

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 2017-2018
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΓΕΩΡΓΙΑ, ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΥΤΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

*ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ
ΣΤΑΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΕΡΗ
ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΣΚΛΗΡΟΥ ΣΙΤΟΥ*

Δημήτριος Α. Αραμπατζής

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Γαρυφαλλιά Οικονόμου – Αντώνακα

Αθήνα 2019

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 2017-2018
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΓΕΩΡΓΙΑ, ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΥΤΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Εκτίμηση του κατάλληλου βιολογικού σταδίου για την
αποτελεσματικότερη άρδευση του σκληρού σίτου»

Δημήτριος Α. Αραμπατζής

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Γαρυφαλλιά Οικονόμου – Αντώνικα

ΑΘΗΝΑ 2019

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 2017-2018
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΓΕΩΡΓΙΑ, ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΥΤΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Εκτίμηση του κατάλληλου βιολογικού σταδίου για την
αποτελεσματικότερη άρδευση του σκληρού σίτου»

Δημήτριος Α. Αραμπατζής

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Επιβλέπουσα: Γαρυφαλλιά Οικονόμου - Αντώνιακα, Καθηγήτρια

Μέλος: Νικόλαος Δέρκας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Μέλος: Παναγιώτα Παπαστυλιανού, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

ΑΘΗΝΑ 2019

Την καλλιεργητική περίοδο 2017-2018 σε στέγαστρο εντός του πειραματικού αγρού του εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, διερευνήθηκε η καταλληλότητα του σταδίου ανάπτυξης του σκληρού σιταριού (*Triticum turgidum* ssp. *Durum*, «var. *Svevo*») ως προς την αποδοτικότερη άρδευση κάτω από συνθήκες ελεγχόμενης υδατικής καταπόνησης. Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων με κύριο παράγοντα τον χρόνο εφαρμογής της άρδευσης (βιολογικό στάδιο ανάπτυξης του σιταριού) με τρεις επαναλήψεις. Για την εκτίμηση των φαινολογικών σταδίων βάσει της οποίας έγινε ο προγραμματισμός της ελεγχόμενης άρδευσης χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα Zadoks.

Τα στάδια που πραγματοποιήθηκε η ελεγχόμενη άρδευση ήταν τα εξής: 32,37,49, 71 της κλίμακας Zadoks. Το στάδιο 32 αντιπροσωπεύει την ανάπτυξη του βλαστού-καλάμωμα και ειδικότερα είναι το στάδιο όπου ο 2 κόμβος είναι ανιχνεύσιμος ενώ το στάδιο 37 αντιπροσωπεύει την εμφάνιση του φύλλου σημαίας. Το στάδιο 49 αντιπροσωπεύει την εμφάνιση των πρώτων αγάνων ενώ το στάδιο 71 αντιπροσωπεύει τον υδατώδη καρπό. Παράλληλα, υπήρχαν φυτά τα οποία αρδεύτηκαν κανονικά καθώς και ξηρικά φυτά στα οποία δεν έγινε καμία άρδευση μετά την έναρξη των μεταχειρίσεων της ελεγχόμενης άρδευσης. Από τη σπορά και μέχρι την έναρξη των μεταχειρίσεων της άρδευσης χρησιμοποιήθηκε ως πηγή νερού εκτοξευτήρας και έπειτα έγινε εγκατάσταση αρδευτικού συστήματος στάγδην άρδευσης (σταλακτηφόρος αγωγός 16mm).

Στο παρόν πείραμα κατά την διάρκεια της καλλιέργειας και μετά το τέλος αυτής μελετήθηκε η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης, στον βιολογικό κύκλο των φυτών, στο υδατικό δυναμικό των φύλλων, στον φωτοσυνθετικό ρυθμό, στην απόδοση σε καρπό και βιομάζα, στον αριθμό σπόρων ανά στάχυ, αλλά και στον αριθμό στάχων ανά τετραγωνικό μέτρο, στον αριθμό των καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο, στο μήκος των στάχων, στο ύψος των φυτών, στο βάρος χιλίων κόκκων και στον συντελεστή συγκομιδής. Επίσης, εξετάστηκε η περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη ενώ μετρήθηκε ο αριθμός και το βάρος των καρπών ανά θέση στην ράχη του στάχου.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το στάδιο 37 κατά Zadoks (εμφάνιση φύλλου σημαίας) είχε την τάση να παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση (λιγότερη από τον αρδευόμενο μάρτυρα) σε σχέση με τις άλλες επεμβάσεις. Όσον αφορά την

περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη παρόλο που δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκε μία τάση με υψηλότερη συγκέντρωση στο στάδιο 37 σε σχέση με τις άλλες μεταχειρίσεις. Ο αριθμός των στάξεων ανά στάχυ δεν μεταβλήθηκε σημαντικά μεταξύ των σταδίων 32, 37 και 49.. Όσον αφορά το μέσο βάρος των καρπών, τη μεγαλύτερη ανταπόκριση παρουσίασε η άρδευση που έγινε στο στάδιο του υδατώδη καρπού, καθώς και στον αρδευόμενο μάρτυρα (Α). Όσον αφορά τον δείκτη υδατικού δυναμικού (WPI) έδειξε ότι ο αρδευόμενος μάρτυρας και τα φυτά στα οποία η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 37 της κλίμακας Zadoks είναι οι επεμβάσεις που υπέστησαν την λιγότερη καταπόνηση. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα υποστηρίζονται και από άλλους φυσιολογικούς μηχανισμούς που μελετήθηκαν, όπως ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, η αγωγιμότητα των στομάτων και η διακυτταρική συγκέντρωση του CO₂. Συγχρόνως διαπιστώθηκε επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου στον ξηρικό μάρτυρα και στα όπου η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks ενώ δεν επηρεάστηκε περιεκτικότητα με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης η περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη.

Επιστημονική περιοχή της εργασίας: άρδευση σίτου

Λέξεις κλειδιά: εμφάνιση φύλλου σημαίας, κλίμακα Zadoks, υδατικό δυναμικό, αποδοτικότητα χρήσης νερού, φωτοσύνθεση, απόδοση σε καρπό, περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη

«Evaluation of the suitable growing stage of durum wheat for the most efficient irrigation »

Abstract

The research for estimating the most efficient irrigation and for the suitability of the growing stage of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *Durum*, "var. Svevo") was conducted during 2017-2018 growing season within the experimental field of the Agricultural University of Athens. The selected experimental design was that of randomized complete groups design, with a main factor being the time of irrigation based on the biological stages of wheat growth and with three repetitions. The Zadoks scale was used to estimate the phenological stages under which the controlled irrigation was programmed.

The biological stages under which the controlled irrigation was applied, were as follows: 32,37,49,71 of the Zadoks scale. Stage 32 represents the growth of the main stem and in particular is the stage where the second node is detectable, while stage 37 represents the appearance and visibility of the flag leaf. Stage 49 represents the appearance of the first visible awns, while stage 71 represents the kernel water ripe. In addition, there were plants that were regularly irrigated as well as dry plants that were not irrigated after the start of controlled irrigation treatments. From the sowing date to the beginning of the controlled irrigation treatments, a water jet was used as a water source and afterwards a drip irrigation system was installed (drip irrigation 16 mm).

During the cultivation time and after the harvest, the effect of different irrigation levels of treatment was studied for the biological stages of plants, for the water potential of the leaves, for the photosynthetic rate, for the grain yield and biomass production, for the number of spikelets per spike, but also counting the number of spikes per square meter, the number of grains per square meter, the length of the spike, the height of the plants, the weight of one thousand grains and the harvest index. Furthermore, the protein content of the seeds was examined, while the number and weight of seeds were measured per position on the spine of spike.

The results showed that the stage 37 on Zadoks scale (appearance and visibility of the flag leaf) tended to show a higher yield (less than the irrigated control) than the

other irrigation treatments. Regarding the protein content, although it did not show statistically significant differences, a trend with a higher concentration was noticed in stage 37 compared to the other stages. The number of cobs per ear did not change significantly between stages 32, 37 and 49. Regarding the average weight of the grains, higher response was observed in stage 71 which represents the kernel water ripe, as well as in the irrigated control (A). Also the water potential index (WPI) showed that the irrigated control and the plants which were irrigated at the stage 37 of the Zadoks scale are the less stressed. Those results are also supported by other physiological mechanisms which were studied, such as photosynthesis rate, stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration. At the same time, the biological cycle was accelerated in the dry control plants and in the plants which the irrigation was carried out at stage 71 of the Zadoks scale, while the protein content was not significantly affected by the different irrigation treatments.

Scientific domain: wheat irrigation

Keywords: flag leaf visible, Zadoks growth scale, water potential, water use efficiency, photosynthesis, grain yield, protein content

Στους γονείς μου Αθανάσιο και Πηνελόπη
και στην αδελφή μου Παναγιώτα

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στην Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γ.Π.Α. κα. Γαρυφαλλιά Οικονόμου για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση του παρόντος θέματος, όπως επίσης και για το προσωπικό της ενδιαφέρον, την συνεχή καθοδήγηση και τις καίριες υποδείξεις της σε όλα τα στάδια πραγματοποίησης της μεταπτυχιακής μελέτης.

Επίσης, ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής κ. Νικόλαο Δέρκα και την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Γεωργίας κα. Παπαστυλιανού Παναγιώτα, για την συμμετοχή τους τόσο στην εξέταση και βαθμολόγηση της εν λόγω εργασίας. Ακόμη, πολύτιμη ήταν η συνεισφορά του Καθηγητή Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας κ. Ιωάννη Τσίρου.

Ιδιαίτερες θερμές ευχαριστίες οφείλω στον Δρ. Πέτρο Βαχαμίδα για την αδιάκοπη συνδρομή του, την συμπαράσταση, την βοήθεια αλλά και το έντονο προσωπικό ενδιαφέρον που έδειξε από την αρχή έως την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής καθοδηγώντας με προσεκτικά και ανοίγοντάς μου νέους δρόμους στην επιστημονική έρευνα.

Επιπροσθέτως, επιθυμώ να ευχαριστήσω την συνάδελφο Ευθυμίου Αντωνία που στάθηκε άξια συνοδοιπόρος καθ' όλη την διάρκεια αυτής της μελέτης όπως και το προσωπικό του Εργαστηρίου Γεωργίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδελφή μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους, την υλική αλλά κυρίως την ηθική, χωρίς την οποία δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση και επιτυχής ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Contents

Περίληψη	3
Abstract	5
Ευχαριστίες	8
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 ΤΟ ΣΙΤΑΡΙ	12
1.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	13
1.3 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΦΥΤΑ.....	14
1.3.1 ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	15
1.3.2 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΣ	17
1.3.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ.....	19
1.3.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ.....	20
1.3.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ.....	22
1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΡΙΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	23
1.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.....	24
1.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ.....	25
1.7 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	27
1.8 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	29
1.9 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	30
2. Υλικά & Μέθοδοι.....	32
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	32
2.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	32
2.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ.....	33
2.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	34
2.2.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	34
2.2.2 ΣΠΟΡΑ.....	35
2.2.3 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΧΘΡΩΝ	35
2.2.4 ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ	36

2.2.5 ΛΙΠΑΝΣΗ	37
2.2.6 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	37
2.2.7 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	39
2.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ- ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ.....	40
2.3.1 ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ.....	40
2.3.2 ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ(ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ (Ψ _L)).....	41
2.3.3 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	42
2.4 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	43
2.5 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	44
2.5.1 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΣΤΟΥΣ ΣΠΟΡΟΥΣ.....	44
2.5.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ	44
2.5.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	44
3. Αποτελέσματα	45
3.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	45
3.2 ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ-ΚΛΙΜΑΚΑ ΖΑΔΟΚΣ	46
3.3 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	48
3.3.1 ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	48
3.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ(WATER POTENTIAL INDEX)	49
3.4 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	51
3.4.1 ΚΑΘΑΡΗ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ (ΚΑΘΑΡΟΣ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ).....	51
3.4.2 ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟΜΑΤΩΝ(g _s)	52
3.4.3 ΔΙΑΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΟΥ CO ₂	53
3.5 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	54
3.5.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΚΑΡΠΟ	54
3.5.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΚΑΡΠΟ.....	55
3.5.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΜΑΖΑ	56
3.5.4 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΜΑΖΑ.....	57
3.5.5 ΒΑΡΟΣ ΧΙΛΙΩΝ ΚΟΚΚΩΝ	58
3.5.6 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕ ΤΟ ΒΑΡΟΣ ΧΙΛΙΩΝ ΚΟΚΚΩΝ	60
3.5.7 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΧΕΩΝ ΑΝΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ.....	61
3.5.8 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕ ΤΟΥΣ ΣΤΑΧΕΙΣ/Μ ²	63
3.5.9 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ.....	63
3.5.10 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ Τ.Μ	65
3.5.11 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ.....	66

3.5.12 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ.....	67
3.5.13 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΧΙΔΙΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ.....	67
3.5.14 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΤΑΧΥΔΙΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ.....	69
3.5.15 ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ.....	69
3.5.16 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕ ΤΟ ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	71
3.5.17 ΜΗΚΟΣ ΣΤΑΧΕΩΝ.....	72
3.5.18 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΧΕΩΝ.....	73
3.6 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	74
3.6.1 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ.....	74
3.6.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΩΡΙΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ.....	75
3.6.3 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ.....	76
3.6.4 ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ.....	78
4. Συζήτηση.....	80
4.1 ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ.....	80
4.2 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ.....	81
4.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	84
4.4 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ.....	91
4.5 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ.....	91
5. Συμπεράσματα.....	93
6. Βιβλιογραφία.....	95
6.1 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	95
6.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	110

1. Εισαγωγή

1.1 ΤΟ ΣΙΤΑΡΙ

Το σιτάρι (μαλακό και σκληρό) ήταν το πρώτο φυτό που καλλιεργήθηκε από τον άνθρωπο και αποτελεί την κυριότερη πηγή υδατανθράκων για τις περισσότερες χώρες της Εύκρατης ζώνης. Πιθανότερο κέντρο καταγωγής του σκληρού σιταριού θεωρείται η περιοχή της Αβησσυνίας ή τα βόρεια τμήματα της λεκάνης της Μεσογείου. Χειρόγραφα πιστοποιούν ότι το σιτάρι καλλιεργείτο στην αρχαία Αίγυπτο και στο Βυζάντιο (Watson et al .,2006)

Το σιτάρι είναι το πιο διαδεδομένο καλλιεργούμενο σιτηρό στον κόσμο. Από τα είδη τα οποία καλλιεργήθηκαν παλαιότερα ή και συνεχίζουν να καλλιεργούνται και σήμερα το πιο διαδεδομένο παγκοσμίως είναι το *T.aestivum* L. Subsp. *Aestivum*, κοινό σιτάρι, η κύρια χρήση του οποίου είναι η παρασκευή ψωμιού. Ακολουθεί το *T.turgidum* L. Subsp. *Durum* (Desf.) Husn, σκληρό σιτάρι, από το οποίο παράγεται το σιμιγδάλι που χρησιμοποιείται για την παρασκευή κυρίως των μακαρονιών. Το σκληρό σιτάρι ανήκει στο γένος *Triticum*(Οικογένεια : Poaceae) και είναι το μόνο τετραπλοειδές (αριθμός χρωμοσωμάτων $2n = 28$, AABB) είδος στο σιτάρι με εμπορική σημασία και γι' αυτό είναι πολύ διαδεδομένο.

Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες αυξάνεται η κατανάλωση ζυμαρικών με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για μεγαλύτερη παραγόμενη ποσότητα σκληρού σιταριού. Στην Ελλάδα οι καλλιεργούμενες εκτάσεις με σκληρό σιτάρι, το 2016 κατέγραψαν αύξηση 12,8% σε σχέση με το 2015. Ειδικότερα, το 2016 καλλιεργήθηκαν 3.907,5 χιλ. στρέμματα ενώ το 2015 καλλιεργήθηκαν 3.463,4 χιλ. στρέμματα. Όσον αφορά, την παραγόμενη ποσότητα, το 2016 κατέγραψε αύξηση 13,5% σε σχέση με το 2015. Ειδικότερα, το 2016 παρήχθησαν 1.131,9 χιλ. τόνοι σκληρού σιταριού ενώ το 2015 παρήχθησαν 996,9 χιλ. τόνοι.(ΕΛΣΤΑΤ 2016).

1.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Η σπορά του σκληρού σιταριού γίνεται το φθινόπωρο, συνήθως Οκτώβριο μήνα για τις ορεινές περιοχές και Νοέμβριο για τις πεδινές. Η επιλογή του χρόνου σποράς επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες, τον τύπο του εδάφους και την αντοχή της ποικιλίας στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Το φύτρωμα -βλάστηση (εμφάνιση ακραίου οφθαλμού στην επιφάνεια του εδάφους) γίνεται σε 10-15 ημέρες μετά τη σπορά. Στη συνέχεια σχηματίζονται πλευρικοί οφθαλμοί στις μασχάλες των φύλλων από όπου εκφύονται νέα στελέχη (τα οποία ονομάζονται αδέρφια). Το αδέρφωμα συνήθως σταματά με την έναρξη ανάπτυξης του στάχου και πριν το καλάμωμα (Παπακώστα, 2008).

Τα φυτά την άνοιξη εισέρχονται σε περίοδο ταχείας ανάπτυξης στην οποία γίνεται επιμήκυνση του στελέχους και συγχρόνως αρχίζει η αύξηση των φύλλων, των ριζών και της ταξιανθίας. Οι υψηλές θερμοκρασίες και η επάρκεια νερού και αζώτου στο έδαφος ευνοούν την επιμήκυνση των μεσογονατίων διαστημάτων και την βλαστική ανάπτυξη (Παπακώστα, 2008).

Την ανάπτυξη του στελέχους ακολουθεί η αύξηση του μεγέθους του στάχους και η μετακίνησή του από την βάση του φυτού προς την κορυφή. Ο στάχους βρίσκεται πάντα στη βάση του υψηλότερου από το έδαφος κόμβου. Όταν ο στάχους φθάσει στον κολεό του τελευταίου φύλλου, ο κολεός διογκώνεται και το στάδιο αυτό λέγεται φούσκωμα.

Στη συνέχεια ο κολεός του φύλλου-σημαία σχίζεται κατά μήκος και εμφανίζεται η ταξιανθία. Το γέμισμα των καρπών χαρακτηρίζεται από τη συσσώρευση ουσιών από προϊόντα της φωτοσύνθεσης που παράγονται μετά την άνθηση και από προϊόντα της φωτοσύνθεσης που είχαν παραχθεί πριν από την άνθηση και μετακινούνται από τα βλαστικά τμήματα των φυτών προς τους αναπτυσσόμενους καρπούς. Η χρονική πορεία του γεμίσματος ακολουθεί σιγμοειδή καμπύλη και διαρκεί 30-60 ημέρες από την άνθηση, ανάλογα με το γενότυπο και τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Η συγκομιδή χαρακτηρίζεται από αφυδάτωση των καρπών (σπόρων) και βαθμιαίο θάνατο (ξήρανση) των φυτών από το λαιμό προς το στάχυ. Ο καρπός είναι σκληρός, ασυμπίεστος και δεν χαράζεται εύκολα. Στην Ελλάδα η συγκομιδή γίνεται με θεριζοαλωνιστικές μηχανές, συνήθως κατά τον Ιούνιο και σε περισσότερο ορεινές

περιοχές κατά τον Ιούλιο, όταν γενικά η υγρασία των κόκκων έχει μειωθεί περίπου στο 14% για να γίνει ασφαλής η αποθήκευσή του.

1.3 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΦΥΤΑ

Παρόλο που το νερό είναι το πιο άφθονο μόριο στην επιφάνεια της γης η διαθεσιμότητά του αποτελεί τον πιο βασικό παράγοντα περιορισμού της φυτικής παραγωγής σε παγκόσμια κλίμακα (Lambers et al., 1998). Δηλαδή, η έλλειψη του νερού είναι ο σπουδαιότερος παράγοντας για την μείωση των αποδόσεων. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι η παρουσία του νερού στους φυτικούς οργανισμούς είναι καθοριστικής σημασίας (Begg and Turner, 1976)

Σύμφωνα με τους Lambers et al. (1998), ο ρόλος του νερού για τους φυτικούς οργανισμούς συνίσταται στα εξής:

- Αποτελεί στοιχείο των κυττάρων (85-95% του νωπού βάρους των ιστών είναι νερό).
- Ενυδατώνει τα ένζυμα και επιδρά στον μεταβολισμό.
- Αποτελεί διαλύτη πολλών ουσιών, μεταξύ των οποίων τα απαραίτητα για κάθε φυτό θρεπτικά στοιχεία. Λόγω της μεγάλης του πολικότητας μπορεί και διαλύει μεγάλες ποσότητες ιόντων και πολικών οργανικών μεταβολιτών (σάκχαρα, αμινοξέα και πρωτεΐνες), τα οποία είναι βασικά για το μεταβολισμό και για τη διατήρηση της ζωής.
- Σε κυτταρικό επίπεδο είναι το βασικό μέσο διακίνησης των μεταβολιτών.
- Σε επίπεδο ολόκληρου φυτού αποτελεί το μέσο διακίνησης των υδατανθράκων, των θρεπτικών στοιχείων καθώς και των φυτορρυθμιστικών ουσιών μεταξύ των διαφορετικών οργάνων του φυτού.
- Σε υψηλές τιμές ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, λειτουργεί ως ρυθμιστικό διάλυμα διατηρώντας τη θερμοκρασία του φυτού σε χαμηλά επίπεδα (Hagan et al., 1967). Μέσω της εξάτμισής του από τα κύτταρα του μεσόφυλλου παρέχεται η δυνατότητα στα φυτά να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία τους και έτσι να αποφεύγεται η ανάπτυξη πολύ υψηλών θερμοκρασιών κατά τις πολύ ζεστές ημέρες

Η σπουδαιότητα του νερού για όλους τους έμβιους οργανισμούς ξεκινά από τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες (Bernal, 1965), οι οποίες καθορίζουν και τις λειτουργίες του στη φυσιολογία του φυτού. Το νερό είναι το κύριο συστατικό του

πρωτοπλάσματος και επηρεάζει όλες τις φυσιολογικές κυτταρικές λειτουργίες. Στους φυτικούς ιστούς όμως, το νερό σπάνια συναντάται σε καθαρή μορφή και αυτό διότι το νερό στα φυτά και το περιβάλλον των ριζών περιέχει ένα ευρύ φάσμα διαλυτών ουσιών.

Το νερό είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις σημαντικότερες λειτουργίες του φυτού όπως η κυτταρική λειτουργία και η φωτοσύνθεση. Οι αντιδράσεις του κυττάρου στις υδατικές καταπονήσεις που υφίσταται το φυτό, ποικίλουν ανάλογα με την ένταση της καταπόνησης, το χρονικό διάστημα που διαρκεί και το είδος του φυτού που υπόκεινται στην καταπόνηση. Σύμφωνα με τον Weatherley (1965), το φυτικό κύτταρο χάνοντας νερό χάνει και κάποιες από τις δυνατότητες προσαρμογής του. Συγκεκριμένα, συσσωρεύονται οσμωτικά ενεργές ουσίες στα αφυδατωμένα κύτταρα με αποτέλεσμα το οσμωτικό δυναμικό από ευθύγραμμο να γίνει καμπυλόγραμμο. Οδηγούμαστε σε μια πτώση του οσμωτικού δυναμικού σε πιο αρνητικές τιμές από αυτές που θα περίμενε κανείς από μια απλή ελάττωση όγκου, οφειλόμενη σε κυτταρική αφυδάτωση. Επίσης, οι περαιτέρω αντιδράσεις του κυττάρου εξαρτώνται από το όργανο στο οποίο ανήκει το είδος του κυττάρου και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού ή του κυττάρου.

Σύμφωνα με τους Mullet and Whitsitt (1996), οι αντιδράσεις αυτές μπορούν να διαχωριστούν:

- Σε εκείνες που επιτρέπουν στα κύτταρα να αναπτύσσονται.
- Σε εκείνες που επιτρέπουν την επιβίωση του φυτού.
- Σε εκείνες που οδηγούν στο θάνατο του φυτού εξαιτίας της καταπόνησης

1.3.1 ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Κατά τους Slatyer and Taylor (1960), σε ένα οποιοδήποτε σύστημα που περιέχει νερό, το ενεργειακό περιεχόμενο του νερού εκφράζεται θερμοδυναμικά με μία έκφραση που περιλαμβάνει την έννοια του χημικού δυναμικού (μ_w). Έτσι ως υδατικό δυναμικό (Ψ) ορίζεται:

$$\Psi = \mu_w - \mu_w^0 / V_w$$

Όπου ο αριθμητής αντιστοιχεί στη διαφορά των χημικών δυναμικών του νερού στο κύτταρο (σε δεδομένο διάλυμα) και στο καθαρό νερό αντίστοιχα, V_w είναι ο μερικός γραμμομοριακός όγκος του νερού και έχει τιμή 18 cm³ /g. Το υδατικό δυναμικό έχει μονάδες πίεσης MPa, Bar.

Αυτή η θερμοδυναμική προσέγγιση υιοθετήθηκε επίσης για να εκφραστεί το υδατικό δυναμικό των φυτικών ιστών. Το υδατικό δυναμικό των φυτικών κυττάρων και ιστών χρησιμοποιήθηκε για να εκφράσει την ενεργειακή κατάσταση του νερού σε αυτά. Το Ψ αποτελείται από τρία επιμέρους δυναμικά σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Psi = i(\Psi_p, \Psi_s, \Psi_m)$$

Όπου: Ψ_s είναι το οσμωτικό δυναμικό, Ψ_p είναι το δυναμικό πίεσης ή υδροστατικό δυναμικό και Ψ_m είναι το δυναμικό της θεμελιώδους μάζας.

Το υδατικό δυναμικό των φυτικών κυττάρων και κατ' επέκταση των φυτικών ιστών λαμβάνει αρνητικές τιμές, ενώ η μέγιστη τιμή είναι το μηδέν, η οποία παρατηρείται σε κύτταρα σε πλήρη σπαργή.

Το οσμωτικό δυναμικό (Ψ_s) καθορίζεται από την συγκέντρωση των οσμωτικά ενεργών μέσα στο χυμοτόπιο και παίρνει τιμή ίση με την οσμωτική πίεση (Π) αλλά με αντίθετο πρόσημο.

$$\text{Έτσι: } \Pi = K * T * C_s$$

Όπου T: θερμοκρασία, R: η παγκόσμια σταθερά των αερίων και

$$C_s = \eta_s / v$$

Σε ένα φυτικό κύτταρο το Ψ_s έχει πάντα αρνητικές τιμές με μέγιστη τιμή το μηδέν, διότι οι διαλυτές ουσίες τείνουν να μειώσουν το ενεργειακό περιεχόμενο σε σχέση με το καθαρό νερό. Όσον αφορά το υδροστατικό δυναμικό, οι αλλαγές στον κυτταρικό όγκο είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη του δυναμικού πίεσης. Όταν το νερό εισέρχεται στο κύτταρο ο όγκος του χυμοτοπίου είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη δυναμικού πίεσης. Όταν το νερό εισέρχεται στο κύτταρο ο όγκος του νερού χυμοτοπίου αυξάνει και μια πίεση, που καλείται πίεση σπαργής, ασκείται στα τοιχώματα του κυττάρου. Την ίδια στιγμή μια πίεση ίση και αντίθετη με την πίεση σπαργής αναπτύσσεται με την αντίθετη φορά από τα τοιχώματα προς το εσωτερικό των κυττάρων. Αυτή η πίεση που καλείται πίεση τοιχωμάτων, δρα σαν υδροστατική πίεση, με αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργειακής κατάστασης του νερού στο κύτταρο που αντιπροσωπεύει το δυναμικό πίεσης Ψ_p . το Ψ_p λαμβάνει θετικές τιμές για όσο διάστημα το χυμοτόπιο ασκεί μια πίεση στα περιβάλλοντα τοιχώματα. Το Ψ_p λαμβάνει την τιμή μηδέν στο σημείο της αρχόμενης πλασμόλυσης κατά το οποίο το χυμοτόπιο σταματά να πιέζει τα τοιχώματα.

Το δυναμικό θεμελιώδους μάζας (Ψ_m) προκύπτει από την παρουσία θεμελιώδους μάζας και περιλαμβάνει δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια του νερού μέσω τριχοειδών φαινομένων, πρόσφυσης και ενυδάτωσης (Dainty, 1963). Στα

φυτικά κύτταρα το Ψ_m εντοπίζεται στα κυτταρικά τοιχώματα και στο κυττόπλασμα. Σε ιστούς όπου η θεμελιώδης μάζα είναι σε χαμηλή αναλογία το Ψ_m δεν παίζει σημαντικό ρόλο (Wiebe, 1960; Boyer, 1967, 1968, 1970, 1971). Έτσι προκύπτει η σχέση:

$$\Psi = f(\Psi_p - \Psi_s)$$

Σε ιστούς όμως όπου η αναλογία της θεμελιώδους μάζας είναι υψηλή, όπως συμβαίνει στα ξηρόφυτα, το Ψ_m είναι σημαντικό και δεν μπορεί να αγνοηθεί (Warren Wilson, 1967).

1.3.2 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΣ

Το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών. Τα φυτά παίρνουν το νερό από το έδαφος. Το έδαφος, με την γεωργική του έννοια μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα πολύπλοκο σύστημα που ταυτόχρονα είναι μια αποθήκη θρεπτικών στοιχείων, ένα περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται πλήθος μικροοργανισμών, ένα μέσο στερέωσης των φυτών, ένα μέσο διακίνησης του νερού και μια αποθήκη νερού από την οποία τα φυτά με τις ρίζες τους παίρνουν την απαραίτητη για την ανάπτυξή τους υγρασία.

Βασικά χαρακτηριστικά ενός εδάφους είναι η υφή και η δομή. Εδαφική υφή είναι η ποσοστιαία αναλογία του διαφόρου μεγέθους ορυκτών σωματιδίων που απαρτίζουν το έδαφος. Εδαφική δομή είναι ο τρόπος διάταξης των σωματιδίων αυτών για τον σχηματισμό ομάδων ή συσσωματωμάτων. Εδαφική υφή και δομή, σε συνδυασμό, προσδιορίζουν τον τρόπο εφοδιασμού και διακίνησης του νερού σε ένα έδαφος (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Το έδαφος είναι ένα ετερογενές σύστημα που αποτελείται από τη στερεά φάση (εδαφικά σωματίδια), την υγρή φάση (εδαφικό διάλυμα) και την αέρια φάση. Οι δυνάμεις που συγκρατούν το νερό στο έδαφος είναι:

- Αυτές που αναπτύσσονται μεταξύ υγρών και αέριων επιφανειών με το νερό να συγκρατείται με τριχοειδείς δυνάμεις επιφανειακής τάσης.
- Αυτές που αναπτύσσονται μεταξύ στερεών και υγρών επιφανειών. Το νερό εδώ συγκρατείται με δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης.
- Αυτές που σχετίζονται με την παρουσία διαλυτών ουσιών στο εδαφικό διάλυμα (Karamanos, 1981). Στην κατηγορία αυτή το νερό συγκρατείται με δυνάμεις οσμωτικής φύσης.

Όπως συμβαίνει και με τους φυτικούς ιστούς, η υδατική κατάσταση του εδάφους περιγράφεται μέσω του υδατικού δυναμικού. Το ολικό υδατικό δυναμικό του εδάφους $\Psi_{\text{εδάφους}}$ συνίσταται από τα επιμέρους δυναμικά:

$$\Psi_{\text{εδάφους}} = f(\Psi_g, \Psi_p, \Psi_s, \Psi_m)$$

Όπου: Ψ_g είναι το δυναμικό της βαρύτητας, Ψ_p είναι το δυναμικό πίεσης, Ψ_s είναι το οσμωτικό δυναμικό και Ψ_m είναι το δυναμικό της θεμελιώδους μάζας.

Το δυναμικό της βαρύτητας (Ψ_g) θεωρείται αμελητέο στην οριζόντια κίνηση του νερού, όπως είναι η κίνηση του νερού γύρω από τις ρίζες των φυτών. Ωστόσο, θεωρείται σημαντικό στην κάθετη κίνηση του νερού μέσα στο εδαφικό προφίλ. Σε εδάφη κορεσμένα με νερό, το δυναμικό της βαρύτητας έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί το υδατικό δυναμικό του εδάφους είναι κυρίως συνάρτησης, αυτού, ενώ τα άλλα επί μέρους δυναμικά είναι σχεδόν μηδέν. Όμως, όσο το έδαφος γίνεται ακόρεστο η σημασία του δυναμικού της βαρύτητας μειώνεται και ιδιαίτερη σημασία αποκτά το δυναμικό της θεμελιώδους μάζας. Όσον αφορά το δυναμικό πίεσης (Ψ_p), αναπτύσσεται στην περίπτωση κορεσμένων εδαφών στα σημεία του εδάφους που βρίσκονται σε πίεση μεγαλύτερης της ατμοσφαιρικής και λαμβάνει θετικές τιμές. Στην περίπτωση των ακόρεστων εδαφών λαμβάνει την τιμή μηδέν. Το οσμωτικό δυναμικό Ψ_s αναφέρεται στις δυνάμεις που σχετίζονται με την παρουσία οσμωτικά ενεργών ουσιών στο έδαφος. Οι ουσίες αυτές ελαττώνουν την τάση ατμών και το ενεργειακό δυναμικό του εδαφικού νερού και επομένως παίρνει αρνητικές τιμές. Το οσμωτικό δυναμικό μπορεί να γίνει πολύ σημαντικό σε αλατούχα εδάφη ή σε εδάφη που έχουν δεχτεί μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων (Newman, 1966). Το δυναμικό της θεμελιώδους μάζας αναφέρεται στις δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ υγρών και αερίων και στερεών και υγρών επιφανειών και παίρνει αρνητικές τιμές (Karamanos, 1981). Το Ψ_m είναι το συστατικό του υδατικού δυναμικού του εδάφους που έχει τη μεγαλύτερη σημασία στις περιπτώσεις των ακόρεστων εδαφών.

