



## Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών(ΠΜΣ)

«Καινοτόμα Συστήματα Αειφόρου Αγροτικής Παραγωγής»

Κατεύθυνση: Ορθολογική Διαχείριση Φυτικού  
Κεφαλαίου και Εδαφοϋδατικών Πόρων.

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Η επίδραση διαφορετικών μορφών αζώτου σε  
φυσιολογικές παραμέτρους του μαλακού σιταριού  
(*Triticum aestivum* L.).

Ιωάννης Κ. Γεωργούλας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Αναστασία Γιαννακούλα  
Επίκουρη Καθηγήτρια Α.Τ.Ε.Ι.Θ

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος, 2018



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ  
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ

---



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών(ΠΜΣ)**

«Καινοτόμα Συστήματα Αειφόρου Αγροτικής Παραγωγής»

**Κατεύθυνση: Ορθολογική Διαχείριση Φυτικού  
Κεφαλαίου και Εδαφοϋδατικών Πόρων.**

## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Η επίδραση διαφορετικών μορφών αζώτου σε  
φυσιολογικές παραμέτρους του μαλακού σιταριού  
(*Triticum aestivum* L.).

**Ιωάννης Κ. Γεωργούλας**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Αναστασία Γιαννακούλα  
Επίκουρη Καθηγήτρια Α.Τ.Ε.Ι.Θ

**Θεσσαλονίκη, Ιούνιος, 2018**

## **ΑΦΙΕΡΩΣΗ**

*Στην σύζυγό μου Κοριακή και στα παιδιά μου, Όλγα και Κωνσταντίνο,  
για την κατανόηση και την ηθική υποστήριξη  
κατά την διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου Διατριβής.*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Επιθυμώ να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επίκουρη καθηγήτρια Αναστασία Γιαννακούλα του Τμήματος Τεχνολόγων Γεωπονίας του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος, για την αμέριστη συμπαράσταση που έδειξε στην προσπάθειά μου να εκπονήσω την μεταπτυχιακή μου διατριβή. Ειδικότερα, την ευχαριστώ για την ανάθεση, το σχεδιασμό και την εποπτεία των πειραμάτων, την βοήθειά της κατά την ερμηνεία των δεδομένων, καθώς επίσης και για τις πολύτιμες οδηγίες και υποδείξεις κατά τη διάρκεια της συγγραφής αυτής της εργασίας, οι οποίες ήταν καθοριστικές για την πληρότητά της ως προς το περιεχόμενο, τη δομή και την παρουσίασή της. Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή Ηλία Ηλία και τον επίκουρο καθηγητή Στέφανο Στεφάνου, μέλη της εξεταστικής επιτροπής για τις πολύτιμες υποδείξεις και τη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών πειραμάτων, αλλά και για την κριτική ανάγνωση του κειμένου και τις χρήσιμες υποδείξεις τους. Επίσης, να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στη Δρ Όλγα Διχάλα και στον κ. Ευάγγελο Κορπέτη, γεωπόνο του ΕΛ.Γ.Ο «ΔΗΜΗΤΡΑ», το προσωπικό του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Σιτηρών και ιδιαίτερα την ερευνήτρια Μαρία Ηρακλή, τον κ. Φώτιο Κλεισιάρη, χημικό μηχανικό, την κ. Παρθενόπη Παπαγερίδου, παρασκευάστρια, τον κ. Νικόλαο Χρηστούδη, χειριστή των γεωργικών μηχανημάτων καθώς επίσης τις γεωργοτεχνίτριες Παγώνα Χρηστούδη, Ευαγγελία Τσιωμή και Ευαγγελία Σαμαρά, το προσωπικό του εργαστηρίου του Ινστιτούτου Εδαφοϋδατικών Πόρων και ιδιαίτερα τις κκ. Πολυξένη Ψωμά και Αρετή Μπούτλα, χημικούς, τον ερευνητή Γεώργιο Τσοκτουρίδη για τις ουσιαστικές του συμβουλές, την εταιρεία λιπασμάτων HAIFA για την ευγενική προσφορά των λιπασμάτων καθώς επίσης τον Δρ Βασίλειο Τσαμπαρδούκα, τον ερευνητή Θωμά Γιτσόπουλο, την αναπληρώτρια διευθύντρια Πασχαλίνα Χατζοπούλου και τέλος τη διευθύντρια του Ινστιτούτου Γενετικής βελτίωσης & Φυτογενετικών Πόρων Ελένη Μαλούπα για την αμέριστη συμπαράσταση.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί η αγρονομική συμπεριφορά του μαλακού σιταριού, η απόδοση του σε καρπό αλλά και η ποιότητα των κόκκων της καλλιέργειας σε διαφορετικά επίπεδα λίπανσης αζώτου, αλλά και διαφορετικούς μηχανισμούς δράσης. Συγχρόνως, ο βασικός στόχος ήταν να μελετηθούν τα αζωτούχα λιπάσματα νέας τεχνολογίας ώστε να συγκριθούν με τους κλασικούς τρόπους πρακτικής λίπανσης που εφαρμόζεται έως σήμερα στην Ελλάδα. Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός την καλλιεργητική περίοδο 2016-17 καλλιεργήθηκε η ποικιλία μαλακού σιταριού «Αχελώος» και μελετήθηκε στον πειραματικό αγρό του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων η αποτελεσματικότητα της αξιοποίησης του αζώτου (N) σε διαφορετικές μορφές. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων σε πλήρως τυχαίο πειραματικό σχέδιο πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πρόγραμμα IBM SPSS Statistics 24 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) και οι μέσοι όροι τους συγκρίθηκαν με το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τον αριθμό των φυτών ανά στρέμμα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικές διαφορές, ενώ σχετικά με το ύψος του φυτού προέκυψε ότι στη συμβατική λίπανση το ύψος ήταν μεγαλύτερο σε αντίθεση με την διαδικασία χωρίς λίπανση που το ύψος που προέκυψε ήταν μικρότερο. Αναφορικά με την απόδοση, φαίνεται ότι η εφαρμογή των 9 λιπαντικών μονάδων CRF N έδωσε καλύτερα αποτελέσματα. Ο δείκτης συγκομιδής έδωσε καλύτερα αποτελέσματα στη λίπανση των 6,3 και 9 λ.μ. CRF N, ενώ χειρότερα ήταν τα αποτελέσματα για τη συνθήκη με 0 λίπανση. Συγχρόνως, η περιεκτικότητα του N στο σπόρο ήταν μικρότερη στη μηδενική λίπανση, η βιομάζα είχε λιγότερη συγκέντρωση N στις 0 και 9 λ.μ. CRF, ενώ στη συμβατική λίπανση η συγκέντρωση N στο έδαφος παρουσιάστηκε μικρότερη μετά τη συγκομιδή. Επίσης, στην παρούσα έρευνα εξετάζονται αναλυτικά η περιεκτικότητα σε φώσφορο (P), κάλιο (K), ψευδάργυρο (Zn) μαγγάνιο (Mn) ενώ περιγράφονται αναλυτικά και τα αποτελέσματα για την πρωτεΐνη, τη γλουτένη, το εκατολιτρικό βάρος και το βάρος χιλίων κόκκων. Τέλος, αναλύεται το γεγονός ότι η αζωτούχος λίπανση αυξάνει τη φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα και τον φωτοσυνθετικό ρυθμό, ενώ μείωση της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας των ποικιλιών προκύπτει με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας.

**Λέξεις κλειδιά:** Λιπάσματα ελεγχόμενης απελευθέρωσης, ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά, φωτοσύνθεση

## **ABSTRACT**

The primary aim of the present study is to investigate the agronomic behaviour of soft wheat and its yield. Moreover, the quality of the crop grain at different nitrogen fertilization levels is examined along with different mechanisms of action.

Additionally, the main objective of the study is to analyse modern fertilizers in order to compare them with the traditional ways of fertilization practice currently applied in Greece. This is achieved through the cultivation and measurement of the efficiency of "Acheloois" soft wheat, in terms of Nitrogen (N) usage in different forms, during the period 2016-17, at the experimental field of the Institute of Genetic Improvement and Phylogenetic Resources. Statistical analysis was pursued on a fully randomized experimental sample using IBM SPSS Statistics 24 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) and the mean scores were compared to the criterion of the minimum significant difference.

Regarding the number of plants per hectare, results did not support statistically significant differences. However, the findings concerning the height of the plant showed that in conventional fertilization the height was higher compared to the fertilizer-free process where the height was lower.

As far as yield is concerned, the application of 9 lubricating units CRFN proved to give better results. The harvest index gave better results at the fertilization of 6.3 and 9 l.u. CRF N, while worse results were provided by the 0-fertilization condition. Moreover, the N concentration in the seed was lower at the null fertilization; the biomass had less N concentration at 0 and 9 l.u. CRF, whereas in conventional fertilization the N soil concentration was lower after the harvest.

Additionally, the present study examines the concentration of phosphorus (P), potassium (K), zinc (Mn) and manganese (Mn) while results regarding protein, gluten, hectolitre weight and the weight of one thousand grains are also analysed. Finally, analysed that nitrogen fertilization increases photosynthetic efficiency and photosynthetic rate, while decreasing the photosynthetic efficacy of the varieties results from the decrease of soil moisture.

**Keywords:** Controlled release fertilizers, quantitative and qualitative characteristics, photosynthesis

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΦΙΕΡΩΣΗ	i
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	iv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	viii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	xii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	xiv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	xv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	3
1.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	3
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
1.3 Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	5
1.3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά	5
1.3.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά	10
1.3.2.1 Φύλλα	10
1.3.2.2 Μορφολογία του άνθους	11
1.3.2.3 Μορφολογία των κόκκων	12
1.3.3 Ανάπτυξη του φυτού	13
1.3.4 Καταγωγή και εξέλιξη του σιταριού	15
1.3.5 Η βελτίωση του σιταριού στην Ελλάδα	16
1.3.6 Προετοιμασία εδάφους για την εγκατάσταση του σιταριού	16
1.3.7 Λίπανση	17
1.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	19
1.4.1 Συμβατική λίπανση των σιτηρών	19
1.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ	27
1.6 ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ CONTROLLED RELEASE FERTILIZERS (CRF)	27
1.6.1 Πλεονεκτήματα λιπασμάτων ελεγχόμενης απελευθέρωσης CRF	31
1.6.2 Μειονεκτήματα λιπασμάτων ελεγχόμενης απελευθέρωσης CRF	31
1.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NUE)	32
1.8 ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	33
1.8.1 Απόδοση	33

1.8.2 Δείκτης συγκομιδής	34
1.8.3 Ύψος φυτού	35
1.9 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	35
1.9.1 Η επίδραση του Ν στη φυσιολογία του φυτού	35
1.9.1.1 Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη	35
1.9.2 Η σχέση του αζώτου με τη φωτοσύνθεση	36
1.9.3 Μέτρηση φθορισμού χλωροφύλλης	37
1.9.4 Πρωτεΐνη	37
1.9.5 Γλουτένη	38
1.9.6 Εκατολιτρικό Βάρος (kg/hl)	39
1.9.7 Βάρος Χιλίων Κόκκων	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	41
2.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	41
2.1.1 Εγκατάσταση του πειράματος	41
2.1.2 Εδαφοκλιματικές συνθήκες	42
2.1.3 Μετεωρολογικά δεδομένα	43
2.1.4 Πειραματικό σχέδιο	45
2.1.5 Καλλιεργητικές εργασίες	46
2.1.6 Αριθμός φυτών	47
2.1.7 Δειγματοληψία εδάφους	48
2.1.8 Μέτρα Φυτοπροστασίας	49
2.1.9 Τελικό Ύψος φυτών	51
2.1.10 Μέτρηση της γρήγορης κινητικής του φθορισμού της χλωροφύλλης α	52
2.1.11 Ελάχιστος φθορισμός (F <sub>0</sub> )	53
2.1.12 Μέγιστος φθορισμός (F <sub>m</sub> )	54
2.1.13 Μεταβλητός φθορισμός (F <sub>v</sub> )	54
2.1.14 Ο λόγος F <sub>v</sub> / F <sub>m</sub>	54
2.1.15 Επαγωγικός φθορισμός της χλωροφύλλης	54
2.1.16 Απόδοση/κιλά	56
2.1.17 Δείκτης συγκομιδής	58
2.1.18 Πρωτεΐνη	59
2.1.19 Ο προσδιορισμός της Υγρής γλουτένης και του Δείκτη γλουτένης	61
2.1.20 Βάρος Χιλίων Κόκκων	64
2.1.21 Εκατολιτρικό Βάρος	65
2.1.22 Ανάλυση θρεπτικής κατάστασης φυτών	66
2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΛΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	67



2.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	68
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	68
3.1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΤΩΝ	68
3.2 ΎΨΟΣ ΦΥΤΩΝ	68
3.3. ΑΠΟΔΟΣΗ (ΚΙΛΑ/ ΣΤΡΕΜΜΑ)	69
3.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (HARVEST INDEX)	71
3.5 ΑΖΩΤΟ (N)	72
3.5.1. Περιεκτικότητα N (%) στο σπόρο	72
3.5.2. Περιεκτικότητα N (%) βιομάζας	73
3.5.3. Περιεκτικότητα N (%) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή	73
3.6 ΦΩΣΦΟΡΟΣ (P)	74
3.6.1 Περιεκτικότητα P (%) στο σπόρο	74
3.6.2. Περιεκτικότητα P (%) στη βιομάζα	75
3.6.3 Περιεκτικότητα P (%) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή	76
3.7. ΚΑΛΙΟ (K)	77
3.6.1 Περιεκτικότητα K (%) στο σπόρο	77
3.6.2. Περιεκτικότητα K (%) στη βιομάζα	77
3.6.3 Περιεκτικότητα K (%) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή	78
3.8 ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ (Zn)	79
3.6.1 Περιεκτικότητα Zn (%) στο σπόρο	79
3.6.2. Περιεκτικότητα Zn (%) στη βιομάζα	79
3.6.3 Περιεκτικότητα Zn (%) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή	80
3.9 ΜΑΓΓΑΝΙΟ (Mn)	81
3.9.1 Περιεκτικότητα Mn (ppm) στο σπόρο	81
3.9.2. Περιεκτικότητα Mn (ppm) στη βιομάζα	82
3.9.3 Περιεκτικότητα Mn (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή	83
3.10 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΖΩΤΟΥ (NITROGEN USE EFFICIENCY)	86
3.11 Φθορισμός	87
3.11.1 Μέτρηση φθορισμού (Fv/Fm) 23-3-2017	87
3.11.2. Μέτρηση φθορισμού (Fv/Fm) 24-4-2017	88
3.11.3. Μέτρηση φθορισμού Fv/Fo 23-3-2017	90
3.11.3. Μέτρηση φθορισμού Fv/Fo 23-3-2017	90
3.12 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	92
3.12.1 Πρωτεΐνη (%)	92
3.12.2 Γλουτένη (%)	92

3.13 ΕΚΑΤΟΛΙΤΡΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (Kg/hL)	93
3.14 ΒΑΡΟΣ ΧΙΛΙΩΝ ΚΟΚΚΩΝ (gr)	94
ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	100
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	100
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	119
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	121

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 1</b> Χρονολογική εξέλιξη μετάβασης στο παραγωγικό στάδιο της Νεολιθικής εποχής κάθε περιοχής (ΙΜΕ, 2014).....	2
<b>Σχήμα 1.1</b> Κύριες περιοχές καλλιέργειας σιταριού στον κόσμο. Τα βόρεια και νότια όρια της περιοχής καλλιέργειας σημειώνονται με διακεκομμένη γραμμή (Grundas, 2003).....	6
<b>Σχήμα 1.2</b> Εξέλιξη της καλλιέργειας του σιταριού στην Ελλάδα. Έκταση, Παραγωγή, Απόδοση 1919-2012 (Κορπέτης, 2014).....	8
<b>Σχήμα 1.3</b> Εξέλιξη της ολικής καλλιεργούμενης έκτασης με σιτάρι στην Ελλάδα, σε εκατομμύρια στρέμματα (Πηγή: ΥΠΑΑΤ, 2014).....	8
<b>Σχήμα 1.4</b> Πληθυσμός της γης 1950-2100, σύμφωνα με διαφορετικές προβλέψεις και παραλλαγές (UN, 2013).....	9
<b>Σχήμα 1.5</b> Έκταση, απόδοση και παραγωγή σιταριού στον κόσμο (Alexandratos & Bruijsma, 2012).....	10
<b>Σχήμα 1.6</b> Σιτάρι: Α. Σταχύδιο, Β. ύπερος άνθους και Γ. ανθίδιο με ανθήρες (Ξυνιάς, 2004).....	11
<b>Σχήμα 1.7</b> Στάχυς και σταχύδιο με σπόρους (Grundas, 2003).....	12
<b>Σχήμα 1.8</b> Κατά μήκος τομή κόκκου σιταριού (Grundas, 2003).....	13
<b>Σχήμα 1.9</b> Διαδικασία απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων από ένα MulticoTech™ λίπασμα. (Πηγή: <a href="http://www.haifa-group.com">http://www.haifa-group.com</a> ) .....	28
<b>Σχήμα 1.10</b> Επίδραση της σταθερής θερμοκρασίας στη σταθερή απελευθέρωση του λιπάσματος σε σχέση με το χρόνο παραμονής του στο έδαφος. (Πηγή: <a href="http://www.haifa-group.com">http://www.haifa-group.com</a> ) .....	29
<b>Σχήμα 2.1</b> Μέση, Μέγιστη και Ελάχιστη θερμοκρασία, στο Αγρόκτημα του ΙΓΒ&ΦΠ στη Θέρμη κατά την καλλιεργητική περίοδο 2016-17 (Στοιχεία από Μετεωρολογικό Σταθμό στο Αεροδρόμιο Μακεδονία, ΕΜΥ).....	43
<b>Σχήμα 2.2</b> Μηνιαίο ύψος βροχής σε mm στο Αγρόκτημα του ΙΓΒ&ΦΠ στη Θέρμη κατά την καλλιεργητική περίοδο 2016-17 (Στοιχεία από Μετεωρολογικό Σταθμό στο Αεροδρόμιο Μακεδονία, ΕΜΥ).....	44
<b>Σχήμα 2.3</b> Πειραματικό σχέδιο RCB.....	45
<b>Σχήμα 3.1</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο συνολικό αριθμό των φυτών. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο ± τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	68
<b>Σχήμα 3.2</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο ύψος των φυτών. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο ± τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας	

$P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	69
<b>Σχήμα 3.3</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στην απόδοση (κύλα / στρέμμα). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	70
<b>Σχήμα 3.4</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στον Δείκτη Συγκομιδής. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	71
<b>Σχήμα 3.5</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση ολικού N (%) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	72
<b>Σχήμα 3.6</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση ολικού N (%) στη βιομάζα. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	73
<b>Σχήμα 3.7</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση ολικού N (%) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	74
<b>Σχήμα 3.8</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση P (%) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	75
<b>Σχήμα 3.9</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση P (%) στη βιομάζα. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	75
<b>Σχήμα 3.10</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση P (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	76
<b>Σχήμα 3.11</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση K (%) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο	

σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	77
<b>Σχήμα 3.12</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση K (%) στη βιομάζα. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	78
<b>Σχήμα 3.13</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση K (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	78
<b>Σχήμα 3.14</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Zn (ppm) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	79
<b>Σχήμα 3.15</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Zn (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	80
<b>Σχήμα 3.16</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Mn (ppm) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	81
<b>Σχήμα 3.17</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Mn (ppm) στη βιομάζα. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	82
<b>Σχήμα 3.18</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Mn (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$ σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για $P < 0,05$ .....	83
<b>Σχήμα 3.19</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο συντελεστή αποτελεσματικότητας (P.F.P.). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	84
<b>Σχήμα 3.20</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη μέτρηση φθορισμού ( $1^{\circ}$ μέτρηση). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	87

<b>Σχήμα 3.21</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη μέτρηση φθορισμού (1η μέτρηση). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	88
<b>Σχήμα 3.22</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη μέτρηση φθορισμού (2 <sup>η</sup> μέτρηση). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	89
<b>Σχήμα 3.23</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη μέτρηση φθορισμού (1 <sup>η</sup> μέτρηση). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	90
<b>Σχήμα 3.24</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη μέτρηση φθορισμού (2 <sup>η</sup> μέτρηση). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	91
<b>Σχήμα 3.25</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο ποσοστό πρωτεΐνης (%). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	92
<b>Σχήμα 3.26</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο ποσοστό γλουτένης (%). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	93
<b>Σχήμα 3.27</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο εκατολιτρικό βάρος (kg/hL). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	94
<b>Σχήμα 3.28</b> Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο βάρος χιλίων κόκκων (gr). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο $\pm$ τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ σε όλα τα σχήματα.....	94

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.1</b> Σύνθεση του σιταριού εκφρασμένη σε 100g βρώσιμης μερίδας (Charalampopoulos et al., 2002).....	12
<b>Πίνακας 2.1</b> Φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους του αγρού.....	43
<b>Πίνακας 2.2</b> Μετεωρολογικά στοιχεία στο Αγρόκτημα του ΙΓΒ&ΦΠ στη Θέρμη κατά την καλλιεργητική περίοδο 2016-17 (Στοιχεία από Μετεωρολογικό Σταθμό στο Αεροδρόμιο Μακεδονία, EMY).....	44
<b>Πίνακας 3.1</b> Μέσοι όροι του ύψους των φυτών σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων.....	69
<b>Πίνακας 3.2</b> Μέσοι όροι της απόδοσης των σπόρων, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων.	70
<b>Πίνακας 3.3</b> Δείκτης συγκομιδής, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων.....	72
<b>Πίνακας 3.4</b> Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών N, P, K, Zn και Mn στους σπόρους, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan $P \leq 0,05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες.....	85
<b>Πίνακας 3.5</b> Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών N, P, K, Zn και Mn στη βιομάζα, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan $P \leq 0,05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες.....	85
<b>Πίνακας 3.6</b> Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών N, P, K, Zn και Mn στο έδαφος μετά τη συγκομιδή, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες.....	86
<b>Πίνακας 3.7</b> Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών αποτελεσματικότητας του αζώτου σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με	87

το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες.....

**Πίνακας 3.8** Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών φθορισμού Fv/Fm στις 23-3-2017 και 89  
στις 24-4-2017, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3,  
9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές  
σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος  
τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες.....

**Πίνακας 3.9** Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών φθορισμού Fv/Fo στις 23-3-2017 και 91  
στις 24-4-2017, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 9  
και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές  
σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος  
τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες. ....

**Πίνακας 3.10** Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών γλουτένης (%) και πρωτεΐνης (%), σε 93  
μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα  
διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με  
το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών  
επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες.....

**Πίνακας 3.11** Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών εκατολιτρικού βάρους (kg/hL) και 95  
βάρους χιλίων κόκκων (gr), σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου  
(10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν  
σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan,  $P \leq 0.05$ . Κάθε  
τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες.....



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Προετοιμασία για την εγκατάσταση του πειράματος.....	41
Εικόνα 2.2 Σπορά με αυτόματη σπαρτική μηχανή σιτηρών.....	42
Εικόνα 2.3 Εκτοξευτήρας του αρδευτικού συστήματος (καρούλι) .....	47
Εικόνα 2.4 Μέτρηση αριθμού φυτών από κάθε πειραματικό τεμάχιο.....	47
Εικόνα 2.5 Δειγματοληψία εδάφους από κάθε πειραματικό τεμάχιο.....	49
Εικόνα 2.6 Παρατηρήσεις και καταγραφή δεδομένων από τα πειραματικά τεμάχια.....	50
Εικόνα 2.7 Επιφανειακή λίπανση πειραματικών τεμαχίων.....	51
Εικόνα 2.8 Πειραματικά τεμάχια κατά τη μέτρηση ύψους.....	51
Εικόνα 2.9 Μέτρηση της γρήγορης κινητικής του φθορισμού της χλωροφύλλης <i>a</i> .....	52
Εικόνα 2.10 Φθορισμόμετρο <i>Hansatech Handy PEA</i> (Plant Efficiency Analyses) .....	56
Εικόνα 2.11 Πειραματικά τεμάχια λίγο πριν την συγκομιδή.....	57
Εικόνα 2.12 Σύσκευή μέτρησης υγρασίας <i>Isoelectric</i> . .....	57
Εικόνα 2.13 Αυτοκινούμενη πειραματική θεριζοαλωνιστική μηχανή χειμερινών σιτηρών	58
Εικόνα 2.14 Σταθερή μηχανή αλωνισμού δειγμάτων. ....	59
Εικόνα 2.15 Σύσκευή καύσης του δείγματος μάρκα <i>Gerhaedt Turbotherm</i> .....	60
Εικόνα 2.16 Σύσκευή απόσταξης του δείγματος μάρκας <i>Gerhardt Vapodest</i> .....	61
Εικόνα 2.17 Ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας .....	62
Εικόνα 2.18 Σύσκευή μέτρησης υγρής γλουτένης και ποσοστού επί της % γλουτένης.....	64
Εικόνα 2.19 Σύσκευή μέτρησης κόκκων σιταριού .....	65
Εικόνα 2.20 Σύσκευή μέτρησης εκατολιτρικού βάρους.....	65
Εικόνα 2.21 Σύσκευή <i>ICP-AES</i> μάρκας <i>Optima 2100DV</i> .....	66

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ADM:	Archer Daniels Midland Company German
ADP:	Διφωσφορική Αδενοσίνη
A <sub>max</sub> :	Μέγιστη Φωτοσυνθετική Ικανότητα
ATP:	Τριφωσφορική Αδενοσίνη
CRF:	Controlled Release Fertilizers, Λιπάσματα Ελεγχόμενης Απελευθέρωσης
EC:	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα
EPA:	Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ
F0:	Ελάχιστος Φθορισμός
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών)
Fm:	Μέγιστος Φθορισμός
Fv:	Μεταβλητός Φθορισμός
GHG:	Παγκόσμια Εκπομπή Αερίων Θερμοκηπίου
GI:	Gluten index (Δείκτης Γλουτένης)
HI:	Harvest index (Δείκτης Συγκομιδής)
ICC:	International Association for Cereal Science and Technology (Διεθνής Ένωση για την Επιστήμη και την Τεχνολογία των Σιτηρών)
NNI:	Δείκτη Διατροφής Αζώτου
NUE:	Nitrogen use efficiency Αποδοτικότητα Χρήσης Αζώτου
NupE:	Αποτελεσματικότητα Απορρόφησης N
Rht:	Reduced height (Γονιδιακός νανισμός)
SRF	Slow Release Fertilizers (Λιπάσματα Αργής Απελευθέρωσης)
UN	Ηνωμένα Έθνη
USDA-ERS:	United States Department of Agriculture Economic Research Service, (Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ-Υπηρεσία Αγροοικονομικής Έρευνας)
BXK:	Βάρος Χιλίων Κόκκων
δ.ο.:	δραστική ουσία
EB:	Εκατολιτρικό Βάρος
ΕΛΣΤΑΤ:	Ελληνική Στατιστική Αρχή.
ΕΜΥ:	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
ΙΓΒΦΠ:	Ινστιτούτο Γενετικής Βελτίωσης & Φυτογενετικών Πόρων
ΙΣ:	Ινστιτούτο Σιτηρών
λ.μ.:	λιπαντικές μονάδες
ΟΗΕ:	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
PSII:	Φωτοσύστημα II
ΥΠΑΑΤ:	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σιτάρι (*Triticum* sp.), είναι γένος της οικογένειας Poaceae (=Gramineae), της Τάξης Poales, ανήκει στην Υποκλάση Liliidae, στο Υποάθροισμα Magnoliophytina στο Άθροισμα Spermaphyta. Στην οικογένεια Poaceae ανήκουν περισσότερα από 10.000 είδη, το οποίο αποτελεί βασική καλλιέργεια για την παγκόσμια γεωργία. Αποτελούν την κύρια τροφή του μισού περίπου πληθυσμού του πλανήτη της, παρέχοντας το 56% της ενέργειας των τροφών και το 50% των πρωτεϊνών που καταναλώνονται (Παπακώστα, 1996). Ο Όμηρος αναφέρεται στο σιτάρι με διάφορα επίθετα, όπως γλυκερός, μελίφρων κ.α. Περιγραφή του σιταριού έκανε ο Θεόφραστος κατά το 300 π.Χ. και αργότερα το 55 μ.Χ. ο Columella. Η εξημέρωσή του, ο έλεγχος δηλαδή της αναπαραγωγής από τον άνθρωπο (Nesbitt, 2001), 8.000 έως 12.000 χρόνια πριν στη Νοτιοδυτική Ασία, οδήγησαν στην ανάπτυξη του πολιτισμού στη παγκόσμια ιστορία. Σήμερα, τα σιτηρά κυριαρχούν στην παγκόσμια καλλιέργεια καταλαμβάνοντας την τελευταία δεκαετία σχεδόν το 50% της καλλιεργήσιμης γης (FAO, 2018). Ο Ιπποκράτης και ο Πλάτωνας, στην αρχαία Ελλάδα, ήταν οι πρώτοι που τόνισαν τη σημασία της διατροφής για την ανθρώπινη υγεία, δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στο σιτάρι (Vassilyadi et al., 2013).

Η μετάβαση από το κυνηγετικό-τροφοσυλλεκτικό στάδιο της Παλαιολιθικής και Μεσολιθικής στο παραγωγικό στάδιο της Νεολιθικής εποχής σημειώνεται στο Αιγαίο στο πρώτο μισό της 7ης χιλιετίας π.Χ., νωρίτερα από τα Βαλκάνια και την υπόλοιπη Ευρώπη (Σχήμα 1). Οι πρωιμότερες ενδείξεις για συστηματική καλλιέργεια σιταριού προέρχονται από την «εύφορη ημισέληνο», την περιοχή της Εγγύς Ανατολής με τον υψηλότερο δείκτη βροχοπτώσεων (IME, 2014).



**Σχήμα 1. Χρονολογική εξέλιξη μετάβασης στο παραγωγικό στάδιο της Νεολιθικής εποχής κάθε περιοχής (ΙΜΕ, 2014)**

Στην πορεία της εξέλιξης της καλλιέργειάς του, το σιτάρι εξημερώθηκε, χάνοντας την ικανότητα της διασποράς των σπόρων του (εύθραυστη ράχη) και του λήθαργου, με αποτέλεσμα η καλλιέργεια και η διατήρηση των ποικιλιών που έχουν δημιουργηθεί να εξαρτάται αποκλειστικά από τον άνθρωπο. Τον τελευταίο αιώνα η βελτίωση του σιταριού στράφηκε στη δημιουργία γενοτύπων με υψηλή και σταθερή απόδοση και καλύτερη ποιότητα προϊόντος και ανθεκτικών σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες. Οι διάφορες καλλιεργητικές μέθοδοι, η φυτοπροστασία, η χρήση λιπασμάτων βελτίωσαν την ποιότητα και απογείωσαν τις στρεμματικές αποδόσεις. Η βελτίωση του σιταριού, οδήγησε προοδευτικά σε σχετική ομοιομορφία των φυτών σε σύγκριση με την αρχική μεγάλη γενετική εγχώρια γενετική παραλλακτικότητα (Pecetti & Annicchiarico, 1998).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στην αρχή της ιστορίας του, ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε τα φυτικά υπολείμματα και κυρίως τη ζωική κοπριά ως λίπασμα για την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών του. Ο Θεόφραστος (372-287 π.Χ.) συνιστά την προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων κόπρου στα φτωχά εδάφη, αλλά μικρές ποσότητες και σποραδικά στα πλούσια.

Τα θρεπτικά συστατικά των φυτών έχουν μεγάλη σημασία για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και είναι γνωστά ότι 16 στοιχεία είναι απαραίτητα για όλα τα ανώτερα φυτά (Mengel & Kirkby, 2001). Οι μελέτες συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων στο σιτάρι και στις καλλιέργειες δημητριακών έχουν τυπικά ερευνηθεί περισσότερο στα μακροθρεπτικά στοιχεία (Malhi et al., 2006). Ο επιτυχής υπολογισμός του ρυθμού των λιπασμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών στόχων και της αντίστοιχης θρεπτικής πρόσληψης. Οι αποδόσεις του σιταριού έχουν συσχετιστεί με το νερό που αποθηκεύεται στο έδαφος κατά τη σπορά (Musick et al., 1994, Shangguan et al., 2002, Schillinger et al., 2008).

Ο De Saussure (1804) μελέτησε την απορρόφηση και χρησιμότητα του αζώτου και απέδειξε ότι είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη του φυτού. Το άζωτο (N) είναι το σημαντικότερο στοιχείο για την ανάπτυξη και την απόδοση των καλλιεργειών και η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων έχει συμβάλει σημαντικά στην ικανότητα της γεωργικής παραγωγής να καλύψει της ανάγκες των επτά δισεκατομμυρίων ανθρώπων στον κόσμο (Erisman et al., 2008, Grant et al., 2012). Το N είναι ουσιαστικό και αναντικατάστατο στοιχείο που μπορεί να αυξήσει την παραγωγή τροφίμων (Galloway et al., 2004). Είναι το κύριο θρεπτικό στοιχείο που επηρεάζει την απόδοση των κόκκων (Ehdaie & Waines, 2001) και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη βελτίωση των δεικτών ποιότητας των κόκκων σιταριού. Το N είναι συχνά το πιο περιοριστικό θρεπτικό συστατικό, στην καλλιέργεια και η δυναμική συσσώρευσης N της καλλιέργειας επομένως συχνά παρακολουθεί στενά τα πρότυπα ανάπτυξης βιομάζας (Drinkwater & Snapp, 2007). Η αύξηση των εφαρμογών του N είναι αποτελεσματικός τρόπος βελτίωσης των αποδόσεων (Abbasi et al., 2013). Η εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων έχει αυξήσει την παραγωγή σιτηρών πάνω από 40% στις αναπτυσσόμενες χώρες (Malhi et al., 2001) και 55% στις αναπτυσσόμενες (Li et al., 2009). Για να επιτευχθούν ολόένα και μεγαλύτερες αποδόσεις των καλλιεργειών, τα ποσοστά χρήσης N συνεχίζουν να αυξάνονται κάθε χρόνο, ενώ η

αποδοτικότητα της χρήσης του N συνεχίζει να μειώνεται (Liu et al., 2008, Cui et al., 2010). Το περίσσιο N στο έδαφος προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος υπό μορφή πτητικότητας ή έκπλυσης (Cameron et al., 2013). Έχει ως αποτέλεσμα σοβαρούς περιβαλλοντικούς κινδύνους ή ακόμα και άμεση μόλυνση εδαφών νερού και ατμοσφαιρικού αέρα (Zhang et al., 1996, Howarth, 1998). Η διαχείριση της εφαρμογής του αζώτου στην καλλιέργεια του σιταριού μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και την ποιότητα των κόκκων. Επίσης, το τελικό μέγεθος του ελάσματος των φύλλων επηρεάζεται σημαντικά από την επάρκεια νερού, θρεπτικών συστατικών (κυρίως αζώτου) και από τη θερμοκρασία του αέρα με άριστη τιμή είναι 20 °C (Καραμάνος, 1992).

Η διαχείριση της θρέψης στα σιτηρά συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τον τύπο του λιπάσματος που χρησιμοποιείται, τον χρόνο εφαρμογής, τη συχνότητα εφαρμογής και το σημείο εφαρμογής (Mikkelsen, 2011). Η επιλεκτική απορρόφηση αμμωνιακού ή νιτρικού αζώτου εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος του φυτού (Raven, 1985, Marschner, 1995), καθώς επίσης από το στάδιο ανάπτυξής του. Μελέτες αναφέρουν ότι νεαρά φυτά ευνοούνται πολύ περισσότερο όταν η λίπανση περιέχει αμμωνιακό άζωτο παρά νιτρικό (Horchani et al., 2010). Ωστόσο τα περισσότερα φυτά έχουν ανάγκη και τις δύο μορφές αζώτου (Eggebhi & Wilcox, 1990). Η αποτελεσματικότητα των λιπασμάτων επιτυγχάνεται με τη βελτίωση των ήδη χρησιμοποιούμενων προϊόντων ή με την ανάπτυξη νέων ειδικών τύπων λιπασμάτων (Maene, 1995).

Τα λιπάσματα ελεγχόμενης απελευθέρωσης (CRF) είναι λιπάσματα επικαλυμμένα ή περιέχονται μέσα σε κάψουλα. Ο ρυθμός απελευθέρωσης θρεπτικών στοιχείων από ένα επικαλυμμένο προϊόν μπορεί να ελεγχθεί μέχρι ένα βαθμό, μεταβάλλοντας το πάχος και τον τύπο της επικάλυψης ή αλλάζοντας και την αναλογία των υλικών επικάλυψης (Detrick, 1992, Shavin, 2005).

Με τη χρήση CRF μειώνεται η απώλεια του N και γίνεται αποτελεσματικότερη χρήση των λιπασμάτων (Keating et al., 1997, Bell, 2014, Thorburn et al., 2014, Verburg et al., 2014). Για τις αροτραίες καλλιέργειες είναι γνωστό πλέον, ότι μόνο το 1/3 περίπου του προστιθέμενου με τα συμβατικά λιπάσματα αζώτου προσλαμβάνεται από τα φυτά (Σιμώνης, 1987). Με τα CRF ρυθμίζεται η ποσότητα λιπάσματος N και βελτιώνεται ο συγχρονισμός της απαιτούμενης ποσότητας N στο έδαφος και προσεγγίζει τις ανάγκες των καλλιεργειών, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη μειωμένη απώλεια του N στο περιβάλλον (Bell & Moody, 2014). Έχει αποδειχθεί ότι τα CRF αυξάνουν την αποδοτικότητα πρόσληψης του N με αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων και την

μείωση των απωλειών του N μέσω της έκπλυσης, της απορροής, της πτητικότητας και της νιτροποίησης (Shaviv & Mikkelsen 1993, Shaviv, 2005, Chu et al., 2007, Grant et al., 2012, Zhu et al., 2012, Shao et al., 2013, Ye et al., 2013).

Μελέτες έχουν τεκμηριώσει ότι η εφαρμογή του CRF αύξησε την απόδοση και αποδοτικότητα χρήσης του αζώτου (NUE) του αραβοσίτου (Chu et al., 2007, Shao et al., 2013, Guo et al., 2016), του ρυζιού στη Βόρεια Κίνα (Ye et al., 2013) και του ζαχαροκάλαμου (Isobe, 1971, Isobe, 1972, Di Bella et al., 2013). Μελέτες έδειξαν ότι η ζήτηση N χαρακτηρίζεται από μια αρχική υστέρηση ακολουθούμενη από μια περίοδο γρήγορης πρόσληψης, αλλά επίσης έδειξε ότι το πρότυπο απορρόφησης επηρεάστηκε από το είδος της καλλιέργειας, την ηλικία των φυτών και τον γενότυπο (Verburg et al., 2014). Ο Hauck (1985) επισημαίνει ότι οι διαφορετικές απαιτήσεις των φυτών σε N ενδέχεται να απαιτούν διαφορετικούς μηχανισμούς απελευθέρωσης για να επιτευχθεί συγχρονισμός. Ο ίδιος συγγραφέας σχολίασε ότι «επειδή τα πρότυπα πρόσληψης και χρήσης ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων φυτικών ειδών που αναπτύσσονται υπό παρόμοιες συνθήκες παροχής N είναι απίθανο οποιοδήποτε ενιαίο σχέδιο λίπανσης N να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε N όλων των καλλιεργειών».

## **1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

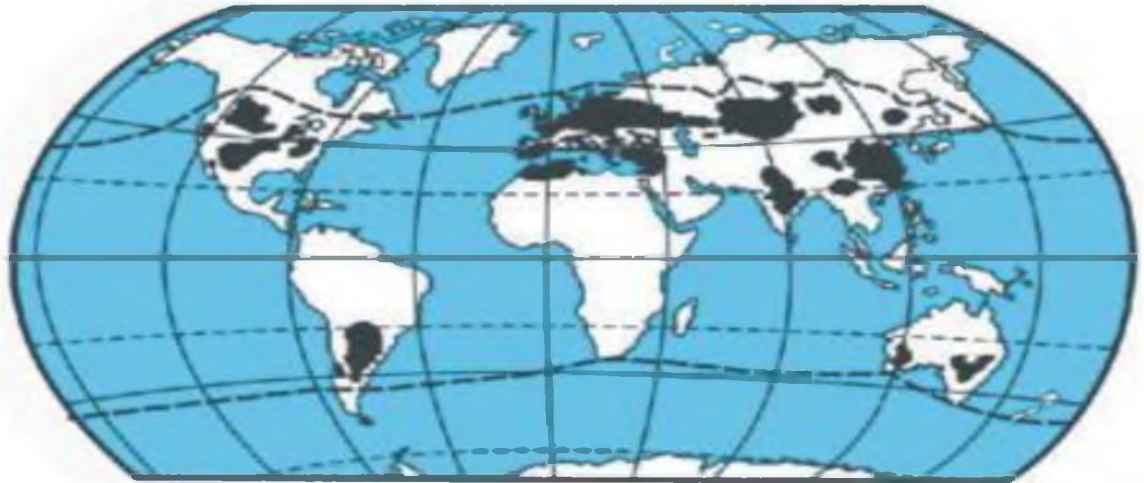
Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί η αγρονομική συμπεριφορά του μαλακού σιταριού, η απόδοση του σε καρπό αλλά και η ποιότητα των κόκκων της καλλιέργειας σε διαφορετικά επίπεδα λίπανσης αζώτου, αλλά και διαφορετικούς μηχανισμούς δράσης. Βασικός στόχος ήταν να μελετηθούν τα αζωτούχα λιπάσματα νέας τεχνολογίας ώστε να συγκριθούν με τους κλασικούς τρόπους πρακτικής λίπανσης που εφαρμόζεται έως σήμερα στην Ελλάδα.

## **1.3 Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ**

### **1.3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά**

Η καλλιέργεια σιταριού αποτελεί από τις σπουδαιότερες καλλιέργειες για τη διατροφή του ανθρώπου. Η έκταση που καλλιεργείται με σιτάρι παγκόσμια την τελευταία δεκαετία ξεπερνά τα 2.150 εκατομμύρια στρέμματα και περίπου το 90% καταλαμβάνει το μαλακό σιτάρι, ενώ στο υπόλοιπο 10% καλλιεργείται το σκληρό. Το σιτάρι είναι

σημαντική παγκόσμια καλλιέργεια τροφίμων που αναπτύσσεται τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Είναι μαζί με τον αραβόσιτο και το ρύζι από τις βασικές καλλιέργειες (Joshi et al., 2007a). Οι περισσότερες καλλιεργούμενες με σιτάρι περιοχές βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο (Σχήμα 1.1). Παγκόσμια, καλλιεργούμενη έκταση 224 εκατομμυρίων εκταρίων παρήγαγε το 2015 732 εκατομμύρια τόνους σιταριού (USDA-ERS,2016).Περίπου το 68% της παγκόσμιας καλλιέργειας σίτου χρησιμοποιείται απευθείας για τα τρόφιμα και το 21% ως ζωοτροφές (Food Outlook: Global Market Analysis,2012).Στην Ελλάδα, στα 32,35 εκατομμύρια στρέμματα συνολικής καλλιεργούμενης έκτασης, το σιτάρι καταλαμβάνει λίγο περισσότερο από 21,5%, με το σκληρό σιτάρι να φθάνει τα 5,25 και το μαλακό τα 1,73 εκατομμύρια στρέμματα (Πηγή: ΥΠΑΑΤ, 2014 και ΕΑΣΤΑΤ, 2014).



**Σχήμα 1.1 Κύριες περιοχές καλλιέργειας σιταριού στον κόσμο.**

**Τα βόρεια και νότια όρια της περιοχής καλλιέργειας σημειώνονται με διακεκομμένη γραμμή (Grundas, 2003)**

Το σιτάρι είναι χειμερινό σιτηρό στο οποίο διακρίνονται τρεις τύποι, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε υγρό ψύχος ώστε να προκληθεί η εαρινοποίηση και ο σχηματισμός ανθοταξίας: τον χειμερινό (απαιτεί της ώρες υγρού ψύχους), τον ανοιξιάτικο (δεν απαιτείται εαρινοποίηση) και τον ενδιάμεσο ή εναλλακτικό. Καλλιεργείται είτε ως χειμερινό, είτε ως εαρινό σιτηρό, στις εύκρατες κλιματικές ζώνες και στα τροπικά μέρη της γης, τόσο σε περιοχές με χαμηλά υψόμετρα όσο και σε ορεινές. Η κατανομή του σιταριού στα διάφορα μέρη του κόσμου σχετίζεται με τα διάφορα είδη και ποικιλίες καθώς και με την προσαρμοστικότητά της στα διάφορα περιβάλλοντα (Grundas, 2003).

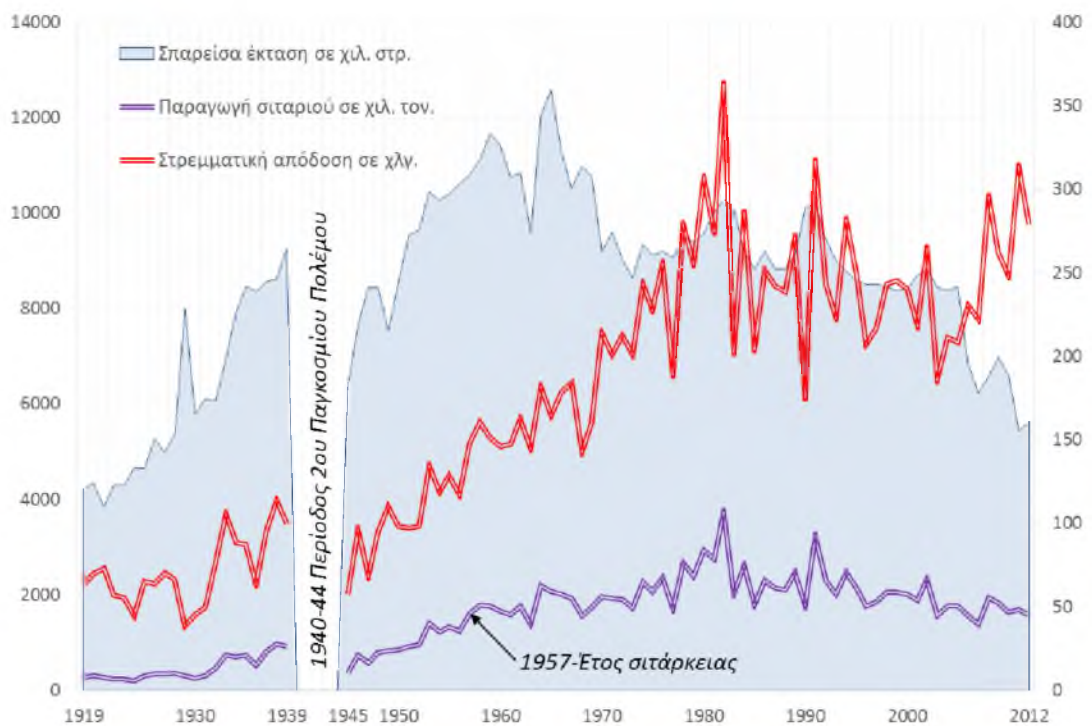


Στην Ελλάδα δεν καλλιεργείται ο χειμερινός τύπος, γιατί ο χειμώνας είναι ήπιος, με αποτέλεσμα να καθυστερεί η εαρινοποίηση, ο σχηματισμός της ανθοταξίας (όψιμο ξεστάχυσμα) και να μην ολοκληρώνεται η ωρίμανση. Η άριστη θερμοκρασία βλαστήσεως του σιταριού είναι 20-22°C, η ελάχιστη 3-4°C και η μέγιστη 35°C.

