

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ  
ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Π.Μ.Σ. 2014-2015

ΓΕΩΡΓΙΑ, ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

“Οικοφυσιολογική προσέγγιση της ανθεκτικότητας στην  
υδατική καταπόνηση ποικιλιών βυνοποιήσιμου κριθαριού”



Σταυριανάκης Γεώργιος

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

κ. Γ. Οικονόμου

**ΑΘΗΝΑ 2016**

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ  
ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

“Οικοφυσιολογική προσέγγιση της ανθεκτικότητας στην  
υδατική καταπόνηση ποικιλιών βυνοποιήσιμου κριθαριού”

Σταυριανάκης Γεώργιος

**Εξεταστική Επιτροπή**

**Γ. Οικονόμου – Αναπληρώτρια Καθηγήτρια**

**Γ. Καραμπουρνιώτης – Καθηγητής**

**Γ. Λιακόπουλος – Επίκουρος Καθηγητής**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ θερμά την καθηγήτριά μου κ. Γ. Οικονόμου για την υπόδειξη του θέματος της μεταπτυχιακής μου διατριβής, το σχεδιασμό, την εποπτεία και τη βοήθειά της κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, τη καθοδήγησή της κατά τη συγγραφή της καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές και την υπομονή της. Επίσης ευχαριστώ τους καθηγητές κ. Γ. Καραμπουρνιώτη και κ. Γ. Λιακόπουλο ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής για την κριτική ανάγνωση της διατριβής.

Ακόμα, θέλω να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου Σταύρο Μπουρουγιάννη και τον Δρ. Πέτρο Βαχαμίδα για την πολύτιμη βοήθειά τους τόσο κατά την εκπόνηση του πειραματικού μέρους όσο και κατά την συγγραφή της συγκεκριμένης εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και την Αλεξάνδρα για την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν απλόχερα σε όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ABSTRACT .....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
1.1 ΤΟ ΚΡΙΘΑΡΙ .....	7
1.2 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΦΥΤΑ .....	8
1.2.1 ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ .....	9
1.2.2 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΣ.....	12
1.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ .....	14
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ .....	14
1.2.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ.....	19
1.2.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ.....	21
1.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟ ΦΥΤΟ.....	22
1.3.1 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΘΡΕΨΗ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ ΜΕ ΑΖΩΤΟ.....	24
1.3.2 ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΑΖΩΤΟ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ.....	25
1.3.3 ΟΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΘΡΕΨΗ ΣΕ ΑΖΩΤΟ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ .....	27
1.4 ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΑΖΩΤΟΥ.....	29
1.4.1 Η ΠΡΩΤΕΙΝΗ ΣΤΟΝ ΚΑΡΠΟ .....	31
1.5 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	32
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	34
2.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	34
2.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ .....	34
2.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ .....	35
2.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	36
2.2.1 ΕΔΑΦΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ .....	36
2.2.2 ΣΠΟΡΑ.....	37
2.2.3 ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ .....	38
2.2.4 ΑΛΛΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ.....	38
2.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	38
2.3.1 ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ .....	38
2.3.2 ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	38
2.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ .....	39

2.4.1 ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ.....	39
2.4.2 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ .....	40
2.4.3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	43
2.4.4 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ .....	43
2.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	44
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	46
3.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	46
3.2. ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ.....	46
3.2.1. ΚΛΙΜΑΚΑ ΖΑΔΟΚΣ .....	46
3.2.2 ΚΛΙΜΑΚΑ ΗΑΥΝ.....	50
3.2.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΛΙΜΑΚΩΝ.....	53
3.2.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΡΩΙΜΟΤΗΤΑΣ .....	54
3.3 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ .....	58
3.3.1 ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ.....	58
3.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (WATER POTENTIAL INDEX) .....	61
3.3.3 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΑΖΩΤΟΥ.....	62
3.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	70
3.4.1 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΡΩΤΕΙΝΗΣ ΣΤΟΥΣ ΣΠΟΡΟΥΣ.....	70
3.4.2 ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΠΟΡΟΥ .....	73
3.5 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ .....	78
3.5.1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΑΝΑ ΦΥΤΟ .....	78
3.5.2 ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΤΩΝ .....	80
3.5.3 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΠΟΡΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ .....	85
3.5.4 ΒΑΡΟΣ 1000 ΚΟΚΚΩΝ .....	88
3.5.5 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΚΑΡΠΟ ΑΝΑ ΦΥΤΟ.....	91
3.5.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (HARVEST INDEX) .....	94
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	100
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	100
Ξένη Βιβλιογραφία.....	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	110

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Την καλλιεργητική περίοδο 2014-2015 μελετήθηκε σε στέγαστρο εντός του πειραματικού αγρού του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, η επίδραση της έλλειψης νερού στις φυσιολογικές παραμέτρους, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τα συστατικά απόδοσης των βυνοποιήσιμων ποικιλιών κριθαριού «KWS Asta», «Zhana» και «Charles».

Τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν η εξέλιξη της ανάπτυξης των φυτών με βάση την φαινολογία τους, η υδατική κατάσταση των φυτών σε όλη την διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου, το βάρος της ξηράς ουσίας κατά την άνθηση και την συγκομιδή, η περιεκτικότητα των φυτών σε άζωτο καθώς και η κίνησή του εντός αυτών. Επίσης μελετήθηκε ο αριθμός των δευτερευόντων στελεχών, των σπόρων ανά στάχυ, το βάρος των σπόρων που παράχθηκαν, η απόδοση σε καρπό ανά φυτό αλλά και ο δείκτης συγκομιδής. Τέλος μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά που καθιστούν τους παραγόμενους σπόρους κατάλληλους για βυνοποίηση, δηλαδή το ποσοστό της πρωτεΐνης στους κόκκους και το μέγεθος αυτών.

Διαφορά 0,44 MPa ως προς το δείκτη WPI μεταξύ των ακραίων μεταχειρίσεων του νερού είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη λιγότερων σπόρων, την μείωση του βάρους τους, την μείωση του δείκτη συγκομιδής αλλά και την μείωση της ικανότητας μετακίνησης του αζώτου στα φυτά που δέχθηκαν την υψηλότερη ένταση υδατικής καταπόνησης. Επίσης, στα ίδια φυτά επηρεάστηκε σημαντικά και η καταλληλότητα των σπόρων για βυνοποίηση, καθώς από τη μία πλευρά περιορίστηκε σημαντικά το ποσοστό των σπόρων με αποδεκτό μέγεθος (>2,2mm) και από την άλλη πλευρά αυξήθηκε σημαντικά και σαφώς παραπάνω από τα αποδεκτά όρια (9,5-11,5%) η περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη. Σαφείς επιδράσεις από τη διαβάθμιση του βαθμού της υδατικής καταπόνησης διαπιστώθηκαν και στη διάρκεια των επιμέρους σταδίων του βιολογικού κύκλου των φυτών που εξετάστηκαν.

Γενικότερα η ποικιλία Zhana παρουσίασε καλύτερη προσαρμογή σε συνθήκες αυξανόμενης υδατικής καταπόνησης από τις άλλες δύο ποικιλίες καθώς κατέγραψε τις υψηλότερες αποδόσεις, το μεγαλύτερο ποσοστό μεγάλων σπόρων και το μικρότερο ποσοστό μικρών σπόρων. Επιπλέον, τουλάχιστον μέχρι το επίπεδο C, η πρωτεΐνη των καρπών της, αν και πάνω από τα επιτρεπτά όρια, ήταν σαφώς χαμηλότερη από αυτή που παρουσίασαν οι υπόλοιπες ποικιλίες.

**ABSTRACT**

A research carried out during the growing period 2014-2015 under a shelter within the experimental field of Agricultural University of Athens studied the effect of water stress in the physiological parameters, the quality characteristics and the components of the production of malting barley varieties “KWS Asta”, “Zhana” and “Charles”.

The characteristics studied were: the progress of the plants growing based on their phenology, the water potential of the plants for the whole duration of their biological circle, the weight of the dry substance during flowering and harvest, their content in nitrogen and its translocation in the plants. The number of tillers, the seeds per barley ear, the yield and the harvest index were also studied. Finally, the research studied the characteristics which make the produced seeds suitable for malting, the percentage of protein in the grains and their size.

Difference of 0,44 MPa (WPI) between extreme treatments resulted in fewer seeds per plant, reduced seed weight, reduced harvest index and reduced nitrogen translocation efficiency. Also the suitability of the seeds for malting was significantly affected because on one hand the seeds which had the suitable size (>2,2mm) were less and on the other hand there was significant and above the limits (9,5-11,5%) increase of the grain protein content. There were clear evidences that the increasing water stress affected the duration of the crop developmental stages.

Generally, the “Zhana” variety seems to have better adaptation in conditions of increasing water stress compared to the other two varieties, since it recorded the highest productivity, the highest percentage of plump kernels and the lower percentage of thin kernels. Also, at least up to the C level the grain protein content although above acceptable levels, was clearly lower compared to the rest two varieties.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΤΟ ΚΡΙΘΑΡΙ

Το κριθάρι είναι το δεύτερο σε σπουδαιότητα χειμερινό σιτηρό μετά το σιτάρι και κατατάσσεται τέταρτο από άποψη ύψους παραγωγής, σε παγκόσμια κλίμακα, μετά το σιτάρι, το ρύζι και το καλαμπόκι (Μπλαδενόπουλος και Ματσούκας, 2000). Στην Ελλάδα η ετήσια παραγωγή κριθαριού το 2007 έφτασε τους 264.000 τόνους, ενώ το 1964 ήταν 242.000 τόνοι. Η μέση στρεμματική απόδοση αυξήθηκε από 144,91 kg/στρ. που ήταν το 1964, στα 230 kg/στρ. το 2007, ενώ η καλλιεργούμενη έκταση με κριθάρι μειώθηκε από 1.670.000 στρ. το 1964 σε 1.150.000 στρ. το 2007 (FAO, 2009).

Το κριθάρι (*Hordeum vulgare* L.) ανήκει στο γένος *Hordeum*, στο τμήμα *Cerealialia*, στην οικογένεια των αγρωστωδών (*Poaceae*) και είναι διπλοειδές ( $2n=14$ ). Ένα ώριμο φυτό κριθαριού αποτελείται από α) τις ρίζες, β) τα στελέχη (το βασικό και των δευτερευόντων στελεχών) που αποτελούνται από κενά μεσογονάτια διαστήματα και 5-7 συμπαγή γόνατα, γ) τα φύλλα, που αποτελούνται από τον κολεό, το έλασμα, τα γλωσσίδια και τα ωτίδια, δ) ένα στάχυ στην κορυφή κάθε στελέχους, το οποίο απαρτίζεται από σταχύδια οργανωμένα σε ομάδες των τριών που εναλλάσσονται σε κάθε γόνατο της ράχης, ε) τα σταχύδια που προαναφέρθηκαν και αποτελούνται από ένα ανθίδιο και δύο λέπυρα (εξωτερικά), στ) τα αυτεπικονιαζόμενα ανθίδια που αποτελούνται από το χιτώνα και τη λεπίδα που εσωκλείουν τα αναπαραγωγικά όργανα και ζ) τους σπόρους. Όταν και τα τρία σταχύδια σε κάθε γόνατο της ράχης είναι γόνιμα, τότε δημιουργούνται τρεις στήλες σπόρων σε κάθε πλευρά της ράχης και το κριθάρι λέγεται εξάστιχο. Όταν μόνο το κεντρικό σταχύδιο είναι γόνιμο, το κριθάρι ονομάζεται δίστιχο.

Οι ποικιλίες βάσει των φυσιολογικών τους διαφορών χαρακτηρίζονται χειμερινές ή εαρινές. Επίσης, διαφέρουν ως προς την πρωιμότητα, τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου, την περίοδο του λήθαργου του σπόρου, την αντοχή τους στο ψύχος, την ξηρασία, τα άλατα του εδάφους και τις ασθένειες.

Οι ποικιλίες διακρίνονται και με βάση τη χρήση τους σε κτηνοτροφικές, ζυθοποιίας και διπλής χρήσης (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2008). Οι ποικιλίες ζυθοποιίας δίνουν σπόρους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ζωοτροφή, δεν ισχύει όμως το αντίθετο. Στην Ευρώπη, όπως και στην Ελλάδα, χρησιμοποιούνται οι δίστιχες ποικιλίες για παραγωγή ζύθου, ενώ στην Αμερική οι εξάστιχες.



Το κριθάρι στην Ελλάδα καλλιεργείται ως χειμερινό σιτηρό και σε περιοχές με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ως ανοιξιιάτικη καλλιέργεια. Καλλιεργείται ως κτηνοτροφικό φυτό (για σανό ή καρπό) καθώς επίσης και στη ζυθοποιία (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2008).

Το κριθάρι, όπως αναφέρει η Παπακώστα - Τασοπούλου (2008), έχει μεγάλη διάδοση λόγω της ευρείας προσαρμοστικότητάς του. Καλλιεργείται στο μεγαλύτερο εύρος γεωγραφικού πλάτους και υψομέτρου από κάθε άλλη καλλιέργεια. Είναι λιγότερο ανθεκτικό από ό,τι το σιτάρι στις χαμηλές θερμοκρασίες (το κριθάρι εμφανίζει προβλήματα σε παρατεταμένες θερμοκρασίες  $-12^{\circ}\text{C}$  έως  $-15^{\circ}\text{C}$ ), ενώ κάτω από το χιόνι αντέχει έως και  $-30^{\circ}\text{C}$ . Οι φθινοπωρινοί τύποι είναι πιο ανθεκτικοί στις χαμηλές θερμοκρασίες από τους ανοιξιιάτικους. Όσον αφορά τις υψηλές θερμοκρασίες, το κριθάρι παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με το σιτάρι, σε βαθμό που ποικιλίες θερμών κλιμάτων, όταν πλησιάζουν στην ωρίμανση, αντέχουν χωρίς σημαντική επίπτωση στην απόδοση σε θερμοκρασίες έως και  $45^{\circ}\text{C}$ .

Οι πρώιμοι βιότυποι του κριθαριού σπέρνονται και σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Γενικά, το κριθάρι δεν αντέχει την ξηρασία και αναπτύσσεται καλύτερα με μέτριες βροχοπτώσεις. Βέβαια, ορισμένες ποικιλίες αξιοποιούν πολύ καλά το πρόσθετο νερό, τριπλασιάζοντας ή και τετραπλασιάζοντας τις αποδόσεις τους. Υπάρχουν ποικιλίες κριθαριού που ωριμάζουν σε 60-70 ημέρες και με ανοιξιιάτικη σπορά μπορούν να αξιοποιούν περιοχές με μικρή βλαστική περίοδο και ξηροθερμικές συνθήκες. Η ιδιότητα αυτή επιτρέπει στο κριθάρι να ωριμάζει νωρίς, αποφεύγοντας την καλοκαιρινή ξηρασία. Έτσι, αποδίδει σε ξηροθερμικές συνθήκες λόγω της πρωιμότητας του και όχι λόγω της αντοχής του στην ξηρασία. Σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη καλλιεργείται ως ανοιξιιάτικο σιτηρό. Για όλα αυτά και επειδή αποτελεί εξαιρετική ζωοτροφή, υποκαθιστά το σιτάρι στα πτωχά και μέσης γονιμότητας εδάφη, όπου αποδίδει περισσότερο (Σφήκας, 1995).

## 1.2 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΦΥΤΑ

Το νερό είναι το πιο άφθονο στοιχείο στη γη και η κατανομή των καλλιεργειών στον πλανήτη μας βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με αυτό. Η έλλειψη του νερού είναι ο σπουδαιότερος παράγοντας για την μείωση των αποδόσεων (Begg and Turner, 1976). Είναι λοιπόν αντιληπτή η καθοριστική σημασία που έχει το νερό για τους φυτικούς οργανισμούς. Ο ρόλος του γενικά συνίσταται στα εξής:

- αποτελεί στοιχείο των κυττάρων (85 - 95 % του νεπού 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
- μέσω του νερού κινούνται τα θρεπτικά στοιχεία στους αγωγούς ιστούς
- σε υψηλές τιμές ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, λειτουργεί ως ρυθμιστικό διάλυμα διατηρώντας τη θερμοκρασία του φυτού σε χαμηλά επίπεδα (Hagan *et al*, 1967)

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, σπάνια έχουμε να κάνουμε με καθαρό νερό και αυτό διότι το νερό στα φυτά και στο περιβάλλον των ριζών περιέχει ένα ευρύ φάσμα διαλυτών ουσιών.