Το νερό που είναι διαθέσιμο για τα φυτά, συγκρατείται στο έδαφος με τέτοιες δυνάμεις, ώστε τα δυναμικά που αναπτύσσονται να λαμβάνουν τιμές από -0,3 Bar έως -20 Bar. Η υδατοϊκανότητα αντιπροσωπεύει την περιεκτικότητα σε νερό που έχει μείνει από ένα πλήρως υγραμένο έδαφος, αφού ο ρυθμός στράγγισης έχει γίνει πολύ μικρός (Slatyer, 1967) και είναι αυτό που αντιστοιχεί σε υδατικό δυναμικό περίπου -0,3 Bar. Αυτό συμβαίνει συνήθως μία έως τρεις ημέρες αφού το έδαφος έχει πλήρως κορεστεί από άρδευση. Τα -10 έως -20 Bar αντιστοιχούν στο σημείο μόνιμης μάρανσης. Ο συντελεστής μόνιμης μάρανσης χρησιμοποιείται σαν το πιο χαμηλό

όριο στο οποίο το νερό είναι διαθέσιμο στα φυτά. Είναι δηλαδή η περιεκτικότητα του νερού στο έδαφος κατά την οποία τα φυτά παραμένουν μαρασμένα. Γίνεται αντιληπτό ότι το νερό που είναι εύκολα διαθέσιμο για όλα τα φυτά βρίσκεται μεταξύ της υδατοϊκανότητας και του συντελεστή μόνιμης μάρανσης. Βέβαια η ποσότητα του νερού που υπάρχει στο έδαφος εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, τη δομή του και τη σύστασή του. Για παράδειγμα, τα αργιλώδη εδάφη συγκρατούν περισσότερο νερό, αλλά τα μέσης σύστασης είναι αυτά που περιέχουν περισσότερο νερό διαθέσιμο στα φυτά (Σιδηράς, 1994). Όσον αφορά το νερό που αποθηκεύεται στο έδαφος, καθοριστική είναι η σημασία των βροχοπτώσεων. Με την βελτίωση της διηθητικότητας του εδάφους και με μείωση των απωλειών λόγω εξάτμισης, αυξάνεται το ποσό του νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος (Karamanos, 1991).

1.3.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ

Τα κύτταρα και οι ιστοί θεωρούνται ελλειμματικοί ως προς το νερό όταν δεν είναι σε πλήρη σπαργή (Crafts, 1968; Kramer, 1969). Ο Kramer (1969) θεωρεί ταυτόσημους τους όρους υδατική καταπόνηση και υδατικό έλλειμμα. Η ανάπτυξη του φυτού ελέγχεται άμεσα από τα υδατικά ελλείμματα του φυτού και έμμεσα από τα υδατικά ελλείμματα της ατμόσφαιρας και του εδάφους.

Σε αρκετές περιπτώσεις κατά την διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου τα φυτά εκτίθενται σε αντίξοες συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν δυσμενώς τόσο την ανάπτυξη όσο και την ίδια τους την επιβίωση. Ο όρος καταπόνηση αναφέρεται στην επίδραση δυσμενών παραγόντων του περιβάλλοντος, οι οποίοι τείνουν να παρεμποδίσουν την εύρυθμη λειτουργία φυσιολογικών μηχανισμών. Επομένως, η εμφάνιση δυσλειτουργιών σε ένα φυτικό οργανισμό, που εκφράζονται ως αποκλίσεις από τα κανονικά επίπεδα λειτουργίας, αποτελεί ένδειξη ύπαρξης παραγόντων καταπόνησης στο περιβάλλον του. Στις περισσότερες περιπτώσεις η καταπόνηση εκτιμάται μέσω του παραγόμενου γεωργικού προϊόντος, της επιβίωσης του φυτού, της συσσώρευσης βιομάζας και του ρυθμού αφομοίωσης. Κάθε φυτικός οργανισμός έχει προσαρμοστεί μέσω της εξέλιξης και αναπτύσσεται χωρίς προβλήματα μέσα σε άριστες συνθήκες. Σε περίπτωση που παραβιαστούν τα βέλτιστα αυτά όρια, ο φυτικός οργανισμός θα επιβαρυνθεί και θα εμφανίσει τα πρώτα συμπτώματα καταπόνησης. Συνήθως ένας παράγοντας καταπόνησης επηρεάζει περισσότερο άνω της μιας φυσιολογικής λειτουργίας. Από την άλλη μεριά η αλληλεπίδραση περισσότερων του ενός

παραγόντων καταπόνησης δημιουργεί εξαιρετικά πολύπλοκες φυσιολογικές αντιδράσεις στα φυτά. Οι καταπονήσεις παίζουν σημαντικό ρόλο σε επίπεδο γεωργικής παραγωγής, αφού έχει υπολογιστεί ότι σε συνθήκες αγρού οι αποκλίσεις από τις ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης έχουν ως αποτέλεσμα το καθαρό προϊόν να αντιπροσωπεύει ένα μικρό ποσοστό, περίπου 20-30% αυτού που μπορεί εν δυνάμει να παραχθεί, λαμβάνοντας υπόψη τη γενετικά καθοριζόμενη μέγιστη απόδοση κάθε καλλιεργούμενου φυτού (Buchanan et al., 2000)

Στην περίπτωση όπου επικρατούν συνθήκες ξηρασίας τα φυτά θέτουν σε λειτουργία μηχανισμούς για να αντιμετωπίσουν την αφυδάτωση αφού διαταράσσεται ο ρυθμός πρόσληψης νερού και συνεπώς δεν εναρμονίζεται με τον ρυθμό διαπνευστικών απωλειών. Η υδατική καταπόνηση προκαλείται σε συνθήκες έντονης ξηρασίας και έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση βασικών φυσιολογικών λειτουργιών των φυτών μέσω της αφυδάτωσης των κυττάρων (Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012).

Το νερό αναγνωρίζεται ως ένας από τους μεγαλύτερους περιοριστικούς παράγοντες στην περιοχή της Μεσογείου. Στις περιοχές αυτές, οι βροχοπτώσεις είναι ανεπαρκείς, κατανέμονται άνισα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και μεταβάλλονται από έτος σε έτος. Αρκετές αλλαγές συμβαίνουν στα δημητριακά ως απόκριση στην υδατική καταπόνηση. Αυτές οι μεταβολές περιλαμβάνουν αύξηση της σύνθεσης ABA, η οποία είναι μεγαλύτερη, το κλείσιμο των στομάτων και την αναστολή ανάπτυξης των φύλλων (Chaves et al., 2003; Seiler et al., 2014). Ο επιφανειακός κηρός των φύλλων αυξάνεται, έχουμε υδραυλικές και στοματικές ανατομικές μεταβολές, η οσμωτική ρύθμιση οδηγεί σε μείωση του δυναμικού νερού και έχουμε και μείωση του φωτοσυνθετικού ρυθμού (Chaves et al., 2009; Gálvez and Ayerbe, 2010; Bresta et al., 2011; Schmid et al., 2015).

1.3.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ

Οι μηχανισμοί αντιμετώπισης της ξηρασίας από τα φυτά ταξινομούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες. Την αποφυγή της ξηρασίας, την αντοχή στην ξηρασία με διατήρηση χαμηλού δυναμικού και την αντοχή στην υδατοκαταπόνηση με υψηλό υδατικό δυναμικό (Simpson, 1981; Boyer, 1996).

Στην πρώτη αυτή περίπτωση (αποφυγή της ξηρασίας) τα φυτά συμπληρώνουν το βιολογικό τους κύκλο πριν παρουσιαστούν σοβαρές ελλείψεις νερού στο έδαφος ή στο φυτό. Οι ποικιλίες που αποφεύγουν την ξηρασία είναι συνήθως πρώιμες. Φυτά

γρήγορης και μη καθορισμένης ανάπτυξης προσαρμόζονται καλύτερα στην αποφυγή της ξηρασίας (Hale and Orcutt, 1987). Επίσης τα φυτά παρουσιάζουν πλαστικότητα στην ανάπτυξη (Nielsen and Orcutt, 1996). Αναφέρονται οι περιπτώσεις των φυτών των μεσογειακών κλιμάτων, τα οποία παρουσιάζουν την ικανότητα ανάπτυξης σε χαμηλή θερμοκρασία όταν το νερό δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, καθώς επίσης των εφήμερων φυτών της ερήμου που μεγαλώνουν και αναπαράγονται σε περιόδους με αρκετή βροχόπτωση και παράγουν σπόρους που παραμένουν σε λήθαργο κατά την διάρκεια της ξηρασίας.

Όσον αφορά την αντοχή στην ξηρασία με διατήρηση χαμηλού δυναμικού, εδώ διακρίνονται δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση τα φυτά διατηρούν την πίεση σπαργής και στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα φυτά που παρουσιάζουν αντοχή στην αποξήρανση. Τα φυτά με αυτούς τους τύπους αντοχής συνεχίζουν τις μεταβολικές τους δραστηριότητες σε χαμηλό υδατικό δυναμικό. Η διατήρηση της σπαργής μπορεί να γίνει με οσμωρύθμιση και με την αυξημένη ελαστικότητα των ιστών (Karamanos, 1981). Διακρίνουμε τρεις τύπους οσμωρύθμισης. Στον πρώτο τύπο η οσμωρύθμιση επιτυγχάνεται με αύξησης των διαλυτών ουσιών (σάκχαρα, προλίνη, αλκαλοειδή) στο χυμοτόπιο. Στο δεύτερο τύπο επιτυγχάνεται με αλλαγή της σχέσης αποπλαστικού και συμπλαστικού νερού και συγκεκριμένα με την μείωση του συμπλαστικού νερού, ενώ ο τρίτος τύπος είναι συνδυασμός των άλλων δύο. Με αυτούς τους τρόπους επιτυγχάνεται μείωση του οσμωτικού δυναμικού των κυττάρων. Με την οσμωρύθμιση διατηρείται η σπαργή ακόμη και στην περίπτωση της υδατοκαταπόνησης και τα στομάτια συνεχίζουν να μένουν ανοιχτά (Simpson, 1981; Taylor et al., 1983; Hale and Orcutt, 1987; Nielsen and Orcutt, 1996; Turner, 1997). Επίσης, όσο μεγαλύτερη είναι η ελαστικότητα κυτταρικών τοιχωμάτων, τόσο πιο ομαλή είναι η μείωση του υδροστατικού δυναμικού κατά την αφυδάτωση, που σημαίνει μεγαλύτερη αντοχή στην αφυδάτωση (Karamanos, 1984).

Η τρίτη κύρια κατηγορία, όπως ειπώθηκε παραπάνω, είναι η αντοχή των φυτών στην υδατοκαταπόνηση με υψηλό υδατικό δυναμικό. Η αντοχή στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται με την μείωση των απωλειών του νερού και την αύξηση της απορρόφησης του (Nielsen and Orcutt, 1996). Παράλληλα αυτό μπορεί να επιτευχθεί και με αποθήκευση νερού σε φυτικούς ιστούς όπως συμβαίνει στα κακτοειδή (Simpson, 1981; Malinowski and Belesky, 2000)

Η διατήρηση υψηλού υδατικού δυναμικού μπορεί να επιτευχθεί και με την αύξηση της ικανότητας απορρόφησης και μεταφοράς νερού στα στελέχη. Φυτά με

βαθύ ριζικό σύστημα έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν νερό μέχρι η ξηρασία να γίνει πολύ έντονη και να φτάσει μέχρι τα βαθιά εδαφικά στρώματα. Ταυτόχρονα, ο ρυθμός αύξησης του ριζικού συστήματος επηρεάζει την αντοχή στην ξηρασία. Μειωμένη αντίσταση στην κίνηση του νερού διαμέσου των ριζών και του αγωγού συστήματος των βλαστών με αύξηση των αγγείων ή της διαμέτρου των αγγείων, οδηγεί σε διατήρηση της απορρόφησης νερού σε περίπτωση ξηρασίας (Hale and Orcutt, 1987). Εξαιρέση στον κανόνα, ότι το βαθύ ριζικό σύστημα βοηθά τα φυτά να αντέχουν στην ξηρασία, αποτελούν οι κάκτοι. Το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται επιφανειακά έτσι ώστε σε περίπτωση βροχής να απορροφούν γρήγορα νερό και να το αποθηκεύσουν (Nielsen and Orcutt, 1996). Εάν το φυτό πετύχει να μειώσει τις συνολικές απώλειες νερού τότε εξοικονομεί νερό. Τα φυτά χάνουν νερό μέσω της διαπνοής ή μέσω της εφουμενίδας. Επομένως, η μείωση της φυλλικής επιφάνειας με την πτώση ή με το τύλιγμα των φύλλων προκαλεί μείωση των απωλειών του νερού (Karamanos, 1984). Επίσης, η δημιουργία μικρών φύλλων ή η δημιουργία αγκαθιών αντί φύλλων έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένες απώλειες σε νερό (Simpson, 1981).

Γενικά, τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την αντοχή στην ξηρασία είναι στην περίπτωση της μέτριας καταπόνησης η προσαρμογή των φαινολογικών χαρακτηριστικών, η οσμωτική προσαρμογή, η αύξηση του βάθους και της πυκνότητας του ριζικού συστήματος, η πλαστικότητα του βιολογικού κύκλου (δεν ισχύει στα καθορισμένης ανάπτυξης φυτά), η γρήγορη και εύρωστη πρώτη ανάπτυξη, η διατήρηση της φυλλικής επιφάνειας, η αύξηση της αντανακλαστικότητας των φύλλων (σχετίζεται με την μείωση της θερμοκρασίας) και η μείωση του κρίσιμου σημείου του υδατικού δυναμικού και της σχετικής υδατοπεριεκτικότητας. Στην περίπτωση μεγάλης καταπόνησης η ανθεκτικότητα σχετίζεται με την προσαρμογή των φαινολογικών χαρακτηριστικών, με την οσμωτική προσαρμογή, το αυξημένο ριζικό σύστημα, την γρήγορη και εύρωστη πρώτη ανάπτυξη την αύξηση της αντανακλαστικότητας των φύλλων και με την συσσώρευση ξηράς ουσίας πριν την άνθηση (Ludlow and Mushow, 1990).

1.3.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

Μέσω της ενεργοποίησης αισθητήρων πραγματοποιείται η αντίληψη της ανεπαρκούς τροφοδοσίας των κυττάρων με νερό. Οι αισθητήρες αυτοί ενεργοποιούνται εξαιτίας δυσλειτουργιών, εκ των οποίων χαρακτηριστικές είναι η

μεταβολή του οσμωτικού δυναμικού του εδάφους, η αφυδάτωση των κυττάρων της ρίζας όπως και η απώλεια σπαργής των κυττάρων. Προκαλείται με αυτόν τον τρόπο η παραγωγή σημάτων, όπως η ορμόνη αμπσιικό οξύ (ABA) που παίζει σημαντικό ρόλο στον συντονισμό των αντιδράσεων των φυτών στην υδατική καταπόνηση ή η αλλαγή επιπέδων του κυτταροπλασματικού ασβεστίου. Οι αλλαγές αυτές προκαλούν την ενεργοποίηση μιας ακολουθίας βημάτων στα οποία εμπλέκονται σηματοδοτικά μόρια με κατάληξη την αλλαγή του προτύπου έκφρασης των γονιδίων τα οποία σχετίζονται με την καταπόνηση. Τέσσερα σηματοδοτικά μονοπάτια έχουν περιγραφεί στην υδατική καταπόνηση. Τα δύο εξαρτώνται από το ABA ενώ τα άλλα δύο είναι ανεξάρτητα. Ένα μεγάλο ποσοστό γονιδίων των οποίων η έκφραση ρυθμίζεται υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης αφορά σε χαρακτηριστικές αντιδράσεις εγκλιματισμού, όπως στην παραγωγή οσμωτικά ενεργών ουσιών, την αλλαγή του μορφογενετικού προτύπου ανάπτυξης, την λειτουργία των στομάτων, των υδατοπορινών και της φωτοσύνθεσης. Τα γονίδια αυτά είναι υπεύθυνα για τη βιοσύνθεση κυρίως πρωτεϊνών με προστατευτικό ρόλο. Πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί με διαγενετικά φυτά (*Hordeum vulgare* L.) στα οποία παρεμποδίζονται ουσίες που καταβολίζουν το ABA και εξασφαλίζοντας συνεχή ροή της φυτορρυθμιστικής ουσίας καθ' όλη τη διάρκεια της καταπόνησης πετυχαίνουν καλύτερη ανάπτυξη (Seiler et al., 2014).

1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΡΙΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η αποφυγή ξήρανσης του φυτού λόγω της ύπαρξης βαθέος ριζικού συστήματος είναι βασικός μηχανισμός άμυνας (Morgan et al 1991). Ένα πλούσιο ριζικό σύστημα έχει το πλεονέκτημα να ενισχύσει την ολοένα αυξανόμενη ανάπτυξη του φυτού κατά τα πρώιμα καλλιεργητικά στάδια, μέσω της απορρόφησης νερού από αβαθή εδαφικά στρώματα που θα μπορούσε να χαθεί λόγω εξάτμισης (Martinez and Ledent, 2003). Σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, αν και η συνολική ανάπτυξη του φυτού περιορίζεται, έχει διαπιστωθεί αύξηση της αναλογίας της ξηράς ουσίας του ριζικού συστήματος σε σχέση με την ξηρά ουσία του βλαστικού τμήματος. Η αύξηση στην αναλογία αντανακλάται από τη σχετικά μεγαλύτερη μείωση στην ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος σε σχέση με αυτήν του ριζικού συστήματος υπό συνθήκες ξηρασίας. Η αύξηση της αναλογίας της ξηράς ουσίας του ριζικού συστήματος σε σχέση με την ξηρά ουσία του βλαστικού τμήματος συνεπάγεται καλύτερη

δυνατότητα για διατήρηση της υδατικής κατάστασης του φυτού σε δεδομένες συνθήκες εξατμισοδιαπνοής (Blum and Arkin, 1984).

Ο Narayan (1991), ο οποίος μελέτησε 25 ποικιλίες σιταριού και ειδικότερα την παραγωγή του σε σχέση με την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος βρήκε ότι το τελικό μήκος των ριζών ήταν 0.77-2.24 και 1.23-3.14 cm/cm³, η δε παραγωγή καρπού 274-421 και 281-499 kg/στρ. σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης και άρδευσης, αντίστοιχα. Το ριζικό σύστημα του αραβοσίτου και άλλων ειδών βρέθηκε ότι συνεχίζει να αναπτύσσεται σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, ενώ η ανάπτυξη του βλαστικού τους τμήματος αναστέλλεται (Sharp et al., 1990). Ειδικότερα διαπιστώθηκε ότι σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, η συγκέντρωση του ABA στις ρίζες ήταν υπεύθυνη για τον περιορισμό της βλάστησης, αλλά και για την διατήρηση της αύξησης του ριζικού συστήματος (Sharp et al., 1990). Η ωσμωτική προσαρμογή και η διατήρηση της σπαργής στην περιοχή ανάπτυξης είναι σημαντικά για τη διατήρηση της αύξησης του ριζικού συστήματος σε χαμηλά υδατικά δυναμικά (Sharp et al., 1990). Επίσης, κατά την έναρξη της ξηρασίας, η αύξηση του ελάσματος των φύλλων αναστέλλεται, ενώ η αφομοίωση του άνθρακα συνεχίζει να είναι κοντά στα φυσιολογικά επίπεδα. Ο πλεονάζων άνθρακας μπορεί να αποθηκευτεί και ακολούθως να χρησιμοποιηθεί για ωσμωτική ρύθμιση ή να κατανεμηθεί στην ρίζα για αύξηση.

1.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Η σπουδαιότερη επίπτωση της ευαισθησίας της μεγέθυνσης των κυττάρων σε έλλειψη νερού είναι η σημαντική μείωση της φυλλικής επιφάνειας. Γενικώς, τα φύλλα των φυτών κλείνουν τα στόματα αμέσως μόλις αισθανθούν διαφοροποίηση στην ατμοσφαιρική πίεση, ακόμα και εάν οι ρίζες αναπτύσσονται σε επάρκεια υγρασίας (Assmann et al., 2000). Βέβαια, τα κύτταρα συρρικνώνονται και τα κυτταρικά τοιχώματα χαλαρώνουν με τη μείωση του υδατικού δυναμικού στο φυτό, με αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης σπαργής και της συγκέντρωσης των διαλυτών ουσιών. Γενικώς, η έλλειψη ύδατος δεν μειώνει μόνον την σπαργή, αλλά ελαττώνει τη διόγκωση του κυτταρικού τοιχώματος και αυξάνει την πίεση με την οποία το κυτταρικό τοίχωμα αντιστέκεται σε αναστρέψιμες ή μη αποδομήσεις. Η διόγκωση του κυτταρικού τοιχώματος αυξάνει με τη μείωση του pH στο διάλυμα πλησίον του κυτταρικού τοιχώματος (το pH του κυτταρικού τοιχώματος αυξάνει σε συνθήκες καταπόνησης). Τα φυτά, σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, ενυδατώνονται κατά τη διάρκεια της νύχτας και επέρχεται ως εκ τούτου σημαντική ανάπτυξη των φύλλων.

Βέβαια, ο ρυθμός ανάπτυξης είναι μικρότερος σε σχέση με τα φύλλα μη καταπονημένων φυτών.

Το υδατικό δυναμικό του φύλλου μειώνεται όσο πλησιάζουν τα μέγιστα της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας και ανεβαίνει εκ νέου γύρω στο ηλιοβασίλεμα και κατά τη διάρκεια της νύχτας (Millar et al., 1976). Τα φύλλα με υδατικό δυναμικό χαμηλό ξηραίνονται αρχίζοντας από τη βάση του φυτού και προχωρώντας προοδευτικά προς την κορυφή, ενώ σε σοβαρές ελλείψεις νερού και τα ανώτερα φύλλα ή και το φύλλο σημαία μπορεί να ξηραθούν.

Η αναστολή της κυτταρικής διόγκωσης έχει ως αποτέλεσμα την επέκταση των φύλλων με βραδύτερους ρυθμούς. Η μικρότερη φυλλική επιφάνεια έχει ως συνέπεια τη μικρότερη απώλεια νερού λόγω διαπνοής και ως εκ τούτου την αποτελεσματικότερη χρήση του εδαφικού νερού για μεγαλύτερο διάστημα. Επομένως, ο περιορισμός της φυλλικής επιφάνειας μπορεί να θεωρηθεί και ως πρώτη γραμμική άμυνας των φυτών στην ξηρασία. Η μείωση του υδατικού δυναμικού του φύλλου κάτω από το κρίσιμο επίπεδο έχει ως συνέπεια το κλείσιμο των στομάτων. Το κρίσιμο επίπεδο για το σιτάρι, το οποίο ποικίλει ανάλογα με τη γωνία και τη θέση του φύλλου, επέρχεται σε υδατικό δυναμικό του φύλλου από -1,3 έως -1,5 MPa για τα νεαρά φυτά και από -1,8 έως -2,0 MPa για τα φυτά τα όποια έχουν ξεσταχυάσει (Frank et al., 1972).

1.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Η φωτοσύνθεση θεωρείται ως η σπουδαιότερη διεργασία φυσιολογίας των φυτών. Η φωτεινή ενέργεια εισέρχεται στη φυλλική επιφάνεια και δεσμεύεται από μόρια κεραίες. Αναλόγως του μήκους κύματος της φωτεινής ενεργείας αυτή δεσμεύεται από τα μόρια κεραίες των φωτοσυστημάτων I (PS I) και II (PS II), τα οποία εντοπίζονται στις μεμβράνες των χλωροπλαστών. Όταν ένα μόριο Chl_a του φωτοσυστήματος II απορροφά ένα φωτόνιο, ένα από τα ηλεκτρόνια του διεγείρεται σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση και μέσω μιας αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων οδηγείται στο φωτοσύστημα I. Το PS I αποδέχεται το ηλεκτρόνιο για να καλύψει το κενό που δημιουργήθηκε από την απορρόφηση φωτονίων σε προηγούμενη χρονική στιγμή και μέσω μιας σειράς αντιδράσεων ανάγεται το NADP σε NADPH, το οποίο προσδίδει την απαιτούμενη αναγωγική δύναμη για τη μετατροπή (αναγωγή) του CO_2 σε φωσφορικές τριόζες μέσω του κύκλου Calvin-

Benson. Η απορροφημένη φωτεινή ενέργεια μέσω μιας σειράς αντιδράσεων μετατρέπεται εντέλει σε αποθηκευμένη χημική ενέργεια, με τη μορφή σακχάρων.

Η υδατική καταπόνηση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που περιορίζει τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών (Bradford and Hsiao, 1982). Ειδικότερα, η επίδραση της έλλειψης ύδατος γίνεται αντιληπτή στο φυτό ως μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και της ανάπτυξης και συσχετίζεται με εναλλαγές στο μεταβολισμό του άνθρακα και του αζώτου (Comic and Massacci, 1996). Οι φωτοσυνθετικές χρωστικές (χλωροφύλλη a και b, καροτενοειδή) των φύλλων, αλλά και η διαδικασία σύνθεσης της χλωροφύλλης υφίστανται μείωση (Jones et al., 1985). Ο καθαρός ρυθμός αφομοίωσης του διοξειδίου του άνθρακα (net carbon assimilation rate, Pn) στα φύλλα ελαττώνεται με τη μείωση της περιεκτικότητας νερού του φύλλου και μάλιστα πριν από την αλλαγή της υδατικής κατάστασης του φύλλου ως αντίδραση στη μείωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας (Condon et al., 2002) ή και στη μείωση του υδατικού δυναμικού του εδάφους (Gollan et al., 1986). Γενικώς, η έλλειψη νερού προκαλεί προοδευτικό περιορισμό του ρυθμού αφομοίωσης του άνθρακα τόσο στο ανθεκτικό στην αφυδάτωση φυτό *Frullania dilatata*, όσο και στο ευαίσθητο στην αφυδάτωση φυτό *Pellia endiviifolia* (Deltoro., 1998). Ειδικότερα στο σιτάρι, μεγαλύτερη μείωση στην ανάπτυξη και στο ρυθμό φωτοσύνθεσης λόγω υδατικής καταπόνησης παρατηρήθηκε στην ευαίσθητη ποικιλία σιταριού Adamello σε σχέση με την ανθεκτική Ofanto (Longgini et al., 1999).

Η μείωση στον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες (Del Blanco et al 2000; Li et al., 2004). Ειδικότερα, οι Del Blanco et al (2000) αναφέρουν ότι το κλείσιμο των στομάτων σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης μειώνει τον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης και την αγωγιμότητα των στομάτων. Ο Yordanov (1998) βρήκε ότι στα μπιζέλια, σε συνθήκες καταπόνησης από έλλειψη νερού της τάξης του 17-20% προκάλεσε σημαντική μείωση στο ρυθμό εισροής και αφομοίωσης του CO₂, ενώ ο συνδυασμός υψηλών θερμοκρασιών (45 ο C) φυλλώματος και 40-44% έλλειψης νερού προκάλεσε σχεδόν την πλήρη αναστολή της φωτοσύνθεσης. Το κλείσιμο των στομάτων, αν και περιορίζει την εισροή του CO₂, συμβάλλει στη διατήρηση της σπαργής του φύλλου και της αντοχής των φυτών μέσω της μείωσης του ρυθμού διαπνοής.

Η μη σχετιζόμενη με τη λειτουργία των στομάτων αναστολή της φωτοσύνθεσης είναι εξίσου σημαντική σε μακροχρόνια βάση επειδή προέρχεται από τη μείωση της

δραστηριότητας των καρβοξυλασών, της ικανότητας μεταφοράς ηλεκτρονίων και της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη. Συγκεκριμένα, μη σχετιζόμενη με τη λειτουργία των στομάτων αναστολή της φωτοσύνθεσης σε φύλλα ηλίανθου έχει αποδοθεί σε μειωμένη καρβοξυλίωση (Wise et al., 1991), μείωση της αναγεννητικής ικανότητας του ενζύμου RubisCO (Tezara and Lawlor, 1995) ή σε μείωση της ενεργότητας αυτού του ενζύμου (Kanечи κ.ά., 1995).

1.7 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

Η υδατική καταπόνηση αποτελεί το σπουδαιότερο περιοριστικό παράγοντα της ανάπτυξης και της απόδοσης των σιτηρών. Ειδικότερα, ο καρπός θα πρέπει να αποκτήσει οριακό επίπεδο υγρασίας για να μπορεί να βλαστήσει και να φυτρώσει. Ο Helmick (1954) βρήκε ότι το φύτρωμα και ο ρυθμός σχηματισμού καρπών (κόκκων) του σιταριού ελαττώνεται όσο περιορίζεται η εδαφική υγρασία. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η επάρκεια νερού κατά την πρώτη ανάπτυξη και όταν το ακραίο (κορυφαίο) μερίστωμα του νεαρού φυτού βρίσκεται στα 2,5 εκατοστά πάνω από το έδαφος. Αυτό είναι αναγκαίο επειδή στο στάδιο αυτό διαφοροποιούνται οι καταβολές του στάχου, των σταχυδίων και των ανθιδίων. Επίσης, σε αυτό το στάδιο της ανάπτυξης του φυτού καθορίζονται το μήκος του στάχους και ο αριθμός των σταχυδίων που θα φέρει ο στάχος. Η έλλειψη νερού κατά την περίοδο αυτή μπορεί να έχει ως συνέπεια τη δημιουργία στάχων μικρότερου μήκους και κατά συνέπεια με μικρότερο αριθμό σταχυδίων.

Η μέτρια έλλειψη νερού σε πειράματα σιταριού έδειξε ότι μείωσε το χρονικό διάστημα μεταξύ της διαφοροποίησης των ανθέων και της άνθησης, ενώ η σοβαρή έλλειψη νερού προκάλεσε μεγαλύτερη μείωση (Angus et al., 1977). Γενικώς, το σιτάρι παράγει περισσότερα αδέρφια από όσα τελικά μπορεί να διατηρήσει ως παραγωγικά. Βέβαια, η έλλειψη νερού κατά το αδελφωμα του σιταριού μειώνει σημαντικά τον αριθμό των παραγόμενων αδελφιών, συμβάλλει στην κακή εγκατάσταση του ριζικού συστήματος και έχει τελικώς αρνητικές συνέπειες στην απόδοση. Ο ρυθμός μείωσης των παραγωγικών αδελφιών αυξάνει με την έλλειψη νερού, με αποτέλεσμα τη μείωση της βιομάζας των φυτών (Begg and Turner, 1976).

Η επίδραση της έλλειψης νερού στο σιτάρι είναι υψηλότερη μετά την περίοδο της άνθησης (Blum et al., 2005). Συγκεκριμένα, η ξηρασία κατά την περίοδο διαφοροποίησης του στάχους (περίοδος μεταξύ του καλαμώματος και της έναρξης

της διόγκωσης του κολεού του τελευταίου φύλλου) έχει ως συνέπεια το σχηματισμό στάχων μικρότερου μήκους, τη μείωση του αριθμού των παραγομένων σταχυδίων και τη μείωση του αριθμού κόκκων ανά στάχυ (Begg and Turner, 1976). Επιπρόσθετα, η έλλειψη νερού πριν από την άνθηση μειώνει την παραγωγή ζωτικής γύρης, ενώ η μειωμένη υγρασία κατά την άνθηση επιδρά αρνητικά στην επικονίαση και κατά συνέπεια στο σχηματισμό των σταχυδίων.

Το γέμισμα των κόκκων αποτελεί το τελευταίο στάδιο ανάπτυξης των σιτηρών, όπου οι γονιμοποιημένες ωοθήκες αναπτύσσονται σε καρύοψη. Η διάρκεια και ο ρυθμός γεμίματος καθορίζουν τις τελικές αποδόσεις. Υψηλές θερμοκρασίες και έλλειψη νερού κατά την περίοδο γεμίματος προκαλούν μεγάλες απώλειες στις αποδόσεις των σιτηρών, κυρίως λόγω του περιορισμού στη συσσώρευση αμύλου (γενικά, περισσότερο από το 65% του ξηρού βάρους του σπόρου αποτελείται από άμυλο). Οι ποσότητες αμύλου και πρωτεΐνης που συσσωρεύονται στον κάθε κόκκο εξαρτώνται από τον αριθμό των κυττάρων του ενδοσπερμίου και από το τελικό μέγεθος των κυττάρων που επηρεάζεται από τον ρυθμό και τη διάρκεια γεμίματος των σπόρων (Egli et al., 1998).

Η άμεση επίδραση της έλλειψης νερού στη διαίρεση των κυττάρων του ενδοσπερμίου έχει επαρκώς τεκμηριωθεί (Commuri and Jones, 1999; Setter and Flannigan, 2001). Συγκεκριμένα, φυτά σιταριού, τα οποία υποβλήθηκαν για 20 μέρες σε υδατική καταπόνηση κατά την περίοδο της διαίρεσης των κυττάρων του ενδοσπερμίου, παρουσίασαν μείωση του αριθμού των κυττάρων του ενδοσπερμίου κατά 30-40% και μείωση των μικρών κόκκων αμύλου ανά κύτταρο κατά 45% (Nicolas et al., 1985).

Το γέμισμα των κόκκων συνδέεται στενά με τη γήρανση του φυτού και με τη χρησιμοποίηση των αποθεμάτων που συσσωρεύονται στο βλαστό και στον κολεό του σιταριού και τα οποία συνεισφέρουν στο τελικό βάρος του κόκκου από 10 έως και 40% (Yang and Zhang, 2006). Η έλλειψη νερού κατά την περίοδο γεμίματος των κόκκων περιορίζει τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, επιταχύνει τον πρόωμο γηρασμό και τη μείωση της διάρκειας γεμίματος των κόκκων, αλλά αυξάνει τη μετακίνηση των συσσωρευμένων ουσιών από τα βλαστικά μέρη στους σπόρους (Plaut et al., 2004). Σε αντίθεση με τη διάρκεια γεμίματος των κόκκων, ο ρυθμός γεμίματος ελάχιστα επηρεάστηκε από την έλλειψη νερού (Westgate, 1994; Altenbach et al 2003). Βέβαια, υπό συνθήκες ελεγχόμενης εδαφικής ξηρασίας, τα

φυτά ενυδατώθηκαν την νύχτα και εμφάνισαν ταχύτερη και καλύτερη μεταφορά των συσσωρευμένων ουσιών τους (Yang and Zhang, 2006).