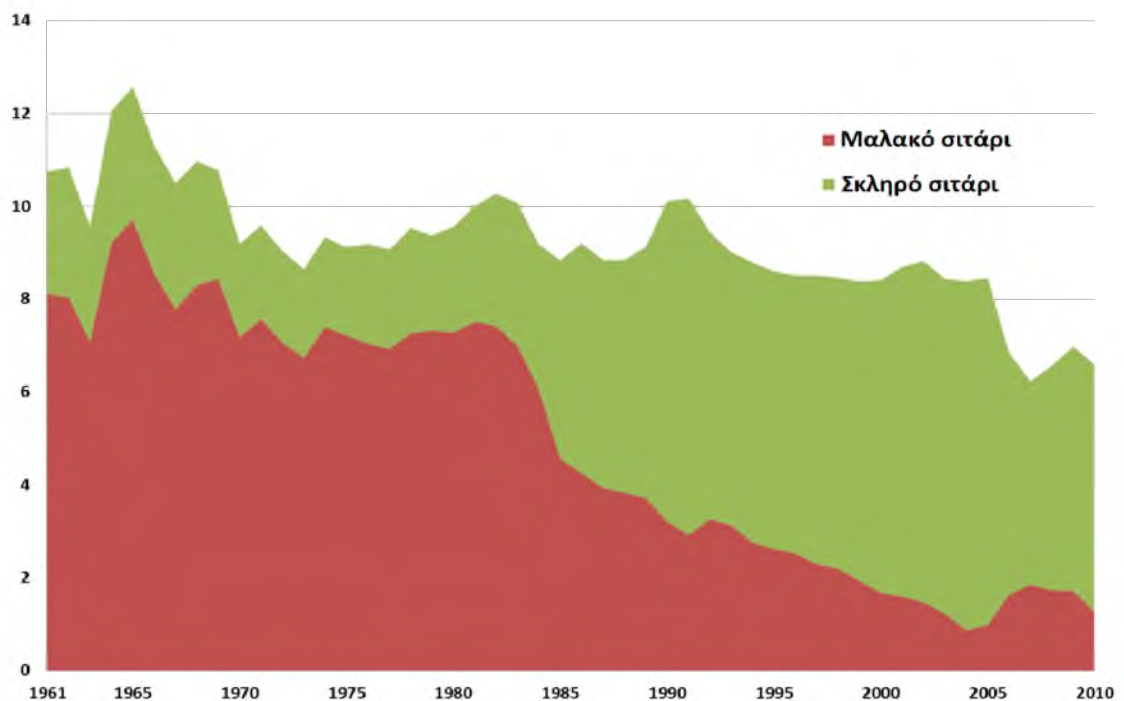
Το σιτάρι μπορεί να καλλιεργηθεί σε μέρη που η βροχόπτωση είναι γύρω στα 250 με 1750 mm ετησίως (Peterson, 1965). Στην Ελλάδα την περίοδο που το φυτό παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανάπτυξη δεν καταγράφονται αρκετές βροχοπτώσεις με εμφανή τα αποτελέσματα στην παραγωγικότητα και την τελική απόδοση (Δαναλάτος, 2005).

Οι ποικιλίες που καλλιεργούνται ανήκουν κατά κύριο λόγο στον ανοιξιάτικο τύπο, σπέρνονται το φθινόπωρο, διανύουν ένα μέρος του βιολογικού της κύκλου κάτω από τις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα, ανθίζουν έγκαιρα την άνοιξη, καρποφορούν τον τελευταίο μήνα της και η συγκομιδή γίνεται τους πρώτους μήνες του καλοκαιριού. Στην Ελλάδα οι ανοιξιάτικοι τύποι μπορούν να σπαρθούν νωρίς την άνοιξη (τέλη Φεβρουαρίου έως αρχές Μαρτίου) αλλά οι αποδόσεις θα είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σχέση με τις φθινοπωρινές σπορές.

Οι αυξημένες ανάγκες της Ελλάδας της αρχές του 20ου αιώνα σε σιτάρι αρτοποιίας οδήγησαν της ερευνητές στην αναζήτηση νέων μεθόδων φυτοπροστασίας και λίπανσης για υψηλές αποδόσεις. Αυτό είχε σαν συνέπεια το μαλακό σιτάρι να επεκταθεί σε βάρος του σκληρού. Η σιτάρεια που επιτεύχθηκε το 1957 (Σχήμα 3) ήταν συνισταμένη πολλών παραγόντων, κυρίως των προσπαθειών του Ινστιτούτου Καλλιτερεύσεως Φυτών (μετέπειτα Ινστιτούτο Σιτηρών και σήμερα Ινστιτούτο Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων) που δημιούργησε νέες βελτιωμένες ποικιλίες αλλά και της ορθής αγροτικής πολιτικής, όπως η κρατική σποροπαραγωγή και η καθιέρωση του θεσμού συγκέντρωσης της παραγωγής σιταριού. Μετά το 1980, με την είσοδο της Ελλάδας στην Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα και τις επιδοτήσεις στην καλλιέργεια του σκληρού σιταριού, εμφανίζεται μετακίνηση των σιτοκαλλιεργειών από το μαλακό στο σκληρό σιτάρι, ενώ μετά το 2005 παρουσιάζεται μείωση της ολικής καλλιεργούμενης με σιτάρι έκτασης (Σχήμα 1.2).

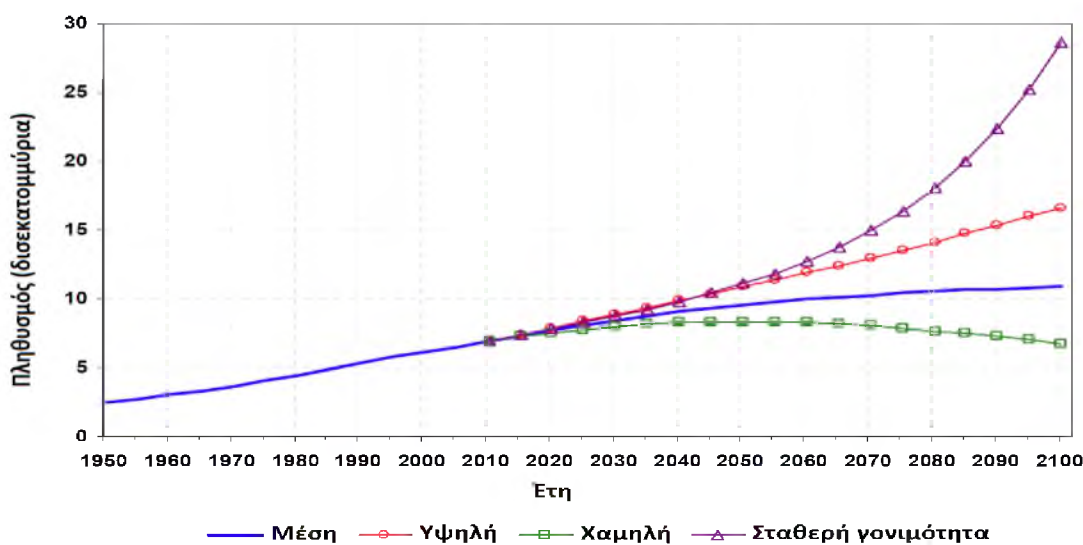


Σχήμα 1.2 Εξέλιξη της καλλιέργειας του σιταριού στην Ελλάδα. Έκταση, Παραγωγή, Απόδοση 1919-2012 (Κορπέτης, 2014)

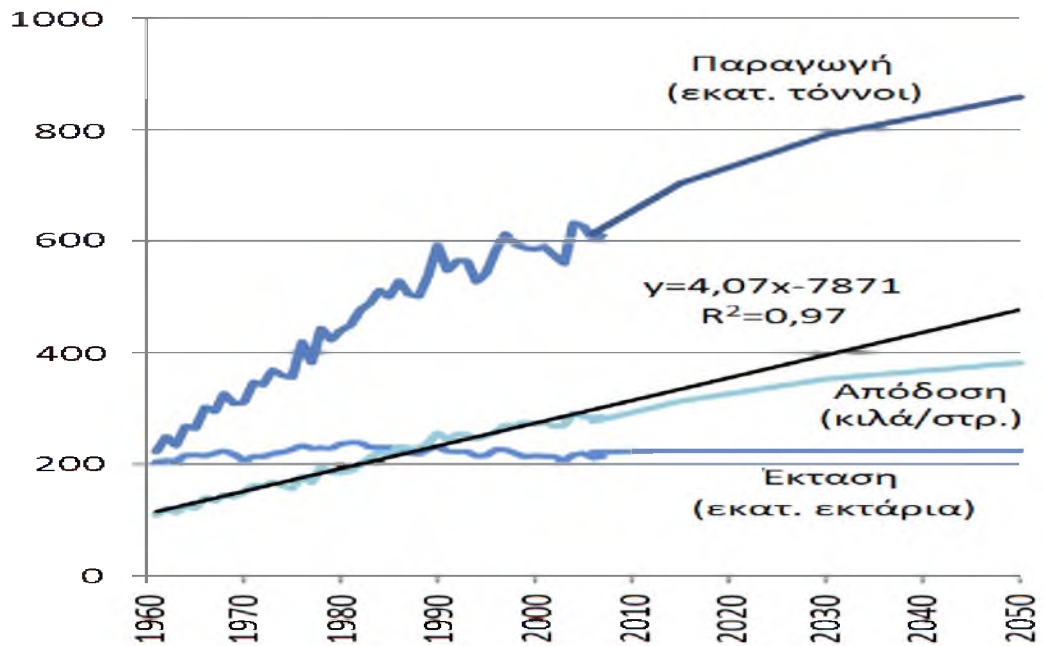


Σχήμα 1.3 Εξέλιξη της ολικής καλλιεργούμενης έκτασης με σιτάρι στην Ελλάδα σε εκατομμύρια στρέμματα (Πηγή: ΥΠΑΑΤ, 2014)

Η αύξηση της απόδοσης του σιταριού κρίνεται απαραίτητη ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για τροφή από την επερχόμενη αύξηση του πληθυσμού τη γης. Σύμφωνα με τις επίσημες εκθέσεις και τις προβλέψεις των Ηνωμένων Εθνών, ο παγκόσμιος πληθυσμός των 7,2 δις. στα μέσα του 2013 προβλέπεται να αυξηθεί κατά σχεδόν ένα δις. ανθρώπους μέσα στα επόμενα δώδεκα χρόνια, φθάνοντας τα 8,1 δις. το 2025 και να αυξηθεί περαιτέρω στα 9,6 δις. το 2050 και 10,9 δις. μέχρι το 2100 (Σχήμα 1.3). Τα αποτελέσματα αυτά βασίζονται στη μέση εκτίμηση, η οποία προϋποθέτει πτώση της γονιμότητας για τις χώρες όπου μεγάλες οικογένειες εξακολουθούν να κυριαρχούν, καθώς και μικρή αύξηση της γονιμότητας σε χώρες με λιγότερα από δύο παιδιά ανά γυναίκα κατά μέσο όρο (UN, 2013). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4, η μέση παγκόσμια απόδοση του σιταριού αναμένεται να αυξηθεί από 280 κιλά/στρ. κατά το έτος βάσης (2007-08) στα 380 το 2050, ενώ θα μπορούσε να φθάσει τα 480 κιλά ανά γραμμική τάση συνεχιζόταν έως το 2050 (Alexandratos & Bruinsma, 2012).



**Σχήμα 1.4 Πληθυσμός της γης 1950-2100, σύμφωνα με διαφορετικές προβλέψεις και παραλλαγές (UN, 2013)**



**Σχήμα 1.5 Έκταση, απόδοση και παραγωγή σιταριού στον κόσμο  
(Alexandratos & Bruinsma, 2012)**

### 1.3.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το κοινό χαρακτηριστικό των σιτηρών όσον αφορά στο ριζικό σύστημα είναι η θυσσανώδης ρίζα. Η ρίζα διακρίνεται στην πρωτογενή εμβρυακή ρίζα, τις δευτερογενείς εμβρυακές (seminal roots) που εμφανίζονται από το μεσοκοτύλιο και τις μόνιμες (adventitious ή crown roots) που εμφανίζονται από το λαιμό. Το μόνιμο ριζικό σύστημα εμφανίζεται αργότερα από έναν κόμβο του στελέχους που λέγεται σταυρός και ο οποίος βρίσκεται λίγο πιο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι μόνιμες ρίζες κατευθύνονται στην αρχή σχεδόν οριζόντια και κατόπιν προς τις πλευρές. Συγκριτικά με της εμβρυακές, οι μόνιμες ρίζες είναι παχύτερες και ισχυρότερες.

Το στέλεχος των σιτηρών είναι καλάμι το οποίο αποτελείται από κοίλα μέρη, τα μεσογονάτια και πλήρη μέρη, τους κόμβους. Η μορφολογία και η ανατομία του στελέχους παίζει σημαντικό ρόλο στην αντοχή μιας ποικιλίας στο πλάγιασμα.

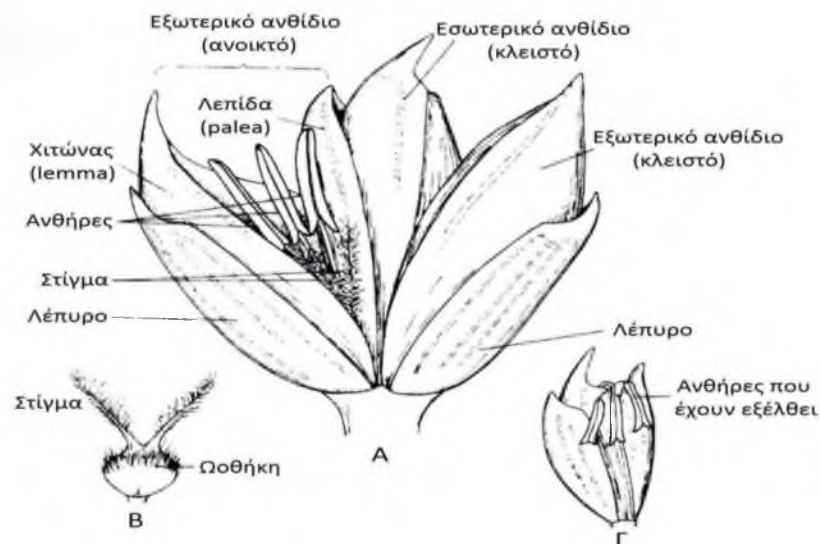
#### 1.3.2.1 Φύλλα

Στα σιτηρά η φυλλοταξία είναι δίστιχη. Σε κάθε στέλεχος εμφανίζονται 7-9 φύλλα υπό συνθήκες αγρού. Το ανώτερο φύλλο ονομάζεται φύλλο σημαία (flag leaf) και έχει

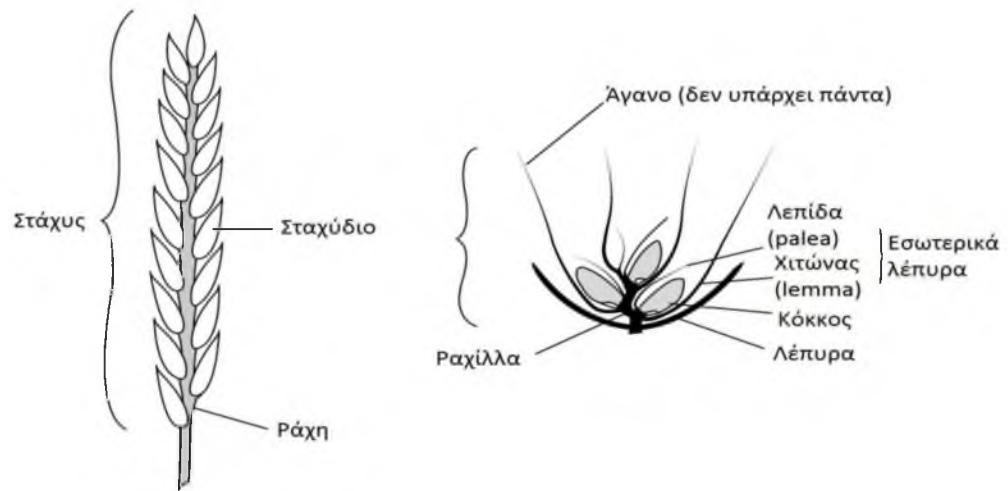
ιδιαίτερη σημασία για την παροχή φωτοσυνθετικών ουσιών στον αναπτυσσόμενο καρπό. Το φύλλο αποτελείται από τον κολεό και το έλασμα, τα οποία άλλοτε μπορεί να είναι λεία και άλλοτε με τρίχες. Στο σημείο ένωσης κολεού και ελάσματος υπάρχει η γλωσσίδα η οποία προστατεύει το φυτό από τη σήψη. Στη βάση της και από τις δύο πλευρές υπάρχουν τα ωτίδια. Και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για τη διάκριση των σιτηρών μεταξύ τους κατά το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης των φυτών.

### 1.3.2.2 Μορφολογία του άνθους

Το σιτάρι είναι φυτό μόνοικο, μονοκλινές, με άνθη μικρά, ατελή (χωρίς κάλυκα και στεφάνη). Τα άνθη είναι ενωμένα από 2-9 σε ταξιανθίες, τα σταχύδια (Σχήμα 1.6). Από τα άνθη του σταχυδίου μόνο τα εξωτερικά είναι γόνιμα. Πολλά σταχύδια ενωμένα μαζί σ' ένα κοινό άξονα (ράχη) σχηματίζουν το στάχυ (Σχήμα 1.7). Ο ύπερος αποτελείται από τη μονόχωρη ωθήκη, τον πολύ κοντό στύλο και το δισχιδές στίγμα (Σφήκας, 1984). Υπάρχουν τρεις στήμονες από της οποίους ο μεσαίος είναι ο πλέον ανεπτυγμένος και ο πιο πρώιμος. Οι κόκκοι της γύρης είναι πολύ λεπτοί, σφαιρικοί και λείοι. Όταν έλθει η κατάλληλη εποχή, οι ανθήρες βγαίνουν έξω και η γύρη τινάζεται και έτσι διευκολύνεται η διασπορά της (Ξυνιάς, 2004).



**Σχήμα 1.6 Σιτάρι: Α. Σταχύδιο, Β. ύπερος άνθους και Γ. ανθίδιο με ανθήρες (Ξυνιάς, 2004)**



**Σχήμα 1.7 Στάχυς και σταχύδιο με σπόρους (Grundas, 2003)**

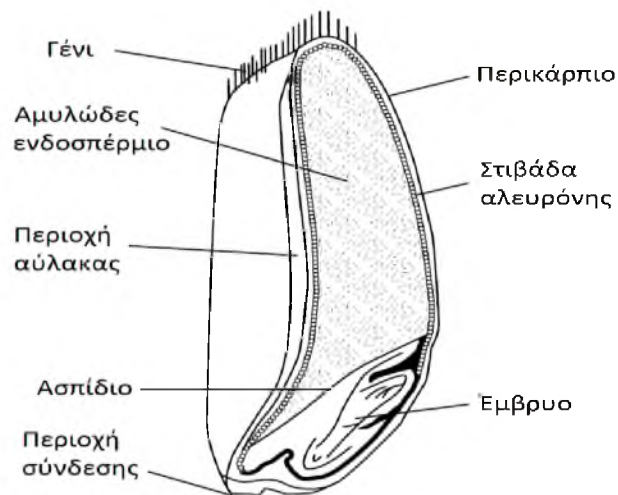
### 1.3.2.3 Μορφολογία των κόκκων

Τα κύρια συστατικά των κόκκων των σιτηρών, από ποσοτική άποψη είναι το άμυλο, οι πρωτεΐνες και το νερό. Επίσης περιέχουν μικρές ποσότητες ανόργανων αλάτων, κυτταρίνης, λίπους και βιταμινών του συμπλέγματος Β. Επίσης, εμφανίζουν υψηλή πρωτεΐνη και λίγα λίπη (Πίνακας 1.1).

**Πίνακας 1.1 Σύνθεση του σιταριού εκφρασμένη σε 100g βρώσιμης μερίδας (Charalampopoulos et al., 2002).**

Παράμετρος	Σιτάρι
Νερό (%)	12
Πρωτεΐνη (g)	13,3
Λίπη (g)	2,0
Υδατάνθρακες (g)	71,0
Ίνες (g)	2,3
Τέφρα(g)	1,7
Ca (mg)	41
P (mg)	372
Fe (mg)	3,3
K (mg)	370
Θειαμίνη (mg)	0,55
Ριβοφλαβίνη (mg)	0,12
Νιασίνη (mg)	4,3
Mg (mg)	113

Ο κόκκος του σιταριού έχει σχήμα επίμηκες, συνήθως ωοειδές (Σχήμα 1.8) και διαιρείται από βαθιά αύλακα (crease) σε δύο λοβούς. Στο εσωτερικό της αύλακας διακρίνεται δύσκολα το σημείο σύνδεσης του κόκκου με τον στάχυ. Στο ένα άκρο του κόκκου βρίσκεται το έμβρυο, απ' το οποίο φυτρώνει το νέο φυτό όταν σπαρθεί ο κόκκος και στο άλλο άκρο τούφα από λεπτά τριχίδια, το γένι (beard ή brush).



**Σχήμα 1.8 Κατά μήκος τομή κόκκου σιταριού (Grundas, 2003)**

Στον κόκκο διακρίνονται τρία κύρια μέρη:

α) Το πίτυρο (bran), δηλαδή το εξωτερικό περίβλημα (13% του κόκκου κ.β.), που αποτελείται από τρεις βασικά στοιβάδες, το περικάρπιο (pericarp), το επισπέρμιο (episperm ή testa) και τη στιβάδα αλευρόνης (aleurone layer) και περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό της κυτταρίνης και της τέφρας του κόκκου.

β) Το ενδοσπέρμιο (endosperm) (85% του κόκκου κ.β.) που περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό του αμύλου του κόκκου, απ' όπου προέρχεται το αλεύρι.

γ) Το έμβρυο ή φυτό (embryo ή germ) (2% του κόκκου κ.β.) που περιέχει λιπαρές ύλες, πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα και βιταμίνες. Χωρίζεται από το ενδοσπέρμιο με μεμβράνη που λέγεται ασπίδιο (scutellum) (Δημόπουλος, 1987).

### 1.3.3 Ανάπτυξη του φυτού

Η ανάπτυξη των σιτηρών από τη σπορά μέχρι τη συγκομιδή, καθορίζεται από μια αλληλουχία φαινολογικών γεγονότων, τα οποία ελέγχονται από το περιβάλλον και προκαλούν αλλαγές στη μορφολογία και στη λειτουργία ή μόνον στη λειτουργία

ορισμένων οργάνων. Η ανάπτυξη εκτελείται μέσω μιας σειράς φάσεων ή σταδίων ανάπτυξης (βλαστικό, αναπαραγωγικό, γέμισμα κόκκου) κατά τη διάρκεια των οποίων το φυτό δημιουργεί και αυξάνει τα όργανά του και συμπληρώνει το βιολογικό του κύκλο. Η διάρκεια κάθε μιας φάσης και ο αριθμός των καταβολών των διαφόρων οργάνων καθορίζονται από την αλληλεπίδραση γενότυπου και περιβάλλοντος. Διάφορα συστήματα αναγνώρισης των σταδίων ανάπτυξης του φυτού και του κόκκου έχουν προταθεί στα σιτηρά. Τα τρία σπουδαιότερα από αυτά είναι οι κλίμακες του Haun (1973), του Zadoks et al., (1974) που είναι περισσότερο λεπτομερείς και η Feekes-Large κλίμακα (Large, 1954) η οποία είναι συνοπτική, αλλά περισσότερο χρησιμοποιούμενη. Τα βασικά στάδια ανάπτυξης, της διαπιστώνονται από εξωτερικά μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτών, είναι το φύτερωμα, η ανάπτυξη του νεαρού φυταρίου (ανάπτυξη των φύλλων), το αδελφωμα, η επιμήκυνση του στελέχους (καλάμωμα), η διόγκωση - έκπτυξη της ταξιανθίας- άνθηση και η ανάπτυξη (γέμισμα) του κόκκου. Τα νεαρά φυτά αρχίζουν να φωτοσυνθέτουν και συνεπώς παύουν να εξαρτώνται από τις αποθηκευμένες ουσίες, συνήθως 10 ημέρες από την έναρξη του φυτρώματος (Filner & Varner, 1967).

Η απαιτούμενη ελάχιστη θερμοκρασία για το φύτερωμα βρέθηκε μικρότερη σε συνθήκες περιορισμένης υγρασίας του εδάφους (Dejong & Best, 1979). Ο τελικός της αριθμός φύλλων που θα έχει το φυτό επηρεάζεται από το γενότυπο, τη θερμοκρασία, την ένταση του φωτός και τη θρεπτική κατάσταση του φυτού. Επίσης, εξαρτάται από την ιεραρχία των βλαστών στο φυτό με τον κύριο βλαστό να παράγει τα περισσότερα φύλλα σε σχέση με της βλαστούς των αδελφιών. Παρατηρείται θετική συσχέτιση μεταξύ της ηλικίας του βλαστού και του αριθμού των φύλλων. Ο ρυθμός εμφάνισης των φύλλων επηρεάζεται από το γενότυπο και τις εδαφοκλιματικές συνθήκες (McMaster, 1997, Miralles & Slafer, 1999). Η μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια ανά βλαστό εμφανίζεται περίπου την περίοδο που το φύλλο σημαία έχει πλήρως αναπτυχθεί, λίγο πριν την έκπτυξη της ταξιανθίας. Οι ρίζες αποκτούν το μεγαλύτερο βάρος περίπου την περίοδο του ξεσταχυάσματος και στη συνέχεια το βάρος της μειώνεται.

Η μείωση του βάρους κυρίως οφείλεται στον θάνατο και την αποσύνθεση ορισμένων τμημάτων και ίσως και στη μετακίνηση θρεπτικών ουσιών προς το στάχυ. Έλλειψη P και K μειώνει το μέγεθος του ριζικού συστήματος. Η ανάπτυξη των οφθαλμών που θα δώσουν αδελφια ρυθμίζεται από την ισορροπία των ορμονών στο φυτό (Sharif & Dale, 1980). Στο σιτάρι η εμφάνιση του πρώτου πρωτογενούς αδελφιού συμπίπτει με την εμφάνιση του τέταρτου φύλλου (McMaster, 1997, Miralles & Slafer, 1999). Τα αδελφια συνήθως σχηματίζουν λιγότερα φύλλα από τον κύριο βλαστό, οπότε η άνθηση της



ταξιανθίας των αδελφιών συγχρονίζεται σχετικά με εκείνη του κυρίου βλαστού (Gallagher et al., 1976). Με τον όρο πλάγιασμα στα χειμερινά σιτηρά εννοούμε την κάμψη των στελεχών από την όρθια θέση της το έδαφος. Αντοχή στο πλάγιασμα παρουσιάζουν τα στελέχη που έχουν μικρό ύψος, μεγάλη διάμετρο, αυξημένο αριθμό ηθμαγγειωδών δεσμίδων στα κατώτερα μεσογονάτια, παχύ τοίχωμα, ελαστικότητα, μεγάλο βάρος ανά μονάδα μήκους, υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνες και λιγνίνη (Pinthus, 1973).

#### 1.3.4 Καταγωγή και εξέλιξη του σιταριού

Στην εξημέρωση του σιταριού εμπλέκονται πολλαπλά συμβάντα πολυπλοκειδισμού μεταξύ των διαφόρων ειδών των γενών *Triticum* και *Aegilops* (φυλή Triticeae της υποοικογένειας των Poioideae των αγρωστωδών). Το εξαπλοειδές μαλακό σιτάρι (*Triticum aestivum* L.) είναι το πιο σημαντικό μέλος της φυλής, η οποία περιλαμβάνει τα εξημερωμένα διπλοειδή και τετραπλοειδή σιτάρια, καθώς και τη σίκαλη (*Secale cereale*) και το κριθάρι (*Hordeum vulgare*).

Η καλλιέργεια του σιταριού και ο ανθρώπινος πολιτισμός εξελίσσονται παράλληλα εδώ και τουλάχιστον 10.000 χρόνια, από τότε δηλαδή που ο άνθρωπος επιχείρησε για πρώτη φορά να παράξει τρόφιμα, στη «Νεολιθική Επανάσταση» (Shewry, 2009), ενώ το πρώτο γεωργικό βιβλίο που αφορά το σιτάρι, γράφηκε σε πλάκα από πηλό με σφηνοειδή γραφή γύρω στο 1700 π.Χ. και ανακαλύφθηκε στο Ισραήλ το 1950 (Χρηστίδης, 1963).

Τα άγρια μονόκοκκα και δίκκοκκα σιτάρια ανακαλύφθηκαν στην Τουρκία, στην Ελλάδα, στη Βουλγαρία, στη νότια Σερβία, στη νοτιοδυτική Συρία, στο νοτιοανατολικό Λίβανο, στο βόρειο Ιράκ και στο δυτικό Ιράν, στην Αρμενία και η παρουσία της χρονολογείται πριν από το 7.500 π.Χ. (Perrino et al., 1996). Στην Ελλάδα το άγριο *T. boeoticum* απαντάται αυτοφυές στη Βοιωτία, στην Αργολίδα, στην Αχαΐα και σε μερικά μέρη της Θεσσαλίας (Jaradat et al., 1995). Τα πρώτα σιτάρια που άρχισαν να καλλιεργούνται μετά το 7.500 π.Χ. ήταν διπλοειδή μονόκοκκα και τετραπλοειδή δίκκοκκα, ενώ στον ελλαδικό χώρο εμφανίστηκαν μετά το 6.200 π.Χ. (Perrino et al., 1996).

Το καλλιεργούμενο δίκκοκκο σιτάρι (*T. dicoccum* Schrank ex Schübler) αποτελούσε το κυρίαρχο σιτάρι στην Ασία, Αφρική και Ευρώπη από τα πρώτα χρόνια της γεωργίας. Κόκκοι του βρέθηκαν της τάφους των Πυραμίδων της Αιγύπτου, ενώ ήταν διαδεδομένο στην αρχαία Βαβυλώνα και στην Κεντρική Ευρώπη (Χρηστίδης, 1963). Προήλθε από το άγριο δίκκοκκο *T. dicoccoides* (Körn. Ex Asch. & Graebner) Schweinf. που απαντάται στη

Νοτιοανατολική Ασία και ανακαλύφθηκε από τον Aaronsohn το 1906 στην Παλαιστίνη (Buller, 1919, Carleton, 1924).

Τα σιτάρια χωρίς λέπυρα (γυμνόσπερμα), ειδικά το μαλακό και το σκληρό σιτάρι, αντικατέστησαν τα σιτάρια που ήταν «ντυμένα» με λέπυρα και κυριάρχησαν στην καλλιέργεια σιταριού κατά τη διάρκεια της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, περίπου το 100 π.Χ. (Κορπέτης κ.ά., 2013). Τους ιστορικούς χρόνους που ακολουθούν, τα σιτηρά ή σιτώδη κατά το Θεόφραστο ή *cerealìa* στα λατινικά κατά τον Πλίνιο που καλλιεργούνταν κυρίως στον ελλαδικό χώρο ήταν ο πυρός (σιτάρι) και η κριθή (κριθάρι) και δευτερευόντως η όλυρα, η τίφη, ο κέγχρος (κεχρί), η ζειά.

### **1.3.5 Η βελτίωση του σιταριού στην Ελλάδα**

Η παραγωγή σιταριού για την κάλυψη των αναγκών της Ελλάδας αποτελούσε στόχο πρώτης προτεραιότητας Έτσι, το 1923 ξεκίνησε η βελτίωση του σιταριού στη χώρα, με τον Ιωάννη Παπαδάκη (1903-1996) να εγκαθιστά τα πρώτα πειράματα αξιολόγησης διαφόρων εγχωρίων και ξένων ποικιλιών σιταριού, σε τέσσερις περιοχές της χώρας. Οι προσπάθειες του Ινστιτούτου είχαν ως αποτέλεσμα τη σιτάρκεια που επιτεύχθηκε το 1957 (Κοκολιός, 1959). Σημαντικότερη δημιουργία του Ινστιτούτου ήταν η ποικιλία Γ-38290, η διασταύρωση της οποίας έγινε το 1934 από τον Παπαδάκη, μπήκε στη σποροπαραγωγή το 1942, αλλά ο πολλαπλασιασμός της μέχρι το 1950 ήταν πολύ βραδύς, λόγω των συνθηκών που επικρατούσαν Η ποικιλία αυτή έγινε γνωστή ως «Νούμερο» στους Έλληνες παραγωγούς κι έφθασε να καλλιεργείται επί 20 σχεδόν χρόνια στο 70% της έκτασης που σπερνόταν με σιτάρι (Παπαδάκης, 1983).

### **1.3.6 Προετοιμασία εδάφους για την εγκατάσταση του σιταριού**

Η προετοιμασία του εδάφους, η εποχή και ο τρόπος σποράς, η βασική λίπανση και η επιλογή της κατάλληλης ποικιλίας είναι βασικοί παράγοντες για την αποτελεσματική καλλιέργεια των σιτηρών. Η επεξεργασία του εδάφους επηρεάζει της βιολογικές, χημικές και φυσικές ιδιότητες των εδαφών (Gauer et al., 1982, Carefoot et al., 1990, Grant & Lafond, 1994, Campbell et al., 2001a, b, Lal, 2003)

Οι σωστές αποφάσεις πριν από τη σπορά των χειμερινών σιτηρών είναι εκείνες που μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλές αποδόσεις. Το είδος και ο χρόνος της κατεργασίας που θα εφαρμοστεί καθορίζονται από την προηγούμενη καλλιέργεια και τον όγκο των

φυτικών της υπολειμμάτων, την ύπαρξη ζιζανίων και την υγρασία του εδάφους. Το όργωμα γίνεται μετά της πρώτες φθινοπωρινές βροχές έτσι ώστε το έδαφος να βρίσκεται στον ρόγο του. Τα καλοκαιρινά οργώματα γίνονται μόνο όταν υπάρχει έντονο πρόβλημα στο χωράφι από πολυετή ζιζάνια. Αν έχει προηγηθεί ανοιζιάτικη καλλιέργεια, τότε το όργωμα γίνεται αμέσως μετά τη συγκομιδή, αφού πρώτα γίνει τεμαχισμός και κοπεί των φυτικών υπολειμμάτων. Το φθινοπωρινό όργωμα δεν πρέπει να γίνεται σε μεγάλο βάθος, καθώς ο κύριος όγκος του ριζικού συστήματος βρίσκεται στα πρώτα 30 εκ. του εδάφους. Το σιτάρι σπέρνεται στην Ελλάδα το φθινόπωρο.

Για τις πιο ορεινές περιοχές κατάλληλος μήνας σποράς θεωρείται ο Οκτώβριος, ενώ για της υπόλοιπες ο Νοέμβριος (Παπακώστα, 1996). Ο καθορισμός του καταλληλότερου χρόνου σποράς επηρεάζεται από της κλιματολογικές συνθήκες κατά το χειμώνα, από τον τύπο του εδάφους και από την ποικιλία (Καραμάνος, 1992). Για τη σωστή επιλογή του χρόνου σποράς πρέπει να συνυπολογιστούν οι εξής παράγοντες: η πρωιμότητα της ποικιλίας και οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Πολύ πρώιμες σπορές περικλείουν τον κίνδυνο αποτυχίας λόγω μειωμένης εδαφικής υγρασίας, ενώ σε περιοχές με όψιμους παγετούς μπορούν να υπάρξουν ζημιές. Στη πολύ πρώιμη καλλιέργεια υπάρχει ο κίνδυνος της ποιοτικής υποβάθμισης λόγω βροχών κοντά στη συγκομιδή. Σε πολύ όψιμες σπορές, τα φυτά δεν προλαβαίνουν να αναπτυχθούν πριν από την έλευση των χαμηλών θερμοκρασιών με αποτέλεσμα το μειωμένο αδέλφωμα, την καθυστερημένη ανθοφορία και τη μείωση των αποδόσεων.

Η σπορά σε βαριά, αργιλώδη και συνεκτικά εδάφη συνιστάται να γίνεται πιο πρώιμα σε σχέση με τα ελαφρά, τα οποία ξηραίνονται ευκολότερα. Σε ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας εδάφους η κολεοπτίλη εμφανίζεται 4-5 ημέρες μετά τη σπορά (Παπακώστα, 1997). Η βλάστηση αρχίζει όταν οι σπόροι απορροφήσουν μικρά ποσά υγρασίας, τουλάχιστον το 35-45% του ξηρού βάρους της. Το φως δεν επηρεάζει τη βλάστηση (Καραμάνος, 1992). Μεγαλύτεροι σπόροι συνεπάγονται ταχύτερη εγκατάσταση φυταρίων, καλύτερο ανταγωνισμό με τα ζιζάνια και πιθανόν υψηλότερες αποδόσεις (Καραμάνος, 1992).

### **1.3.7 Λίπανση**

Η προσπάθεια του ανθρώπου να αυξήσει της αποδόσεις των καλλιεργειών με την εφαρμογή λιπασμάτων είναι πολύ παλιά. Στην αρχή χρησιμοποιούσε τα φυτικά υπολείμματα και κυρίως τη ζωική κοπριά. Ο Θεόφραστος (372-287 π.Χ.) συνιστά την

προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων κόπρου στα φτωχά εδάφη, αλλά μικρές ποσότητες και σποραδικά στα πλούσια. Παρατήρησε ότι τα φυτά με μεγάλες απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία, παρουσιάζουν και υψηλές απαιτήσεις σε νερό. Τέλος επισήμανε τη σημασία της χλωρής λίπανσης στη γεωργία. Η χρήση των λιπασμάτων στη γεωργία, έπαιξε το σπουδαιότερο ρόλο στην αύξηση της γεωργικής παραγωγής σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Η αύξηση της χρήσης των λιπασμάτων έχει οδηγήσει στην άνοδο των στρεμματικών αποδόσεων. Η ορθολογική της χρήση αποσκοπεί και στην προστασία του περιβάλλοντος και σε τελευταία ανάλυση στην «ποιότητα ζωής» (Κουκουλάκης, 1995). Η λίπανση θα πρέπει να γίνεται στον κατάλληλο χρόνο και με της ευνοϊκότερες δυνατές συνθήκες αξιοποίησης. Με τη λίπανση αυξάνει η απόδοση, αλλά μέχρι του ορίου πέρα από το οποίο η αύξηση της απόδοσης δεν καλύπτει την αξία του επί πλέον λιπάσματος (νόμος της μη αναλόγου απόδοσης). Η γονιμότητα του εδάφους περιορίζει την απόδοση των καλλιεργειών στις περισσότερες ξηρές περιοχές του πλανήτη (Sadras & Angus, 2006, Li et al., 2009). Η υποβάθμιση του εδάφους θα αποτελέσει παγκόσμιο κίνδυνο για την παραγωγή και την επισιτιστική ασφάλεια της επόμενες δεκαετίες. Εκτιμάται ότι το 30% του παγκόσμιου γεωργικού εδάφους θα μετατραπεί σε υποβαθμισμένη γη τις επόμενες δεκαετίες (Oldeman et al., 1990, Rashid et al., 2016). Η υπερβολική χρήση διάφορων μορφών αζώτου (N) στις καλλιέργειες οδήγησε στον ευτροφισμό, επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Peel et al., 2013) και στη μεταβολή της λειτουργίας του οικοσυστήματος (Camargo & Alonso, 2006, Moss et al., 2013).

Ο σωστός χειρισμός της λίπανσης στα χειμερινά σιτηρά συμβάλει στην αύξηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης των θρεπτικών στοιχείων, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή απόδοση με την ελάχιστη δυνατή λίπανση συμβάλλοντας στην μείωση των εισροών και στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Με την αύξηση του πληθυσμού και τις διατροφικές συνήθειες του πληθυσμού αναμένεται να αυξηθεί η ζήτηση για ανθρώπινη διατροφή κατά 70%-120% μέχρι τα μέσα του αιώνα (Kastner et al., 2012, Ray et al., 2013), η βελτίωση των αποδόσεων είναι μία από τις πιο ελπιδοφόρες προσεγγίσεις (Foley et al., 2011, Mueller et al., 2012). Πράγματι, οι πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι μόνο με τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων των καλλιεργειών είναι δυνατή η τροφοδότηση επιπλέον 2 με 3 δισεκατομμύρια ανθρώπους (Davis et al., 2014b). Τα θρεπτικά συστατικά των φυτών έχουν μεγάλη σημασία για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και είναι γνωστά ότι 16 στοιχεία είναι απαραίτητα για όλα τα ανώτερα φυτά (Mengel & Kirkby, 2001). Οι μελέτες συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων στο σιτάρι και στις καλλιέργειες δημητριακών έχουν τυπικά ερευνηθεί περισσότερο στα

μακροθρεπτικά στοιχεία (Malhi et al., 2006). Ο επιτυχής υπολογισμός του ρυθμού των λιπασμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών στόχων και της αντίστοιχης θρεπτικής πρόσληψης.

Οι αποδόσεις του σιταριού έχουν συσχετιστεί με το νερό που αποθηκεύεται στο έδαφος κατά τη σπορά (Musick et al., 1994, Shangguan et al., 2002, Schillinger et al., 2008), η τροφοδότηση του αυξανόμενου πληθυσμού χωρίς να καταστρέφει το περιβάλλον είναι πρόκληση (Chen et al., 2014). Ως ο μεγαλύτερος καταναλωτής λιπασμάτων N στον κόσμο, η Κίνα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια, (Galloway et al., 2008, Oita et al., 2016). Περίπου 20-50% του λιπάσματος χάνεται στο περιβάλλον (π.χ. υποξείδιο του αζώτου, N<sub>2</sub>O) αλλά και σε άλλες μορφές αζώτου N (π.χ. έκπλυση και απορροή). Αυτό έχει δημιουργήσει σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα (π.χ. υπερθέρμανση του πλανήτη, ατμοσφαιρική ρύπανση και ευτροφισμός) που απειλούν τα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία (Sutton et al., 2011, Gu et al., 2015).

## **1.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

### **1.4.1 Συμβατική λίπανση των σιτηρών**

Η διαχείριση της θρέψης στα σιτηρά συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τον τύπο του λιπάσματος που χρησιμοποιείται, τον χρόνο εφαρμογής, τη συχνότητα εφαρμογής και το σημείο εφαρμογής (Mikkelsen, 2011). Η επιλεκτική απορρόφηση αμμωνιακού ή νιτρικού αζώτου εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος του φυτού (Raven, 1985, Marschner, 1995), καθώς επίσης από το στάδιο ανάπτυξής του. Μελέτες αναφέρουν ότι νεαρά φυτά ευνοούνται πολύ περισσότερο όταν η λίπανση περιέχει αμμωνιακό άζωτο παρά νιτρικό (Horchani et al., 2010). Ωστόσο τα περισσότερα φυτά έχουν ανάγκη και τις δύο μορφές αζώτου (Ergebhi & Wilcox, 1990).

Ο καθορισμός των απαιτούμενων λιπαντικών μονάδων προσδιορίζεται ανάλογα με τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές συνθήκες, το μικροκλίμα της περιοχής και την αναμενόμενη απόδοση και ποιότητα της καλλιέργειας. Στη συμβατική λίπανση έχουμε μεγάλες απώλειες αζώτου (νιτρικά) και συνεπώς αυξημένο κόστος καλλιέργειας. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη για ανάπτυξη νέας τεχνολογίας λιπασμάτων ώστε να μειωθούν οι απώλειες που θα συμβάλουν στην αειφόρο γεωργία.

Η εφαρμογή της λίπανσης στη καλλιέργεια των σιτηρών γίνεται σε δύο δόσεις, εκ των οποίων η πρώτη (βασική λίπανση) στη σπορά με την οποία χορηγείται το μισό άζωτο, όλος ο φωσφόρος και όλο το κάλιο και η δεύτερη (επιφανειακή λίπανση) στο αδέλφωμα με την οποία χορηγείται το υπόλοιπο μισό του αζώτου. Το άζωτο πρέπει να χορηγείται σε αμμωνιακή μορφή, έτσι ώστε να μην εκπλύνεται εύκολα με τις βροχές του χειμώνα και σε ποσότητα μέχρι 6 λ.μ. Οι δόσεις αζώτου εκτιμώνται σύμφωνα με την αναμενόμενη απόδοση. Προτείνεται συνολική λίπανση 12-15 μονάδων αζώτου για αποδόσεις 400-500 κιλών ανά στρέμμα και 9 μονάδων αζώτου για αποδόσεις μικρότερες των 400 κιλών.

Όταν είναι απαραίτητη η εφαρμογή του καλίου, αυτό χορηγείται στη σπορά γιατί είναι δυσδιάλυτο και απαιτούνται οι βροχοπτώσεις του φθινοπώρου και του χειμώνα για τη διαλυτοποίησή του. Τα εδάφη της χώρας μας είναι πλούσια σε κάλιο και σπάνια χρειάζεται η προσθήκη του. Συνήθως η έλλειψη της απαραίτητης υγρασίας στο έδαφος οδηγεί στην εκδήλωση φαινομένων έλλειψης καλίου στα φυτά. Η επάρκεια αζώτου στο καλάμωμα σημαίνει αυξημένο αριθμό επιζώντων αδελφιών περισσότερα και μεγαλύτερα στάχυα ανά στρέμμα, περισσότεροι και μεγαλύτεροι κόκκοι ανά στάχυ. Σε περιπτώσεις όπου το έδαφος έχει όξινο pH το επιφανειακό άζωτο πρέπει να χορηγείται με τη μορφή της ασβεστούχου Νιτρικής αμμωνίας. Η επιφανειακή λίπανση θα πρέπει να συνοδεύεται από συνθήκες υγρασίας ευνοϊκές για τη διαλυτοποίηση και διήθηση του αζώτου στο έδαφος (βροχή ή πότισμα).

