυτικής βιομάζας. (Hockett, Nilan, Rasmusson, Madison, WI, USA, 1985)

Τα ευρήματα για κάθε μεμονωμένο φυτό την ποικιλία Maestrale ήταν σχεδόν πανομοιότυπα. Ο μέσος όρος απόδοσης κόκκου ήταν 65,56 γραμμάρια ανά φυτό, με εύρος 162,26 γραμμάρια ανά φυτό. Αυτή ήταν σχεδόν 2,5 φορές η μέση τιμή (Πίνακας 3, Εικ. 1). Κατά συνέπεια, η μέση τιμή βάρους σε γραμμάρια φυτικής βιομάζας ήταν 290,99 γραμμάρια ανά φυτό με εύρος 470,00 γραμμάρια ανά φυτό. Ουσιαστικά, οι διαφορές στην τιμή ήταν παρόμοιες σε κάθε φυτό - σχεδόν 2,5 φορές της μέσης τιμής- γεγονός που αποδεικνύει ότι αυτά τα φυτά ήταν ασυνήθιστα διαφορετικά μεταξύ τους όσον αφορά την απόδοση ανάπτυξης και το σημείο τιμής. Ο μέσος συντελεστής διακύμανσης για την απόδοση σπόρου και η τιμή βάρους σε γραμμάρια φυτικής βιομάζας ήταν 45,97% και 28,57%, αντίστοιχα. Ωστόσο, η

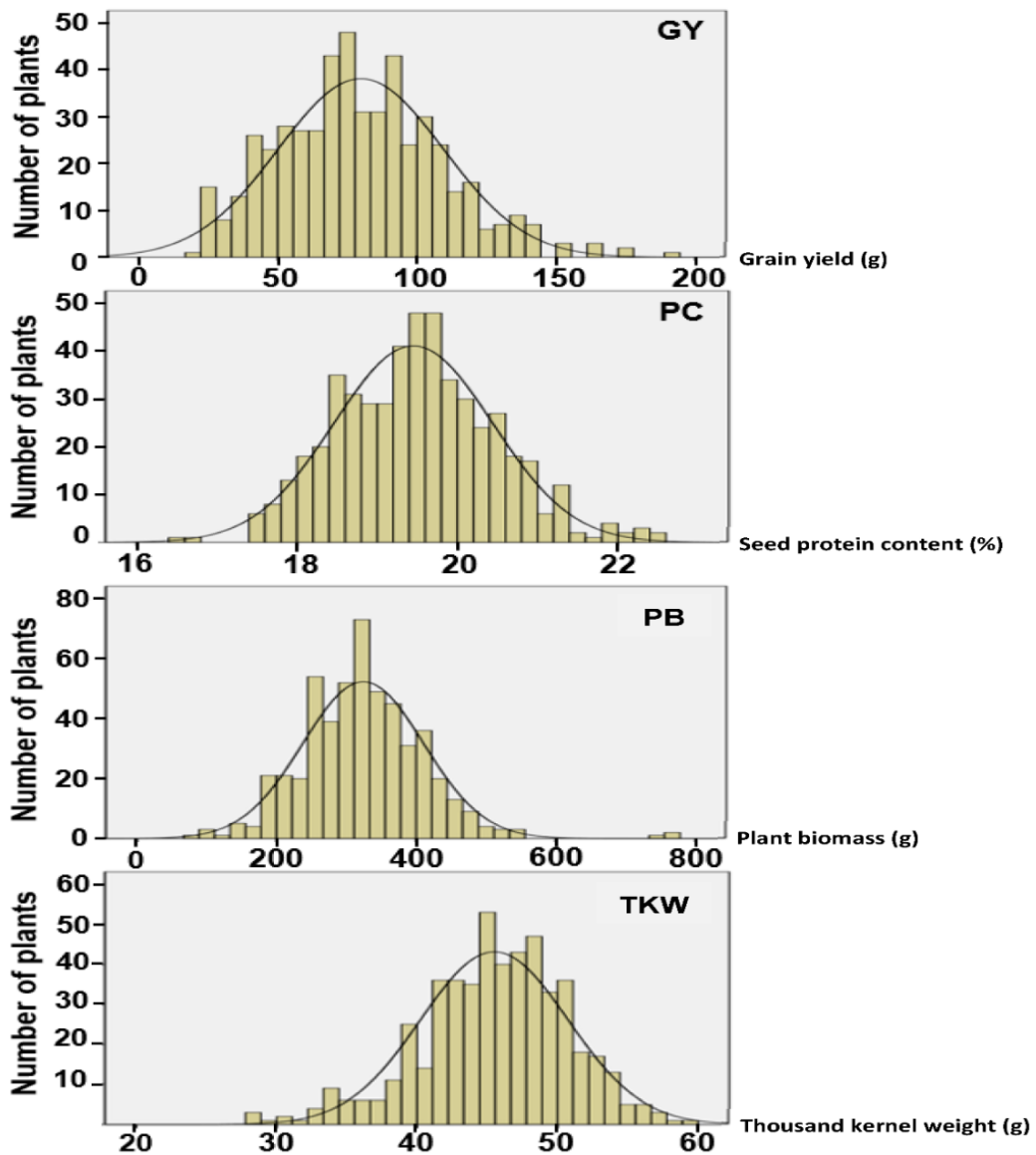
συγκέντρωση πρωτεΐνης και το βάρος σε γραμμάρια χιλίων πυρήνων είχαν χαμηλότερους μέσους όρους: 17,49% και 44,70%, αντίστοιχα. (Hockett, Nilan, Rasmusson, Madison, WI, USA, 1985). Αυτό οφείλεται στο ότι τα χαρακτηριστικά που ελέγχονται από λιγότερα γονίδια έχουν χαμηλότερο μέσο όρο από αυτά που ελέγχονται από περισσότερα γονίδια όπως η απόδοση κόκκου και το βάρος σε γραμμάρια φυτικής βιομάζας — που είναι χαρακτηριστικό ποσοτικοποίησης με υψηλότερες τιμές CV(Πίνακας 1, Σχήμα 2).