Xue et al. (2003) συνιστούσε τρεις εφαρμογές, στο καλάμωμα, την δεύτερη στην διόγκωση του κολεού και την τρίτη στην άνθηση, με συνολική άρδευση 300 mm, ενώ ο Zhang et al. (2004a) συνέστησε τρεις εφαρμογές, κατά το καλάμωμα, από την διόγκωση του κολεού μέχρι το καλάμωμα, και την τρίτη από την άνθηση μέχρι την αρχή του γαλακτώδη καρπού., αλλά με συνολική άρδευση 180 mm. Li et al. (2010) συνέστησε δύο εφαρμογές, κατά το καλάμωμα και το ξεστάχασμα με συνολική άρδευση 120 mm, και Lv et al. (2011) συνέστησε μια ενιαία εφαρμογή των 60-70 mm κατά το καλάμωμα. Όλες αυτές οι μελέτες παράγγααν υψηλότερες αποδόσεις και είχαν υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) από τις παραδοσιακές πρακτικές άρδευσης που εφαρμόζονται. Η συμπληρωματική άρδευση στα πρώτα στάδια ανάπτυξης βοηθάει τις ρίζες να αναπτυχθούν βαθύτερα εντός του εδάφους, γεγονός που ενισχύει την πρόσληψη του νερού από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. (Xu et.al., 2016). Έτσι, η ελλειμματική άρδευση προωθεί τη βλαστική ανάπτυξη και την αποδοτικότερη χρήση του νερού στο έδαφος κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής φάσης. (Zhang et.al., 2012)

Τα προαναφερθέντα δείχνουν ότι τα κρίσιμότερα στάδια του σιταριού που απαιτείται επάρκεια υγρασίας ώστε να μη μειώνεται η τελική απόδοση είναι η περίοδος της πρώτης ανάπτυξης του φυτού και η περίοδος που προηγείται 5-15 μέρες του ξεσταχιάσματος. Αυτό συμβαίνει επειδή η έλλειψη υγρασίας κατά την πρώτη και δεύτερη περίοδο συμβάλλει σε σημαντική μείωση των σπόρων που παράγονται ανά στάχυ λόγω μειωμένου παραγόμενου αριθμού σταχυδίων. Επιπρόσθετα, η έλλειψη εδαφικής υγρασίας κατά τη δεύτερη περίοδο έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή γύρης μειωμένης γονιμότητας. Το πρόβλημα επιδεινώνεται επειδή κατά τη δεύτερη περίοδο η καλλιέργεια παρουσιάζει το μέγιστο των αναγκών της σε νερό λόγω της πλήρους ανάπτυξης του φυλλώματος.

1.8 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το επιθυμητό τελικό προϊόν στο σκληρό σιτάρι δεν είναι το αλεύρι αλλά το σιμιγδάλι, το οποίο είναι προϊόν της άλεσης των κόκκων ορισμένης διαμέτρου και κύριο συστατικό για την παραγωγή ζυμαρικών. Είναι γνωστό ότι η ποιότητα των ζυμαρικών σε μεγάλο ποσοστό ελέγχεται από την ποσότητα και την περιεκτικότητα των πρωτεϊνών του ενδοσπερμίου. Οι πρωτεΐνες του ενδοσπερμίου των σιτηρών

αποτελούνται από γλουτελίνες και γλοιαδίνες, οι πρώτες με τη μορφή μονομερών πολυπεπτιδίων και οι δεύτερες ως υποομάδες πολυμέρων, συνδεδεμένες με διαμοριακούς δισουλφιδικούς δεσμούς (Porceddu et al., 1998). Οι γλουτελίνες μαζί με τις γλοιαδίνες σχηματίζουν ένα άμορφο μείγμα πρωτεϊνών, τη γλουτένη. Το ποσοστό της γλουτελίνης και της γλοιαδίνης στην περιεκτικότητα του σπόρου σε πρωτεΐνη ξεπερνά το 80% της συνολικής πρωτεΐνης που εντοπίζεται σε αυτά. Γενικώς, τα ζυμαρικά που παρασκευάζονται από υαλώδεις σπόρους σκληρού σιταριού με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είχαν καλύτερη ποιότητα μαγειρέματος σε σχέση με ζυμαρικά τα οποία παρασκευάζονταν από αμυλώδεις σπόρους με μικρή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (De Cillis, 1942).

Το πρωτεϊνικό απόθεμα των κόκκων, ίσως το σημαντικότερο ποιοτικό χαρακτηριστικό στο σκληρό σιτάρι, είναι γνωστό ότι επηρεάζεται από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, τις ποικιλίες, την αζωτούχο λίπανση και την διαθέσιμη εδαφική υγρασία κατά τη διάρκεια γεμίσματος των κόκκων (Rao et al., 1993)

Η έλλειψη νερού είναι γνωστό ότι συσχετίζεται με αύξηση της περιεκτικότητας των κόκκων σε πρωτεΐνη (Entz and Fowler., 1989). Ο Wang (2004) βρήκε ότι η αύξηση της συχνότητας άρδευσης είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας των κόκκων σε άμυλο και τη μείωση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη. Γενικώς, οι ξηρές συνθήκες κατά την περίοδο ανάπτυξης αυξάνουν τη συγκέντρωση της πρωτεΐνης στους κόκκους (Vos et al., 1981), ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έχει αναφερθεί ότι η άρδευση αύξησε τη περιεκτικότητα των κόκκων σε πρωτεΐνη λόγω διαλυτοποίησης και κινητοποίησης του επιφανειακού αζώτου (Yamada et al., 1972; Puri et al 1989). Ο Terman (1969) αναφέρει ότι η μεγαλύτερη αύξηση σε πρωτεΐνη μετά από εφαρμογή αζώτου παρατηρήθηκε σε εδάφη όπου δεν είχε γίνει άρδευση. Ο Bole and Dubetz (1986) διαπίστωσε ότι η έλλειψη αζώτου σε συνδυασμό με άρδευση είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας των κόκκων σε πρωτεΐνη, όχι όμως και όταν δεν υπήρχε άρδευση.

1.9 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της παρούσας μελέτης αποτελεί η διερεύνηση του κατάλληλου σταδίου ανάπτυξης σκληρού σίτου (*Triticum turgidum ssp. durum*) με σκοπό την αποδοτικότερη άρδευση κάτω από συνθήκες ελεγχόμενης υδατικής καταπόνησης.

Με γνώμονα την επίτευξη του παραπάνω αντικειμενικού σκοπού, εξετάστηκαν και μελετήθηκαν καθ' όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου αλλά και μετά το τέλος της συγκομιδής τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η εξέλιξη του βιολογικού κύκλου των φυτών και η εξέλιξη του υδατικού δυναμικού.
- Ο φωτοσυνθετικός ρυθμός, η αγωγιμότητα των στοματίων και η διακυτταρική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα.
- Η απόδοση σε καρπό και βιομάζα, ο αριθμός σπόρων ανά στάχυ, ο αριθμός στάχων ανά τετραγωνικό μέτρο, ο αριθμός των καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο, το μήκος των στάχων, το ύψος των φυτών, το βάρος χιλίων κόκκων και ο συντελεστής συγκομιδής.
- Η περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη και ο αριθμός και το βάρος των καρπών ανά θέση στην ράχη του στάχυ.

Η γνώση για τον τρόπο με τον οποίο επηρεάστηκαν τα χαρακτηριστικά αυτά από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν, είναι ικανή να διαφωτίσει για τον κατάλληλο χρόνο εφαρμογής άρδευσης στο σκληρό σιτάρι με τόσο από πλευράς παραγωγικότητας όσο και ποιοτικών χαρακτηριστικών.

2. Υλικά & Μέθοδοι

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το πείραμα διεξήχθη την καλλιεργητική περίοδο 2017-1018 εντός μόνιμου στεγάστρου που ήταν εγκατεστημένο στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γ.Π.Α. (γεωγραφικό πλάτος: 37ο 59' Δ, γεωγραφικό μήκος: 23ο 32' Β, υψόμετρο 30 m πάνω απ' το επίπεδο της θάλασσας) και σε έκταση 240m² με σκοπό τον πλήρη έλεγχο της άρδευσης. Διερευνήθηκε το η κατάλληλο στάδιο ανάπτυξης σκληρού σίτου (*Triticum turgidum ssp. durum*) με σκοπό την αποδοτικότερη άρδευση κάτω από συνθήκες ελεγχόμενης υδατικής καταπόνησης.

2.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

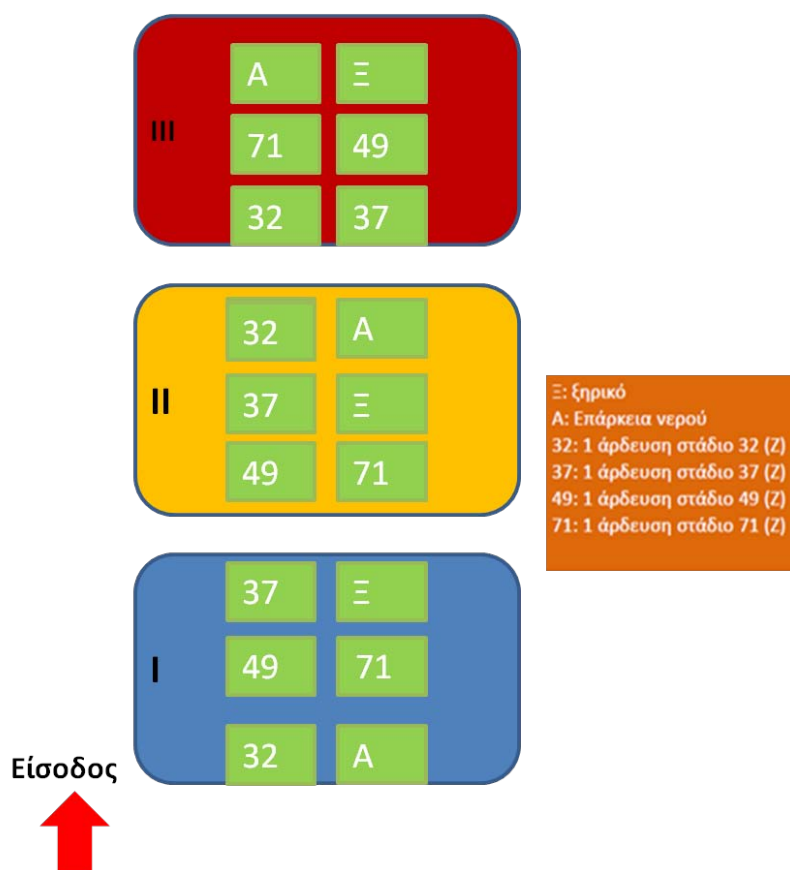
Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ευρέως καλλιεργούμενη ποικιλία σκληρού σίτου *Sveno*. Τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας *Sveno* παρουσιάζονται παρακάτω.

Η περιγραφή των χαρακτηριστικών είναι από την SyngentaHellas

Περιεκτικότητα πρωτεΐνης	Πολύ Υψηλή
Δείκτης χρώματος	25-27
Ποιότητα γλουτένης (1-10)	6
Βάρος 1000 σπόρων	>48
Εκατολιτρικό βάρος	Υψηλό
Παραγωγικό δυναμικό	Μέσο - υψηλό
Εμφάνιση στάχews	Πολύ πρώιμη
Χρώμα άγανου	Καφέ
Αντοχή στο ψύχος	Ανθεκτικό
Ύψος	Μέσο - υψηλό
Αδέλφωμα	Καλό
Αντοχή στο ωίδιο	Ανθεκτικό
Αντοχή στις σκωριάσεις	Ανθεκτικό
Αντοχή στο πλάγιασμα	Ανθεκτικό
Αντοχή στη σεπτόρια	Ανθεκτικό
Αντοχή στις φουζαριώσεις	Ανθεκτικό

2.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

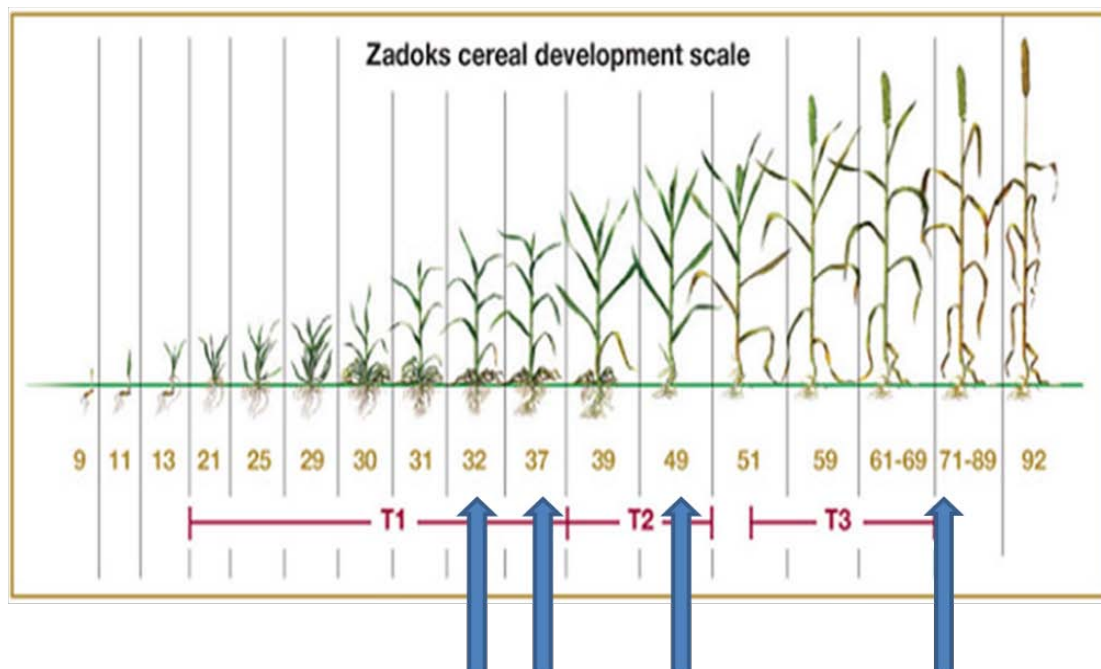
Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων με κύριο παράγοντα τον χρόνο εφαρμογής της άρδευσης (βιολογικό στάδιο ανάπτυξης του σιταριού) με τρεις επαναλήψεις. Κάθε τεμάχιο είχε επιφάνεια 2.4 m² (1,2m x 2m), ενώ ανάμεσα τους υπήρχε διάδρομος πλάτους 0.5m για την διευκόλυνση των επεμβάσεων και των μετρήσεων κατά την διάρκεια του πειράματος.



Σχήμα 1 : Κάτοψη πειραματικών τεμαχίων

Για την εκτίμηση της φαινολογίας βάσει της οποίας έγινε ο προγραμματισμός της ελεγχόμενης άρδευσης χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα Zadoks .Συγκεκριμένα, η ελεγχόμενη άρδευση πραγματοποιήθηκε σε 4 κρίσιμα στάδια του βιολογικού κύκλου της φυτείας ενώ ως μάρτυρας θεωρήθηκε η επέμβαση της κανονικής άρδευσης. Τα στάδια που πραγματοποιήθηκε η ελεγχόμενη άρδευση ήταν τα εξής: 32,37,49, 71 της κλίμακας Zadoks. Το στάδιο 32 αντιπροσωπεύει την ανάπτυξη του βλαστού-καλάμωμα και ειδικότερα είναι το στάδιο όπου ο 2 κόμβος είναι ανιχνεύσιμος ενώ το στάδιο 37 αντιπροσωπεύει την εμφάνιση του φύλλου σημαίας. Το στάδιο 49 αντιπροσωπεύει την εμφάνιση των πρώτων αγάνων ενώ το στάδιο 71 αντιπροσωπεύει

τον υδατώδη καρπό. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.1.2) βλέπουμε τα στάδια της συγκεκριμένης κλίμακας και τα συγκεκριμένα στάδια που πραγματοποιήθηκε η ελεγχόμενη άρδευση.



Εικόνα 2.1.2:Στάδια κλίμακας Zadoks στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μεταχειρίσεις της άρδευσης

2.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

2.2.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για την προετοιμασία του εδάφους πραγματοποιήθηκε πρώτα καθαρισμός από τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας με την χρήση καταστροφέα. Στην συνέχεια έγινε κατεργασία με φρέζα προκειμένου να θρυμματιστούν τα επιφανειακά συσσωματώματα με στόχο την επίτευξη μεγαλύτερου ποσοστού φυτρώματος των σπόρων.(Εικόνα 2.2.1)



Εικόνα 2.2.1: Εικόνα αγρού μετά την χρήση φρέζας

2.2.2 ΣΠΟΡΑ

Η σπορά πραγματοποιήθηκε χειρωνακτικά και εντοπισμένα, για την εξασφάλιση της ομοιομορφίας της πυκνότητας της φυτείας. Οι γραμμές σποράς ήταν 6 σε κάθε τεμάχιο και χαραχτηκαν επίσης χειρωνακτικά. Οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών ήταν 14 cm και οι αποστάσεις επί της γραμμής ήταν 2-3 cm. Πριν την σπορά πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση αισθητήρων υγρασίας, με σκοπό την παρακολούθηση της εδαφικής υγρασίας. Η σπορά έλαβε χώρα στις 22 Δεκεμβρίου 2017. (Εικόνα 2.2.2)

2.2.3 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΧΘΡΩΝ

Για την αντιμετώπιση των εντόμων εδάφους έγινε χημική καταπολέμηση με την χρήση του εμπορικού σκευάσματος «Pygix 5 GR» το οποίο περιέχει τη δραστική ουσία chlorpyrifos σε συγκέντρωση 5%. Η εφαρμογή έγινε στον αγρό κατά την διάρκεια της σποράς. Κατά την διάρκεια του πειράματος παρουσιάστηκε πρόβλημα με αφίδες. Η καταπολέμηση έγινε με την χρήση του εμπορικού σκευάσματος Decis το οποίο περιέχει την δραστική ουσία deltamethrin. Ο ψεκασμός πραγματοποιήθηκε στις 13 Μαρτίου 2018 με χρήση ψεκαστήρας πλάτης. (Εικόνα 2.2.3)



Εικόνα 2.2.3 : Ψεκάσμος με deltamethrin για την καταπολέμηση των αφίδων

2.2.4 ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ

Πριν την σπορά έγινε χειρωνακτική καταπολέμηση ζιζανίων σε όλο τον χώρο που θα πραγματοποιούνταν το πείραμα, ακόμα και στα σημεία που δεν θα γινόταν σπορά φυτών. Αργότερα έγινε εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Granstar και Axial με σκοπό την καταπολέμηση των ζιζανίων που είχαν αναπτυχθεί. (Εικόνα 2.2.4)



Εικόνα 2.2.4: Ζιζάνια μέσα σε τεμάχιο τα οποία καταπολεμήθηκαν με Granstar και Axial

2.2.5 ΛΙΠΑΝΣΗ

Στις αρχές Φεβρουαρίου, όπου η καλλιέργεια βρισκόταν στις αρχές του σταδίου του καλαμώματος πραγματοποιήθηκε εφαρμογή επιφανειακής λίπανσης ανά πειραματικό τεμάχιο με 6 μονάδες N σε μορφή νιτρικής αμμωνίας (46-0-0).

2.2.6 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Από τη σπορά και μέχρι την έναρξη των μεταχειρίσεων της άρδευσης χορηγήθηκαν σε όλη την έκταση του πειραματικού αγρού 80 mm νερού, με την χρήση εκτοξευτήρα. (Εικόνα 2.2.6.1) Η έναρξη των μεταχειρίσεων της άρδευσης περιελάμβανε αρχικά την εγκατάσταση ενός συστήματος στάγδην άρδευσης, το οποίο αποτελούνταν από σωλήνες αρδεύσεως οι οποίοι έφεραν σταλακτήρες. (Εικόνα 2.2.6.2) Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αρδευτικών σωλήνων ήταν:

- Διάμετρος σωλήνων: 32mm (κεντρικός αγωγός) και 16mm (γραμμή άρδευσης)
- Αποστάσεις σταλακτάρων επί της γραμμής: 30cm

- Ονομαστική παροχή σταλακτήρα: 4L/hr (μετά από επιτόπιο έλεγχο κατά την διάρκεια λειτουργίας του δικτύου)

Τα ξηρικά τεμάχια δέχθηκαν 80 mm νερού τα οποία χορηγήθηκαν μέχρι την έναρξη της ελεγχόμενης άρδευσης. Τα 4 κρίσιμα στάδια του βιολογικού κύκλου του σιταριού (32,37,49,71 της κλίμακας Zadoks) δέχθηκαν 120 mm νερού έκαστα.



Εικόνα 2.2.6.1: Άρδευση με εκτοξευτήρα πριν την εγκατάσταση του πειράματος και υπολογισμός της παρεχόμενης ποσότητας του νερού.



Εικόνα 2.2.6.2: Εγκατεστημένο το αρδευτικό σύστημα

2.2.7 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν στις μέσες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής ατμοσφαιρικής υγρασίας. Για την συλλογή των μετεωρολογικών παραμέτρων εντός του στεγάστρου εγκαταστάθηκε ένας φορητός μετεωρολογικός σταθμός σε συνεργασία με το Εργαστήριο Γενικής & Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γ.Π.Α. Οι συνεχείς μετρήσεις τόσο της θερμοκρασίας του αέρα όσο και της σχετικής υγρασίας πραγματοποιήθηκαν με αισθητήρες τύπου “Hobo Pro”, συνδυασμένους αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα / σχετικής υγρασίας και καταγραφείς δεδομένων. Οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν κατάλληλα σε αυτοσχέδιες mini μετεωρολογικές επιφάνειες πολλαπλών πιάτων που κατασκευάστηκαν ειδικά για τους σκοπούς αυτής της μελέτης. Οι οθόνες αποτελούνται από έξι προστατευτικές ασπίδες (πλάκες) που αντανακλούν την ακτινοβολία, με διάμετρο 165mm, οι οποίες έχουν ενσωματωθεί μέσω κοχλιωτών μεταλλικών ράβδων. Για να επιτραπεί επαρκής φυσικός αερισμός, χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί σωλήνες μικρής διαμέτρου ως διαχωριστικά για να διατηρηθεί ένα κενό περίπου 25mm ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ασπίδες. Όπως στην περίπτωση της τυποποιημένης μετεωρολογικής οθόνης (οθόνη Stevenson), οι εξωτερικές επιφάνειες των ασπίδων ήταν βαμμένες με γυαλιστερό λευκό χρώμα, ενώ το μαύρο στις εσωτερικές επιφάνειες ήταν βαμμένο με μαύρο ματ χρώμα. Σε όλες τις περιπτώσεις, αυτές οι mini μετεωρολογικές επιφάνειες τοποθετήθηκαν σε ύψος 1,7m πάνω από το έδαφος ή το δάπεδο, ύψος που αντιστοιχεί περίπου στο μέσο ύψος των ανθρώπων που εξετάζουν και επίσης για πρακτικούς λόγους εντός των χώρων. Η ακρίβεια των αισθητήρων “Hobo Pro”, σε περιβάλλον όπου δεν υπάρχουν σφάλματα που προκαλούνται από ηλιακή ή θερμική ακτινοβολία, είναι $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ σε 25°C και $\pm 3\%$ σχετική υγρασία πάνω από 0 έως 50°C . Λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική ακρίβεια των μετρήσεων, όλοι οι αισθητήρες βαθμονομήθηκαν στο εύρος της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος και της σχετικής υγρασίας, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα λόγω πιθανής ανόμοιας έκθεσης στο ηλιακό φως. (Tsiros and Hoffman, 2013).

2.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ- ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ

2.3.1 ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ

Στο παρόν πείραμα η ανάπτυξη των φυτών των τριών ποικιλιών υπολογίστηκε με βάση την κλίμακα Zadoks. Πραγματοποιήθηκαν 21 μετρήσεις από την 23η ημέρα από την σπορά μέχρι την 125η ημέρα από την σπορά.

Κατά την διάρκεια των ετών έχουν αναπτυχθεί διάφορες κλίμακες μέτρησης της ανάπτυξης των σιτηρών. Σε όλες τις περιπτώσεις στόχος ήταν η απόδοση μίας 37 αριθμητικής τιμής σε κάθε στάδιο του βιολογικού κύκλου των φυτών. Οι κλίμακες που επικράτησαν λόγω του ότι συνδύαζαν την εύκολη χρήση και την μεγαλύτερη ακρίβεια είναι η Feekes, Zadoks και Haun.

Η κλίμακα Zadoks αποτελεί ένα πλήρες σύστημα κωδικοποίησης της ανάπτυξης των φυτών και με την χρήση του μπορούμε να προσδιορίσουμε το βλαστικό στάδιο στο οποίο βρίσκεται το φυτό. Συγκεκριμένα, η κλίμακα Zadoks είναι ένας διψήφιος κωδικός όπου το πρώτο ψηφίο αφορά την κύρια φάση της ανάπτυξης αρχίζοντας από την βλάστηση και τελειώνοντας στην ωρίμανση του σπόρου. Το δεύτερο ψηφίο αφορά τις υποκατηγορίες της ανάπτυξης στις οποίες χωρίζονται οι κύριες φάσεις. Ο βιολογικός κύκλος του φυτού χωρίζεται σε δέκα στάδια, κάθε ένα από τα οποία χωρίζεται σε δέκα υποδιαιρέσεις (Πίνακας 2.3.1). Στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης του φυτού, η κλίμακα Zadoks καταγράφει τα πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα του κύριου στελέχους (Zadoks et al., 1974)

Περιγραφή	Στάδια Zadoks
Βλάστηση του σπόρου	0-9
Αύξηση φυταρίων	10-19
Αδέλφωμα	20-29
Καλάμωμα	30-39
Διόγκωση κολεού	40-49
Ξεστάχιασμα	50-59
Άνθηση	60-69
Γαλακτώδης καρπός	70-79
Στάδιο ζύμης	80-89
Ωρίμανση	90-99

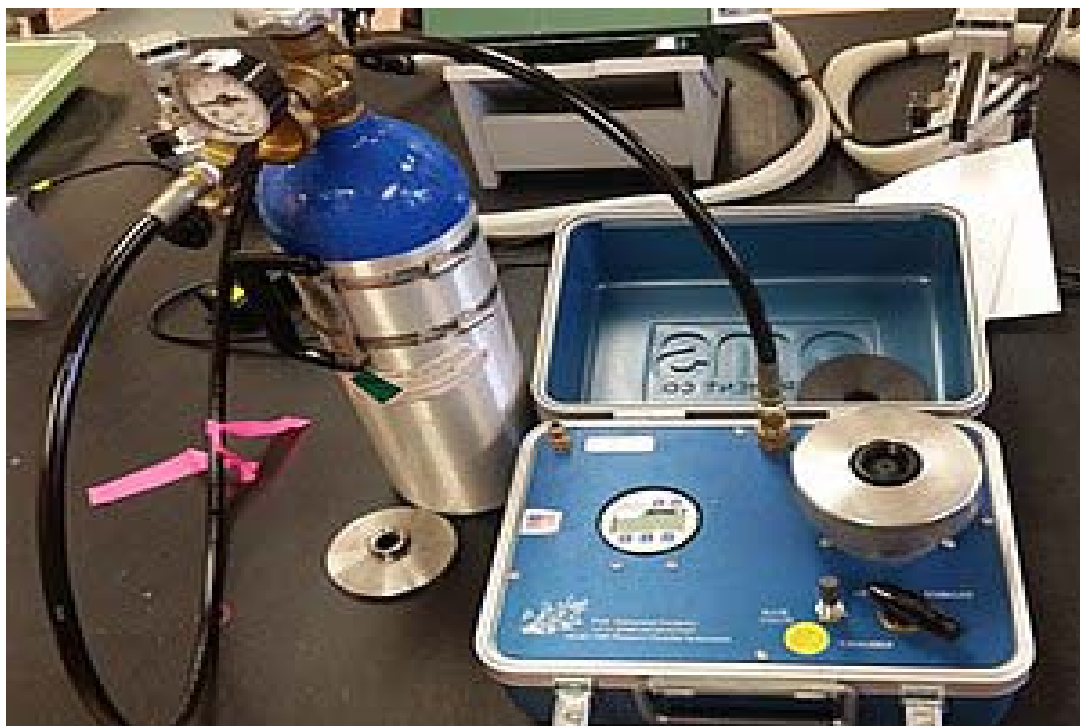
Πίνακας 2.3.1 : Τα κυριότερα στάδια της κλίμακας Zadoks

2.3.2 ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ(ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ (ΨL))

Το υδατικό δυναμικό των φύλλων μετρήθηκε με τη μέθοδο του θαλάμου πίεσης(Εικόνα 2.3.2).Ο θάλαμος πίεσης που χρησιμοποιήθηκε κατασκευάστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Waring και Cleary (1967). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το φύλλο του σιταριού εισέρχεται σε κύλινδρο ενώ παράλληλα ο μίσχος του προεξέχει από το καπάκι. Ο κύλινδρος σφραγίζεται ερμητικά και η εσωτερική πίεση αυξάνεται σταδιακά με την εφαρμογή αζώτου, μέχρι να εμφανιστεί σταγόνα φυτικού χυμού στο μίσχο. Με την τεχνική αυτή ουσιαστικά προσδιορίζεται η αρνητική πίεση απορρόφησης του ανιόντος χυμού στα αγγεία του ξύλου (Tyree and Hammel, 1972), η οποία έχει αποδειχθεί ότι είναι ίση κατά προσέγγιση με το υδατικό δυναμικό του φύλλου, όταν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα φύλλα.

Η μέθοδος αυτή (Scholander *et al.*, 1964) συνεχίζει να αποτελεί τον κυριότερο τρόπο μέτρησης του υδατικού δυναμικού των φύλλων σε συνθήκες αγρού, διότι είναι γρήγορη, αξιόπιστη και δεν παρουσιάζει ευαισθησία στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Οι Tyree *et al.* (1974), απέδειξαν ότι το υδατικό δυναμικό μεταβάλλεται λιγότερο από 0.02 MPa μέσα σε ένα εύρος θερμοκρασιών από 0 έως 36 0C.

Η συλλογή κάθε δείγματος γινόταν στις 12 μ.μ., χρονική περίοδο κατά την οποία το υδατικό δυναμικό λαμβάνει την κατώτερη ημερήσια τιμή του. Συγκεκριμένα, η διαδικασία που ακολουθούνταν ήταν η εξής: Κοπή του νεότερου πλήρως ανεπτυγμένου φύλλου (τρίτο φύλλο από την κορυφή) του κεντρικού στελέχους κάθε φυτού, τοποθέτηση του δείγματος σε πλαστικές σακούλες αεροστεγώς κλεισμένες και μεταφορά του σε οικιακό ψυγείο, μέχρι τη στιγμή της μέτρησης η οποία ολοκληρώνονταν το αργότερο 3-4 ώρες μετά από τη λήψη του τελευταίου δείγματος. Κατά την διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν συνολικά 4 μετρήσεις του υδατικού δυναμικού ύστερα από κάθε επέμβαση.



Εικόνα 2.3.2: Θάλαμος πίεσης Scholander

2.3.3 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Κατά την διάρκεια της εμφάνισης των πρώτων αγάνων, δηλαδή στο στάδιο 49 της κλίμακας Zadoksγια όλες τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν, έλαβαν χώρα οι μετρήσεις που αφορούν την φωτοσύνθεση. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η κινητή συσκευή μέτρησης της φωτοσύνθεσης Li-Cor 6400 και οι μετρήσεις λαμβανόταν από το δεύτερο πλήρως ανεπτυγμένο φύλλο(Εικόνα 2.3.3). Έτσι υπολογίστηκε η καθαρή φωτοσύνθεση(καθαρός φωτοσυνθετικός ρυθμός), η αγωγιμότητα των στομάτων και διακυτταρική συγκέντρωση του CO₂ .



Εικόνα 2.3.3: Μέτρηση των παραμέτρων της φωτοσύνθεσης με την κινητή συσκευή Li-Cor 6400

2.4 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της οικονομικής ωρίμανσης, και έλαβε χώρα στις 14 Μαΐου 2018 (Εικόνα 2.4.1). Κατά την διάρκεια της συγκομιδής τα δείγματα των φυτών τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Γεωργίας του ΓΠΑ για περαιτέρω μετρήσεις. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι εξής :

- Απόδοση σε καρπό
- Βιομάζα
- Συντελεστής συγκομιδής (harvestindex) ως ο λόγος της απόδοσης σε καρπό προς την συνολική υπέργεια βιομάζα
- Αριθμός στάχων ανά τετραγωνικό μέτρο (m^2)
- Αριθμός σταχυιδίων ανά στάχυ
- Προσδιορισμός του βάρους χιλίων κόκκων
- Αριθμός καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο (m^2)
- Υπολογισμός ύψους φυτών
- Μήκος στάχων (cm)



Εικόνα 2.4.1: Συγκομιδή

2.5 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

2.5.1 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΣΤΟΥΣ ΣΠΟΡΟΥΣ

Ο προσδιορισμός του ποσοστού πρωτεΐνης που περιέχεται στους σπόρους έγινε μέσω του ποσοστού του N που βρέθηκε σε αυτούς με την μέθοδο Kjeldahl. Το πρωτεϊνικό περιεχόμενο των σπόρων δίνεται ως ακατέργαστη πρωτεΐνη που προκύπτει ως: % πρωτεΐνη = N * 6,25

2.5.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ

Από κάθε τεμάχιο επιλέχθηκαν πέντε στάχεις. Σε κάθε θέση της ράχης υπολογίστηκε ο αριθμός των καρπών και το βάρος των καρπών.

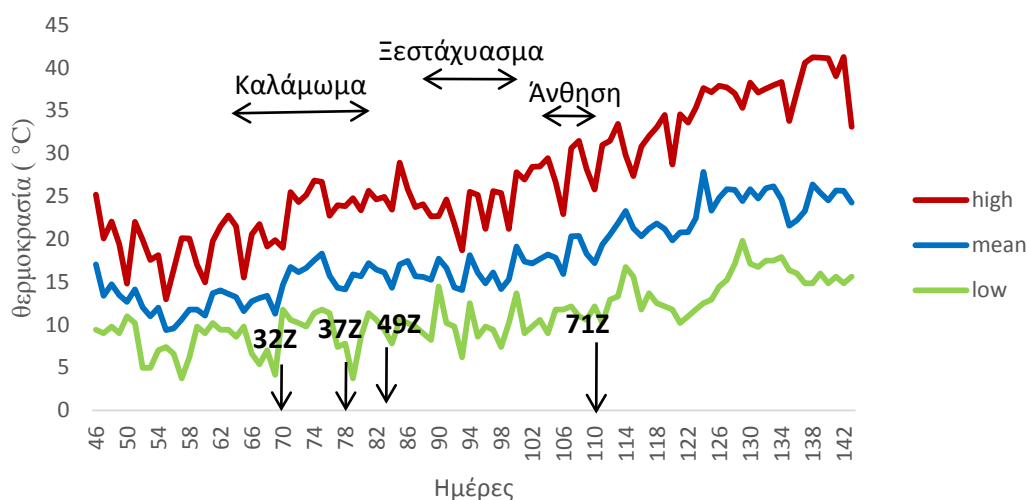
2.5.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά προγράμματα Microsoft Excel και Stat Graphics. Οι δοκιμασίες σημαντικότητας έγιναν σύμφωνα με το κριτήριο του F, ενώ οι περαιτέρω συγκρίσεις των μέσων πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο της ελάχιστα σημαντικής διαφοράς (LSD).