Η χορήγηση της επιφανειακής λίπανσης σε δύο δόσεις παίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος. Η μια επιφανειακή δόση μπορεί να χορηγηθεί στο αδέλφωμα (μέχρι και την έναρξη του καλαμώματος) και η άλλη πριν από το ξεστάχασμα. Η τελευταία εφαρμογή, αν και δύσκολη, βελτιώνει την ποιότητα αυξάνοντας σημαντικά την πρωτεΐνη σε ποσοστό μεγαλύτερο του 13%. Η διαφοροποίηση, ανάδυση και εκδίπλωση των φύλλων επηρεάζονται θετικά από τη θερμοκρασία, την ένταση ακτινοβολίας, τη φωτοπερίοδο και τη θρεπτική κατάσταση του φυτού. Το τελικό μέγεθος του ελάσματος επηρεάζεται σημαντικά από την επάρκεια νερού, θρεπτικών συστατικών (κυρίως αζώτου) και από τη θερμοκρασία του αέρα (άριστη θερμοκρασία είναι 20°C (Καραμάνος, 1992). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με μελέτη του Παγκόσμιου Ινστιτούτου Θρέψης Φυτών, η σχέση μεταξύ της αναμενόμενης παραγωγής κόκκων στο σιτάρι και της περιεκτικότητας του σε πρωτεΐνη συνδέεται με την επάρκεια και την υψηλότερη παροχή αζώτου

**Άζωτο (N):** Το N είναι δομικό συστατικό των πρωτεϊνών, των νουκλεϊκών οξέων (DNA και RNA) και των ενζύμων. Το κρίσιμο επίπεδο περιεκτικότητας N στα φυτά

κυμαίνεται περίπου στο 3%. Αν το ποσοστό αυτό μειωθεί κάτω του 2,75%, εμφανίζονται συμπτώματα τροφοπενίας N στα φυτά, με αποτέλεσμα την απώλεια ποιότητας και ποσότητας στην τελική συγκομιδή. Ακόμη και μικρές εναλλαγές στην περιεκτικότητα αζώτου μπορούν να επιφέρουν σημαντικές μεταβολές στην ανάπτυξη των φυτών, την εποχή συγκομιδής αλλά και στην ποιότητα του συγκομιζόμενου προϊόντος. Είναι σημαντικό να διατηρούνται τα επίπεδα αζώτου στο έδαφος ανάλογα με τα καλλιεργούμενα φυτά προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα και η ποσότητα της παραγωγής.

Ο De Saussure μελέτησε την απορρόφηση και χρησιμότητα του αζώτου το 1804 και απέδειξε ότι είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη του φυτού. Το άζωτο (N) είναι το σημαντικότερο στοιχείο για την ανάπτυξη και την απόδοση των καλλιεργειών και η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων έχει συμβάλει σημαντικά στην ικανότητα της γεωργικής παραγωγής να καλύψει της ανάγκες των επτά δισεκατομμυρίων ανθρώπων στον κόσμο (Erisman et al., 2008, Grant et al., 2012). Το N είναι ουσιαστικό και αναντικατάστατο στοιχείο που μπορεί να αυξήσει την παραγωγή τροφίμων (Galloway et al., 2004). Το N είναι το κύριο θρεπτικό στοιχείο που επηρεάζει την απόδοση κόκκων σιταριού (Ehdaie & Waines, 2001) και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη βελτίωση των δεικτών ποιότητας των κόκκων. Το N είναι συχνά το πιο περιοριστικό θρεπτικό συστατικό, στην καλλιέργεια και η δυναμική συσσώρευσης N της καλλιέργειας επομένως συχνά παρακολουθεί στενά τα πρότυπα ανάπτυξης βιομάζας (Drinkwater & Snapp, 2007). Η αύξηση των εφαρμογών του N είναι αποτελεσματικός τρόπος βελτίωσης των αποδόσεων (Abbasi et al., 2013). Η εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων έχει αυξήσει την παραγωγή σιτηρών πάνω από 40% στις αναπτυσσόμενες χώρες (Malhi et al., 2001) και 55% στις αναπτυσσόμενες (Li et al., 2009). Ο παγκόσμιος πληθυσμός εξακολουθεί να αναπτύσσεται, γεγονός που σημαίνει μεγαλύτερη ζήτηση για δημητριακά. Για να επιτευχθούν ολόένα και μεγαλύτερες αποδόσεις των καλλιεργειών, τα ποσοστά χρήσης N συνεχίζουν να αυξάνονται κάθε χρόνο, ενώ η αποδοτικότητα της χρήσης του N συνεχίζει να μειώνεται (Liu et al., 2008, Cui et al., 2010). Το περίσσιο N στο έδαφος προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος υπό μορφή πτητικότητας ή έκπλυσης (Cameron et al., 2013). Οι εκπομπές από την εφαρμογή του N στη γεωργία μπορούν να προκαλέσουν αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, υποβάθμιση του νερού και υποβάθμιση του εδάφους (Bazaya et al., 2009, Shan et al., 2015, Vashisht et al., 2015). Παραμένει στο έδαφος, εξατμίζεται στον αέρα με τη μορφή αμμωνίας και οξειδίου του N ή

εισέρχεται στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω της έκπλυσης και της απορροής (Ju et al., 2009).

Η περίσσεια ποσότητα N δημιουργεί πολλούς και σοβαρούς περιβαλλοντικούς κινδύνους (Zhang et al., 1996, Howarth, 1998). Η έλλειψη σχεδιασμού και οι υπερβολικές ποσότητες N προκάλεσαν μεγάλες απώλειες N στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα αρνητικές επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους και στην περιβαλλοντική ποιότητα, συμπεριλαμβανομένης της οξίνισης του εδάφους, του ευτροφισμού των υδάτινων συστημάτων, των παράκτιων νεκρών ζωνών, της μείωσης της βιοποικιλότητας, της εξάντλησης του στρατοσφαιρικού όζοντος και της δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου (Zheng et al., 2004, Le et al., 2010). Η εντατική γεωργία πρέπει να έχει ως πρώτο μέλημα την ανθρώπινη υγεία, η οποία αποτελεί το επίκεντρο της έρευνας σε περιοχές με μεγάλους πληθυσμούς (Liu & Diamond, 2005, Schlesinger, 2009, Robertson & Vitousek, 2009, Sutton et al., 2011).

Η βελτιστοποίηση της εφαρμογής του γεωργικού N μπορεί να μειώσει την πιθανότητα ρύπανσης του αζώτου από την πηγή (Min et al., 2012, Ruidisch et al., 2013 και κατά συνέπεια ελέγχου μόλυνσης με άζωτο (Wang et al., 2012). Το κλίμα, η τοπογραφία, τρόπος φύτευσης ή σποράς, οι διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές καθώς και άλλοι παράγοντες, αυξάνουν ή μειώνουν τα ποσοστά χρήσης του (Zhu & Chen, 2002, Ju et al., 2004). Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι ταυτοποίησης κατάλληλων ρυθμών εφαρμογής αζώτου σε κλίμακα πεδίου που εξετάζουν διαφορετικούς στόχους. Λαμβάνοντας υπόψη τη ζήτηση αζώτου των καλλιεργειών, ο βέλτιστος ρυθμός εφαρμογής αζώτου μπορεί να προσδιοριστεί με τη χρήση μετρητή χλωροφύλλης, δοκιμής  $N_{min}$  στο έδαφος ή μοντέλου εμπειρικής γονιμοποίησης (Liu et al., 2003, Hou et al., 2012, Xu et al., 2014).

Για να επιτευχθούν οι στόχοι υψηλής απόδοσης, υψηλής ποιότητας και προστασίας του περιβάλλοντος, πρέπει να προσδιοριστούν τα ποσοστά εφαρμογής αζώτου που εξασφαλίζουν ταυτόχρονα υψηλές αποδόσεις και περιβαλλοντικά οφέλη (Wang et al., 2012). Η απώλεια μπορεί να μειωθεί ουσιαστικά με την ενσωμάτωση του λιπάσματος N στο έδαφος ή την εφαρμογή πριν από την άρδευση (Zhang et al., 1989, 1992). Η απονίτρωση θεωρείται επίσης ως σημαντική διαδικασία απώλειας N, παρά τη μεγάλη αβεβαιότητα που συνδέεται με τη μέτρησή της (Mosier et al., 1986). Στο Ηνωμένο Βασίλειο, για παράδειγμα, η αύξηση της χρήσης λιπασμάτων N οδήγησε σε αύξηση των νιτρικών αλάτων σε εντατική καλλιέργεια του σιταριού τα τελευταία 50 χρόνια (Davies & Sylvester-Bradley, 1995). Η χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων στα σιτηρά είναι



αναποτελεσματική, όπου μόνο το 30-40% χρησιμοποιείται στην πραγματικότητα από τα σιτηρά και το υπόλοιπο χάνεται στο περιβάλλον από την επιφανειακή απορροή, την απονίτρωση του εδάφους και την πτητικότητα (Ehdaie et al., 2010, Butterbach-Bahl & Dannenmann 2011).

Σε παγκόσμια κλίμακα, η αλόγιστη χρήση του Ν επηρεάζει σοβαρά την παγκόσμια βιωσιμότητα (Steffen et al., 2015, Liu et al., 2015). Η διατροφή των ανθρώπων στις αναπτυγμένες χώρες έχει αυξημένες τάσεις κατανάλωσης ζωικών προϊόντων (Tilman et al., 2001), με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος του αζώτου να χρησιμοποιείται για τις ζωοτροφές (FAO, 2013, Tilman & Clark, 2014).

Η χρήση του αζώτου αύξησε την απόδοση των σιτηρών (Tilman et al., 2002, FAO, 2016b, Fader et al., 2013). Η μειωμένη χρήση λιπασμάτων Ν θα μειώσει τις αποδόσεις και την ποιότητα του προϊόντος σε εδάφη που παρουσιάζουν έλλειψη Ν (Cassman et al., 2003). Η σωστή στρατηγική διαχείρισης του Ν στην ανάπτυξη των καλλιεργειών σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες έδωσε θεαματικά αποτελέσματα (Limaux et al., 1999, Cassman et al., 2002, Mohammed et al., 2013). Επίσης, έδωσε ελπιδοφόρα αποτελέσματα στην απόδοση και περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη στους κόκκους του σιταριού (Zebarth et al., 2007, Meynard et al., 2002).

**Φωσφόρος (P):** Είναι δομικό συστατικό των νουκλεϊκών οξέων και των μορίων ανταλλαγής ενέργειας (τριφωσφορική αδενοσίνη, ATP και διφωσφορική αδενοσίνη, ADP). Οι περιπτώσεις τροφοπενίας φωσφόρου (P), που είναι συνέπεια της ανεπάρκειας του εδάφους σε P ή σε περιορισμό του ριζικού συστήματος λόγω εμποδίων, εκδηλώνονται στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών, οπότε και οι απαιτήσεις σε P είναι αυξημένες. Η αρχική περιεκτικότητα σε P είναι υψηλή και μειώνεται σταδιακά όσο το φυτό μεγαλώνει. Ευνοεί την άνθηση και καρποφορία, συμβάλλει στην ωρίμανση και αναστέλλει δυσμενείς επιδράσεις της αζωτούχου λίπανσης της βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων, ευνοεί την ανάπτυξη των ριζών και αυξάνει την ανθεκτικότητα της ασθένειες.

**Κάλιο (K):** Απαντάται στους φυτικούς ιστούς με τη μορφή του κατιόντος  $K^+$  και βρίσκεται στο πρωτόπλασμα και σε πολύ μικρές ποσότητες στον πυρήνα. Είναι απαραίτητο για την πραγματοποίηση πολλών χημικών αντιδράσεων στα φυτά. Οι απαιτήσεις των φυτών σε κάλιο ποικίλλουν ανάλογα με το είδος. Συμβάλλει στην ηλεκτρική ισορροπία του κυτταροπλάσματος, ενισχύει την υδατική κατάσταση των κυττάρων ρυθμίζοντας τη σπαργή των φυτικών κυττάρων, ρυθμίζει το άνοιγμα των στομάτων των φύλλων ρυθμίζοντας την ένταση της εξατμισοδιαπνοής, συμβάλλει στη

μεταφορά προϊόντων της φωτοσύνθεσης καθώς της στην σύνθεση πρωτεϊνών και στη πρόσληψη αζώτου. Η ευνοϊκή επίδραση του καλίου αναφέρεται στην ποιότητα των προϊόντων. Η έλλειψη του καλίου από την θρέψη των φυτών εκδηλώνεται αρχικά στα ώριμα φύλλα με χαρακτηριστική κατά κηλίδες ή περιφερειακή νέκρωση των φύλλων.

**Ψευδάργυρος (Zn):** Ο Zn είναι απαραίτητο μικροθρεπτικό στοιχείο, η πρόσληψη του από τις ρίζες των φυτών εξαρτάται από την συγκέντρωση του N στο έδαφος και έχει ως συνέπεια τη συγκέντρωση του Zn στους κόκκους του σιταριού (*Triticum aestivum* L.) Τα αποτελέσματα πολλών πειραμάτων έδειξαν θετικούς συσχετισμούς μεταξύ των συγκεντρώσεων N και Zn, αντίστοιχα. Οι ανεπάρκειες του σιδήρου (Fe) και του ψευδαργύρου (Zn) είναι δύο από τις πιο συνήθεις ανεπάρκειες μικροθρεπτικών στοιχείων του σιταριού στον κόσμο (Welch & Graham, 1999). Η έλλειψη Zn είναι κοινή διατροφική διαταραχή στον άνθρωπο, η οποία πλήττει δισεκατομμύρια ανθρώπων σε όλο τον κόσμο, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η διατροφή βασίζεται στα δημητριακά με χαμηλή συγκέντρωση Zn (Welch & Graham, 2004, Cakmak et al., 2008). Στην Κίνα, η έλλειψη Zn πλήττει περίπου 100 εκατομμύρια ανθρώπους που ζουν σε αγροτικές περιοχές (Ma et al., 2008). Σε πολλές χώρες, το σιτάρι είναι η κύρια διατροφική συνιστώσα και η σημαντικότερη πηγή θερμίδων και πρωτεϊνών (Cakmak, 2008). Έτσι, οι προσπάθειες αύξησης της συγκέντρωσης Zn στο σιτάρι όπου καλλιεργείται σε εδάφη με έλλειψη Zn, είναι από τους σημαντικότερους τομείς της γεωργικής έρευνας (Bouis, 2003, White & Broadley, 2009). Η καλλιέργεια νέων ποικιλιών με υψηλή περιεκτικότητα σε Zn και η εφαρμογή λιπασμάτων με Zn είναι δύο μέθοδοι και αποτελούν βιώσιμες στρατηγικές για τη μακροπρόθεσμη βελτίωση του παραγόμενου προϊόντος σε Zn (Bouis, 2003, Pfeiffer & McClafferty, 2007, Cakmak, 2008). Μελέτες αναφέρουν ότι η αύξηση του N στα φυτά δείχνει δυνατότητα για αγρονομική βιοδιέγερση του σιταριού σε Zn (Cakmak et al., 2010, Xue et al., 2012). Η συνδυασμένη λίπανση N με Zn έδειξε πιο αποτελεσματική την αύξηση της συγκέντρωσης του Zn στους κόκκους του σιταριού από ότι στην μονομερή λίπανση ξεχωριστά N είτε Zn, ειδικά όταν το σιτάρι καλλιεργείται σε εδάφη με ανεπάρκεια Zn (Kutman et al., 2010). Η συγκέντρωση Zn στους κόκκους σιταριού εξαρτάται από τις φυσιολογικές διεργασίες του φυτού, η πρόσληψη από τις ρίζες, η μεταφορά από τις ρίζες στο στέλεχος και τέλος η συγκέντρωση του Zn στον σπόρο (Kutman et al., 2010). Η αύξηση των λιπαντικών μονάδων του N έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πρόσληψης Zn από τις ρίζες (Cakmak et al., 2010, Erenoglu et al., 2011), ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η συγκέντρωση πρωτεΐνης στους κόκκους. Η συγκέντρωση του N οδηγεί στη αυξημένη απορρόφηση του Zn με αποτέλεσμα την

αύξηση του Zn στους κόκκους (Yang & Zhang, 2006). Μελέτες έχουν δείξει ότι η επάρκεια του N αυξάνει την απόδοση των κόκκων, τη συνολική συσσώρευση Zn και τη συγκέντρωση του Zn στα διάφορα φυσιολογικά τμήματα του χειμερινού σιταριού υπό κανονικές συνθήκες εδάφους. Ιδιαίτερου ενδιαφέροντος είναι η μεγαλύτερη συσσώρευση Zn σε κόκκους σε σύγκριση με άλλα μέρη (Zhao et al., 2013,2016).

**Μαγγάνιο (Mn):** Είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο των φυτών καθώς συμμετέχει στις μεταβολικές αντιδράσεις στα κύτταρα των φυτών, στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, στην παραγωγή χλωροφύλλης, στο μεταβολισμό των πρωτεϊνών και στη σύνθεση της βιταμίνης C (ασκορβικό οξύ). Επίσης, λειτουργεί ως ενεργοποιητής ενζύμων, όπως τρανσφεράσες, υδροξυλάσες κ.α., τα οποία λαμβάνουν μέρος στις αντιδράσεις αναπνοής των φυτών. Η πρόσληψη του Mn από το φυτό είναι ανταγωνιζόμενη από άλλα ιόντα και χαρακτηρίζεται από δύο φάσεις. Στην πρώτη και γρήγορη φάση το Mn προσροφάται από συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος των κυττάρων της ρίζας. Η δεύτερη φάση είναι πιο αργή και διευκολύνεται μεταβολικά. Το Mn προσλαμβάνεται ως  $Mn^{2+}$  και μεταφέρεται εύκολα, μέσω του ρεύματος της διαπνοής, από τις ρίζες στα αγγεία του ξύλου με αυτή τη μορφή ή ασθενώς συνδεδεμένο με οργανικά οξέα κατά κύριο λόγο στους μεριστωματικούς ιστούς. Με αυτό τον τρόπο τα κατιόντα Mn μεταναστεύουν στα φύλλα. Η περαιτέρω μετακίνηση του Mn μέσα στο φυτό είναι δύσκολη (Van Goor & Wiersma, 1976), γι' αυτό και αναμένεται συσσώρευση του Mn κυρίως στα ώριμα φύλλα. Σύμφωνα με τους Xue et al. (2004), οι οποίοι μελέτησαν την πρόσληψη και τη συσσώρευση του μαγγανίου στο φυτό *Phytolacca acinosa*, η συγκέντρωση Mn στα φύλλα είναι μεγαλύτερη από ότι είναι σε οποιοδήποτε άλλο φυτικό ιστό, σε οποιαδήποτε παρεχόμενη συγκέντρωση Mn. Οι λειτουργίες του μαγγανίου στο φυτό είναι ευρείας κλίμακας και συνδέονται κυρίως με την οξειδοαναγωγική διαδικασία. Οι αλλαγές οξειδωτικής βαθμίδας του μεταξύ του  $Mn^{2+}$  και του  $Mn^{3+}$  επιτρέπουν στο Mn να συμμετέχει σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις και χρησιμεύει ως συμπάρονας για τα ένζυμα ρεδοκτάση των νιτροδών, ρεδοκτάση της υδροξυλαμίνης κ.α ενώ συνολικά συμμετέχει σε περίπου 35 ένζυμα στο φυτικό κύτταρο (Hänsch & Mender, 2009). Επίσης, το Mn μπορεί και να υποκαταστήσει το Mg σε άλλα ένζυμα ως δισθενές κατιόν, επηρεάζοντας τη σύνθεση των πρωτεϊνών και υδρογονανθράκων (Lidon et al., 2004). Η συμμετοχή του στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης είναι σημαντική διότι αφενός το Mn που είναι χαλαρά συνδεδεμένο στους χλωροπλάστες σχετίζεται με το σύστημα έκλυσης οξυγόνου και αφετέρου το Mn που

είναι σταθερά συνδεδεμένο σχετίζεται με την ηλεκτρονιακή κάλυψη της φωτοσύνθεσης (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Ακόμη, το Mn είναι συστατικό του ενζύμου δισμουτάσης, το οποίο εξουδετερώνει τις ελεύθερες ρίζες που σχηματίζονται με την διάσπαση του νερού κατά την αντίδραση Hill στη φωτοσύνθεση. Το Mn, επίσης, εμπλέκεται στη βλάστηση της γύρης και στην αύξηση του γυρεοσωλήνα, στη συσσώρευση των σακχάρων και βιταμινών. Έλλειψη Mn στα φυτά, παρατηρείται κυρίως σε ασβεστολιθικά εδάφη με pH μεταξύ 7,3 και 8,5 και σε εδάφη με υψηλό ποσοστό οργανικού υλικού (Barker & Pilbeam, 2007). Όταν υπάρχει έλλειψη Mn, παρατηρείται καθυστέρηση στην ανάπτυξη του φυτού και εξασθένηση που ξεκινά από τα πάνω φύλλα. Στα αρχικό στάδιο της έλλειψης, παρατηρούνται πλέον ορατά σημάδια χλώρωσης στα άκρα των φύλλων. Στην επιφάνεια του φύλλου ξεχωρίζουν νεκρά σημεία, σε μορφή μικρών σκουρόχρωμων κουκκίδων (Kitao et al., 2001). Σημάδια έλλειψης Mn συνήθως παρουσιάζονται στα ωριμότερα φύλλα αντί τα νεότερα, διότι το Mn δεν μετακινείται από τα παλαιότερα φύλλα προς τα νεότερα. Σταδιακά, όλα τα φύλλα χάνουν το φυσικό πράσινο τους χρώμα όμως συμπτώματα δεν παρατηρούνται στους καρπούς ή κόκκους. Περιπτώσεις τοξικότητας λόγω αυξημένης επάρκειας του Mn μπορεί να συναντήσουμε σε όξινα εδάφη ή σε εδάφη που δεν αερίζονται αρκετά και σε θερμά κλίματα.

Τα συνήθη συμπτώματα τοξικότητας είναι καφέ κηλίδες στα σημεία των φύλλων όπου συγκεντρώνεται μαγγάνιο, ζάρωμα των φύλλων και ανώμαλη κατανομή της χλωροφύλλης, τα οποία είναι ανεκτικά στη μεγάλη συγκέντρωση Mn, συσσωρεύουν το μαγγάνιο στους ριζικούς ιστούς το οποίο αποτίθεται στην επιδερμίδα (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Όταν το Mn εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό σε μεγάλες ποσότητες έχει επίδραση και στην υγεία του ανθρώπου. Το μαγγάνιο συνδέεται με την ανάπτυξη των οστών και το μεταβολισμό των αμινοξέων, των λιπιδίων και των υδρογονανθράκων, λαμβάνοντας μέρος σε διάφορες ενζυμικές λειτουργίες. Η τοξικότητα του Mn προκαλεί σύνδρομο τύπου Parkinson (Fraga, 2005). Η συγκέντρωση του Mn εξαρτάται από το είδος του φυτού, το στάδιο ανάπτυξής του, το τμήμα του φυτού που μελετάται καθώς το οικοσύστημα. Τα επίπεδα Mn στα φύλλα των φυτών που αναπτύσσονται σε κανονικά εδάφη κυμαίνονται μεταξύ 20 και 500  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (ppm) (Boojar & Goodarzi, 2008).

## 1.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

Η τύχη των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος είναι η εξής: απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από τις καλλιέργειες, άρα απομάκρυνση τους από το έδαφος. Τα φυτά απομακρύνουν από το έδαφος θρεπτικά στοιχεία με την απομάκρυνση της παραγωγής. Τα θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονται στο έδαφος υπόκεινται σε διάφορες απώλειες. Η μεγαλύτερη απώλεια από το ριζόστρωμα του εδάφους είναι η έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Το N εκπλύνεται εύκολα σε σύγκριση με τα άλλα θρεπτικά στοιχεία. Η νιτρική μορφή του N διηθείται εύκολα, ενώ η αμμωνιακή μορφή δεσμεύεται από τα κολλοειδή του εδάφους και εκπλύνεται με αργό ρυθμό και κυρίως μετά την νιτροποίηση των αμμωνιακών λιπασμάτων. Μια σημαντική απώλεια των θρεπτικών στοιχείων είναι από το νερό της βροχής ή ακόμα και τις λανθασμένες αρδεύσεις. Έτσι απομακρύνονται από το επιφανειακό στρώμα του εδάφους (διάβρωση). Τέλος έχουμε την ακινητοποίηση των θρεπτικών στοιχείων όπου τα θρεπτικά στοιχεία δεσμεύονται στα εδαφικά κολλοειδή, ενώ συγχρόνως προστατεύονται από την έκπλυσή τους προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

## 1.6 ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ CONTROLLED RELEASE FERTILIZERS (CRF)

Τα λιπάσματα ελεγχόμενης απελευθέρωσης (CRF) είναι λιπάσματα επικαλυμμένα ή περιέχονται μέσα σε κάψουλα (Σχήμα 1.9). Ο ρυθμός απελευθέρωσης θρεπτικών στοιχείων από ένα επικαλυμμένο προϊόν μπορεί να ελεγχθεί μέχρι ένα βαθμό, μεταβάλλοντας το πάχος και τον τύπο της επικάλυψης ή αλλάζοντας και την αναλογία των υλικών επικάλυψης (Detrick, 1992, Shavin, 2005). Η βιομηχανία των λιπασμάτων είναι συνεχώς αντιμέτωπη με την πρόκληση της βελτίωσης της αποτελεσματικότητας των προϊόντων της. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βελτίωση των ήδη χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων ή με την ανάπτυξη νέων ειδικών τύπων λιπασμάτων (Maene, 1995). Είναι ένα λίπασμα που περιέχει μια θρεπτική ουσία σε μορφή που καθυστερεί τη διαθεσιμότητά της για απορρόφηση και χρήση μετά την εφαρμογή ή που επεκτείνει τη διαθεσιμότητά της στο φυτό σημαντικά σε σχέση με ένα «ταχέως διαθέσιμο θρεπτικό λίπασμα» όπως το νιτρικό αμμώνιο ή η ουρία.

Αυτή η καθυστέρηση της αρχικής διαθεσιμότητας ή του παρατεταμένου χρόνου συνεχούς διαθεσιμότητας μπορεί να συμβεί με διάφορους μηχανισμούς. Αυτοί

περιλαμβάνουν την ελεγχόμενη υδατοδιαλυτότητα του υλικού με ημιδιαπερατές επικαλύψεις, την απόφραξη με πρωτεϊνικά υλικά ή άλλες χημικές μορφές, με αργή υδρόλυση υδατοδιαλυτών ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους ή με άλλα άγνωστα μέσα (Πηγή: Association of American Plant Food Control Officials).



**Σχήμα 1.9 Διαδικασία απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων από ένα MulticoTech™ λίπασμα. Πηγή: <http://www.haifa-group.com>**

Με τη χρήση CRF μειώνεται η απώλεια του N και γίνεται αποτελεσματικότερη χρήση των λιπασμάτων (Keatingetal., 1997, Bell, 2014, Thorburnetal., 2014, Verburgetal., 2014). Για τις αροτραίες καλλιέργειες είναι γνωστό πλέον, ότι μόνο το 1/3 περίπου του προστιθέμενου με τα συμβατικά λιπάσματα αζώτου προσλαμβάνεται από τα φυτά (Σιμώνης, 1987). Με τα CRF ρυθμίζεται η ποσότητα λιπάσματος N και βελτιώνεται ο συγχρονισμός της απαιτούμενης ποσότητας N στο έδαφος και προσεγγίζει τις ανάγκες των καλλιεργειών, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη μειωμένη απώλεια του N στο περιβάλλον (Bell & Moody, 2014). Το πολυμερές υλικό έχει την ιδιότητα να επιτρέπει τη σταδιακή απελευθέρωση των ενεργών συστατικών του. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται και η αποτελεσματικότητα των λιπασμάτων, αφού γίνεται καλύτερη και μεγαλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά. Τα πολυμερή αυτά διασπώνται, μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα, στα μόρια από τα οποία αποτελούνται με φυσικές διαδικασίες (συχνά μικροβιακή πέψη, φωτοδιάσπαση, οξείδωση, υδρόλυση κλπ.). Τα λιπάσματα ελεγχόμενης απελευθέρωσης (CRF) έχουν αποκτήσει ενδιαφέρον και στην καλλιέργεια του ζαχαροκάλαμου για αυτόν ακριβώς τον λόγο (Brodie et al., 2013, Verburg et al., 2016, 2017). Έχει αποδειχθεί ότι αυξάνουν την αποδοτικότητα πρόσληψης του N με αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων και την μείωση των απωλειών του N μέσω της έκπλυσης, της απορροής, της πτητικότητας και της νιτροποίησης (Shaviv & Mikkelsen, 1993, Shaviv, 2005, Chu et al., 2007, Grant et al., 2012, Zhu et al., 2012,

Shao et al., 2013, Ye et al., 2013). Τα πιο δημοφιλή CRF είναι λιπάσματα επικαλυμμένα με πολυμερές, όπου η σύνθεση της πολυμερούς επικάλυψης προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά απελευθέρωσης, συμπεριλαμβανομένου του σχήματος του μοτίβου απελευθέρωσης και του ρυθμού απελευθέρωσης N.

Από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες σημαντικό ρόλο στο ρυθμό απελευθέρωσης παίζει η θερμοκρασία του εδάφους (Σχήμα 1.10). Έχει βρεθεί ότι αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C κατά μέσο όρο, σχεδόν διπλασιάζει το ρυθμό απελευθέρωσης (Sahrawat & Tandon 1993). Πολλά από αυτά έχουν αναφερθεί ως CRF τύπου «γραμμικής απελευθέρωσης» (Shaviv et al., 2001). Το πρότυπο απελευθέρωσής τους είναι σε τρία στάδια: α) το πρώτο στάδιο καθυστέρησης, κατά τη διάρκεια του οποίου οι επικαλυμμένοι κόκκοι απορροφούν νερό αλλά δεν απελευθερώνουν ακόμη N, β) το δεύτερο στάδιο γραμμικής απελευθέρωσης διάχυσης μέσω της μεμβράνης του πολυμερούς, ενώ το στερεό λίπασμα στο εσωτερικό εξακολουθεί να διαλύεται, διατηρώντας μια σταθερή ωσμωτική πίεση και γ) το τρίτο στάδιο πρώτης τάξεως πτώσης που αρχίζει όταν όλα τα στερεά λιπάσματα έχουν διαλυθεί και η συγκέντρωση μέσα αρχίζει να μειώνεται. Κάθε ένα από αυτά τα στάδια επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, έτσι ώστε το τελικό σχέδιο απελευθέρωσης και ο χρόνος να εξαρτώνται από τις τοπικές θερμοκρασίες του εδάφους.



**Σχήμα 1.10 Επίδραση της σταθερής θερμοκρασίας στη σταθερή απελευθέρωση του λιπάσματος σε σχέση με το χρόνο παραμονής του στο έδαφος.**

Πηγή: <http://www.haifa-group.com>

Μελέτες έχουν τεκμηριώσει ότι η εφαρμογή του CRF αύξησε την απόδοση και αποτελεσματικότητα χρήσης του αζώτου (NUE) του αραβοσίτου (Chu et al., 2007, Shao et al., 2013, Guo et al., 2016), του ρυζιού στη Βόρεια Κίνα (Ye et al., 2013) και του ζαχαροκάλαμου (Isobe, 1971, Isobe, 1972, DiBella et al., 2013). Μελέτες έδειξαν ότι η ζήτηση N χαρακτηρίζεται από μια αρχική υστέρηση ακολουθούμενη από μια περίοδο γρήγορης πρόσληψης, αλλά επίσης έδειξε ότι το πρότυπο απορρόφησης επηρεάστηκε

από το είδος της καλλιέργειας, την ηλικία των φυτών και τον γενότυπο (Verburg et al., 2014). Ο Hauck (1985) επισημαίνει ότι οι διαφορετικές απαιτήσεις των φυτών σε N ενδέχεται να απαιτούν διαφορετικούς μηχανισμούς απελευθέρωσης για να επιτευχθεί συγχρονισμός. Ο ίδιος συγγραφέας σχολίασε ότι «επειδή τα πρότυπα πρόσληψης και χρήσης ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων φυτικών ειδών που αναπτύσσονται υπό παρόμοιες συνθήκες παροχής N, είναι απίθανο οποιοδήποτε ενιαίο σχέδιο λίπανσης N να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε N όλων των καλλιεργειών».

Επομένως, ένα προϊόν που ταιριάζει σε μία καλλιέργεια, μπορεί να μην ταιριάζει σε μία άλλη. Προκειμένου να γίνει ο σχεδιασμός του CRF για βέλτιστο συγχρονισμό, απαιτείται συστηματική ανάλυση των μοτίβων πρόσληψης της καλλιέργειας σε N ως συνάρτηση του εδάφους, του κλίματος και των παραγόντων διαχείρισης, καθώς και λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση του μικροκλίματος (Verburg et al., 2014). Ο χρόνος σταδιακής απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων από αυτά τα λιπάσματα CRF μπορεί να κυμαίνεται από 20 ημέρες έως 18 μήνες (Shoji & Gandeza, 1992). Πολύ μεγαλύτερη χρήση λιπασμάτων ελεγχόμενης (CRF) και αργής απελευθέρωσης (SRF) γίνεται στην Κίνα και τις ΗΠΑ σε σχέση με την Δυτική Ευρώπη και την Ιαπωνία.

Τα στοιχεία της επικάλυψης αποτελούνται από ανόργανα ή οργανικά υλικά τα οποία ελέγχουν τη διάρκεια, τον τύπο και τη συχνότητα της απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων. Ο ρυθμός απελευθέρωσης θρεπτικών στοιχείων από ένα επικαλυμμένο προϊόν μπορεί να ελεγχθεί, μέχρι ένα βαθμό, μεταβάλλοντας το πάχος και τον τύπο της επικάλυψης ή αλλάζοντας την αναλογία των υλικών επικάλυψης (Detrick, 1992, Goertz, 1993, 1995, Fujita, 1993, Fujita & Shoji, 1999, Fujita et al., 1989, 1990a, Pursell, 1992, 1994, Shavin, 2005). Το πιο σημαντικό στοιχείο είναι ότι τα λιπάσματα αυτά είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να απελευθερώνουν θρεπτικά στοιχεία, τη στιγμή που το φυτό τα έχει ανάγκη. Τα λιπάσματα ελεγχόμενης απελευθέρωσης (CRF), με επικάλυψη πολυμερούς θεωρούνται ότι έχουν καλύτερο έλεγχο στην απελευθέρωση των θρεπτικών στοιχείων (Trenkel, 1997, Shavin, 2000).

Τα λιπάσματα με ελεγχόμενη απελευθέρωση N έχουν σχεδιαστεί για να απελευθερώνουν το N στο διάλυμα του εδάφους με ρυθμό που ταιριάζει περισσότερο με την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών από την καλλιέργεια, μειώνοντας έτσι τη συσσώρευση ανόργανου N στο διάλυμα του εδάφους και τον κίνδυνο N απωλειών (Shoji et al., 2001). Στο παρελθόν, τα λιπάσματα ελεγχόμενης απελευθέρωσης θεωρήθηκαν υπερβολικά δαπανηρά για χρήση στη καλλιέργεια σιτηρών, αλλά η πρόσφατη ανάπτυξη προϊόντων με ουρία χαμηλού κόστους με πολυμερές οδήγησε στη χρήση της σε ένα ευρύ φάσμα



συστημάτων καλλιέργειας σιτηρών και ελαιούχων σπόρων (Chen, 2008, Chenetal., 2008b, Grantand Wu, 2008, Nelson et al., 2008).

### **1.6.1 Πλεονεκτήματα λιπασμάτων ελεγχόμενης απελευθέρωσης CRF**

Αναφορικά με τα βασικότερα πλεονεκτήματα CRF φαίνεται ότι είναι η μείωση της τοξικότητας (νιτροποίηση) και η βελτίωση αγρονομικής ασφάλειας, η ουσιαστική εφαρμογή λιπάσματος μέσω συνεχούς ροής θρεπτικών στοιχείων, η ρυθμιζόμενη ποσότητα λιπάσματος με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους εργατικών και ενέργειας (μία εφαρμογή λίπανσης στο χωράφι), η μείωση απώλειας N καθώς επίσης και η μείωση των σχετικών εκπομπών αερίων (N<sub>2</sub>O).

Επίσης, παρουσιάζουν μειωμένη απώλεια θρεπτικών στοιχείων και κατά συνέπεια αύξηση της απόδοσης. Η εφαρμογή αυτών των λιπασμάτων μπορεί να μειώσει τη συνιστώμενη δόση κατά 20-30% από αυτή που προτείνεται για τα συμβατικά λιπάσματα για την ίδια καλλιέργεια (Trenkel, 2010).

Συγχρόνως, μειώνουν τους κινδύνους που εγκυμονεί η χρήση των λιπασμάτων όπως κάψιμο των φύλλων, μόλυνση υδάτων και εμφάνιση ευτροφισμού. Ο χαμηλός ρυθμός απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων μπορεί να κρατήσει τις συγκεντρώσεις τους σε χαμηλά επίπεδα, μειώνοντας τον κίνδυνο έκπλυσης καθώς και υπερβολικής απορροής. Απαιτούν λιγότερες εφαρμογές, επομένως έχουμε μείωση κόστους παραγωγής. Επιτυγχάνεται ο βέλτιστος χρόνος και η βέλτιστη δόση εφαρμογής και μειώνονται οι κίνδυνοι για το περιβάλλον, ενώ παράλληλα βελτιώνεται το πρόγραμμα διαχείρισης της καλλιέργειας όσον αφορά τη θρέψη των φυτών (Best Practise Management).

### **1.6.2 Μειονεκτήματα λιπασμάτων ελεγχόμενης απελευθέρωσης CRF**

Τα βασικότερα μειονεκτήματα των CRF λιπασμάτων είναι το υψηλό κόστος παραγωγής τους σε σχέση με τα συμβατικά που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους καλλιέργειας

Πιθανά μειονεκτήματα είναι ότι δεν υπάρχουν τυποποιημένες μέθοδοι για αξιόπιστο προσδιορισμό του προτύπου απελευθέρωσης θρεπτικών ουσιών που είναι διαθέσιμες μέχρι τώρα (έλλειψη συσχέτισης εργαστηριακών δοκιμών-πραγματικής λειτουργίας λιπασμάτων ελεγχόμενης απελευθέρωσης).

Η μείωση του pH του εδάφους όταν εφαρμόζεται ουρία με επικάλυψη θείου η οποία μπορεί να προκαλέσει θρεπτικές διαταραχές της έλλειψη ασβεστίου ή μαγνησίου, αν δεν υπάρχει ένα κατάλληλο πρόγραμμα διαχείρισης των θρεπτικών στοιχείων.

Η εμφάνιση έλλειψης θρεπτικών στοιχείων (τροφοπενίες), εάν η απελευθέρωση του λιπάσματος δεν πραγματοποιηθεί λόγω χαμηλών θερμοκρασιών, πλημμυρισμένου ή ξερού εδάφους κλπ.

## **1.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NUE)**

Η αποτελεσματικότητα της χρήσης του αζώτου (Nitrogen use efficiency, NUE) έχει περιγραφεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους (Cormier et al., 2016), αλλά ο περισσότερο αποδεκτός ορισμός είναι η παραγωγή καρπού ή βιομάζας, ανά μονάδα διαθέσιμου αζώτου (N) στο έδαφος (συμπεριλαμβανομένου του υπολειμματικού N στο έδαφος και των εισροών N μέσω λίπανσης), ή αλλιώς η οικονομικά μέγιστη παραγωγή ανά μονάδα αζώτου που εφαρμόστηκε, απορροφήθηκε, ή χρησιμοποιήθηκε από το φυτό για την παραγωγή σπόρου ή ιστού (Moll et al., 1982).

Το NUE είναι το καθαρό αποτέλεσμα της δέσμευσης του N (αποδοτικότητα πρόσληψης) και της μετατροπής του (απόδοση χρήσης) (Moll et al., 1982, Sylvester-Bradley & Kindred, 2009, Nyikako et al., 2014).

Το NUE συμβάλλει όχι μόνο στην ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής στις καλλιέργειες του σιταριού και του αραβόσιτου (έως και 40%) (Bock et al., 1984) με λιγότερες εφαρμογές λιπασμάτων αλλά και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων (Good et al., 2007, Chen et al., 2014, Figeria & Baligar, 2005).

Κυρίαρχος στόχος είναι η αποτελεσματικότερη χρήση του N (NUE) σε επίπεδο τοπικό, περιφερειακό, εθνικό και σε παγκόσμια κλίμακα, με τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (EPA, 2012, Cui et al., 2013). Η αποτελεσματική διαχείριση του N περιλαμβάνει την επιλογή της καλλιέργειας, του ρυθμού ανάπτυξής της, του χρόνου εφαρμογής και της σωστής ποσότητας N (Malhi et al., 2001, Torbert et al., 2001, Otteson et al., 2007).

## 1.8 ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### 1.8.1 Απόδοση

Από το 19ο αιώνα, είναι γνωστό ότι η υψηλή απόδοση σε καρπό καθορίζεται από την ποικιλία, τη γονιμότητα του εδάφους και τις καλλιεργητικές τεχνικές (Κυζερίδης κ.ά., 2000). Πολλά γονίδια με ποσοτική δράση επηρεάζουν την κληρονομηση της αποδοτικότητας μια ποικιλίας η οποία είναι σύνθετο γνώρισμα. Η τελική έκφρασή της στηρίζεται στη λειτουργία και την αλληλεπίδραση πολλών μορφολογικών διεργασιών. Επειδή η απόδοση επηρεάζεται από πολλά χαρακτηριστικά της ποικιλίας όπως το ύψος, το αδέλωμα, το πλάγιασμα, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα βαθμό ότι όλα τα γονίδια είναι υπεύθυνα για τη διαμόρφωση της τελικής απόδοσης σε καρπό. Κατά συνέπεια αφού η απόδοση είναι το τελικό προϊόν της φυσιολογικής ανάπτυξης του φυτού, κάθε γονίδιο που λαμβάνει μέρος στην ανάπτυξη του φυτού, θεωρείται γονίδιο απόδοσης (Hockett & Nillan, 1985).

Σύμφωνα με τον (Grafius, 1965) η απόδοση διακρίνεται στους συντελεστές της, οι οποίοι είναι ο αριθμός των στάχων ανά μονάδα επιφανείας, ο αριθμός των κόκκων ανά στάχυ και το βάρος του κόκκου από τους οποίους εξαρτάται και επηρεάζεται από την ευρύτητα της προσαρμοστικότητας της κάθε ποικιλίας και την ανθεκτικότητά της σε διάφορους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες.

Η απόδοση σε καρπό είναι από τα πιο ασταθή χαρακτηριστικά (Μπλαδενόπουλος, 1998). Ο Hadjichristodoulou (1990) αναφέρει ότι, στα μεσογειακά περιβάλλοντα τα οποία είναι ξηροθερμικά, η υψηλή απόδοση συσχετίζεται θετικά με το βαθμό αξιοποίησης των ευνοϊκών συνθηκών, το βάρος της υπέργειας βιομάζας, το βάρος άχυρου, το ποσοστό καρπού στη βιομάζα, την πρωιμότητα, τον αριθμό αδελφιών και τον αριθμό σπόρων ανά στάχυ. Επίσης, υψηλή απόδοση μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και κάτω από τις πιο ασταθείς συνθήκες των ξηρικών περιοχών, με τη σωστή γενετική βελτίωση ορισμένων χαρακτηριστικών. Οι Sairam και Singh (1989), βρήκαν ότι η απόδοση τόσο από γενοτυπικής πλευράς όσο και από φαινοτυπικής πλευράς, είναι θετικά συσχετισμένη με τον αριθμό στάχων, το μήκος του στάχυ, τον αριθμό κόκκων ανά στάχυ, το βάρος 1000 κόκκων, τη βιομάζα, το δείκτη συγκομιδής και την αποτελεσματικότητα του αζώτου.

Η σταθερότητα της απόδοσης αναφέρεται στην ικανότητα του φυτού να εκφράζει το παραγωγικό του δυναμικό σε ευρύ φάσμα περιβαλλόντων. Εκτιμάται με την

αξιολόγηση των ποικιλιών σε αντιπροσωπευτικές κλιματολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια ετών και σε διαφορετικές τοποθεσίες, προκειμένου να επιλεγούν οι γενότυποι με τη μικρότερη αλληλεπίδραση ποικιλίας και περιβάλλοντος (Poehlman & Sleper, 1995).

### **1.8.2 Δείκτης συγκομιδής (Harvest index)**

Ο δείκτης συγκομιδής, (HI), δηλαδή το ποσοστό βάρους του καρπού προς το σύνολο της υπέργειας βιομάζας (Donald, 1962), είναι πολύ χρήσιμος ως δείκτης παραγωγικότητας για τις καλλιέργειες σιτηρών. Ο HI είναι πολύ σημαντικός και για την απώλεια του καρπού στη συγκομιδή από της θεριζοαλωνιστικές μηχανές. Οι τιμές του για τις νεότερες ποικιλίες των ευρέως καλλιεργούμενων ειδών σιτηρών κυμαίνονται από 0,4 μέχρι 0,6 (Hay, 1995). Οι Ekman (1981), Gymer (1981) και Hadjichristodoulou (1991a) αναφέρουν ότι οι σύγχρονες ποικιλίες κριθαριού πρέπει να έχουν υψηλό δείκτη συγκομιδής. Ο δείκτης συγκομιδής μεταβάλλεται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και παίρνει υψηλότερες τιμές σε ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης (Sharma et al., 1987).

Το άζωτο επηρεάζει την αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας, τη φυτομάζα που παράγεται και τη διαθεσιμότητα των αμινοξέων για τη σύνθεση των πρωτεϊνών κατά τη διάρκεια σχηματισμού των κόκκων και κατά το σχηματισμό αποθηκευτικών πρωτεϊνών (Heilmeyer & Monson, 1994). Οι Ai-Mulhim & Al-Tahir (1991) βρήκαν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ ποσοστού φυτρώματος και επιπέδου αζώτου επηρεάζει σημαντικά τον δείκτη συγκομιδής. Οι Gonzalez-Ponce et al. (1992) αναφέρουν ότι ο δείκτης συγκομιδής επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση μεταξύ ποσοστού βροχής, αζωτούχου λίπανσης και θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια γεμίσματος του κόκκου. Ειδικότερα, υψηλή βροχόπτωση και μέτριες θερμοκρασίες κατά την περίοδο γεμίσματος του κόκκου συσχετίζονται με αυξημένο δείκτη συγκομιδής και αυξημένη απόδοση ως αντίδραση στην αζωτούχο λίπανση, ενώ χαμηλή βροχόπτωση και υψηλές θερμοκρασίες κατά το γέμισμα του κόκκου συσχετίζονται με μειωμένο δείκτη συγκομιδής και μειωμένη απόδοση ως αντίδραση στην αζωτούχο λίπανση. Η υψηλή γονιμότητα του εδάφους αυξάνει την απόδοση και μειώνει το δείκτη συγκομιδής (Jeddel & Helm, 1992).

### 1.8.3 Ύψος φυτού

Το ύψος του φυτού είναι πολύ χρήσιμο χαρακτηριστικό που συνδέεται τόσο με την πρώιμη ευρωστία της ποικιλίας, όσο και τη συνολική υπέργεια βιομάζα, την πρωιμότητα ξεσταχυάσματος και την πιθανότητα πλαγιάσματος. Η υγρασία και το άζωτο του εδάφους ευνοούν την αύξηση του ύψους των φυτών.

Το ύψος των φυτών στο εξαπλοειδές σιτάρι φαίνεται ότι ελέγχεται από πολλά γονίδια (Cadalen et al., 1998) και καθένα από τα 21 χρωμοσώματά του φέρει γονίδια που επηρεάζουν αυτό το χαρακτηριστικό (Lawetal., 1978).