Πίνακας 1. Περιγραφικές στατιστικές (μέσος όρος, συντελεστής διακύμανσης %, ελάχιστο, μέγιστο, εύρος, λοξότητα, κύρτωση) για απόδοση κόκκου, περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, φυτική βιομάζα και βάρος χιλίων κόκκων, μεμονωμένων φυτών των ποικιλιών Svevo και Maestrale, στο 1ο έτος πειραματισμού υπό χαμηλής πυκνότητας σπορά

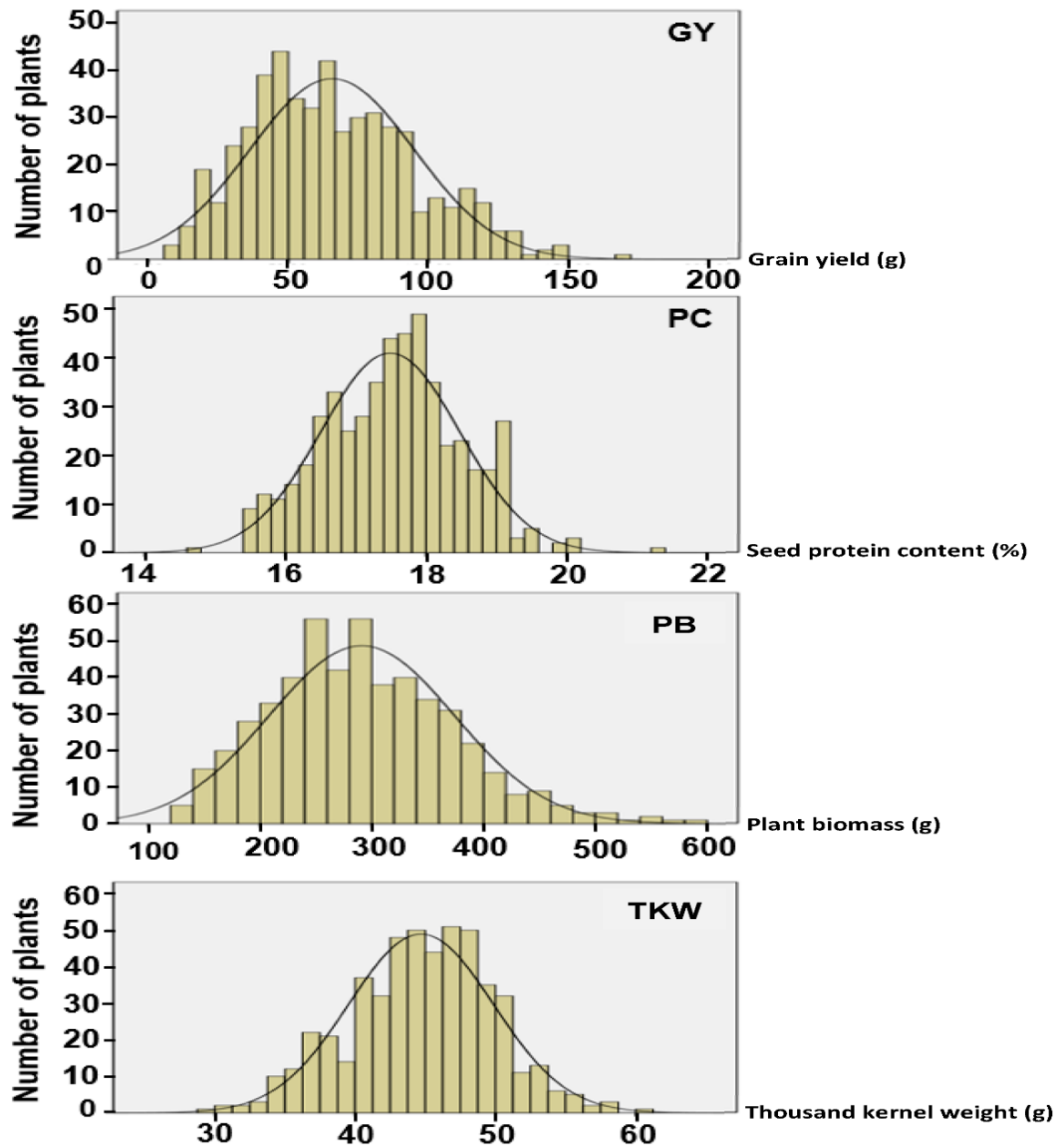
	Traits	Mean	CV%	Min.	Max.	Range	Skew.	Kurt .
cvSvevo	GY	79.83	37.16	21.40	191.10	169.70	0,705**	3,028**
	PC	19.45	5.09	16.50	22.40	5.90	0,422**	0,202
	PB	324.03	26.66	88.40	771.00	682.60	- 0,446**	0,449*
	TKW	45.49	11.52	28.45	59.25	30.80	0,215**	0,056
cvMaestrale	GY	65.56	44.83	8.65	170.91	162.26	0,545**	0,320
	PC	17.49	5.64	14.70	21.20	6.50	0,486**	-0,157
	PB	290.99	28.57	128.60	598.60	470.00	0,062	-0,116*

TKW	44.70	11.56	29.35	60.50	31.15	-0,166	0,009
-----	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------

* Σημαντικό στο $\alpha = 0,05$; ** σημαντικό στο $\alpha = 0,01$.



Εικόνα 1. Κατανομή συχνότητας ατομικών φυτών της ποικιλίας Snevo για απόδοση κόκκου, περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, φυτική βιομάζα και βάρος χιλίων κόκκων



Εικόνα 2. Κατανομή συχνότητας ατομικών φυτών της ποικιλίας Maestrale για απόδοση κόκκου, περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, φυτική βιομάζα και βάρος χιλίων κόκκων.

Βρέθηκε σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ GY και PB και για τα δύο πειράματα ($r=0,764^{**}$ - $p=0,01$, $r=0,767^{**}$ - $p=0,01$, αντίστοιχα). Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης ήταν χαμηλότερες από 0,5 για όλους τους άλλους συνδυασμούς καταγεγραμμένων χαρακτηριστικών (Πίνακες 2, 3).

Πίνακας 2. Συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σπόρου, περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη, φυτικής βιομάζας και βάρους χιλίων κόκκων ατομικών φυτών της ποικιλίας Sveno.

	GY	PC	PB	TKW
GY	1			
PC	-0.388**	1		
PB	0.764**	-0.314**	1	
TKW	0.310**	-0.061	0.172**	1

* Σημαντικό στο $\alpha = 0,05$; ** σημαντικό στο $\alpha = 0,01$

Πίνακας 3. Συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σπόρου, περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη, φυτικής βιομάζας και βάρους χιλίων κόκκων ατομικών φυτών της ποικιλίας Maestrals.

	GY	PC	PB	TKW
GY	1			
PC	-0.193**	1		
PB	0.767**	-0.139**	1	
TKW	0.288**	0.064	0.082	1

* Σημαντικό στο $\alpha = 0,05$; ** σημαντικό στο $\alpha = 0,01$.