3. Αποτελέσματα

3.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

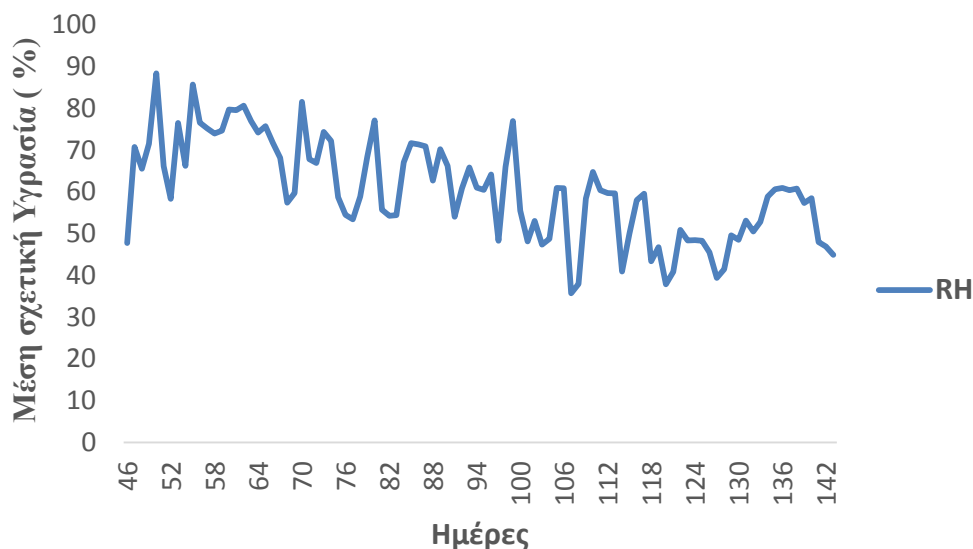
Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζονται οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα που επικρατούσαν εντός του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.



Διάγραμμα 3.1 : η διακύμανση της ελάχιστης, μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της εξέλιξης του βιολογικού κύκλου των φυτών. 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z: Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός) Με κόκκινο χρώμα είναι η υψηλότερη θερμοκρασία, με πράσινη η χαμηλότερη ενώ με μπλε είναι η μέση. Τα βέλη απεικονίζουν τις ημέρες μετά την σπορά στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι αρδεύσεις σε κάθε στάδιο.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα η ανώτερη θερμοκρασία μετρήθηκε κατά την 138^η ημέρα του βιολογικού κύκλου των φυτών και ήταν 41.25°C. Η χαμηλότερη θερμοκρασία μετρήθηκε κατά την 79^η ημέρα του βιολογικού κύκλου των φυτών και ήταν 3.74°C. Στο διάγραμμα παρατηρούμε επίσης ότι το στάδιο του καλαμώματος διήρκησε από τις 62 ημέρες μετά την σπορά μέχρι τις 78 ημέρες μετά την σπορά, το στάδιο του ξεσταχιάσματος διήρκησε από τις 91 ημέρες μετά την σπορά μέχρι τις 98 ημέρες μετά την σπορά ενώ το στάδιο της άνθησης από τις 103 ημέρες μετά την σπορά μέχρι τις 108 ημέρες μετά την σπορά.

Στο διάγραμμα 3.1.b παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα που επικρατούσαν εντός του θερμοκηπίου σε ημερήσια βάση, κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.



Διάγραμμα 3.1.b.: Η διακύμανση της μέσης σχετικής υγρασίας εντός του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια της εξέλιξης του βιολογικού κύκλου των φυτών.

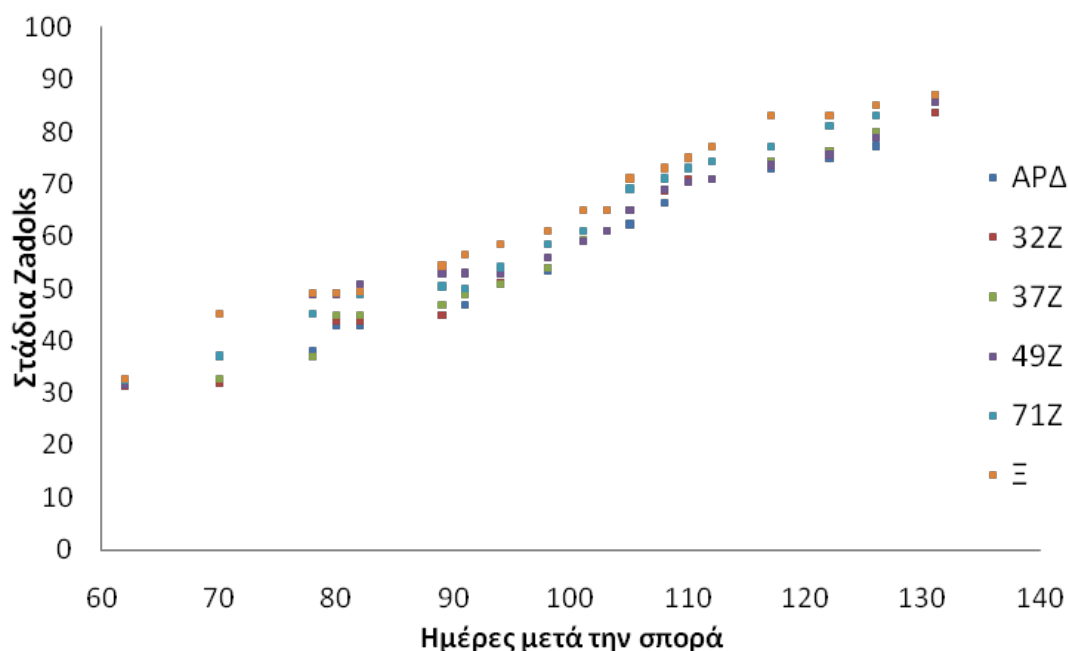
Η μέση σχετική υγρασία παρουσίασε έντονη διακύμανση κατά την διάρκεια της εξέλιξης του βιολογικού κύκλου των φυτών. Η μέγιστη τιμή της καταγράφηκε την 50^η ημέρα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών και ήταν 88,94% ενώ η χαμηλότερη τιμή ήταν 35,75 % για την 107^η ημέρα από την σπορά στο στάδιο της άνθησης.

3.2 ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ-ΚΛΙΜΑΚΑ ZADOKS

Η ανάπτυξη των φυτών με βάση την κλίμακα Zadoks σε σχέση με τις ημέρες από την σπορά παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.2. Όπως φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα υπήρχε μία σχετικά ομοιόμορφη ανάπτυξη των φυτών σε όλες τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά όλων των μεταχειρίσεων άρδευσης που εφαρμόστηκαν είχαν σχεδόν ίδια σταθερή πορεία έως και τις 70 ημέρες μετά την σπορά και βρίσκονταν στο στάδιο του καλαμώματος, με εξαίρεση τα ξηρικά φυτά όπου στις 70 ημέρες μετά την σπορά βρίσκονταν στο στάδιο 45 της κλίμακας Zadoks, δηλαδή στο στάδιο όπου διογκώνεται ο κολεός. Στις 80 ημέρες μετά την σπορά τα φυτά όπου υπήρχε επάρκεια ύδατος (A), τα φυτά όπου η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στα στάδια 32(32Z) και 37(37Z) της κλίμακας

Zadoks είχαν εισέλθει στο στάδιο της διόγκωσής του κολεού. Στις ίδιες ημέρες μετά της σπορά τα φυτά όπου η μοναδική άρδευση έγινε στα στάδια 49(49Z) και 71(71Z) της κλίμακας Zadoks και τα ξηρικά φυτά βρίσκονταν στο στάδιο 49 της κλίμακας Zadoks, δηλαδή το στάδιο εμφάνισης των πρώτων αγάνων. Στις 94 ημέρες μετά την σπορά τα φυτά όλων των μεταχειρίσεων άρδευσης είχαν εισέλθει στο στάδιο του ξεσταχιάσματος, και στις 98 ημέρες μετά την σπορά τα ξηρικά φυτά βρίσκονταν στο στάδιο 61 της κλίμακας Zadoks, δηλαδή στο στάδιο έναρξης της ανθοφορίας. Το στάδιο της άνθησης για τα ξηρικά φυτά και τα φυτά όπου αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks στις 105 ημέρες μετά την σπορά ενώ για τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων στις 110 ημέρες. Από τις 110 ημέρες μετά την σπορά και έπειτα παρατηρούμε ότι η ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου των φυτών όπου η άρδευση έγινε στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks και στα ξηρικά φυτά είναι ταχύτερος από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων.

Φαίνεται λοιπόν πως τα ξηρικά φυτά και τα φυτά όπου η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks, το στάδιο δηλαδή όπου ο καρπός ενυδατώνεται, παρουσίασαν επιτάχυνση στην ολοκλήρωση του βιολογικού τους κύκλου. Τα φυτά τα οποία υπέστησαν τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις ακολούθησαν παρόμοια πορεία στον βιολογικό τους κύκλο.



Διάγραμμα 3.2: Πορεία της ανάπτυξης των φυτών . A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου

σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός) Ξ: Ξηρικά φυτά.

3.3 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

3.3.1 ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά πέντε (5) μετρήσεις υδατικού δυναμικού κατά την 74^η, 80^η, 87^η, 94^η και 103^η ημέρα από την σπορά.

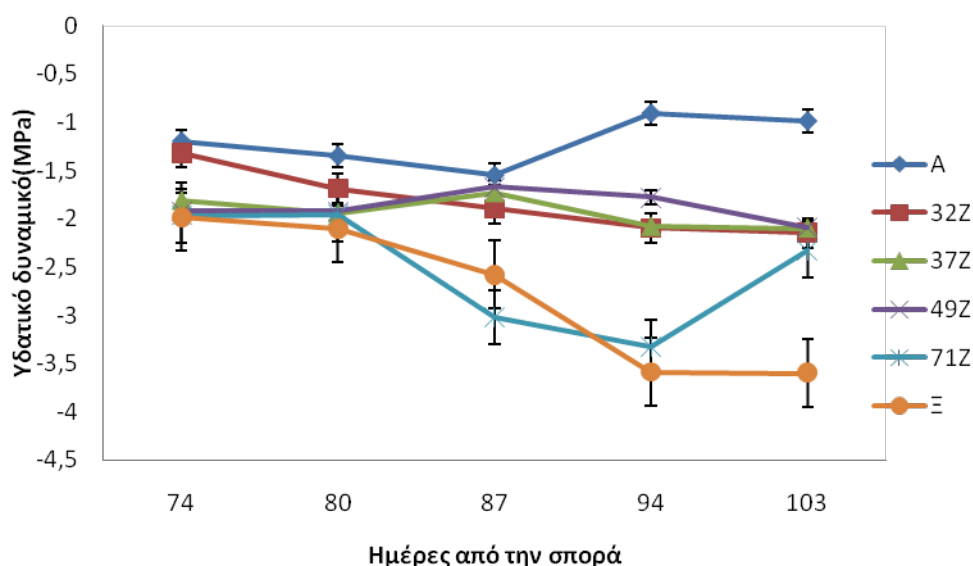
Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, το υδατικό δυναμικό ακολούθησε πτωτική πορεία για όλες τις μεταχειρίσεις της άρδευσης που εφαρμόστηκαν, εκτός από τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά όπου παρουσιάζει αυξητική πορεία.

Πιο συγκεκριμένα, το υδατικό δυναμικό στα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν κανονικά(A), κατά την 74 ημέρα ήταν -1.2 Mpa. Στην συνέχεια έπειτα από μία πτώση στα -1.55Mpa κατά την 87 ημέρα μετά την σπορά ακολούθησε άνοδος στα -0.99 Mpa κατά την 103 ημέρα μετά την σπορά. Τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 της κλίμακας Zadoks στην πρώτη μέτρηση η τιμή του υδατικού δυναμικού ήταν -1.32Mpa. Έπειτα ακολούθησε κατά την 80 ημέρα μετά την σπορά πτώση στα -1.69 Mpa ενώ συνέχισε την πτωτική πορεία και κατέληξε στην 103 ημέρα από την σπορά σε -2.15Mpa. Τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στα στάδια 37 και 49 της κλίμακας Zadoks παρουσίασαν παρόμοιες πορείες όσον αφορά το υδατικό τους δυναμικό. Στα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37 της κλίμακας Zadoks η πρώτη μέτρηση στις 74 ημέρες ήταν -1.81Mpa, στις 80 ημέρες μετά την σπορά ήταν -1.94 Mpa, ακολούθησε στις 87 ημέρες ανοδική πορεία και η τιμή ανήλθε σε -1.73 Mpa και στην τελευταία μέτρηση στις 103 ημέρες ήταν -2.1Mpa. Τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 της κλίμακας Zadoks(εμφάνιση πρώτων αγάνων) η πρώτη μέτρηση στις 74 ημέρες και η μέτρηση στις 80 ημέρες ήταν -1.92Mpa, στις 87 ημέρες μετά την σπορά ακολούθησε ανοδική πορεία και η τιμή ανήλθε σε -1.67 Mpa και στην τελευταία μέτρηση στις 103 ημέρες ήταν -2.09Mpa. .

Τα ξηρικά φυτά και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks είχαν τις μικρότερες τιμές καθ όλη την διάρκεια του πειράματος. Στην πρώτη μέτρηση τα ξηρικά φυτά είχαν -1.97Mpa ενώ τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks είχαν -1.98 Mpa και συνέχισαν να ακολουθούν πτωτική πορεία. Ειδικότερα, κατά την 87 ημέρα μετά την σπορά τα φυτά που στα οποία η μοναδική άρδευση έγινε στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks η τιμή του υδατικού δυναμικού ήταν -3.02 Mpa ενώ στα ξηρικά φυτά ήταν -2.58 Mpa. Κατά την τελευταία μέτρηση

και οι δύο αυτές μεταχειρίσεις σημείωσαν τις χαμηλότερες τιμές υδατικού δυναμικού σε σύγκριση με τις άλλες μεταχειρίσεις. Ειδικότερα, στα ξηρικά φυτά η τιμή του υδατικού δυναμικού ήταν -3.6 Mpa ενώ για τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71της κλίμακας Zadoks η τιμή ανήλθε σε -2.33 Mpa.

Όπως φαίνεται, τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στα στάδια 37,49 της κλίμακας Zadoks δεν είχαν μεγάλη διακύμανση του υδατικού δυναμικού τους ενώ αντίθετα τα ξηρικά φυτά και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks παρουσίασαν την μεγαλύτερη διακύμανση του υδατικού δυναμικού. Τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν κανονικά παρουσίασαν τις μεγαλύτερες τιμές υδατικού δυναμικού σε όλη την διάρκεια του βιολογικού κύκλου όπως ήταν αναμενόμενο.(Εικόνα 3.3.1)



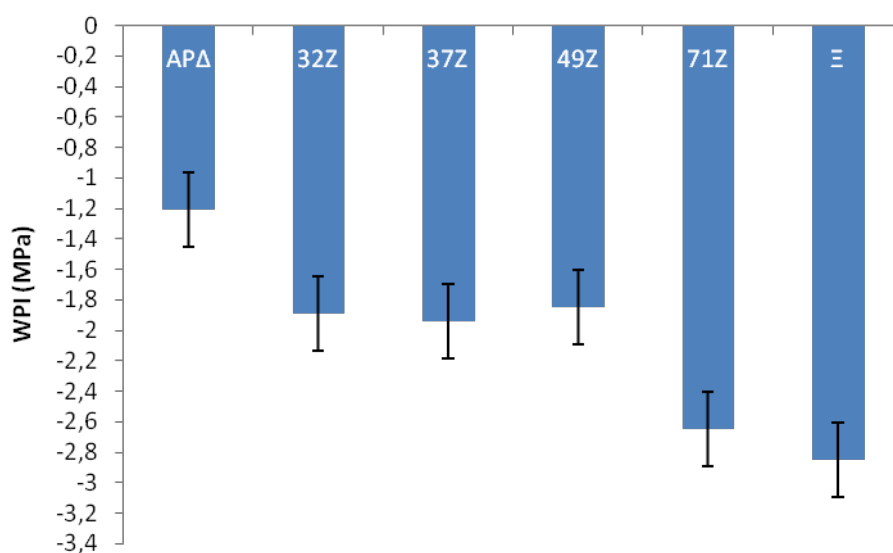
Διάγραμμα 3.3.1: Η διακύμανση του υδατικού δυναμικού (Mpa) στην ποικιλία Snevo σε σχέση με τις ημέρες από την σπορά. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z: Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός) Ξ: Ξηρικά φυτά

3.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (WATER POTENTIAL INDEX)

Από το παρακάτω διάγραμμα διαπιστώθηκε ότι μεταξύ των μεταχειρίσεων άρδευσης που εφαρμόστηκαν παρουσιάστηκαν διαφορές στις τιμές του WPI. Στα φυτά που είχαν επάρκεια ύδατος (A) η τιμή του WPI ήταν -1.21 MPa, στα ξηρικά φυτά η τιμή ανήλθε σε -2.85 MPa, στα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 της κλίμακας Zadoks η τιμή ήταν -1.89 MPa, στα φυτά τα οποία η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 37 της κλίμακας Zadoks η τιμή ήταν -1.94 MPa και

στα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 και 71 της κλίμακας Zadoks οι τιμές ήταν -1.85 και -2.65 MPa αντίστοιχα.

Η μεγαλύτερη διαφορά υδατικού δυναμικού ήταν ανάμεσα στα φυτά με επάρκεια ύδατος (Α) και στα ξηρικά φυτά με 1.64 MPa, ενώ η μικρότερη διαφορά παρουσιάστηκε ανάμεσα στα φυτά που η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 37 της κλίμακας Zadoks και στα φυτά που η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 32 της κλίμακας Zadoks με 0.05MPa. Γίνεται επομένως αντιληπτό, ότι η υψηλότερη τιμή του WPI ήταν στα ξηρικά φυτά, δηλαδή αυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση ενώ η χαμηλότερη στα φυτά που είχαν επάρκεια ύδατος. .(Εικόνα 3.3.2)



Διάγραμμα 3.3.2:Απεικόνιση των τιμών του WPI στις διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. Α: κανονική άρδευση 32Ζ: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Ζ:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Ζ: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Ζ: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός) Ξ: Ξηρικά φυτά



**ΚΑΝΟΝΙΚΗ
ΑΡΔΕΥΣΗ**

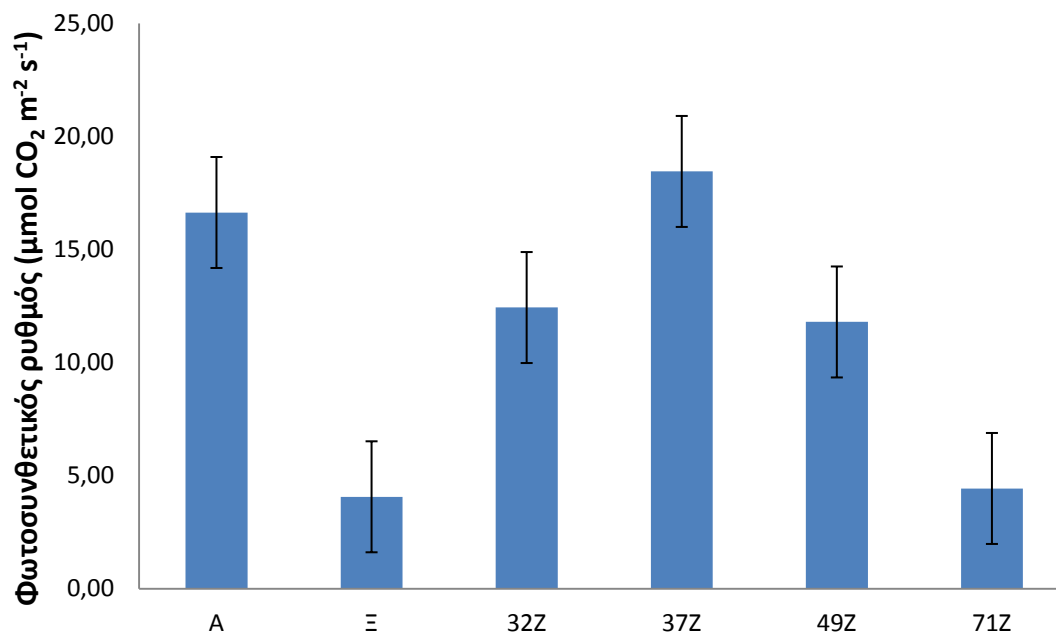
ΞΗΡΙΚΟ ΦΥΤΟ

Εικόνα 3.3.2 Οι επιπτώσεις της υδατικής καταπόνησης

3.4 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

3.4.1 ΚΑΘΑΡΗ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ (ΚΑΘΑΡΟΣ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ)

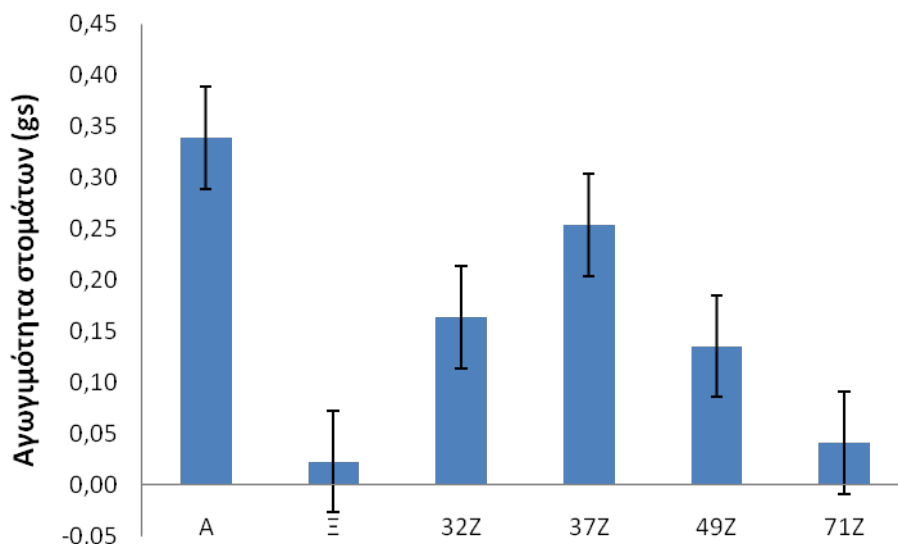
Στις μετρήσεις που αφορούσαν τον καθαρό φωτοσυνθετικό ρυθμό η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στα φυτά στα οποία η μοναδική άρδευση έγινε στο στάδιο 37 με $18.45 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Τα φυτά στα οποία υπήρχε επάρκεια ύδατος η τιμή ανήλθε σε $16.64 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ενώ στα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 και 49 οι τιμές ήταν $12.43 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και $11.80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν στο στάδιο 71, στο στάδιο δηλαδή όπου ο καρπός ενυδατώνεται και στα ξηρικά φυτά. Οι τιμές ήταν $4.43 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και $4.07 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ αντίστοιχα. Επομένως παρατηρούμε ότι ο φωτοσυνθετικός ρυθμός παρουσίασε μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε κανονική άρδευση (A) και στα ξηρικά φυτά, δηλαδή τα φυτά αυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση.



Διάγραμμα 3.4.1: Οι επιδράσεις των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στον καθαρό φωτοσυνθετικό ρυθμό. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z: Άρδευση στο στάδιο 37 (εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49 (πρώτη εμφάνιση αγάνων) 71Z: Άρδευση στο στάδιο 71 (υδατώδης καρπός) Ξ: Ξηρικά φυτά

3.4.2 ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟΜΑΤΩΝ (gs)

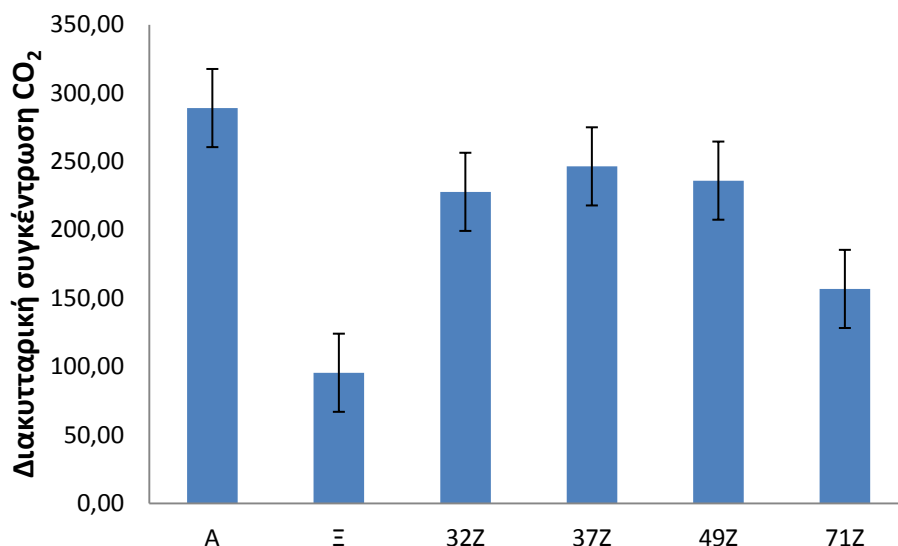
Στις μετρήσεις που αφορούσαν την αγωγιμότητα των στομάτων η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στα φυτά τα οποία είχαν επάρκεια ύδατος με $0.34 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ με μεγάλες διαφορές από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Τα φυτά όπου η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 37 η τιμή ανήλθε σε $0.25 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ενώ στα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 και 49 οι τιμές ήταν $0.16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και $0.14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν στο στάδιο 71, στο στάδιο δηλαδή όπου ο καρπός ενυδατώνεται και στα ξηρικά φυτά. Οι τιμές ήταν $0.04 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και $0.02 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ αντίστοιχα.



Διάγραμμα 3.4.2. Οι επιδράσεις των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στην αγωγιμότητα των στομάτων. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z: Άρδευση στο στάδιο 37 (εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49 (πρώτη εμφάνιση αγάνων) 71Z: Άρδευση στο στάδιο 71 (υδατώδης καρπός) Ξ: Ξηρικά φυτά

3.4.3 ΔΙΑΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΟΥ CO₂

Στις μετρήσεις που αφορούσαν την διακυτταρική συγκέντρωση του CO₂ η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στα φυτά τα οποία είχαν επάρκεια ύδατος με 289,06 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$. Τα φυτά όπου η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 37 η τιμή ανήλθε σε 246,43 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, ενώ στα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 και 49 οι τιμές ήταν 227,81 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ και 236 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$. Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν στο στάδιο 71, στο στάδιο δηλαδή όπου ο καρπός ενυδατώνεται και στα ξηρικά φυτά. Οι τιμές ήταν 156,83 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ και 95,56 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ αντίστοιχα. Επομένως παρατηρούμε ότι η διακυτταρική συγκέντρωση του CO₂ παρουσίασε μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε κανονική άρδευση (A) και στα ξηρικά φυτά, δηλαδή τα φυτά αυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση.



Διάγραμμα 3.4.3. Οι επιδράσεις των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στην διακυτταρική συγκέντρωση CO₂. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z: Άρδευση στο στάδιο 37 (εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49 (πρώτη εμφάνιση αγάνων) 71Z: Άρδευση στο στάδιο 71 (υδατώδης καρπός) Ξ: Ξηρικά φυτά

3.5 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

3.5.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΚΑΡΠΟ

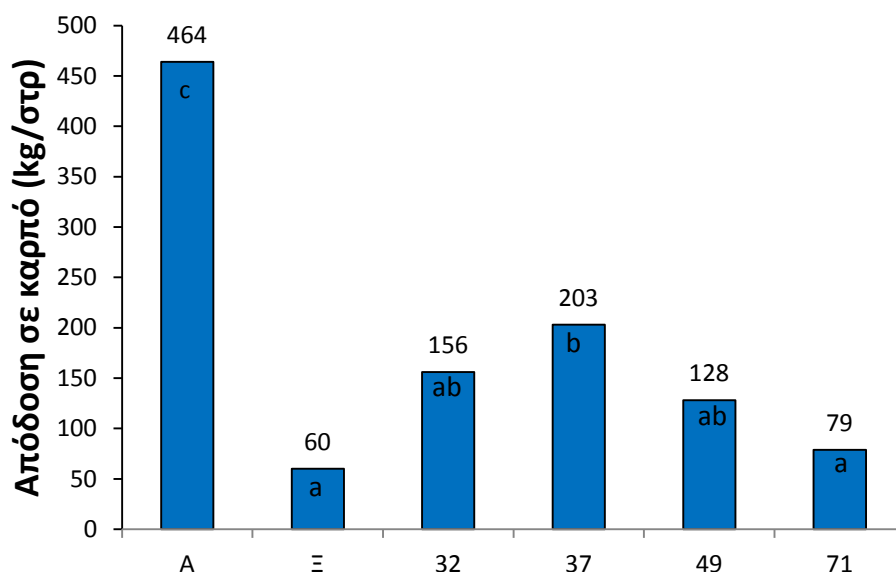
Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5.1 οι μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά την απόδοση σε καρπό.

Πίνακας 3.5.1 Ανάλυση της διασποράς για την απόδοση σε καρπό.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	15774,8	2	7887,39	1,77	0,2193
Νερό	327672	5	65534,5	14,73	0,00020
Υπόλοιπο	44488,6	10	4448,86		
Σύνολο	387936	17			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά στάδια άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον καθορισμό της απόδοσης σε καρπό ανά στρέμμα. Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν μεγαλύτερη

απόδοση σε καρπό 464 kg/στρ και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ακολούθησαν, τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37 με 203 kg/στρ, τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 με 156 kg/στρ και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 και δεν διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο μεταξύ τους. Τα τεμάχια με τα ξηρικά φυτά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 είχαν τις μικρότερες αποδόσεις με 60 kg/στρ και 79 kg/στρ αντίστοιχα και παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν κανονικά και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 37.



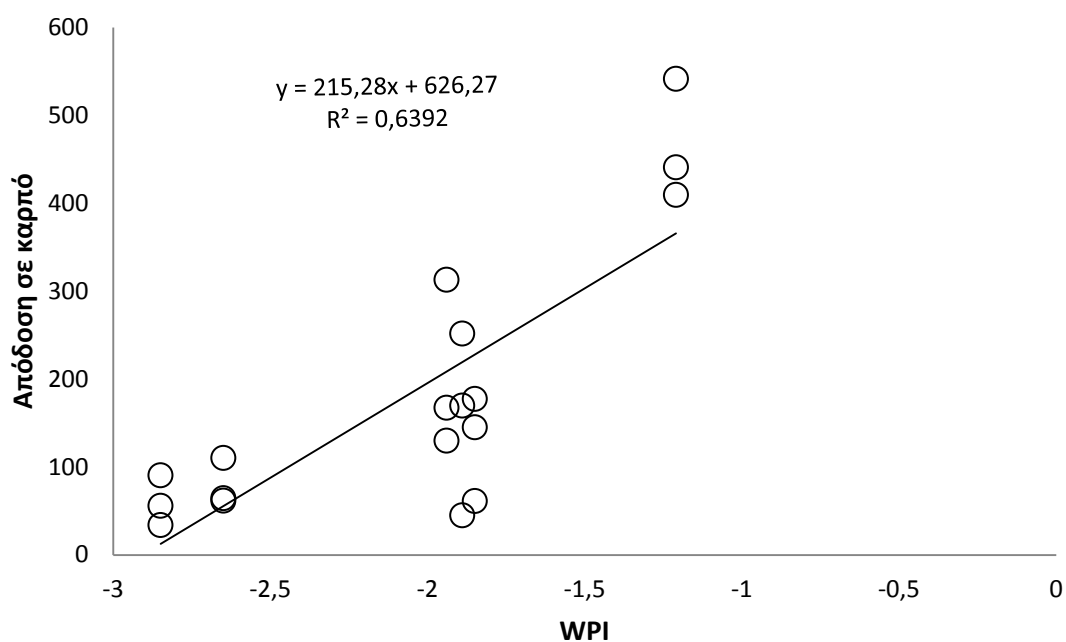
Διάγραμμα 3.5.1.: Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στην απόδοση σε καρπό ανά στρέμμα. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός) Ξ: Ξηρικά φυτά,a,b,c: οι στήλες που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σύμφωνα με την σύγκριση LSD(Pvalue<0.05)

3.5.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΨΗΡΙΜΕΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΚΑΡΠΟ

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του ΨΡΙκαι της απόδοσης σε καρπό ήταν στατιστικά σημαντική και γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 63.92%.

Πίνακας 3.5.2.Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με την απόδοση σε καρπό

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Μοντέλο	247649	1	247649	28,24	0,0001
Υπόλοιπο	140287	16	8767,94		
Σύνολο	387936	17			



Διάγραμμα 3.5.2: Η γραμμική παλινδρόμηση της απόδοσης σε καρπό με τον δείκτη WPI.

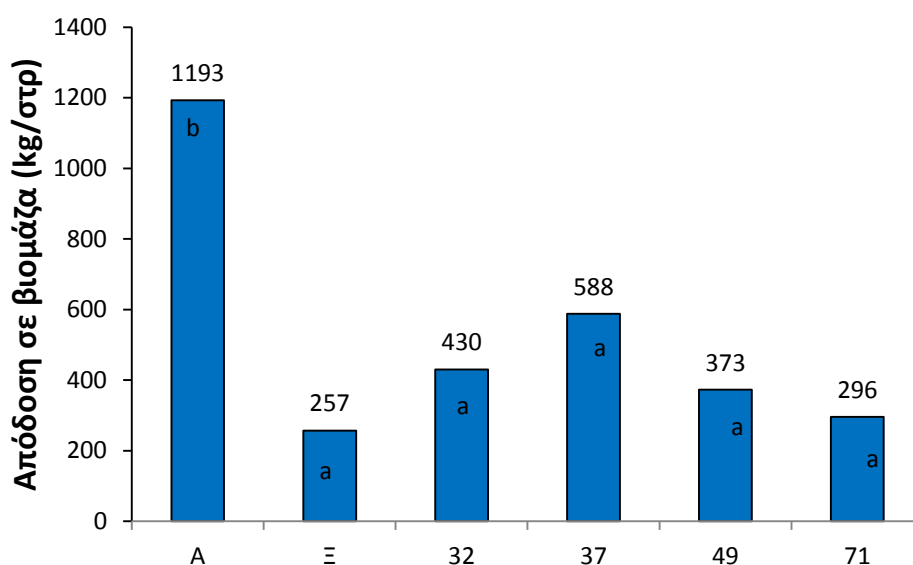
3.5.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΜΑΖΑ

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5.3 οι μεταχειρίσεις νερού διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά την απόδοση σε βιομάζα.