### 1.2.1 ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Κατά τους Slatyer και 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 ( $\mu_w$ ). Έτσι ως υδατικό δυναμικό ( $\Psi$ ) ορίζεται:

$$\Psi = \mu_w - \mu_w^\circ / V_w \quad (1.1)$$

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 cm<sup>3</sup>/gr. 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  $\Psi$  αποτελείται από τρία επιμέρους δυναμικά σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Psi = i(\Psi_p, \Psi_s, \Psi_m) \quad (1.2)$$

όπου  $\Psi_s$  είναι το οσμωτικό δυναμικό,  $\Psi_p$  είναι το δυναμικό πίεσης ή υδροστατικό δυναμικό και  $\Psi_m$  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 ( $\Psi_s$ ) καθορίζεται από τη συγκέντρωση των οσμωτικά ενεργών μέσα στο χυμοτόπιο και παίρνει τιμή ίση με την οσμωτική πίεση ( $\Pi$ ) αλλά με αντίθετο πρόσημο.

$$\text{Έτσι: } \Pi = K \cdot T \cdot C_s \quad (1.3)$$

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

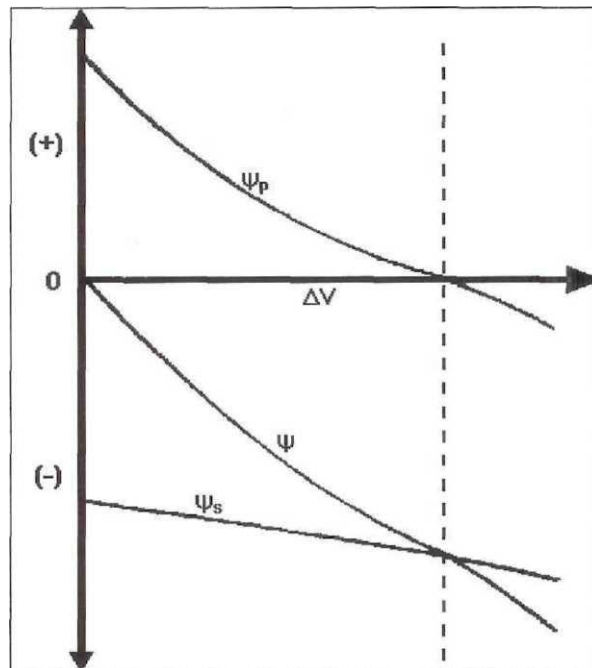
$$C_s = \eta_s / v \quad (1.4)$$

Σε ένα φυτικό κύτταρο το  $\psi_s$  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 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 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  $\psi_r$ . Το  $\psi_r$  λαμβάνει θετικές τιμές για όσο διάστημα το χυμοτόπιο ασκεί μια πίεση στα περιβάλλοντα τοιχώματα. Το  $\psi_r$  λαμβάνει την τιμή μηδέν στο σημείο της αρχόμενης πλασμόλυσης κατά το οποίο το χυμοτόπιο σταματά να πιέζει τα τοιχώματα.

Το δυναμικό θεμελιώδους μάζας ( $\Psi_m$ ) προκύπτει από την παρουσία θεμελιώδους μάζας και περιλαμβάνει δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια του νερού μέσω τριχοειδών φαινομένων, προσρόφησης και ενυδάτωσης (Dainty, 1963). Στα φυτικά κύτταρα το  $\Psi_m$  εντοπίζεται στα κυτταρικά τοιχώματα και στο κυττόπλασμα. Σε ιστούς όπου η θεμελιώδης μάζα είναι σε χαμηλή αναλογία το  $\Psi_m$  δεν παίζει σημαντικό ρόλο (Wiebe, 1966; Boyer, 1967). Έτσι η Σχέση 1.2 μπορεί να γραφτεί:

$$\Psi = f(\Psi_p - \Psi_s) \quad (1.5)$$

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



**Διάγραμμα 1.2.1** Σχέση μεταξύ του όγκου του χαμένου νερού ( $\Delta v$ ) και του υδατικού δυναμικού ( $\Psi$ ) όπως επίσης και των επί μέρους δυναμικών, ωσμωτικού ( $\Psi_s$ ) και πίεσης ( $\Psi_p$ ), σε ένα κύτταρο που δείχνει ιδεατή ωσμωτική συμπεριφορά. Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν το σημείο της αρχόμενης πλασμόλυσης (Weatherley, 1965).

Από το Διάγραμμα 1.2.1 παρατηρούμε ότι καθώς το φυτικό κύτταρο χάνει νερό, το  $\Psi_s$  μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά και το  $\Psi_p$  μειώνεται καμπυλόγραμμα. Όταν το κύτταρο φτάσει στη μέγιστη υδάτωσή του (πλήρη σπαργή), το  $\Psi$  παίρνει τη μεγαλύτερη του τιμή, το μηδέν διότι  $|\Psi_p| = |\Psi_s|$ . Όσο πέφτει η περιεκτικότητα του νερού στο κύτταρο το  $\Psi$  παίρνει πιο αρνητικές τιμές και στην φάση της αρχόμενης πλασμόλυσης, όπου  $\Psi_p$  είναι ίσο με το μηδέν, το  $\Psi$  ισούται με το  $\Psi_s$ . Το φυτικό κύτταρο χάνοντας νερό έχει κάποιες δυνατότητες προσαρμογής. Συγκεκριμένα συσσωρεύονται ωσμωτικά ενεργές ουσίες στα αφυδατωμένα κύτταρα, με αποτέλεσμα το  $\Psi_s$  από ευθύγραμμο τείνει να γίνει καμπυλόγραμμα. Οδηγούμαστε λοιπόν σε μια πτώση του ωσμωτικού δυναμικού σε πιο αρνητικές τιμές από αυτές που θα περίμενε κανείς από μια απλή ελάττωση του όγκου, οφειλόμενη σε κυτταρική αφυδάτωση. Αυτή η συσσώρευση διαλυτών ουσιών αποτελεί ένα μηχανισμό προσαρμογής γνωστό και ως οσμωρύθμιση. Τα επωφελή αποτελέσματα της οσμωρύθμισης είναι τα εξής:

- Τα κύτταρα τείνουν να διατηρήσουν τη σπαργή τους και
- Αυξάνεται η ικανότητα των κυττάρων να απορροφούν νερό κάτω από ξηρές συνθήκες, καθώς το υδατικό δυναμικό τους είναι χαμηλότερο από αυτό του εδάφους. Λόγω αυτής της διαφοράς δυναμικού επιτυγχάνεται κίνηση νερού προς τα κύτταρα (Karamanos, 1981)

Ένα δεύτερο σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από το σχήμα σχετίζεται με το υδροστατικό δυναμικό. Συγκεκριμένα το πόσο γρήγορα θα μειωθεί το υδροστατικό δυναμικό εξαρτάται από την ελαστικότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων. Η απώλεια της υδροστατικής πίεσης γίνεται πιο βαθμιαία όταν το φυτό έχει ελαστικά κυτταρικά τοιχώματα. Η οικολογική σημασία είναι μεγάλη καθώς προκειμένου τα φύλλα να περιορίσουν τις απώλειες σε νερό κλείνουν τα στομάτια τους. Το πόσο γρήγορα θα κλείσουν τα στομάτια έχει να κάνει μεταξύ άλλων και με την ελαστικότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων. Γρήγορο κλείσιμο επιτυγχάνεται όταν τα τοιχώματα είναι ανελαστικά.

### 1.2.2 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΛΑΦΟΣ

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:

$$\Psi_{\text{εδάφους}} = f(\Psi_g, \Psi_p, \Psi_s, \Psi_m) \quad (1.6)$$

όπου:  $\Psi_g$  είναι το δυναμικό της βαρύτητας,

$\Psi_p$  είναι το δυναμικό πίεσης,

$\Psi_s$  είναι το οσμωτικό δυναμικό και

$\Psi_m$  είναι το δυναμικό της θεμελιώδους μάζας.

Το δυναμικό της βαρύτητας  $\Psi_g$  θεωρείται αμελητέο στην οριζόντια κίνηση του νερού, όπως είναι 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 συνάρτηση 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  $\Psi_p$ , 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  $\Psi_s$  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  $\Psi_m$  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 μαραμμένα. 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 σύσταση 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 τη βελτίωση της διηθητικότητας του εδάφους και με μείωση των απωλειών λόγω εξάτμισης, αυξάνεται το ποσό του νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος (Karamanos, 1991).

### **1.2.3 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 τη 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 *et al.*, 2012).

### **1.2.3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΦΥΤΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ**

Έχει γίνει μεγάλη έρευνα όσον αφορά την επίδραση της υδατοκαταπόνησης στην ανάπτυξη των φυτών. Η ανάπτυξη των φυτών είναι αποτέλεσμα της αύξησης του όγκου και του αριθμού των κυττάρων. Εξετάζοντας πρώτα την επίδραση των υδατικών ελλειμμάτων στην αύξηση του φυτού παρατηρούμε ότι η κυτταρική διαίρεση εμφανίζεται λιγότερο ευαίσθητη στα υδατικά ελλείμματα από ότι η μεγέθυνση των κυττάρων (Vaadia *et al.*, 1961; Gates, 1964; Hsiao, 1973; Hagan *et al.*, 1967; Taylor *et al.*, 1983; Hale, 1987). Σύμφωνα με τους Brouwer (1963) και Retinov (1965) από παρατηρήσεις προκύπτει ότι ο αριθμός των κυττάρων είναι γενικά ίδιος σε φυτά που έχουν υποστεί υδατική καταπόνηση συγκρινόμενα με τους μάρτυρες, ενώ το μέγεθος των κυττάρων είναι μεγαλύτερο στους μάρτυρες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο αραβόσιτος στην περίπτωση της μεγέθυνσης των κυττάρων στα υδατικά ελλείμματα. Η μεγέθυνση των κυττάρων ελαττώθηκε γρήγορα σε υδατικό δυναμικό φύλλου κάτω από -2 Bar σταμάτησε μεταξύ -7 έως -9 Bar (Boyer, 1970; Acevedo *et al.*, 1971). Για τη μεγέθυνση των κυττάρων είναι απαραίτητη η σπαργή για να διατείνει το κυτταρικό τοίχωμα, καθώς και μία διαβάθμιση υδατικού δυναμικού που θα οδηγήσει το νερό μέσα στο μεγεθυνόμενο κύτταρο.

Κάθε φυτό παρουσιάζει διαφορετική ανταπόκριση στην έλλειψη νερού. Μεταξύ των φυσιολογικών διεργασιών υπάρχουν διαφορές όσον αφορά την ευαισθησία τους στην έλλειψη νερού. Πιο ευαίσθητες διεργασίες είναι η αύξηση του μεγέθους των κυττάρων, η σύνθεση κυτταρικού τοιχώματος, η πρωτεϊνοσύνθεση κ.ά. Η πιο ευαίσθητη διεργασία είναι η αύξηση των κυττάρων που περισσότερο όμως σχετίζεται με το οσμωτικό δυναμικό παρά με το συνολικό υδατικό δυναμικό. Η μείωση του



μεγέθους των κυττάρων κατά τη διάρκεια της υδατοκαταπόνησης έχει άμεση σχέση με την απώλεια σπαργής που προκαλεί μείωση του ρυθμού αύξησης των κυττάρων. Ως αποτέλεσμα της ευαισθησίας της μεγέθυνσης των κυττάρων στα μικρά υδατικά ελλείμματα έχουμε σημαντική μείωση του μεγέθους των φυτών και της φυλλικής επιφάνειας (Simpson, 1981).

Η ξηρασία περιορίζει λιγότερο σε σχέση με την αύξηση του μεγέθους των κυττάρων την άλλη, απαραίτητη για την ανάπτυξη των ιστών και των φυτών διεργασία, την κυτταροδιαίρεση. Αυτό το συμπέρασμα βασίζεται σε μετρήσεις αριθμού κυττάρων που έγιναν σε φύλλα σε κανονικές συνθήκες υγρασίας και σε υδατοκαταπόνηση. Ο αριθμός των κυττάρων ήταν ίδιος σε όλα τα φύλλα, αλλά τα κύτταρα των φύλλων σε συνθήκες ξηρασίας ήταν μικρότερα (Simpson, 1981). Κατά τα πρώτα στάδια της αύξησης, όταν οι ιστοί είναι νεαροί, η έλλειψη νερού έχει σαν αποτέλεσμα η μείωση της φυλλικής επιφάνειας να είναι σημαντική (Nielsen and Orcutt, 1996). Η αύξηση του μεγέθους και του αριθμού των κυττάρων επηρεάζεται σε χαμηλότερα υδατικά δυναμικά σε σχέση με τη φωτοσύνθεση. Στον αραβόσιτο για παράδειγμα, η αύξηση του μεγέθους των φύλλων είναι μεγαλύτερη όταν το υδατικό δυναμικό των φύλλων είναι από -1,5 έως -2.5 Bar . Όταν όμως πέσει στα -9 με -10 Bar μειώνεται σημαντικά η αύξηση των φύλλων, ενώ η φωτοσύνθεση δεν επηρεάζεται. Τα φύλλα του ηλίανθου είναι πιο ευαίσθητα διότι η αύξηση τους αρχίζει να μειώνεται στα -3,5 Bar (Simpson, 1981).

Η ξηρασία έχει προφανείς επιδράσεις στην ανάπτυξη, στην απόδοση και στην ποιότητα των φυτών. Η πρώτη επίδραση των υδατικών ελλειμμάτων είναι η απώλεια της σπαργής, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τις κυτταρικές διαιρέσεις και το τελικό μέγεθος των κυττάρων. Η απώλεια της σπαργής είναι πιθανώς η πιο ευαίσθητη διαδικασία στην ξηρασία. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, της επιμήκυνσης του βλαστού, της φυλλικής επιφάνειας και του ανοίγματος των στοματίων. Σύμφωνα με τον Hsiao (1973) οι μηχανισμοί που βρίσκονται κάτω από τις αντιδράσεις των φυτών στα υδατικά ελλείμματα μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες:

- μείωση του υδατικού δυναμικού ή μείωση της ενεργότητας του νερού που περιέχεται στα κύτταρα
- ελάττωση της πίεσης σπαργής των κυττάρων
- συγκέντρωση μικρών μορίων ή μακρομορίων καθώς μειώνεται ο κυτταρικός όγκος και μειώνεται η σπαργή

- τροποποίηση των σχέσεων του χώρου στο πλασμάλλημα, στον τονοπλάστη και στις μεμβράνες των οργανιδίων καθώς μεταβάλλεται ο κυτταρικός όγκος
- αλλαγή στη δομή και στη διάταξη των μακρομορίων από την αφυδάτωση των κυττάρων.

Παράλληλα ο Hsiao (1973) διαχώρισε το ήπιο υδατικό στρες από το έντονο υδατικό στρες. Συγκεκριμένα θεωρεί ότι τα φυτά είναι σε ήπιο στρες όταν το υδατικό δυναμικό των φύλλων τους κυμαίνεται από -1,2 έως -1,5 MPa. Αντίθετα, τα φυτά κάτω από έντονο στρες είναι εκείνα που το υδατικό δυναμικό των φύλλων τους είναι χαμηλότερο από -1,5 MPa.

### **1.2.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ**

Μία από τις σπουδαιότερες επιπτώσεις της ευαισθησίας της μεγέθυνσης των κυττάρων στα υδατικά ελλείμματα είναι η σημαντική μείωση της φυλλικής επιφάνειας. Η μείωση του μεγέθους των κυττάρων ως αποτέλεσμα της απώλειας της σπαργής σημαίνει κατ'επέκταση μικρότερη φυλλική επιφάνεια. Το γεγονός αυτό όμως έχει σαν συνέπεια τη παραγωγή λιγότερων φωτοσυνθετικών προϊόντων, με αποτέλεσμα τη μείωση της ανάπτυξης. Βέβαια η μείωση της φυλλικής επιφάνειας διαφέρει από είδος σε είδος και από υδατικό δυναμικό (Acevedo *et al.*, 1979). Ως αποτέλεσμα αναφέρεται ότι στον ηλιάνθο και στη σόγια η μεγέθυνση του φύλλου ελαττώθηκε κατά 25 % σε σχέση με τους αρδευόμενους μάρτυρες, όταν το υδατικό δυναμικό του φύλλου μειώθηκε στα -4 Bar (Boyer, 1968, 1970). Η μείωση της φυλλικής επιφάνειας έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση του ρυθμού ανάπτυξης του φυτού ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των νεαρών σταδίων, όπου το φύλλωμα δεν εκμεταλλεύεται όλη τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία. Η υδατική καταπόνηση μπορεί επίσης να επηρεάζει τη φυλλική επιφάνεια εξαιτίας της επίδρασης που έχει στην επίσπευση του ρυθμού γήρανσης των φύλλων (Fisher and Hagan, 1965; Fisher and Kohn, 1966; Slatyer, 1973; Ludlow, 1975).

### **1.2.3.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ**

Η έλλειψη νερού επηρεάζει με πολλούς τρόπους τη φωτοσύνθεση των φυτών. Συγκεκριμένα προκαλεί μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών, αλλά και μείωση της φωτοσυνθετικής επιφάνειας (Huang *et al.*, 1998). Η ξήρανση του φύλλου μπορεί να προκαλέσει σημαντική παρεμπόδιση στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου, μέσω του κλεισίματος των

στοματίων (Hsiao, 1973). Το κλείσιμο των στομάτων επιτυγχάνεται με τη δράση του ABA και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση τόσο της διαπνοής, όσο κυρίως της δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα, απαραίτητο για την παραγωγή ξηράς ουσίας στο φυτό, μειώνοντας το ρυθμό φωτοσύνθεσης (Nielsen and Orcutt, 1996; Hsiao, 1973). Ο συνδυασμός των παραπάνω με την αναπνοή του φυτού, κατά την οποία παρατηρείται κατανάλωση φωτοσυνθετικών προϊόντων, μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο ελλείψει θρεπτικών στοιχείων. Η έλλειψη νερού επιδρά και στη βιοχημική δράση της φωτοσύνθεσης (μη στοματική παρεμπόδιση), όπου παρεμποδίζονται η μεταφορά ηλεκτρονίων και η φωτοφοσφορλίωση (Taylor *et al.*, 1983).