Και στα δύο πειράματα που αφορούσαν φυτά από την ποικιλία *Maestrale* και από την ποικιλία και *Sveno*, τα επιλεγμένα φυτά είχαν συνδυασμούς συγκέντρωσης πρωτεΐνης υψηλής-μέτριας-χαμηλής απόδοσης κόκκου και υψηλής-μέτριας-χαμηλής συγκέντρωσης πρωτεΐνης (Πίνακες 4, 5). Πιο συγκεκριμένα, σε πείραμα με επιλεγμένα φυτά της ποικιλίας *Sveno* περιελάμβανε την επιλογή μεμονωμένων φυτών από μια σειρά τεσσάρων φυτών χαμηλής απόδοσης με υψηλή συγκέντρωση πρωτεΐνης. Ένα άλλο πείραμα με επιλεγμένα φυτά ποικιλίας *Sveno* περιλάμβανε την επιλογή μεμονωμένων φυτών από ένα μείγμα τεσσάρων φυτών χαμηλής απόδοσης με χαμηλή συγκέντρωση πρωτεΐνης. Το πείραμα με επιλεγμένα φυτά ποικιλίας *Maestrale* περιελάμβανε την επιλογή πέντε φυτών υψηλής απόδοσης με μέτριο συγκέντρωση πρωτεΐνης, HGY_MPC 1 έως 5. Επιπλέον, περιελάμβανε την επιλογή τριών φυτών υψηλής απόδοσης με χαμηλή συγκέντρωση πρωτεΐνης και ενός φυτού μέσης απόδοσης με υψηλή συγκέντρωση πρωτεΐνης καθώς και την επιλογή τεσσάρων φυτών χαμηλής απόδοσης με χαμηλή συγκέντρωση πρωτεΐνης για να προκύψουν αρκετοί σπόροι για πειραματισμό (Πίνακες 4,5).

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά επιλεγμένων φυτών (ποικιλίας Sveno) από το 1ο έτος πειραματισμού υπό εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα φυτών που αξιολογήθηκαν το 2ο έτος πειραματισμού με τυπική πυκνότητα καλλιέργειας.

	Selected plants	GY	PC	PB	TKW
1	HGY_HPC1	125.0	21.0	430.4	50.35
2	HGY_HPC2	131.0	20.0	459.6	48.55
3	HGY_MPC	163.0	19.0	465.5	49.35
4	HGY_MPC2	137.0	19.0	438	45.05
5	HGY_LPC1	154.0	18.0	535.2	47.75
6	MGY_HPC1	91.2	22.0	464.5	47.1
7	MGY_HPC2	93.9	21.0	757.1	49.45
8	LGY-HPC1	34.6	21.0	276.4	46.2
		42.6	23.0	264.4	46.1
		35.8	22.0	228.7	50.2
		41.0	22.0	199	49.1
9	LGY-LPC1	44.2	18.0	266.8	44.0
		39.8	18.0	193.2	46.05

		38.6	18.0	245.2	44.5
		38.6	18.0	196.4	45.8
10	MGY_LPC1	90.5	18.0	745.7	50.7
11	HGY_MPC3	191.0	19.0	520.6	49.05
12	HGY_MPC4	177.0	19.0	510.1	47.75

αΣτο 1ο έτος πειραματισμού, το GY των μεμονωμένων φυτών του εν Sveno κυμάνθηκε από 21,4 έως 191,1 g. Έτσι, τα φυτά που απέδωσαν από 21,40 έως 77,97 g ήταν φυτά χαμηλής απόδοσης (LGY), αυτά με τιμές από 77,98 έως 134,53 g ήταν φυτά μέτριας απόδοσης (MGY) και αυτά με απόδοση από 134,51-GH σε απόδοση 19.).Ομοίως για το PC, τα φυτά με τιμές από 16,50 έως 18,47% χαρακτηρίστηκαν ως χαμηλό PC (LPC), αυτά με τιμές από 18,48% έως 20,43% χαρακτηρίστηκαν ως μέτρια PC (MPC) και εκείνα με τιμές από 20,44% έως 22,40% χαρακτηρίστηκαν ως φυτά υψηλής PC (HPC)

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά επιλεγμένων φυτών (ποικιλίας Maestrale) από το 1ο έτος πειραματισμού υπό εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα φυτών που αξιολογήθηκαν το 2ο έτος πειραματισμού με τυπική πυκνότητα καλλιέργειας.

	Selected plants	GY	PC	PB	TKW
1	HGY_LPC 1	170.9	16.6	498.6	44.05
2	HGY*_MPC** 1	143.3	17.5	598.6	43.1
3	HGY_MPC 2	139.7	17.2	550.0	46.65
4	HGY_MPC 3	134.2	17.8	469.9	50.55
5	HGY_MPC 4	131.0	17.8	492.2	50.4
6	HGY_LPC 2	130.6	16.7	362.5	51

7	HGY_MPC 5	125.4	17.6	374.9	52.8
8	MGY_HPC 1	106.1	20	363.0	50.5
9	LGY_HPC 1	34.3	19.1	251.9	49.5
		31.4	19.1	164.8	47.65
		39.9	19.2	254.5	46.7
		37.5	19.1	251.8	56.65
10	LGY_LPC 1	30.0	16.8	180.0	43.15
		30.5	16.8	257.0	44.8
		30.5	16.8	161.1	41.45
		31.5	16	188.2	43.4
11	HGY_LPC 3	145.0	16.7	456.6	46.95
12	MGY_MPC 1	114.5	18.5	379.6	44.45

a Στο 1ο έτος πειραματισμού, το GY των επιμέρους φυτών του cv Maestrale, κυμάνθηκε από 8,65 έως 170,91 g. Έτσι, φυτά με απόδοση από 8,65 g έως 62,74 g χαρακτηρίστηκαν ως φυτά χαμηλής απόδοσης (LGY), εκείνα με τιμές από 62,75 g έως 116,82 g χαρακτηρίστηκαν ως φυτά μέτριας απόδοσης κόκκων (MGY).8 με απόδοση από 6 g έως 1 170,71 g χαρακτηρίστηκαν ως φυτά υψηλής απόδοσης σε κόκκους (HGY). b Ομοίως, για το PC, τα φυτά με τιμές από 14,70% έως 16,87% χαρακτηρίστηκαν ως low PC (LPC), εκείνα με τιμές από 16,88% έως 19,03% χαρακτηρίστηκαν ως μέτρια PC (MPC) και εκείνα με τιμές από 19,04%· έως 21,20 % χαρακτηρίστηκαν ως φυτά υψηλού PC (HPC).

4.2 Αξιολόγηση απογόνων υπό Τυπική πυκνότητα καλλιέργειας (TCD)