Πίνακας 3.5.3.Ανάλυση της διασποράς για την απόδοση σε βιομάζα.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	148304	2	74152,2	2,22	0,15970
Νερό	1,82E+06	5	364373	10,89	0,00090
Υπόλοιπο	334578	10	33457,8		
Σύνολο	2,30E+06	17			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά στάδια άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον καθορισμό της βιομάζας ανά στρέμμα. Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν μεγαλύτερη απόδοση σε βιομάζα 1193 kg/στρ και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ακολούθησαν, τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37 με 588 kg/στρ. Τα τεμάχια με τα ξηρικά φυτά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 είχαν τις μικρότερες αποδόσεις με 296 kg/στρ και 257 kg/στρ αντίστοιχα



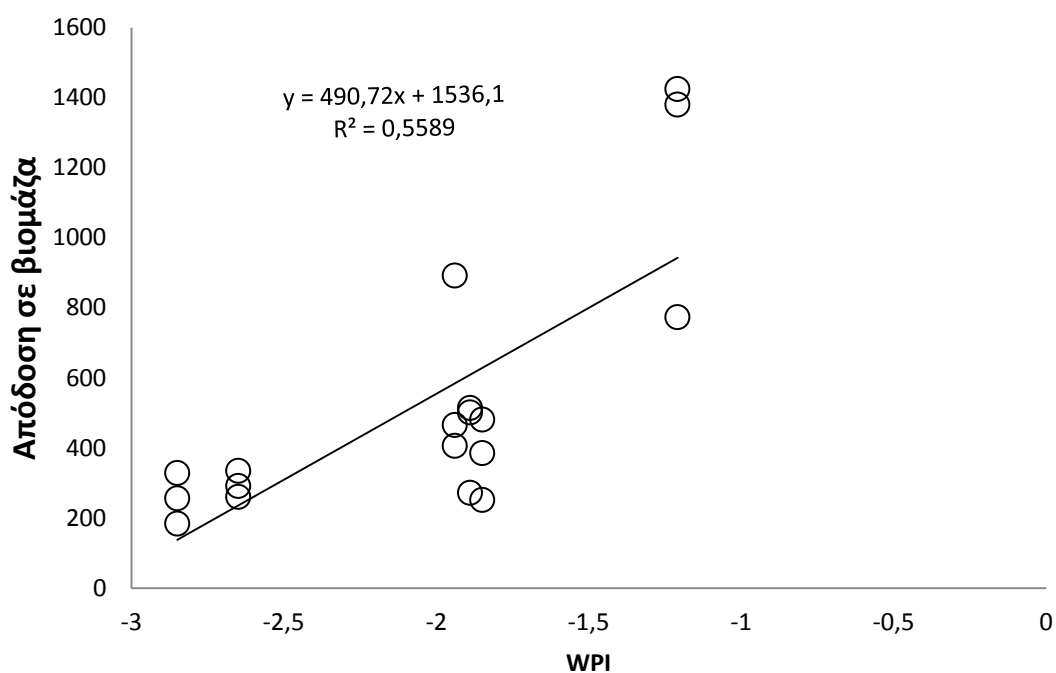
Διάγραμμα 3.5.3 : Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στην απόδοση σε βιομάζα ανά στρέμμα. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός) Ξ: Ξηρικά φυτά,a,b,: οι στήλες που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σύμφωνα με την σύγκριση LSD(Pvalue<0.05)

3.5.4 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΜΑΖΑ

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του WPI και της απόδοσης βιομάζα ήταν στατιστικά σημαντική και γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 55.89%.

Πίνακας 3.5.4.Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με την απόδοση σε βιομάζα.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Μοντέλο	1,28774 ^E 6	1	1,28774 ^E 6	20,26	0,0004
Υπόλοιπο	1,017 ^E 6	16	63562,7		
Σύνολο	2,30475 ^E 6	17			



Διάγραμμα 3.5.4: Η γραμμική παλινδρόμηση της απόδοσης σε βιομάζα με τον δείκτη WPI.

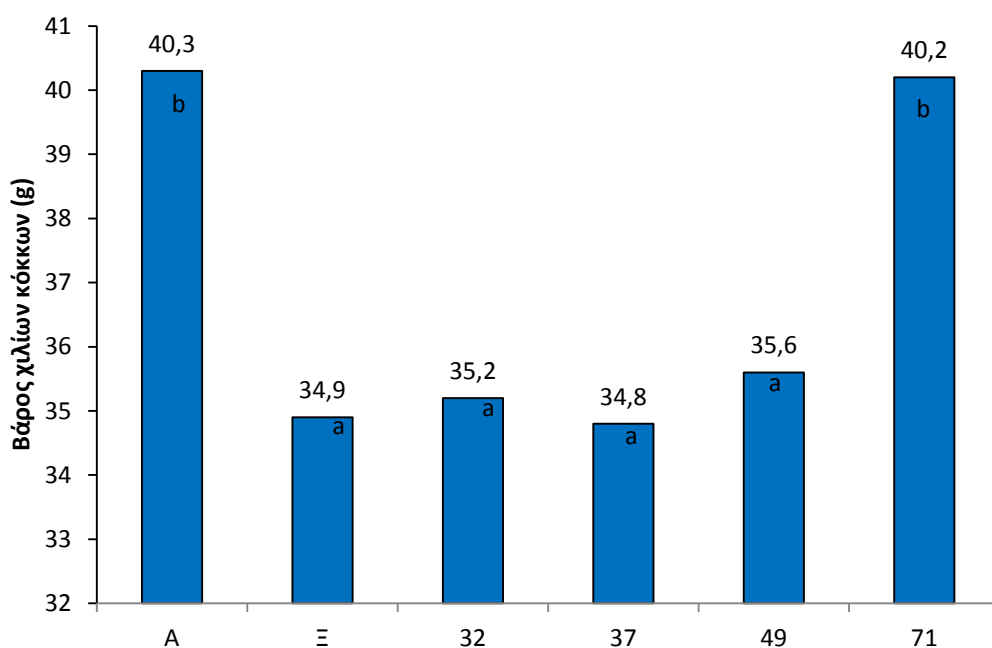
3.5.5 ΒΑΡΟΣ ΧΙΛΙΩΝ ΚΟΚΚΩΝ

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5.5 οι μεταχειρίσεις άρδευσης διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά το βάρος χιλίων κόκκων.

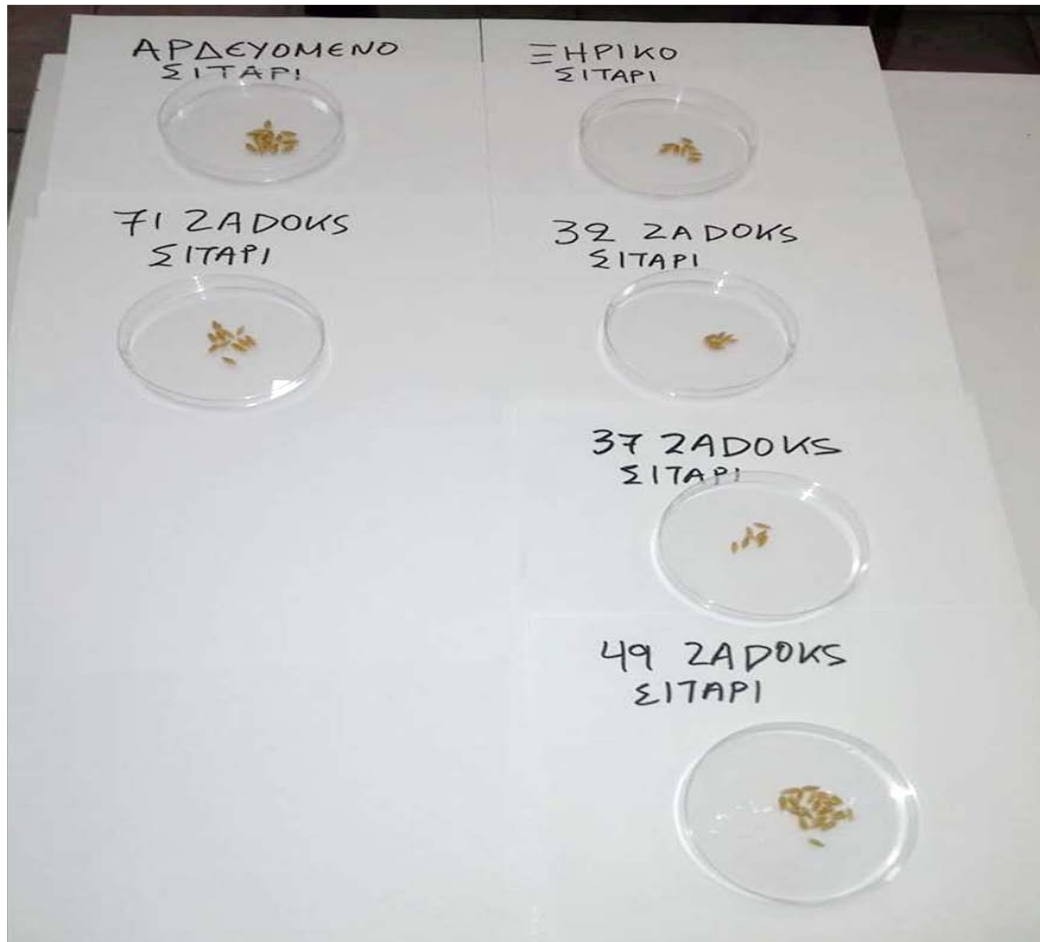
Πίνακας 3.5.5.Ανάλυση της διασποράς για το βάρος χιλίων κόκκων.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	32,92	2	16,46	7,88	0,11540
Νερό	1,06 ^E +02	5	21,1352	2,68	0,04460
Υπόλοιπο	60,945	10	6,0945		
Σύνολο	199,541	17			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά στάδια άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον καθορισμό του βάρους των χιλίων κόκκων. Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 έδωσαν 40.3 g και 40.2 g αντίστοιχα και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις δεν διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο μεταξύ τους. Στην εικόνα 3.5.5 παρουσιάζονται οι διαφορές στο βάρος χιλίων κόκκων μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης.



Διάγραμμα 3.5.5 : Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στο βάρος των χιλίων κόκκων. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός) A a,b,: οι στήλες που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σύμφωνα με την σύγκριση LSD(Pvalue<0.05)



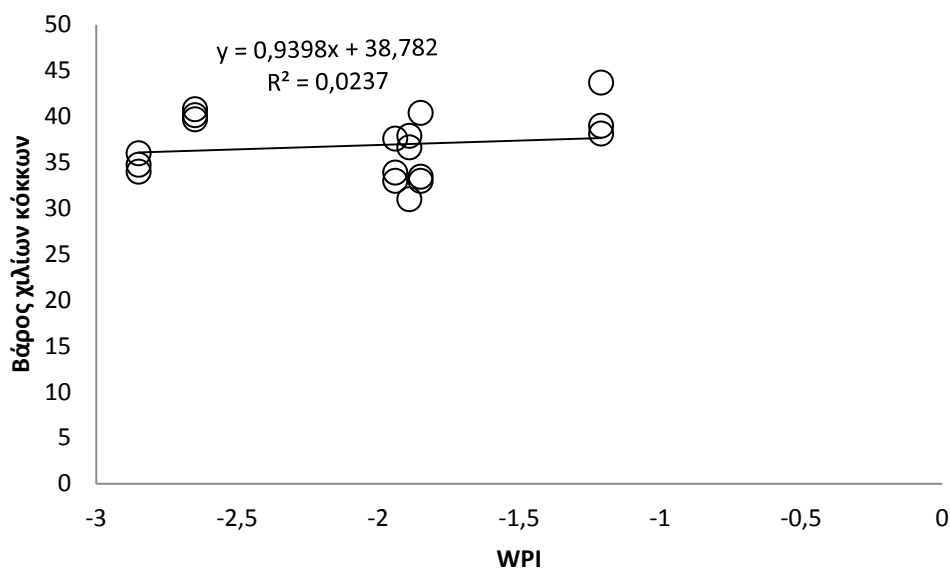
Εικόνα 3.5.5 Το βάρος χιλίων κόκκων για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης

3.5.6 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟ ΒΑΡΟΣ ΧΙΛΙΩΝ ΚΟΚΚΩΝ

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του WPI και του αριθμού των σταχυιδίων/στάχυ δεν ήταν στατιστικά σημαντική και ήταν γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 2.37%.

Πίνακας 3.5.6. Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με το βάρος χιλίων κόκκων

Πηγή Παρ/τας	Άθροισμα τετραγώνων	ΒΕ	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Μοντέλο	4,722	1	4,722	0,39	0,5422
Υπόλοιπο	1194,819	16	12,1762		
Σύνολο	199,541	17			



Διάγραμμα 3.5.6: Η γραμμική παλινδρόμηση του βάρους χιλιών κόκκων με τον δείκτη WPI.

3.5.7 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΧΕΩΝ ΑΝΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ

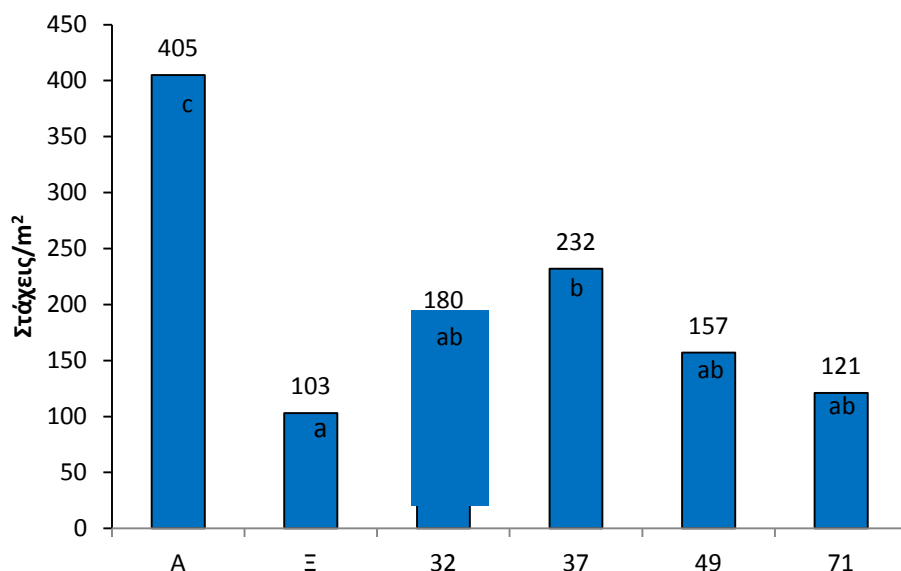
Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5.7 οι μεταχειρίσεις άρδευσης διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά τον αριθμό των στάχων ανά m^2 .

Πίνακας 3.5.7 Ανάλυση της διασποράς για τον αριθμό των στάχων ανά m^2 .

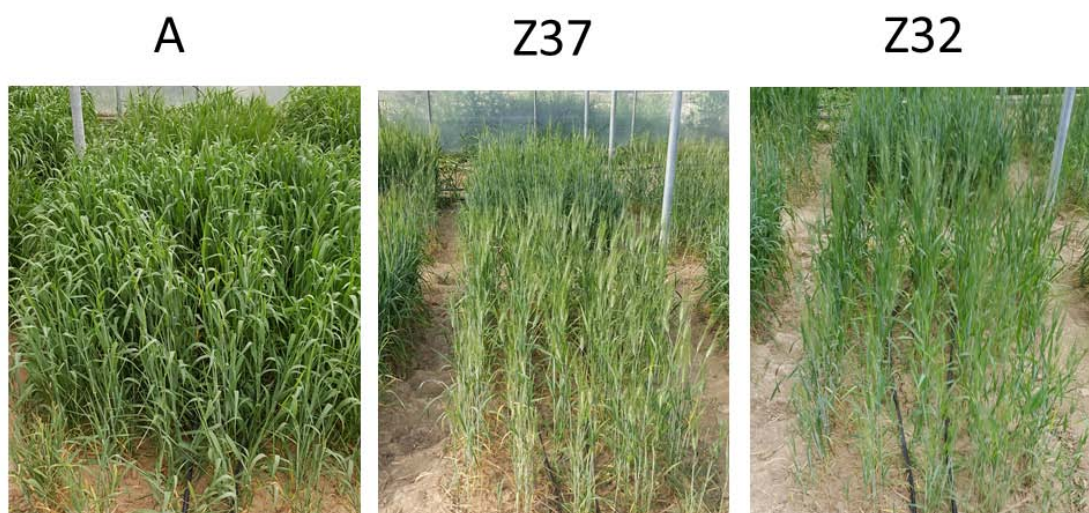
<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	187215,	7	26745,0	3,33	0,0676
Νερό	100,0	1	100,0	0,01	0,9143
Υπόλοιπο	56244,0	7	8034,86		
Σύνολο	243559,	15			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά στάδια άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον καθορισμό των στάχων/ m^2 . Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν 405 στάχες/ m^2 και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ακολούθησαν, τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37 με 232 στάχες/ m^2 . Οι στάχες/ m^2 στα στάδια 32,49,71 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Οι στάχες / m^2 των ξηρικών φυτών (103) παρουσίασαν στατιστικά

σημαντικές διαφορές με τις αρδεύσεις που εφαρμόστηκαν στα υπόλοιπα στάδια. . Στην εικόνα 3.5.7 παρουσιάζεται η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στην πυκνότητα της φυτείας.



Διάγραμμα 3.5.7 : Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στους στάχεις/μ². A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός)a,b,c,: οι στήλες που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σύμφωνα με την σύγκριση LSD(Pvalue<0.05)



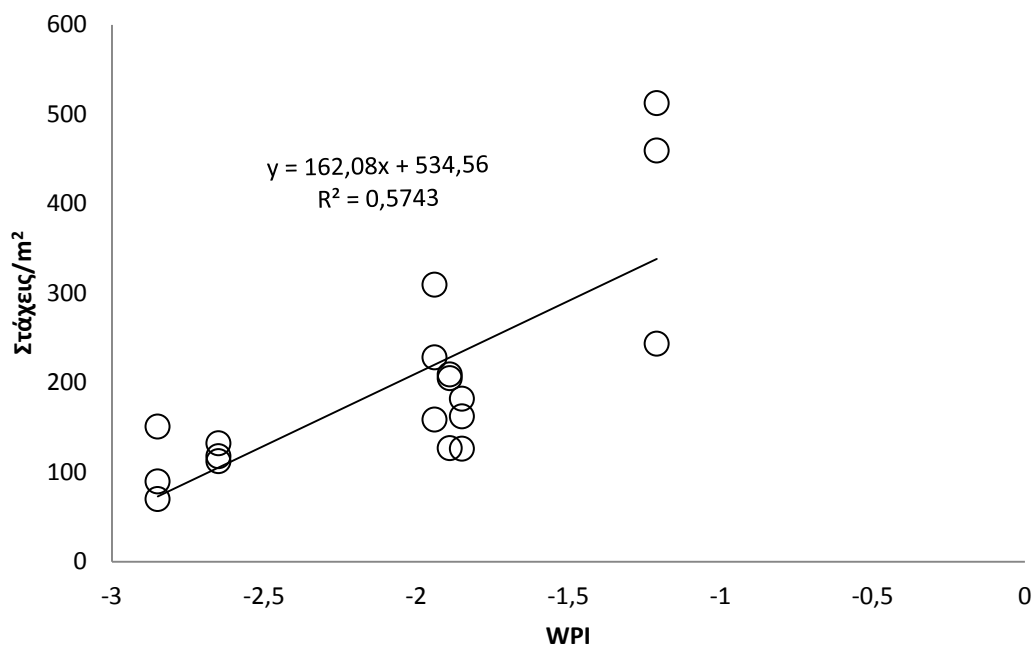
Εικόνα 3.5.7. Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στην πυκνότητα της φυτείας. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας).

3.5.8 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟΥΣ ΣΤΑΧΕΙΣ/Μ²

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του WPI και των στάξεων/μ² ήταν στατιστικά σημαντική και γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 57.43%.

Πίνακας 3.5.8. Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με στάχεις ανά τετραγωνικό μέτρο.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Μοντέλο	140767	1	140767	21,56	0,0003
Υπόλοιπο	104474	16	6529,65		
Σύνολο	245242	17			



Διάγραμμα 3.5.8: Η γραμμική παλινδρόμηση των στάξεων/μ² τον δείκτη WPI.

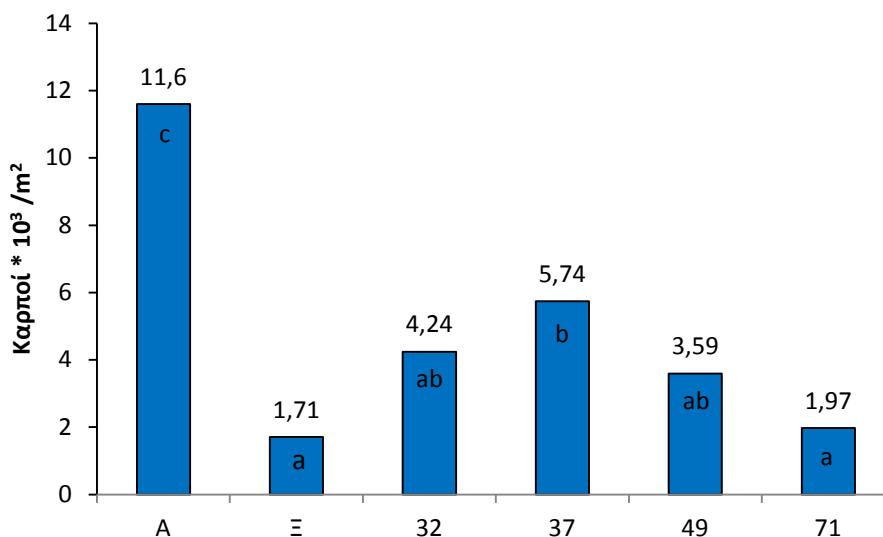
3.5.9 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5.9 οι μεταχειρίσεις άρδευσης διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά τον αριθμό των καρπών ανά στάχυ.

Πίνακας 3.5.9 Ανάλυση της διασποράς για τον αριθμό των καρπών ανά τ.μ

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	8,46954	2	4,23477	1,23	0,33290
Νερό	2,00E+02	5	39,9396	11,6	0,00070
Υπόλοιπο	34,4249	10	3,44249		
Σύνολο	242,593	17			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά στάδια άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον αριθμό των καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο. Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν 11.6 καρποί ανά τετραγωνικό μέτρο και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ακολούθησαν, τα φυτά που αρδευτήκαν στο στάδιο 37 με 5.74 καρπούς ανά τετραγωνικό μέτρο, τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 και έπειτα τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 και δεν διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο μεταξύ τους. Τα ξηρικά φυτά και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37.



Διάγραμμα 3.5.9 Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στον αριθμό των καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός)a,b,c,: οι στήλες που δεν

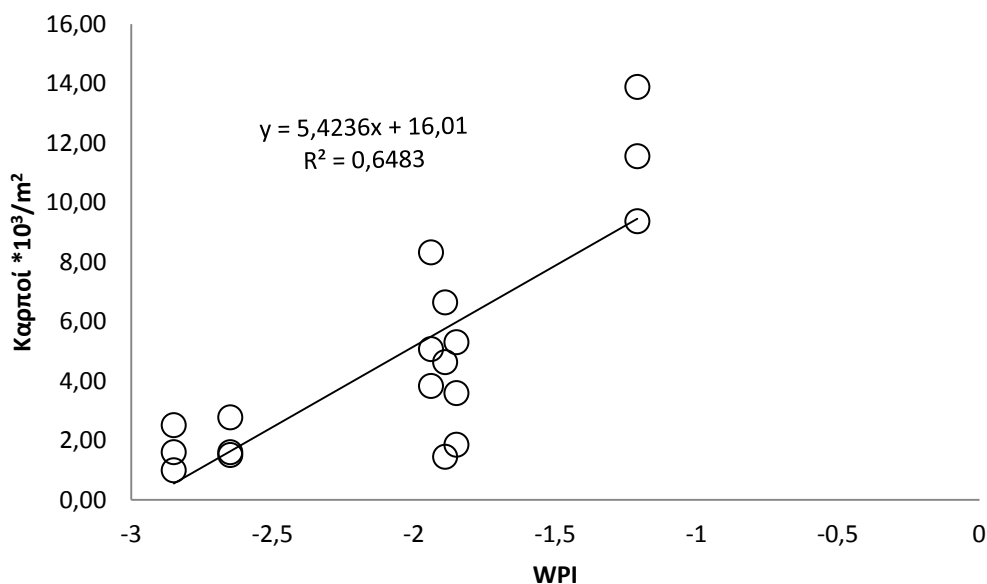
ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σύμφωνα με την σύγκριση LSD(
Pvalue<0.05)

3.5.10 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ Τ.Μ

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του WPI και του αριθμού των καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο ήταν στατιστικά σημαντική και ήταν γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 64.83%.

Πίνακας 3.5.10 Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με τον αριθμό των καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Μοντέλο	157,224	1	157,224	29,47	0,0001
Υπόλοιπο	85,3682	16	5,33551		
Σύνολο	242,593	17			



Διάγραμμα 3.5.10: Η γραμμική παλινδρόμηση του αριθμού των καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο με τον δείκτη WPI.

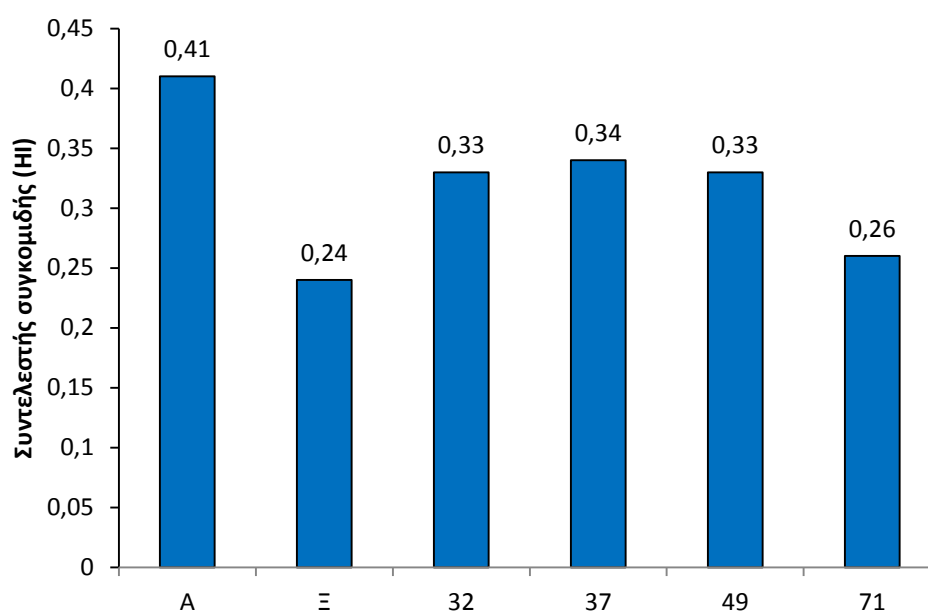
3.5.11 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5.11 οι μεταχειρίσεις άρδευσης δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά το δείκτη συγκομιδής (HarvestIndex).

Πίνακας 3.5.11 Ανάλυση της διασποράς για το δείκτη συγκομιδής.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	0,0408778	2	0,0204389	2,73	0,11300
Νερό	5,72E-02	5	0,0114456	1,53	0,26470
Υπόλοιπο	0,0747889	10	0,00747889		
Σύνολο	0,0172894	17			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά βιολογικά στάδια ανάπτυξης του σιταριού δεν άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον καθορισμό του συντελεστή συγκομιδής. Η υψηλότερη τιμή του συντελεστή συγκομιδής παρατηρείται στα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά (0.41) ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται στα ξηρικά φυτά (0.24).



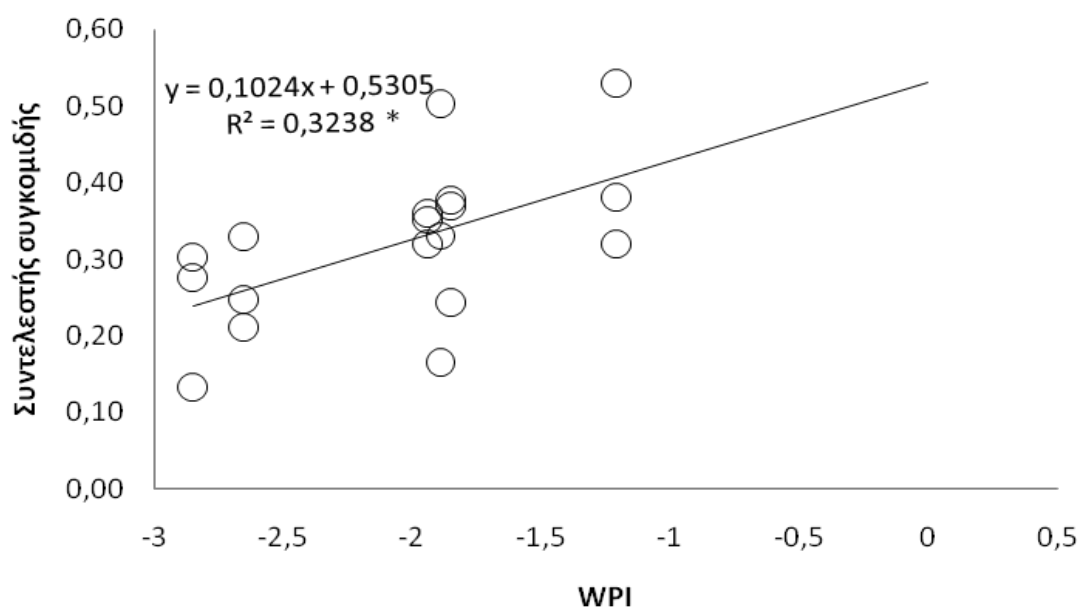
Διάγραμμα 3.5.11 : Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στον συντελεστή συγκομιδής. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός).

3.5.12 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του WPI και του συντελεστή συγκομιδής ήταν στατιστικά σημαντική και γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 32.38%.

Πίνακας 3.5.12. Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με τον συντελεστή συγκομιδής

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Μοντέλο	0,056329	1	0,056329	7,73	0,0134
Υπόλοιπο	0,116565	16	0,00728534		
Σύνολο	0,172894	17			



Διάγραμμα 3.5.12: Η γραμμική παλινδρόμηση του συντελεστή συγκομιδής με τον δείκτη WPI.

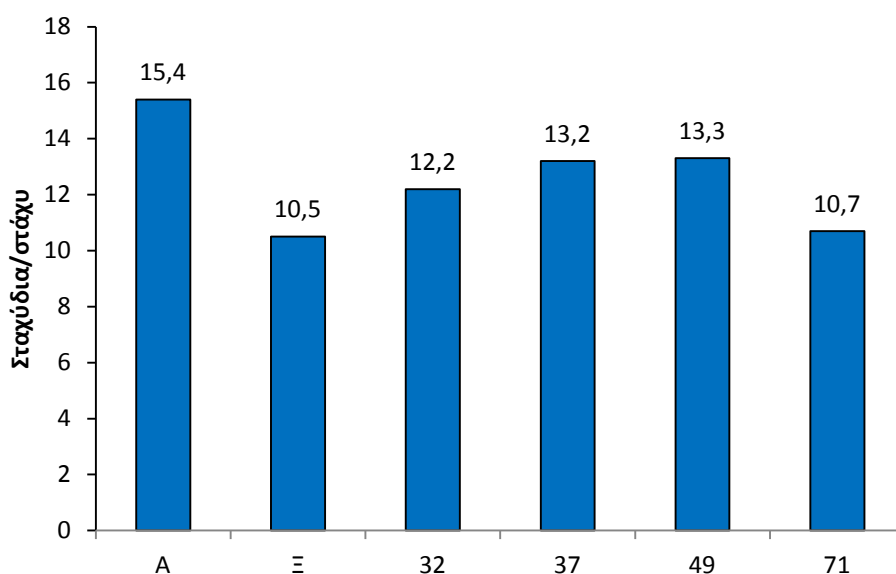
3.5.13 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΧΙΔΙΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.11 οι μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά τον αριθμό σταχυιδίων ανά στάχυ.

Πίνακας 3.5.13.Ανάλυση της διασποράς για τον αριθμό των καρπών σταχυδίων ανά στάχυ

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	5,94111	2	2,97056	0,84	0,46090
Νερό	5,06 E + 01	5	10.1262	2,86	0,07420
Υπόλοιπο	35,3522	10	3,54522		
Σύνολο	92,0244	17			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά βιολογικά στάδια ανάπτυξης του σιταριού δεν άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον αριθμό των σταχυδίων ανά στάχυ. Ο υψηλότερος αριθμός σταχυδίων/στάχυ παρατηρείται στα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά (15.4) ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται στα ξηρικά φυτά (10.5).



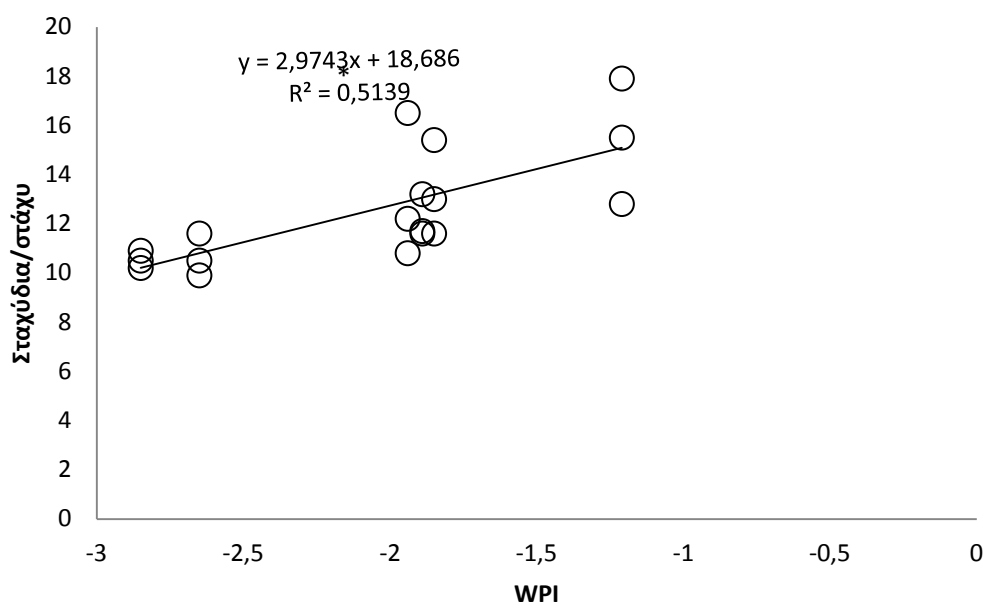
Διάγραμμα 3.5.13: Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στους αριθμό των σταχυδίων ανά στάχυ. A: Τεμάχια με κανονική άρδευση Ξ: Ξηρικά τεμάχια 32: Τεμάχια τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 της κλίμακας Zadoks 37: Τεμάχια τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 37 της κλίμακας Zadoks 49: Τεμάχια τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 της κλίμακας Zadoks 71: Τεμάχια τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks

3.5.14 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΤΑΧΥΔΙΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του WPI και του αριθμού των σταχυδίων/στάχυ ήταν στατιστικά σημαντική και γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 51.39%.