#### **1.2.3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΡΙΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, παρά το γεγονός ότι η συνολική ανάπτυξη του φυτού ελαττώνεται, η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος γενικά ευνοείται σε σχέση πάντα με την ανάπτυξη του βλαστού (El-Nadi *et al.*, 1969). Σε ορισμένα φυσιολογικά στάδια ανάπτυξης, κυρίως κατά τη διάρκεια της άνθισης και του σχηματισμού του καρπού, αναφορικά με ένα αριθμό φυτών, έχει αποδειχθεί ότι η ανάπτυξη των ριζών καθυστερεί ή σταματά τελείως (Leonard, 1962; Salter and Goode, 1967). Η μειωμένη δραστηριότητα των ριζών κατά τη διάρκεια του σχηματισμού των αναπαραγωγικών οργάνων μπορεί να εξηγήσει εν μέρει το ευνοϊκό αποτέλεσμα της άρδευσης στις συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Ο Clements (1968) αναφέρει ότι μία περίοδος υδατικής καταπόνησης που έγινε τον πρώτο χρόνο σε ένα διετές φυτό ζαχαροκάλαμου, αύξησε γενικά την παραγωγή γιατί προκάλεσε βαθύτερη δικτύωση του ριζικού συστήματος με αποτέλεσμα λιγότερη ευαισθησία στην υδατική καταπόνηση στα μετέπειτα στάδια ανάπτυξης. Μεταξύ ρίζας και βλαστού, υπάρχει διαφορετική αντίδραση ευαισθησίας στην υδατική έλλειψη, με την ανάπτυξη της ρίζας να είναι λιγότερο ευαίσθητη στα υδατικά ελλείμματα, με αποτέλεσμα την αύξηση της αναλογίας ρίζας/βλαστός.

#### **1.2.3.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ**

Η απόδοση σε καρπό στα σιτηρά επηρεάζεται σε συνθήκες έλλειψης νερού και σχετίζεται με την ελάττωση των μεταφερόμενων προϊόντων της τρέχουσας φωτοσύνθεσης στον αναπτυσσόμενο καρπό. Η ελάττωση των μεταφερόμενων προϊόντων της τρέχουσας φωτοσύνθεσης στον αναπτυσσόμενο καρπό υπό συνθήκες έλλειψης νερού είναι γενικά παραδεκτό. Στο σιτάρι κάτω από συνθήκες έλλειψης

νερού παρατηρήθηκε μείωση του ρυθμού μετακίνησης φωτοσυνθετικών προϊόντων (Wardlaw, 1971), ενώ την ίδια συμπεριφορά παρατηρήθηκε και στον αραβόσιτο (Brevedan and Hodges, 1973). Η διαφορετική επίδραση των υδατικών ελλειμμάτων στην αύξηση των ιστών, στη φωτοσύνθεση, στον εφοδιασμό των αγγείων με φωτοσυνθετικά προϊόντα και στο γέμισμα του καρπού καθώς και ο διάφορος βαθμός καταπόνησης στα διάφορα όργανα μεταβάλλει την κατανομή των φωτοσυνθετικών προϊόντων ανάλογα με το χρόνο και τη σοβαρότητα της υδατικής καταπόνησης, το στάδιο της ανάπτυξης και την προϊστορία του φυτού. Όλες οι παραπάνω επιδράσεις έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της ξηράς ουσίας και της παραγωγής καρπού. Αν και η επίδραση των υδατικών ελλειμμάτων στην απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα φυλλικής επιφάνειας είναι σημαντική, κυρίαρχος παράγοντας είναι η μειωμένη φυλλική επιφάνεια. Επιπλέον, η παραγωγή σπόρου μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στο στρες σε κρίσιμες περιόδους ανάπτυξης, όπως η μικροσπορογένεση (Salter and Goode, 1967). Η ξηρασία, προκαλώντας αρχικά μορφολογικές και φυσιολογικές μεταβολές στο φυτό επιφέρει ως τελικό αποτέλεσμα τη μείωση των αποδόσεων. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών, λόγω της μείωσης της φωτοσυνθετικής επιφάνειας, της αυξημένης πτώσης φύλλων, του γρηγορότερου ρυθμού γήρανσης λόγω αποδόμησης της χλωροφύλλης (Taylor *et al.*, 1983, Huang *et al.*, 1998).

#### **1.2.4 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). Πιο αναλυτικά: α) αποφυγή της ξηρασίας. Στην πρώτη αυτή περίπτωση 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 τη διάρκεια της ξηρασίας. β) αντοχή στην ξηρασία με διατήρηση χαμηλού δυναμικού. Εδώ διακρίνονται δύο περιπτώσεις. Στη πρώτη περίπτωση τα φυτά διατηρούν την πίεση σπαργής και στη 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 αύξηση των διαλυτών ουσιών (σάκχαρα, προλίνη, αλκαλοειδή) στο χυμοτόπιο. Στο δεύτερο τύπο επιτυγχάνεται με αλλαγή της σχέσης αποπλαστικού και συμπλαστικού νερού και συγκεκριμένα με τη 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). γ) αντοχή των φυτών στην υδατοκαταπόνηση με υψηλό υδατικό δυναμικό. Η αντοχή στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται με τη 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). Εξάιρεση στον κανόνα, ότι το βαθύ ριζικό σύστημα βοηθά τα φυτά να αντέχουν στην ξηρασία, αποτελούν οι κάκτοι. Το ριζικό τους 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 εφυμενίδας. Επομένως η μείωση της φυλλικής επιφάνειας με τη 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 τη 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 άνθιση (Ludlow and Mushow, 1990).

### **1.2.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ**

Η αντίληψη της ανεπαρκούς τροφοδοσίας των κυττάρων με νερό γίνεται μέσω αισθητήρων, οι οποίοι ενεργοποιούνται λόγω δυσλειτουργιών όπως η αφυδάτωση των κυττάρων της ρίζας, η απώλεια της σπαργής των κυττάρων ή η μεταβολή του οσμωτικού δυναμικού του εδάφους. Έτσι, προκαλείται η παραγωγή σημάτων, όπως η ορμόνη αμπισικό οξύ (ABA) που παίζει σημαντικό ρόλο στο 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, τη λειτουργία των στομάτων, των υδατοπορινών και της φωτοσύνθεσης. Τα γονίδια αυτά είναι υπεύθυνα για τη βιοσύνθεση κυρίως πρωτεϊνών με προστατευτικό ρόλο.

### 1.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟ ΦΥΤΟ

Το άζωτο αποτελεί τον πιο περιοριστικό παράγοντα στο σύνολο της αγροτικής παραγωγής ανά τον κόσμο. Το κριθάρι αντιδρά θετικά στην προσθήκη αζώτου όταν η υγρασία δεν είναι περιοριστικός παράγοντας. Οι Alessi και Power (1973) αναφέρουν ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ λίπανσης, ποικιλίας και περιβάλλοντος που οδηγεί στην διαφοροποίηση της απόδοσης σε καρπό και της ποιότητας του σπόρου. Η αζωτούχος λίπανση είναι συνάρτηση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής και κυρίως της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η υγρασία του εδάφους τόσο περισσότερο άζωτο αξιοποιείται από τα φυτά.

Το άζωτο, αν και επηρεάζει διάφορες διεργασίες εντός του φυτού, συμβάλλει στην αύξηση του φυτού κυρίως μέσω της φωτοσύνθεσης. Η περιεκτικότητα φύλλων σε χλωροφύλλη σχετίζεται θετικά με την φωτοσυνθετική ικανότητα του φυτού και βασικό δομικό στοιχείο της χλωροφύλλης είναι το άζωτο. Οι μετρήσεις χλωροφύλλης σε συνθήκες αγρού γίνονται απλά με το χλωροφυλλόμετρο και βοηθούν στην ορθή λίπανση της καλλιέργειας.

Η έλλειψη αζώτου σε σημαντικό βαθμό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και της διάρκειας ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας και κατά συνέπεια σε μικρότερη πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας και χαμηλότερους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς (Fageria *et al.*, 2003). Επάρκεια αζώτου στο κριθάρι αυξάνει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, το αδέλωμα, το φύλλωμα, το ύψος του βλαστού, την επιμήκυνση των μεσογονατίων διαστημάτων και το μέγεθος του στάχους (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2008) καθώς επίσης και τον αριθμό των κόκκων ανά στάχυ, τον δείκτη συγκομιδής και την απόδοση σε καρπό. Υπερβολικές ποσότητες αζώτου ευνοούν την ανάπτυξη φυλλώματος και βλαστού, προκαλούν πλάγιασμα και οψιμίζουν την καλλιέργεια (Καραμάνος, 1987). Η εισαγωγή στην καλλιέργεια νέων ποικιλιών με αυξημένη αντοχή στο πλάγιασμα επέτρεψε τη

χορήγηση μεγαλύτερων δόσεων αζώτου και συνέβαλε στην αύξηση των αποδόσεων (Dubetz και Wells, 1968).

Τα δευτερεύοντα στελέχη πριν το γηρασμό τους μεταφέρουν αζωτούχες και άλλες οργανικές ουσίες στους βλαστούς που θα επιζήσουν (Lupton και Pinthus, 1969, Rawson και Donald, 1969). Το στέλεχος χρησιμεύει ως προσωρινή δεξαμενή υδατανθράκων και αζωτούχων ουσιών που κατόπιν ανακατανέμονται στους κόκκους κατά την περίοδο γεμίσματος του κόκκου (Μπλαδενόπουλος, 2002). Η συμμετοχή των προϊόντων αυτών στο γέμισμα του κόκκου είναι ιδιαίτερα υψηλή και φτάνει στο 50%, κάτω από συνθήκες ξηρασίας (Austin *et al.*, 1980). Παρά το γεγονός ότι παρατηρείται σημαντική μετακίνηση αζώτου από τα βλαστικά όργανα προς τους στάχεις (Watson, 1958) κατά το γέμισμα των κόκκων, περίσσεια αζώτου στο έδαφος κατά την ίδια περίοδο αυξάνει αρκετά την περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη (Καραμάνος, 1987). Η περιεκτικότητα των καρπών σε ολικό άζωτο αυξάνει συνεχώς μέχρι τη φυσιολογική ωρίμανση. Από τις διάφορες αζωτούχες ουσίες ταχύτερα συσσωρεύονται η χορδεΐνη και η γλουτελίνη (Καραμάνος, 1987).

Η αζωτούχος λίπανση όπως αναφέρεται από πολλούς ερευνητές αυξάνει την απόδοση και το ποσοστό πρωτεΐνης στον καρπό (Martin και Mikeisen, 1960; Baghot *et al.*, 1968; Dubetz και Wells, 1968; Gately, 1968; Zubriski *et al.*, 1970; Alessi και Power, 1973). Οι Θεουλάκης κ.α. (1992) αναφέρουν ότι η αζωτούχος λίπανση αυξάνει το ποσοστό πρωτεΐνης και μειώνει το βάρος και το πάχος των κόκκων. Οι Μπλαδενόπουλου κ.α. (1990) βρήκαν παρόμοια αποτελέσματα, προσθέτοντας ότι μειώνεται η περιεκτικότητα σε άμυλο του καρπού. Επίσης οι Μπλαδενόπουλος και Γκατζιάνας (2001) βρήκαν ότι η αζωτούχος λίπανση αύξησε την συνολική υπέργεια φυτομάζα, το ύψος, επιμήκυνε ελαφρά την περίοδο γεμίσματος του κόκκου, αύξησε την πυκνότητα των στάχτων ανά μονάδα επιφανείας, αύξησε την περιεκτικότητα της πρωτεΐνης του κόκκου, τον βαθμό πλαγιάσματος και την ευαισθησία στο ωίδιο. Επίσης, βρήκαν μείωση της βλαστικής περιόδου, του δείκτη συγκομιδής, της απόδοσης και του βάρους 1000 κόκκων.

Στο κριθάρι που προορίζεται για βυνοποίηση πρέπει να γίνεται περιορισμένη αζωτούχος λίπανση, γιατί τα χαρακτηριστικά της ποιότητας της βύνης, όπως η πρωτεΐνη του κόκκου, το πάχος του κόκκου και η α-αμυλάση, υποβαθμίζονται (Zubriski *et al.*, 1970). Η περίσσεια αζώτου στα υγρά εδάφη αυξάνει την περιεκτικότητα των κόκκων σε πρωτεΐνη, χαρακτηριστικό ανεπιθύμητο για το κριθάρι ζυθοποιίας αλλά επιθυμητό για το κτηνοτροφικό κριθάρι.



Οι Μπλαδενόπουλος και Γκατζιάνας (2001) θεωρούν ότι η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στο κριθάρι είναι μάλλον αρνητική και σε έναν αγρό με ικανοποιητική γονιμότητα και ισχυρές βροχοπτώσεις, κατά την περίοδο της άνοιξης, δεν ωφελεί. Άλλωστε, μόνο το 50% του αζώτου που εφαρμόζεται στο έδαφος απορροφάται από τα φυτά, ενώ το υπόλοιπο χάνεται μέσω έκπλυσης, απορροής, απονιτροποίησης (Craswell και Gogwin, 1984). Έτσι, η αποτελεσματική χρήση του αζώτου ελαχιστοποιεί την περιβαλλοντική ρύπανση (Scharf και Alley, 1988).

### **1.3.1 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΘΡΕΨΗ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ ΜΕ ΑΖΩΤΟ**

Είναι γνωστό ότι η θρεπτική κατάσταση των φυτών σε άζωτο επηρεάζεται από μικρή ή μεγαλύτερη έλλειψη νερού κατά την διάρκεια του βιολογικού κύκλου. Σε πειράματα στο φυτό *Festuca* ερευνήθηκε η επίδραση της ξηρασίας στην σχέση μεταξύ ρυθμού αύξησης και περιεκτικότητας σε άζωτο του βλαστού και διαπιστώθηκε ότι οι ελλειμματικές σε νερό μεταχειρίσεις εμφάνιζαν χαμηλότερη τιμή NNI-1 σε σχέση με τις αρδευόμενες. Επίσης, η διαφορά αυτή έγινε πιο έντονη όταν το ποσό του διαθέσιμου αζώτου αυξήθηκε (Onillon *et al.*, 1995).

Σε πειράματα στα κτηνοτροφικά φυτά *Festuca* και *Lolium sp.* παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις στη θρεπτική κατάσταση των φυτών σε άζωτο, δεδομένου ότι τα δύο είδη έδειξαν σημαντική διαφορά στο ρυθμό αύξησης όπως και στην αρχιτεκτονική του ριζικού συστήματος όταν το νερό ήταν περιοριστικός παράγοντας. Το *Lolium* εμφάνισε χαμηλό ρυθμό αύξησης και υψηλό ποσοστό λεπτών ριζών ενώ το *Festuca* υψηλό ρυθμό αύξησης, παχύτερες και βαθύτερες ρίζες. Συνεπώς, το *Festuca* παρουσιάστηκε περισσότερο ευαίσθητο στην ανεπάρκεια αζώτου που προκλήθηκε από την έλλειψη νερού, διότι αφενός δεν μπορούσε να υποστηρίξει τον υψηλό ρυθμό αύξησης και αφετέρου η αρχιτεκτονική των ριζών δεν επέτρεπε επαρκή πρόσληψη αζώτου (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2005).

Συμπεραίνεται από τα παραπάνω ότι η ανεπαρκής εδαφική υγρασία επιφέρει μειωμένη ανάπτυξη της καλλιέργειας η οποία οδηγεί σε μειωμένη πρόσληψη αζώτου και συνεπώς σε χαμηλές τιμές του δείκτη αποδοτικής χρήσης του αζώτου (NUE, Aulakh and Malhi, 2005).

### 1.3.2 ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΑΖΩΤΟ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ

#### 1.3.2.1 ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ

Η φυσιολογική διεργασία που επηρεάζεται περισσότερο από κάθε άλλη από την έλλειψη νερού είναι η έκπτυξη και ανάπτυξη των φύλλων. Επειδή τα φύλλα εμφανίζουν υψηλό περιεχόμενο σε άζωτο κατά τη διάρκεια του πρώιμου αναπτυξιακού σταδίου, είναι επόμενο οι απαιτήσεις του φυτού σε άζωτο να μειώνονται δραστικά όταν οι συνθήκες έλλειψης νερού εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού. Η έλλειψη νερού κατά τη φάση του εκθετικού ρυθμού αύξησης του φύλλου περιορίζει τη φωτοσυνθετική ενεργό επιφάνεια προκαλώντας μείωση του ρυθμού αφομοίωσης του άνθρακα και της διαπνοής. Όταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) λαμβάνει τιμές μικρότερες του 3, το ποσοστό της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR) που απορροφάται από το φύλλωμα είναι πολύ μικρότερο της δυνητικά μέγιστης τιμής (Akmal and Janssens, 2004). Λόγω του γεγονότος αυτού, οι ανάγκες του φυτού σε άζωτο περιορίζονται ακόμα περισσότερο (Nielsen and Halvorson, 1991). Υπό τις συνθήκες αυτές μπορεί να εμφανιστεί το παράδοξο, για το ίδιο ποσό προσλαμβανόμενου αζώτου, ένα ποτισμένο φυτό να εμφανίζει τροφопενία αζώτου, ενώ ένα φυτό που εκτίθεται περιοδικά σε περιόδους ξηρασίας να έχει μικρότερο μέγεθος, αλλά να εμφανίζει άριστη θρεπτική κατάσταση (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2005). Είναι προφανές ότι στη διάρκεια του εγκλιματισμού τα καταπονημένα φυτά αποκτούν σταδιακά ρυθμούς ανάπτυξης που δεν απαιτούν υψηλές εισροές αζώτου (Durand *et al.*, 1995; Jeuffroy *et al.*, 2002). Αντίθετα, όταν σε ένα φυτό επιβάλλεται έντονη υδατική καταπόνηση για μεγάλο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μην δίνεται η δυνατότητα του εγκλιματισμού, δημιουργούνται συνθήκες έλλειψης αζώτου. Λόγω αυτής, περιορίζεται η φωτοσύνθεση καθώς η φωτοσυνθετική ταχύτητα εξαρτάται και από την συγκέντρωση της Rubisco και των χλωροφυλλών των οποίων η σύνθεση απαιτεί σημαντικά ποσά αζώτου.