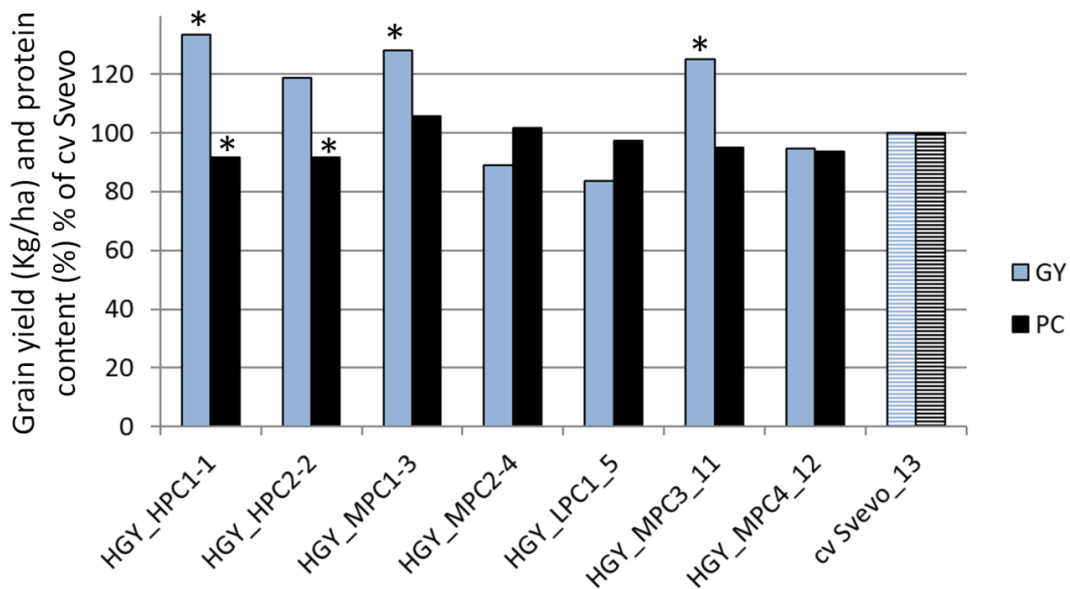
Οι δώδεκα επιλογές ποικιλιών Snevo περιείχαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα απόδοσης κόκκου και στο ποσοστό επί τοις εκατό για την πρωτεΐνη.(Πίνακας 6, Εικόνα 3). Κατά μέσο όρο, οι επιλογές περιείχαν 2,26 t.ha-1 απόδοσης κόκκου και βρέθηκαν επί τοις εκατό διαφορές μεταξύ των οικογενειών. Τρεις οικογένειες είχαν σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη από το μέσο όρο, ενώ το HGY_HPC1 είχε την υψηλότερη απόδοση κόκκου σε 2,99 t.ha-1. Σε σύγκριση με την αρχική ποικιλία Snevo, οι παραλλαγές 1.HGY_MPC1, 2.HGY_MPC1 και 3.HGY_MPC3 είχαν 25% υψηλότερο υψηλότερη απόδοση κόκκων. Μόνο τρεις επιλογές από τις 12 οικογένειες είχαν συγκεντρώσεις πρωτεΐνης χαμηλότερες από την αρχική ποικιλία Snevo. Αυτές οι επιλογές ονομάστηκαν 1.HGY_HPC1, 2.HGY_HPC2 και 11.HGY_MPC3. Είχαν συγκεντρώσεις πρωτεΐνης 5% έως 8% χαμηλότερες από την ποικιλία Snevo. Κατά μέσο όρο, η συγκέντρωση πρωτεΐνης ήταν 18,53%.

Πίνακας 6. Η μέση απόδοση κόκκου (t·ha⁻¹) και η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (%) των 12 απογόνων προήλθαν από την ποικιλία Snevo και αυτό της ποικιλίας Snevo ως μάρτυρα, κατά το 2ο έτος πειραματισμού υπό τυπική πυκνότητα καλλιέργειας.

	Selected plants	GY	PC
1	HGY_HPC1	3.18a	17.13g
2	HGY_HPC2	2.84ab	17.10g
3	HGY_MPC1	3.06a	19.70bc

4	HGY_MPC2	2.13cde	18.93cde
5	HGY_LPC1	2.00cde	18.17defg
6	MGY_HPC1	1.86de	17.77efg
7	MGY_HPC2	1.73e	20.60ab
8	LGY-HPC1	1.63e	21.37a
9	LGY-LPC1	1.72e	19.30bcd
10	MGY_LPC1	1.80de	17.10g
11	HGY_MPC3	2.99a	17.70efg
12	HGY_MPC4	2.26cd	17.47fg
13	Svevo	2.39bc	18.60cdef

Η μέση απόδοση κόκκου ($t\text{-ha}^{-1}$) και η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (%) των 12 απογόνων προήλθαν από το cv Svevo και αυτό του cv Svevo ως μάρτυρα, κατά το 2ο έτος πειραματισμού υπό τυπική πυκνότητα καλλιέργειας.



Εικόνα 3. Απόδοση κόκκου και περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες επτά οικογενειών που προέρχονται από φυτά υψηλής απόδοσης, εκφρασμένα ως ποσοστά (%) των αρχικών τιμών ποικιλίας Svevo.

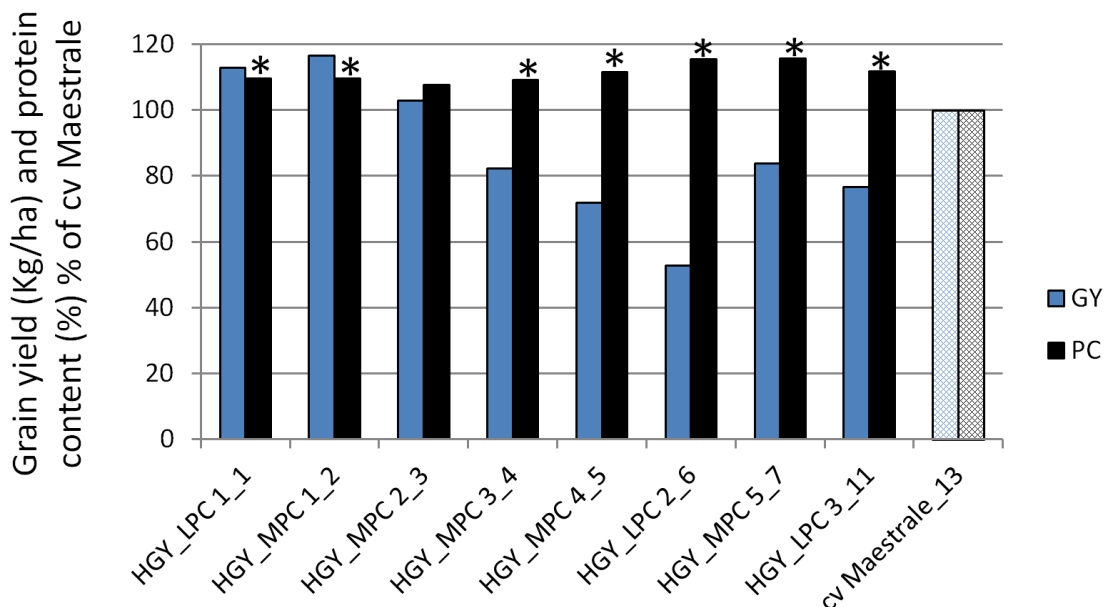
Βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ δώδεκα επιλογών ποικιλίας Maestrle για την απόδοση σπόρων (t.ha-1) και περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (%) (Πίνακας 7, Εικόνα 4). Ο μέσος όρος απόδοσης σπόρων ήταν 4,14 t.ha-1 και για επτά επιλογές η απόδοση σπόρων δεν διέφερε σημαντικά από την αρχική ποικιλία Maestrle. Ο μέσος φυτικής βιομάζας ήταν 16,58% και οι εννέα από τις δώδεκα επιλογές είχαν σημαντικά υψηλότερη φυτική βιομάζα από την αρχική ποικιλία Maestrle κατά 9 έως 19%, το οποίο είχε τη χαμηλότερη τιμή (Πίνακας 7, Εικόνα 4).