Η χρήση των γονιδίων νανισμού *Rht* (Reduced Height) για τη μείωση του ύψους και την αύξηση της απόδοσης αποτέλεσε την κύρια βελτιωτική στρατηγική της μοντέρνες υψηλοαποδοτικές ποικιλίες του εξαπλοειδούς σιταριού.

Ο Μπλαδενόπουλος (2002) αναφέρει ότι το ύψος του φυτού κατά το στάδιο διόγκωσης της ταξιανθίας αποτελεί ένδειξη πρώιμης ευρωστίας του φυτού και είναι χαρακτηριστικό που επηρεάζεται από τον γενότυπο και την πρωιμότητα του ξεσταχυάσματος του.

Οι Winter & Welch (1987), μελετώντας υψηλές και ημινάνες ποικιλίες σιταριού σε ξηροθερμικές συνθήκες, βρήκαν ότι σε ξηρές χρονιές το ύψος παρέμενε χαμηλό, ενώ σε βροχερές χρονιές τα φυτά αναπτύσσονται περισσότερο με αποτέλεσμα να καθίστανται ανταγωνιστικά στα ζιζάνια, αλλά και να έχουν μειωμένη απόδοση λόγω πλαγιάσματος.

Η μείωση του ύψους των φυτών μέσω της γενετικής βελτίωσης και της αζωτούχου λίπανσης αποτελεί στόχο προσέγγισης επειδή θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα μορφολογικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την απόδοση των φυτών (Hadjichristodoulou, 1990, Reynolds et al., 1999).

## 1.9 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### 1.9.1 Η επίδραση του Ν στη φυσιολογία του φυτού

#### 1.9.1.1 Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη

Η φωτοσυνθετική δραστηριότητα παρουσιάζει θετική σχέση με την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη. Η διαθεσιμότητα αζώτου στο φυτό συσχετίζεται με αυξημένη φυλλική επιφάνεια και περιεκτικότητα χλωροφύλλης των

φύλλων (Hagenman, 1986). Η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη αποτελεί δείκτη της περιεκτικότητας σε άζωτο, δεδομένου ότι το άζωτο είναι δομικό συστατικό της χλωροφύλλης. Γνωρίζοντας την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη αυτομάτως προκύπτουν οι πληροφορίες για την ανάγκη της καλλιέργειας σε άζωτο που οδηγούν σε χειρισμούς ορθολογικής λίπανσης. Ο έμμεσος προσδιορισμός της περιεκτικότητας της χλωροφύλλης με το χλωροφυλλόμετρο έχει προταθεί ως χρήσιμη και εύκολη μέθοδος που επιτρέπει την άμεση εκτίμησή της σε συνθήκες αγρού (Dewer et al., 1991). Μικρά και φορητά χλωροφυλλόμετρα δίνουν άμεσες μετρήσεις για τα φύλλα των φυτών και προσδιορίζουν το επίπεδο του αζώτου της καλλιέργειας (Piekielek et al., 1995). Το χλωροφυλλόμετρο χρησιμοποιείται τόσο στο προσδιορισμό των αναγκών άρδευσης όσο και λίπανσης (Blackmer et al., 1994) στο σιτάρι, το καλαμπόκι και άλλα φυτά (Wood et al., 1993, Blackmer & Schepers, 1995). Η συγκέντρωση χλωροφύλλης αυξάνεται με την αύξηση της διαθεσιμότητας του αζώτου ενώ είναι χαμηλή σε συνθήκες έλλειψης αζώτου (Peng et al., 1996).

Συμπερασματικά αζωτούχος λίπανση που εφαρμόζεται στο σωστό χρόνο αυξάνει της αποδόσεις. Σύμφωνα με την Παπακώστα-Τασοπούλου (2008), το γέμισμα του κόκκου γίνεται από προϊόντα φωτοσύνθεσης που παράγονται μετά την άνθηση και από προϊόντα φωτοσύνθεσης που είχαν παραχθεί πριν από την άνθηση και τα οποία μετακινούνται από τα βλαστικά τμήματα των φυτών της στον κόκκο. Η έλλειψη αζώτου σε σημαντικό βαθμό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και της διάρκειας ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας με συνέπεια μικρότερης πρόσληψης ηλιακής ακτινοβολίας και χαμηλότερους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς (Fageria et al., 2003). Υπερβολικές ποσότητες αζώτου ευνοούν πολύ την ανάπτυξη φυλλώματος και βλαστού με συνέπεια το πλάγιασμα και την ονίμιση της καλλιέργειας (Καραμάνος, 1987).

### **1.9.2 Η σχέση του αζώτου με τη φωτοσύνθεση**

Βασική παράμετρος για τη μελέτη των σχέσεων αζώτου και φωτοσύνθεσης αποτελεί η μέγιστη φωτοσυνθετική ικανότητα ( $A_{max}$ ), η οποία ορίζεται ως ο φωτοσυνθετικός ρυθμός που μετράται σε συνθήκες άπλετου φωτισμού, βέλτιστης θερμοκρασίας, σχετικά υψηλής υγρασίας και κανονικής για τον φυσικό αέρα συγκέντρωσης  $CO_2$ . Η μέτρηση της μέγιστης φωτοσυνθετικής ικανότητας εμπεριέχει πληροφορίες τόσο για τον μέγιστο ρυθμό αφομοίωσης  $CO_2$  σε φυσιολογικές συνθήκες,

όσο και για το μέγιστο δυνατό όφελος της χρήσης N στην αύξηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών (Field & Mooney, 1986, Marschner, 1995, Taiz & Zeiger, 2006). Σε συνθήκες έλλειψης αζώτου, το στοιχείο αυτό αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα στη μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας (Field & Mooney, Warren & Adams, 2006).

### **1.9.3 Μέτρηση φθορισμού χλωροφύλλης**

Η φωτεινή ακτινοβολία που απορροφάται από τη χλωροφύλλη ακολουθεί μια από τις εξής πορείες: α) μετατρέπεται σε φωτοχημική ενέργεια το φωτοσύστημα II (PSII) για την αναγωγή του CO<sub>2</sub> β) χάνεται ως θερμότητα γ) εκπέμπεται ως φθορισμός δ) μεταφέρεται για την διέγερση των γειτονικών χρωστικών μορίων στο PSI.

Οι δρόμοι αυτοί είναι ανταγωνιστικοί με αποτέλεσμα οποιαδήποτε αλλαγή στο ρυθμό της φωτοσύνθεσης και την εκπομπή θερμότητας προκαλεί μεταβολή και στον εκπεμπόμενο φθορισμό. Είναι γνωστό (Krause & Weis, 1991) ότι σε θερμοκρασία δωματίου, η εκπομπή του φθορισμού της χλωροφύλλης προέρχεται από τα μόρια της χλωροφύλλης α η οποία σχετίζεται με το φωτοσύστημα II (PSII).

### **1.9.4 Πρωτεΐνη**

Από πολλούς ερευνητές ο πρώτος παράγοντας καθορισμού της ποιότητας των σιτηρών είναι η συγκέντρωση πρωτεΐνης στον καρπό (Jenneretal., 1991). Η συγκέντρωση πρωτεΐνης καθορίζεται από τον γενότυπο καθώς και από πολλούς περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως το άζωτο, η εδαφική υγρασία και τη θερμοκρασία (Johansson et al., 2001). Το ποσοστό πρωτεΐνης στο καρπό αυξάνεται με την αζωτούχο λίπανση (Θεουλάκης κ.α., 1992, Μπλαδενόπουλος & Γκατζιάνας, 2001), ενώ η προσθήκη φωσφόρου και καλίου δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Συμπερασματικά η αζωτούχος λίπανση συμβάλει στην αύξηση της απόδοσης σε καρπό άλλα και της συγκέντρωσης πρωτεΐνης στους σπόρους. Παρατηρείται αρνητική συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης της πρωτεΐνης της σπόρους και της απόδοσης σε καρπό. Επομένως, διαχείριση της αζωτούχου λίπανσης πρέπει να μετριάζεται ώστε να βελτιωθεί όσο περισσότερο γίνεται η απόδοση σε καρπό και να διατηρηθεί το επίπεδο της ποιότητας. Η συγκέντρωση πρωτεΐνης στον κόκκο εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ της μεταφοράς υδατανθράκων και αζώτου στον κόκκο (Jenner, 1991). Η συγκέντρωση πρωτεΐνης της σπόρους δεν εξαρτάται μόνο από την ποσότητα του αζώτου της σπόρους αλλά και από

το επίπεδο υδατανθράκων του φυτού, π.χ. από τη σχέση μεταξύ C και N κατά το γέμισμα του κόκκου (Cox et al., 1986). Ο βαρύς κόκκος θα έχει υψηλό ποσοστό αμύλου και επομένως μικρό ποσοστό πρωτεΐνης. Η κινητοποίηση αζώτου που είχε αφομοιωθεί πριν την άνθηση έχει προταθεί ως η κύρια πηγή αζώτου για της σπόρους (Austin et al., 1977). Οι Τσιπρόπουλος κ.ά. (1990) μελέτησαν την επίδραση του N στην ποιότητα του σιταριού και βρήκαν ότι η αζωτούχος λίπανση αύξησε την πρωτεΐνη του καρπού του σιταριού 9,9-13,7% για το μαλακό σιτάρι και 11,1- 15,1% για το σκληρό σιτάρι.

Μελέτη της ADM της Γερμανίας υποστηρίζει ότι η υποβάθμιση της ποιότητας των σιτηρών στη Δανία, όπου η περιεκτικότητα της σε πρωτεΐνη μειώθηκε από 12% που ήταν το 1992 σε 8,4% το 2014, οφείλεται στη μείωση της λίπανσης. Αντίθετα, η ορθολογική και συστηματική λίπανση που ακολουθείται στη Γερμανία έχει ως αποτέλεσμα τη σταθερή παραγωγή υψηλής απόδοσης και ποιότητας σιταριού.

Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και κυρίως το ποσοστό σε γλουτένη στο σιτάρι επηρεάζουν πολύ τις αρτοποιητικές ικανότητες του αλεύρου. Η τιμή της στο σιτάρι κυμαίνεται σε μεγάλα όρια (6-21%) και επηρεάζεται λιγότερο από την κληρονομικότητα (ποικιλία) και περισσότερο από τους εδαφοκλιματικούς παράγοντες που επικρατούν στον τόπο της καλλιέργειας. Ο μέσος όρος της πρωτεΐνης επί ξηρού στα μαλακά σιτάρια είναι 12,5%. Η πρωτεΐνη του σιταριού υστερεί σε θρεπτική αξία έναντι των ζωικών πρωτεϊνών, κυρίως γιατί περιέχει ελάχιστες μόνο ποσότητες λυσίνης και θρυπτοφάνης (Καραμάνος, 1992).

### **1.9.5 Γλουτένη**

Η γλουτένη αποτελεί τη σημαντικότερη πρωτεΐνη του σιταριού, καθώς δίνει στο ζυμάρι συνεκτικότητα και ελαστικότητα, οι οποίες καθιστούν το ζυμάρι εύπλαστο. Η γλουτένη είναι περίπου το 80% της πρωτεΐνης του σιταριού και αποτελείται από δύο κλάσματα, τις γλοιαδίνες και τις γλουτενίνες.

Συνήθως γλοιαδίνες και γλουτενίνες βρίσκονται σε ίσες ποσότητες στο σιτάρι. Ωστόσο η αναλογία τους μπορεί να επηρεαστεί από την ποικιλία ή τις συνθήκες ανάπτυξης του φυτού (Islam et al., 2012). Η ποσότητα της γλουτένης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η λίπανση, οι κλιματολογικές συνθήκες και η ποικιλία.



### 1.9.6 Εκατολιτρικό Βάρος (kg/hl)

Το εκατολιτρικό βάρος (EB) είναι το βάρος που αντιστοιχεί σε κόκκους όγκου 100 λίτρων. Το βάρος ορισμένου όγκου (test weight) ή εκατολιτρικό βάρος είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά κριτήρια ποιότητας των σιτηρών (Zeleny, 1971). Οι ερευνητές Hlinka & Bushuk (1959) υποστήριξαν ότι, οι παράγοντες που το επηρεάζουν είναι η ομοιομορφία του μεγέθους και το σχήμα του κόκκου. Ο Μπλαδενόπουλος (1998), κατέληξε σε όμοια συμπεράσματα και επιπλέον βρήκε ότι το EB είχε μέγιστες τιμές στις όψιμες ποικιλίες όταν δεν επικράτησαν ξηροθερμικές συνθήκες και στις πρώιμες όταν οι συνθήκες ήταν ξηροθερμικές. Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το EB είναι η πυκνότητα (ειδικό βάρος) των σπόρων, η οποία καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη βιολογική δομή και τη χημική του σύσταση, συμπεριλαμβανομένης της υγρασίας (Μπλαδενόπουλος, 1998).

Το EB επηρεάζεται από τη διεύθετηση των κόκκων στο χώρο, την περιεκτικότητα του κόκκου σε υγρασία, το ειδικό βάρος του κόκκου, το πάχος του πιτύρου και τις ξένες ύλες. Επειδή το ειδικό βάρος του νερού είναι μικρότερο από το ειδικό βάρος του σιταριού, αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του EB, ενώ αντίθετα μεγάλο ειδικό βάρος του κόκκου του σιταριού έχει ως αποτέλεσμα την αύξησή του. Το σχήμα των κόκκων επηρεάζει το στοίβαγμα των κόκκων στο δοχείο της συσκευής μέτρησης του EB. Το βάρος ενιαίου όγκου σπόρων (test weight) είναι σημαντικός παράγοντας σε όλο το σύστημα βαθμολογίας των σιτηρών (Mangels & Sanderson, 1925). Άριστη ποιότητα είναι όταν το EB είναι πάνω από 82, πρώτη ποιότητα όταν είναι πάνω από 78, δεύτερη ποιότητα όταν είναι πάνω από 76, ενώ θεωρείται ακατάλληλο για αρτοποιήση κάτω από 76. Στα ελληνικά σιτάρια το EB κυμαίνεται από 74 έως 78. Το EB βοηθάει και στον υπολογισμό των αναγκαίων αποθηκευτικών χώρων (Τσιάρας, 1984).

### 1.9.7 Βάρος Χιλίων Κόκκων

Το βάρος των κόκκων του σιταριού εκφράζεται ως Βάρος Χιλίων Κόκκων (B XK) και είναι συνάρτηση του μεγέθους του κόκκου και του ειδικού του βάρους (Zeleny, 1971). Το B XK είναι χαρακτηριστικό που επηρεάζει την απόδοση (συστατικό απόδοσης) και εξαρτάται από της εδαφοκλιματικές συνθήκες, την ωριμότητα του σιταριού και την ποικιλία. Οι ποικιλίες με μικρότερους κόκκους έχουν μικρότερο B XK από αυτές με

μεγαλύτερους. Οι καλά αναπτυγμένοι κόκκοι έχουν μεγαλύτερο ΒΧΚ. Επίσης, ώριμοι, μεστωμένοι κόκκοι έχουν μεγαλύτερο ΒΧΚ σε σχέση με τους μη αναπτυγμένους κόκκους. Επιπλέον, αποτελεί κριτήριο της ποιότητας και της εμπορικής αξίας του σιταριού μια και όσο μεγαλύτερο είναι το ΒΧΚ, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση του σιταριού σε αλεύρι. Το ΒΧΚ είναι πιο αξιόπιστος δείκτης απόδοσης της άλεσης από το εκατολιτρικό βάρος, το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται (Halverson & Zeleny, 1988). Η μεγάλη τιμή δείχνει ότι το σιτάρι είναι καλά αναπτυγμένο και θα έχει καλή απόδοση σε αλεύρι (Τσιάρας, 1984).

Το ΒΧΚ επηρεάζεται τόσο από γενετικούς όσο και από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Μεταξύ των διάφορων συστατικών της απόδοσης, είναι αυτό που κληρονομείται περισσότερο και ελέγχεται από λίγα γονίδια (Θεουλάκη κ.ά., 1990). Επηρεάζεται από της εδαφοκλιματικές συνθήκες (Σκόρδα και Κορπέτης, 1998) και την πυκνότητα των φυτών. Όταν τα φυτά έχουν μειωμένο αριθμό αδελφιών και ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες κατά την περίοδο γεμίσματος του κόκκου, τότε σχηματίζουν και βαρύτερους κόκκους. Όταν τα φυτά υποφέρουν από ξηρασία στην ίδια περίοδο τότε δίνουν κόκκους πολύ ελαφρούς, γεγονός σύνθητες στην Ελλάδα, όπου στα τέλη Μαΐου και αρχές Ιουνίου επικρατούν ξηροθερμικές συνθήκες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 2.1.1 Εγκατάσταση του πειράματος

Το πείραμα εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα που ανήκει στον Ελληνικό Γεωργικό Οργανισμό «ΔΗΜΗΤΡΑ», στο Ινστιτούτο Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων (ΙΓΒ&ΦΠ) στη Θέρμη Θεσσαλονίκης (40°32'07"N, 23°00'24"E) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2016-2017 (Εικόνα 2.1).



**Εικόνα 2.1 Προετοιμασία για την εγκατάσταση του πειράματος**

Σπάρθηκε η ποικιλία μαλακού σιταριού «Αχελώος» με την αυτόματη σπαρτική αυτοκινούμενη μηχανή τύπου Wintersteiger Seedmech Austria (Εικόνα 2.2). Η βλαστική ικανότητα της σπορομερίδας που χρησιμοποιήθηκε ήταν 94% και το βάρος 1000 κόκκων (ΒΧΚ) 36,5 γραμμάρια. Η σπορά και η βασική λίπανση πραγματοποιήθηκε στις 19 Δεκεμβρίου 2016. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στην παρατεταμένη ανομβρία που επικράτησε όλο το φθινόπωρο. Τα πειραματικά τεμάχια (plots) ήταν 3m x 4m = 12 m<sup>2</sup>. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε 12 σειρές, με απόσταση 0,25m μεταξύ των σειρών.

Η ποικιλία «Αχελώος» είναι κοντή (90 εκατοστά ύψος), αγανόφορος ποικιλία με εξαιρετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και υψηλές αποδόσεις, με μέτριο έως πλούσιο αδέλωμα, καλή αντοχή στο ψύχος και στις ασθένειες. Η ποικιλία «Αχελώος» επιδεικνύει ειδική προσαρμοστικότητα στα πλούσια περιβάλλοντα και χαρακτηρίζονται από σταθερές αποδόσεις σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ποικιλίες που επιδεικνύουν μέση σταθερότητα. Ο σπόρος της είναι μεγάλος, σκληρός, με πρωτεΐνη 14-15 και άριστη αρτοποιητική ικανότητα. Έχει καλή αντοχή στο μηχανικό πλάγιασμα, ικανοποιητική προσαρμοστικότητα, ιδιαίτερα στα γόνιμα εδάφη (Κορπέτης, 2018).



**Εικόνα 2.2 Σπορά με αυτόματη σπαρτική μηχανή σιτηρών**

### **2.1.2 Εδαφοκλιματικές συνθήκες**

Εδαφικά δείγματα του αγρού λήφθηκαν στις 16 Δεκεμβρίου 2016 πριν τη σπορά σε όλα τα πειραματικά τεμάχια σε βάθος 0-30 εκατοστά και αναλύθηκαν από το Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων του ΕΛΓΟ «ΔΗΜΗΤΡΑ».

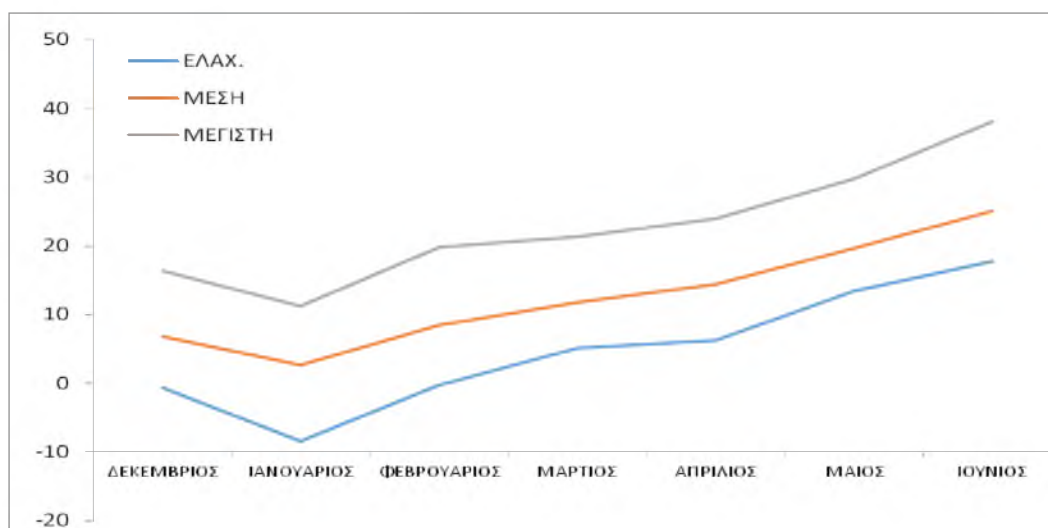
Τα εδαφικά χαρακτηριστικά του αγρού παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Το έδαφος του αγρού χαρακτηρίζεται πηλώδες (L) με pH 7,8 και οργανική ουσία <2 και σύμφωνα με το διεθνές σύστημα ταξινόμησης εδαφών που έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται από τις ΗΠΑ είναι της τάξης των Entisols. Έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε Άζωτο (N) και Φώσφορο (P). Το επίπεδο Καλίου (K) είναι επαρκές για την καλλιέργεια μαλακού σιταριού.

**Πίνακας 2.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους του αγρού**

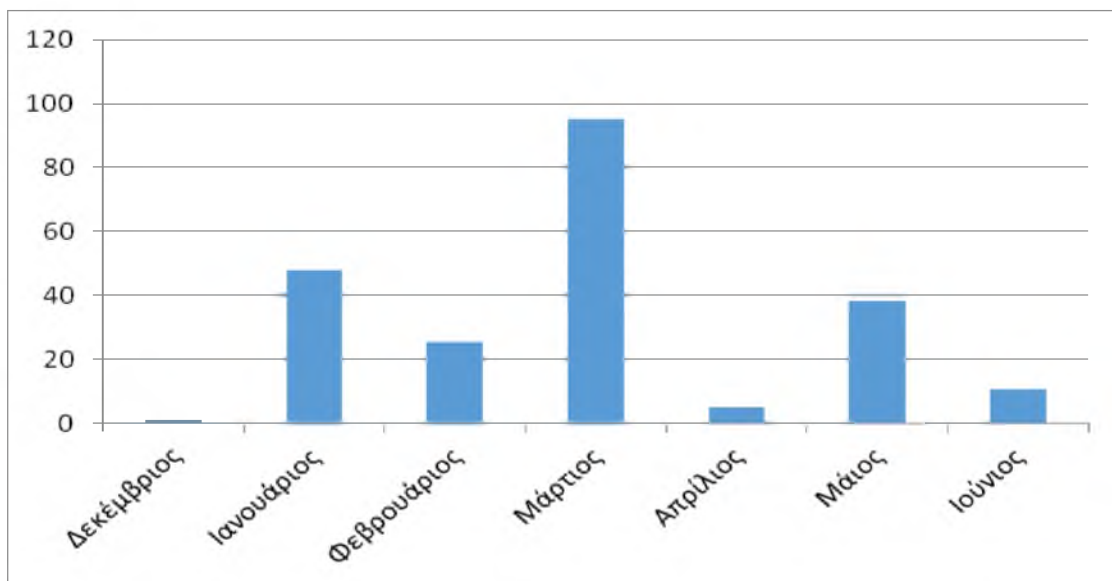
Άμμος %	Άργιλος %	Ιλύς %	Οξύτητα εδάφους pH	Αλατότητα εδάφους mS/cm	Οργανική ουσία %	Ολικό CaCO <sub>3</sub> %	B.D. g/cm <sup>3</sup>	N-NO <sub>3</sub> ppm
44	18	38	7.8	0.625	1.3	1.4	1.53	18
P ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Cu ppm	B ppm
10.4	153	319	>2000	3.64	0.18	5.62	1,06	0,68

### 2.1.3 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά στοιχεία μέση θερμοκρασία, ελάχιστη θερμοκρασία, μέγιστη θερμοκρασία και ύψος βροχής από το Δεκέμβριο 2016 έως και τον Ιούνιο 2017 παρουσιάζονται για την περιοχή του Αγροκτήματος του ΙΓΒ&ΦΠ στη Θέρμη στα Σχήματα 2.1, 2.2 και στον Πίνακα 2.1 (Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία - ΕΜΥ, Αεροδρόμιο Μακεδονία).



**Σχήμα 2.1 Μέση, Μέγιστη και Ελάχιστη θερμοκρασία, στο Αγρόκτημα του ΙΓΒ&ΦΠ στη Θέρμη κατά την καλλιεργητική περίοδο 2016-17 (Στοιχεία από Μετεωρολογικό Σταθμό στο Αεροδρόμιο Μακεδονία, ΕΜΥ)**



**Σχήμα 2.2** Μηνιαίο ύψος βροχής σε mm, στο Αγρόκτημα του ΙΓΒ&ΦΠ στη Θέρμη κατά την καλλιεργητική περίοδο 2016-17  
(Στοιχεία από Μετεωρολογικό Σταθμό στο Αεροδρόμιο Μακεδονία, ΕΜΥ)

**Πίνακας 2.2** Μετεωρολογικά στοιχεία στο Αγρόκτημα του ΙΓΒ&ΦΠ στη Θέρμη κατά την καλλιεργητική περίοδο 2016-17 (Στοιχεία από Μετεωρολογικό Σταθμό στο Αεροδρόμιο Μακεδονία, ΕΜΥ)

Μήνες	Βροχόπτωση mm	Μέση θερμοκρασία	Ατμοσφαιρική υγρασία	T <sub>min</sub> °C	T <sub>max</sub> °C
Δεκέμβριος	1	6,8	65,5	-0,5	16,4
Ιανουάριος	48	2,6	76,8	-8	11,2
Φεβρουάριος	25,4	8,5	78,2	-5	19,8
Μάρτιος	95,4	11,8	69,2	0	21,3
Απρίλιος	5,2	14,4	67,4	3	23,9
Μάιος	38,4	19,7	69,5	5,5	29,8
Ιούνιος	10,6	25,1	66	14,5	38
Σύνολο	224 mm				

### 2.1.4 Πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε για την εγκατάσταση του πειράματος, ήταν τυχαιοποιημένες πλήρεις ομάδες (Randomized Complete Blocks-RCB), με δέκα (10) επεμβάσεις και τέσσερις επαναλήψεις.

8	5	2	3	6
10	7	9	1	4
3	1	6	9	8
2	4	10	5	7
5	7	3	6	2
4	10	9	8	1
6	7	8	9	10
1	2	3	4	5

Σχήμα 2.3 Πειραματικό σχέδιο RCB

Αναλυτικότερα, οι τύποι λιπασμάτων και οι λιπαντικές μονάδες (λ.μ.) έχουν ως εξής:

1. βασική λίπανση 4 μονάδες N και 4 μονάδες P (20-20-0) και επιφανειακή λίπανση 6,7 μονάδες N (νιτρική αμμωνία 34,5-0-0)
2. βασική λίπανση 5,3 μονάδες N και 3,6 μονάδες P (CRF 31-21-0)
3. βασική λίπανση 5,3 μονάδες N και 3,6 μονάδες P (CRF 31-21-0)
4. βασική λίπανση 2,5 μονάδες N και 5,8 μονάδες P (18-46-0), επιφανειακή λίπανση πριν το αδέλφωμα 6,9 μονάδες N (ουρία 46-0-0) και επιφανειακή λίπανση 15 ημέρες μετά το αδέλφωμα 5,0 μονάδες N (νιτρική αμμωνία 34,5-0-0)
5. βασική λίπανση 6,3 μονάδες N και 7,5 μονάδες P (CRF 25-30-0)

6. βασική λίπανση 3,3 μονάδες N και 3,9 μονάδες P (CRF 25-30-0) και επιφανειακή λίπανση πριν το αδέλφωμα 4,4 μονάδες N (ουρία 46-0-0)
7. βασική λίπανση 4,5 μονάδες N, 4,5 μονάδες P και 4,5 μονάδες K (15-15-15), επιφανειακή λίπανση πριν το αδέλφωμα 4,6 μονάδες N (ουρία 46-0-0) και επιφανειακή λίπανση 15 ημέρες μετά το αδέλφωμα 6,7 μονάδες N (νιτρική αμμωνία 34,5-0-0)
8. βασική λίπανση 9,0 μονάδες N, 2,1 μονάδες P και 2,1 μονάδες K (CRF30-7-7+1 MgO/ME),
9. βασική λίπανση 3,0 μονάδες N, 3,0 μονάδες P και 3,0 μονάδες K (CRF 15-15-15+ ME) και επιφανειακή λίπανση πριν το αδέλφωμα 5,7 μονάδες N (ουρία 46-0-0)
10. χωρίς λίπανση

Επιλέχθηκαν οι παρακάτω επεμβάσεις με διαφορετικές μονάδες αζώτου:

- 1<sup>η</sup> βασική λίπανση 4-4-0 και επιφανειακή λίπανση 6,7-0-0 (συμβατική)
- 2<sup>η</sup> βασική λίπανση CRF5,3-3,6-0
- 5<sup>η</sup> βασική λίπανση CRF6,3-7,5-0
- 8<sup>η</sup> βασική λίπανση CRF9,0-2,1-2,1
- 10<sup>η</sup> χωρίς λίπανση

### 2.1.5 Καλλιεργητικές εργασίες

Η προετοιμασία του αγρού πρέπει να γίνεται στο στάδιο του «ρώγου», γιατί τότε λόγω των χαλαρών δεσμών μεταξύ των μορίων του εδάφους απαιτείται λιγότερη μηχανική ενέργεια και γιατί έτσι εξασφαλίζονται οι καλύτερες δυνατές συνθήκες υγρασίας και αερισμού για το φύτευμα του σπόρου και προεξοφλείται ο καλύτερος δυνατός θρυμματισμός του εδάφους. Η ικανότητα της χρήσης του νερού αυξάνεται όταν η απόσταση μεταξύ των γραμμών σποράς μειώνεται από 36 σε 9 cm και η αναλογία σποράς αυξάνεται από 35 σε 140 kg/ha (Tompkins et al., 1991).

Λόγω της παρατεταμένης ανομβρίας πραγματοποιήθηκε άρδευση με καταιονισμό με καρούλι (τεχνητή βροχή) 35 m<sup>3</sup> το στρέμμα, στις 8 Μαΐου 2017 (Εικόνα 2.3). Η λειψυδρία σε συνδυασμό με τη χαμηλή γονιμότητα του εδάφους περιορίζουν την πρωτογενή παραγωγή (Stewart, 1988, Li et al., 2009). Η άρδευση του σιταριού είναι πολλές φορές χρήσιμη, μέχρι πολύ αποτελεσματική (Σφήκας, 1995, Musick et al., 1994).



Οι επισκέψεις στον πειραματικό αγρό ήταν καθημερινές και γινόταν διάφορες καλλιεργητικές εργασίες όπως φρεζάρισμα στους διαδρόμους, ξεβοτανίσματα κ.α.



**Εικόνα 2.3 Εκτοξευτήρας του αρδευτικού συστήματος (καρούλι)**

#### **2.1.6 Αριθμός φυτών**

Στις 13 Φεβρουαρίου 2017 μετρήθηκε ο αριθμός των φυτών ανά τετραγωνικό μέτρο σε κάθε πειραματικό τεμάχιο (Εικόνα 2.4). Τοποθετήθηκε τετραγωνικό πλαίσιο διαστάσεων  $31,6 \times 31,6 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}^2$  και μετρήθηκε ο αριθμός των φυτών μέσα στο πλαίσιο. Αυτό επαναλήφθηκε τρεις φορές και υπολογίστηκε ο μέσος όρος. Τέλος έγινε αναγωγή στο τετραγωνικό μέτρο.



**Εικόνα 2.4 Μέτρηση αριθμού φυτών από κάθε πειραματικό τεμάχιο**

### 2.1.7 Δειγματοληψία εδάφους

Στόχος της δειγματοληψίας είναι, το δείγμα να είναι όσο το δυνατό πιο αντιπροσωπευτικό, για να είναι αξιόπιστο το αποτέλεσμα (Soiland Plant Analysis, 2000). Ο τρόπος δειγματοληψίας πρέπει να ικανοποιεί δύο χαρακτηριστικά, την τυχαιοποίηση και το μέγεθος του δείγματος (Εικόνα 2.5).

Τα εδάφη χαρακτηρίζονται από μεγάλη παραλλακτικότητα τόσο στην επιφάνειά τους, όσο και σε κάθετη τομή, με αποτέλεσμα να απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στο τρόπο και στο χρόνο που θα επιλεγεί να γίνει η δειγματοληψία και γι' αυτό θα πρέπει να υπάρχει ένα σχέδιο δειγματοληψίας. Σημαντικός παράγοντας του βάθους δειγματοληψίας παίζει το βάθος του ριζικού συστήματος της καλλιέργειας που είναι ήδη εγκαταστημένη ή θα εγκατασταθεί (Peterson and Calvin, 1996). Ο χρόνος δειγματοληψίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν στα στοιχεία που είναι να αναλυθούν περιλαμβάνονται μορφές αζώτου που μεταβολίζονται γρήγορα όπως τα νιτρικά (Hazelton & Murphy, 2007).

Ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους γίνεται με τη μέθοδο του υδρομέτρου. Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει την κατανομή των στερεών τεμαχιδίων του εδάφους (αργίλου, ιλύος και άμμου) όπως αυτά καθορίζονται από τους ρυθμούς καθιζήσεων τους σε υδατικά διαλύματα με τη χρήση ενός υδρόμετρου (Gee and Bauder, 1986, Gee & Or, 2002). Γνωρίζοντας τα ποσοστά της άμμου, ιλύος και αργίλου μπορούμε να κατατάξουμε το έδαφος σε μια από τις 12 διεθνής τάξεις εδάφους σύμφωνα με τον Shepard (1954). Η σπουδαιότητα της μέτρησης του pH εντοπίζεται στην επίδραση που έχει το pH στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους, στις χημικές ιδιότητες του εδάφους, στη καταλληλότητα του εδάφους για συγκεκριμένες καλλιέργειες και τέλος στη βελτίωση του εδάφους με αύξηση ή μείωση του pH με διάφορες μεθόδους (Gavlak et al., 1994). Το pH του εδάφους επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών, κυρίως εξαιτίας της επίδρασής του στην διαθεσιμότητα των μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων (Jones, 2001).

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει τη δυνατότητα των διαλυτών αλάτων να περιορίσουν την παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Η μέτρηση της EC με την πάστα κορεσμού ποσοτικοποιεί τα διαλυτά άλατα (Miller & Curtin, 2008). Το όριο ανιχνευσιμότητας της μεθόδου είναι στο  $0,01 \text{ dsm}^{-1}$  ( $\text{mmhoscm}^{-1}$ ) (Gavlak et al., 1994).



**Εικόνα 2.5 Δειγματοληψία εδάφους από κάθε πειραματικό τεμάχιο**

Στις 6 Μαρτίου 2017 πραγματοποιήθηκε δεύτερη δειγματοληψία εδάφους για τις ανάγκες ανάλυσης των θρεπτικών στοιχείων. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο λήφθηκε με το δειγματολήπτη δείγμα εδάφους 0-30 cm από έξι σημεία για την εδαφολογική ανάλυση.

### **2.1.8 Μέτρα Φυτοπροστασίας**

Στις 18 Μαρτίου 2017 πραγματοποιήθηκε επιτόπιος έλεγχος και καταγραφή των ζιζανίων (Εικόνα 2.6) και κρίθηκε απαραίτητη η ζιζανιοκτονία. Καταγράφηκαν πληθυσμοί των ζιζανίων Παπαρούνα (*Paraver rhoeas*), Στελλάρια (*Stellaria media*, *Stellaria* spp.), Ήρα πολύανθη (*Lolium multiflorum*), Αλεπονουρά (*Alopecurus myosuroides*), Βερονίκη (*Veronica arvensis*). Στις 20 Μαρτίου έγινε ζιζανιοκτονία σε όλα τα πειραματικά τεμάχια με τη δραστική ουσία amidosulfuron 5% β/β, iodosulfuron-methyl-sodium 1% β/β, mesosulfuron-methyl 3% β/β, 50 γραμμάρια το στρέμμα σε συνδυασμό με επιφανειοδραστικό biopower 100ml/στρέμμα. Το συγκεκριμένο σκεύασμα έχει μεγάλο φάσμα δράσης των ζιζανίων πλατύφυλλων και στενόφυλλων. Ο ψεκασμός της επιφάνειας της καλλιέργειας και των ζιζανίων έγινε με ακροφύσια (μπεκ) τύπου σκούπας και πίεση 2,8 atm (45 PSI).



**Εικόνα 2.6 Παρατηρήσεις και καταγραφή δεδομένων από τα πειραματικά τεμάχια**

Στις 4 Απριλίου 2017 παρατηρήθηκε το έντομο *Lema (oulema) melanopa* (Coleoptera: Chrysomelidae), Το τέλειο έντομο έχει σώμα επίμηκες, 4-5 mm και χρώματος σκούρο κυανοπράσινο, μεταλλικό (Ναβροζίδης & Ανδρεάδης, 2012). Η προνύμφη φτάνει τα 6 mm μήκος, με σώμα ογκώδες, ωοειδές, κίτρινη ή γκριζωπή. Τα τέλεια έντομα Μάρτιο-Απρίλιο τρέφονται με φύλλα ανάμεσα στις νευρώσεις. Το έντομο αυτό είναι φορέας πολλών ιώσεων (Μπουχέλος, 2008), έτσι κρίθηκε απαραίτητη η χρήση εντομοκτόνου με τη δραστική ουσία deltamethrin 2,5% β/ο (πυρεθρίνη) επαφής και στομάχου για την αντιμετώπιση μυζητικών και μασητικών εντόμων (δόση 100 ml σε 100 λίτρα νερό).

Στις 10 Απριλίου 2017 έγινε τρίτη δειγματοληψία εδάφους. Στις 11 Απριλίου πραγματοποιήθηκε η δεύτερη επιφανειακή λίπανση στα πειραματικά τεμάχια της συμβατικής μεταχείρισης (Εικόνα 2.7).



**Εικόνα 2.7 Επιφανειακή λίπανση πειραματικών τεμαχίων**

### **2.1.9 Τελικό Ύψος φυτών**

Στις 27 Απριλίου 2017 μετρήθηκε το ύψος 10 φυτών σε κάθε πειραματικό τεμάχιο και υπολογίστηκε ο μέσος όρος (Εικόνα 2.8).



**Εικόνα 2.8 Πειραματικά τεμάχια κατά τη μέτρηση ύψους**

### 2.1.10 Μέτρηση της γρήγορης κινητικής του φθορισμού της χλωροφύλλης *a*

Στις 23 Μαρτίου 2017 έγινε η πρώτη μέτρηση φθορισμού. Ένα μήνα μετά στις 24 Απριλίου πραγματοποιήθηκε η δεύτερη μέτρηση φθορισμού (Εικόνα 2.9).



**Εικόνα 2.9** Μέτρηση της γρήγορης κινητικής του φθορισμού της χλωροφύλλης *a*

Ο εκπεμπόμενος φθορισμός της χλωροφύλλης *a* του φύλλου παρουσιάζει δύο μέγιστα, το πρώτο στα 690nm και το δεύτερο στα 750nm. Το διεγείρον φως του οργάνου μας προερχόταν από ερυθρό φως με μέγιστο εκπομπής στα 670nm ενώ η ένταση του ουσιαστικά μηδενίζεται μετά τα 700nm. Η ανίχνευση του εκπεμπόμενου φθορισμού γίνεται μέσω φωτοδιόδου, πριν από το οποίο παρεμβάλλεται φίλτρο, διαπερατό σε μήκη κύματος πέρα από τα 700nm. Έτσι αποφεύγεται η παρεμβολή που προκαλεί στο ανιχνευόμενο σήμα φως μήκους κύματος μικρότερου από 700nm που αντανακλάται από την επιφάνεια του φύλλου. Στην περίπτωση που τα φύλλα φωτίζονται συνεχώς, εκπέμπουν σταθερή ένταση φθορισμού, ο οποίος όμως μας δίνει ελάχιστες πληροφορίες για την κατάσταση του φύλλου με αποτέλεσμα όλες οι μελέτες του φθορισμού να λαμβάνουν χώρα με ξαφνική ακτινοβολία, έπειτα από μια περίοδο προσαρμογής για ορισμένο χρονικό διάστημα στο σκοτάδι.

Μετά το μέγιστο (P) ο φθορισμός σταδιακά μειώνεται για τους εξής λόγους: α) εξαιτίας της απόσβεσης (quenching) του φθορισμού β) εξαιτίας της ροής ηλεκτρονίων προς τα κέντρα αντίδρασης του PSI. Ο μέγιστος φθορισμός ( $F_m$ ) προσεγγίζεται όταν όλα τα αποθέματα του πρωταρχικού δέκτη  $Q_A$  έχουν πλήρως αναχθεί οπότε και στο σημείο αυτό η φωτοχημική ικανότητα θεωρείται μηδέν. Στην συνέχεια, η φωτοχημική ικανότητα αυξάνεται καθώς ξεκινά η ροή ηλεκτρονίων από την  $Q_A$  προς τα κέντρα αντίδρασης του PSI ενώ ο φθορισμός μειώνεται (S). Το σύνολο των επιπέδων OI DP ορίζεται ως γρήγορη φάση κινητικής επαγωγής του φθορισμού και η όλη πορεία διαρκεί περίπου 0,5sec. Ο φθορισμός συνεχίζει να μειώνεται και περνάει από ένα δεύτερο μέγιστο (M) όπου σηματοδοτείται η έναρξη αφομοίωσης  $CO_2$  (Irelandetal., 1984) και τέλος καταλήγει έπειτα από 35sec περίπου στο τελικό επίπεδο μιας σταθερής.

Η διαφορά μεταξύ μέγιστου και αρχικού φθορισμού καλείται μεταβλητός φθορισμός χλωροφύλλης ( $F_v = F_m - F_o$ ). Ο λόγος  $F_v/F_m$  (μέγιστη φωτοχημική απόδοση) του μεταβλητού φθορισμού προς το μέγιστο φθορισμό είναι ένας πολύ χρήσιμος δείκτης της φωτοχημικής ικανότητας των φυτών. Ο λόγος αυτός όπως έχει προηγουμένως μελετηθεί (Demming & Bjorkman, 1987) είναι ευθέως ανάλογος με την απόδοση της φωτοσύνθεσης ανά φωτόνιο. Αποτελεί έτσι μια καλή ένδειξη φωτοανασταλτικών βλαβών που πιθανώς να προέρχονται από διάφορες μορφές περιβαλλοντικής καταπόνησης (ξηρασία, ασθένειες, βαρέα μέταλλα) (Bolhar-Nordenkampetal., 1989).

### **2.1.11 Ελάχιστος φθορισμός ( $F_o$ )**

Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης, τα κέντρα αντίδρασης στο PSII είναι ανοικτά και υπάρχει μια ελεύθερη ροή ηλεκτρονίων. Κάθε φωτόνιο που απορροφάται από ένα μόριο χλωροφύλλης μετατοπίζει ένα ηλεκτρόνιο από την θεμελιώδη σε μία διεγερμένη κατάσταση. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας τα κέντρα αντίδρασης στο PSII είναι σε ανοικτή κατάσταση διότι η μεταφορά ηλεκτρονίων είναι αρκετά γρήγορη έτσι ώστε να επιτρέπεται η είσοδος περαιτέρω ηλεκτρονίων. Υπάρχει μια σταθερή ροή ηλεκτρονίων και εμφανίζεται ένας ελάχιστος φθορισμός ( $F_o$ ).

### **2.1.12 Μέγιστος φθορισμός (Fm)**

Όταν ένας παλμός κορεσμού φωτός στέλνεται σε ένα φωτοσυνθετικό δείγμα τότε προκαλείται σε αυτό ο μέγιστος φθορισμός. Το οξειδωμένο κέντρο αντίδρασης θα γίνει εντελώς ανοιγμένο με την αύξηση της μεταφοράς των ηλεκτρονίων (περισσότερο φως). Τα κέντρα αντίδρασης είναι τώρα κλειστά και ο αποδέκτης ηλεκτρονίων (QA) ανάγεται εντελώς. Η ροή των ηλεκτρονίων εμποδίζεται επειδή η ποσότητα των QA δεν μπορεί να μεταφέρει τα ηλεκτρόνια αρκετά γρήγορα έτσι ώστε να συμβαδίσει με την εισροή των φωτονίων με αποτέλεσμα να εμφανίζεται η μέγιστη κβαντική απόδοση του PSII (Fm). Σε αυτή την κατάσταση, η εκπομπή φθορισμού είναι μέγιστη.

### **2.1.13 Μεταβλητός φθορισμός (Fv)**

Η διαφορά μεταξύ των εντάσεων φθορισμού με τα κλειστά και ανοικτά κέντρα αντίδρασης είναι γνωστή ως μεταβλητός φθορισμός χλωροφύλλης ( $F_v = F_m - F_0$ ). Αυτό αντιστοιχεί στο μέρος της απορροφημένης φωτεινής ενέργειας που θα χρησιμοποιούταν στη φωτοσύνθεση εάν όλα τα κέντρα αντίδρασης ήταν στην ανοικτή κατάσταση.

### **2.1.14 Ο λόγος $F_v / F_m$**

Ο λόγος του φθορισμού  $F_v / F_m$  είναι ανάλογος του κβαντικού επιπέδου της φωτοχημείας της φωτοσύνθεσης. Η μείωση του λόγου  $F_v / F_m$  είναι ενδεικτική του αποτελέσματος κάποιων περιβαλλοντολογικών εξωτερικών παραγόντων, και αυτή η αλλαγή δείχνει απώλεια της φωτοχημικής απόδοσης. Η ευνοϊκότερη τιμή του λόγου  $F_v / F_m$  για τα περισσότερα είδη φυτών είναι  $0,83 \pm 0,05$  (Krause & Weis, 1991). Τιμές χαμηλότερες από αυτή δείχνουν ότι το φυτό είναι εκτεθειμένο σε κάποιου είδους καταπόνηση.