Οι αλλαγές που επέρχονται στη φωτοσύνθεση προκαλούν στο φυτό την έναρξη πενίας άνθρακα η οποία οδηγεί σε μία σηματοδοτική ακολουθία μέσω υδατανθράκων για την αναδιοργάνωση του κυτταρικού μεταβολισμού. Η πενία άνθρακα, σε συνδυασμό με τις αλλαγές στην αναλογία C/N και την υδραυλική αγωγιμότητα, είναι οι μεγαλύτερες απειλές που καλείται να αντιμετωπίσει το φυτό σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης (McDowell, 2011). Επίσης, υπό αυτές τις συνθήκες, η δαπάνη

ενέργειας για τη μετατροπή του αζώτου σε χρησιμοποιήσιμες μορφές είναι πολύ μεγάλη (Pinheiro and Chaves, 2011).

### **1.3.2.2 Η ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΡΙΖΑΣ/ΒΛΑΣΤΟΥ**

Σε συνθήκες έλλειψης νερού, η αναλογία υπόγειου προς υπέργειο μέρος τείνει να αυξηθεί, αφού στις συνθήκες αυτές δίδεται προτεραιότητα στην αύξηση του ριζικού συστήματος. Σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις το ριζικό σύστημα συνεχίζει να επεκτείνεται ενώ η αύξηση του υπέργειου τμήματος παρεμποδίζεται πλήρως (Wu *et al.*, 1996). Δεδομένου ότι η ανάπτυξη των ριζών απαιτεί πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις αζώτου σε σύγκριση με το υπέργειο μέρος, οι τροποποιήσεις στην κατανομή του αζώτου περιορίζουν συνολικά τις ανάγκες του φυτού σε άζωτο. Ωστόσο οι θετικές επιδράσεις της υδατικής καταπόνησης στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος δεν εξασφαλίζουν απαραίτητα και ευνοϊκότερες συνθήκες θρέψης σε άζωτο διότι συνήθως οι περιοχές του εδάφους που αποικούν οι νέες ρίζες βρίσκονται βαθύτερα από τους πλούσιους σε άζωτο επιφανειακούς εδαφικούς ορίζοντες (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2010).

### **1.3.2.3 Η ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ ΜΕ ΑΖΩΤΟ**

Το μέγεθος των αποθεμάτων του εδάφους σε νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα αντικατοπτρίζει το ισοζύγιο μεταξύ των εισροών αζώτου και των απωλειών του (Lemaire *et al.*, 2004). Οι εισροές που βασίζονται στην μικροβιακή εδαφική χλωρίδα επηρεάζονται από τη θερμοκρασία και το περιεχόμενο του εδάφους σε νερό. Σύντομοι περίοδοι ξηρασίας (διάρκειας μικρότερης των δύο μηνών) προκαλούν περιορισμό της μικροβιακής δραστηριότητας του εδάφους, ωστόσο δεν έχουν καταστροφικά αποτελέσματα, αφού αυτή επανακάμπτει μετά από την επανύγρανση του εδάφους (Smolander *et al.*, 2005). Αν και η επίδραση της ξηρασίας στη μικροβιακή βιομάζα, τη νιτροποίηση και την ανοργανοποίηση είναι ευρέως μελετημένη σε διαφορετικούς τύπους βλάστησης, δεν φαίνεται ότι η επίδραση της έλλειψης νερού στην μακροχρόνια διαθεσιμότητα του ανόργανου αζώτου ακολουθεί ένα γενικευμένο πρότυπο (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2010).

Όπως έχει προαναφερθεί, η μετακίνηση του ανόργανου αζώτου προς τις ρίζες γίνεται κυρίως μέσω του μηχανισμού μαζικής ροής, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει κίνηση του εδαφικού νερού προς τις ρίζες. Το νερό κατά την κίνησή του εντός του εδάφους και προς τις ρίζες του φυτού, συμπαρασύρει θρεπτικά στοιχεία. Όταν

επικρατεί υψηλός ρυθμός διαπνοής, ο οποίος συντηρείται από τα ανοιχτά στόματα των φύλλων και την επάρκεια εδαφικού νερού, είναι δυνατόν το ρεύμα του νερού προς τις ρίζες να προκαλέσει υψηλό ρυθμό πρόσληψης του αζώτου (van Keulen, 1981). Το γεγονός αυτό προκαλεί συσσώρευση των ιόντων στη ριζόσφαιρα και αραίωση των ιόντων στον ανιόντα χυμό. Αυτό συμβαίνει διότι η μεταφορά των ιόντων διαμέσου του πρωτοπλάστη των κυττάρων της ρίζας είναι μια σχετικά αργή διαδικασία που πραγματοποιείται με δαπάνη ενέργειας και είναι ανεξάρτητη της συγκριτικά ταχύτερης κίνησης του νερού διαμέσου των μεμβρανών. Σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης ο ρυθμός διαπνοής μειώνεται εξαιτίας του γεγονότος ότι τα στόματα κλείνουν. Στην περίπτωση αυτή η συγκέντρωση των ιόντων στη ριζόσφαιρα μπορεί να μειωθεί διότι η μεταφορά των ιόντων διαμέσου των μεμβρανών συνεχίζει αμείωτη παρόλο που η ροή του νερού μειώνεται. Λόγω του φαινομένου αυτού, η διαβάθμιση στις συγκεντρώσεις των ιόντων γίνεται εντονότερη, καθιστώντας τη διάχυση ως το κυριότερο τρόπο μετακίνησης των ιόντων από το εδαφικό διάλυμα προς την επιφάνεια της ρίζας (Porporato *et al.*, 2003). Ωστόσο, η διάχυση εξαρτάται ισχυρά όχι μόνο από την υγρασία αλλά και από το πορώδες του εδάφους. Γενικότερα, η πρόσληψη των ανιόντων σχετίζεται και με την αρχιτεκτονική του ριζικού συστήματος και με καθοριστικής σημασίας παραμέτρους, όπως η πυκνότητα και διασπορά των ριζών (van Keulen, 1981).

### **1.3.3 ΟΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΘΡΕΨΗ ΣΕ ΑΖΩΤΟ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ**

#### **1.3.3.1 Η ΑΦΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ**

Σε συνθήκες έλλειψης νερού, τα φυτικά είδη που ανάγουν τα νιτρικά ιόντα στα φύλλα θεωρούνται αποδοτικότερα έναντι αυτών στα οποία η αναγωγή λαμβάνει χώρα στις ρίζες, επειδή στη δεύτερη περίπτωση το ενεργειακό κόστος της αναγωγής είναι υψηλότερο (Raven, 1985). Σύμφωνα με τους Lawlor and Cornic (2002), η έλλειψη νερού επηρεάζει περισσότερο την αφομοίωση, παρά την διαδικασία πρόσληψης του αζώτου από το έδαφος, διότι στις συνθήκες αυτές μειώνεται η δραστηριότητα της αναγωγής των νιτρικών.

### 1.3.3.2 Η ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΩΝ ΑΓΓΕΙΩΝ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

Οι Bahrn *et al.* (2002), λαμβάνοντας υπόψη ότι η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων σε απότιστα φυτά καλαμποκιού μειώθηκε κατά πολύ περισσότερο από 50% σε σύγκριση με τα ποτισμένα φυτά, υπέθεσαν ότι το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να αποδοθεί και στην μειωμένη μεταφορά του αζώτου προς τον βλαστό. Ωστόσο η σχέση μεταξύ της ροής του ανιόντος χυμού και της σύστασής του σε ιόντα φαίνεται να είναι αρκετά πολύπλοκη. Σε συνθήκες απρόσκοπτης τροφοδοσίας των φυτών με νερό, η αύξηση των διαλυμένων ουσιών στον ανιόντα χυμό μειώνει την υδραυλική αντίσταση των αγγείων του ξύλου (Zwieniecki *et al.*, 2001). Συνεπώς για δεδομένο ρυθμό διαπνοής, η ροή του νερού στα αγγεία του ξύλου μπορεί να ενισχυθεί εφόσον η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών αυξηθεί. Ωστόσο, σε συνθήκες έλλειψης νερού, αν η αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων ουσιών οφείλεται μόνο στην μείωση του όγκου του διαλύτη, το ρεύμα του ανιόντος χυμού θα μειωθεί (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2010). Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο σιτάρι, η αύξηση του οσμωτικού δυναμικού του θρεπτικού διαλύματος προκάλεσε αύξηση της συγκέντρωσης του αζώτου αγγεία του ξύλου, ωστόσο δεν αντιστάθμισε την μείωση του ρυθμού διαπνοής. Ως συνέπεια αυτού, η διανομή των νιτρικών ιόντων στον βλαστό μειώθηκε (Larsson *et al.*, 1989). Αντίθετα, οι Nicolas *et al.* (1985) έδειξαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του αζώτου στον ανιόντα χυμό αντιστάθμισε το χαμηλό διαπνευστικό ρεύμα και κατά συνέπεια το ποσό του αζώτου που έφτασε στον βλαστό διατηρήθηκε σταθερό παρόλο που τα φυτά αντιμετώπισαν υδατική καταπόνηση.

### 1.3.3.3 ΤΑ ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΩΣ ΣΗΜΑ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ

Τα νιτρικά ιόντα (από κοινού με τις μεταβολές στις συγκεντρώσεις του αμψισικού οξέος και των κυτοκινινών και την αύξηση του pH του ανιόντος χυμού) θεωρούνται ένα σήμα συναγερμού που προέρχεται από τις ρίζες και πληροφορεί το υπέργειο μέρος του φυτού για την έλλειψη νερού στο περιβάλλον της ρίζας (Wilkinson *et al.*, 2007). Έχει ήδη αναφερθεί ότι η μεταφορά των νιτρικών ιόντων στον αποπλασματικό χώρο των αγγείων του ξύλου απαιτεί την συμμεταφορά με πρωτόνια, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση του pH ανιόντος χυμού, μηχανισμός ο οποίος πιθανόν εμπλέκεται και στη ρύθμιση του εύρους του στοματικού πόρου σε συνθήκες έλλειψης αζώτου (McDonald and Davies, 1996). Η επίδραση της ξηρασίας στην συγκέντρωση των νιτρικών ιόντος του ανιόντος χυμού δεν εξαρτάται μόνο από

τον ρυθμό πρόσληψης των νιτρικών ιόντων από το έδαφος, αλλά τόσο από τον ρυθμό μεταφοράς στον ανιόντα χυμό όσο και από τον ρυθμό αφομοίωσης μέσω της δράσης της αναγωγής των νιτρικών. Μειωμένες τιμές δυναμικού νερού των φυτικών ιστών σχετίζονται και με μειωμένη δραστηριότητα της αναγωγής των νιτρικών.

#### **1.3.3.4 Η ΕΠΑΝΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΠΡΟΣ ΤΑ ΣΠΕΡΜΑΤΑ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ**

Το άζωτο που αφομοιώνεται κατά το στάδιο πριν την άνθηση αποτελεί την κύρια πηγή των αζωτούχων συστατικών (σε ποσοστό 63-100%) που απαιτούνται για την πλήρη ανάπτυξη των σπερμάτων. Τα ποσοστά αυτά εξαρτώνται από την ικανότητα αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων αζωτούχων οργανικών ενώσεων στα βλαστικά όργανα πριν την άνθηση. Η ποσότητα του αζώτου που επανακινητοποιείται εξαρτάται από το διαθέσιμο άζωτο και την αποδοτικότητα της επανακινητοποίησης. Η αποδοτικότητα της επανακινητοποίησης αζώτου είναι υψηλότερη σε συνθήκες χαμηλής τροφοδοσίας με άζωτο ή σε συνθήκες χαμηλής διαθεσιμότητας του αζώτου (Barbottin *et al.*, 2005).

Η έλλειψη νερού επιταχύνει την γήρανση των φύλλων, μειώνει τη φωτοσυνθετική επιφάνεια για μεγάλο διάστημα και ως εκ τούτου επηρεάζει την ανάπτυξη των σπερμάτων και τις τελικές αποδόσεις. Επίσης, λόγω της υδατικής καταπόνησης, τα μεταβολικά προϊόντα κατευθύνονται προς τις ρίζες ώστε να διατηρηθεί στοιχειώδης απορρόφηση νερού και αζώτου. Το γεγονός αυτό εξηγεί την υψηλή αποτελεσματικότητα της επανεκκίνησης του αζώτου των μεσογειακών φυτικών ειδών τα οποία συνήθως εκτίθενται σε συνθήκες ξηρασίας κατά τη διαδικασία ανάπτυξης των σπερμάτων τους (Dreccer, 2006).

#### **1.4 ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΑΖΩΤΟΥ**

Στα σιτηρά η κύρια πηγή αζώτου για τον καρπό είναι το άζωτο που ανακατανέμεται από τα βλαστικά μέρη (Simpson *et al.*, 1983). Η ποσότητα αυτού του αζώτου εξαρτάται από την ικανότητα ανακατανομής του αζώτου και από το ποσό που είναι διαθέσιμο, δηλαδή από τη σχέση πηγής-δεξαμενής. Ως δυναμικότητα πηγής κατά την περίοδο γεμίσματος του κόκκου ορίζεται η ικανότητα του φυτού να προμηθεύει μεταβολίτες τους αναπτυσσόμενους κόκκους και ως δυναμικότητα δεξαμενής ορίζεται η δυναμική των κόκκων να αποθηκεύουν μεταβολίτες. Η προμήθεια με άζωτο είναι καθοριστικός παράγοντας του μεταβολισμού και η

επίδρασή του στην οργανογένεση του κριθαριού έχει τεκμηριωθεί πειραματικά (Cannell, 1969, Fletcher και Dale, 1974).

Το 60%-92% του αζώτου που συσσωρεύεται στους κόκκους κατά την ωρίμανση προέρχεται από την ανακατανομή του αζώτου (Spiertz και de Vos, 1983, Cox *et al.*, 1985, Parakosta και Gagianas, 1991). Σε κάποιες περιπτώσεις το ολικό άζωτο που περιέχεται στο φυτό κατά την άνθηση μπορεί να είναι μέχρι και 90-100% του ολικού αζώτου κατά την ωρίμανση (Loffler *et al.*, 1985). Το ποσό του αζώτου που είναι αποθηκευμένο στα βλαστικά όργανα του φυτού κατά την άνθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί το ποσό του αζώτου που είναι διαθέσιμο για ανακατανομή (Cox *et al.*, 1986). Το ποσό του αζώτου που είναι αποθηκευμένο εξαρτάται από το επίπεδο του εδαφικού αζώτου, από το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης, τις συνθήκες ανάπτυξης κατά τη διάρκεια της περιόδου πριν την άνθηση και από το γενότυπο (Cox *et al.*, 1985).

Οι Boatwright και Haas (1961) αναφέρουν ότι μέχρι το ξεστάχασμα το μεγαλύτερο μέρος της ξηράς ουσίας έχει συσσωρευτεί και το περισσότερο άζωτο έχει προσληφθεί από το σιτάρι που έχει λιπανθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα σιτηρά που καλλιεργούνται σε μεσογειακό κλίμα επειδή ο καιρός μετά την άνθηση είναι, συνήθως, ζεστός και ξηρός και έτσι η φωτοσύνθεση περιορίζεται. Συνεπώς, η απόδοση εξαρτάται κυρίως από τη μετακίνηση των προϊόντων φωτοσύνθεσης που είχαν σχηματιστεί πριν την άνθηση στους σπόρους. Η ικανότητα ανακατανομής του αζώτου εξαρτάται από τις συνθήκες ανάπτυξης κατά την περίοδο γεμίσματος του κόκκου και από το γενότυπο.

Οι Palta *et al.* (1994) έδειξαν ότι η ικανότητα ανακατανομής του αζώτου ήταν μεγάλη σε μεσογειακά περιβάλλοντα στις οποίες τα φυτά υποφέρουν από υδατική καταπόνηση κατά τη διάρκεια του γεμίσματος του κόκκου. Αύξηση θερμοκρασίας μεταξύ 15-22°C μείωσε την περίοδο ζωής του φυλλώματος (Spiertz, 1977) και επιτάχυνε την μεταφορά του αζώτου από τους βλαστικούς ιστούς στο σιτάρι (Vos, 1981). Οι Cox *et al.* (1986) έδειξαν ότι υψηλότερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης πριν την άνθηση οδηγούν σε μικρότερη ικανότητα μετακίνησης του αζώτου, καθώς η διαθεσιμότητα μεγαλύτερων ποσών αζώτου καθιστά τη μετακίνησή του μη απαραίτητη, ενώ στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Perez *et al.* (1983). Ο Halloran (1981) αναφέρει μείωση στην ικανότητα μετακίνησης του αζώτου όταν επικρατούν μη ευνοϊκές συνθήκες για την πρόσληψη αζώτου πριν την άνθηση, που συνδέονται με ξηρασία ή υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, οι ασθένειες του

φυλλώματος μειώνουν τη μετακίνηση του αζώτου από τα βλαστικά μέρη το φυτού προς τους σπόρους κατά τη διάρκεια γεμίσματος του κόκκου (Dimmock και Gooding, 2002). Ακόμη, η ικανότητα μετακίνησης του αζώτου εξαρτάται και από το γενότυπο (Cox *et al.*, 1986). Ωστόσο, αυτή η επίδραση του γενοτύπου έχει αποδειχθεί ότι εξαρτάται από τη χρονιά (Przuli και Momcilovic, 2001) και από τα επίπεδα λίπανσης (Cox *et al.*, 1986, Papakosta και Gagianas, 1991).