Πίνακας 7. Μέση απόδοση κόκκου (t·ha⁻¹) και περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (%) των 12 απογόνων που προέρχονται από την ποικιλία Maestrale και εκείνους από την ποικιλία Maestrale ως μάρτυρα, κατά το 2ο έτος πειραματισμού υπό τυπική πυκνότητα καλλιέργειας.

	Selected plants	GY	PC
1	HGY_LPC 1	5.68a	16.43bc
2	HGY*_MPC** 1	5.87a	16.43bc
3	HGY_MPC 2	5.18ab	16.13bcd
4	HGY_MPC 3	4.15bcd	16.37bc
5	HGY_MPC 4	3.62de	16.73abc
6	HGY_LPC 2	2.66e	17.30ab
7	HGY_MPC 5	4.22bcd	17.33ab
8	MGY_HPC 1	3.93bcde	17.87a
9	LCY_HPC 1	3.65de	17.37ab
10	LCY_LPC 1	2.62e	15.77cd
11	HGY_LPC 3	3.86cde	16.77abc
12	MGY_MPC 1	3.29de	16.07bcd

13	Maestrale	5.04abc	15.00d
----	-----------	---------	--------

Οι μέσοι όροι ακολουθούμενοι από διαφορετικό γράμμα διαφοροποιούνται για $\alpha = 0,05$.



Εικόνα 4. Απόδοση κόκκου και περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες επτά οικογενειών που προέρχονται από φυτά υψηλής απόδοσης, εκφρασμένα ως ποσοστά (%) της αρχικής ποικιλίας Maestrale.

4.3 Σχέσεις μεταξύ GY και PC υπό ULD και TCD

Κατά το πρώτο έτος της δοκιμής, 12 διαφορετικά φυτά αξιολογήθηκαν κάτω από χαμηλή πυκνότητα φυτών. Έλεγξαν τη σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και της απόδοσης των σιτηρών. Επιπλέον, τα ίδια 12 φυτά δοκιμάστηκαν στο δεύτερο έτος των δοκιμών, αλλά αυτή τη φορά σε τυπική πυκνότητα καλλιέργειας. Τα αποτελέσματα βρήκαν θετικές συσχετίσεις μεταξύ αποδόσεων σε κόκκους με αποκλίνουσα επιλογή με βάση την απόδοση ενός φυτού υπό εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα ακολουθούμενη από αξιολόγηση απογόνων υπό τυπική πυκνότητα καλλιέργειας για ποικιλία Sveno, όπου ο συντελεστής συσχέτισης r ήταν 0,643 με $P < 0,02$. και για τα ποικιλία Maestrale, ο συντελεστής συσχέτισης r ήταν 0,686 με $P < 0,02$.

0,04 καθώς και θετικούς συντελεστές συσχέτισης μεταξύ συγκεντρώσεων πρωτεΐνης ακολουθούμενη από αξιολόγηση απογόνων υπό τυπική πυκνότητα καλλιέργειας και επιλεγμένων φυτών εντός της καλλιέργειας σε χαμηλή πυκνότητα φυτών για την ποικιλία Sveno, όπου ο συντελεστής συσχέτισης r ήταν $r=0,649$ με $P < 0,22$. και για την ποικιλία Maestrale, ο συντελεστής συσχέτισης r ήταν $r=0,554$ με $P < 0,06$.

5. Συζήτηση

Στην μελέτη μας μέσα από την εφαρμογή αποκλίνουσας επιλογής ενός φυτού σε εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα, δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικά σύνολα σειρών σίτου από δύο ελίτ εμπορικές ποικιλίες σκληρού σίτου. Αυτές οι γραμμές επιλέχθηκαν σε σχέση με το αρχικό τους υλικό για να προσδιοριστούν οι τιμές της απόδοσης σε σπόρο και της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη.

Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα δημητριακά, η υψηλότερη απόδοση σε σπόρους συσχετίζεται αρνητικά με την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη αλλά αναμένεται και θετική συσχέτιση. Τρεις σειρές που προέρχονται από την ποικιλία Sveno απέδωσαν σημαντικά καλύτερα από το αρχικό υλικό. Μία από αυτές τις σειρές είχε υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη ενώ εξακολουθούσε να έχει καλύτερη απόδοση σε σπόρους από το αρχικό υλικό. Δύο άλλες σειρές που προέρχονται από την ποικιλία Maestrale είχαν καλύτερες επιδόσεις από την αρχική τους όσον αφορά την απόδοση σε κόκκους αλλά αυτό δεν θεωρήθηκε σημαντικό. Ωστόσο, αυτές οι δύο γραμμές έδειξαν σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη από τον αρχικό τους γονότυπο.

Πολλές μελέτες έχουν εξετάσει την ταυτόχρονη επιλογή περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη και την απόδοση σε σπόρους στο σιτάρι. Τα αποτελέσματά δείχνουν αποτελεσματική ταυτόχρονη επιλογή. Ωστόσο, αυτά τα αποτελέσματα μπορεί μερικές φορές να εξαρτώνται από τον γονότυπο του σιταριού ή το περιβάλλον. Όλες αυτές οι μελέτες χρησιμοποίησαν σειρές σίτου που προέρχονται από διαφορετικές διαδικασίες ανάπτυξης βλαστοπλαστών. Η μελέτη μας, αντίθετα, εξέτασε γραμμές με στενές γενετικές διαφορές που προέκυψαν μέσω επιλογής εντός της ποικιλίας.

Επιβεβαιώσαμε ταυτόχρονες αυξήσεις τόσο στην απόδοση των κόκκων όσο και στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες - μια σειρά συγκεκριμένα είχε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες σε σύγκριση με το αρχικό γονιδίωμα όταν επιλέχθηκε με μια άλλη ελίτ ποικιλία σιταριού. Υποστηρικτικά στοιχεία από μοριακούς δείκτες προέρχονται από μελέτες εντός ομοιογενούς βλαστοπλασμάτων. Αυτές οι μελέτες αποδεικνύουν περαιτέρω την ιδέα της σημαντικής διαφοροποίησης μεταξύ των πολιτισμών των ανθρώπων.

Η επιλογή για συγκεκριμένες παραλλαγές σε μια καλλιέργεια είναι δύσκολη λόγω της μικρής γονιδιακής δεξαμενής. Με μικρή φυτική πυκνότητα, ωστόσο, είναι δυνατό να επιλεγούν εξαιρετικοί γονότυποι με δυνατότητα διάκρισης μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν θα υπήρχε ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών και μεγάλο εύρος έκφρασης για τους φαινότυπους κάθε γονότυπου.