Πίνακας 3.5.14. Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με τον αριθμό των σταχυδίων ανά στάχυ.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Μοντέλο	47,2909	1	47,2909	16,91	0,0008
Υπόλοιπο	44,7336	16	2,79585		
Σύνολο	92,0244	17			



Διάγραμμα 3.5.14: Η γραμμική παλινδρόμηση του αριθμού των σταχυδίων/στάχυ με τον δείκτη WPI.

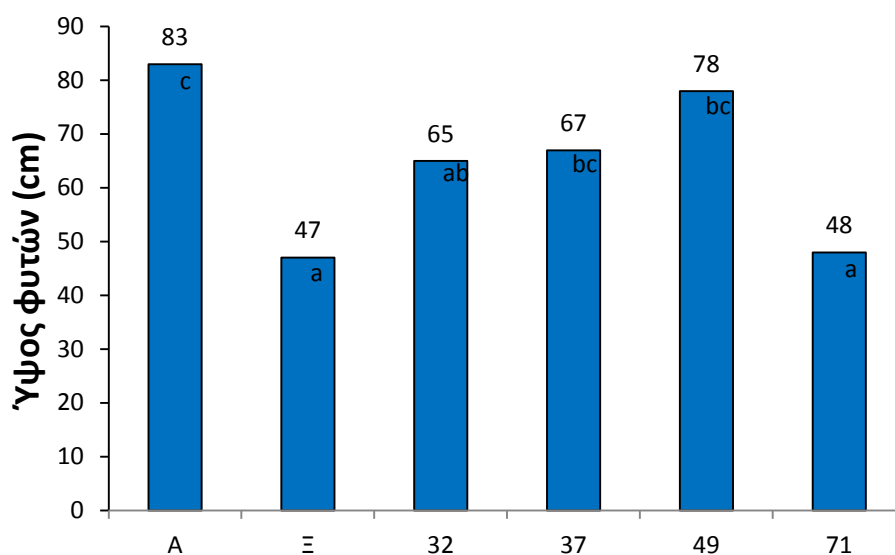
3.5.15 ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5.15, οι μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά το ύψος των φυτών.

Πίνακας 3.5.15.Ανάλυση της διασποράς για το ύψος των φυτών.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	198,361	2	99,1806	1,04	0,38960
Νερό	3,293 + 03	5	658,214	6,88	0,00500
Υπόλοιπο	956,139	10	95,6139		
Σύνολο	4445,57	17			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά στάδια άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στο ύψος των φυτών κατά την συγκομιδή. Στα φυτά που εφαρμόστηκε κανονική άρδευση, στα φυτά του αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 και 37 παρουσιάστηκαν οι υψηλότερες τιμές με 83 cm, 78 cm και 67 cm αντίστοιχα και δεν διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο μεταξύ τους. Τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 ακολούθησαν με 65 cm και παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά. Τα ξηρικά φυτά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές και δεν διέφεραν μεταξύ τους με στατιστικά σημαντικό τρόπο όπως και με τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32. . Στην εικόνα 3.5.15 παρουσιάζονται οι διαφορές στο ύψος των φυτών μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης.



Διάγραμμα 3.5.15 : Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στο ύψος των φυτών. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός) a,b,c: οι στήλες που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σύμφωνα με την σύγκριση LSD(Pvalue<0.05)



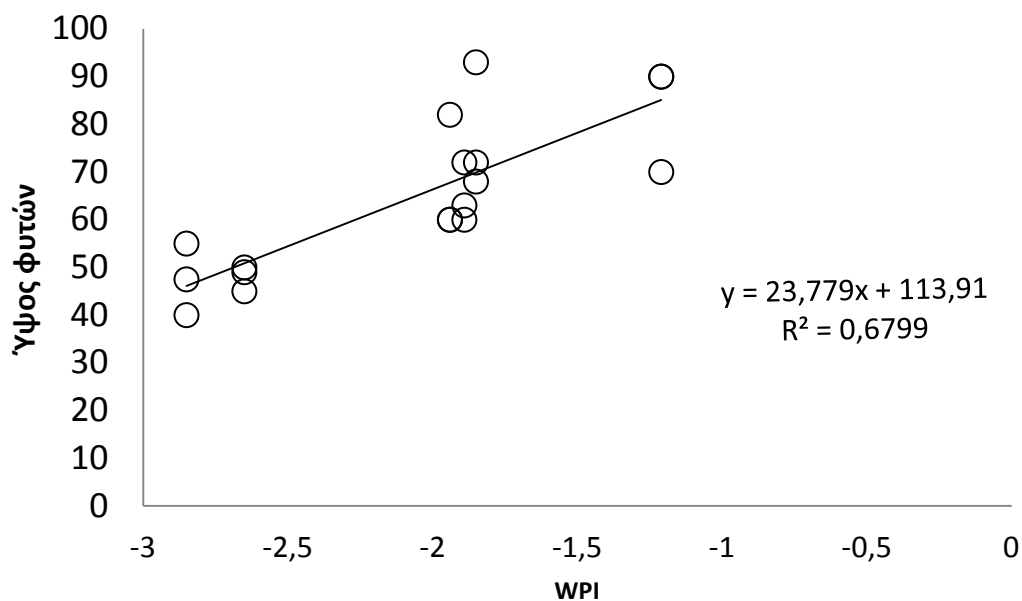
Εικόνα 3.5.15 Τα ύψη των φυτών για κάθε μεταχείριση άρδευσης που εφαρμόστηκε

3.5.16 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟ ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του WPI και του ύψους των φυτών ήταν στατιστικά σημαντική και ήταν γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 67.99%.

Πίνακας 3.5.16. Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με το ύψος των φυτών

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>BE</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Μοντέλο	3022,69	1	3022,69	33,99	0,0000
Υπόλοιπο	1422,88	16	88,9298		
Σύνολο	4445,57	17			



Διάγραμμα 3.5.16: Η γραμμική παλινδρόμηση του ύψους των φυτών με τον δείκτη WPI.

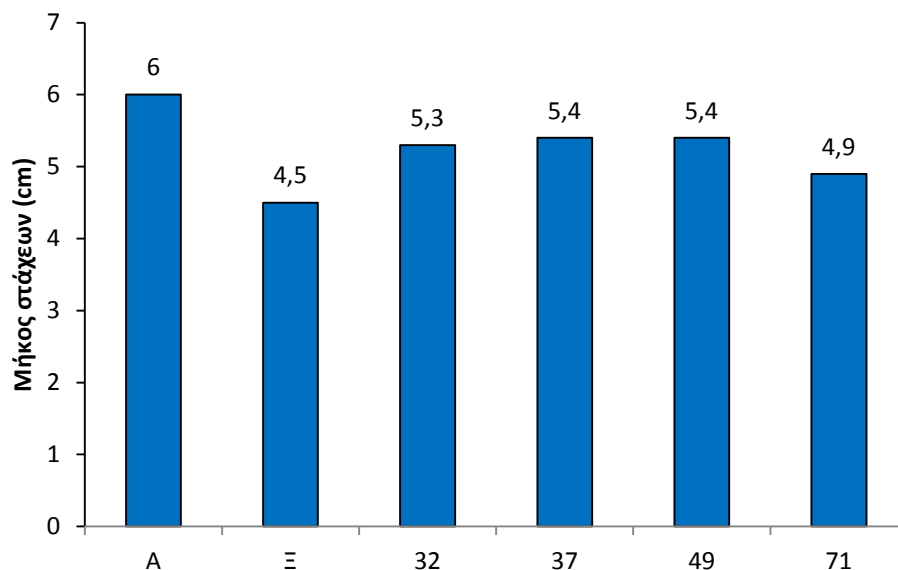
3.5.17 ΜΗΚΟΣ ΣΤΑΧΕΩΝ

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.5.17 οι μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά το μήκος των στάχων.

Πίνακας 3.5.17. Ανάλυση της διασποράς για το μήκος των στάχων

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	0,867678	2	0,433839	1,74	0,22490
Νερό	3,81 E +00	5	0,761889	3,05	0,06260
Υπόλοιπο	2, 49492	10	0,249492		
Σύνολο	7,17204	17			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά βιολογικά στάδια ανάπτυξης του σιταριού δεν άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στο μήκος των στάχων. Το μεγαλύτερο μήκος στάχων παρατηρείται στα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά (6cm) ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται στα ξηρικά φυτά (4.5 cm).



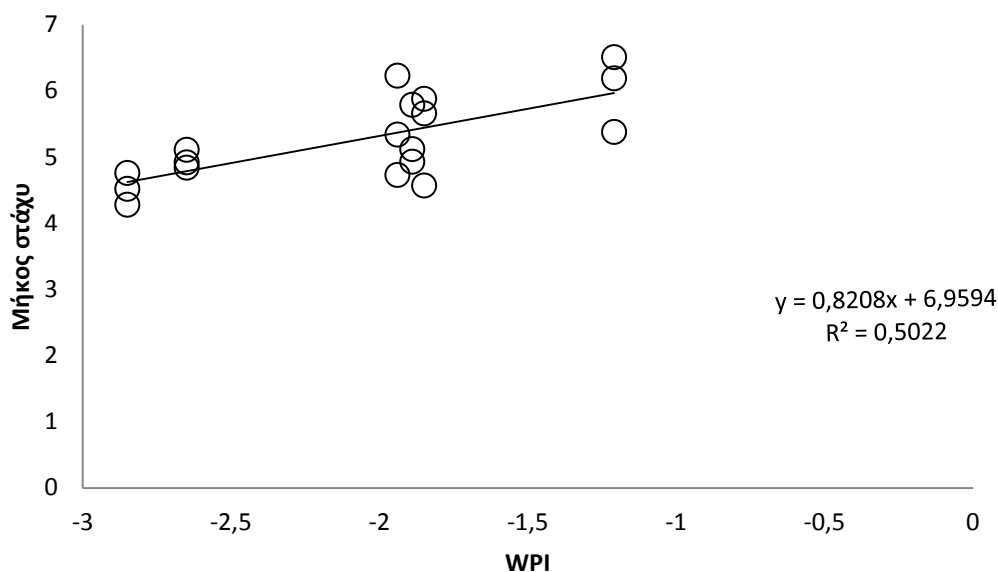
Διάγραμμα 3.5.17 : Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στο μήκος των στάχων. A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός)

3.5.18 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΧΕΩΝ

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του WPI του μήκους των στάχων ήταν στατιστικά σημαντική και γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 50.22%.

Πίνακας 3.5.18.Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με το μήκος των στάχων.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>BE</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Μοντέλο	3,60177	1	3,60177	16,14	0,0010
Υπόλοιπο	3,57027	16	0,223142		
Σύνολο	7,17204	17			



Διάγραμμα 3.5.18: Η γραμμική παλινδρόμηση του μήκος των στάχων με τον δείκτη WPI.

3.6 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

3.6.1 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ

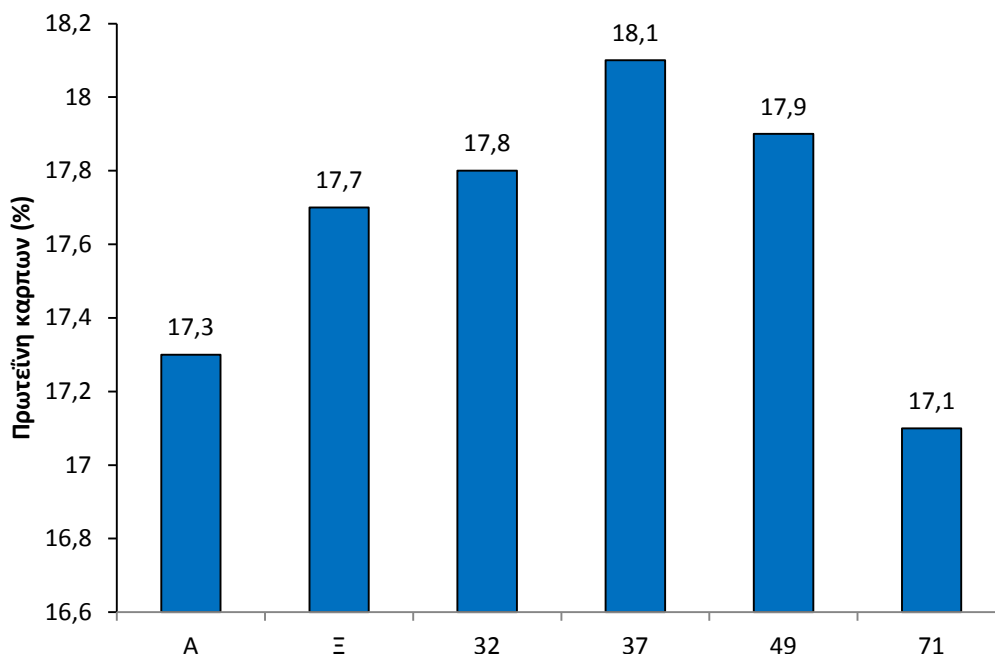
Σύμφωνα με τον πίνακα 3.6.1. οι μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά την περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη.

Πίνακας 3.6.1. Ανάλυση της διασποράς για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των καρπών.

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>ΒΕ</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Επανάληψη	5,28844	2	2,64422	2,67	0,11760
Νερό	2,10 E +00	5	0,420443	0,42	0,82150
Υπόλοιπο	2,8976	10	0,98976		
Σύνολο	17,2883	17			

Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά βιολογικά στάδια ανάπτυξης του σιταριού δεν άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη παρατηρείται στα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37

(18,1 %) ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται στα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 (17,1 %).



Διάγραμμα 3.6.1 : Η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στην περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη . A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z:Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων)71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός)

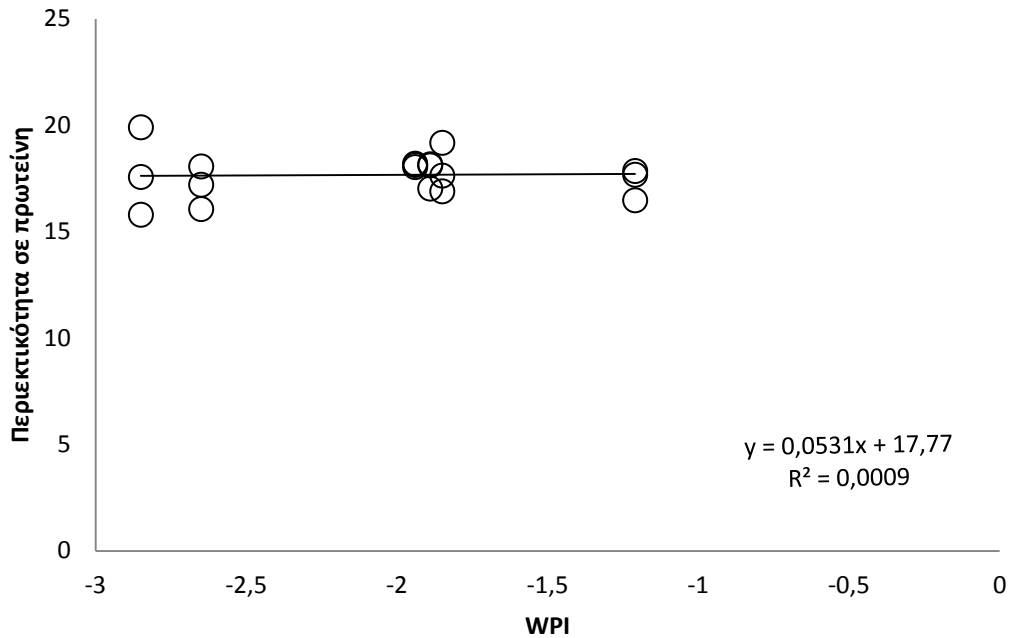
3.6.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ

Για τις μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν βρέθηκε ότι η σχέση του WPI και του αριθμού των καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο δεν ήταν στατιστικά σημαντική και ήταν γραμμικής μορφής. Συγκεκριμένα ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 0,9%.

Πίνακας 3.6.2. Ανάλυση της διασποράς για την σχέση του WPI με την περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη

<i>Πηγή Παρ/τας</i>	<i>Άθροισμα τετραγώνων</i>	<i>BE</i>	<i>Μέσα τετράγωνα</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Μοντέλο	0,0150995	1	0,0150995	0,01	0,9073

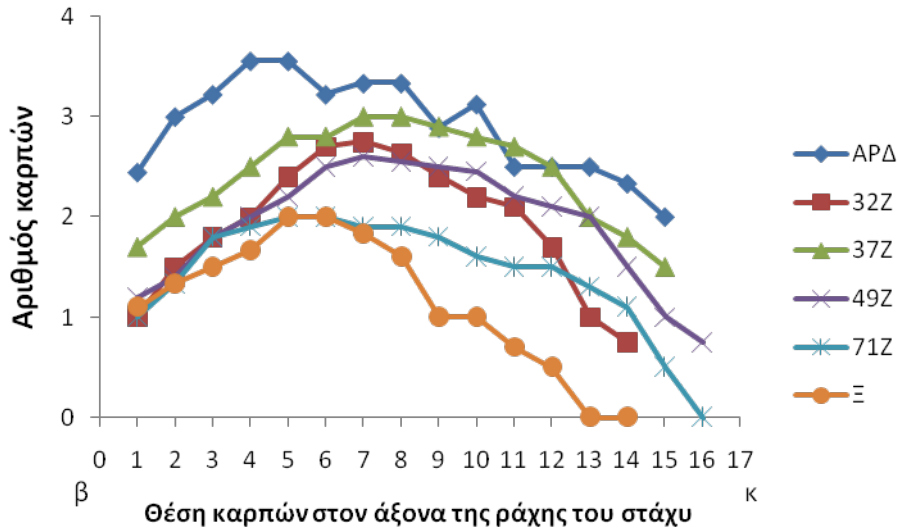
Υπόλοιπο	17,2732	16	1,07957		
Σύνολο	17,2883	17			



Διάγραμμα 3.6.2: Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας των καρπών σε πρωτεΐνη με τον δείκτη WPI.

3.6.3 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ

Στα διάγραμμα 3.6.3 παρουσιάζεται ο αριθμός των καρπών ανά θέση. Η συγκεκριμένη διαγραμματική απεικόνιση περιλαμβάνει την εξέταση όλων των καρπών κατά μήκος της ράχης των στάχων, οι οποίοι είχαν προέλθει από κύρια στελέχη.



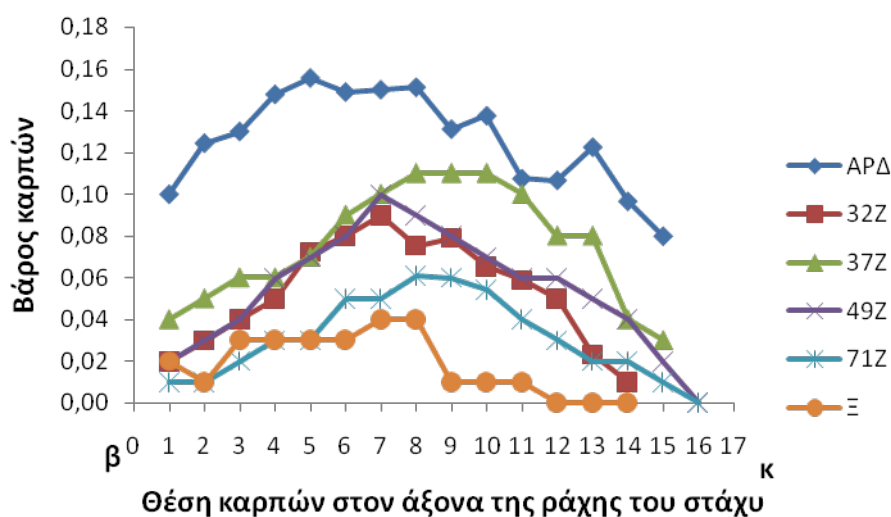
Διάγραμμα 3.6.3: Ο αριθμός των καρπών ανά θέση στον άξονα της ράχης του στάχυ της μετά την συγκομιδή. «β»: η βάση του στάχυ, «κ»: η κορυφή του στάχυ. . A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z: Άρδευση στο στάδιο 37(εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49(πρώτη εμφάνιση αγάνων) 71Z: Άρδευση στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός)

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται φανερό ότι και στις έξι μεταχειρίσεις άρδευσης ακολουθούνται διαφορετικές πορείες στο αριθμό των καρπών από την βάση μέχρι την κορυφή του στάχυ. Μετά την «θέση 1» ακριβώς πάνω από την βάση του στάχυ, σε όλες τις μεταχειρίσεις άρδευσης παρατηρείται μια άνοδος στο αριθμό των καρπών, εκτός από τα ξηρικά φυτά που ακολουθεί πτώση στην << θέση 2>>. Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν κανονικά (A) από την << θέση 2>> μέχρι την << θέση 5>> παρουσιάζουν αυξημένο αριθμό καρπών και στην συνέχεια μέχρι την << θέση 15>> παρουσιάζουν πτώση του αριθμού των καρπών. Τα φυτά στα οποία η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της εμφάνισης φύλλου σημαίας (37Z) παρουσιάζουν αυξητική πορεία μέχρι την << θέση 8>> και στην συνέχεια μέχρι την << θέση 15>> ακολουθούν φθίνουσα πορεία. Τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 και 32 της κλίμακας Zadoks παρουσιάζουν παρόμοιες πορείες. Ειδικότερα, μέχρι την << θέση 7>> ακολουθούν αυξητική πορεία και από την «θέση 8» μέχρι την κορυφή του στάχυ φθίνουσα πορεία. Τα ξηρικά φυτά και τα φυτά στα οποία η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο του υδατώδη καρπού (71Z) από την << θέση 8>> μέχρι και την κορυφή παρουσιάζουν μείωση του αριθμού των καρπών. Τα φυτά τα οποία αρδεύονταν κανονικά έδωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό καρπών ενώ αντίθετα τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη

καταπόνηση (Ξ) έδωσαν τον λιγότερο αριθμό καρπών. Στην << θέση 4 >> και στην << θέση 5 >> τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό καρπών με 3,56 καρπούς, τα φυτά στα οποία η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της εμφάνισης φύλλου σημαίας (37Z) στην << θέση 7 >> και στην << θέση 8 >> έδωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό καρπών με 3 καρπούς, ενώ τα ξηρικά φυτά έδωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό καρπών στην << θέση 5 >> και << στην θέση 6 >> με 2 καρπούς και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο του υδατώδη καρπού (71Z) στην << θέση 5 >> και στην << θέση 6 >> με 2 καρπούς. Συγχρόνως, στις δύο αυτές μεταχειρίσεις στην τελευταία θέση στην κορυφή του στάχου δεν έδωσαν καρπούς. Φαίνεται λοιπόν, ότι η αύξηση της υδατικής καταπόνησης στα φυτά επέδρασε αρνητικά ως προς τον αριθμό των καρπών ανά θέση.

3.6.4 ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ

Στα διάγραμμα 3.6.4 παρουσιάζεται το βάρος των καρπών ανά θέση. Η συγκεκριμένη διαγραμματική απεικόνιση περιλαμβάνει την εξέταση όλων των καρπών κατά μήκος της ράχης των στάχων, οι οποίοι είχαν προέλθει από κύρια στελέχη.



Διάγραμμα 3.6.4: Το βάρος των καρπών (g) ανά θέση στον άξονα της ράχης του στάχου της μετά την συγκομιδή. «β»: η βάση του στάχου, «κ»: η κορυφή του στάχου. . A: κανονική άρδευση 32Z: Άρδευση στο στάδιο 32 (καλάμωμα) 37Z: Άρδευση στο στάδιο 37 (εμφάνιση φύλλου σημαίας) 49Z: Άρδευση στο στάδιο 49 (πρώτη εμφάνιση αγάνων) 71Z: Άρδευση στο στάδιο 71 (υδατώδης καρπός)

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται φανερό ότι και στις έξι μεταχειρίσεις άρδευσης ακολουθούνται διαφορετικές πορείες βάρους των καρπών από την βάση μέχρι την κορυφή του στάχου. Μετά την «θέση 1» ακριβώς πάνω από την βάση του στάχου, σε όλες τις μεταχειρίσεις άρδευσης παρατηρείται μια άνοδος στο αριθμό των καρπών, εκτός από τα ξηρικά φυτά που ακολουθεί πτώση στην << θέση 2>>. Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν κανονικά (Α) από την << θέση 2>> μέχρι την << θέση 5>> παρουσιάζουν αυξημένο αριθμό καρπών και στην συνέχεια μέχρι την << θέση 15>> παρουσιάζουν πτώση του βάρους των καρπών. Τα φυτά στα οποία η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της εμφάνισης φύλλου σημαίας (37Z) παρουσιάζουν αυξητική πορεία μέχρι την << θέση 10>> και στην συνέχεια μέχρι την << θέση 15>> ακολουθούν φθίνουσα πορεία. Τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 και 32 της κλίμακας Zadoks παρουσιάζουν παρόμοιες πορείες. Ειδικότερα, μέχρι την << θέση 7>> ακολουθούν αυξητική πορεία και από την «θέση 8» μέχρι την κορυφή του στάχου φθίνουσα πορεία. Τα ξηρικά φυτά και τα φυτά στα οποία η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο του υδατώδη καρπού (71Z) από την << θέση 9>> μέχρι και την κορυφή παρουσιάζουν μείωση του βάρους των καρπών. Τα φυτά τα οποία αρδεύονταν κανονικά έδωσαν το μεγαλύτερο βάρος καρπών ενώ αντίθετα τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη καταπόνηση (Ξ) έδωσαν το λιγότερο βάρος καρπών. Στην << θέση 5>> τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν το μεγαλύτερο βάρος καρπών με 0,16g, τα φυτά στα οποία η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της εμφάνισης φύλλου σημαίας (37Z) στην << θέση 8>>, << θέση 9>> και στην << θέση 10>> έδωσαν τον μεγαλύτερο βάρος καρπών με 0,11 g, ενώ τα ξηρικά φυτά έδωσαν το μεγαλύτερο βάρος καρπών στην << θέση 7>> και στην << θέση 8>> με 0.04 g και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο του υδατώδη καρπού (71Z) στην << θέση 8>> και στην << θέση 9>> με 0,06 g. Συγχρόνως, στις δύο αυτές μεταχειρίσεις στην τελευταία θέση στην κορυφή του στάχου σημειώνονται οι χαμηλότερες τιμές του βάρους των καρπών. Φαίνεται λοιπόν, ότι η αύξηση της υδατικής καταπόνησης στα φυτά επέδρασε αρνητικά ως προς το βάρος των καρπών ανά θέση.

4. Συζήτηση

4.1 ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο βιολογικός κύκλος των φυτών επηρεάστηκε από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις σε σημαντικό βαθμό όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα (διάγραμμα 3.2), με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αρνητικές επιδράσεις, τόσο στην παραγωγή βιομάζας, όσο και στις τελικές αποδόσεις από την αύξηση των υδατικών ελλειμμάτων. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο ξηρικός μάρτυρας, καθώς και τα φυτά όπου η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks, το στάδιο δηλαδή όπου ο καρπός ενυδατώνεται, παρουσίασαν επιτάχυνση στην ολοκλήρωση του βιολογικού τους κύκλου κατά περίπου 8 ημέρες σε σχέση με την αρδευόμενη μεταχείριση και 6 ημέρες σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

Σε ανάλογη μελέτη των πείραμα Slafer and Whitechurch (2011), αναφέρεται επίσης ότι τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης σιταριού παρουσιάζουν διαφορετική ευαισθησία σε ξηροθερμικές συνθήκες. Παρομοίως και σε πείραματα των Saini (1997) και των Salter and Goode (1967) διαπιστώθηκε ότι η αύξηση και η ανάπτυξη του φυτού μπορεί να επηρεαστεί από έλλειμμα νερού οποιαδήποτε χρονική στιγμή κατά τον βιολογικό κύκλο της καλλιέργειας. Ωστόσο, η έκταση και η φύση της ζημιάς καθώς και οι επιπτώσεις στην απόδοση εξαρτώνται από το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο η καλλιέργεια υπόκειται σε υδατική καταπόνηση. Σύμφωνα με τους Xu et al., (2018) η πρώτη συμπληρωματική άρδευση στο τέλος του αδελφώματος επιμηκύνει τον βιολογικό κύκλο των φυτών λόγω της αύξησης της διάρκειας του σταδίου της άνθησης, ενώ η εφαρμογή συμπληρωματικής άρδευσης μετά το στάδιο του αδελφώματος επιμηκύνει τον βιολογικό κύκλο των φυτών λόγω της επιμήκυνσης της διάρκειας του σταδίου του γεμίσματος του σπόρου.

Σύμφωνα με πειράματα που διεξήχθησαν από τους Angus and Moncur (1977), Craufurd et al. (1993), Derouw and Winkel (1998), Mahalakshmi and Bidinger (1985a,b), Mahalakshmi et al. (1987), Winkel et al. (1997), Wopereis et al. (1996), διατυπώθηκε ότι η υδατική καταπόνηση κατά την διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης ή κατά την διάρκεια επαγωγής ανθέων ή ταξιανθιών, οδηγεί σε καθυστέρηση ή και πλήρη αναστολή της άνθησης. Περιορίζοντας την διαθεσιμότητα του νερού κατά την άνθηση ή την καρπόδεση και μετέπειτα κατά το γέμισμα των καρπών επηρεάζεται το βάρος των κόκκων, αφού αναστέλλεται συνήθως η μεταφορά φωτοσυνθετικών προϊόντων από τους βλαστούς προς τους στάχεις (Wang et al., 2005) και ως εκ

τούτου μειώνεται η παραγωγή σε καρπό. Από την άλλη πλευρά, έχει γίνει γενικά αποδεκτό ότι το βάρος και το μέγεθος των κόκκων του σπόρου προσδιορίζονται κατά κύριο λόγο κατά την περίοδο μετά την άνθηση (Paynter and Young, 2004; Bingham et al., 2007; Ugarte et al., 2007) Σε πείραμα που μελετήθηκε από τον Zinselmeier et al. (1995), σε καλλιέργειες ρυζιού και σιταριού ο αριθμός των σπόρων δύναται να επηρεαστεί αργότερα, όταν η αβιοτική καταπόνηση συμπίπτει με την διάνοιξη των ανθών . Η αποτυχία να απελευθερωθεί γύρη από τους ανθήρες εμποδίζει την γονιμοποίηση στα αυτογονιμοποιούμενα είδη όπως είναι το σιτάρι και το ρύζι. Η στειρότητα που παρουσιάζουν οφείλεται στην καταπόνηση και κυρίως κατά την άνθηση και τον σχηματισμό νεαρών μικροσπορίων γύρης. Η βιωσιμότητα της γύρης στα αυτογονιμοποιούμενα σιτηρά είναι μικρή εμποδίζοντας την περαιτέρω την πιθανότητα για διασταυρούμενη γονιμοποίηση. Επίσης σύμφωνα με τον Dolferus (2011), ο αριθμός των σπόρων φυτών που υπέστησαν καταπόνηση επηρεάζεται έντονα στο στάδιο της μείωσης των γυρεόκοκκων.

Τέλος, σε πείραμα που διεξήχθη στην περιοχή της Βόρειας Κίνας των Xu et al., (2018) κατά την διάρκεια τριών καλλιεργητικών περιόδων, πραγματοποιήθηκαν δύο επεμβάσεις άρδευσης, επιλέγοντας δυο συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης σκληρού σιταριού, για το κάθε πειραματικό τεμάχιο. Παρατηρήθηκε ότι ο μάρτυρας, που δε δέχτηκε καμία άρδευση μετά την σπορά ολοκλήρωσε ταχύτερα τον βιολογικό κύκλο, σε σχέση με τα φυτά, στα οποία εφαρμόστηκαν δύο συμπληρωματικές αρδεύσεις. Ειδικότερα, τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκαν αρδεύσεις έφτασαν στην ωρίμανση εντός 239-243 ημερών, ενώ αντίστοιχα τα φυτά τα οποία υπέστησαν καταπόνηση εντός 235-239 ημερών.

4.2 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος στις μετρήσεις που αφορούσαν τον **φωτοσυνθετικό ρυθμό** η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στα φυτά στα οποία η μοναδική άρδευση έγινε στο στάδιο 37, δηλαδή στο στάδιο εμφάνισης του φύλλου σημαίας, και ακολούθησαν τα φυτά στα οποία υπήρχε επάρκεια ύδατος. Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν στο στάδιο 71, στο στάδιο δηλαδή όπου ο καρπός ενυδατώνεται και στα ξηρικά φυτά.

Στις μετρήσεις που αφορούσαν την **αγωγιμότητα των στομάτων** η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στα φυτά τα οποία είχαν επάρκεια ύδατος, ακολούθησαν τα φυτά στα όπου η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο

37, στο στάδιο 32 και το στάδιο 49. Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν στο στάδιο 71, στο στάδιο δηλαδή όπου ο καρπός ενυδατώνεται και στα ξηρικά φυτά.

Η **διακυτταρική συγκέντρωση του CO₂** κατέγραψε την υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στα φυτά τα οποία είχαν επάρκεια ύδατος, ακολούθησαν τα φυτά στα όπου η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 37, στο στάδιο 32 και το στάδιο 49. Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν στο στάδιο 71, στο στάδιο δηλαδή όπου ο καρπός ενυδατώνεται και στα ξηρικά φυτά.

Το νερό αναγνωρίζεται ως ένας από τους μεγαλύτερους περιοριστικούς παράγοντες στην περιοχή της Μεσογείου. Στις περιοχές αυτές, οι βροχοπτώσεις είναι ανεπαρκείς, κατανέμονται άνισα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και μεταβάλλονται από έτος σε έτος. Αρκετές αλλαγές συμβαίνουν στα δημητριακά ως απόκριση στην υδατική καταπόνηση. Αυτές οι μεταβολές περιλαμβάνουν αύξηση της σύνθεσης ABA, η οποία είναι μεγαλύτερη, το κλείσιμο των στομάτων και την αναστολή ανάπτυξης των φύλλων (Chaves et al., 2003; Seiler et al., 2014). Ο επιφανειακός κηρός των φύλλων αυξάνεται, έχουμε υδραυλικές και στοματικές ανατομικές μεταβολές, η οσμωτική ρύθμιση οδηγεί σε μείωση του δυναμικού νερού και έχουμε και μείωση του φωτοσυνθετικού ρυθμού (Chaves et al., 2009; González and Ayerbe, 2010; Bresta et al., 2011; Schmid et al., 2015).