#### 1.4.1 Η ΠΡΩΤΕΙΝΗ ΣΤΟΝ ΚΑΡΠΟ

Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές η συγκέντρωση πρωτεΐνης στον καρπό είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό της ποιότητας του κριθαριού (Jenner *et al.*, 1991; Johanson *et al.*, 2001) ειδικά για τις ποικιλίες που προορίζονται για βυνοποίηση και ζωοτροφή (Bertholdsson, 1999). Στις ποικιλίες κριθαριού που προορίζονται για βυνοποίηση η συγκέντρωση πρωτεΐνης πρέπει να είναι μεταξύ 9% και 11% (Bertholdsson, 1999), ενώ στις ποικιλίες που προορίζονται για ζωοτροφή θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 11%. Υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, καθώς και υψηλό ποσοστό βασικών αμινοξέων ανώτερης βιολογικής αξίας, όπως η λυσίνη και η μεθειονίνη, είναι τα βασικά στοιχεία καθορισμού της θρεπτικής αξίας του κριθαριού που προορίζεται για ζωοτροφή (Rasmusson, 1985, Foster και Prentice, 1987). Αντιθέτως, υψηλό ποσοστό πρωτεΐνης καθιστά την ποικιλία ακατάλληλη για την ζυθοποιία καθώς δεν είναι δυνατή η παραγωγή υψηλού ποσοστού εκχυλίσματος, που επιζητείται (Cook, 1962) και συντελεί μαζί με άλλους παράγοντες στο μη επιθυμητό θόλωμα της μύρας (Cook, 1962, Burger και Lambрге, 1985) που οφείλεται στην καταβύθιση διαλυτών πρωτεϊνών.

Η συγκέντρωση της πρωτεΐνης στον καρπό καθορίζεται από τον γενότυπο και από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το άζωτο, την εδαφική υγρασία και τη θερμοκρασία (Johansson *et al.*, 2001). Σε έρευνα βρέθηκε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αζωτούχος λίπανση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αποθηκευτικών πρωτεϊνών, άρα και των συνολικών (Killen *et al.*, 1978). Όμως δεν ανταποκρίνονται όλες οι ποικιλίες κριθαριού με τον ίδιο τρόπο στη λίπανση με άζωτο (El-Negoumy *et al.*, 1982). Γενικά το πρωτεϊνικό περιεχόμενο αυξάνεται με την αζωτούχο λίπανση (Θεουλάκης, 1992, Μπλαδενόπουλος και Γκατζιάνας, 2001), ωστόσο η προσθήκη φωσφόρου και καλίου δεν το επηρεάζουν. Υπάρχουν αρκετές ποικιλίες κριθαριού με υψηλή συγκέντρωση πρωτεΐνης και γίνονται προσπάθειες για



να ενσωματωθούν τα αντίστοιχα γονίδια σε ποικιλίες με υψηλές αποδόσεις (Jensen και Nielsen, 1982).

Το άζωτο είναι το βασικό δομικό συστατικό των πρωτεϊνών και έχει αποδειχθεί ότι τα επίπεδα του διαθέσιμου εδαφικού αζώτου έχουν μεγάλη επίδραση στη συγκέντρωση πρωτεΐνης στους σπόρους του κριθαριού (Eilrich *et al.*, 1973). Τη θετική επίδραση του αζώτου στη συγκέντρωση πρωτεΐνης στους κόκκους κριθαριού διαπίστωσαν και οι Μπλαδενόπουλος και Γκατζιάνας (2001). Επίσης έχει αποδειχθεί ότι η αζωτούχος λίπανση συμβάλει στην αύξηση της απόδοσης σε καρπό άλλα και της συγκέντρωσης πρωτεΐνης στους σπόρους. Αντίθετα παρατηρείται αρνητική συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης της πρωτεΐνης στους σπόρους και της απόδοσης σε καρπό. Συνεπώς πρέπει να δοθεί έμφαση στη διαχείριση της αζωτούχου λίπανσης ώστε να διατηρηθεί μία ισορροπία μεταξύ της απόδοσης σε καρπό και να του επιπέδου της ποιότητας. Η συγκέντρωση πρωτεΐνης στον καρπό εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ της μεταφοράς υδατανθράκων και αζώτου στον καρπό (Jenner, 1991). Η συγκέντρωση πρωτεΐνης στους σπόρους δεν εξαρτάται μόνο από την ποσότητα του αζώτου στους σπόρους αλλά και από το επίπεδο υδατανθράκων του φυτού, π.χ. από τη σχέση μεταξύ C και N κατά το γέμισμα του κόκκου (Cox *et al.*, 1986). Ο βαρύς κόκκος θα έχει υψηλό ποσοστό αμύλου και επομένως μικρό πρωτεΐνης.

Οι απαιτήσεις σε άζωτο για τη σύνθεση πρωτεΐνης στους αναπτυσσόμενους σπόρους ικανοποιούνται από την κινητοποίηση αζώτου που βρίσκεται στους βλαστικούς ιστούς και είχε αφομοιωθεί πριν την άνθηση και από την απευθείας πρόσληψη και αφομοίωση αζώτου κατά τη διάρκεια γεμίσματος των σπόρων. Η κινητοποίηση αζώτου που είχε αφομοιωθεί πριν την άνθηση έχει προταθεί ως η κύρια πηγή αζώτου για τους σπόρους (Austin *et al.*, 1977). Σε κάποιες περιπτώσεις, το συνολικό περιεχόμενο του αζώτου στα φυτά κατά την άνθηση φτάνει το 90-100% του συνολικού αζώτου κατά την ωρίμανση (Heitholt *et al.*, 1990).

## 1.5 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της μελέτης ήταν να διερευνηθεί ο τρόπος που επηρεάζονται οι φυσιολογικές παράμετροι, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τα συστατικά απόδοσης των βυνοποιήσιμων ποικιλιών κριθαριού KWS Asta, Zhana και Charles σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Για την προσέγγιση του σκοπού μελετήθηκαν:

- Η εξέλιξη του βιολογικού κύκλου των φυτών, η εξέλιξη του υδατικού δυναμικού αλλά και το ποσοστό και η μετακίνηση του αζώτου εντός των φυτών.
- Η περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη αλλά και το μέγεθός τους, με σκοπό τον καθορισμό της καταλληλότητας της παραγωγής για βυνοποίηση.
- Ο αριθμός των δευτερόντων στελεχών, το ξηρό βάρος των φυτών κατά την άνθηση και την συγκομιδή, το βάρος των χιλίων σπόρων, ο αριθμός των σπόρων ανά στάχυ, η απόδοση σε καρπό ανά φυτό και ο δείκτης συγκομιδής.

Ο τρόπος με τον οποίο επηρεάστηκαν τα χαρακτηριστικά αυτά από την αυξανόμενη υδατική καταπόνηση μπορεί να δώσει στοιχεία για το πώς αντιδρούν σύγχρονες ποικιλίες κριθαριού βυνοποίησης υπό αυτές τις συνθήκες με κύριο σκοπό την καλύτερη αξιοποίησή τους στην Ελλάδα.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Την καλλιεργητική περίοδο 2014-2015 μελετήθηκε στον πειραματικό αγρό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και σε έκταση 61,38 m<sup>2</sup>, η επίδραση της υδατικής καταπόνησης σε τρεις (3) ποικιλίες κριθαριού στον βιολογικό κύκλο των φυτών, στο υδατικό δυναμικό των φύλλων, στη διακύμανση του βάρους των φυτών κατά την διάρκεια του βιολογικού κύκλου, στο ποσοστό του αζώτου στο φυτό κατά την διάρκεια του βιολογικού κύκλου, στο ποσοστό της πρωτεΐνης του σπόρου, στο ξηρό βάρος των στάχων, στο μέγεθος των σπόρων, στον αριθμό των σπόρων ανά στάχυ, στο βάρος των χιλίων σπόρων και στον αριθμό των δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό, σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα εδαφικής υγρασίας, με διαβάθμιση αποστάσεων από τη πηγή άρδευσης.

**Πίνακας 2.1** Ανάλυση του εδάφους στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

<b>pH</b>	7,24
<b>CaCO<sub>3</sub>(%)</b>	16,0
<b>N (%)</b>	0,087
<b>Άμμος</b>	34,7%
<b>Άργιλος</b>	29,8%
<b>Ιλύς</b>	35,5%
<b>Χαρακτηρισμός του εδάφους</b>	Αργιλοπηλώδες

#### 2.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

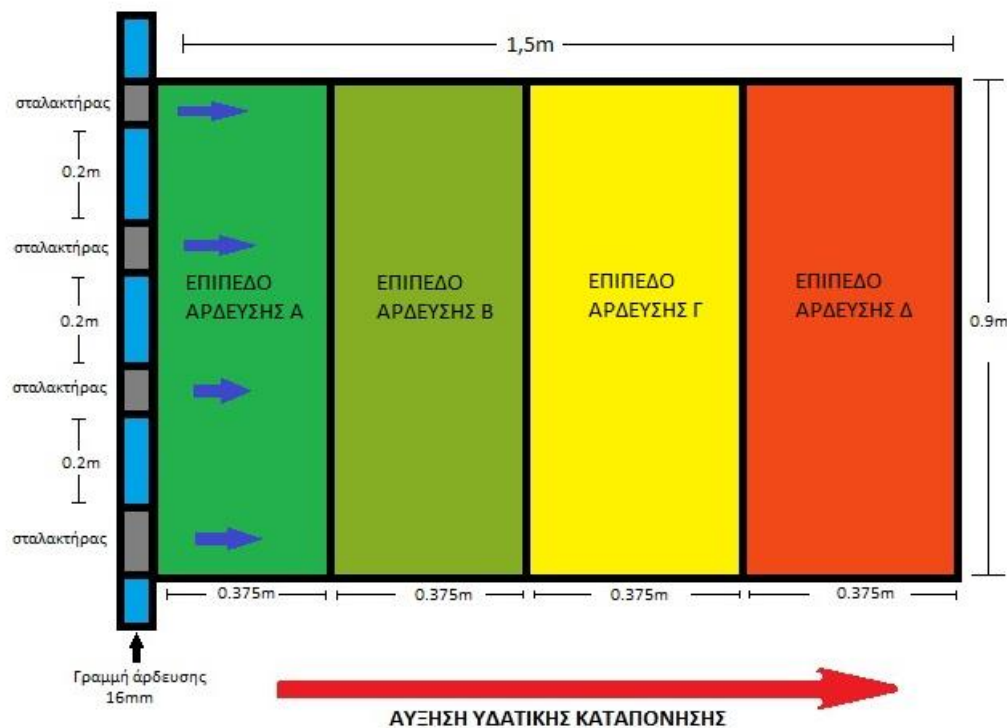
Αξιολογήθηκαν συνολικά 3 δίστοιχες βυνοποιήσιμες ποικιλίες κριθαριού (*Hordeum vulgare*) οι “KWS Asta”, “Zhana” και “Charles”. Και οι τρεις ποικιλίες είναι εγγεγραμμένες στον κοινοτικό κατάλογο ποικιλιών, είναι χαμηλόσωμες, αρκετά πρώιμες και ιδιαίτερα παραγωγικές όταν καλλιεργούνται σε γόνιμα εδάφη. Οι ποικιλίες “KWS Asta” και “Zhana” έχουν δημιουργηθεί μόνο με παραδοσιακές μεθόδους βελτίωσης, ενώ η ποικιλία “Charles” ως ένα σημαντικό ποσοστό. Η ποικιλία “Charles” είναι μία Null-Lox ποικιλία και χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι δεν συνθέτει τα ένζυμα LOX-1 και LOX-2, που είναι μέλη της οικογένειας των ενζύμων της λιποξυγενάσης. Τα συγκεκριμένα ένζυμα συνθέτονται στο έμβρυο κυρίως κατά το φύτεμα των σπόρων του κριθαριού και καταλύουν την οξυγόνωση των λιπαρών οξέων (κυρίως λινολεϊκό οξύ), σε υδροϋπεροξειδία, οδηγώντας τελικά στη σύνθεση μη επιθυμητών καρβονυλίων (Yang *et al.*, 1993) . Το LOX-1 οδηγεί τελικά στη σύνθεση της χημικής ένωσης E-2-εννεανάλη (trans-2-nonenal ή T2N), η οποία είναι ευρέως αναγνωρισμένη ως η κύρια αιτία για την ανάπτυξη της

χαρακτηριστικής δυσάρεστης γεύσης στις ηλικιωμένες μύρες, ενώ το LOX-2 οδηγεί στη σύνθεση της χημικής ένωσης εξανάλη (13-HPODE).

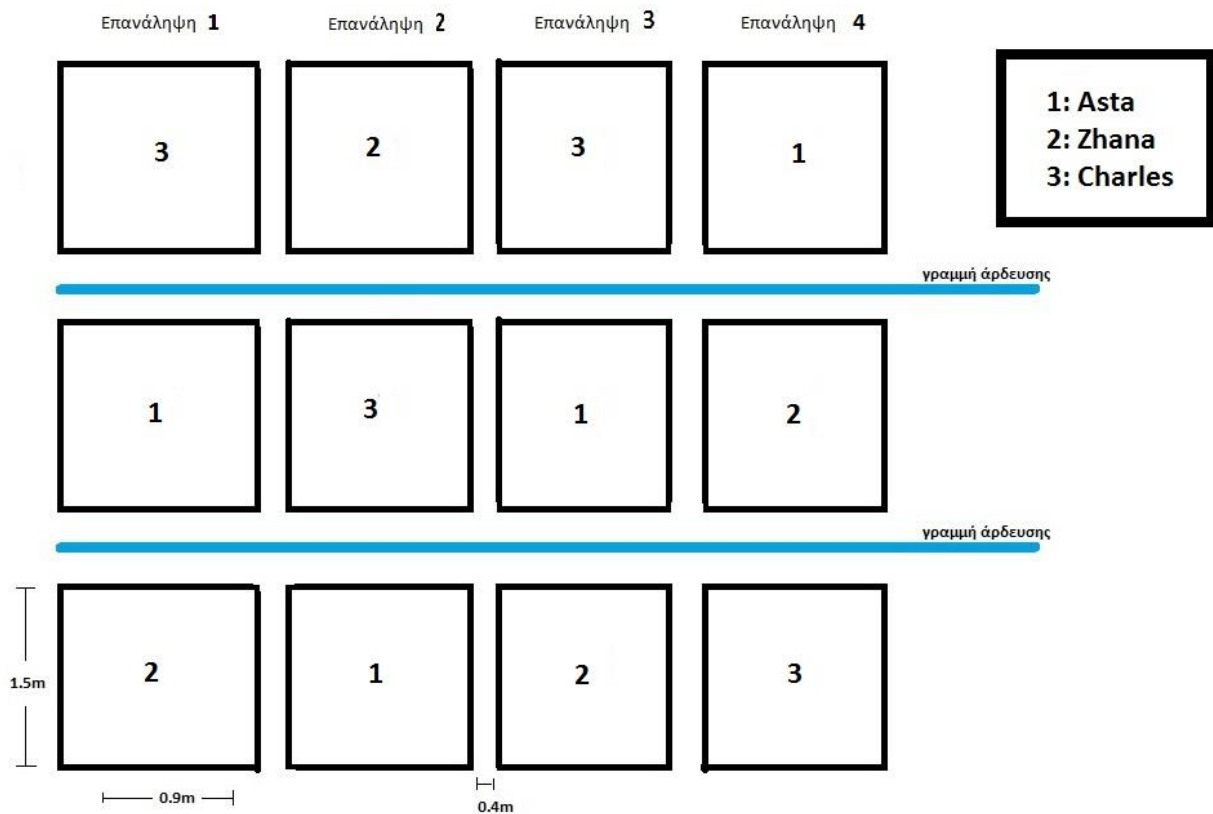
### 2.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν αυτό των υποδιαιρεμένων τεμαχίων. Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις επαναλήψεις με τέσσερα τεμάχια η κάθε μία, που αντιπροσώπευαν τους βιότυπους. Κάθε τεμάχιο είχε έκταση 0.9m x 1.5m, ενώ ανάμεσά τους υπήρχε διάδρομος πλάτους 0.4m για την διευκόλυνση των επεμβάσεων και των μετρήσεων κατά την διάρκεια του πειράματος. Επειδή το συγκεκριμένο σχέδιο υπολογίζει με μεγαλύτερη ευαισθησία το παράγοντα που τοποθετείται στα υποτεμάχια και εφόσον στο παρόν πείραμα οι μικρότερες διαφορές εμφανίζονται μεταξύ των βιοτύπων του κριθαριού, κρίθηκε σκόπιμο αυτός ο παράγοντας να τοποθετηθεί στα υποτεμάχια.

Τα επίπεδα εδαφικής υγρασίας, διαφοροποιήθηκαν ανάλογα με την απόστασή τους από την πηγή του νερού (σταλακτήρες). Επαρκώς αρδευόμενη θεωρήθηκε η ζώνη του τεμαχίου που γειτνιάζε με τον σταλακτήρα, ενώ ελάχιστα αρδευόμενη θεωρήθηκε η ζώνη που βρισκόταν στη μεγαλύτερη απόσταση από αυτόν. Τα δύο ενδιάμεσα επίπεδα άρδευσης βρίσκονταν μεταξύ των δύο ακραίων ζωνών του τεμαχίου.



Σχήμα 2.1.2.a Κάτοψη πειραματικού τεμαχίου.