Η επιλογή ταυτόχρονης επιλογής χαρακτηριστικών εντός της ποικιλίας είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να σπάσει ο συσχετισμός μεταξύ της απόδοσης των κόκκων και της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για τη δημιουργία ποικιλιών σίτου υψηλής ποιότητας με οικονομική αξία. Επιπλέον, αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ελίτ στελεχών που έχουν υψηλή απόδοση κόκκων, περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και σταθερότητα. Αυτά τα στελέχη μπορούν να ικανοποιήσουν τις μελλοντικές απαιτήσεις της αγοράς με βελτιωμένα χαρακτηριστικά και ποιότητα.

6. Συμπεράσματα

Το πείραμα που πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι υπάρχει εκτεταμένη διαφοροποίηση μεταξύ βελτιωμένων εμπορικών σειρών σίτου ως αποτέλεσμα της τρέχουσας μελέτης. Ως περαιτέρω παράδειγμα αυτού, επιλέχθηκαν μεμονωμένα φυτά από δύο ελίτ εμπορικές ποικιλίες σκληρού σίτου όταν φυτεύτηκαν σε εξαιρετικά χαμηλές πυκνότητες. Αυτό επέτρεψε την ταυτόχρονη επιλογή για την απόδοση των κόκκων και της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη. Αυτό μεγιστοποίησε τις διαφορές στον φαινότυπο μεταξύ των μεμονωμένων φυτών που προκαλείται από την ανταγωνιστική πίεση. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να βοηθήσουν στην απάντηση της συσχέτισης μεταξύ της απόδοσης και της ποιότητας των σιτηρών που βρίσκεται σε πολλές άλλες

καλλιέργειες - συμπεριλαμβανομένου του σκληρού σίτου - παρέχοντας πληροφορίες για ποικιλίες υψηλής απόδοσης με ανώτερα χαρακτηριστικά.

7.Βιβλιογραφία

7.1 Ξένη βιβλιογραφία

Aalami M, Leelavathi K, Rao UJSP (2007) Spaghetti making potential of Indian durum wheat varieties in relation to their protein, yellow pigment and enzyme contents. *Food Chem* 100: 1243-1248

Acevedo, E. (1992). Increasing the Yield Potential of Irrigated Bread Wheat: Basis for Physiological Research at CIMMYT (No. 12). México, D.F: CIMMYT.

Acevedo, E., and Silva, P. (Eds.). (2007). *TrigoCandéal: Calidad, Mercado y Zonas de Cultivo*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas in González-Ribot G, Opazo M, Silva P and Acevedo E (2017) Traits Explaining Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. spp. Durum) Yield in Dry Chilean Mediterranean Environments. *Front. Plant Sci.* 8:1781

Anderson WK, Shackley BJ, Sawkins D. Grain yield and quality: does there have to be a trade-off? *Wheat: Prospects for Global Improvement*. 1998;100:183–188.

Aparicio, N., Villegas, D., Araus, J.L., Casadesus, J., Royo, C., 2002. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. *Crop Sci.* 42, 1547-1555.

Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Araus, J.L., Royo, C., 2000. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agron. J.* 92, 83-91.

Araus, J.L.; Cabrera-Bosquet, L.; Serret, M.D.; Bort, J.; Nieto-Taladriz, M.T. Comparative performance of δ 13C, δ 18O and δ 15N for phenotyping durum wheat adaptation to a dryland environment. *Funct. Plant Biol.* 2013, 40, 595–608.

Araus, J.L.; Ferrio, J.P.; Buxó, R.; Voltas, J. The historical perspective of dryland agriculture: Lessons learned from 10,000 years of wheat cultivation. *J. Exp. Bot.* 2007, 58, 131–145.

Atli A. Quality of wheat and products. Symposium on Problems and Solutions in Agriculture in Central Anatolia Grain. Konya; 1999.

Ayadi, M.; Brini, F.; Masmoudi, K. Overexpression of a wheat aquaporin gene, TdPIP2; 1, enhances salt and drought tolerance in transgenic durum wheat cv. Maali. *Int. J. Mol. Sci.* 2019, 20, 2389.

Azzedine, F.; Gherroucha, H.; Baka, M. Improvement of salt tolerance in durum wheat by ascorbic acid application. *J. Stress Physiol. Biochem* 2011, 7, 27–37

Babar, M.A., Reynolds, M.P., van Ginkel, M., Klatt, A.R., Raun, W.R., Stone, M.L., 2006. Spectral reflectance indices as a potential indirect selection criteria for wheat yield under irrigation. *Crop Sci.* 46, 578-588.

Babar, M.A., Reynolds, M.P., van Ginkel, M., Klatt, A.R., Raun, W.R., Stone, M.L., 2006. Spectral reflectance to estimate genetic variation for in-season biomass, leaf chlorophyll, and canopy temperature in wheat. *Crop Sci.* 46, 1046-1057.

Bacher, H.; Zhu, F.; Gao, T.; Liu, K.; Dhatt, B.K.; Awada, T.; Zhang, C.; Distelfeld, A.; Yu, H.; Peleg, Z. Wild emmer introgression alters root-to-shoot growth dynamics in durum wheat in response to water stress. *Plant Physiol.* 2021, 187, 1149–1162.

Barbour, M.M.; Fischer, R.A.; Sayre, K.D.; Farquhar, G.D. Oxygen isotope ratio of leaf and grain material correlates with stomatal conductance and grain yield in irrigated wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 2000, 27, 625–637.

Bonjean, A.P.; Angus, W.J.; van Ginkel, M. *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding*; Lavoisier: Paris, France, 2016; Volume 3.

Bort, J., Casadesus, J., Araus, J.L., Grando, S., Ceccarelli, S., 2002. Spectral vegetation indices as non-destructive indicators of barley yield in Mediterranean rain-fed conditions. In: Slafer, G.A., Molina-Cano, J.L., Savin, R., Araus, J.L., Romagosa, I. (Eds.), *Barley Science: Recent Advances from Molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality*. Haworth Press, Binghamton, N.Y., USA, pp. 387-412

Bort, J., Casadesus, J., Nachit, M.M., Araus, J.L., 2005. Factors affecting grain yield predicting attributes of spectral reflectance indices in durum wheat: growing conditions, genotype variability and date of measurement. *Int. J. Remote Sens.* 26, 233-235.

Chris, G. World Durum Outlook. <http://www.internationalpasta.org/resources/IPO%20BOARD%202013/2%20Chris%20Gillen.pdf>.

Crossa, J., de los Campos, G., Maccaferri, M., Tuberosa, R., Burgueño, J., and Pérez-Rodríguez, P. (2016). Extending the marker \times environment interaction model for genomic-enabled prediction and genome-wide association analysis in durum wheat. *Crop Sci.* 56, 2193–2209

De Vita, P.; Li Destri Nicosia, O.; Nigro, F.; Platani, C.; Riefolo, C.; di Fonzo, N.; Cattivelli, L. Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *Eur. J. Agron.* 2007, 26, 39–53.

Del Pozo, A.; Matus, I.; Araus, J.L.; Serret, D. Agronomic and physiological traits associated with breeding advances of wheat under high-productive Mediterranean conditions. The case of Chile. *Environ. Exp. Bot.* 2014, 103, 180–189.