### **2.1.15 Επαγωγικός φθορισμός της χλωροφύλλης**

Η επαγωγή φθορισμού της χλωροφύλλης είναι μια διαδεδομένη μέθοδος για την αξιολόγηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας (Krause & Weis, 1991). Ο φθορισμός της χλωροφύλλης αποτελεί ένα τρόπο αποδιέγερσης του μορίου της μετά από την απορρόφηση φωτονίων. Κάτω από φυσιολογικές θερμοκρασίες, πρακτικά όλος ο



εκπεμπόμενος φθορισμός προέρχεται από τα μόρια της χλωροφύλλης  $\alpha$  του φωτοσυστήματος II (PSII). Με τη χρήση του φθορισμόμετρου του συγκεκριμένου τύπου, οι μελέτες του φθορισμού πραγματοποιούνται με αιφνίδια ακτινοβολία του φύλλου, το οποίο έχει προηγουμένως παραμείνει για ορισμένο χρονικό διάστημα (περίπου δέκα λεπτά) στο σκοτάδι. Με την παραμονή στο σκοτάδι όλοι οι πρωταρχικοί δέκτες του PSII (QA, QB) οξειδώνονται πλήρως. Έτσι με τον απότομο φωτισμό, ο φθορισμός (P) ανέρχεται σε ένα αρχικό επίπεδο  $P_0$ , που αντιστοιχεί στο βασικό φθορισμό της φωτοσυνθετικής συσκευής πριν το PSII διεγερθεί. Στη συνέχεια και εφ' όσον η ένταση του διεγείροντας φωτός αντιστοιχεί σε επίπεδα κορεσμού, ο αρχικός φθορισμός ανέρχεται σε ένα μέγιστο επίπεδο ( $F_{max}$ ,  $F_m$ ) που συμπίπτει με την πλήρη αναγωγή όλων των αποθεμάτων του πρωταρχικού δέκτη QA, άρα στο σημείο αυτό η φωτοχημική ικανότητα θεωρείται μηδέν. Η διαφορά μεταξύ μέγιστου και αρχικού φθορισμού καλείται μεταβλητός φθορισμός χλωροφύλλης ( $F_v = F_m - F_0$ ). Ο λόγος  $F_v/F_m$  του μεταβλητού φθορισμού προς το μέγιστο φθορισμό είναι ένας πολύ χρήσιμος δείκτης της φωτοχημικής ικανότητας των φυτών. Ο λόγος αυτός όπως τον έχουν μελετήσει οι ερευνητές (Demming & Bjorkman, 1987) είναι ανάλογος με την απόδοση της φωτοσύνθεσης ανά φωτόνιο. Το φθορισμόμετρο που χρησιμοποιήθηκε, παρέχει στο φύλλο φως στα 650 nm, πλήρους έντασης 1500  $\mu\text{mol}/\text{msec}$  και δίνει αυτομάτως το λόγο  $F_{\text{μέγιστου}}$  και αρχικού φθορισμού ονομάζεται μεταβλητός φθορισμός ( $F_v = F_m - F_0$ ).

Ο φθορισμός της χλωροφύλλης μετρήθηκε με μια ρυθμιζόμενη και χαμηλής έντασης ακτινοβολία από εκπεμπόμενο φως διόδων (διέγερσης μήκος κύματος στα 655nm, ανίχνευση πάνω από 700nm) χρησιμοποιώντας ένα φορητό παλμικό ρυθμιζόμενο φθορισμόμετρο (Pea, Hansatech Walz, Germany) (Εικόνα 2.10) όπως περιγράφηκε από τους Shreiber, Schliwa & Bilger (1986). Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην πάνω επιφάνεια των φύλλων, μετά από μισή ώρα παραμονή τους στο σκοτάδι.



**Εικόνα 2.10 Φθορισόμετρο *Hansatech Handy PEA* (Plant Efficiency Analyses)**

Το όργανο αποτελείται από τρεις μονάδες: α) τους συνδετήρες φύλλου (leafclips) που χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή του αισθητήρα (sensor) και διαθέτουν ειδικό κλείστρο για να κρατούν το φύλλο στο σκοτάδι β) τη μονάδα ελέγχου (controlbox) για αποθήκευση και επεξεργασία των μετρήσεων γ) τη μονάδα του αισθητήρα (leaf clips) που εκπέμπει ερυθρό φωτισμό. Η κεφαλή μέτρησης του αισθητήρα: ι) φωτίζει τον ιστό και ιι) ανιχνεύει και καταγράφει τα επαγόμενα σήματα του φθορισμού. Αποτελείται από 6 διόδους εκπομπής φωτός υψηλής έντασης (LEDs) που φωτίζουν ομοιόμορφα την επιφάνεια φύλλου (διάμετρος 4mm) με μέγιστη φωτεινή ένταση  $630\text{Wm}^{-2}$ . Ο φθορισμός που εκπέμπεται από τον φωτοσυνθετικό ιστό περνάει μέσα από ένα οπτικό φίλτρο και φθάνει στον ανιχνευτή ο οποίος απορροφά τα μεγάλα μήκη κύματος και ανακλά το μικρότερο μήκους κύματος φωτός που προέρχεται από τα LEDs. Η μονάδα του αισθητήρα συνδέεται με ένα καλώδιο με τη συσκευή ελέγχου που έχει και όλα τα ηλεκτρονικά μέρη του PEA.

#### **2.1.16 Απόδοση/κιλά**

Όταν η υγρασία του καρπού είναι στη επιθυμητή τιμή για συγκομιδή και αποθήκευση πραγματοποιείται η συγκομιδή του σιταριού. Στην Ελλάδα η συγκομιδή γίνεται με θεριζοαλωνιστικές μηχανές (Τσατσαρέλης, 2003), συνήθως κατά τον Ιούνιο και σε πιο ορεινές περιοχές κατά τον Ιούλιο (Παπακώστα, 1997).

Στις 18 Ιουνίου 2017 (Εικόνα 2. 11) έγινε η μέτρηση υγρασίας με τη φορητή συσκευή Isoelectric Plus Grain Tester (Εικόνα 2.12) και καταγράφηκε υγρασία 13,8% ιδανική για αλώνισμα των σιτηρών και αποθήκευση (Παπακώστα, 1997).



**Εικόνα 2.11 Πειραματικά τεμάχια λίγο πριν την συγκομιδή**



**Εικόνα 2.12 Συσκευή μέτρησης υγρασίας Isoelectric plus.**

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις. Πρώτα, στις 19 Ιουνίου 2017 έγινε θερισμός με δρεπάνι ενός τετραγωνικού μέτρου από κάθε πειραματικό τεμάχιο, κόβοντας τα στελέχη 5 εκατοστά πάνω από το έδαφος για τον υπολογισμό του Δείκτη Συγκομιδής (Harvest Index).

Η δεύτερη φάση της συγκομιδής πραγματοποιήθηκε στις 20 Ιουνίου 2017, οπότε και έγινε ο θεριζοαλωνισμός όλων των πειραματικών τεμαχίων με την πειραματική θεριζοαλωνιστική μηχανή Nursery-Master της Wintersteiger του ΙΓΒ&ΦΠ (Εικόνα 2.13).



**Εικόνα 2.13** Αυτοκινούμενη πειραματική θεριζοαλωνιστική μηχανή χειμερινών σιτηρών

Ο συγκομιζόμενος σπόρος ανά πειραματικό τεμάχιο συγκεντρώθηκε σε πάνινα τσουβάλια, ζυγίστηκε με αυτόνομη ζυγαριά ακριβείας ( $\pm 1\text{gr}$ ), καταγράφηκαν τα αποτελέσματα και υπολογίστηκε η στρεμματική απόδοση.

#### **2.1.17 Δείκτης συγκομιδής**

Ο δείκτης συγκομιδής (Harvest index) είναι το ποσοστό βάρους του καρπού της προς το σύνολο της υπέργειας βιομάζας. Όπως προαναφέρθηκε, σε κάθε πειραματικό τεμάχιο θερίστηκε ένα τετραγωνικό μέτρο φυτών σιταριού. Ζυγίστηκε η συνολική βιομάζα των θερισμένων στελεχών κάθε πειραματικού τεμαχίου.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αλωνισμός με τη χρήση σταθερής αλωνιστικής μηχανής ενός δεματιού μάρκας F. Walter - H. Wintersteiger Austria (Εικόνα 2.14). Ζυγίστηκε ο συγκομισμένος σπόρος και τέλος υπολογίστηκε ο δείκτης συγκομιδής διαιρώντας το βάρος του συγκομισμένου σπόρου προς τη συνολική βιομάζα.



**Εικόνα 2.14 Σταθερή μηχανή αλωνισμού δειγμάτων.**

### **2.1.18 Πρωτεΐνη**

Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και κυρίως το ποσοστό σε γλουτένη στο σιτάρι είναι αυτά που επηρεάζουν όσο τίποτε άλλο τις αρτοποιητικές ικανότητες του αλεύρου.

Η πρωτεΐνη προσδιορίζεται με τη μέθοδο Kjeldahl. Η τιμή της στο σιτάρι κυμαίνεται σε μεγάλα όρια (6-21%) και επηρεάζεται λιγότερο από την κληρονομικότητα (ποικιλία) και περισσότερο από τους εδαφοκλιματικούς παράγοντες που επικρατούν στον τόπο της καλλιέργειας. Στη χώρα της ο μέσος όρος της πρωτεΐνης επί ξηρού στα μαλακά σιτάρια είναι 12,5%. Η πρωτεΐνη του σιταριού υστερεί σε θρεπτική αξία έναντι των ζωικών πρωτεϊνών, κυρίως γιατί περιέχει ελάχιστες μόνο ποσότητες λυσίνης και θρυπτοφάνης (Καραμάνος, 1992).

Παρόλο που υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ απόδοσης και πρωτεΐνης, δεν ανιχνεύθηκε ισχυρή αρνητική επίδραση για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και την απόδοση, υποδηλώνοντας ότι είναι δυνατή η βελτίωση αυτών των δύο σημαντικών ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών. Έχει παρατηρηθεί αρνητική σχέση μεταξύ αυτών των δύο χαρακτηριστικών, αλλά ελάχιστα ήταν γνωστό αν η συσχέτιση αυτή οφείλεται σε γενετικούς παράγοντες ή σε αντίθετες περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τα

δύο αυτά χαρακτηριστικά, τα οποία επηρεάζονται σημαντικά από το περιβάλλον, τη γονιμότητα του εδάφους, τη βροχόπτωση ή τη θερμοκρασία (Groos et al., 2003).

Προσδιορισμός ολικών πρωτεϊνών κατά Kjeldahl (KJELDAHL 03-750)  
(αποτέλεσμα μη διορθωμένο) $\times 100 / (100 - \text{υγρασία δείγματος})$

Ζυγίζονται 0,5 gr δείγματος αλεύρου (0,1gr για την γλουτένη) και μεταφέρονται με ιδιαίτερη προσοχή στον σωλήνα Gerhardt (Εικόνα 2.15). Προστίθεται ο καταλύτης σε μορφή ταμπλέτας (5gr $\text{K}_2\text{SO}_4$  και  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) και 12 ml πυκνού θειικού οξέος.



**Εικόνα 2.15** Συσκευή καύσης του δείγματος μάρκα Gerhaedt Turbotherm

Ο σωλήνας Gerhardt τοποθετείται στη συσκευή Gerhardt Turbotherm, όπου θερμαίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία μέχρι να σταματήσει να αφρίζει το περιεχόμενο του. Στη συνέχεια η θέρμανση γίνεται εντονότερη μέχρι το μείγμα αποκτήσει ασθενές κυανό χρώμα, οπότε θερμαίνεται για άλλα δέκα λεπτά. Ακολουθεί ψύξη για δέκα λεπτά και στη συνέχεια ο σωλήνας τοποθετείται στη συσκευή της απόσταξης Gerhardt VaroDest, αφού πρώτα έχει ρυθμίσει το πεχάμετρο της συσκευής και έχει δοθεί ο συντελεστής. Η συσκευή είναι συνδεδεμένη με τη συσκευή Turbosog (scrubberunit) και με εκτυπωτή HP 3835.

Προγραμματίζουμε τη συσκευή πριν την απόσταξη να γίνει προσθήκη 50ml διαλύματος καυστικού νατρίου 40%σε κάθε σωλήνα, ώστε η αμμωνία να ελευθερωθεί από το  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  και να παραληφθεί κατά την απόσταξη με τους υδρατμούς, όπου δεσμεύεται από το ασθενές βορικό οξύ ως  $(\text{NH}_4)_2\text{BO}_3$ . Τέλος, στο απόσταγμα η αμμωνία

προσδιορίζεται εμμέσως με εκτόπιση των ιόντων  $\text{H}_2\text{BO}_3^{2-}$  με ιόντα  $\text{Cl}^-$  και την ογκομέτρηση με διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (ισχυρό οξύ). Τα αποτελέσματα δίνουν την επί τοις εκατό περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη επί ξηρού βάρους δείγματος (Εικόνα 2.16).



**Εικόνα 2.16 Συσσκευή απόσταξης του δείγματος μάρκας Gerhardt Vapodest**

#### **2.1.19 Ο προσδιορισμός της Υγρής γλουτένης και του Δείκτη γλουτένης**

Ο προσδιορισμός της Υγρής γλουτένης και του Δείκτη γλουτένης των δειγμάτων μέθοδος (ICC 155 και ICC 158) αντίστοιχα. Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στο διαχωρισμό της γλουτένης από το αλεύρι ή από το σιμιγδάλι μέσω της συσκευής Glutomatic και στη συνέχεια φυγοκέντριση με ειδικά κόσκινα κάτω από σταθερές συνθήκες. Το ολικό βάρος της υγρής γλουτένης εκφράζεται ως ποσοστό επί της %. Το ποσοστό της υγρής γλουτένης που παραμένει στο κόσκινο μετά την φυγοκέντριση ορίζεται ως δείκτης γλουτένης (gluten index). Ο δείκτης γλουτένης προσδιορίζει τη δύναμη της γλουτένης, αξιολογώντας τη γλουτένη σε αδύνατη, κανονική ή δυνατή.

**Όργανα και υλικά:** σύστημα Glutomatic (PertenAB, Sweden) που αποτελείται από τις εξής συσκευές: συσκευή Glutomatic με κυκλικό θάλαμο αναμίξεως-πλύσεως διαμέτρου 55mm με πολυεστερικό κόσκινο ανοίγματος 88 $\mu\text{m}$ . Για ολικό άλεσμα υπάρχει και ένας δεύτερος κυκλικός θάλαμος με χονδρό κόσκινο (840  $\mu\text{m}$ ), φυγόκεντρος (6000 rpm +/- 5

gpm) με δύο κασέτες με κόσκινα διαμέτρου 22mm όπου μπορεί να συλλεχθεί ξεχωριστά τόσο η γλουτένη που περνάει κάτω από το κόσκινο όσο και η γλουτένη που παραμένει στην άνω επιφάνεια του κόσκινου. Χρειάζεται μία ρυθμιζόμενη πιπέτα δοσομέτρησης 0-5 ml, με κλίμακα 0,1ml, ένας ζυγός μέχρι 100g (Εικόνα 2.17), με ακρίβεια 0,1 mg, NaCl και τέλος απεσταγμένο νερό.



**Εικόνα 2.17 Ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας Merck**

Ετοιμάζεται αλατόνερο (περίπου 6 lt νερού, σε κάθε lt νερού προστίθεται 20 g NaCl). Πάντα ο προσδιορισμός της υγρής γλουτένης γίνεται με δύο δείγματα. Ζυγίζονται  $10 \pm 0,001$  g από κάθε δείγμα και τοποθετούνται στο ειδικό κόσκινο του θαλάμου αναμίξεως - πλύσεως. Προστίθεται με δοσομετρητή 4,8ml αλατόνερο στα τοιχώματα του θαλάμου κρατώντας τον θάλαμο σε κεκλιμένη θέση. Τοποθετούνται τα κόσκινα στον θάλαμο αναμίξεως-πλύσεως και αρχίζει η λειτουργία του. Ο σχηματισμός του ζυμαριού διαρκεί 20 sec. Όταν η δοκιμή γίνεται με δείγματα αλεύρου η διαδικασία της πλύσης είναι προγραμματισμένη να διαρκεί 5 min.

Όταν γίνεται με δείγματα ολικής αλέσεως η διαδικασία τροποποιείται: πιέζοντας το πλήκτρο WashButton, ο σχηματισμός του ζυμαριού διαρκεί το ίδιο, όμως η διαδικασία πλύσης διακόπτεται στα 2 min και εξάγεται ο θάλαμος ανάμιξης-πλύσης με το λεπτό κόσκινο από τον αναμικτήρα της συσκευής, συνδέεται με ειδικό πλαστικό δακτύλιο με το θάλαμο ανάμιξης-πλύσης με το χονδρό κόσκινο, αναστρέφεται και γίνεται μεταφορά του περιεχομένου του πρώτου θαλάμου στο δεύτερο με τη βοήθεια του τρεχούμενου νερού. Ο θάλαμος με το χονδρό κόσκινο τοποθετείται στον αναμικτήρα της συσκευής η



οποία ενεργοποιείται πιέζοντας το πλήκτρο Wash Button και η πλύση της γλουτένης συνεχίζεται επί 3 min. Κατά την διάρκεια αυτής της δεύτερης φάσης η γλουτένη, εκτός από το άμυλο, απαλλάσσεται πλήρως και από τα τεμαχίδια πιτύρου που περνούν από τις οπές του χονδρού κόσκινου.

Μετά τη λήξη της πλύσης, ο θάλαμος απομακρύνεται από την συσκευή και γίνεται προσεκτική εξαγωγή της γλουτένης χωρίς τέντωμα ή σχίσιμο και καθαρίζονται τυχόν ίχνη γλουτένης από το άγκιστρο ανάμιξης και την επιφάνεια του κόσκινου, τα οποία προστίθενται στο σφαιρίδιο της γλουτένης. Τα σφαιρίδια των δύο δειγμάτων της γλουτένης τοποθετούνται με απαλή πίεση στις κασέτες κόσκινων και αρχίζει η φυγοκέντριση. Η διάρκεια της φυγοκέντρισης είναι 60 sec. Μετά την φυγοκέντριση, εξάγονται οι κασέτες και ελέγχεται προσεκτικά ο θάλαμος της φυγόκεντρος για τυχόν υπολείμματα γλουτένης. Με την ειδική ατσάλινη σπάτουλα ξύνεται το κάτω μέρος του κόσκινου κάθε κασέτας προσεκτικά, ώστε να παραληφθεί το σύνολο της γλουτένης που έχει περάσει κάτω από το κόσκινο. Το κλάσμα αυτό της γλουτένης ζυγίζεται σε προζυγισμένη χάρτινη επιφάνεια με ακρίβεια δεύτερου δεκαδικού ψηφίου και καταγράφεται η τιμή του βάρους του. Στην συνέχεια παραλαμβάνεται από την επάνω επιφάνεια του κόσκινου το κλάσμα της γλουτένης που δεν έχει περάσει από το κόσκινο, προσεκτικά χρησιμοποιώντας μία ειδική λαβίδα. Το κλάσμα αυτό τοποθετείται στο χαρτάκι ζυγίσεως με το προηγούμενο κλάσμα και καταγράφεται το βάρος της συνολικής υγρής γλουτένης που περιέχεται στο δείγμα, με ακρίβεια δεύτερου δεκαδικού αριθμού. Αφαιρώντας το βάρος του κλάσματος που πέρασε από το κόσκινο από το βάρος της συνολικής υγρής γλουτένης, βρίσκουμε το βάρος της υγρής γλουτένης που δεν περνά από το κόσκινο (Εικόνα 2.18). Το ποσοστό της υγρής γλουτένης που μένει στο κόσκινο ορίζεται ως Δείκτης Γλουτένης (GlutenIndex) και υπολογίζεται από τον τύπο:

Δείκτης γλουτένης = Γλουτένη που παραμένει στο κόσκινο (g) \* 100 / Συνολική γλουτένη (g)

Ο μέσος όρος των μετρήσεων του δείκτη γλουτένης πρέπει να στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο π.χ. 80. Η περιεκτικότητα σε υγρή γλουτένη εκφράζεται ως ποσοστό της μάζας του αρχικού δείγματος αλεύρου και υπολογίζεται από τον τύπο:

Περιεκτικότητα σε υγρή γλουτένη = Συνολική γλουτένη (g) \* 100 / 10 (g)

Τα αποτελέσματα είναι καλό να αναφέρονται για μια σπάνταρ τιμή υγρασίας αλεύρου π.χ. 14%. Οι διορθώσεις γίνονται βάση του τύπου:

Περιεκτικότητα σε υγρή γλουτένη (14%)=Περιεκτικότητα σε υγρή γλουτένη\*(100-14)/(100-υγρασία δείγματος)

Ο μέσος όρος των μετρήσεων πρέπει να στρογγυλοποιείται στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο π.χ. 30,5.



**Εικόνα 2.18** Συσκευή μέτρησης υγρής γλουτένης και ποσοστού επί της % γλουτένης

#### **2.1.20 Βάρος χιλίων κόκκων**

Στη συσκευή μέτρησης κόκκων μάρκας Numigral Seed Counter επιλέγεται χαμηλή ταχύτητα ώστε η μέτρηση των χιλίων κόκκων να γίνει προσεχτικά, να μην περιέχονται κόκκοι προσβεβλημένοι από έντομα, σπασμένοι, ξένοι κόκκοι κλπ. Οι κόκκοι ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας και η μέτρηση επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές. Υπολογίζεται ο μέσος όρος των τριών μετρήσεων (Εικόνα 2.19).



**Εικόνα 2.19** Συσκευή μέτρησης κόκκων σιταριού

### **2.1.21** Εκατολιτρικό Βάρος

Το εκατολιτρικό βάρος υπολογίζεται από ειδική συσκευή, η οποία φέρει μεταλλικό κύλινδρο και αποτελείται από δύο τμήματα που συνδέονται μεταξύ τους (Εικόνα 2.20).



**Εικόνα 2.20** Συσκευή μέτρησης εκατολιτρικού βάρους

Στην περιοχή της σύνδεσης τους υπάρχει εγκοπή, στην οποία εισέρχεται ειδική λεπίδα της συσκευής, πάνω από το οποίο τοποθετείται ένα κυλινδρικό βαρίδιο που εφάπτεται στην εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου. Από το άνω τμήμα του κυλίνδρου

εισάγεται το σιτάρι μέχρι την κορυφή του κυλίνδρου. Στη συνέχεια η λεπίδα της συσκευής πέφτει στο κάτω μέρος του κυλίνδρου με σταθερή ταχύτητα και αυτό οφείλεται στο βάρος του κυλινδρικού βαριδίου, και ο κύλινδρος αναστρέφεται για να αδειάσει το περιεχόμενο του επάνω μέρους του κυλίνδρου. Έπειτα το άνω μέρος αποσπάται και το κάτω τμήμα ζυγίζεται στην ειδική ζυγαριά της συσκευής με σταθμά. Η τιμή του βάρους που προκύπτει αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη τιμή εκατολιτρικού βάρους που δίδεται από ειδικό πίνακα της συσκευής για το σιτάρι.

### **2.1.22 Ανάλυση της θρεπτικής κατάστασης των φυτών**

Μετά το τέλος του πειράματος πραγματοποιήθηκε ανάλυση της θρεπτικής κατάστασης των φυτών για κάθε πειραματικό τεμάχιο χωριστά. Κάθε φυτό ζυγίστηκε, πλύθηκε πολύ καλά αρχικά με νερό βρύσης και στη συνέχεια με απιονισμένο νερό και ξηράνθηκε στους 68°C για 24h. Στη συνέχεια καταγράφηκε το ξηρό του βάρος. Τα δείγματα μετά την ξήρανσή τους ζυγίστηκαν, στη συνέχεια αλέσθηκαν σε μύλο άλεσης και το φυτικό υλικό συλλέχθηκε σε σακουλάκια με τη μορφή λεπτής σκόνης.

Ακολούθησε η καύση των δειγμάτων στους 520°C για 8 ώρες και η διαλυτοποίηση της τέφρας με 5ml 6N HCl. Στη συνέχεια, στο πυκνό διάλυμα μετρήθηκαν τα στοιχεία Zn (ppm), Mn (ppm) ενώ με αραίωση (x10) μετρήθηκαν K (%), P (%). Όλα τα θρεπτικά στοιχεία μετρήθηκαν στο εκχύλισμα HCl με τη χρήση συστήματος συζευγμένου επαγωγικού πλάσματος ICP-OES (Perkin-Elmer Optima 2100 DV) συγκριτικά με πρότυπα διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης των αντίστοιχων στοιχείων (Εικόνα 2.21). Για τη μέτρηση των παραπάνω στοιχείων ζυγίστηκε 1 gr από ξηρό φυτικό ιστό.



**Εικόνα 2.21 Συσκευή ICP-AES μάρκας Optima 2100DV**

## 2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΛΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου γίνεται με τη χρήση της μεθόδου Kjeldhahl. Ζυγίζονται 0,25 g ξηρής ουσίας που τοποθετείται σε σωλήνα Kjeldhahl υγρής καύσης και προστίθεται 10 ml πυκνού θειικού οξέος. Μετά από προθήκη καταλύτη Kjeldhahl σε μορφή ταμπλέτας που αποτελείται από  $K_2SO_4$  (99,7%) και  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  (0,3%) οι σωλήνες τοποθετούνται για υγρή καύση στους 480°C για 2 ώρες μέχρις αποχρωματισμού των δειγμάτων. Αφού τα δείγματα κρυώσουν οδηγούνται στον αναλυτή Kjeldhahl, όπου πραγματοποιείται η απόσταξη και γίνεται ο προσδιορισμός των αμμωνιακών ιόντων και ακολούθως η μετατροπή των δεδομένων σε ολικό άζωτο %. Τα αντιδραστήρια για τη μέθοδο Kjeldhahl είναι: NaOH 40%,  $H_3BO_3$  και HCl.

## 2.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

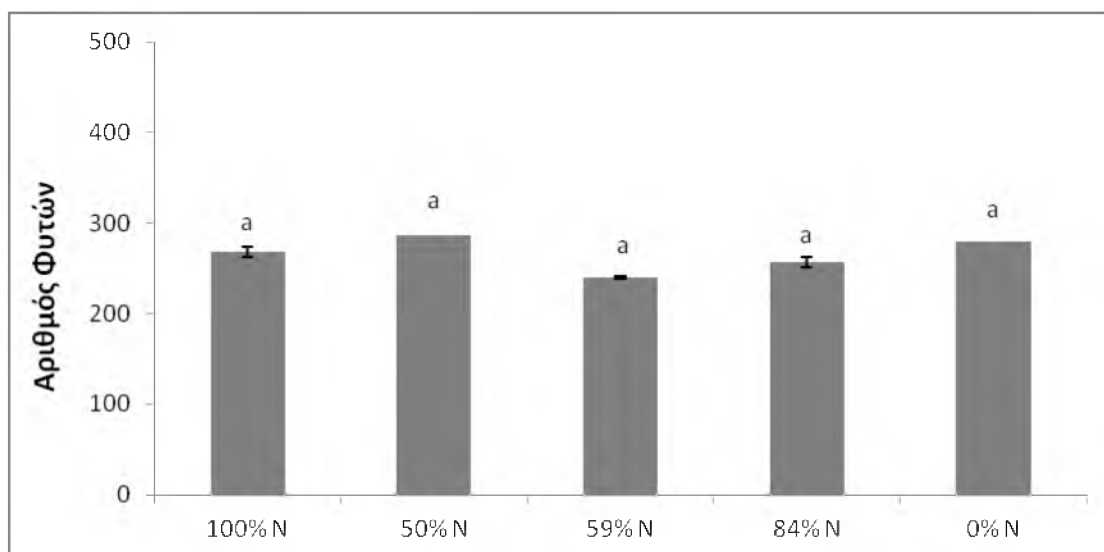
Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων σε πλήρως τυχαιοποιημένο πειραματικό σχέδιο πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πρόγραμμα IBM SPSS Statistics 24 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA) και οι μέσοι όροι τους συγκρίθηκαν με το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (ΕΣΔ) σε επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0,05$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΤΩΝ

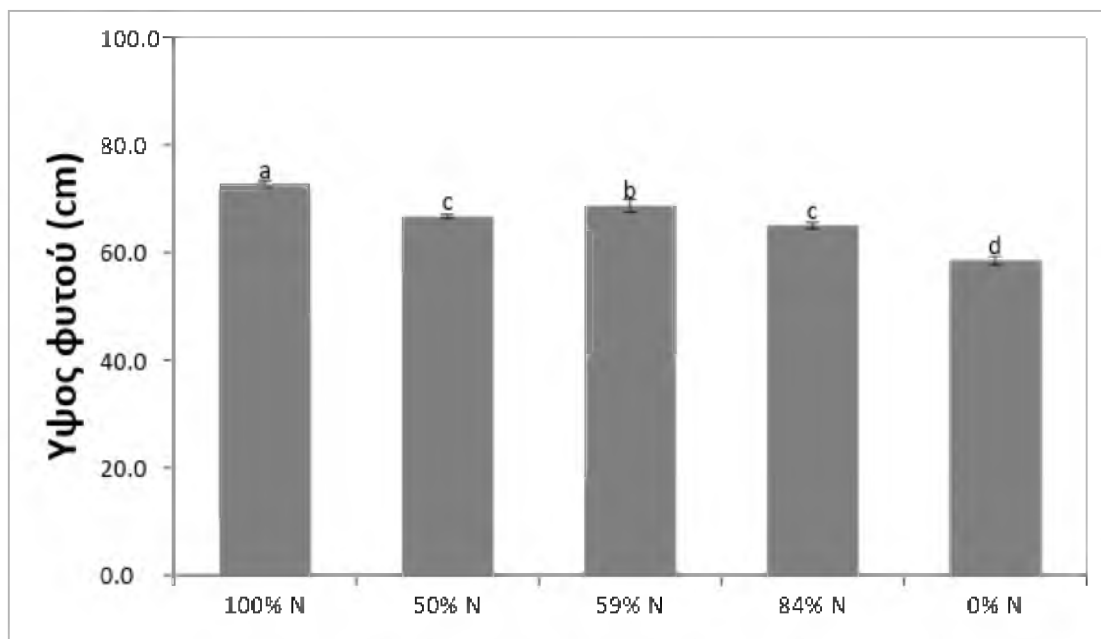
Στον αριθμό των φυτών ανά τετραγωνικό μέτρο σε όλες τις περιπτώσεις δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μετρήσεων (Σχήμα 3.1).



**Σχήμα 3.1 Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο συνολικό αριθμό των φυτών. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο ± τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$**

#### 3.2 ΎΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

Το ύψος των φυτών σιταριού παρουσίασε μεγάλο εύρος διακύμανσης. Στη συμβατική λίπανση καταγράφηκε το μεγαλύτερο ύψος φυτών, το οποίο διέφερε στατιστικά σημαντικά από τα αντίστοιχα των άλλων λιπάνσεων και στη χωρίς λίπανση είχαμε το μικρότερο ύψος (Σχήμα 3.2, Πίνακας 3.1).



**Σχήμα 3.2** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο ύψος των φυτών.

Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

**Πίνακας 3.1** Μέσοι όροι του ύψους των φυτών σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0).

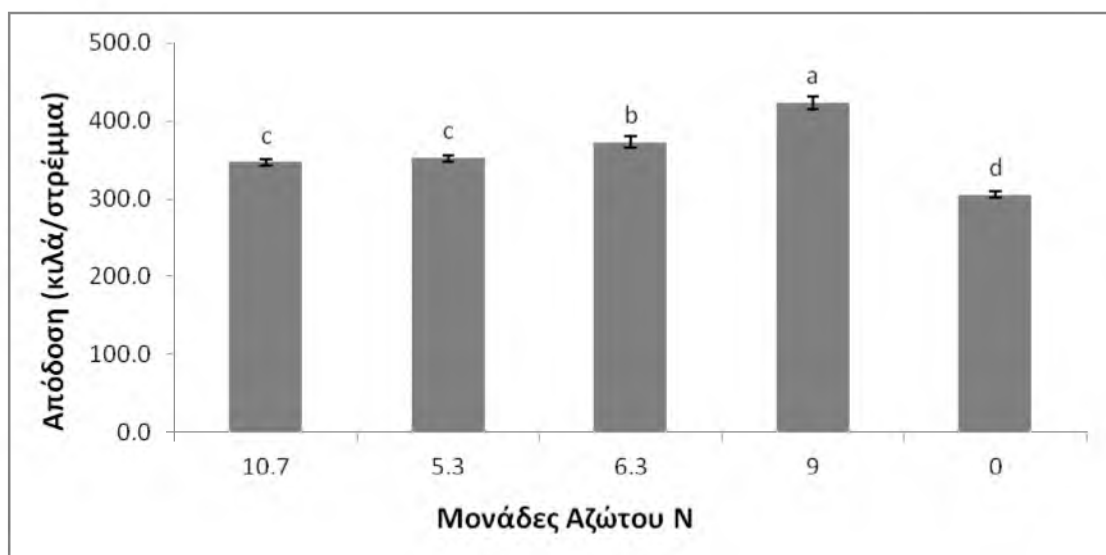
Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων

Μεταχείριση	Ύψος	S.D.
10,7 μονάδες N (100%)	72.67	1.15
5,3 μονάδες N (50%)	66.67	0.58
6,3 μονάδες N (59%)	68.67	2.08
9 μονάδες N (84%)	65.00	1.00
0 μονάδες N (μάρτυρας)	58.47	1.36

### 3.3. ΑΠΟΔΟΣΗ (ΚΙΛΑ/ ΣΤΡΕΜΜΑ)

Στην απόδοση (κιλά ανά στρέμμα) παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όπου η λίπανση με 9 λιπαντικές μονάδες αζώτου CRF έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα, διαφέροντας στατιστικά σημαντικά από τις υπόλοιπες τέσσερις

επεμβάσεις. Ακολουθεί η λίπανση των 6,3 λιπαντικών μονάδων αζώτου CRF η οποία διαφέρει στατιστικά σημαντικά από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις και τέλος η συμβατική λίπανση των 10,7 μονάδων αζώτου μαζί με την μισή δόση 5,3 μονάδες αζώτου CRF οι οποίες ενώ δε διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, διαφέρουν και οι δύο από την επέμβαση με 0 λιπαντικές μονάδες αζώτου (Σχήμα 3.3, Πίνακας 3.2).



**Σχήμα 3.3** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στην απόδοση (κιλιά / στρέμμα). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

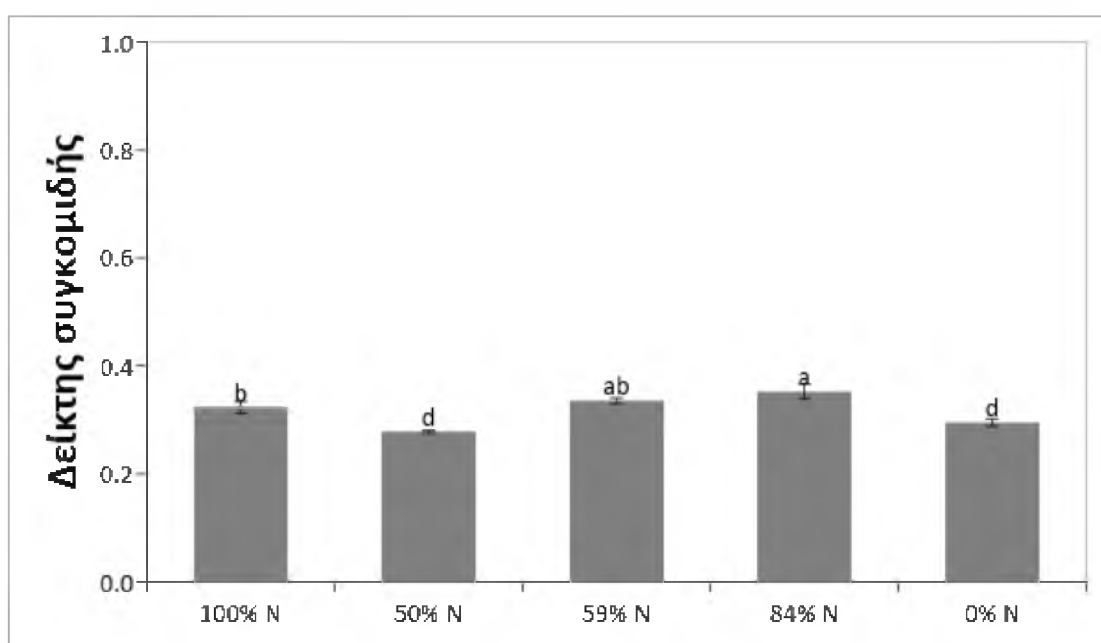
**Πίνακας 3.2** Μέσοι όροι της απόδοσης των σπόρων, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων

Μεταχείριση	M.O Απόδοσης Σπόρου	Std dev Απόδοσης Σπόρου
10,7 μονάδες N (100%)	347,0 c	9,27
5,3 μονάδες N (50%)	352,3 c	8,38
6,3 μονάδες N (59%)	373,1 b	16,21
9 μονάδες N (84%)	423,2 a	14,94
0 μονάδες N (μάρτυρας)	305,3 d	8,17



### 3.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (HARVEST INDEX)

Στον Δείκτη συγκομιδής (Harvest Index) παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όπου η λίπανση με 9 λ.μ. N CRF έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα, διαφέροντας στατιστικά σημαντικά από τις επεμβάσεις 100%, 50% και 0%. Ακολουθεί η λίπανση των 6,3 λ.μ. N CRF (59%) η οποία διαφέρει στατιστικά σημαντικά από τις επεμβάσεις 50% και 0% και τέλος οι επεμβάσεις 50% και 0% οι οποίες ενώ δε διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, διαφέρουν από όλες τις υπόλοιπες επεμβάσεις (Σχήμα 3.4, Πίνακας 3.3).



**Σχήμα 3.4 Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στον Δείκτη Συγκομιδής. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$**

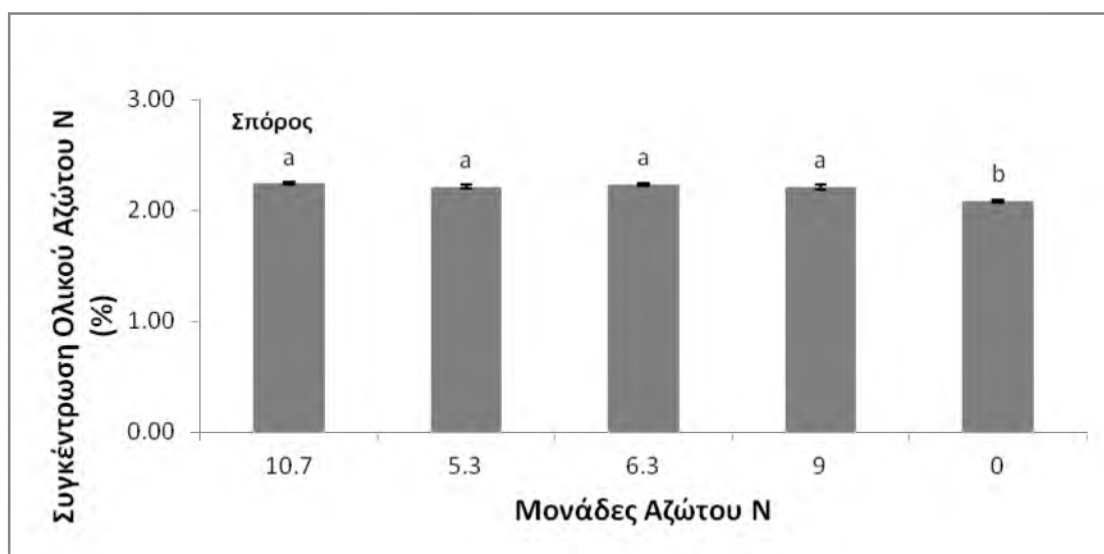
**Πίνακας 3.3 Δείκτης συγκομιδής, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων**

ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΗ	Δείκτης Συγκομιδής	S.D
10,7 μονάδες N (100%)	0.32	0.02
5,3 μονάδες N (50%)	0.28	0.01
6,3 μονάδες N (59%)	0.34	0.01
9 μονάδες N (84%)	0.35	0.03
0 μονάδες N (μάρτυρας)	0.30	0.01

### 3.5 ΑΖΩΤΟ (N)

#### 3.5.1. Περιεκτικότητα N (%) στο σπόρο

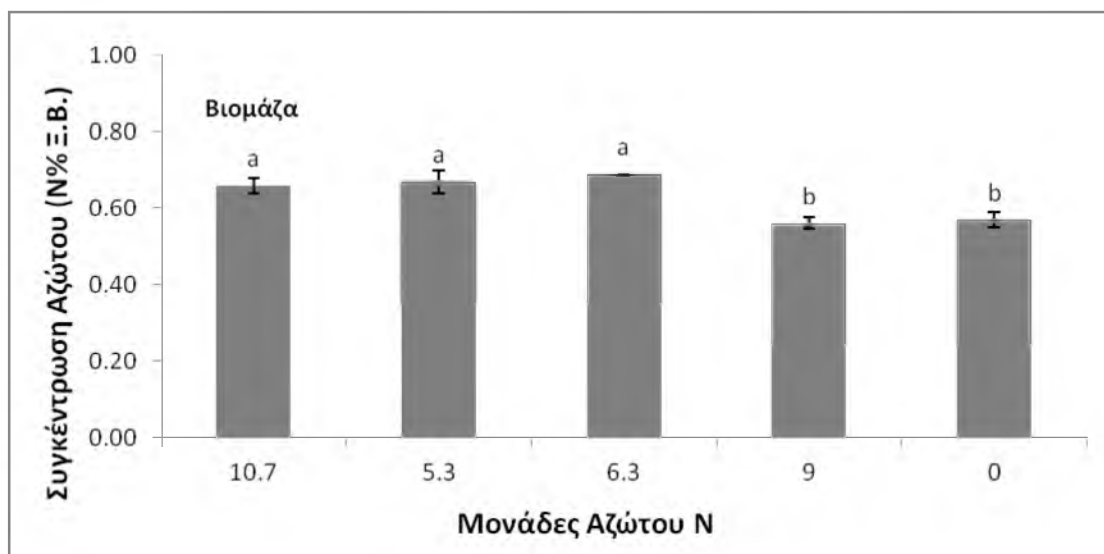
Στην περιεκτικότητα του σπόρου σε άζωτο οι τέσσερις επεμβάσεις λίπανσης ενώ δε διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, διαφέρουν όλες από την επέμβαση χωρίς λίπανση (Σχήμα 3.5).



**Σχήμα 3.5 Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση ολικού N (%) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο ± τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0,05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$**

### 3.5.2. Περιεκτικότητα N (%) βιομάζας

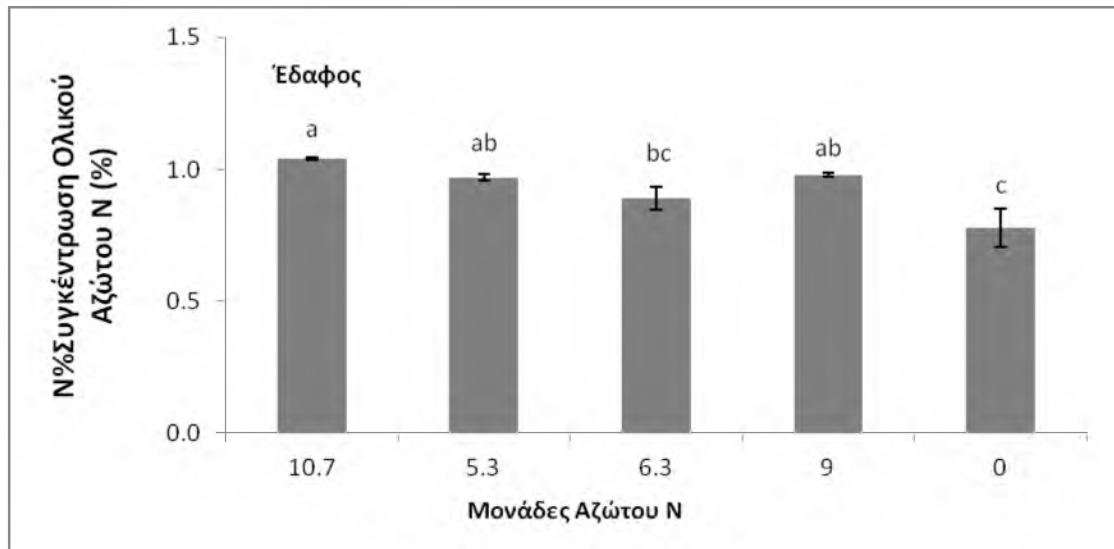
Η περιεκτικότητα του αζώτου (N) στη βιομάζα έδωσε στατιστικά τα ίδια αποτελέσματα στην εφαρμογή της συμβατικής λίπανσης των 10,7 λιπαντικών μονάδων (λ.μ.), στη μισή δόση των 5,3 λ.μ. αζώτου CRF και στην εφαρμογή των 6,3 λ.μ. CRF ενώ η εφαρμογή των 9 λ.μ. CRF και η μηδενική λίπανση, ενώ δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, διέφεραν από τις υπόλοιπες (σχήμα 3.6).



**Σχήμα 3.6 Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση ολικού N (%) στη βιομάζα. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο ± τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$**

### 3.5.3. Περιεκτικότητα N (%) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή

Στην περιεκτικότητα του αζώτου στο έδαφος μετά τη συγκομιδή δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των επεμβάσεων 10,7 λ.μ. N, στη μισή δόση των 5,3 λ.μ. N CRF και των 9 λ.μ. N CRF. Η επέμβαση των 6,3 λ.μ. N CRF διαφέρει στατιστικά σημαντικά μόνο από τη συμβατική λίπανση των 10,7 λ.μ. N και η μηδενική λίπανση διαφέρει στατιστικά σημαντικά από τις επεμβάσεις των 10,7 λ.μ. N, τη μισή δόση των 5,3 λ.μ. N CRF και των 9 λ.μ. N CRF (Σχήμα 3.7).