**Σχήμα 2.1.2.b** Κάτοψη του αγρού, όπως αυτός διαμορφώθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος.

## 2.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

### 2.2.1 ΕΛΑΦΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Για την κατεργασία του εδάφους πραγματοποιήθηκε πρώτα καθαρισμός από τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας, έπειτα άροση, η οποία πραγματοποιήθηκε 11 Δεκεμβρίου.

Στις 15 Δεκεμβρίου η προετοιμασία της σποροκλίνης ολοκληρώθηκε σπάζοντας τα επιφανειακά συσσωματώματα με στόχο την επίτευξη μεγαλύτερου ποσοστού φυτρώματος των σπόρων.



**Εικόνα 2.2.1** Ο χώρος διεξαγωγής του πειράματος, μετά τον καθαρισμό

### **2.2.2 ΣΠΟΡΑ**

Η σπορά πραγματοποιήθηκε χειρωνακτικά και εντοπισμένα, για την εξασφάλιση της ομοιομορφίας της πυκνότητας της φυτείας. Οι γραμμές φύτευσης ήταν έξι (6) σε κάθε τεμάχιο και χαραχτηκαν επίσης χειρωνακτικά. Οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών ήταν 14 cm, ενώ οι αποστάσεις επί της γραμμής ήταν 2-3 cm.

Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 18 Δεκεμβρίου του 2014.



**Εικόνα 2.2.2** Ο χώρος αμέσως μετά την χάραξη του εδάφους.

### 2.2.3 ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ

Πριν την σπορά έγινε χειρωνακτική καταπολέμηση ζιζανίων σε όλο τον χώρο που θα πραγματοποιούταν το πείραμα, ακόμα και στα σημεία που δεν θα γινόταν σπορά φυτών. Αργότερα, έγινε εφαρμογή του εμπορικού σκευάσματος Glean 75 WG (δ.ο. chlorsulfuron 75%), με δοσολογία 0,5 gr 17 lt νερό.

### 2.2.4 ΑΛΛΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος του κεμμυδοφάγου (*Gryllotalpa gryllotalpa*) έγινε χημική καταπολέμηση με την χρήση του εμπορικού σκευάσματος Chlorpyrifos Agrodan 48 EC (δ.ο. chlorpyrifos 48%). Η εφαρμογή έγινε στον αγρό στις 18 Δεκεμβρίου κατά τη διάρκεια της σποράς.

## 2.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

### 2.3.1 ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ

Η σπορά πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό αγρό που ήταν καλυμμένος με διαφανές πλαστικό θερμοκηπίου πάνω σε μεταλλικό σκελετό. Στόχος ήταν η απομόνωση της καλλιέργειας από τυχόν βροχές, για την δημιουργία πλήρων ελεγχόμενων συνθηκών όσον αφορά την άρδευση.

### 2.3.2 ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Στις 50 ημέρες μετά τη σπορά πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση του αρδευτικού συστήματος. Αυτό αποτελούνταν από σωλήνες αρδύσεως οι οποίοι έφεραν σταλακτήρες. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αρδευτικών σωλήνων ήταν:

- Διάμετρος σωλήνων: 32mm (κύριος) και 16mm (γραμμή άρδευσης)
- Αποστάσεις σταλακτάρων επί της γραμμής: 30cm
- Πίεση λειτουργίας: 1 atm
- Παροχή σταλακτήρα: 6 L/hr
- Πλήθος σταλακτάρων ανά γραμμή άρδευσης: 70

**Πίνακας 2.3.2** Πρόγραμμα άρδευσης των φυτών

Ημερομηνία	Χρονική διάρκεια ποτίσματος	Ώρα
18/12/14	2 ώρες σε όλο τον αγρό	14:00-16:00
06/02/15	1 ώρα σε όλο τον αγρό	11:00-12:00
12/02/15	20 λεπτά	11:00-11:20
18/02/15	2 ώρες	12:00-14:00
26/02/15	2 ώρες	11:00-13:00
03/03/15	2 ώρες	12:00-14:00
09/03/15	2 ώρες	11:00-13:00
14/03/15	2 ώρες	11:00-13:00
25/03/15	2 ώρες	11:00-13:00
02/04/15	2 ώρες	11:00-13:00
09/04/15	2 ώρες	11:00-13:00
18/04/15	2 ώρες	11:00-13:00

## 2.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ

### 2.4.1 ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ

Στο παρόν πείραμα η ανάπτυξη των φυτών των τριών ποικιλιών υπολογίστηκε με βάση τις κλίμακες Zadoks και Haun. Πραγματοποιήθηκαν 17 μετρήσεις από την 49η ημέρα από την σπορά, μέχρι την 131η ημέρα από την σπορά.

Κατά την διάρκεια των χρόνων έχουν αναπτυχθεί διάφορες κλίμακες μέτρησης της ανάπτυξης των σιτηρών. Σε όλες τις περιπτώσεις στόχος ήταν η απόδοση μίας 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 Feekes χωρίζει τον βιολογικό κύκλο του φυτού σε έντεκα κύρια στάδια αρχίζοντας από την βλάστηση και τελειώνοντας με την ωρίμανση του σπόρου. Η κλίμακα αυτή χρησιμοποιείται συχνά για την ταυτοποίηση του κατάλληλου σταδίου στο οποίο γίνεται η εφαρμογή χημικών ουσιών στο φυτό (Large, 1954).

Η κλίμακα Zadoks αποτελεί ένα πλήρες σύστημα κωδικοποίησης της ανάπτυξης των φυτών και με την χρήση του μπορούμε εύκολα 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. Στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης του φυτού, η κλίμακα Zadoks καταγράφει τα πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα του κύριου στελέχους (Zadoks *et al.*, 1974).



Η κλίμακα Haun χρησιμοποιείται κυρίως στις φάσεις του βιολογικού κύκλου των φυτών του κριθαριού κατά τις οποίες υπάρχει ανάπτυξη των φύλλων. Το μήκος του κάθε αναπτυσσόμενου φύλλου συγκρίνεται με το μήκος του αμέσως προηγούμενου πλήρως ανεπτυγμένου φύλλου. Για παράδειγμα, η μέτρηση 4,3 υποδεικνύει ότι υπάρχουν τέσσερα πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα και ένα πέμπτο φύλλο αναπτύσσεται έχοντας τα 3/10 του μήκους του τέταρτου φύλλου. Ο κωδικός του σταδίου της διόγκωσης του κολεού ξεκινάει με +1 στον αριθμό των φύλλων του κύριου στελέχους, δηλαδή το φύλλο σημαία συν ένα. Αυτό μπορεί να προκαλέσει σύγχυση καθώς το φύλλο σημαία δεν έχει σταθερό αριθμό σε όλες τις ποικιλίες. Για αυτό το λόγο η κλίμακα Haun χρησιμοποιείται κυρίως στα στάδια του βιολογικού κύκλου του φυτού πριν την διόγκωση του κολεού (Haun, 1973).

Συγκρίνοντας τις κλίμακες Haun και Zadoks φαίνεται πως η πρώτη αν και είναι ακριβής στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης του φυτού, δεν είναι χρήσιμη στις περιπτώσεις όπου πρέπει να παρθούν αποφάσεις με βάση στοιχεία διαφορετικά από τα φύλλα. Επιπλέον, η κλίμακα Zadoks θεωρείται πιο εύχρηστη και συγκεκριμένη όσο προχωράει ο βιολογικός κύκλος του φυτού (Anderson *et al.*, 1995).

**Πίνακας 2.4.1** Κυριότερα στάδια των κλιμάκων Zadoks και Haun

Κλίμακα Zadoks	Κλίμακα Haun	Περιγραφή
0-9	-	Βλάστηση του σπόρου
10-19	(1,+)-(7,+)	Αύξηση φυταριών
20-29	(1,+)-(7,+)	Αδέλφωμα
30-39	(1,+)-(7,+)	Καλάμωμα
40-49	8-10,1	Διόγκωση κολεού
50-59	10,2-11,0	Ξεστάχιασμα
60-69	11,4-11,6	Άνθηση
70-79	12,1-13,0	Γαλακτώδης καρπός
80-89	14,0-15,0	Στάδιο ζύμης
90-99	16,0-16,0+	Ωρίμανση

## 2.4.2 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

### 2.4.2.1 ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Η δειγματοληψία πραγματοποιούνταν μία ή δύο φορές την εβδομάδα από την 76η έως την 121η ημέρα από την σπορά. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν επτά δειγματοληψίες και μετρήσεις του υδατικού δυναμικού των φυτών.

Το δείγμα, δηλαδή το φύλλο του φυτού, συλλεγόταν στις 12 μ.μ., χρονική περίοδο κατά την οποία το υδατικό δυναμικό λαμβάνει την κατώτερη ημερήσια τιμή του. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία ξεκινούσε με την κοπή του νεότερου πλήρως ανεπτυγμένου φύλλου (το τρίτο φύλλο από την κορυφή) από ένα αντιπροσωπευτικό

φυτό της κάθε ζώνης των τεμαχίων. Έπειτα, το δείγμα τοποθετούνταν σε αριθμημένη πλαστική σακούλα που έκλεινε αεροστεγώς, περιορίζοντας τις απώλειες υγρασίας. Η αρίθμηση αντιστοιχούσε στην ζώνη, στο τεμάχιο και στην επανάληψη από την οποία ελήφθη το δείγμα. Η σακούλα μεταφερόταν σε ψυγείο κατά το χρονικό διάστημα από την λήψη του δείγματος, έως και την μέτρηση του υδατικού δυναμικού για την αποτροπή της αλλοίωσης των αποτελεσμάτων της μέτρησης.

Από κάθε ζώνη (επίπεδο άρδευσης) λαμβάνονταν δύο δείγματα και συνεπώς οχτώ δείγματα ανά πειραματικό τεμάχιο. Ανά δειγματοληψία, το σύνολο των φύλλων που λαμβάνονταν ήταν 96.

Το υδατικό δυναμικό των φύλλων μετρήθηκε με την μέθοδο του θαλάμου πίεσης. Ο θάλαμος πίεσης κατασκευάστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Waring και Cleary (1967) και χρησιμοποιήθηκε εκτεταμένα για πρώτη φορά από τους Scholander *et al.* (1964). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το φύλλο του κριθαριού 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 συγκεκριμένη μέθοδος είναι ο κύριος τρόπος μέτρησης του υδατικού δυναμικού των φύλλων σε συνθήκες αγρού, διότι είναι γρήγορη, αξιόπιστη και δεν παρουσιάζει ευαισθησία στην θερμοκρασία.

#### **2.4.2.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (WATER POTENTIAL INDEX)**

Οι ληφθείσες μετρήσεις συνέβαλαν στη διαγραμματική απεικόνιση της χρονικής πορείας του υδατικού δυναμικού ( $\Psi$ ) για κάθε πληθυσμό. Ο δείκτης υδατικού δυναμικού υπολογίστηκε από τις χρονικές πορείες του υδατικού δυναμικού, όπως περιγράφεται από τους Karamanos και Papatheohari (1999).

#### **2.4.2.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΖΩΤΟ**

Κατά την διάρκεια του βιολογικού κύκλου των φυτών πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις της περιεκτικότητας αζώτου. Η πρώτη αφορούσε το υπέργειο μέρος των φυτών κατά την άνθηση, η δεύτερη τα στελέχη και τα φύλλα κατά την

συγκομιδή, ενώ η τρίτη τους σπόρους κατά την συγκομιδή. Από την περιεκτικότητα των σπόρων σε άζωτο, υπολογίστηκε το ποσοστό πρωτεΐνης που περιέχεται σε αυτούς και το οποίο καθορίζει ως ένα βαθμό την καταλληλότητα των σπόρων για βυνοποίηση.

Επίσης υπολογίστηκε η ανακατανομή του αζώτου από το στάδιο της άνθησης στο στάδιο της ωρίμανσης με τον εξής τρόπο (Papakosta και Gagianas, 1991):

- **Μετακίνηση αζώτου (gr/φυτό)** = ολικό άζωτο υπέργειων τμημάτων (φύλλων, βλαστών, ταξιανθιών) στο στάδιο της άνθησης (gr/φυτό) – ολικό άζωτο βλαστικών τμημάτων (φύλλων, βλαστών, αγάνων) στο στάδιο της ωρίμανσης (gr/φυτό).
- **Ικανότητα μετακίνησης αζώτου (%)** = [μετακίνηση αζώτου (gr/φυτό) / ολικό άζωτο υπέργειων τμημάτων (φύλλων, βλαστών, ταξιανθιών) στο στάδιο της άνθησης (gr/φυτό)] x 100.
- **Δείκτης συγκομιδής αζώτου (NHI)** = άζωτο κόκκων (gr/φυτό) / ολικό άζωτο της υπέργειας βιομάζας στο στάδιο της ωρίμανσης (gr/φυτό).

Ο υπολογισμός του αζώτου έγινε με τη μέθοδο Kjeldahl. Η μέθοδος αποτελείται ουσιαστικά από τρία στάδια ή φάσεις. Ο σκοπός της πρώτης φάσης είναι η αποσύνθεση του δείγματος ώστε να απελευθερωθεί το άζωτο. Για το λόγο αυτό το δείγμα θερμαίνεται μαζί με πυκνό θειικό οξύ, το οποίο προκαλεί την αποσύνθεσή του, έτσι ώστε να απελευθερωθεί το άζωτο ως θειικό αμμώνιο ((NH<sub>4</sub>)SO<sub>4</sub>). Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου βήματος γίνεται και προσθήκη θειοθειικού νατρίου (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O) που έχει ως σκοπό να ανεβάσει το σημείο βρασμού του μέσου (από τους 337 °C στους 373 °C). Η χημική αποσύνθεση του δείγματος ολοκληρώνεται όταν το χρώμα του μέσα στη φιάλη Kjeldahl από σκούρο καφέ γίνεται διαυγές πράσινο. Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την απόσταξη του δείγματος με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH), το οποίο μετατρέπει το θειικό αμμώνιο σε αμμωνία (NH<sub>3</sub>). Η όλη μέθοδος ολοκληρώνεται με την τιτλοδότηση του διαλύματος που προέκυψε από την απόσταξη (χρησιμοποιείται υδροχλωρικό οξύ για την τιτλοδότηση).

Για τον υπολογισμό του % αζώτου που υπάρχει στο δείγμα μας χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο:

$$(N\%) = \frac{(\alpha - \beta) \cdot 0,05 \cdot 14 \cdot 100}{B \cdot 1000}$$

Όπου:

α: τα ml του υδροχλωρικού οξέος που καταναλώθηκαν κατά την τιτλοδότηση του δείγματος

β: τα ml του υδροχλωρικού οξέος που καταναλώθηκαν κατά την τιτλοδότηση του μάρτυρα (λευκός προσδιορισμός)

B: το βάρος του αρχικού μας δείγματος (γρ)

### **2.4.3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

#### **2.4.3.1 ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΣΠΟΡΩΝ**

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:

$$\% \text{ πρωτεΐνη} = N * 6,25$$

#### **2.4.3.2 ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΡΠΩΝ**

Η κατάταξη του μεγέθους των καρπών σε κλάσεις πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο EBC 3.11.1 “Sieving Test for Barley”, χρησιμοποιώντας τη συσκευή Sortimat (Pfeuffer GmbH, Kitzingen, Germany).

### **2.4.4 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ**

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της οικονομική ωρίμανσης, από τις 10 έως τις 12 Μαΐου 2011.

Μετά την συγκομιδή, ελήφθησαν πέντε (5) φυτά ανά ζώνη άρδευσης, από κάθε τεμάχιο και κάθε επανάληψη. Αυτά τα φυτά χρησιμοποιήθηκαν για τις επόμενες μετρήσεις.

#### **2.4.4.1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΔΕΛΦΙΩΝ ΑΝΑ ΦΥΤΟ**

Σε κάθε επίπεδο άρδευσης όλων των τεμαχίων καταγράφηκε ο αριθμός των δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό από πέντε τυχαία φυτά.

#### **2.4.4.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ**

Πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις του συνολικού βάρους των φυτών. Η πρώτη έγινε κατά την άνθηση και η δεύτερη κατά την συγκομιδή. Σε κάθε δειγματοληψία επιλέχθηκαν 5 φυτά ανά επίπεδο άρδευσης.

#### **2.4.4.3 ΣΠΟΡΟΙ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ**

Υπολογίστηκε από 10 τυχαίους στάχεις ανά επίπεδο άρδευσης.

#### 2.4.4.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΧΙΛΙΩΝ ΚΟΚΚΩΝ

Η μέτρηση του βάρους των σπόρων, που είχαν συλλεχθεί έγινε με ζυγαριά ακριβείας. Μετρήθηκε το βάρος και σε συνδυασμό με τον αριθμό των σπόρων που είχε μετρηθεί προηγουμένως, υπολογίστηκε το βάρος των 1000 σπόρων.

#### 2.4.4.5 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (HARVEST INDEX)

Ο δείκτης συγκομιδής (HI) υπολογίστηκε ως ο λόγος της απόδοσης σε καρπό προς στη συνολική υπέργεια βιομάζα.