Dencic, S.; Kobiljski, B.; Mladenov, N.; Hristov, N.; Pavlovic, M. Long-term breeding for bread making quality in wheat. In *Wheat Production in Stressed Environments*; Buck, H.T., Nisi, J.E., Salomon, N., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2005; pp. 495–501.

Dziki D, Laskowski J (2005) Wheat kernel physical properties and milling process. *Acta Agrophys* 6: 59-71.

El-Areed, S.; Nachit, M.M.; Hagaras, A.; El-Sherif, S.; Hamouda, M. Durum wheat breeding for high yield potential in Egypt. In *Proceedings of the International Symposium on Genetics and Breeding of Durum Wheat*; Porceddu, E., Damania, A.B., Qualset, C.O., Eds.; CIHEAM: Bari, Italy, 2014; pp. 291–294.

Elazab, A., Bort, J., Zhou, B., Serret, M. D., Nieto-Taladriz, M. T., and Araus, J. L. (2015). The combined use of vegetation indices and stable isotopes to predict durum wheat grain yield under contrasting water conditions. *Agric. Water Manag.* 158, 196–208.

Elias, E.M. Durum wheat products. In *Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region*; Di Fonzo, N., Kaan, F., Nachit, M., Eds.; CIHEAM: Zaragoza, Spain, 1995; Volume 22, pp. 23–31.

Elias, E.M.; Manthey, F.A. End products: Present and future uses. In *Durum Wheat Breeding Current Approaches and Future Strategies*; Royo, C., Nachit, M.M., di Fonzo, N., Araus, J.L., Pfeiffer, W.H., Slafer, G.A., Eds.; Food Products Press: New York, NY, USA, 2005; pp. 63–86.

Evan School Policy Analysis and Research (EPAR). Wheat Value Chain: Ethiopia. https://evans.uw.edu/sites/default/files/EPAR_UW_204_Wheat_Ethiopia_07272012.pdf

Fernández, S., Vidal, D., Simón, E., Solé-Sugranes, L., 1994. Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* cv. Astral under water and nitrogen stress. *Int. J. Remote Sens.* 15, 1867-1884.

Filella, I., Serrano, L., Serra, J., Peñuelas, J., 1995. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Sci.* 35, 1400-1405.

Fischer, R.A., 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 105, 447-461.

Fischer, R.A., 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Res.* 33, 57-80.

Fischer, R.A.D.; Rees, K.D.; Sayre, Z.M.; Lu, A.G.; Condon, A. Larqué-Saavedra, Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Sci.* 1998, 38, 1467–1475. [

Foulkes, M.J.; de Silva, J.; Gaju, O.; Carvalho, P. Relationships between $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ and grain yield in bread wheat genotypes under favourable irrigated and rain-fed conditions. *Field Crop Res.* 2016, 196, 237–250.

Gosney, B. J., Potts, B. M., O'Reilly-Wapstra, J. M., Vaillancourt, R. E., Fitzgerald, H., Davies, N. W., et al. (2016). Genetic control of cuticular wax compounds in *Eucalyptus globulus*. *New Phytol.* 209, 202–215

Habash, D.; Kehel, Z.; Nachit, M. Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought. *J. Exp. Bot.* 2009, 60, 2805–2815.

Hedden, P. The genes of the Green Revolution. *Trends Genet.* 2003, 19, 5–9.
<http://www.odepa.gob.cl/estadisticas/productivas/>

International Pasta Organisation (IPO). The Truth about Pasta Toolkit. <http://www.internationalpasta.org/index.aspx?id=47>

John, K. Durum Wheat Production. <http://www.nvtonline.com.au/wp-content/uploads/2013/03/Crop-Guide-NSW-Durum-Wheat-Production.pdf>

Joppa, L.; Williams, N. A Disomic-5D-Nullisomic-5B Substitution Line of Durum Wheat 1. *Crop Sci.* 1979, 19, 509–511.

Juarez, B.; Wolf, D. Grain and feed annual Mexico. In *Global Agricultural Information*; USDA Foreign Agricultural Service: Washington, DC, USA, 2015; pp. 1–17.

Le Lamer, O.; Rousselin, X. The durum wheat market. In *Studies of FranceAgriMer*; Bova, F., Ed.; FranceAgriMer: Montreuil-sous-Bois CEDEX, France, 2011; pp. 1–46.

Li, Q., Zhang, Y., Liu, T., Wang, F., Liu, K., Chen, J., et al. (2015). Genetic analysis of kernel weight and kernel size in wheat (*Triticum aestivum* L.) using unconditional and conditional QTL mapping. *Mol. Breed.* 35, 194.

Lo Valvo, P.J.; Miralles, D.J.; Serrago, R.A. Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: Changes in physiological and numerical yield components. *Field Crop Res.* 2018, 221, 314–321.

Ma, J.; Zhang, C.; Yan, G.; Liu, C. Improving yield and quality traits of durum wheat by introgressing chromosome segments from hexaploid wheat. *Genet. Mol. Res.* 2013, 12, 6120–6129.

Matus, I.; Mellado, M.; Pinares, M.; Madariaga, R.; del Pozo, A. Genetic progress in winter wheat cultivars released in Chile from 1920 and 2000. *Child. J. Agric. Res.* 2012, 72, 303–308.

McIntyre, C. L., Mathews, K. L., Rattey, A., Chapman, S. C., Drenth, J., Ghaderi, M., et al. (2010). Molecular detection of genomic regions associated with grain yield and yield-related components in an elite bread wheat cross evaluated under irrigated and rainfed conditions. *Theor. Appl. Genet.* 120, 527–541.

Mellado, M. (2007). *El Trigo en Chile. Cultura, Ciencia y Tecnología.* (Colección Libros INIA; 21), 684. Chillán: Centro Regional de Investigación Quilamapu in González-Ribot G, Opazo M, Silva P and Acevedo E (2017) Traits Explaining Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. spp. Durum) Yield in Dry Chilean Mediterranean Environments. *Front. Plant Sci.* 8:1781

Miralles, D.J.; Slafer, G.A. Sink limitations to yield in wheat: How could it be reduced? *J. Agric. Sci.* 2007, 145, 139–149.

Monneveux, P.; Zaharieva, M.; Rekika, D.; Royo, C.; Nachit, M.; Fonzo, N.; Araus, J. The utilisation of Triticum and Aegilops species for the improvement of durum wheat. In *Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges; Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, n. 40; International Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies (CIHEAM): Saragosa, Spain, 2000; pp. 71–81.

Motzo, R.; Fois, S.; Giunta, F. Relationship between grain yield and quality of durum wheats from different eras of breeding. *Euphytica* 2004, 140, 147–154.

Munns, R.; Hare, R.; James, R.; Rebetzke, G. Genetic variation for improving the salt tolerance of durum wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 2000, 51, 69–74.

Nouri-Ganbalani, A., Nouri-Ganbalani, G., and Hassanpanah, D. (2009). Effects of drought stress condition on the yield and yield components of advanced wheat genotypes in Ardabil, Iran. *J. Food Agric. Environ.* 7, 228–234.