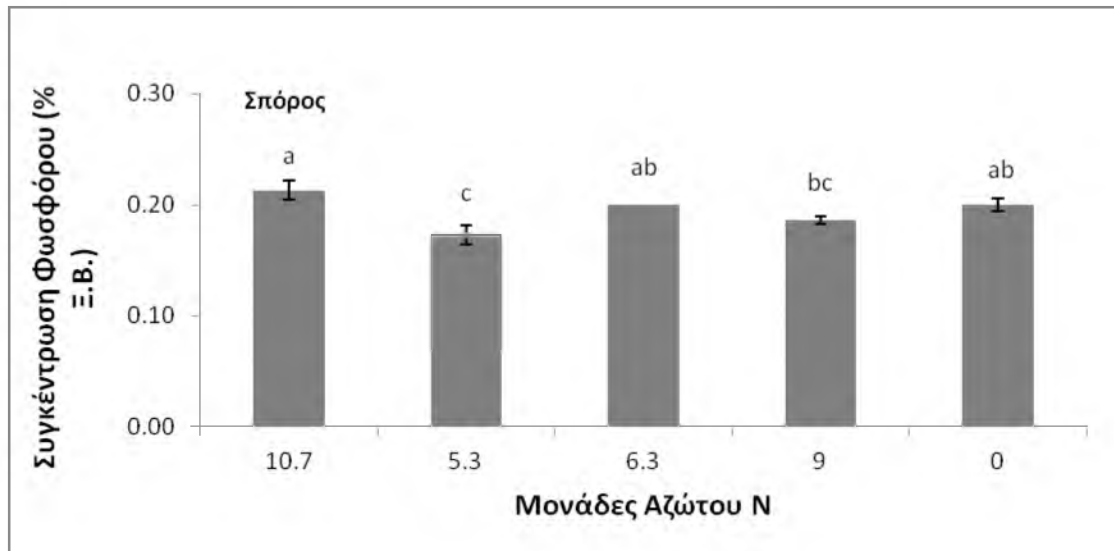


**Σχήμα 3.7** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση ολικού N (%) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

### 3.6 ΦΩΣΦΟΡΟΣ (P)

#### 3.6.1 Περιεκτικότητα P (%) στο σπόρο

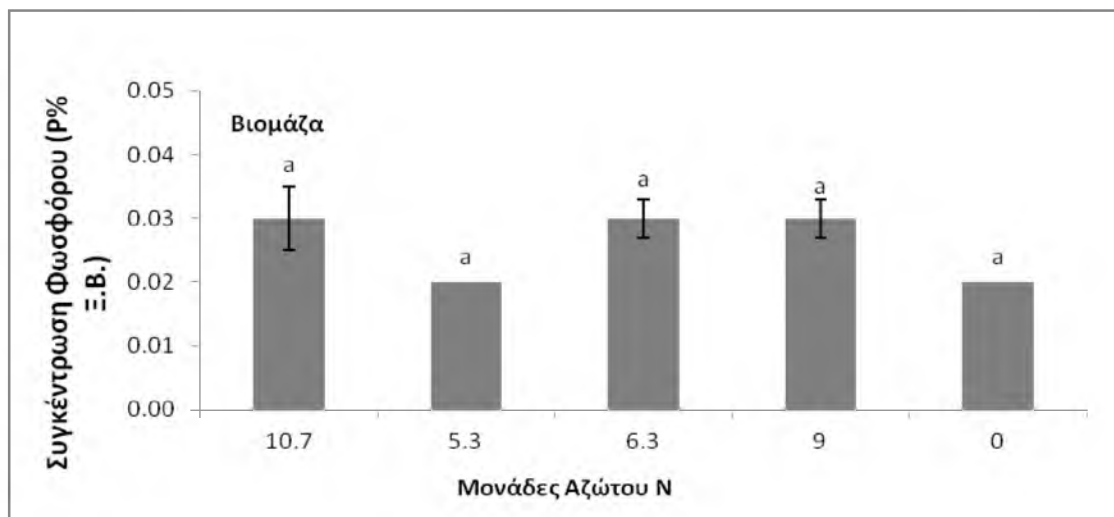
Καταγράφηκε μικρό εύρος διακύμανσης στη συγκέντρωση φωσφόρου στο σπόρο. Ωστόσο, η μεγαλύτερη τιμή παρουσιάστηκε μετά τη συμβατική λίπανση, η οποία όμως δε διέφερε στατιστικά σημαντικά από αυτές των 6,3 N CRF και 0 λ.μ. N, αντίστοιχα. Οι λιπάνσεις των 6,3 N CRF και 0 λ.μ. N, ενώ δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά από αυτή των 9 λ.μ. N CRF, διέφεραν σημαντικά από τη λίπανση των 5,3 λ.μ. N CRF. Τέλος, οι επεμβάσεις των 9 λ.μ. N CRF και 5,3 λ.μ. N CRF δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά στη συγκέντρωση φωσφόρου στο σπόρο (Σχήμα 3.8).



**Σχήμα 3.8** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση P (%) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

### 3.6.2. Περιεκτικότητα P (%) στη βιομάζα

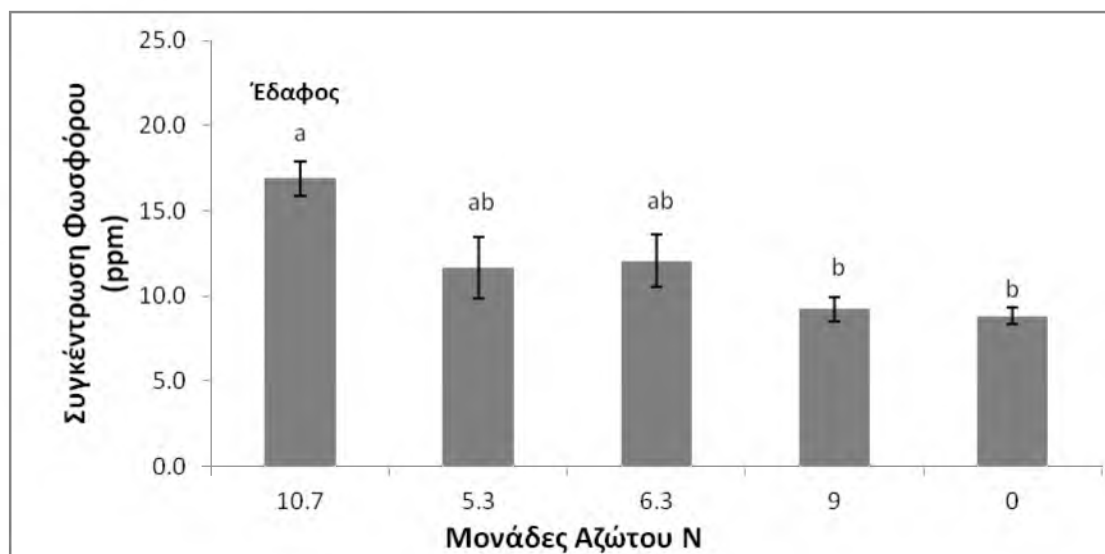
Η περιεκτικότητα του φωσφόρου στη βιομάζα δε παρουσίασε καμία στατιστική διαφορά σε όλες της μεταχειρίσεις του αζώτου (Σχήμα 3.9)



**Σχήμα 3.9** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση P (%) στη βιομάζα. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,0$

### 3.6.3 Περιεκτικότητα P (%) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή

Η περιεκτικότητα του φωσφόρου στο έδαφος μετά την συγκομιδή έδωσε μικρό εύρος διακύμανσης στις επεμβάσεις της συμβατικής λίπανσης των 10,7 λ.μ. καθώς επίσης στη μισή δόση των 5,3 λ.μ αζώτου CRF και των 6,3 λιπαντικών μονάδων αζώτου CRF, ενώ στατιστική σημαντική διαφορά έδωσε οι επεμβάσεις των 9 λιπαντικών μονάδων αζώτου CRF και η χωρίς λίπανση (Σχήμα 3.10).

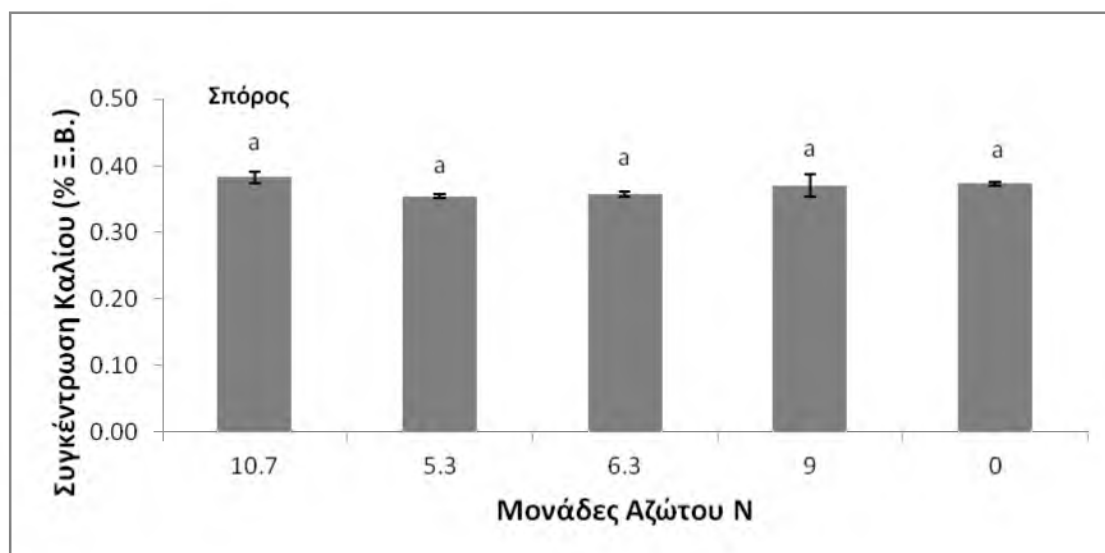


**Σχήμα 3.10** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση P (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

### 3.7. ΚΑΛΙΟ (K)

#### 3.7.1 Περιεκτικότητα K (%) στο σπόρο

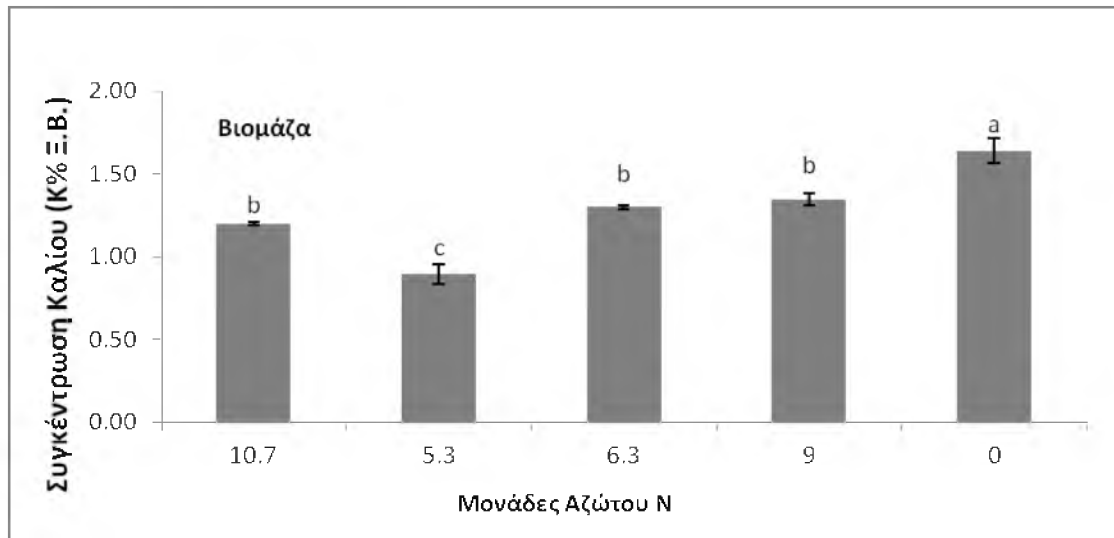
Η περιεκτικότητα του καλίου στο σπόρο σε όλες τις επεμβάσεις και σ' αυτή χωρίς λίπανση δεν έδωσε καμία στατιστική διαφορά (Σχήμα 3.11).



**Σχήμα 3.11** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση K (%) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

#### 3.7.2. Περιεκτικότητα K (%) στη βιομάζα

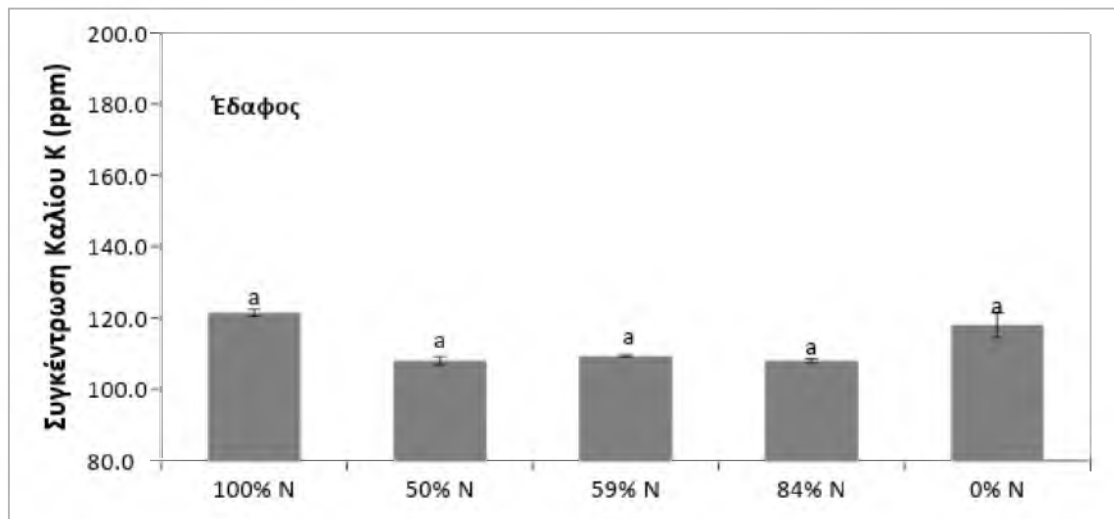
Η περιεκτικότητα του καλίου στη βιομάζα έδωσε στατιστικές διαφορές όπου οι επεμβάσεις της συμβατικής λίπανσης των 10,7 λ.μ. αζώτου και των επεμβάσεων 6,3 λ.μ. αζώτου CRF και 9 λ.μ. CRF να μην διαφέρουν μεταξύ τους, ενώ στατιστική σημαντική διαφορά με την επέμβαση των 5,3 λ.μ. αζώτου CRF ενώ την μεγαλύτερη συγκέντρωση να εμφανίζεται στη χωρίς λίπανση αζώτου (Σχήμα 3.12).



**Σχήμα 3.12** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Κ (%) στη βιομάζα. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

### 3.7.3 Περιεκτικότητα Κ (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή

Η περιεκτικότητα του καλίου στο έδαφος μετά τη συγκομιδή δεν παρουσίασε καμία διαφοροποίηση σε όλες τις μεταχειρίσεις λίπανσης (Σχήμα 3.13).



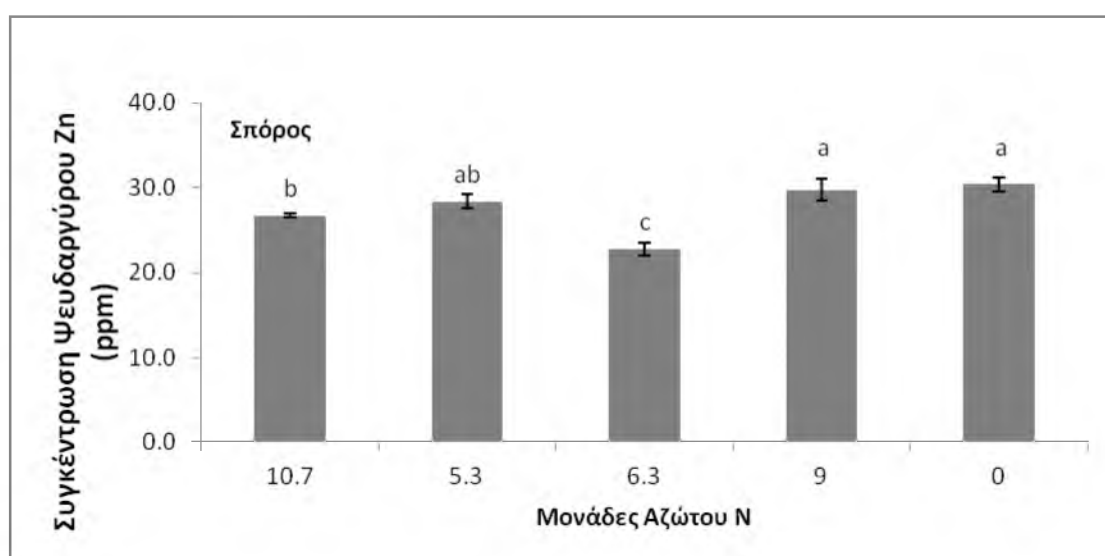
**Σχήμα 3.13** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Κ (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0,05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$ .



### 3.8 ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ (Zn)

#### 3.8.1 Περιεκτικότητα Zn (ppm) στο σπόρο

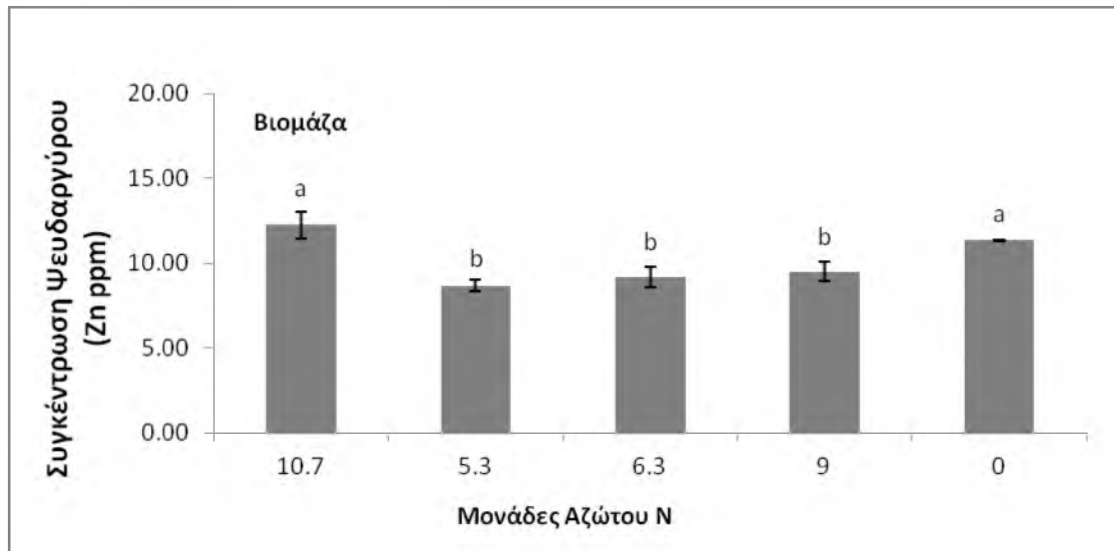
Η περιεκτικότητα του ψευδαργύρου στο σπόρο έδωσε μικρή διακύμανση ανάμεσα στις επεμβάσεις λίπανσης 5,3 αζώτου CRF και στις επεμβάσεις των 9 λ.μ. αζώτου CRF καθώς επίσης την χωρίς λίπανση. Στατιστική σημαντική διακύμανση έδωσε στις επεμβάσεις συμβατικής λίπανσης των 10,7 λ.μ. αζώτου και των 6,3 λ.μ. αζώτου CRF (Σχήμα 3.14).



**Σχήμα 3.14** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Zn (ppm) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

#### 3.8.2. Περιεκτικότητα Zn (ppm) στη βιομάζα

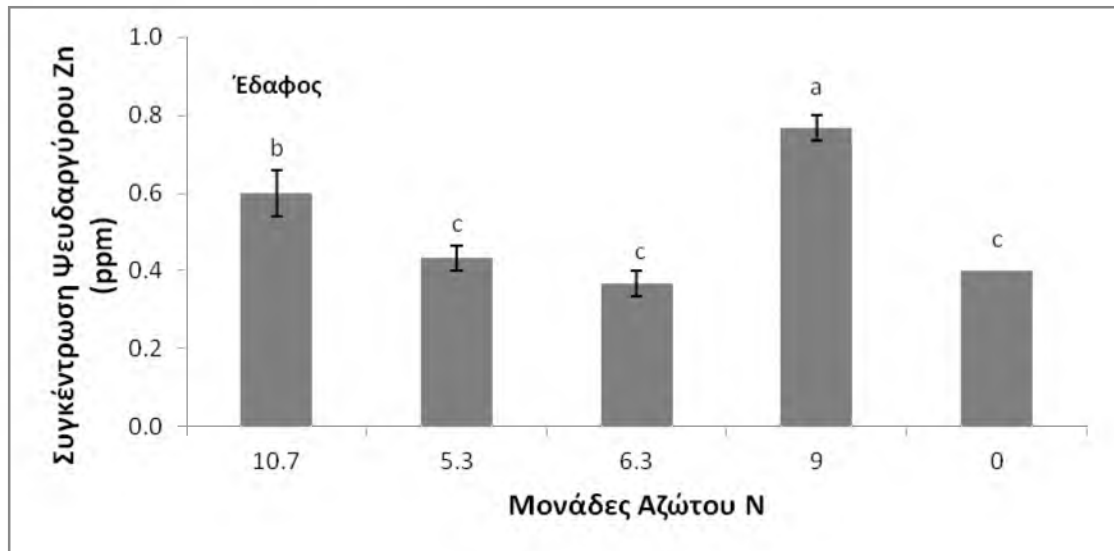
Η περιεκτικότητα του ψευδαργύρου στη βιομάζα δεν παρουσιάζει στατιστική διαφορά μεταξύ της συμβατικής λίπανσης των 10,7 λ.μ. και την χωρίς λίπανση, ενώ σημαντική στατιστική διαφορά από τις προηγούμενες έχουν οι επεμβάσεις των 5,3 λ.μ., 6,3 λ.μ. και 9 λ.μ. αζώτου CRF που δεν διαφέρουν μεταξύ τους (Σχήμα 3.15).



**Σχήμα 3.15** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Zn (ppm) στη βιομάζα. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

### 3.8.3 Περιεκτικότητα Zn (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή

Η περιεκτικότητα του ψευδαργύρου στο έδαφος παρουσιάζει μεγάλο εύρος διακύμανσης, όπου στη επέμβαση των 9 λ.μ. αζώτου CRF έχουμε την μεγαλύτερη συγκέντρωση Zn, ακολουθεί η συμβατική λίπανση των 10,7 λ.μ. αζώτου και τέλος μικρότερη συγκέντρωση Zn έχουμε στις επεμβάσεις των 5,3 και 6,3 λ.μ. αζώτου CRF και η χωρίς λίπανση (Σχήμα 3.16).

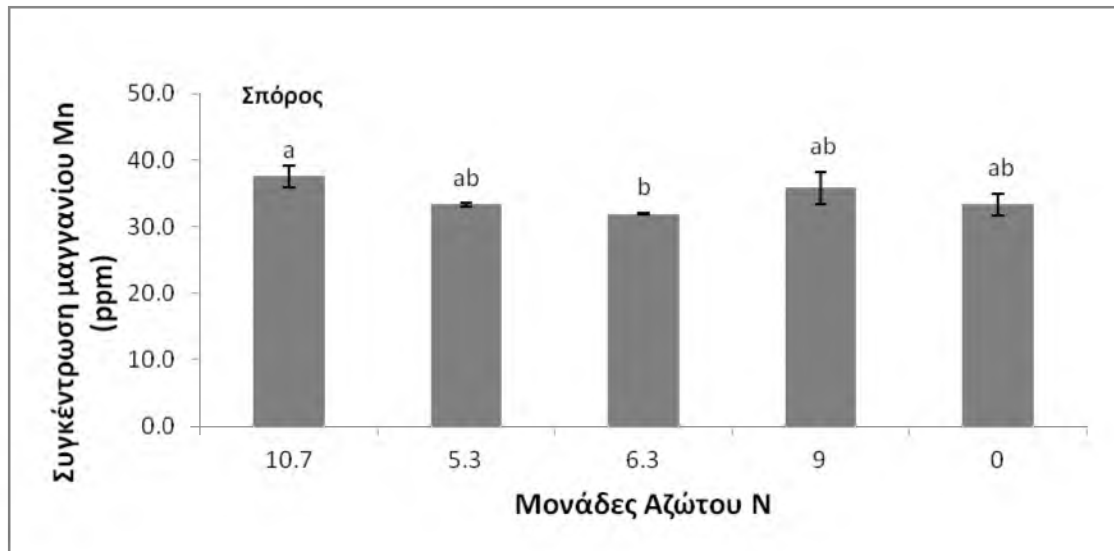


**Σχήμα 3.16** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Zn (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

### 3.9 ΜΑΓΓΑΝΙΟ (Mn)

#### 3.9.1 Περιεκτικότητα Mn (ppm) στο σπόρο

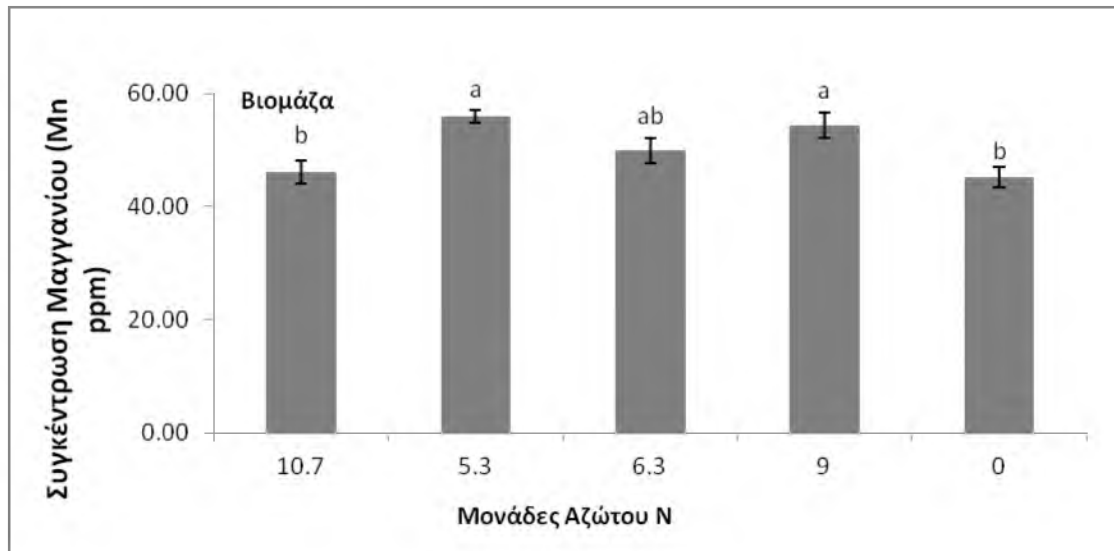
Η περιεκτικότητα του Mn στο σπόρο δεν παρουσιάζει διαφοροποίηση μεταξύ της συμβατικής λίπανσης των 10,7 λ.μ. αζώτου, των 5,3 λ.μ. αζώτου CRF, των 9 λιπαντικών μονάδων αζώτου CRF και η χωρίς λίπανση, ενώ σημαντική διαφοροποίηση από τις προηγούμενες παρουσιάζεται στις επεμβάσεις της συμβατικής λίπανσης και των 6,3 λ.μ. αζώτου CRF (Σχήμα 3.17).



**Σχήμα 3.17** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Mn (ppm) στο σπόρο. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

### 3.9.2. Περιεκτικότητα Mn (ppm) στη βιομάζα

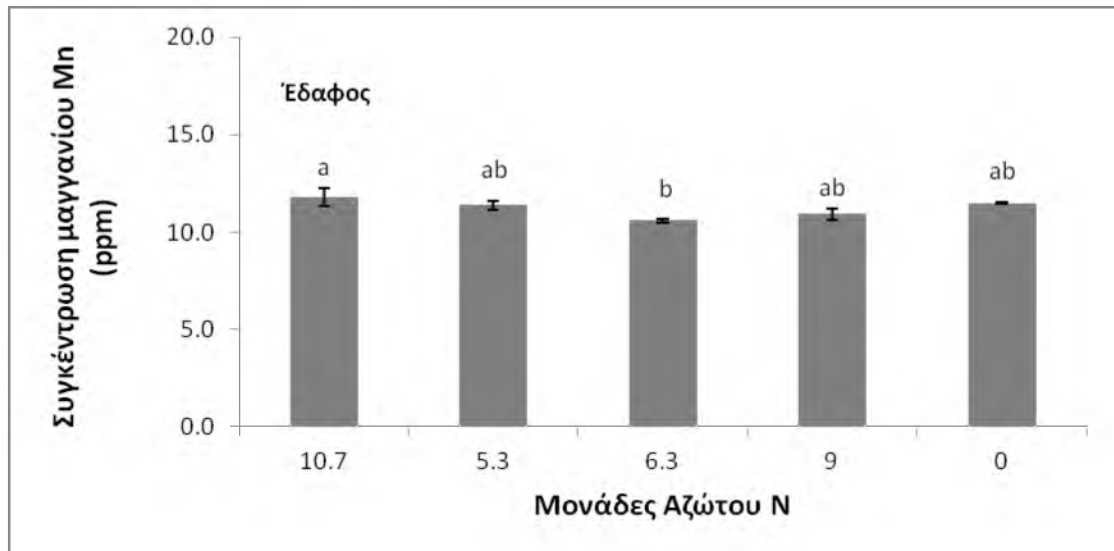
Η περιεκτικότητα Mn στη βιομάζα δεν παρουσιάζει διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις 5,3 λ.μ. CRF, 6,3 λ.μ. αζώτου CRF και 9 λ.μ. αζώτου CRF, ενώ σημαντική στατιστική διαφορά παρουσιάζουν οι παραπάνω επεμβάσεις με τις επεμβάσεις της συμβατικής λίπανσης των 10,7 λ.μ. αζώτου και η χωρίς λίπανση (Σχήμα 3.18).



**Σχήμα 3.18** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Mn (ppm) στη βιομάζα. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,05$

### 3.9.3 Περιεκτικότητα Mn (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή

Η περιεκτικότητα Mn στο έδαφος μετά τη συγκομιδή δεν παρουσιάζει διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις 10,7 λ.μ. N, 5,3 λ.μ. N CRF, 9 λ.μ. N CRF και 0 λ.μ. N, ενώ η 6,3 λ.μ. N CRF διέφερε στατιστικά σημαντικά μόνο από τη συμβατική λίπανση των 10,7 λ.μ. N (Σχήμα 3.19).



**Σχήμα 3.19 Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη συγκέντρωση Mn (ppm) στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0,05$  σε όλα τα σχήματα. Μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, για  $P < 0,0$**

Στους Πίνακες 3.4, 3.5 και 3.6 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις (standard deviation) της συγκέντρωσης τιμών N, P, K, Zn και Mn στους σπόρους, στη βιομάζα και στο έδαφος μετά τη συγκομιδή σε μεταχειρίσεις λίπανσης των διαφορετικών επιπέδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0 λ.μ. N)

**Πίνακας 3.4 Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών N, P, K, Zn και Mn στους σπόρους, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan $P\leq 0,05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες**

Μεταχείριση	N(%Ξ. B)	Std. dev. N	P(%Ξ. B)	Std. dev. P	K (%Ξ. B)	Std. dev. K	Zn (ppm)	Std. dev. Zn	Mn (ppm)	Std. dev. Mn
10.7 μονάδες N (100%)	2.24a	0.01	0.21a	0.02	0.38a	0.02	26.7b	0.49	37.5a	2.72
5.3 μονάδες N (50%)	2.21a	0.02	0.17c	0.02	0.35a	0.01	28.4ab	1.38	33.3ab	0.47
6.3 μονάδες N (59%)	2.23a	0.01	0.20ab	0.00	0.36a	0.01	22.8c	1.36	31.9b	0.14
9 μονάδες N (84%)	2.21a	0.02	0.19bc	0.01	0.37a	0.03	29.7a	2.11	35.8ab	4.10
0 μονάδες N (μάρτυρας)	2.08b	0.01	0.20ab	0.01	0.37a	0.01	30.4a	1.44	33.3ab	2.76

**Πίνακας 3.5 Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών N, P, K, Zn και Mn στη βιομάζα, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan $P\leq 0,05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες**

Μεταχείριση	N (%Ξ. B)	Std. dev. N	P (%Ξ. B)	Std. dev. P	K (%Ξ. B)	Std. dev. K	Zn (ppm)	Std. dev. Zn	Mn (ppm)	Std. dev. Mn
10.7 μονάδες N (100%)	0.66a	0.04	0.03a	0.01	1.20b	0.18	12.34a	1.37	46.03b	3.55
5.3 μονάδες N (50%)	0.67a	0.05	0.02a	0.00	0.90c	0.01	8.68b	0.58	56.10a	1.95
6.3 μονάδες N (59%)	0.69a	0.06	0.03a	0.01	1.30b	0.01	9.19b	1.02	49.93ab	3.88
9 μονάδες N (84%)	0.56b	0.03	0.03a	0.01	1.35b	0.07	9.51b	1.00	54.37a	3.83
0 μονάδες N (μάρτυρας)	0.57b	0.04	0.02a	0.00	1.64a	0.13	11.34a	0.02	45.10b	3.17

**Πίνακας 3.6 Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών N, P, K, Zn και Mn στο έδαφος μετά τη συγκομιδή, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ .**

**Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες**

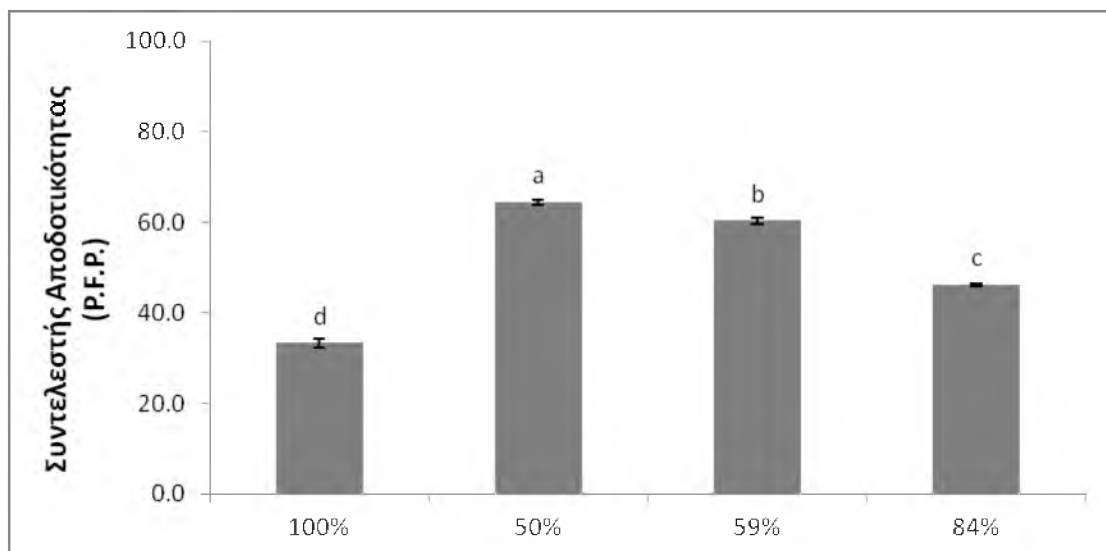
Μεταχείριση	N	Std.	P	Std.	K	Std.	Zn	Std.	Mn	Std.
	(%Ξ.Β)	dev.	(ppm)	dev.	(ppm)	dev.	(ppm)	dev.	(ppm)	dev.
	N		P		K		Zn		Mn	
10.7 μονάδες N (100%)	1.04a	0.06	16.9a	3.10	121.5a	9.5	0.60b	0.10	11.8a	0.8
5.3 μονάδες N (50%)	0.97ab	0.02	11.7ab	3.20	108.0a	2.0	0.43c	0.06	11.4ab	0.4
6.3 μονάδες N (59%)	0.89bc	0.08	12.1ab	2.70	109.3a	0.6	0.36c	0.06	10.6b	0.2
9 μονάδες N (84%)	0.98ab	0.01	9.2b	1.30	108.0a	1.0	0.76a	0.06	10.9ab	0.5
0 μονάδες N (μάρτυρας)	0.78c	0.13	8.8b	0.85	118.0a	6.0	0.40c	0.00	11.5ab	0.1

### 3.10 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΖΩΤΟΥ (NITROGEN USE EFFICIENCY)

#### Partial Factor Productivity (Απόδοση/ Μονάδες Αζώτου)

Ο συντελεστής αποτελεσματικότητας (P.F.P.) παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάλογα με τις μονάδες αζώτου που χρησιμοποιούνται. Συγκεκριμένα στην επέμβαση συμβατικής λίπανσης με 100% αζώτου παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντικά χαμηλότερη τιμή του συντελεστή αποτελεσματικότητας, ενώ στην επέμβαση με 50% λιγότερο N καταγράφηκε η υψηλότερη τιμή (Σχήμα 3.20, Πίνακας 3.7).





**Σχήμα 3.20** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο συντελεστή αποτελεσματικότητας (P.F.P.). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα

**Πίνακας 3.7** Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών αποτελεσματικότητας του αζώτου σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3,6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες

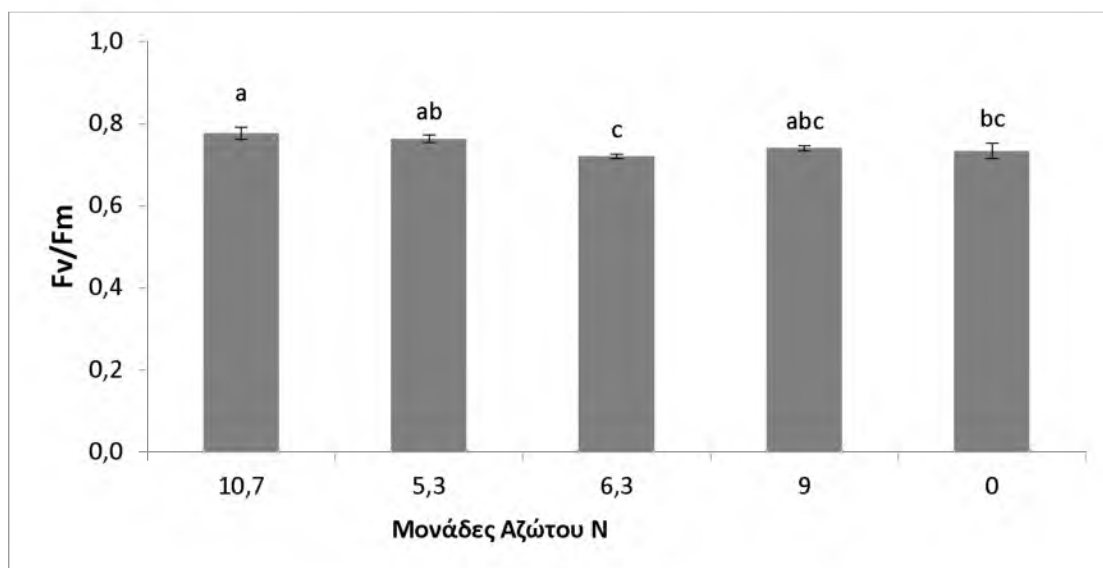
Μεταχείριση	M.O. P.F.P	Stddev P.F.P
10.7 μονάδες N (100%)	33,29d	1,78
5.3 μονάδες N (50%)	64,43a	1,14
6.3 μονάδες N (59%)	60,41b	1,18
9 μονάδες N (84%)	46,21c	0,46

### 3.11 Φθορισμός

#### 3.11.1 Μέτρηση φθορισμού (Fv/Fm) 23-3-2017

Παρατηρήθηκε στατιστική διαφορά φωτοσυνθετικής ικανότητας στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκε στις 23-3-2017 με μεγαλύτερη στη συμβατική λίπανση που δεν

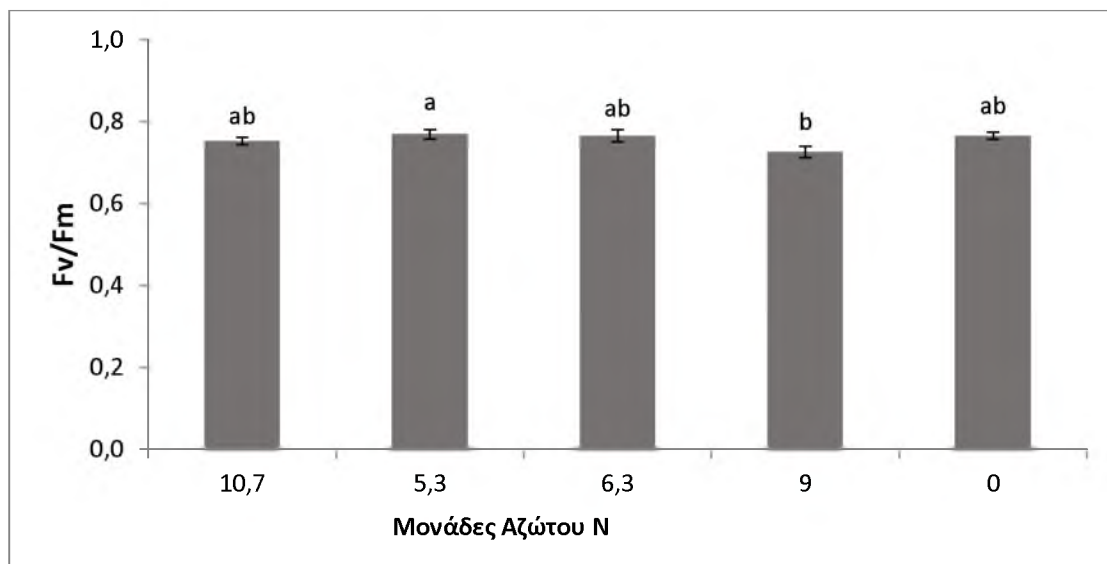
διαφέρει στατιστικά από τις άλλες επεμβάσεις των 5,3 λ.μ. CRF, των 9 λ.μ. CRF, ενώ διαφέρει στατιστικά από την λίπανση των 6.3 λ.μ. CRF. (Σχήμα 3.21, Πίνακας 9).



**Σχήμα 3.21 Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη μέτρηση φθορισμού (1η μέτρηση). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα**

### 3.11.2. Μέτρηση φθορισμού (Fv/Fm) 24-4-2017

Στη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στις 24-4-2017 παρατηρήθηκε καλύτερη φωτοσυνθετική ικανότητα στις λιπάνσεις των 10,7 λ.μ. της συμβατικής λίπανσης, των 5,3 λ.μ., των 6,3 λ.μ. των λιπασμάτων CRF και της μηδενικής λίπανσης, ενώ διέφερε στατιστικά με μικρότερη φωτοσυνθετική ικανότητα στη λίπανση των 9 λ.μ. CRF. (Σχήμα 3.22, Πίνακας 3.8).



**Σχήμα 3.22** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη μέτρηση φθορισμού (2η μέτρηση). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα

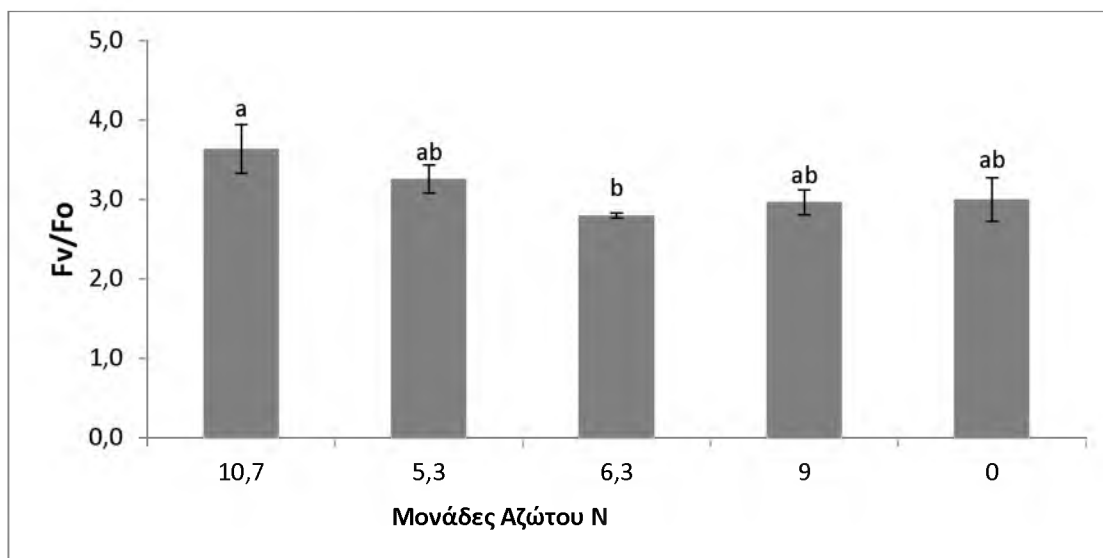
**Πίνακας 3.8** Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών φθορισμού Fv/Fm στις 23-3-2017 και στις 24-4-2017, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ .

Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες

Μεταχείριση	M.O Fv/Fm (23/3/2017)	Std dev Fv/Fm (23/3/2017)	M.O Fv/Fm (24/4/2017)	Std dev Fv/Fm (24/4/2017)
10.7 μονάδες N (100%)	0.776a	0.03	0.753ab	0,02
5.3 μονάδες N (50%)	0.763ab	0.02	0.770a	0,02
6.3 μονάδες N (59%)	0.720c	0.01	0.766ab	0,03
9 μονάδες N (84%)	0.740abc	0.01	0.726b	0,03
0 μονάδες N (μάρτυρας)	0.733bc	0.03	0.766ab	0,02

### 3.11.3 Μέτρηση φθορισμού Fv/Fo 23-3-2017

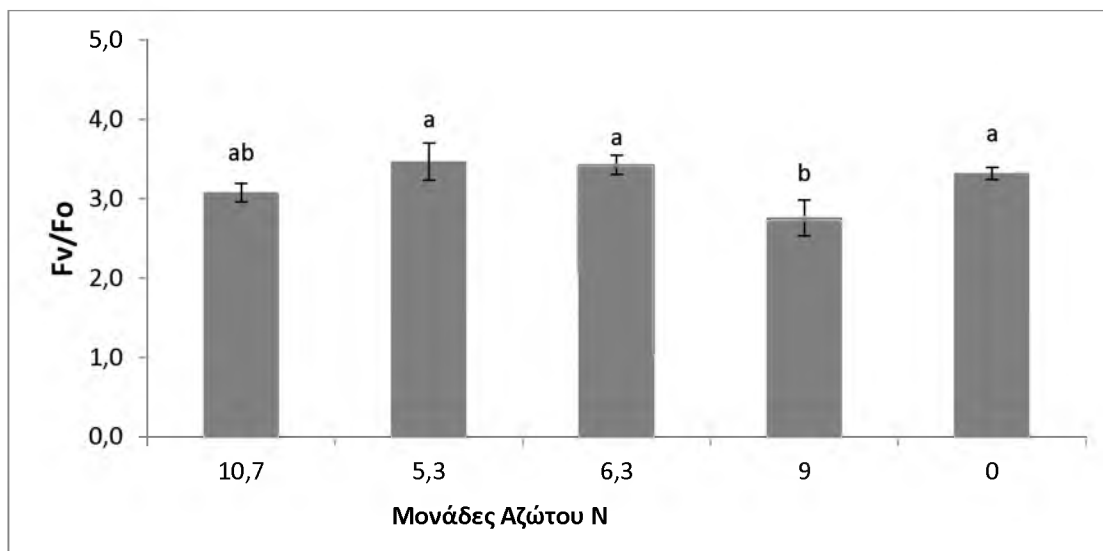
Παρατηρήθηκε στατιστική διαφορά στη μέτρηση φθορισμού στις 23-3-2017 με μεγαλύτερη φωτοσυνθετική ικανότητα στη συμβατική λίπανση των 10,7 λ.μ. αζώτου N, και με μικρότερη φωτοσυνθετική ικανότητα στη λίπανση CRF των 6,3 λ.μ. αζώτου N (Σχήμα 3.23, Πίνακας 9).



**Σχήμα 3.23 Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη μέτρηση φθορισμού (1η μέτρηση). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο ± τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα**

### 3.11.4 Μέτρηση φθορισμού Fv/Fo 24-4-2017

Στη μέτρηση φθορισμού που πραγματοποιήθηκε στις 24-4-2017 δεν παρατηρήθηκε στατιστική διαφορά στη φωτοσυνθετική ικανότητα μεταξύ των επεμβάσεων λίπανσης, όπου είχαν ίδια φωτοσυνθετική ικανότητα στις επεμβάσεις της συμβατικής λίπανσης των 10,7 λ.μ. N, στις επεμβάσεις των 5,3 λ.μ. και 6,3 λ.μ. αζώτου CRF και 0 λ.μ., ενώ μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας παρατηρήθηκε στη επέμβαση 9 λ.μ. αζώτου CRF σε σχέση με όλες τις προηγούμενες (Σχήμα 3.24, Πίνακας 3.9).