Η μείωση του φωτοσυνθετικού ρυθμού μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ο επιφανειακός κηρός των φύλλων αυξάνεται, έχουμε υδραυλικές και στοματικές ανατομικές μεταβολές και η οσμωτική ρύθμιση οδηγεί σε μείωση του δυναμικού νερού (Chaves et al., 2009; González and Ayerbe, 2010; Bresta et al., 2011; Schmid et al., 2015). Η ενδεδειγμένη συμπληρωματική άρδευση που είναι βασισμένη στην μέτρηση της εδαφικής υγρασίας στο εδαφικό στρώμα 0-40cm, στην διαφοροποίηση και την άνθηση σύμφωνα με τους Guo et al. (2014) αύξησε τον ρυθμό φωτοσύνθεσης (Pn), την διαπερατότητα των στομάτων (Gs), την πραγματική φωτοχημική αποδοτικότητα του φωτοσυστήματος II (ΦPSII), την απόδοση και την αποτελεσματικότητα του νερού που σχετίζονται με την κατανάλωση του εδαφικού νερού. Οι Zlatev and Yordanov σε τρεις ποικιλίες φασολιού(2004) και σε δυο ποικιλίες σιταριού (2009) παρατήρησαν μείωση της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας με αύξηση της υδατικής καταπόνησης. Οι Lu και Zhang (1998), σε πειράματα με μαλακό σιτάρι διαπίστωσαν μείωση της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας με αύξηση της υδατικής καταπόνησης. Επίσης, οι Wu et.al

(2008) σε πειράματα με το φυτό *Sophora davidii* βρήκαν ότι η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα μειώθηκε με την αύξηση της υδατικής καταπόνησης.

Είναι γνωστό ότι η παραγωγικότητα και η απόδοση της καλλιέργειας σιταριού μπορεί να περιοριστεί λόγω ανεπαρκούς φωτοσύνθεσης εξαιτίας της έλλειψης νερού (Mokhtar et al., 2009). Η φωτοσύνθεση είναι ο καθοριστικός παράγοντας της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας των φυτών, επομένως η παραγωγικότητα καθορίζεται κυρίως από την ικανότητα του φυτού να διατηρεί το ρυθμό αφομοίωσης του άνθρακα κάτω από περιβαλλοντικές καταπονήσεις. (Anjum et al., 2011). Ο καθαρός ρυθμός αφομοίωσης του διοξειδίου του άνθρακα (net carbon assimilation rate, P_n) στα φύλλα ελαττώνεται με τη μείωση της περιεκτικότητας νερού του φύλλου και μάλιστα πριν από την αλλαγή της υδατικής κατάστασης του φύλλου ως αντίδραση στη μείωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας (Bunce et al., 1981; Condon et al., 2002) ή και στη μείωση του υδατικού δυναμικού του εδάφους (Gollan et al., 1986). Το υδατικό έλλειμμα προκαλεί μείωση της φωτοσύνθεσης, γεγονός που περιορίζει την ικανότητα της αφομοίωσης του άνθρακα (Saint Pierre et al., 2008). Οι Flexas et al. (2004) ανέφεραν ότι το κλείσιμο των στομάτων είναι η πρώτη ένδειξη καταπόνησης του φυτού που οδηγεί στη μείωση της διάχυσης του διοξειδίου του άνθρακα στο φύλλο και στην εκροή του νερού από αυτό. Η αναπνοή μπορεί να είναι ένας μηχανισμός προσαρμογής για τα φυτά που αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες υδατικού στρες, ρυθμίζοντας και αποφεύγοντας έτσι φωτοχημικές βλάβες (Deng et al., 2005). Οι Siddique et al. (1999) διαπίστωσαν ότι τα φυτά που υποβλήθηκαν σε υδατικό έλλειμμα κατά την βλαστική περίοδο επανέκαμψαν, και είχαν μεγαλύτερο ρυθμό φωτοσύνθεσης στην άνθηση. Οι Deng et al. (2005) ανέφεραν ότι η φυσιολογική προσαρμογή των φυτών σιταριού αποδίδεται στο κλείσιμο των στομάτων λόγω της γρήγορης ανταπόκρισης τους στη χαμηλή εδαφική υγρασία. Ωστόσο, οι γενότυποι που μπορούν να διατηρήσουν ανοικτά τα στοματά τους κατά τη διάρκεια του υδατικού στρες έχουν υψηλότερες αποδόσεις, στην περίπτωση υδατικού ελλείμματος (Acevedo et al., 2002).

Η **αγωγιμότητα των στομάτων (gs)** υποδεικνύει τον ρυθμό με τον οποίο το νερό και το CO₂ μετακινούνται μέσα και έξω από το φύλλο και αποτελεί μια πρώτη ένδειξη της υδατικής καταπόνησης στα φυτά (Flexas et al., 2004). Ο Siddique et al. (1999), σημείωσαν ότι η αγωγιμότητα των στομάτων (gs) επηρεάστηκε εντονότερα από το έλλειμμα νερού κατά το στάδιο της άνθησης σε σύγκριση με το έλλειμμα νερού κατά την βλαστική ανάπτυξη. Οι Deng et al. (2000), διαπίστωσαν ότι η

αγωγιμότητα των στομάτων (g_s) μειώθηκε περισσότερο εξαιτίας της υδατικής καταπόνησης στα στάδια άνθησης και γεμίσματος του καρπού σε σύγκριση με τα στάδια του καλαμώματος και διόγκωσης του κολεού. Διαπίστωσαν επίσης ότι η μείωση της στοματικής αγωγιμότητας (g_s) σε οποιοδήποτε στάδιο ανάπτυξης επηρεαζόταν και από την αυξημένη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

Ο Blum (1998) έδειξε ότι η υδατική καταπόνηση στο σιτάρι οδήγησε σε περιορισμένη παραγωγή νέων φωτοσυνθετικών προϊόντων, κυρίως λόγω της μείωσης της αγωγιμότητας των στομάτων. Σύμφωνα με τους (Ahmed et al., 2012) η μειωμένη αγωγιμότητα των στομάτων κάτω από το υδατικό έλλειμμα περιορίζει την αφομοίωση CO_2 λόγω της χαμηλότερης διάχυσης του CO_2 στο φύλλο, με αποτέλεσμα να είναι χαμηλότερη η **διακυτταρική συγκέντρωση του CO_2 (C_i)** εντός του φύλλου. Οι Flexas και Medrano (2002) ανέφεραν ότι η μείωση της διακυτταρικής συγκέντρωσης του CO_2 (C_i) εξαιτίας του υδατικού στρες υποδηλώνει ότι η μείωση του καθαρού φωτοσυνθετικού ρυθμού P_n αποδίδεται κυρίως στον περιορισμό των στομάτων αντί σε μεταβολικούς περιορισμούς. Οι Bogale et al. (2011) διαπίστωσαν ότι ο καθαρός ρυθμός φωτοσύνθεσης σιταριού ήταν θετικά συσχετισμένος με την απόδοση. Τέλος, οι Changhai et al. (2010), ανέφεραν ότι οι ποικιλίες που έχουν υψηλότερο φωτοσυνθετικό ρυθμό (P_n) παρουσιάζουν επίσης υψηλότερη αγωγιμότητα στομάτων (g_s) και μεγαλύτερη διαπνοή (E).

Η απόδοση στο σιτάρι κάτω από συνθήκες ξηρασίας βελτιώθηκε από υψηλότερες τιμές g_s (Fischer et al., 1998). Σύμφωνα με τους González et al., (1999) βρήκαν μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης κριθαριού κάτω από την ξηρασία και της υψηλότερης αγωγιμότητας των στομάτων (g_s). Σε πείραμα των (Guoth et al., 2009) αναφέρθηκε ότι οι γενότυποι οι οποίοι διατηρούν το ρυθμό φωτοσύνθεσης στο φύλλο σημαίας για μεγάλο χρονικό διάστημα παράγουν υψηλότερες αποδόσεις.

4.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος (πίνακας 3.5) **η απόδοση σε καρπό** διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης που εφαρμόστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν μεγαλύτερη απόδοση σε καρπό και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ακολούθησαν, τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37 (εμφάνιση φύλλου σημαίας) τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο

32(2 κόμβος ανιχνεύσιμος) και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 49(εμφάνιση πρώτων αγάνων) και δεν διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο μεταξύ τους. Τα τεμάχια με τα ξηρικά φυτά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71(υδατώδης καρπός) είχαν τις μικρότερες αποδόσεις και παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν κανονικά και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 37. Οι μεταχειρίσεις της άρδευσης άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον καθορισμό της **απόδοσης σε βιομάζα** (πίνακας 3.6). Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν μεγαλύτερη απόδοση σε βιομάζα και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ακολούθησαν, τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37 . Τα τεμάχια με τα ξηρικά φυτά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 είχαν τις μικρότερες αποδόσεις. Όσον αφορά το **συντελεστή συγκομιδής (Harvest Index)** δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων άρδευσης που εφαρμόστηκαν (πίνακας 3.10)

Από την αγρονομική προοπτική, η καταπόνηση της ξηρασίας ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της παραγωγικής φάσης μπορεί να μειώσει την απόδοση λόγω των σημαντικών επιδράσεων που παρατηρούνται στα συστατικά της απόδοσης (Saini and Westgate, 2000).

Σύμφωνα με μελέτες στην περιοχή της Μεσογείου οι περίοδοι ξηρασίας κατά την διάρκεια της βλαστικής και αναπαραγωγικής ανάπτυξης των καλλιεργειών είναι συνηθισμένο φαινόμενο τα τελευταία χρόνια. Πολλές από τις φυσιολογικές και αναπτυξιακές διεργασίες που συμβαίνουν κατά την περίοδο αυτή, υπόκεινται στις επιδράσεις της υδατικής καταπόνησης. Γονότυποι με υψηλή ικανότητα αδελφώματος συνήθως παράγουν αδέρφια που δεν είναι ανθεκτικά να επιβιώσουν, λόγω των περιορισμένων υδάτινων πόρων (Jones and Kirby, 1977; Duggan et al., 2000). Αυτό μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των φυτών καθώς και της παραγωγής και εξαρτάται από πολλές μεταβλητές, όπως η διάρκεια και η ένταση της υδατικής καταπόνησης, καθώς και από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες (φως, θερμοκρασία). Οι Hochman (1982) and Kobata et.al., (1992), αναφέρουν ότι ο αριθμός των αδελφιών δεν επηρεάστηκε από την έλλειψη νερού. Αντιθέτως, οι Begg and Turner (1976) και οι Gharmania and Gowing (2005) σε πειράματα με σιτάρι βρήκαν μείωση του αριθμού των αδελφιών με αύξηση της υδατικής καταπόνησης. Για το σκληρό σιτάρι η πιο κρίσιμη περίοδος για την επιβίωση των αδελφιών και για τον σχηματισμό των συστατικών της απόδοσης είναι μετά το στάδιο του

καλαμώματος (Cai et.al.,2014). Σύμφωνα με τον(Han ,2013) μεγαλύτερη ποσότητα νερού στο στάδιο του καλαμώματος συμβάλλει στην επιβίωση μεγαλύτερου αριθμού αδελφιών.

Σύμφωνα με τους Sadras and Angus (2006), στα μη αρδευόμενα συστήματα καλλιέργειας, το χάσμα μεταξύ συγκομισμών σπόρων (δηλαδή, η καλύτερη συγκομιδή που επιτυγχάνεται μέσω της επιδέξιας χρήσης της διαθέσιμης τεχνολογίας) και πραγματικής απόδοσης αλλάζει με τις διακυμάνσεις της διαθεσιμότητας νερού μεταξύ τόπων και εποχών. Συνεπώς, οι μελέτες για την αποτελεσματικότερη χρήση νερού θεωρούνται ένα αξιόπιστο για τη συγκριτική αξιολόγηση των αποδόσεων.

Σύμφωνα με το Zhang et al .(2018), η εφαρμογή δύο αρδεύσεων η πρώτη κατά το στάδιο του καλαμώματος και η δεύτερη στο στάδιο του ξεσταχυάσματος σε σχέση με μία μόνο άρδευση στο στάδιο του καλαμώματος οδηγούν σε μεγαλύτερο ύψος φυτών, μεγαλύτερη απόδοση σε βιομάζα και καρπό, μεγαλύτερο αριθμό καρπών/m² μεγαλύτερο βάρος χιλίων κόκκων και μεγαλύτερο αριθμό στάχων. Παρόμοια αποτελέσματα έδειξαν και οι Dong et al.(2011). Σύμφωνα με τους (Chu et al. 2009) η εφαρμογή δύο αρδεύσεων, η πρώτη στο στάδιο του καλαμώματος και η δεύτερη στο στάδιο της άνθησης (με 60mm) έχουν υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) και οι αποδόσεις σε καρπό δεν διέφεραν σε σχέση με την εφαρμογή τριών αρδεύσεων. Σε πείραμα που διεξήχθη στην περιοχή της Βόρειας Κίνας των Xu et al. (2018), κατά την διάρκεια τριών καλλιεργητικών περιόδων, πραγματοποιήθηκαν δύο επεμβάσεις άρδευσης, επιλέγοντας δυο συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης σκληρού σιταριού, για το κάθε πειραματικό τεμάχιο, η εφαρμογή άρδευσης στο στάδιο του καλαμώματος και στο στάδιο της άνθησης οδήγησε σε μεγαλύτερη απόδοση σε καρπό (9,267.6 kg ha⁻¹) και σε μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας μετά την άνθηση. Σύμφωνα με τους Bian et.al., 2016 η εφαρμογή άρδευσης στο στάδιο του καλαμώματος με 120mm νερού και η εφαρμογή δύο αρδεύσεων στο στάδιο του καλαμώματος και στο στάδιο του ξεσταχυάσματος οδηγεί σε μεγαλύτερες αποδόσεις.

Οι Xue et al. (2003) συνιστούν τρεις εφαρμογές, στο καλάμωμα , την δεύτερη στην διόγκωση του κολεού και την τρίτη στην άνθηση , με συνολική άρδευση 300 mm, ενώ αντίθετα οι Zhang et al. (2004a) συνιστούν τρεις εφαρμογές, κατά το καλάμωμα, από την διόγκωση του κολεού μέχρι το καλάμωμα, και την τρίτη από την άνθηση μέχρι την αρχή του γαλακτώδη καρπού, αλλά με συνολική άρδευση 180 mm. Σύμφωνα με τους Li et al. (2010) συνέστησε δύο εφαρμογές, κατά το καλάμωμα και το ξεστάχασμα με συνολική άρδευση 120 mm, ενώ οι Lv et al. (2011) συνιστούν

μια ενιαία εφαρμογή των 60-70 mm κατά το καλάμωμα. Όλες αυτές οι μελέτες παρήγαγαν υψηλότερες αποδόσεις και είχαν υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) από τις παραδοσιακές πρακτικές άρδευσης που εφαρμόζονται. Η συμπληρωματική άρδευση στα πρώτα στάδια ανάπτυξης βοηθάει τις ρίζες να αναπτυχθούν βαθύτερα εντός του εδάφους, γεγονός που ενισχύει την πρόσληψη του νερού από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. (Xu et.al., 2016). Έτσι, η ελλειμματική άρδευση προωθεί τη βλαστική ανάπτυξη και την αποδοτικότερη χρήση του νερού στο έδαφος κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής φάσης. (Zhang et.al., 2012).

Η έλλειψη νερού προκαλεί μείωση της φωτοσυνθετικής ταχύτητας και έχει σαν αποτέλεσμα την ελλιπή συσσώρευση φωτοσυνθετικών προϊόντων κυρίως, στο ανώτερο φύλλο και στον στάχυ τα οποία είναι γνωστό, ότι συμβάλλουν κατά 50-75% στο τελικό βάρος των καρπών (Καραμάνος, 2008). Επίσης, είναι γνωστό πως η έλλειψη νερού κατά την περίοδο από την άνθηση έως την ωρίμανση μειώνει τον χρόνο και τον ρυθμό γειμίσματος του σπόρου, με αποτέλεσμα την μείωση και του χρόνου για την μετακίνηση των υδατανθράκων προς τον σπόρο (Oweis et al., 2000). Συνεπώς, μειώνεται και η απόδοση σε καρπό (Acevedo et al., 2002).

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι η **βιομάζα** και ο **δείκτης συγκομιδής (HI)** είναι οι δύο κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την απόδοση των σιτηρών σε καρπό (Sayre et al., 1997, Shearman et al., 2005, White and Wilson 2006). Σύμφωνα με τον Ruitter (1999) σε πείραμα που διεξήχθη στην Νέα Ζηλανδία, βρήκε πως τα φυτά κριθαριού που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν σημαντικά μεγαλύτερη βιομάζα από τα φυτά που υπέστησαν υδατική καταπόνηση. Αντίστοιχα αποτελέσματα βρήκαν και οι Gonzalez et al. (1998), Dong et al. (2011), με τον γενότυπο και τις μεταχειρίσεις νερού να επηρεάζουν με στατιστικά σημαντικό τρόπο την παραγόμενη βιομάζα. Επίσης, σύμφωνα με τους Xue et al. (2006) έδειξαν ότι τόσο η υψηλότερη βιομάζα όσο και υψηλότερος συντελεστής συγκομιδής (HI) συνέβαλαν στην υψηλότερη απόδοση στο σιτάρι σε διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης. Η βελτίωση της απόδοσης σε βιομάζα και ο υψηλότερος συντελεστής συγκομιδής (HI) είναι μια πολύ ελπιδοφόρα προσέγγιση για την αύξηση της απόδοσης στα σιτηρά (Xue et al., 2006 , Reynolds et al., 2012)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος (πίνακας 3.8) ο **αριθμός των στάχων/m²** διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης που εφαρμόστηκαν. Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά

έδωσαν τους περισσότερους στάχεις/m² και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ακολούθησαν, τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37. Οι στάχεις/m² στα στάδια 32,49,71 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Οι στάχεις /m² των ξηρικών φυτών παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις αρδεύσεις που εφαρμόστηκαν στα υπόλοιπα στάδια. Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά στάδια άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον καθορισμό του **βάρους των χιλίων κόκκων**. Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 έδωσαν το μεγαλύτερο βάρος και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις δεν διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο μεταξύ τους. Όσον αφορά και τον αριθμό των **σταχιδίων ανά στάχυ** δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων άρδευσης που εφαρμόστηκαν (πίνακας 3.11). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος (πίνακας 3.9) ο **αριθμός των καρπών/m²** διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης που εφαρμόστηκαν. Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό καρπών /m² και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ακολούθησαν, τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37 ,τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 και έπειτα τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 και δεν διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο μεταξύ τους. Τα ξηρικά φυτά και τα φυτά τα οποία αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 37. Από την ανάλυση διασποράς παρατηρήθηκε ότι οι αρδεύσεις στα διαφορετικά στάδια άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στο **ύψος των φυτών** κατά την συγκομιδή. Στα φυτά που εφαρμόστηκε κανονική άρδευση, στα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 49 και 37 παρουσιάστηκαν οι υψηλότερες τιμές και δεν διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο μεταξύ τους. Τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32 ακολούθησαν και παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά. Τα ξηρικά φυτά και τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 71 παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές και δεν διέφεραν μεταξύ τους με στατιστικά σημαντικό τρόπο όπως και με τα φυτά που αρδεύτηκαν στο στάδιο 32. Όσον αφορά το **μήκος των στάξεων** δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων άρδευσης που εφαρμόστηκαν (πίνακας 3.13)

Οι Singh et al. (1973) and Begg και Turner (1976), αναφέρουν μείωση του αριθμού των στάχων με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας. Επίσης, οι Mamnouie et al. (2006) παρατήρησαν ότι η μείωση της εδαφικής υγρασίας είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού των στάχων έξι ποικιλιών κριθαριού. Οι Begg and Turner (1976), Chopra et al. (1994) , Mamnouie et al. (2006) διαπίστωσαν μείωση του αριθμού των κόκκων με αύξηση της υδατικής καταπόνησης. Επίσης, οι Campbell et al. (1993) και οι Herwaarden et al. (1998a; 1998b), οι οποίοι βρήκαν ότι η έλλειψη νερού κατά την περίοδο γεμίσματος του κόκκου μείωσε την αφομοίωση του αζώτου και κατ' επέκταση το βάρος του κόκκου και το δείκτη συγκομιδής, ενώ η μείωση ήταν υψηλότερη σε φυτά που είχαν δεχτεί μεγάλες δόσεις αζωτούχου λίπανσης σε σύγκριση με μη λιπασμένα. Οι Aggarwal et al. (1986), Giunta et al. (1993) και οι Ercoli et al. (2008) , οι οποίοι σε πειράματα με ποικιλίες σκληρού σιταριού βρήκαν μείωση του δείκτη συγκομιδής με αύξηση της υδατικής καταπόνησης. Αντιθέτως, οι Albrizio et al. (2010) δεν παρατήρησαν μείωση του δείκτη συγκομιδής με αύξηση της υδατικής καταπόνησης. Σύμφωνα με τους Zhang et al., (2018), η εφαρμογή δύο αρδεύσεων, η πρώτη κατά το στάδιο του καλαμώματος και η δεύτερη στο στάδιο του ξεσταχύσματος, σε σχέση με μία μόνο άρδευση στο στάδιο του καλαμώματος οδηγεί σε μεγαλύτερο αριθμό καρπών ανά τετραγωνικό και μεγαλύτερο αριθμό στάχων.

Υδατικό έλλειμμα στο στάδιο του καλαμώματος επιφέρει μικρότερο αριθμό στάχων /m² . Επίσης, όταν υπάρχει υδατική καταπόνηση στο στάδιο της άνθησης, παρατηρείται ο μικρότερος αριθμός σπόρων ανά στάχυ (26 σπόροι ανά στάχυ) (Gholami, A. and A. Poor Asadollahi, 2008). Οι Gonzalez et al. (1998) βρήκαν πως τα φυτά κριθαριού που υπέστησαν υδατική καταπόνηση έδωσαν 23 σπόρους ανά στάχυ, ενώ αυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν 26,5. Επίσης, βρέθηκε πως ο γενότυπος αλλά και οι μεταχειρίσεις νερού επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων. Σύμφωνα με όσα έδειξαν και οι παραπάνω μελέτες η υδατική καταπόνηση κατά τα στάδια σχηματισμού του στάχυ, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού των σπόρων ανά στάχυ, όπως έχει διατυπωθεί και από τον Ruitter (1999) που έδειξε πως ο αριθμός των σπόρων επηρεάζεται αρνητικά όταν υπάρξουν ελλείμματα νερού είτε σε όλο το βιολογικό κύκλο του φυτού είτε και μόνο μέχρι το στάδιο της επιμήκυνσης του στελέχους.

Η απόδοση του σιταριού , καθώς και όλων των μικρών σιτηρών, βασίζεται σε δύο βασικά συστατικά, τον αριθμό κόκκων ανά m² (GN) και το μέσο βάρος (GW)

(Ugarte et al., 2007; Cossani et al., 2009). Η βελτίωση της απόδοσης των σιτηρών σίτου σχετίζεται σημαντικά με τον αριθμό των καρπών /m² (Foulkes et al., 2011). Ο αριθμός καρπών /m² (Grain Number) επηρεάστηκε από την έλλειψη του νερού ή από την εφαρμογή άρδευσης όταν λαμβάνει χώρα στο στάδιο της άνθησης και στο στάδιο του καλαμώματος (Ji et al., 2010 , Fischer, 2011). Σε κατάσταση υδατικής καταπόνησης σε φυτά κριθαριού σύμφωνα με τους Gonzalez et al. (2007), το μέσο βάρος κόκκου ήταν το χαρακτηριστικό απόδοσης που επηρέασε περισσότερο την απόδοση (yield). Μαζί με την πρωιμότητα και τον συντελεστή συγκομιδής συνεισέφεραν σε μεγαλύτερες αποδόσεις υπό υδατική καταπόνηση. Κάθε συστατικό μπορεί να επηρεαστεί από προσωρινά ελλείμματα νερού, αλλά η έκταση αυτών των επιδράσεων εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης του φυτού στο οποίο εμφανίζονται αυτές οι καταστάσεις (González et al., 2007). Συγχρόνως, σύμφωνα με τους (Lv et.al., 2010) έδειξαν ότι μία συμπληρωματική άρδευση στο κρίσιμο στάδιο ανάπτυξης του φυτού (καλάμωμα μέχρι έναρξη άνθησης) ήταν αποτελεσματικότερη ως προς την απόδοση από την συνεχόμενη άρδευση με μικρή ποσότητα νερού. Κάθε φορά, επειδή το κατάλληλο εδαφικό νερό και η υψηλότερη πυκνότητα ρίζας κάτω από τις μεταγενέστερες συνθήκες ήταν στο επιφανειακό στρώμα εδάφους

Από τον Ruiter (1999) βρέθηκε πως φυτά κριθαριού που υπέστησαν υδατική καταπόνηση σε όλο τον βιολογικό τους κύκλο αλλά και φυτά που καταπονήθηκαν από το στάδιο επιμήκυνσης του στελέχους και μετά είχαν μικρότερο βάρος 1000 κόκκων από φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά. Βρέθηκε επίσης, πως φυτά κριθαριού που καταπονήθηκαν μέχρι την έναρξη της επιμήκυνσης του στελέχους είχαν παρόμοιο αριθμό σπόρων με αυτά που αρδεύτηκαν κανονικά. Ο Ruiter (1999) έδειξε πως η υδατική καταπόνηση σε όλο τον βιολογικό κύκλο του φυτού αλλά και κατά τα τελευταία στάδιά του, επηρεάζει με παρόμοιο τρόπο το βάρος των σπόρων. Είναι γνωστό επίσης πως η έλλειψη νερού οδηγεί στην μείωση της φωτοσυνθετικής ταχύτητας με αποτέλεσμα την ελλιπή συσσώρευση φωτοσυνθετικών προϊόντων στο ανώτερο φύλλο και στον στάχυ τα οποία συμβάλλουν κατά 50-75% στο τελικό βάρος των καρπών (Καραμάνος, 2008). Συνεπώς, το βάρος των σπόρων αναμένεται να είναι μικρότερο σε φυτά που υπέστησαν υδατική καταπόνηση. Είναι επιθυμητή η βελτίωση των καλλιεργούμενων ποικιλιών και η εισαγωγή καινούριων καθώς και η εφαρμογή κατάλληλων καλλιεργητικών τεχνικών για τη δυνατόν μικρότερη επίδραση της καταπόνησης στο βάρος των σπόρων (ειδικά σε Μεσογειακές περιοχές).

Η έλλειψη νερού επηρεάζει την ανάπτυξη του φυτού, τον σχηματισμό των αδελφιών, τον φωτοσυνθετικό ρυθμό και τον αριθμό και το μέγεθος των σπόρων. (Fredrik, J.R. and J.J. Camberto, 1995). Οι Zhang και Oweis ανέφεραν ότι τα ευαίσθητα στάδια ανάπτυξης στο σιτάρι στα υδατικά ελλείμματα στο έδαφος ήταν από το καλάμωμα έως την διόγκωση του κολεού, ακολουθούμενα από το στάδιο της άνθησης και του γαλακτώδη καρπού (Zhang, H. and T. Oweis, 1999). Σύμφωνα με τους Chen et al. (2015) και Chennafi et al. (2006) έδειξε ότι η επίδραση της έλλειψης νερού στην απόδοση και στην αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) διαφέρει μεταξύ των σταδίων του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας σίτου και το πιο ευαίσθητο στάδιο εξαρτάται από την κάθε περιοχή. Η επαρκής παροχή νερού κατά τη διάρκεια ευαίσθητων σταδίων είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη και τον σχηματισμό απόδοσης.

4.4 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ

Στις διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν διαπιστώνεται ότι ο **μεγαλύτερος αριθμός καρπών** κατά φθίνουσα σειρά είχαν στο μέσο της ράχης του στάχου, κατόπιν της βάσης και τέλος της κορυφής. Στις διαφορετικές μεταχειρίσεις αρδεύσεις που εφαρμόστηκαν διαπιστώνεται ότι το **μεγαλύτερο βάρος** κατά φθίνουσα σειρά είχαν στο μέσον της ράχης του στάχου, κατόπιν της βάσης και τέλος της κορυφής.

Στο σιτάρι όπως είναι γνωστό, ανθικές καταβολές διαφοροποιούνται πρώτα στα σταχύδια στο μέσο του στάχου, μετά του κέντρου και τέλος της κορυφής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι καρποί της κορυφής να είναι πιο ελαφροί (μικρότερο βάρος κόκκου), ακολουθούν οι καρποί της βάσης και πιο βαρείς όλων είναι οι καρποί από τη μέση του στάχου (Bonnet, 1935). Η υδατική καταπόνηση επηρεάζει πολύ το μέγεθος του κόκκου σε σχέση και με την θέση του σπόρου στην ράχη του στάχου. Αυτό πιθανώς εξαρτάται από τις διαφορές στις ιδιότητες του αγγειακού συστήματος στον στάχου και στο σταχύδιο (Rajala et al., 2011).

4.5 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ

Η συσσώρευση πρωτεϊνικών συστατικών (ιδιαίτερα οι γλιαδίνες και γλουτενίνες) στους κόκκους επηρεάζονται από την υγρασία του εδάφους (Dai et al., 2008, Zhao κ.ά., 2009b). Άρδευση στο στάδιο της άνθησης μπορεί να ενεργοποιήσει τη βιοσύνθεση της, γλιαδίνης και γλουτενίνης στους σπόρους (Wang και Yu, 2009). Ωστόσο, η αύξηση της συχνότητας άρδευσης, ιδιαίτερα μετά από την

άνθηση, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας των πρωτεϊνών (Wang κ.ά., 2008c). Για έδαφος με επάρκεια υγρασίας, η προσθήκη αζωτούχου λίπανσης μπορεί να βελτιώσει την περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη (Wang et al., 2008c).

Αρκετοί συγγραφείς έχουν δείξει ότι υπάρχει αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες κόκκων (GPC) κάτω υδατικό έλλειμμα (Ozturk & Aydin, 2004, Saint Pierre et al., 2008). Η αύξηση αυτή, οφείλεται στην μείωση της σύνθεσης και αποθήκευσης των υδατανθράκων, γεγονός που επιτρέπει τη συσσώρευση μεγαλύτερης συγκέντρωσης αζώτου ανά μονάδα αμύλου στους κόκκους (Saint Pierre et al., 2008). Ο Wang (2004) βρήκε ότι η αύξηση της συχνότητας άρδευσης είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας των κόκκων σε άμυλο και τη μείωση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη. Οι Ozturk και Aydin (2004) διαπίστωσαν ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη κάτω από το υδατικό έλλειμμα συσχετίστηκε κυρίως με χαμηλότερη απόδοση. Οι Gooding et al. (2003b) ανέφεραν ότι οι υψηλές θερμοκρασίες και η υδατική καταπόνηση μπορεί οδηγούν σε αυξημένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες στους καρπούς.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων άρδευσης που εφαρμόστηκαν (πίνακας 3.14)

5. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανίχνευση του βιολογικού σταδίου στο σκληρό σιτάρι, στο οποίο επιτυγχάνεται η μέγιστη ανταπόκριση στην προσθήκη νερού από πλευράς παραγωγικότητας και ποιότητας. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν μοναδικές αρδεύσεις σε συγκεκριμένα στάδια του βιολογικού κύκλου του σιταριού, τα οποία επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να είναι εύκολα αναγνωρίσιμα και από κάποιον που δεν είναι εξειδικευμένος. Η συγκεκριμένη προσέγγιση ανάδειξε σημαντικές διαφορές, τόσο σε φυσιολογικές, όσο και σε αγρονομικές και ποιοτικές παραμέτρους.

Η εφαρμογή άρδευσης στο στάδιο 37 κατά Zadoks (πρώτη εμφάνιση φύλλου σημαίας) είχε την τάση να παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση (λιγότερη από τον αρδευόμενο μάρτυρα) και υψηλότερη συγκέντρωση σε πρωτεΐνη σε σχέση με την άρδευση στα στάδια 32 (εμφάνιση δευτέρου κόμβου), 49 (εμφάνιση πρώτων αγάνων) και 71 (υδατώδης καρπός). Η αύξηση της απόδοσης στο συγκεκριμένο στάδιο οφείλεται κυρίως στην επίτευξη μεγαλύτερου αριθμού στάχων ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους, αφού όπως φαίνεται η άρδευση στο συγκεκριμένο στάδιο περιορίζει τον εκφυλισμό των δευτερογενών στελεχών. Ο αριθμός των στάχων ανά στάχυ δεν μεταβλήθηκε σημαντικά μεταξύ των σταδίων 32, 37 και 49 και αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς η διαφοροποίηση των σταχυδίων στο σιτάρι ολοκληρώνεται νωρίτερα από τα αναφερόμενα στάδια. Όσον αφορά το μέσο βάρος των καρπών, τη μεγαλύτερη ανταπόκριση παρουσίασε η άρδευση που έγινε στο στάδιο του υδατώδη καρπού, καθώς και στον αρδευόμενο μάρτυρα (Α).

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα υποστηρίζονται, τόσο από τις τιμές του ρυθμού φωτοσύνθεσης κατά το στάδιο της εμφάνισης των πρώτων αγάνων, όσο και από την ολική υδατική καταπόνηση που υπέστησαν τα φυτά στις διάφορες μεταχειρίσεις, όπως αυτή προσδιορίστηκε από το υδατικό δυναμικό, καθώς και το δείκτη WPI.

Σε σημαντικό βαθμό επηρεάστηκε επίσης και ο βιολογικός κύκλος των φυτών από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αρνητικές επιδράσεις, τόσο στην παραγωγή βιομάζας, όσο και στις τελικές αποδόσεις από την αύξηση των υδατικών ελλειμμάτων. Ο ξηρικός μάρτυρας, καθώς και τα φυτά όπου η μοναδική άρδευση πραγματοποιήθηκε στο στάδιο 71 της κλίμακας Zadoks, το στάδιο δηλαδή όπου ο καρπός ενυδατώνεται, παρουσίασαν επιτάχυνση στην ολοκλήρωση

του βιολογικού τους κύκλου κατά περίπου 8 ημέρες σε σχέση με την αρδευόμενη μεταχείριση και 6 ημέρες σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

Με κάθε επιφύλαξη, λόγω του γεγονότος ότι τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας αναφέρονται σε μία μόνο καλλιεργητική χρονιά, φαίνεται ότι το στάδιο 37 κατά Zadoks (πρώτη εμφάνιση φύλλου σημαίας) παρουσιάζει τη μέγιστη απόκριση στην εφαρμογή νερού στο σκληρό σιτάρι.