### 2.5 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 ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD).



**Εικόνα 2.5.a** Η ανάπτυξη των φυτών 63 ημέρες από τη σπορά



**Εικόνα 2.5.b** Η ανάπτυξη των φυτών 93 ημέρες από τη σπορά



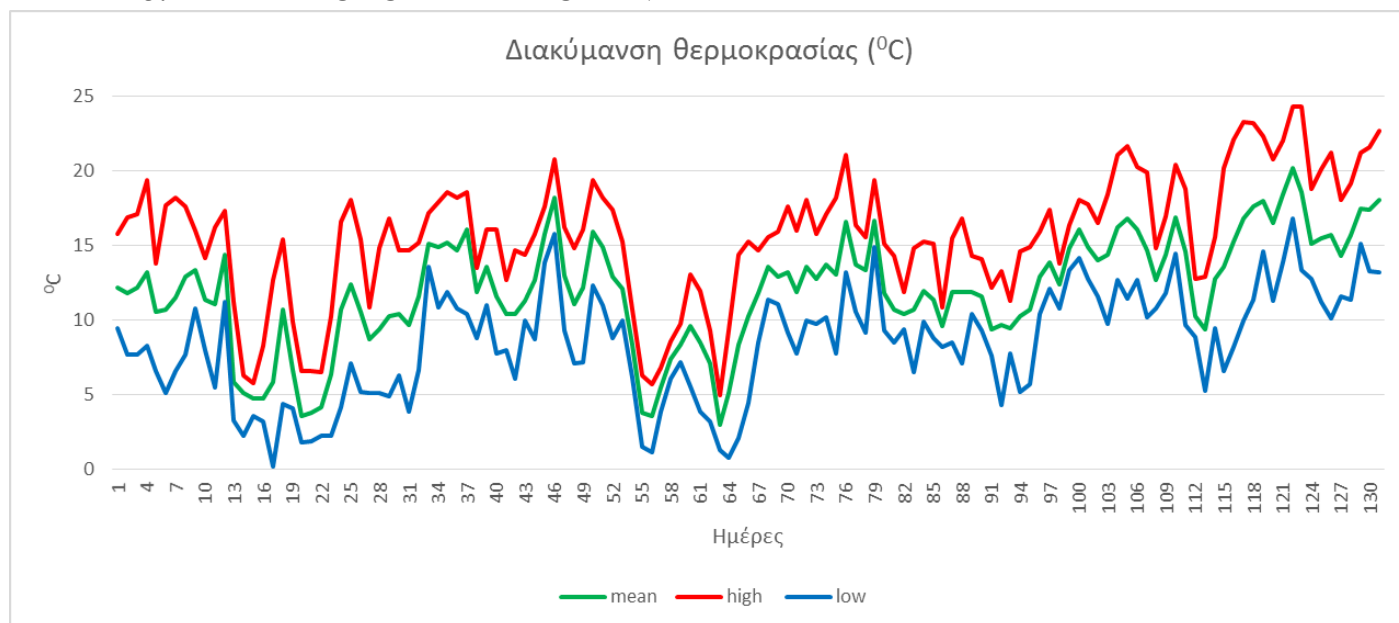
**Εικόνα 2.5.c** Η ανάπτυξη των φυτών 126 ημέρες από τη σπορά



**Εικόνα 2.5.d** Η ανάπτυξη των φυτών 128 ημέρες από τη σπορά

### 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 3.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



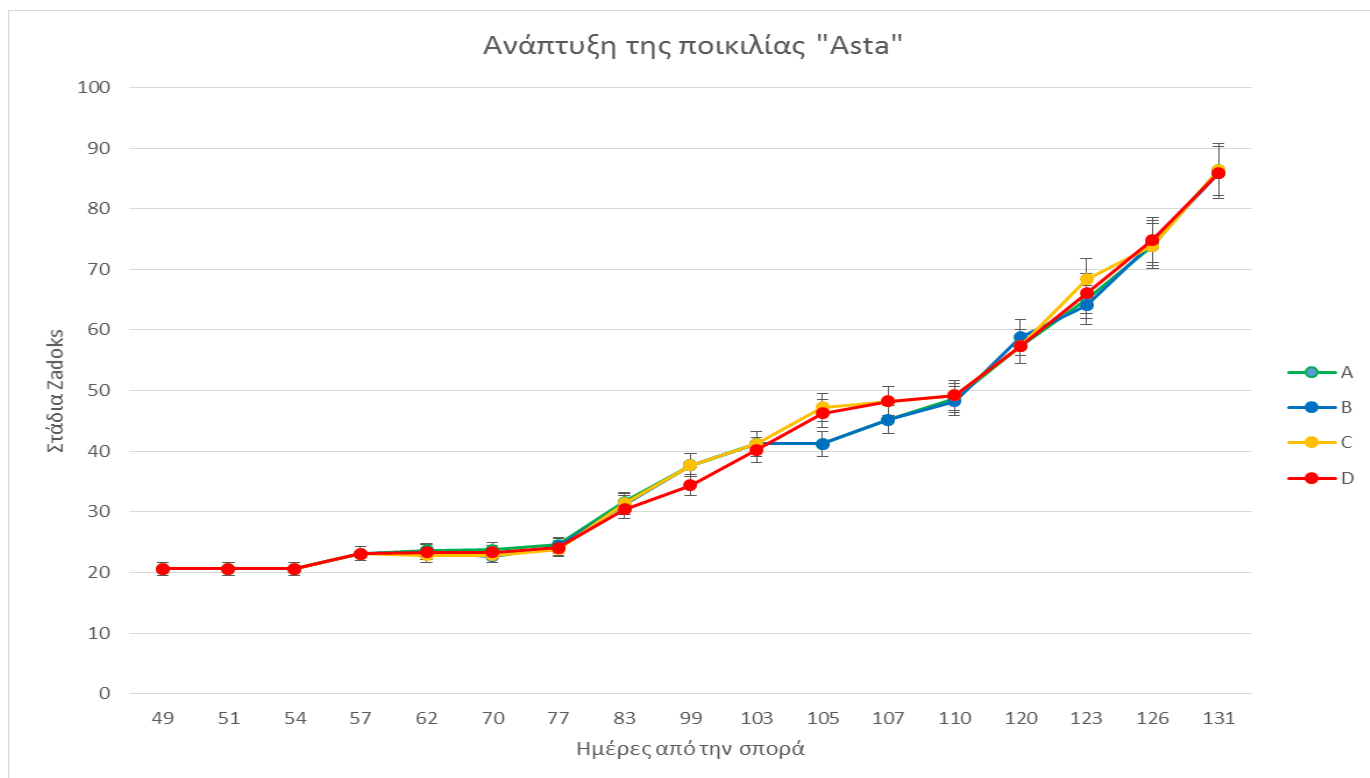
**Διάγραμμα 3.1** Η διακύμανση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της εξέλιξης του βιολογικού κύκλου των φυτών. Με κόκκινο χρώμα είναι η υψηλότερη ημερήσια θερμοκρασία, με μπλε η χαμηλότερη ενώ με πράσινο είναι η μέση (ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, meteo.gr).

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 3.1 η ανώτερη θερμοκρασία μετρήθηκε κατά την 122η και 123η ημέρα του βιολογικού κύκλου των φυτών (στάδιο 66 κλίμακας Zadoks) και ήταν 24,3 °C. Η χαμηλότερη θερμοκρασία μετρήθηκε κατά την 17η ημέρα όταν τα φυτά βρίσκονταν στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής τους και ήταν 0,2 °C.

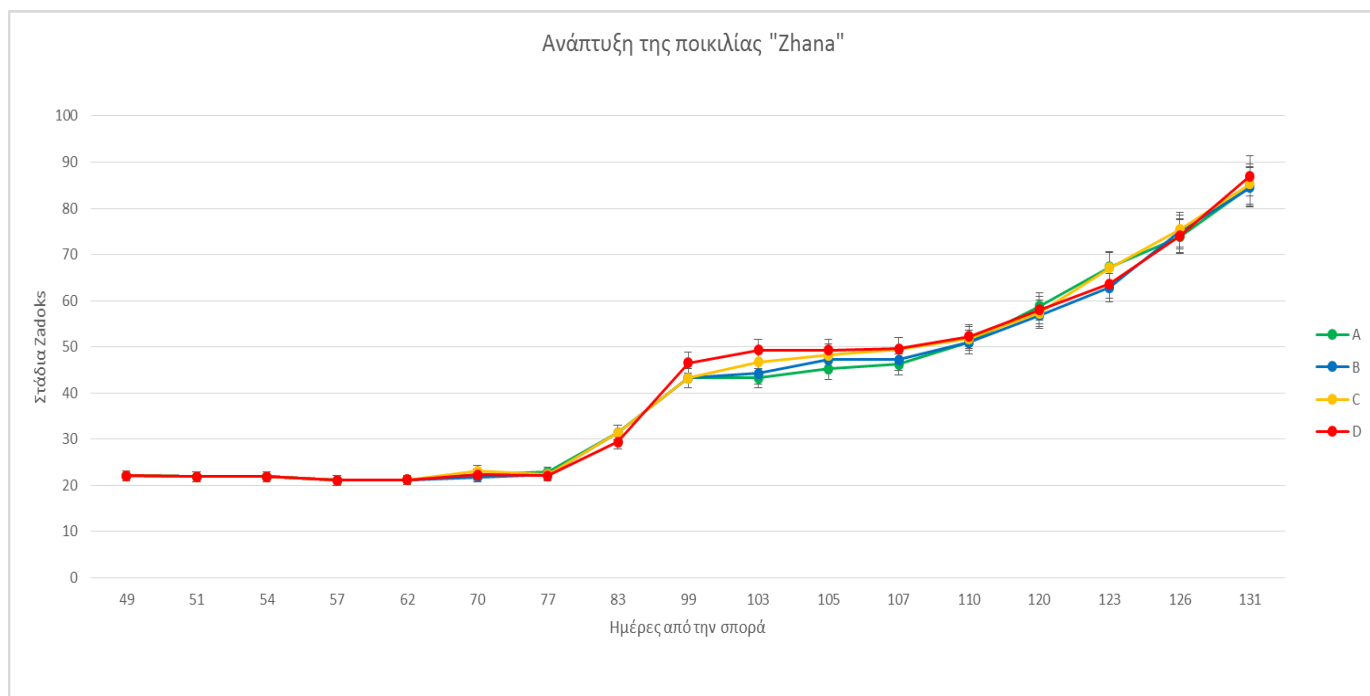
### 3.2. ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ

#### 3.2.1. ΚΛΙΜΑΚΑ ZADOKS

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, σε σχέση με την πάροδο του χρόνου είναι τα εξής:

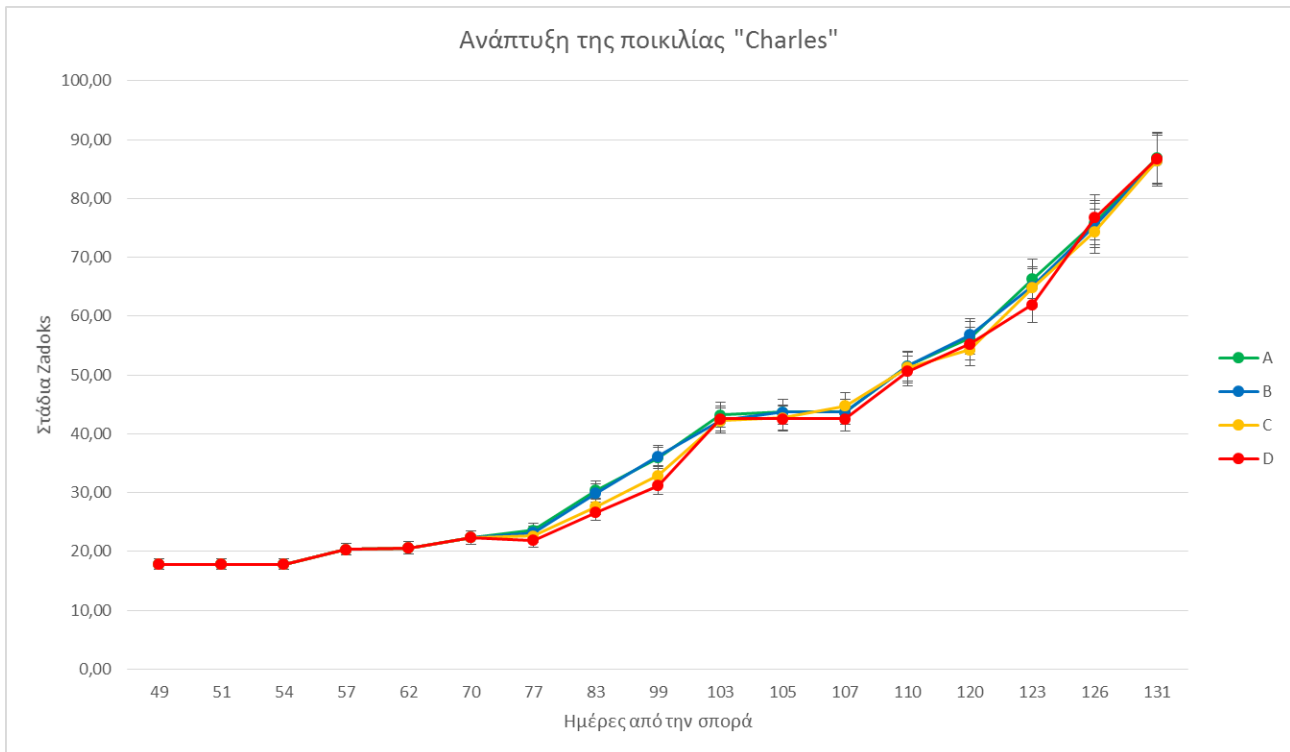


**Διάγραμμα 3.2.1.a** Η ανάπτυξη των φυτών της ποικιλίας “Asta” με βάση την κλίμακα Zadoks, σε σχέση με τις ημέρες από την σπορά. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση B: μικρή υδατική καταπόνηση C: μεσαία υδατική καταπόνηση D: μεγάλη υδατική καταπόνηση.



**Διάγραμμα 3.2.1.b** Η ανάπτυξη των φυτών της ποικιλίας «Zhana» με βάση την κλίμακα Zadoks, σε σχέση με τις ημέρες από την σπορά. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση B: μικρή υδατική καταπόνηση C: μεσαία υδατική καταπόνηση D: μεγάλη υδατική καταπόνηση.





**Διάγραμμα 3.2.1.c** Η ανάπτυξη των φυτών της ποικιλίας «Charles» με βάση την κλίμακα Zadoks, σε σχέση με τις ημέρες από την σπορά. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση B: μικρή υδατική καταπόνηση C: μεσαία υδατική καταπόνηση D: μεγάλη υδατική καταπόνηση.

Στην ποικιλία Asta, όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα υπάρχει μία σχετικά ομοιόμορφη ανάπτυξη των φυτών σε όλα τα επίπεδα της υδατικής καταπόνησης. Συγκεκριμένα, τα φυτά των επιπέδων A και B έχουν σχεδόν ίδια πορεία σταθερή πορεία έως τις 77 ημέρες από την σπορά και παρουσιάζουν γρηγορότερη ανάπτυξη από τις 83 έως τις 103 ημέρες από την σπορά σε σχέση με τα επίπεδα C και D. Στις 99 ημέρες από την σπορά, τόσο τα φυτά του επιπέδου A, όσο και τα φυτά του επιπέδου B βρίσκονται στο στάδιο 37 της κλίμακας Zadoks, δηλαδή στο στάδιο κατά το οποίο το φύλλο σημαία αρχίζει να γίνεται ορατό. Στην συνέχεια, παρατηρείται μία μείωση της ταχύτητας της ανάπτυξης στα φυτά των επιπέδων A και B. Κατά το διάστημα μεταξύ των 105 και των 107 ημερών από την σπορά τα φυτά βρίσκονται στα στάδια 41 έως 45 της κλίμακας Zadoks. Δηλαδή στην φάση του βιολογικού κύκλου κατά την οποία το έλασμα του φύλλου σημαία επιμηκώνεται και στην συνέχεια διογκώνεται ο κολεός. Από το σημείο εκείνο και μετά, δηλαδή από τις 120 ημέρες από την σπορά, ο βιολογικός κύκλος των φυτών στα επίπεδα A και B φαίνεται να επιταχύνεται έως το στάδιο 87 της κλίμακας Zadoks, την φάση της σκληρής ζύμης.

Τα φυτά των επιπέδων C και D παρουσιάζουν σταθερή πορεία ανάπτυξης έως τις 77 ημέρες από την σπορά. Από τις 83 ημέρες, δηλαδή από την εμφάνιση του πρώτου κόμβου, και μετά παρουσιάζεται επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου με εξαίρεση το διάστημα από τις 107 έως τις 110 ημέρες από την σπορά. Τότε, τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο της εμφάνισης των αγάνων.

Φαίνεται πως τα φυτά όλων των επιπέδων υδατικής καταπόνησης παρουσίασαν σταθερή και αργή πορεία ανάπτυξης έως και τις 77 ημέρες από την σπορά, δηλαδή το στάδιο του αδελφώματος. Στην συνέχεια παρατηρήθηκε πως υπήρξαν δύο ομάδες. Τα φυτά των επιπέδων A και B, δηλαδή των επαρκώς αρδευόμενων και τα φυτά των επιπέδων C και D, δηλαδή των περισσότερο καταπονημένων. Από τις 83 ημέρες έως τις 103 ημέρες από την σπορά, τα φυτά των επιπέδων A και B επιτάχυναν τον βιολογικό τους κύκλο, ενώ από τις 103 ημέρες έως τις 110 ημέρες, τα φυτά των επιπέδων C και D εμφάνισαν ακόμη μεγαλύτερη ταχύτητα στην ανάπτυξη από τα προηγούμενα. Τέλος, από τις 110 ημέρες και έπειτα, τα φυτά όλων των επιπέδων ακολούθησαν παρόμοια πορεία έως και τις 131 ημέρες, δηλαδή το στάδιο της σκληρής ζύμης.