**Σχήμα 3.24** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στη μέτρηση φθορισμού (2η μέτρηση). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα.

**Πίνακας 3.9** Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών φθορισμού Fv/Fo στις 23-3-2017 και στις 24-4-2017, σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ .

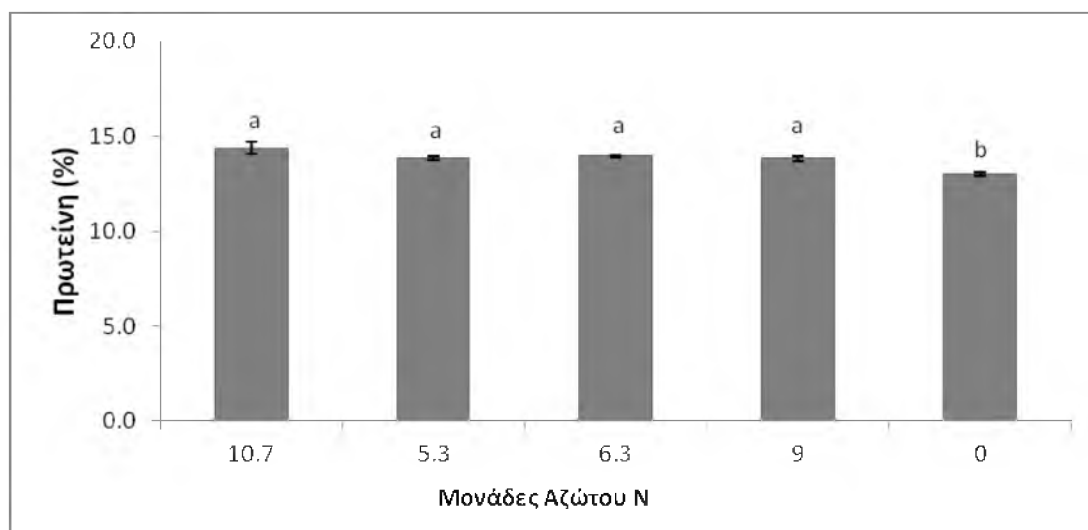
Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες.

Μεταχείριση	M.O Fv/Fo (23/3/2017)	Std dev Fv/Fo (23/3/2017)	M.O Fv/Fo (24/4/2017)	Std dev Fv/Fo (24/4/2017)
10.7 μονάδες N (100%)	3,64a	0,53	3,08ab	0,20
5.3 μονάδες N (50%)	3,26ab	0,31	3,47a	0,41
6.3 μονάδες N (59%)	2,80b	0,06	3,43a	0,21
9 μονάδες N (84%)	2,97ab	0,27	2,76b	0,39
0 μονάδες N (μάρτυρας)	3,00ab	0,47	3,32a	0,14

## 3.12 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### 3.12.1 Πρωτεΐνη (%)

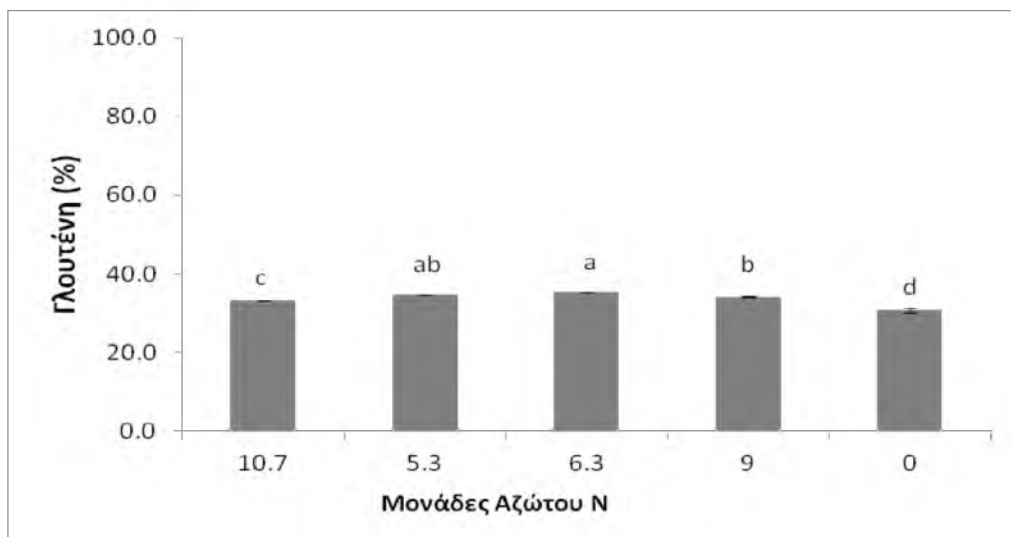
Στη πρωτεΐνη σε όλες τις επεμβάσεις λίπανσης δεν παρουσίασε στατιστική διαφορά, η χωρίς λίπανση παρουσίασε σημαντική στατιστική διαφορά σε σχέση με τις επεμβάσεις λίπανσης (Σχήμα 3.25).



**Σχήμα 3.25 Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο ποσοστό πρωτεΐνης (%). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα.**

### 3.12.2 Γλουτένη (%)

Καλύτερα αποτελέσματα παρουσίασε η λίπανση των 6,3 λ.μ. NCRF και η λίπανση των 5,3 λ.μ. αζώτου NCRF, ενώ σ' όλες τις άλλες επεμβάσεις έδωσε σημαντική στατιστική διαφορά με μεγαλύτερη την επέμβαση 0 N (Σχήμα 3.26, Πίνακας 3.10).



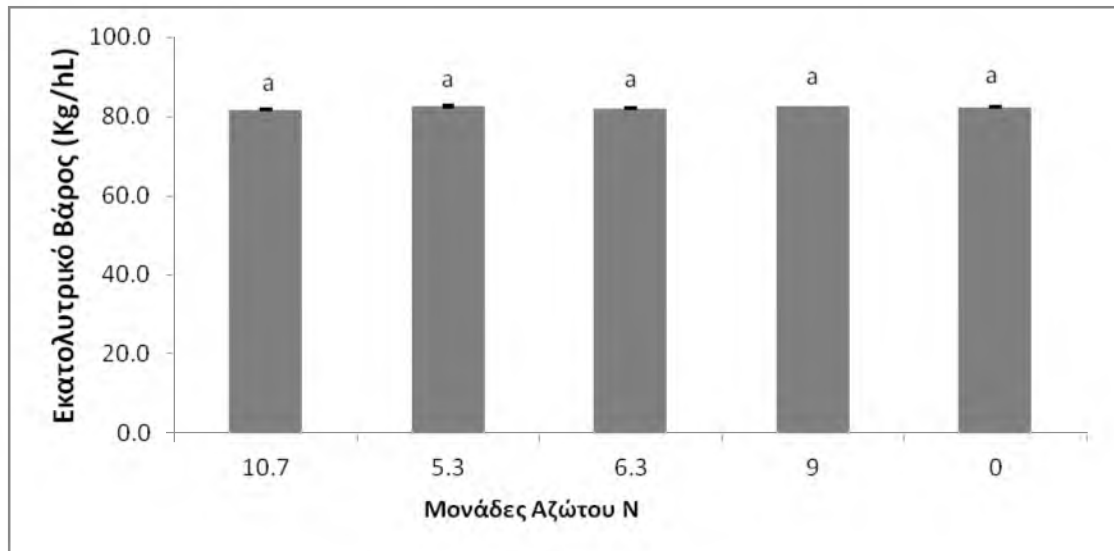
**Σχήμα 3.26 Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο ποσοστό γλουτένης (%). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n=3$ ) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα.**

**Πίνακας 3.10 Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών γλουτένης (%) και πρωτεΐνης (%), σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες**

Μεταχείριση	M.O Γλουτένης (%)	Std dev Γλουτένης	M.O Πρωτεΐνης (%)	Std dev Πρωτεΐνης
10.7 μονάδες N (100%)	32.20	0.20	14.37	0.54
5.3 μονάδες N (50%)	34.70	0.62	13.83	0.19
6.3 μονάδες N (59%)	35.20	0.10	13.96	0.12
9 μονάδες N (84%)	34.20	0.17	13.82	0.25
0 μονάδες N (μάρτυρας)	30.80	0.88	13.02	0.15

### 3.13 ΕΚΑΤΟΛΙΤΡΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (Kg/hL)

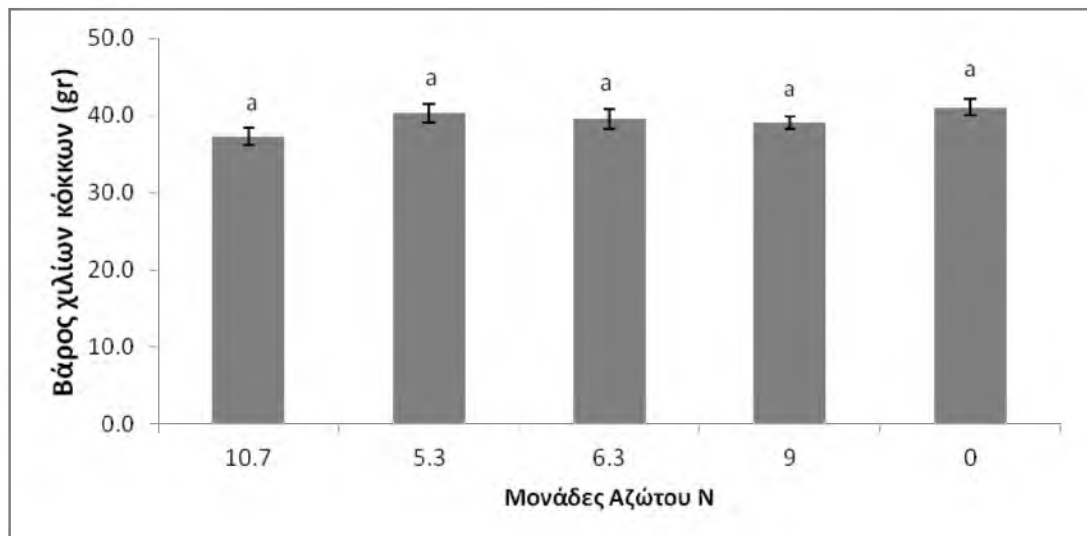
Στο εκατολιτρικό βάρος καμία μεταχείριση δεν παρουσίασε σημαντική στατιστική διαφορά (Σχήμα 3.27).



**Σχήμα 3.27** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο εκατολυτρικό βάρος (kg/hL). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα

### 3.14 ΒΑΡΟΣ ΧΙΛΙΩΝ ΚΟΚΚΩΝ (gr)

Στο βάρος χιλίων κόκκων καμία μεταχείριση δεν παρουσίασε σημαντική στατιστική διαφορά (Σχήμα 3.28, Πίνακας 3.11)



**Σχήμα 3.28** Η επίδραση των διαφορετικών μονάδων αζώτου στο βάρος χιλίων κόκκων (gr). Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο μέσο όρο  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n=3) για επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$  σε όλα τα σχήματα



**Πίνακας 3.11 Μέσοι όροι της συγκέντρωσης τιμών εκατολιτρικού βάρους (kg/hL) και βάρους χιλίων κόκκων (gr), σε μεταχειρίσεις λίπανσης διαφορετικών μονάδων αζώτου (10,7, 5,3, 6,3, 9 και 0). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan  $P \leq 0.05$ . Κάθε τιμή είναι μέσος όρος τριών επαναλήψεων σε όλους τους πίνακες.**

Μεταχείριση	E.B (kg/hL) <i>Std. dev.</i>	B.X.K. (gr) <i>Std. dev.</i>
10.7 μονάδες N (100%)	81.77a 1.14	37.30a 2.00
5.3 μονάδες N (50%)	82.63a 0.61	40.27a 2.10
6.3 μονάδες N (59%)	82.03a 0.46	39.53a 2.30
9 μονάδες N (84%)	82.63a 0.23	39.03a 1.36
0 μονάδες N (μάρτυρας)	82.43a 0.64	41.03a 1.90

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα έρευνα συμπεραίνεται ότι ο αριθμός των φυτών δεν επηρεάστηκε από την λίπανση, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο. Όσον αφορά την αύξηση του ύψους που καταγράφηκε λόγω της αζωτούχου λίπανσης, ήταν αναμενόμενη αφού το χαρακτηριστικό αυτό είναι σταθερό και έχει χρησιμοποιηθεί μάλιστα στη βελτίωση για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων σε καρπό. Μάλιστα, αξίζει να σημειωθεί ότι στα ίδια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Μπλαδενόπουλος κ.α., (2002), Παπακώστα-Τασοπούλου, (2008), Μπλαδενόπουλος & Γκατζιάνας (2001), Wych κ.α. (1985) και Delogu κ.α. (1998), οι οποίοι βρήκαν θετική επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στο ύψος των φυτών κατά το στάδιο του φουσκώματος της ταξιανθίας.

Παράλληλα, φαίνεται ότι η χρήση του αζώτου αύξησε στατιστικά σημαντικά την απόδοση σε καρπό σε σύγκριση με τη επέμβαση χωρίς άζωτο. Το γεγονός αυτό συμβαδίζει με τα ευρήματα των Μπλαδενόπουλου και Γκατζιάνα (2001), Μπλαδενόπουλος κ.α., 2002, Tilman et al., (2002), Fader et al., (2013) και FAO (2016b).

Επιπροσθέτως, από τα αποτελέσματα του πειράματος είναι εμφανές ότι η χρήση της τεχνολογίας CRF, παρόλο που πραγματοποιήθηκε μείωση των λ.μ. μέχρι και 50% και κατάργηση της επιφανειακής λίπανσης, μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος

καλλιέργειας, η απόδοση σε καρπό ήταν στατιστικά αυξημένη. Πολύ σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι η συμβατική λίπανση και η CRF με 50% λ.μ. N έδωσε τη ίδια ακριβώς απόδοση σε καρπό. Αποδεικνύεται έτσι, ότι η αποδοτικότητα πρόσληψης του αζώτου (N) χρησιμοποιώντας CRF λιπάσματα αυξάνεται σε σύγκριση με τα συμβατικά, με αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων και τη μείωση των απωλειών του N μέσω της έκπλυσης, απορροής, της πτητικότητας και της νιτροποίησης, όπως συμπεραίνουν και οι Shaviv & Mikkelsen (1993), Shaviv (2005), Chuetal. (2007), Grant et al. (2012), Zhu et al. (2012), Shao et al. (2013) και Ye et al. (2013) στις έρευνες τους. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε αντίθεση με τους Cassman et al. (2003) που είχαν συμπεράνει ότι η μειωμένη χρήση λιπασμάτων N θα μείωνε την απόδοση της καλλιέργειας

Επίσης, τα αποτελέσματα για το Δείκτη Συγκομιδής έρχονται σε συμφωνία με αυτά των Delogu κ.α. (1998) και Le Gouis κ.α. (1999) που αναφέρουν διαφοροποιήσεις του δείκτη συγκομιδής αζώτου με την αζωτούχο λίπανση. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες (ξηρασία κατά τη διάρκεια του γεμίσματος του κόκκου) συνέβαλαν στη μη αποτελεσματική αξιοποίηση του αζώτου από την καλλιέργεια, μιας και η αντίδραση των φυτών στη λίπανση επηρεάζεται σημαντικά από την εδαφική υγρασία.

Παράλληλα, η απουσία N από τη λίπανση είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική στατιστική διαφορά της μηδενικής λίπανσης N από τις υπόλοιπες στην περιεκτικότητα N(%) στο σπόρο του σιταριού, γεγονός που συμφωνεί με τη μελέτη του Παγκόσμιου Ινστιτούτου Θρέψης Φυτών, όπου η περιεκτικότητα του σπόρου σε N συνδέεται με την επάρκεια και την υψηλότερη παροχή αζώτου. Η περιεκτικότητα N (%) στη βιομάζα των φυτών του σιταριού όμως δε φαίνεται να επηρεάστηκε μόνο από την ποσότητα και το χρόνο εφαρμογής της N-ούχου λίπανσης. Σύμφωνα και με την έρευνα του Καραμάνου (1992) το τελικό μέγεθος του ελάσματος που επηρεάζει τη βιομάζα εξαρτάται από την επάρκεια νερού και θρεπτικών συστατικών (κυρίως N).

Συγχρόνως, η συγκέντρωση του N που μετρήθηκε στο έδαφος του αγρού μετά το πέρας της συγκομιδής καταδεικνύει την αναποτελεσματικότητα της χρήσης των αζωτούχων λιπασμάτων στα σιτηρά, όπου μόνο ένα ποσοστό χρησιμοποιείται στην πραγματικότητα από τα σιτηρά και το υπόλοιπο χάνεται, όπως περιγράφουν και στην έρευνά τους οι Ehdaie et al. (2010), Butterbach-Bahl & Dannenmann (2011).

Όσον αφορά το φώσφορο επειδή είναι ένα δυσκίνητο θρεπτικό στοιχείο, παραμένουν ποσότητες φωσφόρου στο έδαφος από τις προηγούμενες λιπαντικές

επεμβάσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απουσία διαφορών στην περιεκτικότητα P στο σπόρο, στη βιομάζα και στο έδαφος μετά τη συγκομιδή της μηδενικής λίπανσης από τις υπόλοιπες λιπαντικές επεμβάσεις. Αντίστοιχα, η παρουσία K στο σπόρο, στη βιομάζα και στο έδαφος μετά τη συγκομιδή δε φαίνεται να επηρεάζεται από τις διαφορετικές λιπαντικές επεμβάσεις σε ποσότητα N και σε χρόνο εφαρμογής.

Αναφορικά με τον ψευδάργυρο αυτός δεν ανήκει στα θρεπτικά στοιχεία τα οποία προστέθηκαν με τις λιπαντικές επεμβάσεις στο έδαφος. Ωστόσο παρατηρείται διακύμανση στις τιμές συγκέντρωσης που μετρήθηκαν στο σπόρο, στη βιομάζα και στο έδαφος μετά τη συγκομιδή. Σύμφωνα με τους Cakmak et al. (2010) και Erenoglu et al. (2011) η αύξηση των λιπαντικών μονάδων του N έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση πρόσληψης Zn από τις ρίζες, ενώ σύμφωνα με τους Yang & Zhang (2006), η συγκέντρωση του N οδηγεί στη αυξημένη απορρόφηση του Zn με αποτέλεσμα την αυξημένη συγκέντρωση του Zn στους κόκκους. Τέλος, η συγκέντρωση μαγγανίου (Mn) στη βιομάζα είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση στο σπόρο, γεγονός που συμφωνεί με τα συμπεράσματα των Xue et al. (2004) και Van Goor & Wiersma (1976).

Φαίνεται επίσης ότι η εφαρμοζόμενη ποσότητα N είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον συντελεστή αποτελεσματικότητας (P.F.P.), γεγονός που καταδεικνύει σαφώς ότι η καλύτερη αποτελεσματικότητα χρήσης του N γίνεται με τη χρήση της τεχνολογίας CRF στη μικρότερη δόση N. Αυτό έρχεται να αναθεωρήσει την άποψη ότι η μειωμένη χρήση λιπασμάτων N μειώνει τις αποδόσεις που συμπεραίνεται από τα αποτελέσματα των Cassman et al., 2003. Η δυνατότητα των CRF λιπασμάτων να προσδίδουν το N στο φυτό όταν αυτό το χρειάζεται είναι αυτή που πετυχαίνει τον συγχρονισμό μεταξύ της εφαρμογής των λιπασμάτων N και των απαιτήσεων της καλλιέργειας, ώστε να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της χρήσης του N (Ladha et al., 2005, Raun & Johnson, 1999, Limaux et al., 1999).

Αναφορικά με το φθορισμό της χλωροφύλλης ουσιαστικά αποτελεί δείκτη της περιεκτικότητας του φύλλου σε άζωτο και επειδή η διαθεσιμότητα αζώτου στο φυτό συσχετίζεται με την αυξημένη φυλλική επιφάνεια και την περιεκτικότητα χλωροφύλλης των φύλλων (Hagenman, 1986), δικαιολογεί τη διακύμανση των τιμών του φθορισμού μεταξύ των διαφορετικών λιπαντικών επεμβάσεων στις δύο μετρήσεις του φθορισμού.

Συγχρόνως, όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά δηλαδή την πρωτεΐνη, το βάρος χιλίων κόκκων και το εκατολιτρικό βάρος δε φαίνεται να επηρεάστηκαν από τα διαφορετικά επίπεδα αζώτου, καθώς και από το χρόνο εφαρμογής των αζωτούχων λιπασμάτων, γεγονός που ερμηνεύεται εν μέρει από τη χρήση ενός μόνο γενοτύπου (μία

ποικιλία μαλακού σιταριού) όπως προκύπτει και από την έρευνα του Johansson et al., 2001.

Ωστόσο, είναι σημαντικές οι διαφορές που καταγράφηκαν στις μεταχειρίσεις απουσία N από τις υπόλοιπες επεμβάσεις που είχαν εφαρμογή N. Αυτό συμφωνεί με αποτελέσματα άλλων ερευνητών (Martin & Mikelsen, 1960, Baghotetal., 1968, Dubetz & Wells, 1968, Gately, 1968, Zubriski et al., 1970, Alessi & Power, 1973, Θεουλάκης κ.α., 1992, Μπλαδενόπουλος και Γκατζιάνας, 2001), οι οποίοι σημειώνουν ότι το ποσοστό πρωτεΐνης στο καρπό αυξάνεται με την αζωτούχο λίπανση.

Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι η έλλειψη διαφορών μεταξύ των αζωτούχων επεμβάσεων στο εκατολιτρικό βάρος συμφωνεί με τα αποτελέσματα των Μπλαδενόπουλου (1998) και Μπλαδενόπουλου και Γκατζιάνα (2001), οι οποίοι βρήκαν ότι το εκατολιτρικό βάρος των κόκκων δεν επηρεάζεται από την αζωτούχο λίπανση. Η απουσία διαφοροποίησης του Βάρους 1000 Κόκκων (B XK) μεταξύ των διαφορετικών αζωτούχων επεμβάσεων, ενώ συμφωνεί με τα αποτελέσματα κάποιων ερευνητών, οι οποίοι αναφέρουν ότι οι υψηλές δόσεις της αζωτούχου λίπανσης μειώνουν τη διάμετρο των κόκκων αλλά δεν επηρεάζουν σημαντικά το B XK (Θεουλάκης κ.α., 1992, Grashoff & d'Antuono, 1997, Deloguetal., 1998, Le Gouisetal., 1999, Μπλαδενόπουλος & Γκατζιάνας, 2001), έρχεται σε αντίθεση με κάποιων άλλων που υποστηρίζουν ότι η αζωτούχος λίπανση επηρεάζει το B XK (Gallagher et al., 1975 και Hadjichristodoulou, 1990).

Ωστόσο, η γλουτένη (%) τείνει να είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ποσότητα N των εφαρμοζόμενων αζωτούχων λιπασμάτων, αποτέλεσμα που συμφωνεί με τους Wieser & Seilmeier (1998) που υπογραμμίζουν ότι η γλουτένη επηρεάστηκε σημαντικά από τις διαφορετικές λιπάνσεις.

Επιπροσθέτως, η αύξηση της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας των ποικιλιών με την αύξηση της αζωτούχου λίπανσης που προέκυψε έρχεται να επιβεβαιώσει τα ευρήματα του Shaw (2002), ο οποίος αναφέρει ότι η αζωτούχος λίπανση αύξησε τη φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα και τον φωτοσυνθετικό ρυθμό. Από την άλλη πλευρά, η μείωση της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας των ποικιλιών με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας (αύξηση της υδατικής καταπόνησης) έρχεται σε πλήρη συμφωνία με τα ευρήματα των Araus κ.ά. (1998), οι οποίοι σε πειράματα με σκληρό σιτάρι διαπίστωσαν μείωση της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας λόγω αύξησης του  $F_0$  (αρχικός φθορισμός) προς τα γηραιότερα φύλλα σε συνθήκες ξηρασίας.

Συγχρόνως, από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι προέκυψε αύξηση της περιεκτικότητας της χλωροφύλλης των ποικιλιών με την αύξηση της αζωτούχου λίπανσης γεγονός το οποίο υπογραμμίζουν και οι Tranavicieneetal., (2008), Wang et al., (2004) και Zhang et al., (2010) στην μελέτη τους. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί ότι, η υψηλότερη περιεκτικότητα χλωροφύλλης στο ξεστάχασμα-άνθηση των ποικιλιών (148 ΗΑΣ) συμφωνεί με αυτά που συμπεραίνουν οι Bojovic & Stojanovic (2005) σε δύο ποικιλίες μαλακού σιταριού. Μάλιστα, από την ίδια πηγή προκύπτει ότι το γεγονός αυτό οφείλεται στη συμμετοχή της χλωροφύλλης στη διαδικασία της οργανογένεσης.

Παράλληλα, η αύξηση του ολικού αζώτου στη συγκομιδή (στελέχη-φύλλα και καρπό) με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας που προκύπτει είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Van den Boogaard et al., (1995) αλλά σε αντίθεση με τα ευρήματα των Morgan (1984), Shangguan et al., (2000) και Ercoli et al., (2008), οι οποίοι εντόπισαν μείωση του ολικού αζώτου με μείωση της εδαφικής υγρασίας.

Αναφορικά με τη χλωροφύλλη η αύξηση της αζωτούχου λίπανσης κατά την άνθηση και την ωρίμανση φαίνεται να αυξάνει την συγκέντρωση της γεγονός που έρχεται σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα του Hagenman (1986) που αναφέρει ότι η συγκέντρωση χλωροφύλλης στα φύλλα αυξάνεται με την αζωτούχο λίπανση. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι η συγκέντρωση χλωροφύλλης στα φύλλα έχει χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για την εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης σε αρκετά είδη φυτών (Peng et al., 1996), αφού αποτελεί δείκτη διαθεσιμότητας του αζώτου στο έδαφος (Shukla et al., 2004). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις του φθορισμού της χλωροφύλλης είναι γρήγορες και οικονομικές.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbasi, M.K., Tahir, M.M., Rahim, N., (2013). Effect of N fertilizer source and timing on yield and N use efficiency of rainfed maize (*Zea mays* L.) in Kashmir-Pakistan. *Geoderma* 195–196 (1), 87–93.
- Alessi, J. and Power, J.F. (1973). Effect of source and rate of nitrogen on N-uptake and fertilizer efficiency by spring wheat and barley. *Agronomy Journal*, 65, 53-55.
- Alexandratos, N. Bruinsma, J. (2012). *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper No. 12-03, 1-160, Rome, FAO.
- Ali Mam, Okiror, S.O., Rasmusson, D.C. (1978). Performance of semi-dwarf barley. *Crop Science*, 18, 418.
- Allan, J.A., (1998). Virtual water: a strategic resource global solutions to regional deficits. *Groundwater*, 36, 545–546. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.1998.tb02825.x>.
- Al-Mulhim, F.N. & Al-Taxir, O.A. (1991). *Response of irrigated barley to nitrogen*.
- Araus J.L., Amaroa, T., Voltasb, J. Nakkoulc, H. Nachit, M.M. (1998). Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 55, 209-223.
- Asgedom, H. & Kebeab, E. (2011). Beneficial management practices and mitigation of greenhouse gas emissions in the agriculture of the Canadian Prairie: a review. *Agronomy Sustainable Development*, 31, 433–451.
- Austin R.B., Ford M.A., Edrich J.A., Blackwell R.D. (1977). The nitrogen economy of winter wheat. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, 88, 159-167.
- Baghot, K.G., Schaller, C.W., Miller, M.D. (1968). Response of six barley varieties to selected cultural practices. *California Agriculture*, 22, 10-12.
- Barker A. V. & Pilbeam D. J. (2007). *Handbook of Plant Nutrition*, Boca Raton London New York: CRC Press.
- Bazaya, B.R., Sen, A., Srivastava, V.K., (2009). Planting methods and nitrogen effect on crop yield and soil quality under direct seeded rice in the Indo-Gangetic plains of eastern India. *Soil and Tillage Research*, 105, 27–32.
- Bell, M.J. (2014). Executive summary. In: Bell, M.J. (Ed.), *A Review of Nitrogen Use Efficiency in Sugarcane*. SRA Research Report. Sugar Research Australia, Brisbane, 1–8.
- Bell, M.J. & Moody, P., (2014). *Fertilizer N use in the sugarcane industry – an overview and future opportunities*. In: Bell, M.J. (Ed.), *A Review of Nitrogen Use Efficiency in Sugarcane*. SRA Research Report. Sugar Research Australia, Brisbane, 305–320.
- Benton. (1998). *Journal Plant nutrition manual*. Washington, USA: CRC Press LLC.

- Björkman, O. & Demmig, B. (1987). Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Plant*, 170, 489–504.
- Blackmer, T.M., & J.J. Schepers. (1995). Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal of Productive Agriculture*, 8, 56-60.
- Blackmer, T.M., Schepers, J.S., Vevel, G.E. (1994). Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agronomy Journal*, 86, 934-939.
- Bock B.R. (1984). Efficient use of nitrogen in cropping Systems. In: Nitrogen In crop production Edited by R.D. Hauck. *American Society of Agronomy*, Madison Wis, 273-294.
- Bojovic, B. & Stojanovic, J. (2005). *Chlorophyll and carotenoid content in wheat cultivars as a function of mineral nutrition*. Arch. Biol. Sci., Belgrade, 57 (4), 283-290.
- Bolhár-Nordenkamp, H.R., Long, S.P., Baker, N.R, Öquist. G., Schreiber, U., Lechner. E.G. (1989). Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. *Functional Ecology*, 3(4), 497-514.
- Boojar, M.M.A. and Goodarzi F (2008). Comparative evaluation of oxidative stress status and manganese availability in plants growing on manganese mine. *Ecotoxicol. Environ. Saf*, 71, pp. 692-699.
- Bouis, H. E. (2003). Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? *The Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 403–411.
- Brill R., Gardne, M., McMullen, G. (2012). *Comparison of grain yield and grain protein concentration of commercial wheat varieties*. GRDC.
- Brodie, J., Waterhouse, J., Schaffelke, B., Kroon, F., Thorburn, P., Rolfe, J., Johnson, J., Fabricius, K., Lewis, S., Devlin, M., Warne, M., McKenzie, L., (2013). *Scientific Consensus Statement: Land Use Impacts on Great Barrier Reef Water Quality and Ecosystem Condition*. Reef Water Quality Protection Plan Secretariat, State of Queensland, Brisbane.
- Bruulsema T. W., Heffer, P., Welch, R. M., Cakmak, I., Moran, K. (2012). *Fertilizing Crops to Improve Human Health: A Scientific Review*. IPNI- IFA.
- Buller, A.H.R. (1919). *Essays on wheat*. The MacMillan Company. New York..
- Butterdach-Bahl K, & Dannenmann M. (2011). *Denitrification and associated soil N<sub>2</sub>O emissions due to agricultural activities in a changing climate Current Opinion in Environmental Sustainability*, volume 3, 389-395.
- Cadalen, T., Sourdille, P., Charmet, G., Tixier, M.H., Gay, G., Boeuf, C., Bernard, S., Leroy, P., Bernard, M. (1998). Molecular markers linked to genes affecting plant height in wheat using a doubled-haploid population. *Theoretical and Applied Genetics*, 96, 933-940
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil*, 302, 1–17.
- Cakmak, I., Pfeiffer, W. H., McClafferty, B. (2010). *Review: biofortification of durum wheat with zinc and iron*. Cereal Chemistry, 87, 10–20.
- Camargo, J.A., & Alonso, A., (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment International*, 32(6), 831–849.

- Cameron, K.C., Di, H.J., Moir, J.L., (2013). c 162, 145–173.
- Campbell, C.A., Selles, F., Lafond, G.P., Biederbeck, V.O., Zentner, R.P., (2001a). Tillage – fertilizer changes: effect on some soil quality attributes under long-term crop rotations in a thin Black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.*, 81, 157–165.
- Campillo R., Hirzel, J., Jobet, C. (2011). *Fertilización del cultivo de Trigo Panadero*. In: Hirzel J. (ed.) *Fertilización de Cultivos en Chile*. Colección Libros INIA N°28, Chillán, Chile, 11-80.
- Carefoot, J.M., Nyborg, M., Lindwall, C.W., (1990). Tillage-induced soil changes and related grain yield in a semi-arid region. *Can. J. Soil Sci.*, 70, 203–214.
- Carleton, M.A. (1924). *The small grains*. Ed. L. HG. Bailey. The MacMillan Company. New York.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., Walters, D.T., Yang, H., (2003). Meeting cerealdemand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Ann. Rev. Environ. Resour.*, 28, 315–358.
- Cellier, P., Rochette, P., Hénault, C., Géniermont, S., Laville, P., Loubet, B., (2013). Les émissions gazeuses dans le cycle de l'azote à différentes échelles du territoire: une revue. *Cahier Agric.* 22, 258–271.
- Chen X, Cui Z, Fan M et al. (2014) *Producing more grain with lower environmental costs*. *Nature*, 514, 486–489.
- Chen, D., Suter, H., Islam, A., Edis, R., Freney, J.R., Walker, C.N., (2008b). Prospects of improving efficiency of fertiliser nitrogen in Australian agriculture: a review of enhanced efficiency fertilisers. *Aust. J. Soil Res.* 46, 289–301.
- Chen, T., Zhang, D., Matiuhin, Y., Glickman, M., & Fushman, D. (2008). 1H, 13C, and 15N resonance assignment of the ubiquitin-like domain from Dsk2p. *Biomolecular NMR Assignments*, 2(2), 147-149. doi: 10.1007/s12104-008-9107-7
- Chu, H., Hosen, Y., Yagi, K., (2007). NO, N2O, CH4 and CO2 fluxes in winter barley field of Japanese Andisol as affected by N fertilizer management. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 330–339.
- Cormier, F., Foulkes, M.J., Hirel, B., Gouache, D., Moenne-Loccoz, Y., Le Gouis, J. (2016). Breeding for increased nitrogen-use efficiency: a review for wheat (*T.aestivum* L.). *Plant Breed.* 135, 255–278.
- Cox, M.C., Qualset, C.O., Rains, D.W. (1986). Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Sci.* 25: 435-440.
- Craswell, E.T., Godwin, D.C., (1984). *The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates*. *Adv. Plant. Nutr.* 1, 1–55.
- Cui Z, Yue S, Wang G et al. (2013a) *Closing the yield gap could reduce projected greenhouse gas emissions: a case study of maize production in China*. *Global Change Biology*, 19, 2467–2477.
- Cui, S.H., Shi, Y.L., Groffman, P.M., Schlesinger, W.H., Zhu, Y.G., (2013). *Centennial-scale analysis of the creation and fate of reactive nitrogen in China (1910–2010)*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 2052–2057.



- Cui, Z.L., Chen, X.P., Zhang, F.S., (2010). *Current nitrogen management status and measures to improve the intensive wheat-maize system in China*. *Ambio* 39,376–384.
- D’Odorico, P., Carr, J.A., Laio, F., Ridolfi, L., Vandoni, S., (2014). *Feeding humanity through global food trade*. *Earth’s Future* 2, 458–469. <http://dx.doi.org/10.1002/2014EF000250>
- Davies, D.B., Sylvester-Bradley, R., (1995). *The contribution of fertiliser nitrogen to leachable nitrogen in the UK: a review*. *J. Sci. Food Agric.* 68, 399–406.
- Davis, K.F., D’Odorico, P., Rulli, M.C., (2014b). *Moderating diets to feed the future*. *Earth’s Future* 2, 559–565. <http://dx.doi.org/10.1002/2014EF000254>.
- Delogu, G., L. Cattivelli, N. Pecchioni, D. De Falcis, T. Maggiore, A.M. Stanca, (1998). *Uptake and agronomy efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat*. *European Journal of Agronomy* 9: 11-20.
- Detrick, J. (Pursell Inc.) (1992). *Answers to Frequently Asked Technical Questions about Polyon Coated Fertilizer Technology*. Pursell Industries, Inc., Sylacauga, Alabama, USA.
- Dewer, L.M., M. Tollenaar and L. Houwing. (1991). *A nondestructive method to monitor leaf greenness in corn*. *J. Plant Sci.* 71: 505-509.
- Di Bella, L.P., Stacey, S.P., Benson, A., Royle, A., Holzberger, G., (2013). *An assessment of controlled release fertiliser in the Herbert cane growing region*. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists* 35, 784–788.
- Donald, C.M. (1962). *In search of yield*. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 28: 171-178.
- Drinkwater, L.E., Snapp, S.S., (2007). *Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm*. *Adv. Agronomy* 92, 163–186
- Dubetz, S., and S.A. Wells. (1968). *Reaction of barley varieties to nitrogen fertilizer*. *J. Agric. Sci., Camb.* 70: 253-256.
- Ehdaie B., Merhant D.J., Ahmadians., Hoops A.C., Khung T., Layne P. and Waines J.G., (2010). *Root System Size Influences Water-Nutrient Uptake and Nitrate Leaching Potential in Wheat*. *J. Agronomy and Crop Science*.
- Ehdaie, B. and Waines, J. G. (2001). *Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat*. *Field Crops Research* 73:47–61.
- Ekman, P. (1981). *Mistakes When Deceiving*. *Annals of the New York Academy of Science*, 364, 269-278.
- Environmental Quality in Australia. IFA Crossroads Asia-Pacific (2008). *International Fertilizer Industry Association*, Melbourne, Australia, p. 9.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), (2012). *Reactive Nitrogen in the United States: An Analysis of inputs, Flows, Consequences, and Management Options—A Report of the EPA Science Advisory Board*. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Ercoli, L., L. Lulli, M. Mariotti, A. Masoni and I. Arduini. 2008. *Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability*. *European Journal of Agronomy* 28: 138-147.

- Erenoglu, E. B., Kutman, U. B., Ceylan, Y., Yildiz, B., and Cakmak, I. (2011). *Improved nitrogen nutrition enhances root uptake, root-to-shoot translocation and remobilization of zinc (65Zn) in wheat*. *New Phytol.* 189, 438–448.
- Erisman, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z., Winiwarter, W., 2008. *How a century of ammonia synthesis changed the world*. *Nat. Geosci.* 1, 636–639.
- Errebhi M & Wilcox G E. (1990) *Plant species response to ammonium-nitrate concentration ratios*. *J. Plant Nutr.* 13, 1017-1029.
- European Commission (2016). *EU COP Balance sheet 2015/16 and forecast 2016/1*, Committee for the Common Organisation of Agricultural Markets
- Fader, M., Gerten, D., Krause, M., Lucht, W., Cramer, W., (2013). *Spatial decoupling of agricultural production and consumption: quantifying dependences of countries on food imports due to domestic land and water constraints*. *Environ. Res. Lett.* 8, 014046.
- Fageria, N.K. and A.S. Prabhu. (2003). *Response of lowland rice to nitrogen application and seed treatment with fungicide doses to blast control*. *Pesq. Agropec. Brasileira* 39: 123-129.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), (2013). *FAOSTAT: FAO statistical databases*. <http://faostat.fao.org/default.aspx> (Accessed Mar 20, 2013).
- Field, C.B. and Mooney, H. A. (1986). *The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants*. In: *On the economy of plant form and function*, T. J. Givnish (ed). Cambridge University Press, Cambridge, pp. 25-55.
- Figeria, N.H., Baligar, V.C., (2005). *Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants*. *Adv. Agron.* 88, 97–185. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6).
- Filner, P. and Varner J. E. (1967). A test for de novo synthesis of enzymes: density labelling with H<sub>2</sub> 18O of barley  $\alpha$ -amylase induced by gibberellic acid. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 58, 1520–1526.
- Foley, J.A., et al., (2011). *Solutions for a cultivated planet*. *Nature* 478, 337–342. <http://dx.doi.org/10.1038/nature10452>.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations, (2016b). *FAOSTAT database*. FAO, Rome Available at [faostat3.fao.org](http://faostat3.fao.org).
- Fraga, M., Ballestar, E., Paz, M., Roperro, S., Setien, F., & Ballestar, M. et al. (2005). From The Cover: Epigenetic differences arise during the lifetime of monozygotic twins. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 102(30), 10604-10609. doi: 10.1073/pnas.0500398102
- Fujita, T. & Shoji, S. (1999). *Kinds and properties of Meister fertilizers*. In: *Meister controlled release fertilizer – Properties and Utilization*. Shoji, S. (ed). Konno Printing Company Ltd. Sendai, Japan, pp. 13-34.
- Fujita, T. (1993). *Technical development, properties and availability of polyolefin coated fertilizers*. Proceedings: Dahlia Greidinger Memorial International Workshop on Controlled/Slow Release Fertilizers, Technion - Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.
- Fujita, T., Maeda, S., Shibata, M. & Takahashi, C. (1989). *Research and development of coated fertilizers*. In: *Proceedings: Fertilizer, Present and Future*. Symposium Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition.

- Fujita, T., Maeda, S., Shibata, M. & Takahashi, C. (1990a). *Research and development of coated fertilizer. In: Proceedings: Fertilizer, Present and Future*. Symposium Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition.
- Gallagher, J.N., P.V. Biscoe and R.K. Scott. (1975). *Barley and its environment. V. Stability of grain weight*. J. Appl. Ecol. 12: 319-336.
- Galloway, J., Townsend, A., Erisman, J., Bekunda, M., Cai, Z., & Freney, J. et al. (2008). *Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions*. Science, 320(5878), 889-892.
- Galloway, J.N., Dentener, F.J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, S.P., Asner, G.P., Cleveland, C.C., Green, P.A., Holland, E.A., Karl, D.M., Michaels, A.F., Porter, J.H., Townsend, A.R., Vöösmary, C.J., (2004). *Nitrogen cycles: past, present and future*. Biogeochemistry 70 (2), 153–226.
- Gately, T.F. (1968). *The effects of different levels of N, P, and K on yields, nitrogen content and kernel weights of malting barley*. J. Agric. Sci., Camb. 70:361-367.
- Gauer, E., Shaykewich, C.F., Stobbe, E.H., (1982). *Soil temperature and soil water under zero tillage in Manitoba*. Can. J. Soil Sci. 62, 311–325.
- Gavlak, R.G., Horneck, D.A. and Miller, R.O. (1994). *Plant, soil, and water reference methods for the western region*. University of Alaska, Fairbanks: Western Regional Extension Publication (WREP) 125.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986) Particle-Size Analysis. In: Klute, A. (Ed), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Agronomy Monograph No. 9, 2nd edition* (pp.383-411). Madison: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America.
- Gee, G.W. and Or, D. (2002) Particle Size Analysis. In: Dane, J.H. & Topp, G.C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 4, Book Series No. 5*, (pp. 255-293). Madison: Physical Methods, Soils Science Society of America.
- Giannakoula, A., Ilias, I., Dragisic-Maksimovic, J., Maksimovic, V., & Zivanovic, B. (2012). *Does overhead irrigation with salt affect growth, yield, and phenolic content of lentil plants?* Archives Of Biological Sciences, 64(2), 539-547
- Goertz, H.M., (1993). *Controlled Release Technology*. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.7 Controlled Release Technology (Agricultural), pp. 251
- Goertz, H.M., (1995). *Technology Developments in Coated Fertilizers. Proceedings: Dahlia Greidinger Memorial International Workshop on Controlled/Slow Release Fertilizers*, Technion – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.
- Gonzalez-Ponce R., Mason S.C., Salas M.L., Sabata R.J., Herce A. (1992). *Environment, seed rate, and N rate influence on yield of winter barley*. Fertil Res. 34:59-65.
- Good A.G., Johnson S.J., Pauw M., Carroll, R. Sacidoc, N. Vidmar J.Z., Taylor G & Stroeber V., (2007). *Engineering nitrogen use efficiency with alanine of NRC Research*, vol. 85, pp 252-262.
- Goor, B. and Wiersma, D. (1976). Chemical Forms of Manganese and Zinc in Phloem Exudates. *Physiologia Plantarum*, 36(2), pp.213-216.

- Grafius, J.E. (1965). *A geometry of plant breeding*. Crop Science 4: 241–246
- Grains Research and Development Corporation, (2016). *Wheat, Grownotes, Chapter 5 Nutrition and fertilizer*, 117-154.
- Grant, C.A., Lafond, G.P., (1994). *The effects of tillage systems and crop rotations on soil chemical properties of a Black Chernozemic soil*. Can. J. Soil Sci. 74, 301–306.
- Grant, C.A., Wu, R., (2008). *Enhanced-efficiency fertilizers for use on the Canadian prairies*. Crop Manage. Plant Manage. Network, doi:10.1094/CM-2008-0730-1001-RV.
- Grant, C.A., Wu, R., Selles, F., Harker, K.N., Clayton, G.W., Bittman, S., Zebarth, B.J., Lupwayi, N.Z., (2012). *Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding*. Field Crops Res. 127, 170–180.
- Grashoff, C and L.F. d'Antuono, (1997). *Effect of shading and nitrogen application on yield, grain size distribution and concentrations of nitrogen and water soluble carbohydrates in malting spring barley (Hordeum vulgare L.)*. European Journal of Agronomy 6: 275-293.
- Groos, C., Robert, N., Bervas, E. and Charmet, G. (2003). *Genetic analysis of grain-protein content, grain yield and thousand-kernel weight in bread wheat*. Theoretical and Applied Genetics 106: 1032-1040.
- Grundas, S.T. (2003). *Wheat: The crop*. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition), Editor-in-Chief: B. Caballero, Eds: L. Trugo and P.M. Finglas, pp. 6130–6137.
- Gu B, Ju X, Chang J, Ge Y, Vitousek PM (2015) *Integrated reactive nitrogen budgets and future trends in China*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112, 8792–8797.
- Guo, L., Ning, T., Nie, L., Li, Z., Lal, R., (2016). *Interaction of deep placed controlled-release urea and water retention agent on nitrogen and water use and maize yield*. Eur. J. Agron. 75, 118–129.
- Gymer, P.T. (1981). The achievements of 100 years and barley breeding. p 112-117 . M.J.S. Asher (ed.) Proceedings of 4th International Barley Genetics Symposium, 22-29 July (pp. 112-117). Edinburgh: Edinburgh Press.
- Hadjichristodoulou A. (1987). *An analytical approach to breed for consistency of performance of barley under variable environments*. Barley Genetics V: 711-717
- Hadjichristodoulou, A. (1990). *Breeding barley for consistency of performance in unstable environments*. Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture and natural resources. Technical bulletin 119, Nicosia Cyprus, September 1990.
- Hagenman, R.H. (1986). *Role of nitrogen metabolism in crop productivity*. J.C. g. Pp 105-116.
- Halverson, J. and Zeleny, L.(1988). *Criteria of Wheat Quality, in Wheat, Chemistry and Technology*, vol. I,(Y. Pomeranz ed.), the American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, U.S.A.,pp.15-45
- Hauck, R.D., (1985). *Slow-release and bioinhibitor-amended nitrogen fertilizers*. Fert. Technol. Use 293–322.