6. Βιβλιογραφία

6.1 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Acevedo E, Silva P, Silva H (2002) Wheat growth and physiology. In: Bread Wheat Improvement and Production, Curtis BC, Rajaram S, Gómez Macpherson H (Eds), FAO, Roma, Italy, pp. 39-70.
- Aggarwal, P.K. and S.K. Sinsha. 1987. Performance of wheat and triticale varieties in a variable soil-water environment. IV. Yield components and their association to grain yield. *Field Crops Research* 17: 45-53.
- AHMED, M., HASSAN, F.U. & ASIF, M., 2012. Physiological response of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to high temperature and moisture stresses. *AJCS*. 6, 749-755.
- Albrizio, R., Todorovic, M., Matic, T., Stellacci, A.M., 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 115, 179–190
- Altenbach, S.B., F. DuPont, K. Kothari, R. Chan, E. Johnson, and D. Lieu. 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in spring wheat. *Journal of Cereal Science* 37:9–20.
- Angus, J. F., and Moncur. M. W. (1977). Water stress and phenology of wheat. *Aus. J. Agric. Res.* 28, 171-181
- Angus, J.F. and M.W. Mongur. 1997. Water stress and phenology in wheat. *Australian Journal Agricultural Research* 28:177-181
- ANJUM, S.A., XIE, X.-U., WANG, L.-C., SALEEM, M.F., MAN, C. & LEI, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agric. Res.* 6, 2026-2032
- Assmann, S.M., J.A. Snyder and Y.R.J. Lee. 2000. ABA-deficient (*aba1*) and ABA insensitive (*abi1-1*, *abi2-1*) mutants of *Arabidopsis* have a wild-type stomatal response to humidity. *Plant Cell Environment* 23: 387-395.
- B Dong, L Shi, C Shi, Y Qiao, M Liu, Z Zhang., (2011) Grain yield and water use efficiency of two types of winter wheat cultivars under different water regimes *Agricultural Water Management*, 99 (2011), pp. 103-110
- Begg, J.E. and N.C. Turner 1976. Crop Water deficits. *Adv. Agron.* 28: 161-217.
- Bernal, J.D. 1965. The structure of water and its biological implications, in the state and movement of water in living organisms. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 19: 17-32

- Blum, A. and G.F. Arkin. 1984. Sorghum root growth and water-use effected by water supply and growth duration. *Field Grops Research* 8: 131-142.
- BLUM, A., 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilisation. *Euphyt.*100, 77-83
- Blum, A. 2005. Mitigation of drought stress by crop management. Available at: www.PlantStress.com
- Bogale, A., K. Tesfaye and T. Geleto (2011) Morphological and physiological attributes associated to drought tolerance of *Ethiopian durum* wheat genotypes under water deficit. *J. Biodiver. Environ. Sci.* 1(2), 22–36.
- Bole, J.B., and S. Dubetz. 1986. Effect of irrigation and N fertilizer on the yield and protein content of soft white spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 66:281–289.
- Bonnet, O.T., 1935. The development of the barley spike. *J. Agric. Res.* 51, 451–457.
- Boyer J.S. 1968. Relationship of Water Potential to Growth of Leaves. *Pl. Physiol.* 43: 1056-1062.
- Boyer JS. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46:233-235.
- Boyer, J.S. 1967. Leaf water potentials measurements with a pressure chamber. *Pl. Physiol.* 42, 133-137.
- Boyer, J.S. 1971. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. *Pl. Physiol.* 47, 816-820
- Boyer, J.S. 1996. Advances in drought tolerance in plants. *Adv. Agron.* 56: 188-218
- Bradford, K.J. and T.C. Hsiao. 1982. Physiological response to moderate stress. Springer p: 263-324
- Bresta, P., Nikolopoulos, D., Economou, G., Vahamidis, P., Lyra, D., Karamanos, A., Karabourniotis, G., 2011. Modification of water entry (xylem vessels) and water exit (stomata) orchestrates long term drought acclimation of wheat leaves. *Plant Soil* 347, 179–193.
- Buchanan, B.B., W. Gruissen and R.L. Jones 2000. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Am. Soc. Of Plant Phys., Rockville, ML
- Cai T, Xu H, Peng D, Yin Y, Yang W, Ni Y, et al. 2014 Exogenous hormonal application improves grain yield of wheat by optimizing tiller productivity. *Field Crops Res.* 2014; 155:172–183.

- Campbell, C.A., R.P. Zentner, F. Selles, B.G. McConkey and F.B. Dyck. 1993. Nitrogen management for spring wheat grown annually on zero-tillage: yields and nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal* 85: 107–114.
- CHANGHAI, S., BAODI, D., YUNZHOU, Q., YUXIN, L., LEI, S., MENGYU, L. & HAIPEI, L., 2010. Physiological regulation of high transpiration efficiency in winter wheat under drought conditions. *Plant. Soil. Environ.* 56, 340–347.
- Chaves, M.M., Flexas, J., Pinheiro, C., 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Ann. Bot.* 103, 551–560
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2003. Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.* 30, 239–264.
- Chengyue Bian, Changjian Ma, Xinhui Liu, Chao Gao, Quanru Liu, Zhenxing Yan, Yujie Ren, and Quanqi Li., (2016) Responses of Winter Wheat Yield and Water Use Efficiency to Irrigation Frequency and Planting Pattern, *PLoS One*. 2016; 11(5): e0154673.
- Chopra, R.K., P.S.S. Rao, M. Maheswari, L. Xiaobing and K.S. Shivshankar. 1994. Effect of water deficit on accumulation of dry matter, carbon and nitrogen in kernel of wheat genotypes differing in yield stability. *Annals of Botany* 74: 503-511
- Comic, G. 1994. Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. *Bios Scientific Publishers*, p: 297-313.
- Commuri, P.D. and R.J. Jones. 1999. Ultrastructural characterization of maize (*Zea mays* L.) kernels exposed to high temperature during endosperm cell division. *Plant, Cell & Environment* 22 375–385.
- Condon, A. G., R. A. Richards, G. J. Rebetzke, and G. D. Farquhar. 2002. Improving water-use efficiency and crop yield. *Crop Science* 42: 122-132.
- Cossani, C.M., Savin, R., Slafer, G.A., 2007. Contrasting performance of barley and wheat in a wide range of conditions in Mediterranean Catalonia (Spain). *Ann. App. Biol.* 151, 167–173.
- Cossani, C.M., Slafer, G.A., Savin, R., 2009. Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *Field Crops Res.* 112, 205–213.
- Crafts, A.S. 1968. Water Deficits and physiological processes. In *Water Deficits and Plant Growth*. ed. T.T. Kozlowski. 85-133. Academic Press. Inc., New York.

- Dai ZM, Yin YP, Zhang M, Li WY, Yan SH, Cai RG, Wang ZL (2008) Distribution of starch granule size in grains of wheat grown under irrigated and rain-fed conditions. *Acta Agron Sin* 34:795-802
- Dainty, J. 1963. Water relations of plant cells. *Adv. Bot. Res.*, 1, 279-326
- De Cillis, U. 1942. La bianconatura dei grani duri. *Ist Sper Granicoltura Sicilia Catania*.
- Del Blanco, I.A., S. Rajaram, W.E. Kronstad and M.P. Reynolds, 2000. Physiological performance of synthetic hexaploid wheat-derived populations. *Crop Science* 40: 1257-63
- Deltoro, V.I., A. Calatayud, C. Gimeno, A. Abadia and E. Barren. 1998. Changes in chlorophyll a fluorescence, photosynthetic CO₂ assimilation and xanthophyll cycle interconversions during dehydration in desiccationtolerant and intolerant liverworts. - *Planta* 207: 224-228
- DENG, X.P, SHAN, L., MA, Y.Q & INANAGA, S., 2000. Diurnal oscillation in the intercellular CO₂ concentration of spring wheat under the semiarid conditions. *Photosynt.*38, 187-192.
- DENG, X.P., SHAN, L., INANAGA, S. & INOUE, M., 2005. Water-saving approaches for improving wheat production. *J. Sci. Food. Agric.* 85, 1379-1388
- Derouw, A., and Winkel, T. (1998). Drought avoidance by asynchronous flowering in pearl millet stands cultivated on-farm and on-station in Niger. *Exp. Agric.* 34: 19-39
- Dolferus R., Xuemei J.I., Richards R.A. 2011. Abiotic stress and control of grain number in cereals *Plant Science* 181 331-341.
- Duggan, B.L., Domitruk, D.R., Fowler, D.B., 2000. Yield component variation in winter wheat grown under drought stress. *Can. J. Plant Sci.* 80: 739-745
- E M White, F E A Wilson Responses of grain yield, biomass and harvest index and their rates of genetic progress to nitrogen availability in ten winter wheat varieties *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 45 (2006), pp. 85-101
- Egli, D. 1998. *Seed Biology and the Yield of Grain Crops*. CAB International, New York
- Entz, M.H., and D.B. Fowler. 1989. Response of winter wheat to N and water: Growth, water use, yield and grain protein. *Canadian. Journal Plant Science* 69:1135-1147.

- 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.
- Fischer, R. A., D. Rees, K. D. Sayre, Z. M. Lu, A. G. Condon and A. L. Saavedra (1998) Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate and cooler canopies. *Crop Sci.* **38**, 1467–1475
- Flexas, J. and H. Medrano (2002) Drought inhibition of photosynthesis in C₃ plants: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. *Ann. Bot.* **89**, 183–189
- FLEXAS, J., BOTA, J., LORETO, J., CORNIC, G. & SHARKEY, T.D., 2004. Diffusive and Metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant. Biol.* 5, 269-279
- Frank, A.B. and W.O. Willis. 1972. Influence of wind breaks on leaf water status in spring wheat. *Crop Science.* 12: 668-672
- G. Mokhtar, B. Alexandros, Z. Tasos, B. Dalenda, Z. Mokhtar, P. Angelos
Differences in abscisic acid concentration in roots and leaves of two young olive (*Olea europaea* L.) cultivars in response to water deficit *Acta Physiol. Plant.*, 31 (2009), pp. 825-831
- Gharmania, H. and J.W. Gowing. 2005. Effect of water stress on three wheat cultivars. ICID 21st European Regional Conference 2005 - 15-19 May 2005 – Frankfurt
- Gholami, A. and A. Poor Asadollahi, 2008. Improving wheat grain yield under water stress by stem hydrocarbon reserve utilization. *Pak. J. Biol. Sci.*, 11: 2484-2489
- Giunta, F., R. Motzo and M. Deidda. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Research* 33: 399-409.
- Gollan, T., J.B. Passioura and R. Munns. 1986. Soil water status affects the stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. *Journal Plant Physiology* 13: 459-464.
- González, A., Ayerbe, L., 2010. Effect of terminal water stress on leaf epicuticular wax load, residual transpiration and grain yield in barley. *Euphytica* 172,341–349.
- González, A., I. Martin and L. Ayerbe (1999) Barley yield in water-stress condition. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crops Res.* **62**, 23–34.

- Gonzalez, A., I. Martin and L. Ayerbe 1998. Barley yield in water-stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crops Res.* 62, 23-34
- González, A., Martín, I., Ayerbe, L., 2007. Response of barley genotypes to terminalsoil moisture stress: phenology, growth, and yield. *Aust. J. Agric. Res.* 58, 29–37.
- Guo, Z., Yu, Z., Wang, D., Shi, Y., Zhang, Y., 2014. Photosynthesis and winter wheat yield responses to supplemental irrigation based on measurement of water content in various soil layers. *Field Crops Research* 166: 102–111
- Guoth, I. Tari, A. Galle, J. Csizsar, F. Horvath, A. Pecsvaradi, L. Cseuz, L. ErdeiChlorophyll a fluorescence induction parameters of flag leaves characterizes genotypes and not the drought tolerance of wheat during grain filling under water deficit *Acta Biol. Szegediensis*, 53 (2009), pp. 1-7
- H Chennafi, A Aidaoui, H Bouzerzour, A Saci Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions *Asian Journal of Plant Sciences*, 5 (2006), pp. 854-860
- Hagan, R.M. and H.R. Edminster, T.W.1967. Irrigation of agricultural plants. *Am. Soc. of Agron.* 307-41.
- Hale, M.G. and D.M. Orcutt 1987. *The physiology of plants under stress.* John Wiley & Sons, Inc, USA. 206 pp
- Han HF, Zhao DD, Shen JY, Lang K, Liu QR, Li QQ. Effect of irrigation amount and stage on yield and quality of winter wheat under wide-precision planting pattern. *Tran. CSAE* 2013; 29(14): 109–114
- Herwaarden, A.F., G.D. Farquhar, J.F. Angus, R.A. Richards and G.N. Howe. 1998a. ‘Haying-off’, the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agriculture Research* 49: 1067–1081.
- Herwaarden, A.F., J.F. Angus, R.A. Richards and G.D. Farquhar. 1998b. ‘Hayingoff’, the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer. II. Carbohydrate and protein dynamics. *Australian Journal of Agriculture Research* 49:1083–1093
- Hochman, Z.V.I. 1982. Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. *Field Crops Research* 5: 55-67.

- J M Li, S Inanaga, Z H Li, A E Eneji Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain *Agricultural Water Management*, 76 (2005), pp. 8-23
- J.C. Yang, J.H. Zhang, Z.Q. Wang, L.J. Liu, Q.S. Zhu Postanthesis water deficits enhance grain filling in two-line hybrid rice *Crop Sci.*, 43 (2003), pp. 2099-2108
- J.C. Yang, J.H. Zhang, Z.Q. Wang, Q.S. Zhu, L.J. Liu Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling *Plant Cell Environ.*, 26 (2003), pp. 1621-1631
- Jones, C.A. 1985. *Grasses and cereals*. John Wiley and Sons, New York.
- Jones, H.G., Kirby, E.J.M., 1977. Effects of manipulation of number of tillers and water supply on grain yield in barley. *J. Agric. Sci.* 88: 391–397
- K D Sayre, S Rajaram, R A Fischer Yield potential progress in short bread wheats in northwest Mexico *Crop Science*, 37 (1997), pp. 36-42
- Kanechi, M., E. Kunitomo, N. Inagaki and S. Maekawa. 1995. Water stress effects on ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and its relationship to photosynthesis in sunflower leaves. *Kluwer Academy Publish* p. 597-600
- Karamanos, A.J. & Gimenez, C. (1991). Physiological factors limiting growth and yield of faba beans. *Options Mediterranèenes* 10, 79-90.
- Karamanos, A.J. 1981. The development of water deficits in plants. In *Water Stress on Plants* (ed. G.M. Simpson) pp. 34-88. PRAEGER, New York.
- Karamanos, A.J. 1984. Ways of detecting adaptive responses of cultivated plants to drought. An agronomic approach. In: *Being Alive on Land. Task for vegetation science* (ed. N.S. Margaris, M. Arianoustaki-Fargitaki and W.C. Oechel): 91-101
- Kobata, T., J.A. Palta and N.C Turner. 1992. Rate of development of post anthesis water deficits and grain filling of spring wheat. *Crop Science* 32: 1238-1242
- Kramer, P.J. 1969. *Plant and Soil Water Relationships: A Modern Synthesis*. McGraw-Hill, Book Co: New York.
- L Lv, Y Yao, L Zhang, Z Dong, X Jia, S Liang, J Ji 2013 Winter wheat grain yield and its components in the North China Plain: Irrigation management, cultivation, and climate *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73 (2013), pp. 233-242

- L.H. Lv, H.J. Wang, X.L. Jia, Z.M. Wang Analysis on water requirement and water-saving amount of wheat and corn in typical regions of the North China Plain *Front. Agric. China*, 5 (2011), pp. 556-562
- Lambers, H., F.S. Chapin and T.L. Pons 1998. *Plant Physiological Ecology*. SpringerVerlag, New York, p.540.
- Li, X. P., A.M. Gilmore, S. Caffarri, R. Bassi, T. Golan, D. Kramer and K.K. Niyogi. 2004. Regulation of photosynthetic light harvesting involves intrathylakoid lumen pH sensing by the PsbS protein. *Journal of Biological Chemistry* 279: 22866-22874
- Li-liZHOU ,Shu-huaLIAO ,Zhi-minWANG ,PuWANG ,Ying-huaZHANG ,Hai-junYAN , ZhenGAO ,SiSHEN ,Xiao-guiLIANG ,Jia-huiWANG , Shun-liZHOU A simulation of winter wheat crop responses to irrigation management using CERES-Wheat model in the North China Plain, *Journal of Integrative Agriculture* 2018, 17(5): 1181–1193
- Loggini, B., A. Scartazza, E. Brugnoli and F. Navari-Izzo. 1999. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. - *Plant Physiology* 119: 1091-1099
- Lu, C. and J. Zhang. 1998. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. *Australian Journal of Plant Physiology* 25: 883-892.
- Ludlow, M.M. and R.C. Muchow 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yield in water limited environments. *Advances in Agronomy* 43, 107-49
- Lv GH, Kang YH, Li L, Wan SQ. Effect of irrigation methods on root development and profile soil water uptake in winter wheat. *Irrigation Science*. 2010;28(5):387–398.
- M.J. Foulkes, G.A. Slafer, W.J. Davies, P.M. Berry, R. Sylvester Bradley, P. Martre, D.F. Calderini, S. Griffiths, M.P. Reynolds Raising yield potential of wheat III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance *J. Exp. Bot.*, 62 (2011), pp. 469-486
- M.P. Reynolds, M.J. Foulkes, R. Furbank, S. Griffiths, J. King, E. Murchie, G. Slafer Achieving yield gains in wheat *Plant Soil Environ.*, 35 (2012), pp. 1799-1823
- Mahalakshmi, V., and Bidinger, F. R. (1985b). Water stress and time of floral initiation in pearl millet. *J. Agric. Sci.* 105: 437-445.

- Mahalakshmi, V., Bidinger, F. R., and Raju, D. S. (1987). Effect of timing of water deficit on pearl millet (*Pennisetum americanum*). *Field Crops Res.* 15: 327-339.
- Malinowski, D.P. and D.P. Belasky 2000. Adaptation of endophyte - infected cool season grasses. Mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Sci.* 40, 923-937
- Mamnouie, E., R. F. Ghazvini, M. Esfahany and B. Nakhoda. (2006). The Effects of Water Deficit on crop yield and the physiological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. *Journal of Agriculture. Science and Technology* 8: 211-219
- Martinez J.P., J.F. Ledent, M. Bajji, J.M. Kinet and S. Lutts. 2003. Effect of water stress on growth, Na⁺ and K⁺ accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L. *Plant Growth Regulation* 41: 63-73
- Millar, B.D. and O.T. Denmead. 1976. Water relations of wheat leaves in the field. *Agronomy Journal* 68: 303-307.
- Ming-ming ,ZHANG, Bao-diDONG, Yun-zhouQIAO, Chang-haiSHI Hong, YANG Ya-kai, WANG Meng-yu LIU., (2018) Yield and water use responses of winter wheat to irrigation and nitrogen application in the North China Plain, *Journal of Integrative Agriculture* 2018, 17(5): 1194–1206
- Morgan JA and DR. LeCain. 1991. Leaf gas exchange and related leaf traits among 15 winter wheat genotypes. *Crop Science* 31: 443-448.
- Mullet, J.E. and M.S. Whitsitt 1996. Plant cellular responses to water deficit. *Plant Growth Regul.* 20: 119-124
- Newman, E.I. 1966. Relationship between root growth of flax and soil water potential. *New Phytol.*, 273-83
- Nicolas M.E., R.M. Gleadow and M.J. Dalling. 1985. Effect of postanthesis drought on cell-division and starch accumulation in developing wheat grains. *Annals of Botany* 55: 433–444.
- Nilsen, E.T.; and D.M. Orcutt. 1996. *The physiology of plants under stress.* John Wiley & Sons Inc. New York, USA. 687 p
- Oweis T., H. Zhang and M. Pala (2000). Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agron. J.* 92: 231–238

- OZTURK, A. & AYDIN, F., 2004. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *J. Agron.Crop Sci.* 190, 93-99.
- P F Chu, D Wang, Y L Zhang, X Y Wang, X Z Wang, Z W Yu ., (2009) Effects of irrigation stage and amount on water consumption characteristics, grain yield and content of protein components of wheat *Scientia Agricultura Sinica*, 42 (2009), pp. 1306-1315
- Paynter, B.H., Young, K.J., 2004. Grain and malting quality in two-row spring barley are influenced by grain filling moisture. *Aust. J. Agric. Res.* 55, 539– 550
- Plaut Z., B.J. Butow, C.S. Blumenthal and C.W. Wrigley. 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research* 86: 185–198.
- Porceddu, E., T, Turchetta, S. Masci, R.D. Ovidio and M.M. Nachit. 1998. Variation in endosperm protein composition and technological quality properties in durum wheat. *Euphytica* 100:197-205.
- Puri, Y.P., M.F. Miller, R.N. Sah, K.G. Baghott, E. Fereres-Castel, and R.D. Meyer. 1989. Response surface analysis of the effects of seeding rates, N-rates and irrigation on durum wheat. II. Protein yield and grain quality. *Phyton (Buenos Aires)* 49:41–59.
- Q. Xue, Z. Zhu, J.T. Musick, B.A. Stewart, D.A. Dusek Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation *Plant Soil*, 257 (2003), pp. 151-161
- Q.Q. Li, B.D. Dong, Y.Z. Qiao, M.Y. Liu, J.W. Zhang Root growth, available soil water, and water-use efficiency of winter wheat under different irrigation regimes applied at different growth stages in North China *Agric. Water Manag.*, 97 (2010), pp. 1676-1682
- Q.W. Xue, Z. Zhu, J.T. Musick, B.A. Stewart, D.A. Dusek Physiological mechanisms contributing to the increased water-use efficiency in winter wheat under deficit irrigation *J. Plant Physiol.*, 163 (2006), pp. 154-164
- R Chen, W H Cheng, J Cui, J Liao, H Fan, Z Zheng, F Y Ma Lateral spacing spacing in drip-irrigated wheat: The effects on soil moisture, yield, and water use efficiency *Field Crops Research*, 179 (2015), pp. 52-62
- R. Khanna-Chopra Leaf senescence and abiotic stresses share reactive oxygen species-mediated chloroplast degradation *Protoplasma*, 249 (2012), pp. 469-481

- R.A. Fischer Wheat physiology: a review of recent developments *Crop Pasture Sci.*, 62 (2011), pp. 95-114
- Rajala, A., Hakala, K., Mäkelä, P., Peltonen-Sainio, P., 2011. Drought effect on grain number and grain weight at spike and spikelet level in six-row spring barley. *J. Agron. Crop Sci.* 197, 103–112.
- Rao, A.C.S., J.L. Smith, V.K. Jandhyala, R.I. Papendick and J.F. Parr , 1993. Cultivar and climatic effects on protein content of soft white winter wheat. *Agronomy Journal* 85: 1023–1028
- Ruiter J.M. (1999). Yield and quality of malting barley (*Hordeum vulgare* L. “Valetta”) in response to irrigation and nitrogen fertilization. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Vol. 27: 307-317
- S. Singh, A.K. Gupta, N. Kaur Differential responses of antioxidative defence system to long-term field drought in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes differing in drought tolerance *J. Agron. Crop Sci.*, 198 (2012), pp. 185-195
- Sadras, V.O., Angus, J.F., 2006. Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments. *Aust. J. Agric. Res.* 57, 847–856.
- Saini, H. S. (1997). Effects of water stress on male gametophyte development in plants. *Sex. Plant Reprod.* 10: 67-73
- Saini, H., Westgate, M.E., 2000. Reproductive development in grain crops during drought. *Adv. Agron.* 68, 59–96.
- SAINT PIERRE, C., PETERSON, J., ROSS, A.S., OHM, J., VERHOEVEN, M.C., LARSON, M. & HOEFERWHITE, R., 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. *Agron. J.* 100, 414-420
- Salter, P. J., and Goode, J. E. (1967). “Crop Responses to Water at Different Stages of Growth,” *Res Rev.* No. 2. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, England
- Samarah, N.H., Alqudah, A.M., Amayreh, J.A., McAndrews, G.M., 2009. The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. *J. Agron. Crop Sci.* 195, 427–441
- Schmid, I., Franzaring, J., Muller, M., Brohon, N., Calvo, O.C., Hogy, P., Fangmeier, A., 2015. Effects of CO₂ enrichment and drought on photosynthesis, growth and yield of an old and a modern barley cultivar. *J. Agro Crop Sci.*, 478–521, <http://dx.doi.org/10.1111/jac.12127>, 978-0-8138-0123-0

- Scholander, P.F., H.T. Hammel, E.A. Hemmingen and E.D. Bradstreet 1964. Hydrostatic Pressure and Osmotic Potential in leaves of Mangroves and some other plants. *Proc. Nat. Acad. Sci., U.S.A.* 52: 119-125.
- Seiler, C., Harshavardhan, V.T., Reddy, P.S., Hensel, G., Kumlehn, J., EschenLippold, L., Rajesh, K., Korzun, V., Wobus, U., Lee, J., Selvaraj, G., Sreenivasulu, N., 2014. Abscisic acid flux alterations result in differential abscisic acid signaling responses and impact assimilation efficiency in barley under terminal drought stress. *Plant Physiol.* 164, 1677–1696.
- Setter T.L. and B.A. Flannigan. 2001. Water deficit inhibits cell division and expression of transcripts involved in cell proliferation and endoreduplication in maize endosperm. *Journal of Experimental Botany* 52: 1401–1408.
- Shao., L W Shao, X Y Zhang, H Y Sun, S Y Chen, Y M Wang. 2011. Yield and water use response of winter wheat to winter irrigation in the North China Plain *Journal of Soil and Water Conservation*, 66 (2011), pp. 104-113
- Sharp, R.E. 1990. Confirmation that abscisic-acid accumulation is required for maize primary root elongation at low water potentials. *Journal of Experimental Botany* 45: 1743-1751
- SIDDIQUE, M.R.B., HAMID, A. & ISLAM, M.S., 1999. Drought stress effects on photosynthesis rate and leaf gas exchange. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 40, 141-145.
- Simpson, G.M. 1981. *Water stress on plants*. Praeger Publ. Corp., New York.
- Singh, T., L. Paleg and D. Aspinall. 1973. Stress metabolism variations in response to water deficit in the barley plants. *Cab. Abstract.* p: 1972-1975.
- Slafer, G.A., Whitechurch, E.M., 2001. Manipulating wheat development to improve adaptation and to search for alternative opportunities to increase yield potential. In: Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I., McNab, A. (Eds.), *Application of Physiology on Plant Breeding*. CYMMIT, Mexico, DF, pp. 160–170
- Slatyer R.O. and S.A. Taylor, 1960. Terminology in Plant and Soil- Water Relations. *Nature*, 187: 922-924
- Slatyer, R.O. 1967. *Plant-Water Relationships*. Academic Press, London, New York
- Taylor, H.M., W.R. Jordan and T.R. Sinclair. 1983. Limitations to efficient water use in Crop Science of Am., Inc, American Soc. Of Agron. Inc., Soil Science of America Inc. pp. 227-340

- Terman, G.L., R.E. Ramig, A.F. Dreier, and R.A. Olson. 1969. Yield– protein relationships in wheat grain, as affected by N and water. *Agronomy Journal* 61:755–759
- Tezara, W. and D.W. Lawlor. 1995. Effects of water stress on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. Kluwer Academy Publish p. 625–628.
- Tsiros, I.X., Hoffman, M.E., 2013. Thermal and comfort conditions in a semi-closed rear wooded garden and its adjacent semi-open spaces in a Mediterranean climate (Athens) during summer. *Architectural Science Review*:1–20. doi: 10.1080/00038628.2013.829021
- Turner, R.E., 1997. Testing hypotheses about causes for coastal land loss in the Northern Gulf of Mexico. *Estuaries* 20: (in press).
- Tyree, M.T., J. Dainty and D.M. Hunter 1974. The water relations of hemlock (*Tsuga Canadensis*) IV. The dependence of the balance pressure on the temperature as measured by the pressure-bomb technic. *Can. J. Bot.* 5: 973-978.
- Ugarte, C., Calderini, D.F., Slafer, G.A., 2007. Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat barley and triticale. *FieldCrops Res.* 100, 240–248.
- V J Shearman, R Sylvester-Bradley, R K Scott, M J Foulkes Physiological progress associated with wheat yield progress in the UK *Crop Science*, 45 (2005), pp. 175-185
- Vos, N.M. and J. Sinke. 1981. De vooruitgang in opbrengst bij wintertarwe in de periode 1940-1980. *Bedrijfsontwikkeling* 12: 615-618.
- Wang XY, He MR, Li F, Liu YH, Zhang HH, Liu CG (2008c) Coupling effects of irrigation and nitrogen fertilization on grain protein and starch quality of strong-gluten winter wheat. *Front Agric China* 2:274-280
- Wang XY, Yu ZW (2009) Effects of irrigation on nitrogen metabolism and grain quality in winter wheat. *Acta Bot Boreal–Occident Sin* 29:1415-1420.
- Wang, Q., J. Chen and Y. Li. 2004. Nondestructive and rapid estimation of leaf chlorophyll and nitrogen status of peace lily using a chlorophyll meter. *Journal of Plant Nutrition* 27: 557-569
- Wang, Z., Li, S., Vera, C.L., Malhi, S.S., 2005. Effects of water deficit and supplemental irrigation on winter wheat growth, grain yield and quality, nutrient

- uptake, and residual mineral nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1405–1419
- Waring, R.H. and B.D. Cleary 1967. Plant moisture stress: evaluation by pressure bomb. *Science* 155: 1248-1254
- Warren Wilson, J. 1967. The components of leaf water potential. I. Osmotic and matric potentials. *Aust. J. Biol. Sci.* 20, 329-347
- Watson, A. 2006. *Agricultural innovation in the early Islamic world.* Cambridge University Press 20-23 p.
- Weatherley, R.E. 1965. Water in the leaf. In *The State and movement of water in living organisms.* Symp. Soc. Exp. Biol. 19: 157-84. London, Cambridge University Press.
- Westgate, M.E. 1994. Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. *Crop Science* 34: 76–83.
- Wiebe, H.H. 1960. Matric potentials of several plant tissues and biocolloids. *Plant Physiol.* 41: 1439-1442
- Winkel, T., Renno, J. F., and Payne, W. A. (1997). Effect of timing of water deficit on growth, phenology and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L) R Br) grown in sahelian conditions. *J Exp Bot.* 48: 1001 – 1009
- Wise, R.R., A Ortiz-Lopez and D.R Ort. 1991. Spatial distribution of photosynthesis during drought in field-grown and acclimated and nonacclimated growth chamber-grown cotton. *Plant Physiology* 100: 26-32,
- Wopereis, M. C. S., Kropff, M. J., Maligaya, A. R., and Tuong, T. P. (1996). Drought-stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status. *Field Crops Res.* 46: 21-39.
- Wu, F.Z., W.K. Bao, F.L. Li and N. Wu. 2008. Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of *Sophora davidii* seedlings. *Photosynthetica* 46: 40-48.
- X.M. Ji, B. Shiran, J.L. Wan, D.C. Lewis, C.L. Jenkins, A.G. Condon, R.A. Richards, R. Dolferus Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat *Plant Cell Environ.*, 33 (2010), pp. 926-942
- X.Y. Zhang, D. Pei, S.Y. Chen Root growth and soil water utilization of winter wheat in the North China Plain *Hydrol. Process.*, 18 (2004), pp. 2275-2287

- Xu C, Tao H, Tian B, Gao Y, Ren J, Wang P. Limited-irrigation improves water use efficiency and soil reservoir capacity through regulating root and canopy growth of winter wheat. *Field Crops Research*. 2016;196:268–275.
- XuexinXu, MengZhang, [JinpengLi](#), [ZuqiangLiu](#), ZhiganZhao, [YinghuaZhang](#), ShunliZhou [ZhiminWang](#). (2018). Improving water use efficiency and grain yield of winter wheat by optimizing irrigations in the North China Plain, *Field Crops Research* 221 (2018) 219–227
- Yamada, H., J. St.Andre and R.M.Hoover. 1972. Effects of irrigation and fertilizer on INIA 66 wheat. *California Agriculture* 26:9–10
- Yang J.C. and J.H. Zhang. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist* 169: 223–236
- Yordanov, L., K. Georgieva, T. Tsonev, Goltsev and M. Merakchiiska. 1998. Effect of carbamide cytokinin 4PU-30 on the photosynthesis of bean plants endured drought and high temperature stresses. - In: Garab, G. (ed.): *Photosynthesis: Mechanisms and Effects*. Vol. IV. p. 2577-2580.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14, 415-421.
- Zhang X, Wang Y, Sun H, Chen S, Shao L. Optimizing the yield of winter wheat by regulating water consumption during vegetative and reproductive stages under limited water supply. *Irrigation Science*. 2012;31(5):1103–1112.
- Zhao CX, He MR, Wang ZL, Wang YF, Lin Q (2009b) Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. *CR Biol* 332:759-764.
- Zinselmeier C., M.J. Lauer, J.S. Boyer 1995 Reversing drought-induced losses in grain yield: sucrose maintains embryo growth in maize, *Crop Sci.* 35: 1390–1400
- Zlatev, Z.S. 2009. Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. XI Anniversary Scientific Conference.
- Zlatev, Z.S. and I.T. Yordanov. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Boulgarian Journal of Plant Physiology* 30: 3-18.

6.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ετήσια γεωργική στατιστική έρευνα για το έτος 2016, ΕΛΣΤΑΤ, www.statistics.gr
- Καραμάνος Α.Ι., 2008. Τα Σιτηρά των εύκρατων κλιμάτων. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 342 σελ.
- Καραμπουρνιώτης, Γ., Λιακόπουλος, Γ., Νικολόπουλος, Δ. 2012. Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών: Οι λειτουργίες των Φυτών Κάτω Από Αντίξοες Συνθήκες του Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα, 332 σελ
- Παπακώστα-Τασοπούλου, Δ. 2008. Ειδική Γεωργία Ι (Τεύχος Α), Σιτηρά (Χειμερινά, Εαρινά). Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσ/νίκη. σελ. 25-60.
- Σιδηράς Κ. Νικόλαος. 1994. Δεύτερο μέρος : Εδαφικό Περιβάλλον (Πανεπιστημιακές Σημειώσεις). Αθήνα. Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών – Φυτική Παραγωγή – Εργαστήριο Γεωργίας
- Τερζιδη ,Γ.Α.και Ζ.Γ.Παπαζαφειριου 1997. Γεωργική Υδραυλική, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- www.syngentahellas.gr