Ojaghi J, Akhundova E. Genetic effects for grain yield and its related traits in doubled haploid lines of wheat. *Int J Agric Biol.* 2010;12(1):86–90.

Ortiz-Monasterio, J.I.; Peña, R.J.; Sayre, K.D.; Rajaram, S. CIMMYT's Genetic Progress in Wheat grain quality under four nitrogen rates. *Crop Sci.* 1997, 37, 892–898.

Passioura, J. B. (2006). Increasing crop productivity when water is scarce—from breeding to field management. *Agric. Water Manag.* 80, 176–196.

Rharrabti Y, Villegas D, Royo C, Martos-Núñez V, García del Moral LF. Durum wheat quality in Mediterranean environments. II. Influence of climatic variables and relationships between quality traits. *Field Crops Res.* 2003;80:133-40.

Rinaldo, A.; Gilbert, B.; Boni, R.; Krattinger, S.G.; Singh, D.; Park, R.F.; Lagudah, E.; Ayliffe, M. The Lr34 adult plant rust resistance gene provides seedling resistance in durum wheat without senescence. *Plant Biotechnol. J.* 2017, 15, 894–905. [CrossRef] 167. Kerber, E.; Dyck, P. Inheritance of stem rust resistance tr

Royo, C., Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Monneveux, P., Araus, J.L., 2003. Usefulness of spectral reflectance indices as durum wheat yield predictors under contrasting Mediterranean conditions. *Int. J. Remote Sens.* 24, 4403-4419.

Annex I 149

Royo, C.; Álvaro, F.; Martos, V.; Ramdani, A.; Isidro, J.; Villegas, D.; García del Moral, L.F. Genetic changes in durum wheat yield components and associated traits in Italian and Spanish varieties during the 20th century. *Euphytica* 2007, 155, 259–270.

Royo, C.; Martos, V.; Ramdani, A.; Villegas, D.; Rharrabti, Y.; García del Moral, L.F. Changes in yield and carbon isotope discrimination of Italian and Spanish durum wheat during the 20th century. *Agron. J.* 2008, 100, 352–360.

Sakin MA, Sayaslan A, Duzdemir O, Yuksel F (2011b) Quality characteristics of registered cultivars and advanced lines of durum wheats grown in different ecological regions of Turkey. *Can J Plant Sci* 91: 261-271.

Sarievaa, G. E., Kenzhebaevab, S. S., and Lichtenthalerc, H. K. (2010). Adaptation potential of photosynthesis in wheat cultivars with a capability of leaf rolling under high temperature conditions. *Rus. J. Plant Physiol.* 57, 28–36.

Sestili, F.; Pagliarello, R.; Zega, A.; Saletti, R.; Pucci, A.; Botticella, E.; Masci, S.; Tundo, S.; Moschetti, I.; Foti, S. Enhancing grain size in durum wheat using RNAi to knockdown GW2 genes. *Theor. Appl. Genet.* 2019, 132, 419–429

Shearman, V.J.; Sylvester-Bradley, R.; Scott, R.K.; Foulkes, M.J. Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Sci.* 2005, 45, 175–185.

Siddiqui, H.A.; Harvey-Samuel, T.; Mansoor, S. Gene drive: A faster route to plant improvement. *Trends Plant Sci.* 2021, 26, 1204–1206

Slafer, G. A., Savin, R., and Sadras, V. O. (2014). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Res.* 157, 71–83

Slafer, G.A., 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Ann. Appl. Biol.* 142, 117-128.

Slafer, G.A., Araus, J.L., Royo, C., García Del Moral, L.F., 2005. Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Ann. Appl. Biol.* 146, 61-70.

Statistic Canada. Canada: Outlook for Principal Field Crops.<http://www.agr.gc.ca/eng/industry-markets-and-trade/statistics-and-market-information/by-product-sector/crops-industry/outlook-for-principal-field-crops-in->

[canada/canada-outlook-for-principal-field-crops-february-16-2016/?id=1455720699951](https://www.cannada.com/canada-outlook-for-principal-field-crops-february-16-2016/?id=1455720699951)

Subira, J.; Peña, R.J.; Álvaro, F.; Ammar, K.; Ramdani, A.; Royo, C. Breeding progress in the pasta-making quality of durum wheat cultivars released in Italy and Spain during the 20th Century. *Crop Pasture Sci.* 2014, 65, 16–26.

Trethowan, R.M.; Reynolds, M.P.; Ortiz-Monasterio, J.I.; Ortiz, R. The genetic basis of the green revolution in wheat production. *Plant Breed. Rev.* 2007, 8, 39–58.

Trocconi A, Borrelli GM, De Vita P, et al. Durum Wheat Quality: A Multidisciplinary Concept. *Journal of Cereal Science.* 2000;32: 99–113.

Trocconi A, Borrelli GM, DeVita P, Fares C, Di Fonzo N (2000) Durum wheat quality: a multidisciplinary concept. *J Cereal Sci* 32: 99-113.

USDA Foreign Agricultural Service. Grain and Feed Annual; GAIN Report No: TR5016; USDA Foreign Agricultural Service: Ankara, Turkey, 2015.

Velde, K.V.D.; Thomas, S.G.; Heyse, F.; Kaspar, R.; Straeten, D.V.D.; Rohde, A. N-terminal truncated RHT-1 proteins generated by translational reinitiation cause semi-dwarfing of wheat Green Revolution alleles. *Mol. Plant* 2021, 14, 679–687

Xie, W.; Nevo, E. Wild emmer: Genetic resources, gene mapping and potential for wheat improvement. *Euphytica* 2008, 164, 603–614

Yang, F.; Liu, Q.; Wang, Q.; Yang, N.; Li, J.; Wan, H.; Liu, Z.; Yang, S.; Wang, Y.; Zhang, J. Characterization of the Durum Wheat-Aegilops tauschii 4D (4B) Disomic Substitution Line YL-443 With Superior Characteristics of High Yielding and Stripe Rust Resistance. *Front. Plant Sci.* 2021, 12, 745290.

Zaim, M.; El Hassouni, K.; Gamba, F.; Filali-Maltouf, A.; Belkadi, B.; Sourour, A.; Amri, A.; Nachit, M.; Taghouti, M.; Bassi, F.M. Wide crosses of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) reveal good disease resistance, yield stability, and industrial quality across Mediterranean sites. *Field Crop Res.* 2017, 214, 219–227.

Zhao, Z.; Duan, S.; Hao, J.; Cui, C.; Yang, Y.; Condon, A.G.; Chen, F.; Hu, Y.-G.; Chen, L. The dwarf gene Rht15 improved lodging resistance but differentially affected agronomic and quality traits in durum wheat. *Field Crop Res.* 2021, 263, 108058.

7.2 Ελληνική

Παπακώστα- Τασοπούλου, Δ. (2012), Ειδική Γεωργία-Σιτηρά & Ψυχανθή.
ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΙΔΕΙΑ, Θεσσαλονίκη.