- Haun, J. (1973). Visual Quantification of Wheat Development. *Agronomy Journal*, 65(1), p.116.
- Hay, R.K.M. (1995). *Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology*. Ann. Appl. Biol. 126: 197-216.
- Hazelton, P. & Murphy, B. (2007). *Interpreting soil test results. What do all the numbers mean?* Victoria: CSIRO Publishing.
- Heilmeyer H., Monson R.K., (1994). *Carbon and nitrogen storage in herbaceous plants*. In: Roy J., Garnier E., eds. A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions. The Hague, The Netherlands: SPB Academic Publishing by, 149-171.
- Hirzel J. and P. Undurraga (2013). *Nutritional Management of Cereals Cropped Under Irrigation Conditions*, Chapter 5 from the Book Crop Production, 99-130.
- Hlinka, I., and W. Bushuk. (1959). *The weight per bushel*. Cereal Sci. Today 4:239
- Hockett, E.A. and Nillan, R.A. (1985). *Genetics of barley*. Ed. D.C. Rasmusson, Agron. Monograph 26. ASA-CSSA-SSSA Madison, WI 53711-USA, pp. 190-216.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q., (2005). *Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade*. Global Environ. Change 15, 45–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004>.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q.,(2005). *Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade*. Global Environ. Change 15, 45–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004>.
- Horchani, F., Hajri, R., & Aschi-Smiti, S. (2010). *Effect of ammonium or nitrate nutrition on photosynthesis, growth, and nitrogen assimilation in tomato plants*. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173, 610–617.
- Hou, P., Gao, Q., Xie, R.Z., Li, S.K., Meng, Q.F., Kirkby, E.A., Romheld, V., Muller, T., Zhang, F.S., Cui, Z.L., Chen, X.P., (2012). *Grain yields in relation to N requirement: optimizing nitrogen management for spring maize grown in China*. Field Crop Res. 129, 1–6.
- Howarth, R.W., (1998). *An assessment of human influences on fluxes of nitrogen from the terrestrial landscape to the estuaries and continental shelves of the North Atlantic Ocean*. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 52, 213–223.
- Islam, M.Z., Sattar, M.A., Ashrafuzzaman, M., Saud, H. M., Uddin, M.K. (2012). Improvement of yield potential of rice through combined application of biofertilizer and chemical nitrogen. *African Journal of Microbiology Research*, 6(4), 745-750.
- Isobe, M., (1971). *Sulphur-coated urea performance encouraging*. Hawaiian Sugar Planters' Assn. Agron. Rept. pp. p. 9.
- Isobe, M., (1972). *Controlled release fertilizers for sugarcane*. Technology for a better community. Hawaiian Sugar Technologists 1971 Reports. pp. p. 83–87.
- Jaradat, Z., Schutze, G. and Bhunia, A. (2002). Genetic homogeneity among *Listeria monocytogenes* strains from infected patients and meat products from two geographic locations determined by phenotyping, ribotyping and PCR analysis of virulence genes. *International Journal of Food Microbiology*, 76(1-2), pp.1-10.

- Jeddel P.E., Helm J.H., (1992). *Agronomic response of six-row barley cultivars to supplemental fertilization and late- season fungicide treatments*. *Can. J. Plant Sci.* 72:1121-1130.
- Jenner, C.F., T.D. Ugalde and D. Aspinall. (1991). *The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat*. *Aust. J. Plant Physiol.* 18: 211-226.
- Johanson E., Prieto-Linde M.L., Jonsson, J.O., (2001). *Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality*. *Cereal Chemistry* 78: 19-25.
- Jones, J. Benton Jr, (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press, 363 pp.
- Jong, J., Smit Sibinga, C., & Wildevuur, C. (1979). Platelet behavior in extracorporeal circulation (ECC). *Transfusion*, 19(1), 72-80.
- Joshi (2007a) .*Genetic Factors Affecting Abiotic Stress Tolerance in crops*. Hanbdblbook of plant and Crop Stress, Third Edition Edited by Mohammad Passarakli.
- Ju, X., Liu, X., Zhang, F., Roelcke, M., (2004). *Nitrogen fertilization, soil nitrate accumulation, and policy recommendations in several agricultural regions of China*. *AMBIO: J. Hum. Environ.* 33, 300–305.
- Ju, X.T., Xing, G.X., Chen, X.P., Zhang, S.L., Zhang, L.J., Liu, X.J., Cui, Z.L., Yin, B., Christie, P., Zhu, Z.L., Zhang, F.S., (2009). *Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106, 3041–3046.
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J.-M., Machet, J.-M., Thelier-Huché, L., (1994). *Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops*. *Ann. Bot.* 74, 397–407.
- Kabata-Pendias, A. (1979). Effects of inorganic air pollutants on the chemical balance of agricultural ecosystems. *United Nations - ECE Symposium Effects of Air-borne Pollution on Vegetation, August 20* (pp.134). Warsaw.
- Kastner, M., Tricco, A., Soobiah, C., Lillie, E., Perrier, L., Horsley, T., Welch, V., Cogo, E., Antony, J. and Straus, S. (2012). What is the most appropriate knowledge synthesis method to conduct a review? Protocol for a scoping review. *BMC Medical Research Methodology*, 12(1). doi.org/10.1371/journal.pone.0066428
- Keating, B., Verburg, K., Huth, N., Robertson, M., (1997). *Nitrogen management in intensive agriculture: sugarcane in Australia*. In: Keating, B.A., Wilson, J.R. (Eds.), Konishi, T. (1976). *Smooth awns, r, e, Barley Genet. News I.* 6: 131.
- Kitao, M., Lei, T.T., Nakamura, T. and Koike, T. (2001) Manganese Toxicity as Indicated by Visible Foliar Symptoms of Japanese White Birch (*Betula Platyphylla* Var. Japonica). *Environ. Pollut.*, 111, 89–94.
- Krause, G.H. and E. Weis. (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual. Reviw pf Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42, 313-349.
- Kutman, U. B., Yildiz, B., Ozturk, L., and Cakmak, I. (2010). *Biofortification of durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen*. *Cereal Chem.* 87, 1–9.
- Ladha, J.K., Pathak, H., Krupnik, T.J., Six, J., van Kessel, C. (2005). Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects. *Advances in Agronomy*, 87, 85-156.

- Lal, R., (2003). *Cropping systems and soil quality*. J. Crop Prod. 8, 33–52.
- Large, E. C. (1954). Growth stages in cereals illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology* (3): 4, Pages 128-129
- Law, C.N., Snape, J.W. and Worland, A.J. (1978). *The genetical relationship between height and yield in wheat*. *Heredity* 40(1): 133-151.
- Le Gouis, J., O. Delebarre, D. Beghin, E. Heumez, P. Pluchard, (1999). *Nitrogen uptake and utilisation efficiency of two-row and six-row winter barley cultivars grown at two N levels*. *European Journal of Agronomy* 10: 73-79.
- Le, C., Zha, Y., Li, Y., Sun, D., Lu, H., and Yin, B. (2010). *Eutrophication of lake waters in China: cost, causes, and control*. *Environ. Manage.* 45, 662–668.
- Lemaire, G., Gastal, F., (1997). *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. In: Lemaire, G. (Ed.), Springer, Berlin, pp. 239.
- Li, J.S., Li, B., Rao, M.J., (2005). *Spatial and temporal distributions of nitrogen and crop yield as affected by nonuniformity of sprinkler fertigation*. *Agric. Water Manage.* 76, 160–180.
- Li, S.X., Wang, Z.H., Hu, T.T., Gao, Y.J., Stewart, B.A., (2009). *Nitrogen in dryland soils of China and its management*. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, vol.101. Elsevier Academic Press Inc., San Diego, pp. 123–181.
- Li, S.X., Wang, Z.H., Malhi, S.S., Li, S.Q., Gao, Y.J., Tian, X.H., (2009). *Nutrient and water management effects on crop production: and nutrient and water use efficiency in dryland areas of China*. *Adv. Agron.* 102, 223–265.
- Lidon, F., Barreiro, M. and Ramalho, J. (2004). Manganese accumulation in rice: implications for photosynthetic functioning. *Journal of Plant Physiology*, 161(11), pp.1235-1244.
- Limaux, F., Recous, S., Meynard, J.-M., Guckert, A., (1999). *Relationship between rate of crop growth at date of fertiliser N application and fate of fertiliser N applied to winter wheat*. *Plant Soil* 214, 49–59. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004629511235>.
- Limaux, F., Recous, S., Meynard, J.-M., Guckert, A., (1999). *Relationship between rate of crop growth at date of fertiliser N application and fate of fertiliser N applied to winter wheat*. *Plant Soil* 214, 49–59. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004629511235>.
- Liu, C., Watanabe, M., Wang, Q.X., (2008). *Changes in nitrogen budgets and nitrogen use efficiency in the agroecosystems of the Changjiang River basin between 1980 and 2000*. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 80, 19–37.
- Liu, J. G., Diamond, J., (2005). *China's environment in a globalizing world*. *Nature* 435, 1179–1186.
- Liu, J. G., Mooney, H., Hull, V., Davis, S.J., Gaskell, J., Hertel, T., Lubchenco, J., Seto, K.C., Gleick, P., Kremen, C., Li, S.X., (2015). *Systems integration for global sustainability*. *Science*: 347(6225) <http://dx.doi.org/10.1126/science.1258832>.
- Liu, X. J., Ju, X.T., Zhang, F.S., Chen, X.P., (2003). *Nitrogen recommendation for winter wheat using N-min test and rapid plant tests in North China Plain*. *Commun. Soil Sci. Plan.* 34, 2539–2551.

- Ma, G., Jin, Y., Li, Y., Zhai, F., Kok, F. J., Jacobsen, E., et al. (2008). *Iron and zinc deficiencies in China: what is a feasible and cost-effective strategy?* Public Health Nutr. 11, 632–638.
- Maene, L. M. (1995): *Changing Perception of Fertilizer Worldwide. Fertilizer Industry' Round Table*, Oct. 1995.
- Mahler, R.L., Koehler, F.E., Lutcher, L.K., (1994). *Soils. Nitrogen source, timing of application, and placement: effects on winter wheat production.* Agron. J. 86, 637–642.
- Malhi, S.S., Grant, C.A., Johnston, A.M., Gill, K.S., (2001). *Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review.* Soil Till. Res. 60, 101–122.
- Malhi, S.S., Johnston, A.M., Schoenau, J.J., Wang, Z.H., Vera, C.L., (2006). *Seasonal biomass accumulation and nutrient uptake of wheat, barley and oat on a black chernozem soil in Saskatchewan.* Can. J. Plant Sci. 86, 1005–1014
- Mangels, C.E. and Sanderson, T. (1925). *Correlation of test weight per bushel with flour yield and other factors of quality.* Cereal Chemistry 2: 107-112.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, ISBN 0-12-473542-8, New York, U. S. A.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Ed. Academic Press, London.
- Martin, W.E., and D.S. Mikelsen. (1960). *Grain fertilization in California.* Cal. Agric. Exp. Sta. Bul. 775.
- McMaster, G. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87(4), pp.291-300.
- Mengel, K., Kirkby, E.A.,(2001). *Principles of Plant Nutrition*, 5th ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland (687 pp).
- Meynard, J.-M., Aubry, C., Justes, E., Le Bail, M., (1997). *Nitrogen diagnosis and decision support.* In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer, Berlin, pp. 147–161.
- Meynard, J.-M., Cerf, M., Guichard, L., Jeuffroy, M.-H., Makowski, D., (2002). *Which decision support tools for the environmental management of nitrogen?* Agronomie 22, 817–829. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2002064>.
- Mikkelsen R. L., (2011), *The “4R” Nutrient Stewardship Framework for Horticulture.* Hort Technology. 21(6): 658–662.
- Miller, J.J., Curtin, D. (2008). Electric al conductivity and soluble ions. M.R. Carter, E.G. Gregorich (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis* (2nd ed.), CRC Press, Boca Raton, FL (2008), pp. 187-194
- Min, J., Zhang, H.L., Shi, W.M., (2012). *Optimizing nitrogen input to reduce nitrate leaching loss in greenhouse vegetable production.* Agric. Water Manage. 111, 53–59.
- Miralles, D. J. and Slafer, G. A. (1999). *Wheat development In Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination* (Eds E. H. Satorre & G. A. Slafer), pp. 13–43. New York: Food Product Press.



- Mohammed, Y.A., Kelly, J., Chim, B.K., Rutto, E., Waldschmidt, K., Mullock, J., Torres, G., Desta, K.G., Raun, W., (2013). *Nitrogen fertilizer management for improved grain quality and yield in winter wheat in Oklahoma*. J. Plant Nutr 36, 749–761. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2012.754039>.
- Moll, R. H., E. J. Kamprath, and W. A. Jackson. (1982). *Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization*. Agron. J. 74:562-564.
- Morgan, J.A. 1984. *Interaction of water supply and N in wheat*. Plant Physiology 76:
- Mosier, A.R., Guenzi, W.D., Schweizer, E.E., (1986). *Field denitrification estimation by nitrogen-15 and acetylene inhibition techniques*. Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 831–833.
- Moss, B., Jeppesen, E., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Liu, Z., (2013). *Nitrogen, macrophytes, shallow llake and nutrient limitation: resolution of a current controversy?* Hydrobiologia 710 (1), 3–21.
- Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N., Foley, J., (2012). *Closing yield gaps through nutrient and water management*. Nature 490, 254–257. <http://dx.doi.org/10.1038/nature 11420>.
- Musick, J.T., Jones, O.R., Stewart, B.A., Dusek, D.A., (1994). *Water-yield relationships for irrigated and dryland wheat in the US Southern Plains*. Agron. J. 86, 980–986.
- Nelson, K.A., Scharf, P.C., Bundy, L.G., Tracy, P., (2008). *Agricultural management of enhanced-efficiency fertilizers in the North-Central United States*. Crop Manage. Plant Manage. Network, doi:10.1094/CM-2008-0730-03-RV.
- Nesbitt, M. (2001). *Wheat evolution integrating: archaeological and biological evidence*. In *Wheat taxonomy: the legacy of John Percival*, vol. 3, Linnean, Special Issue. Edited by P. D. S. Caligari and P. E. Brandham, London: Linnean Society, pp. 37-59.
- Novoa, R., Loomis, R.S., (1981). *Nitrogen and plant production*. Plant and Soil 58, 177–204.
- Nyikako, J., Schierholt, A., Kessel, B., Becker, H.C., (2014). *Genetic variation in nitrogen uptake and utilization efficiency in a segregating DH population of winter oilseed rape*. Euphytica 199, 3–11.
- Oita A, Malik A, Kanemoto K, Geschke A, Nishijima S, Lenzen M (2016) *Substantial nitrogen pollution embedded in international trade*. Nature Geoscience, 9, 111–115.
- Oldeman, L., Hakkeling, Ru, Sombroek, W.G., (1990). *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note*: International Soil Reference and Information Centre.
- Otteson, B.N., Mergoum, M., Ransom, J.K., (2007). *Seeding rate and nitrogen management effects on spring wheat yield and yield components*. Agron. J. 99(6), 1615–1621.
- Pecetti, L. and Annicchiarico, P. (1998). *Agronomic value and plant type of Italian durum wheat cultivars from different eras of breeding*. Euphytica 99: 9-15.
- Peel, J.L., Haeuber, R., Garcia, V., Russell, A.G., Neas, L., (2013). *Impact of nitrogen and climate change interactions on ambient air pollution and human health*. Biogeochemistry 114 (1), 121–134.

- Pendleton, J.W. (1954). *The Effect of Lodging on spring Oat Yields and Test Weight*. *Agronomy Journal* 46: 265-267.
- Peng S., F.V. Garcia, R.C. Laza, A.L. Sanico, R.M. Visperas and K.G. Cassman. (1996). *Increased N use efficiency using a chlorophyll meter on highyielding irrigated rice*. *Field Crops Res.* 47: 243-252.
- Perrino, P., Laghetti, G., D' Antuono, L.F., Al Ajlouni, M., Kanbertay, M., Szabó, A.T. and Hammer, K. (1996). *Ecogeographical distribution of hulled wheat species*. In: Paludosi S., Hammer K. & Heller J. *Hulled Wheats*. Proceedings of the 1st International Workshop on hulled Wheats, 21-22 July 1995, Castelvecchio Pascoli, Tuscany, Italy, IPGRI, pp. 100-118.
- Petersen, R.G. and Calvin, L.D. (1996). Sampling. In Sparks DL (ed) *Methods of soil analysis: chemical methods*. Part 3. Soil Science Society of America book series no. 5. ASA-SSSA, Madison
- Peterson, R. F. (1965). *Wheat: Botany, Cultivation, and Utilization* (World Crops Books), Leonard Hill.
- Pfeiffer, W. H., and McClafferty, B. (2007). *Harvest Plus: breeding crops for better nutrition*. *Crop Sci.* 47(Suppl. 3), S88–S105.
- Piekielek, W.P., R.H. Fox, J.D. Toth and K.E. Macneal. (1995). *Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency*. *Argon. J.* 87: 403-408.
- Pinthus, J.M. (1973) Lodging in wheat barley, and oats: the Phenomenon, its causes, and Preventive measures. *Advances in Agronomy*, 25: 209-263
- Plant Nutrition* 27: 557-569.
- Poehlman, M.J. and Sleper, D.A. (1995). *Breeding Field Crops*. 4th Edition. Iowa State University Press. Ames, Iowa, U.S.A. pp. 1-494.
- Pursell Inc. (1992). *Coating Thickness Effects. Nutrient Release and Nutrient Analysis*. Pursell Industries, Inc., Sylacauga, Alabama, USA.
- Rashid, M.I., Mujawar, L.H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I.M.I., Oves, M., (2016). *Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils*. *Microbiol. Res.* 183, 26–41.
- Raun, W.R., Johnson, G.V., Phillips, S.B., Westerman, R.L. (1998). Effect of long-term N fertilization on soil organic C and total N in continuous wheat under conventional tillage in Oklahoma. *Soil Tillage Research*, 47, 323–330.
- Raven, J. A. (1985). *Regulation of pH and generation of osmolarity in vascular plants: A cost benefit analysis in relation to efficiency of use of energy, nitrogen and water*. *New Phytol.* 101, 25–77.
- Ray, K.D., Mueller, D.N., Paul, C. W., Foley, A.J. (2013). Yield Trends are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PLoS One*, 8(6), e66428. doi.org/10.1371/journal.pone.0066428
- Recous, S., Machet, J.-M., (1999). *Short-term immobilisation and crop uptake of fertiliser N applied to winter wheat: effect of date of application in spring*. *Plant Soil* 206, 137–149. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004377006602>.

- Reynolds, M.P., Rajaram, S., Sayre, K.D. (1999). Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post-green revolution period and approaches for meeting projected global demand. *Crop Science*. 39, 1611- 1621.
- Reynolds, R., Yem, A., Wolfe, C., Deibel, M., Chidester, C., & Watenpaugh, K. (1999). Crystal structure of the catalytic subunit of Cdc25B required for G<sub>2</sub>/M phase transition of the cell cycle 1. Edited by I. A. Wilson. *Journal of Molecular Biology*, 293(3), 559-568. doi: 10.1006/jmbi.1999.3168
- Robertson, G., Vitousek, P.M., (2009). *Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource*. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 34, 97–125.
- Ruidisch, M., Bartsch, S., Kettering, J., Huwe, B., Frei, S., (2013). *The effect of fertilizerbest management practices on nitrate leaching in a plastic mulched ridgescultivation system*. *Agric. Ecosyst. Environ.* 169, 21–32.
- Sadras, V.O., Angus, J.F., (2006). *Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments*. *Crop Pasture Sci.* 57, 847–856.
- Sahrawat, K. L. and Tandon H. L. S.,(1993) *Forms Properties and Dissolution of Controlled-Release Nitrogenous Fertilizers*, Proceedings of Dahlia Greidinger Memorial International Workshop on Controlled/Slow Release Fertilizers, Haifa Israel.
- Sairam, R.K. and Singh, S.S. (1989). *N-use efficiency, N-assimilation and morpho-physiological traits in barley*. *Rachis* 8 (2): 26-28.
- Sakudo, K. and T. Kawase. (1953). *Inheritance of the height of plant and the heading duration in barley*. *Proc. Japan Breeding Soc.* 5: 40.
- Saussure N.T.de (1804). *Recherches Chimiques sur la vegetation*. Paris: V Nyon.
- Schillinger, W.F., Schofstoll, S.E., Alldredge, J.R., (2008). *Available water and wheat grain yield relations in a Mediterranean climate*. *Field Crops Res.* 109, 45–49.
- Schlesinger, W.H., (2009). *On the fate of anthropogenic nitrogen*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106 (1), 203–208.
- Schmitz, A., Bawden, D.L., (1973). *The World Wheat Economy: An Empirical Analysis*. University of California, Berkeley.
- Schröder, J.J., Neeteson, J.J., Oenema, O., Struik, P.C., (2000). *Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art*. *Field Crops Res.* 66, 151–164. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00072-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00072-1).
- Sethi. (1974). *Relative importance of forage yield component in barley (Hordeum sativum jess)*. *Forage res.* 4: 53-59.
- Shahandeh, H., Wright, A.L., Hons, F.M., Lascano, R.J., (2005). *Spatial and temporalvariation of soil nitrogen parameters related to soil texture and corn yield*.*Agron. J.* 97, 772–782.
- Shan, L.N., He, Y.F., Chen, J., Huang, Q., Lian, X., Wang, H.C., Liu, Y.L., (2015). *Nitrogensurface runoff losses from a Chinese cabbage field under different nitrogentreatments in the Taihu Lake Basin, China*. *Agric. Water Manage.* 159, 255–263.

- Shanahan, J.F., Kitchen, N.R., Raun, W.R., Schepers, J.S., (2008). *Responsive in-season nitrogen management for cereals*. *Comput. Electron. Agric.* 61, 51–62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2007.06.006>.
- Shangguan, Z.P., M.A. Shao and J. Dyckmans. 2000. *Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winterwheat*. *J. Plant Physiology* 156: 46-51.
- Shangguan, Z.P., Shao, M.A., Lei, T.W., Fan, T.L., (2002). *Run off water management technologies for dryland agriculture on the Loess*. *Int. J. Sust. Dev. World* 9, 341–350.
- Shao, G., Li, Z., Ning, T., Zheng, Y.,(2013). *Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and grain yield of maize to controlled-release urea and irrigation after anthesis*. *J. Plant Nutrit. Soil Sci.* 176, 595–602.
- Sharif, R. and Dale, J. (1980). Growth-Regulating Substances and the Growth of Tiller Buds in Barley; Effects of IAA and GA<sub>3</sub>. *Journal of Experimental Botany*, 31(5), pp.1191-1197.
- Sharma, R.C., E.L. Smith and R.W. McNew. (1987). *Stability of harvest index and grain yield in winter wheat*. *Crop. Sci.* 27: 104-107.
- Shaviv, A. (2000). *Advances in Controlled Release of Fertilizers*. “Advances in Agronomy”, 71:1-49 Word version, before printing. Faculty of Agricultural Engineering, Technion, IIT
- Shaviv, A. (2005): *Controlled Release Fertilizers. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association Paris, France.
- Shaviv, A., (2001). *Advances in controlled-release fertilizers*. *Advances in Agronomy*. Academic Presspp. 1–49.
- Shaviv, A., Mikkelsen, R., (1993). *Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation—a review*. *Fert. Res.* 35, 1–12.
- Shaw, B., T.H. Thomas and D.T. Cooke. (2002). *Responses of sugar beet (Beta vulgaris*
- Shepard, F.P. (1954) Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24 (3): 151-158.
- Shewry P. R. (2009). *Wheat*. *Journal of Experimental Botany* 60: 1537-1553.
- Shoji, S. & Gandeza A.T. (1992). *Controlled release fertilizers with polyolefin resin coating*, Kanno Printing Co. Ltd. Sendai, Japan.
- Shoji, S., Delgada, J., Mosier, A., Miura, Y., (2001). *Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality*. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32 (7), 1051–1070.
- Shukla, A.K., J.K. Ladha, V.K. Singh, B.S. Dwivedi, V. Balasubramanian, R.K. Gupta, S.K. Sharma, Y. Singh, H. Pathak, P.S. Pandey, A.T. Pandre, R.L. Yadav. 2004. *Calibrating the Leaf Color Chart for Nitrogen Management in Different Genotypes of Rice and Wheat in a Systems Perspective*. *Agronomy Journal* 96: 1606-1621.
- Sogaard, B., R.A. Nillan and D.Von Wettstein. (1984). Master list of barley genes. *Barley Genet. Newsl.* 14: 140-172.

- Stallknecht, G.F., Gilbertson, K.M. & Ranney J.E. (1996). *Alternative wheat cereals as food grains: Einkorn, emmer, spelt, kamut, and triticale*. In: J. Janick (Ed.), *Progress in new crops*. (pp. 156-170), Alexandria: ASHS Press.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell S, E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S., (2015). *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet*. *Science* 347. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Steward W. M, D. W. Dibb, A. E. Johnston and T. J. Smyth (2005). *The Contribution of Commercial Fertilizer Nutrients to Food Production*, *Agronomy Journal* 97, 1-6.
- Stewart, B.A., (1988). *Dryland farming: the North American experience*. In: Unger, P.W. (Ed.), *Proc. Int. Conf on Dryland Farming, Challenges in Dryland Agriculture*, Amarillo/Bushland, TX. 15–19 Aug. (1988). Texas Agric. Exp. Stn., College Station.
- Sutton MA, Oenema O, Erisman JW, Leip A, Van Grinsven H, Winiwarter W (2011) *Too much of a good thing*. *Nature*, 472, 159–161.
- Sylvester-Bradley R, Kindred DR (2009) *Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency*. *J Exp Bot* 60(7):1939–1951.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. 4<sup>th</sup>Ed. Sinauer Associates.
- Takahashi, R., J. Hayashi, T. Konishi and I. Moriya. (1975). *Linkage analysis of barley*
- Thorburn, P.J., Biggs, J.S., Meier, E.A., Empson, M., Palmer, J., Verburg, K., Skocaj, D.M., (2014). *Increasing nitrogen use efficiency in Australian sugarcane crops: insights from simulation modelling. A Review of Nitrogen Use Efficiency in Sugarcane*. Research Report. Sugar Research Australiapp. 180–225 (Chapter 6).
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S.,(2002). *Agricultural sustainability and intensive production practices*. *Nature* 418, 671–677. <http://dx.doi.org/10.1038/nature01014>.
- Tilman, D., Clark, M., (2014). *Global diets link environmental sustainability and human health*. *Nature* 515, 515–522.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., Antonio, C.D., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W.H., Simberloff, D., Swackhamer, D., (2001). *Forecasting agriculturally driven global environmental change*. *Science* 292, 281–284.
- Tomkins, D.K., Fowlel D.B., Wright A.T., (1991) Water use by no-till winter wheat influence of seed rate and row spacing. *Agronomy Journal*, 83, 766-769.
- Torbert, H.A., Potter, K.N., Jejr, M., (2001). *Tillage system, fertilizer nitrogen rate, and timing effect on corn yields in the Texas Blackland Prairie*. *Agron. J.* 93 (5), 1119–1124.
- Tranavičienė, T., A. Urbonavičiūtė, G. Samuolienė, P. Duchovskis, I. Vagusevičienė and A. Sliesaravičius. (2008). *The effect of differential nitrogen fertilization on photosynthetic pigment and carbohydrate contents in the two winter wheat varieties*. *Agronomy Research* 6(2): 555–561.
- Trenkel, M.E. (1997): *Improving Fertilizer Use Efficiency. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture*. The International Fertilizer Industry Association, Paris.

- Trenkel, M.E. (2010). *Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture*. International Fertilizer Industry Association (IFA) Paris, France.
- Tsuchiya, T. 1984b. List of barley genetics stocks. *Barley Genet. Newsl.* 14: 140- 149.
- Van der Velde, M., Folberth, C., Balkovic, J., Ciais, P., Fritz, S., Janssens, I.A., Obersteiner, M., See, L., Skalsky, R., Xiong, W., Penuelas, J., (2014). *African crop yield reductions due to increasingly unbalanced nitrogen and phosphorus consumption*. *Glob. Change Biol.* 20, 1278–1288.
- Vashisht, B.B., Nigon, T., Mulla, D.J., Rosen, C., Xu, H., Twine, T., Jalota, S.K., (2015). *Adaptation of water and nitrogen management to future climates for sustaining potato yield in Minnesota: field and simulation study*. *Agric. WaterManage.* 152, 198–206.
- Vassilyadi, F., Panteliadou, A.-K., Panteliadis, C., (2013). *Hallmarks in the history of enteral and parenteral nutrition: From antiquity to the 20th century*, *Nutrition in Clinical Practice*, 28(2):209-217
- Verburg, K., Biggs, J.S., Zhao, Z., Thorburn, P.J., (2017). *Potential production and environmental benefits from controlled release fertilisers — lessons from a simulation analysis*. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists* 39, 239–250.
- Verburg, K., Harvey, T.G., Muster, T.H., Brennan McKellar, L.E., Thorburn, P.J., Biggs, J.S., Di Bella, L.P., Wang, W., (2014). *Use of enhanced efficiency fertilisers to increase fertiliser nitrogen use efficiency in sugarcane*. *A Review of Nitrogen Use Efficiency in nitrogen, Field Crops Res.* 48, 223-233
- Verburg, K., Zhao, Z., Biggs, J.S., Thorburn, P.J., (2016). *Controlled release fertilisers lessons from a review and early results characterising release, synchrony and nitrogen losses*. *Int. Sugar J.* 118 (1414), 764–770 (reprinted from *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists* 38, 159–169.
- Wang, H., Zhang, Y., Chen, A., Liu, H., Zhai, L., Lei, B., & Ren, T. (2017). *An optimal regional nitrogen application threshold for wheat in the North China Plain considering yield and environmental effects*. *Field Crops Research*, 207, 52-61.
- Wang, Q., J. Chen and Y. Li. 2004. *Nondestructive and rapid estimation of leaf*
- Wang, W.N., Lu, J.W., Ren, T., Li, X.K., Su, W., Lu, M.X., (2012). *Evaluating regional mean optimal nitrogen rates in combination with indigenous nitrogen supply for rice production*. *Field Crops Res.* 137, 37–48.
- Warren, C. R. and Adams, M. A. (2006). *Internal conductance does not scale with photosynthetic capacity: implications for carbon isotope discrimination and the economics of water and nitrogen use in photosynthesis*. *Plant Cell and Environment* 29: 192-201.
- Welch, R. M., and Graham, R. D. (2004). *Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective*. *J. Exp. Bot.* 55, 353–364.
- Welch, R.M., Graham, R.D., (1999). *A new paradigm for world agriculture: meeting human needs: productive, sustainable, nutritious*. *Field Crops Res.* 60, 1–10.
- White, P. J., and Broadley, M. R. (2009). *Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets—iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine*. *New Phytol.* 182, 49–84.

- Wieser, H. and Seilmeier, W. (1998) The influence of nitrogen fertilisation on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76 (1): 49-55.
- Winter, S.R. and A.D. Welch. (1987). *Tall and semidwarf wheat response to dryland planting systems*. *Agronomy J.* 79: 641-645.
- Wood, C.W., D.W. Reeves and D.G. Himelrick. (1993). *Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield*. A review. *Proc. Agron. Soc. N.Z.* 23: 1-9.
- Wright, I. J., Reich, B. P., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F. et al. (2004). *The worldwide leaf economics spectrum*. *Nature* 428: 821-827.
- Wych R.D., Simmons S.R., Warner R.L., Kirby E.J.M., (1985). *Physiology and Development*. In: *Barley* edited by Rasmusson D.C. *Agronomy* 26.
- Xu, X.P., He, P., Qiu, S.J., Pampolino, M.F., Zhao, S.C., Johnston, A.M., Zhou, W., (2014). *Estimating a new approach of fertilizer recommendation across smallholder farms in China*. *Field Crops Res.* 163, 10–17.
- Xue, Y. F., Yue, S. C., Zhang, Y. Q., Cui, Z. L., Chen, X. P., Yang, F. C., et al. (2012). *Grain and shoot zinc accumulation in winter wheat affected by nitrogen management*. *Plant Soil* 361, 153–163.
- Yang, J., and Zhang, J. (2006). *Grain filling of cereals under soil drying*. *New Phytol.* 169, 223–236.
- Ye, Y., Liang, X., Chen, Y., Liu, J., Gu, J., Guo, R., Li, L., (2013). *Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation yield, water and nitrogen use*. *Field Crops Res.* 144, 212–224.
- Zebarth, B.J., Botha, E.J., Rees, H., (2007). *Rate and time of fertilizer nitrogen application on yield, protein and apparent efficiency of fertilizer nitrogen use of spring wheat*. *Can. J. Plant Sci.* 87, 709–718. <http://dx.doi.org/10.4141/CJPS06001>.
- Zeleny, L. (1971). *Criteria of wheat quality*. *Wheat Chemistry and Technology*. Monograph Series pp. 19-44.
- Zhang F, Cui Z, Fan M, Zhang W, Chen X, Jiang R (2011). *Integrated soil–crop system management: reducing environmental risk while increasing crop productivity and improving nutrient use efficiency in China*. *Journal of Environmental Quality*, 40, 1051–1057.
- Zhang, S.L., Cai, G.X., Wang, X.Z., Xu, Y.H., Zhu, Z.L., Freney, J.R., (1992). *Losses of urea–nitrogen applied to maize grown on a calcareous fluvo-aquic soil of North China Plain*. *Pedosphere* 2, 171–178.
- Zhang, S.L., Zhu, Z.L., Xu, Y.H., (1989). *The transformation of urea and the fate of fertilizer nitrogen in Fluvo-Aquic soil–winter wheat system in flooded plain of Huanghe river*. *Acta Agric. Nucl. Sinica* 3, 9–15 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W.L., Tian, Z.X., Zhang, N., Li, X.Q., (1996). *Nitrate pollution of groundwater innorthern China*. *Agric. Ecosyst. Environ.* 59, 223–231.

- Zhang, X.C., F.S. Zhang, X.F Yu, X.P. Chen. 2010. *Effect of Nitrogen nutrition on photosynthetic function of wheat leaf under elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration*. *Acta Agronomica Sinica* 8: 1362-1370.
- Zhao, P., Yang, F., Sui, F., and Wang, Q. (2013). *Effect of combined application of Zn and N fertilizers on nitrogen use, grain yield and protein content in winter wheat*. *J. China Agric. Univ.* 18, 28–33.
- Zhao, P., Yang, F., Sui, F., Wang, Q., and Liu, H. (2016). *Effect of nitrogen fertilizers on zinc absorption and translocation in winter wheat*. *J. Plant Nutr.* 39, 1311–1318.
- Zhao, Z., Verburg, K., (2015). *Modelling nitrogen uptake by sugarcane crops to inform synchrony of N supply from controlled release fertiliser*. In: MODSIM2015, 21st International Congress on Modelling and Simulation. Gold Coast, December 2015. pp. 420–426.
- Zheng, X., Han, S., Huang, Y., Wang, Y., and Wang, M. (2004). *Re-quantifying the emission factors based on field measurements and estimating the direct N<sub>2</sub>O emission from Chinese croplands*. *Global Biogeochem. Cycles* 18, 60–70.
- Zhu, Q., Zhang, M., Ma, Q., (2012). *Copper-based foliar fertilizer and controlled release urea improved soil chemical properties, plant growth and yield of tomato*. *Sci. Hort.* 143, 109–114.
- Zhu, Z.L., Chen, D.L., (2002). *Nitrogen fertilizer use in China – contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies*. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 63, 117–127.
- Zubriski, J.C., E.H. Vasey and E.B. Norum. (1970). *Influence of nitrogen and potassium fertilizers and dates of seeding on yield and quality of malting barley*. *Agron. J.* 62:216-219.



## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δαμαλάς Χ.Α. και Κουτρούμπας Σ.Δ. (2012). Γεωργία - Κτηνοτροφία 6, 34-39.
- Δαναλάτος Ν.Γ. Οκτώβριος (2005). “Σημειώσεις ειδικής γεωργίας Γ” (χειμερινά σιτηρά και καρποδοτικά ψυχανθή), Βόλος.
- Δημόπουλος, Ι.Σ. (1987). *Τεχνολογία Σιτηρών* Ι. ΥΠΕΠΘ, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων, ΟΕΔΒ, Αθήνα, pp. 1-123.
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (2016). Δελτίο Τύπου, Ετήσια Γεωργική Έρευνα Έτους 2013.
- Ηρακλή, Μ. και Κλεισιάρης, Φ. (2010). *Ποιότητα σκληρού και μαλακού σίτου εσοδείας 2010*. Ινστιτούτο Σιτηρών Θεσσαλονίκης, ΕΘΙΑΓΕ. Επιστημονικό δελτίο αρ. 7 - Νέα Σειρά, Θεσσαλονίκη, 1-19.
- Θεουλάκη, Ε., Θεουλάκης, Ν., Γριβάκου, Π. και Παπαστεφάνου, Σ. (1990). *Επίδραση του περιβάλλοντος στην απόδοση και σε ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κριθαριού (H. vulgare)*. Πρακτικά 3ου Συνεδρίου Ελληνικής Επιστημονικής Εταιρείας Γενετικής-Βελτίωσης των φυτών, Αθήνα, 16-18 Οκτωβρίου, 43-44.
- Θεουλάκης, Ν., Ε. Θεουλάκη, Σ. Παπαστεφάνου, Κ. Μπλαδενόπουλος, Ε. Τσιβοπούλου, Ε. Λαζάρου, Θ. Αδαμίδης, και Ι. Ευσταθίου. (1992). *Επίδραση της λίπανσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κριθαριού. (H. vulgare)*. Πρακτικά 4ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο, Έδεσσα. Τόμος Α σελ: 247-256.
- Θεουλάκης, Ν., Ε. Οικονόμου, και Κ. Μπλαδενόπουλος. (1992). *Δείκτης συγκομιδής και απόδοση στο κριθάρι (H. vulgare)*. 4ο Συνέδριο Ελληνικής Επιστημονικής Εταιρείας Γενετικής και Βελτίωσης των Φυτών, Θεσσαλονίκη. Πρακτικά σελ: 52.
- Ινστιτούτο Σιτηρών. (1991). *Οι ελληνικές ποικιλίες σιτηρών και η καλλιέργειά τους*. Υπουργείο Γεωργίας, ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., Αθήνα 1991, 1-161.
- Ιωαννίδης, Α. (1996). *Η εξέλιξη της καλλιέργειας των σιτηρών στην Ελλάδα. Περίοδος 1919-1995*. Θεσσαλονίκη.
- Καραμάνος, Α,Ι, (1987). *Τα σιτηρά εύκρατων κλιμάτων*. Αθήνα 1987.
- Κέντρο εξυπηρέτησης Αγροτών-1540
- Κεφαλάς Π.Σ.,(2002) *Τεχνολογία και Έλεγχος Τροφίμων*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΑΤΕΙ-Θεσσαλονίκης,.
- Κοκολιός, Β. (1959). *Αι καλλιεργούμενες ποικιλίες σίτου εν Ελλάδι*. Υπουργείον Γεωργίας, Ινστιτούτον Καλλιτερεύσεως Φυτών, Αρ. δελτίου 3, Θεσσαλονίκη, 1-78.
- Κορπέτης Ε. (2018). *Ο ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ στην παραγωγή σπόρων Σιτηρών*. Ινστιτούτο Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων, Θεσσαλονίκη.
- Κορπέτης, Ε. (2014). Αξιολόγηση δώδεκα τοπικών ποικιλιών μαλακού σιταριού (*Triticum aestivum* L.) σε δύο περιβαλλοντικές συνθήκες. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Βόλος, 158 σελ.
- Κορπέτης, Ε., Ηρακλή, Μ. και Κλεισιάρης, Φ. (2013). *Αρχαία σιτάρια: Προέλευση, Χημική Σύσταση, Προοπτικές*. Γεωπονικά 457: 2-20.

- Κουκουλάκης Π. Χ. (1995). Βασικές αρχές της ορθολογικής λίπανσης των καλλιεργειών, Γεωρ. Κτην., τεύχος 9, σελ. 43-6.
- Κυζεριδής, Ν., Λιακοπούλου-Γριβάκου, Π. και Καρτίτση, Ε. (2000). *Μελέτη της απόδοσης έξι ποικιλιών σκληρού σιταριού (Triticum turgidum conyn durum) σε συνθήκες αραιής σποράς*. Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Επιστημονικής Εταιρείας Γενετικής Βελτίωσης Φυτών: «Προστασία και Βελτίωση Φυτικών Γενετικών Πόρων. Απολογισμός – Προοπτικές στην Απαρχή του 21ου Αιώνα», Άρτα, 23-25 Οκτωβρίου, 187-194.
- Μεντζέλος, Ι.Α. (1972). *Συμβολή εις την μελέτην των Πεντατομιδών Eurygaster austriaca ως και των ωοφάγων ενδοπαρασίτων αυτών Trissolcus grandis Thoms. και Trissolcus simony Mayr (Proctotrupoidea - Scelionidae)*. Θεσσαλονίκη: Διατριβή επί υφηγεσία.
- Μπαξεβάνος Δ. (2011). *Συνθήκες για την παραγωγή σκληρού σιταριού υψηλής ποιότητας* Ινστιτούτο Σιτηρών. ΕΘΙΑΓΕ 43, 17-19
- Μπλαδενόπουλος, Κ. (1998). *Μελέτη φυσιολογικών και αγρονομικών χαρακτήρων που σχετίζονται με την απόδοση και την ποιότητα του κριθαριού. (Hordeum vulgare L.)* Διδακτορική διατριβή Α.Π.Θ., Αριθμός 20 του 30ου τόμου, 1-94.
- Μπλαδενόπουλος, Κ. (2002). *Το ύψος του φυτού και η σχέση του με άλλα γνωρίσματα στο κριθάρι (H. vulgare L.)*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Σειρά Ι, 13(4): 39-46.
- Μπλαδενόπουλος, Κ. και Γκατζιάνας Α., (2001). *Η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης σε αγρονομικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του κριθαριού (Hordeum vulgare L.)*. Αγροτική έρευνα. 24 (2): 21-28.
- Ναβροζίδης Ε., Ανδρεάδης Σ., (2012) *Ειδική Γεωργική Εντομολογία*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Copy City ΕΠΕ.
- Ξυνιάς, Ι.Ν. (2004). *Βελτίωση Φυτών*. Εργαστηριακές Ασκήσεις. Αθήνα: ΤΕΙ Καλαμάτας.
- Παπαδάκης, Ι. (1983). *Το ελληνικό γεωργικό και οικονομικό θαύμα (1922-1983). Διδάγματα για τους ξένους και για μας*. Ομιλία του ακαδημαϊκού κ. Ι. Παπαδάκη. Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών, Τόμ. 58.
- Παπακώστα - Τασοπούλου, Δ., (2008) *Ειδική Γεωργία Ι* τεύχος Α Σιτηρά (χειμερινά εαρινά) Θεσσαλονίκη: Σύγχρονη παιδεία.
- Παπακώστα, Δ. (1996). *Ειδική Γεωργία Ι*. Θεσσαλονίκη.
- Παπακώστα-Τασοπούλου, Δ. (2008). *Σιτηρά: Χειμερινά-Εαρινά*, Θεσσαλονίκη: Σύγχρονη Παιδεία.
- Σιμώνης, Α. (1987): *Αποτελεσματικότητα αζώτου στα σιτηρά*. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Λάρισα: 27-48.
- Σκόρδα, Ε. και Κορπέτης, Ε. (1998). *Κλιματολογικές και ποικιλιακές επιδράσεις στο ναλώδες και το βάρος 1000 κόκκων ποικιλιών σκληρού σιταριού*. Περίληψεις 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Επιστημονικής Εταιρείας Γενετικής Βελτίωσης Φυτών, Ηράκλειο Κρήτης, 21-23 Οκτωβρίου, p. 71.
- Σφήκας, Α. (1995). *Ειδική Γεωργία Ι*. Σιτηρά, Ψυχανθή και Χορτοδοτικά Φυτά., Θεσσαλονίκη: Α.Π.Θ., Υπηρεσία Δημοσιευμάτων.

- Σφήκας, Α. Γ. (1984). *Ειδική Γεωργία*. Ι. Σιτηρά, ψυχανθή και χορτοδοτικά φυτά. Έκδοση Τρίτη. Θεσσαλονίκη.
- Τσατσαρέλης Κ. (2003). *Μηχανική συγκομιδή γεωργικών προϊόντων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.
- Τσιάρας, Ν. (1999). *Δύναμη των αλεύρων*. Αθήνα: Α.Τ.Ε.Ι. Αθήνας
- Τσιπρόπουλος Τ.Α., Σιμώνης Α.Δ., Μπλαδανοπούλου Σ., (1990). Χαρακτηριστικά πρόσληψης Ν, και σκληρού και μαλακού σιταριού. *Πρακτικά 4<sup>ο</sup> Πανελλήνιου Εδαφολογικού Συνεδρίου*. σελ 157-169.
- Χρηστίδης, Β. (1963). *Χειμωνιάτικα σιτηρά*. Δεύτερη έκδοση. Θεσσαλονίκη.

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- [www.haifa-group.com](http://www.haifa-group.com) (Τελευταία ανάκτηση 3/5/2018).
- [http://amazonsday.blogspot.gr/2013/06/blog-post\\_9.html](http://amazonsday.blogspot.gr/2013/06/blog-post_9.html) (Τελευταία ανάκτηση 02/06/2018)
- <http://argolikivivliothiki.gr> (Τελευταία ανάκτηση 02/04/2018)
- [http://mail.plantgenera.org/epithet.php?epithet=vulgaris.-is.-e&lav\\_out=1&hd=0](http://mail.plantgenera.org/epithet.php?epithet=vulgaris.-is.-e&lav_out=1&hd=0)(Τελευταία ανάκτηση 02/05/2018)
- <http://www.cerealinstitute.gr>. (Τελευταία ανάκτηση 03/10/2016)
- [http://www.ers.usda.gov/datafiles/Wheat\\_Wheat\\_Data/Yearbook\\_Tables/World\\_Production\\_Supply\\_and\\_Disappearance/wheatyearbooktable03.xls](http://www.ers.usda.gov/datafiles/Wheat_Wheat_Data/Yearbook_Tables/World_Production_Supply_and_Disappearance/wheatyearbooktable03.xls). (Τελευταία ανάκτηση 16/04/2018)
- <http://www.fao.org/statistics/en/> (Τελευταία ανάκτηση 15/04/2018)
- <http://www.minagric.gr>. (Τελευταία ανάκτηση 02/04/2018)
- <http://www.paseges.gr/el/news/Ekthesh-ths-PASEGES-gia-thn-agora-sithrwn> (Τελευταία ανάκτηση 20/04/2018)
- <http://www.statistics.gr>. (Τελευταία ανάκτηση 09/05/2018)
- <http://www.summagallicana.it> (Τελευταία ανάκτηση 02/06/2018)
- [www.ipgrb.gr](http://www.ipgrb.gr) (Τελευταία ανάκτηση 22/04/2018)
- [www.plantprotection.hu/modulok/gorog/wheat/morf\\_wheat.htm](http://www.plantprotection.hu/modulok/gorog/wheat/morf_wheat.htm) (Τελευταία ανάκτηση 02/06/2018)
- [www.prota4u.org](http://www.prota4u.org) (Τελευταία ανάκτηση 26/05/2018)