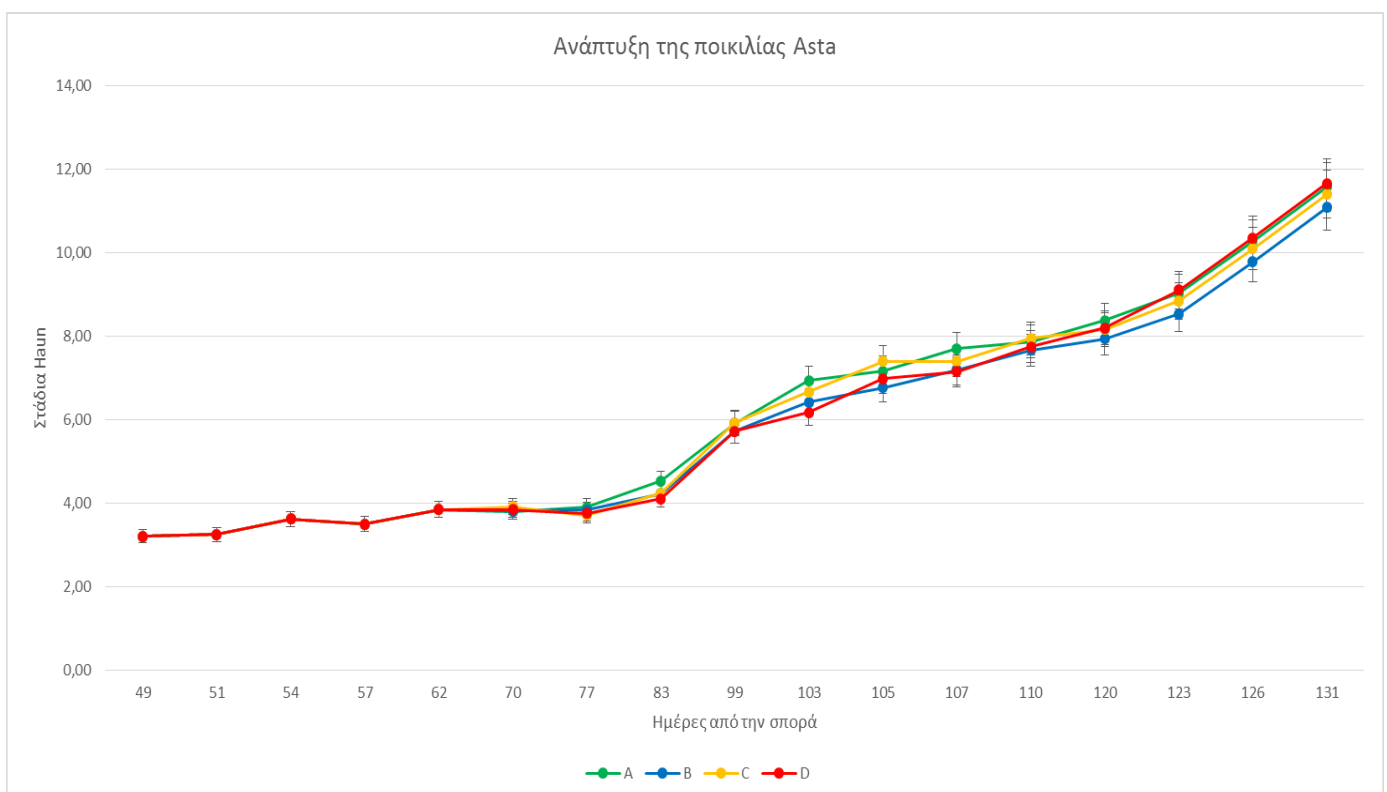
Στην ποικιλία Zhana, τα φυτά όλων των επιπέδων παρουσίασαν παρόμοια πορεία ανάπτυξης. Από τις 77 ημέρες από την σπορά και μετά, δηλαδή από το στάδιο του αδελφώματος, παρατηρήθηκε επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου έως και το στάδιο του ανοίγματος του κολεού. Από τότε, φαίνεται πάλι μία μείωση της ταχύτητας της εξέλιξης του βιολογικού κύκλου των φυτών όλων των επιπέδων έως το στάδιο όπου ο μισός στάχυς είναι ορατός, δηλαδή στις 120 ημέρες από την σπορά. Στην συνέχεια παρατηρήθηκε μία μικρή επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου, έως το στάδιο της σκληρής ζύμης στις 131 ημέρες από την σπορά.

Στην ποικιλία Charles, ο βιολογικός κύκλος των φυτών όλων των επιπέδων ήταν σχετικά ομοιόμορφος. Έως τις 77 ημέρες από την σπορά, δηλαδή στο στάδιο του αδελφώματος, υπήρχε σταθερή ανάπτυξη σε όλα τα επίπεδα. Από εκείνο το σημείο και έπειτα, φαίνεται μία επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου των φυτών και ιδιαίτερα αυτών στα επίπεδα A και B έως τις 103 ημέρες από την σπορά, δηλαδή στο στάδιο της ανάπτυξης του κολεού. Για ένα μικρό διάστημα η ανάπτυξη των φυτών φαίνεται να μειώνει την ταχύτητά της, έως τις 107 ημέρες, άνοιγμα του κολεού, οπότε και υπάρχει ξανά επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου. Η πορεία από το άνοιγμα του κολεού έως και το στάδιο της σκληρής ζύμης είναι σχετικά όμοια για τα φυτά όλων των επιπέδων.

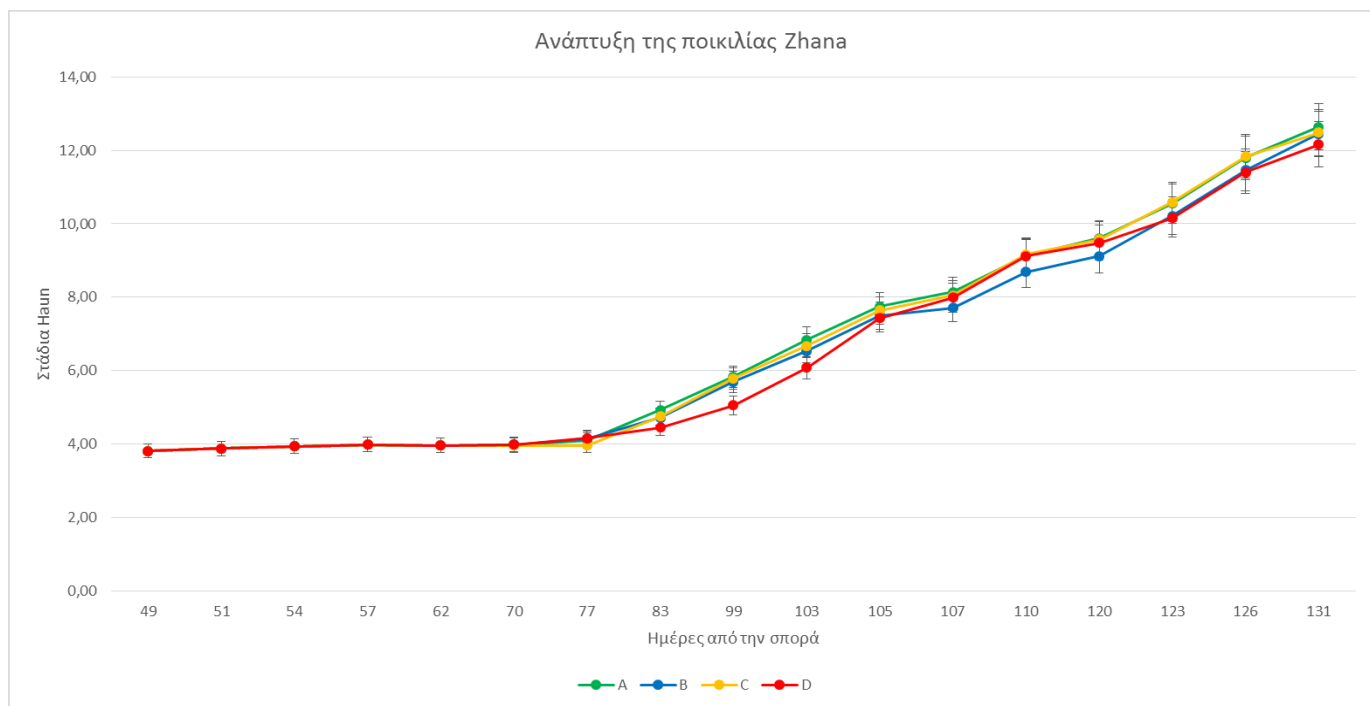
Παρατηρήθηκε πως σε όλες τις ποικιλίες που μελετήθηκαν, η ανάπτυξη ήταν σταθερή μέχρι περίπου τις 77 ημέρες από την σπορά δηλαδή το στάδιο του αδελφώματος. Από το σημείο εκείνο και μετά η ανάπτυξη επιταχύνθηκε. Στις ποικιλίες Charles και Zhana φαίνεται να υπάρχει μία μείωση της ταχύτητας της ανάπτυξης κατά το διάστημα των 99-107 ημερών. Τότε, η ποικιλία Zhana βρισκόταν στο στάδιο της εμφάνισης των αγάνων, ενώ η ποικιλία Charles στο στάδιο της ανάπτυξης του κολεού. Και στις δύο ποικιλίες, παρατηρήθηκε επιτάχυνση της ανάπτυξης από εκείνο το διάστημα και μετά. Η ποικιλία Asta σε αντίθεση με τις άλλες δύο, παρουσίασε μία σταθερή επιτάχυνση της ανάπτυξης των φυτών από τις 77 ημέρες και μετά, δηλαδή από το στάδιο του αδελφώματος.

### 3.2.2 ΚΛΙΜΑΚΑ HAUN

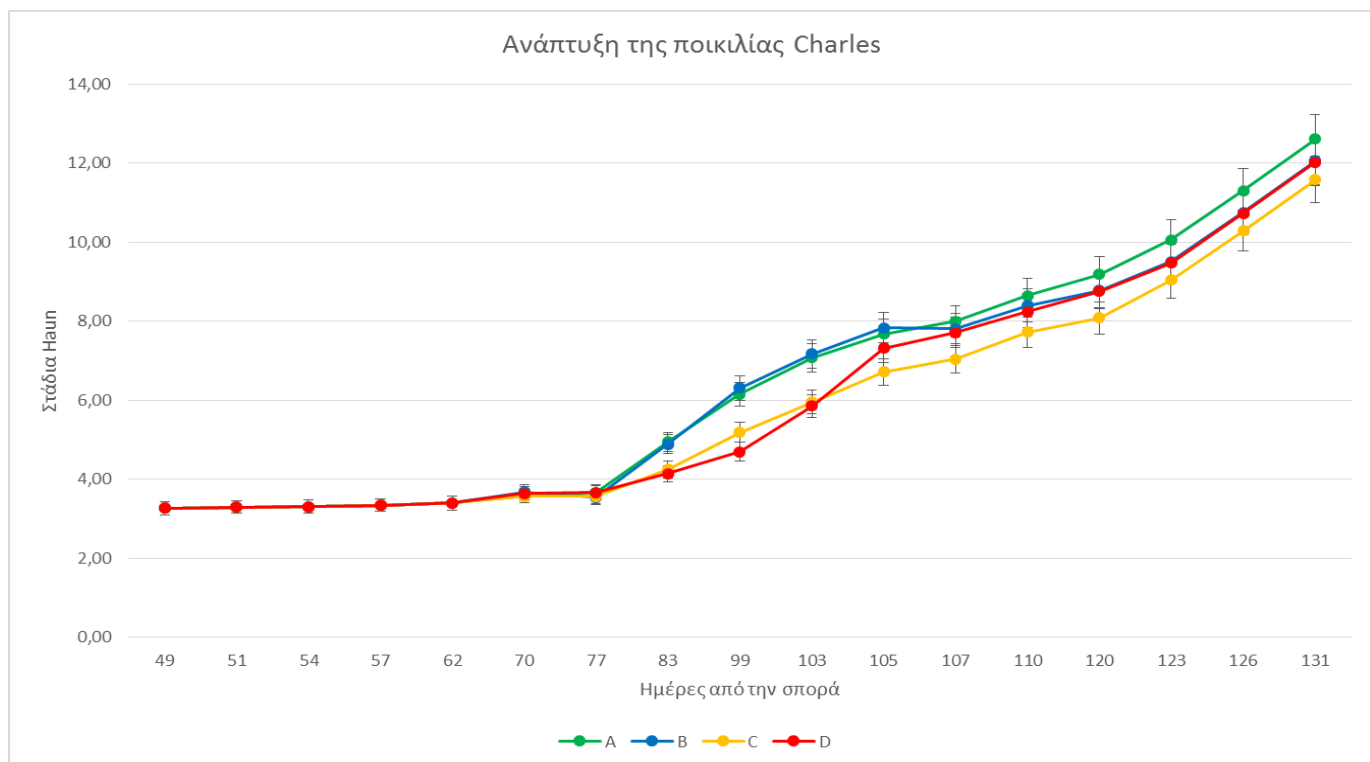
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, σε σχέση με την πάροδο του χρόνου είναι τα εξής:



**Διάγραμμα 3.2.2.a** Η ανάπτυξη των φυτών της ποικιλίας Asta με βάση την κλίμακα Haun, σε σχέση με τις ημέρες από την σπορά. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση B: μικρή υδατική καταπόνηση C: μεσαία υδατική καταπόνηση D: μεγάλη υδατική καταπόνηση.



**Διάγραμμα 3.2.2.b** Η ανάπτυξη των φυτών της ποικιλίας Zhana με βάση την κλίμακα Haun, σε σχέση με τις ημέρες από την σπορά. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση B: μικρή υδατική καταπόνηση C: μεσαία υδατική καταπόνηση D: μεγάλη υδατική καταπόνηση.



**Διάγραμμα 3.2.2.c** Η ανάπτυξη των φυτών της ποικιλίας Charles με βάση την κλίμακα Haun, σε σχέση με τις ημέρες από την σπορά. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία των μετρήσεων απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα. A: κανονική άρδευση B: μικρή υδατική καταπόνηση C: μεσαία υδατική καταπόνηση D: μεγάλη υδατική καταπόνηση.

Τα φυτά της ποικιλίας Asta σε όλα τα επίπεδα, εμφανίζουν παρόμοια πορεία ανάπτυξης. Μέχρι τις 77 ημέρες από την σπορά παρατηρείται σταθερή ταχύτητα στον βιολογικό κύκλο. Τότε, τα φυτά βρίσκονταν στο στάδιο της ανάπτυξης του τέταρτου φύλλου στο κύριο στέλεχος. Από τις 83 ημέρες και έπειτα, υπάρχει μία επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου των φυτών, χωρίς να φαίνεται να ξεχωρίζει σημαντικά κάποιο επίπεδο υδατικής καταπόνησης.

Στην ποικιλία Zhana φαίνεται πως τα φυτά όλων των επιπέδων μέχρι και τις 77 ημέρες από την σπορά διατηρούν σταθερό τον ρυθμό ανάπτυξής τους. Από το σημείο εκείνο και μετά παρατηρήθηκε επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου των φυτών σε όλα τα επίπεδα. Από το διάγραμμα φαίνεται όμως, πως η επιτάχυνση αυτή δεν ήταν το ίδιο μεγάλη για τα φυτά του επιπέδου D. Τα φυτά αυτά, που υπέστησαν και την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση, φαίνεται να αύξησαν ακόμα περισσότερο την ταχύτητα της ανάπτυξής τους από τις 105 ημέρες και μετά, δηλαδή από το στάδιο κατά το οποίο είχαν αναπτυχθεί πλήρως 7 φύλλα στο κύριο στέλεχος. Στο επίπεδο A, δηλαδή στα φυτά τα οποία δεν υπέστησαν υδατική καταπόνηση, παρατηρήθηκε πως στο διάστημα μεταξύ των 105 έως τις 120 ημέρες από την σπορά, υπήρξε μείωση του ρυθμού ανάπτυξης σε σχέση με τα υπόλοιπα επίπεδα.

Στην ποικιλία Charles μέχρι τις 77 ημέρες από την σπορά, τα φυτά όλων των επιπέδων είχαν σταθερό ρυθμό ανάπτυξης. Από το σημείο εκείνο και μετά, δηλαδή μετά την πλήρη ανάπτυξη του τρίτου φύλλου, υπήρξε επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου σε όλα τα επίπεδα. Τα φυτά με την μικρότερη υδατική καταπόνηση, δηλαδή αυτά των επιπέδων A και B, αύξησαν περισσότερο τον ρυθμό της ανάπτυξής τους, ειδικά μέχρι τις 107 ημέρες από την σπορά, οπότε και υπήρξε μία μικρή μείωση. Τότε τα φυτά βρίσκονταν στο στάδιο του ανοίγματος του κολεού. Τα φυτά του επιπέδου C, εμφάνισαν αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης μετά τις 77 ημέρες. Ο ρυθμός ήταν σταθερός και σαφώς μικρότερος από τα υπόλοιπα επίπεδα, ειδικά μετά τις 103 ημέρες από την σπορά. Τα φυτά του επιπέδου D, σε αυτά δηλαδή με την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση, αύξησαν λίγο τον ρυθμό ανάπτυξής τους μετά τις 77 ημέρες και ακόμα πιο πολύ μετά τις 99 ημέρες από την σπορά. Στις 105 ημέρες υπήρξε και εδώ μία μείωση του ρυθμού εξέλιξης του βιολογικού κύκλου.

Στις ποικιλίες Asta και Zhana, τα φυτά όλων των επιπέδων φαίνεται να έχουν παρόμοιο ρυθμό εξέλιξης του βιολογικού τους κύκλου. Συνεπώς δείχνουν να μην επηρεάζονται ιδιαίτερα από την υδατική καταπόνηση που υπέστησαν. Αντίθετα, στην ποικιλία Charles υπήρξαν διαφοροποιήσεις, με τα φυτά που είχαν τα μεγαλύτερα

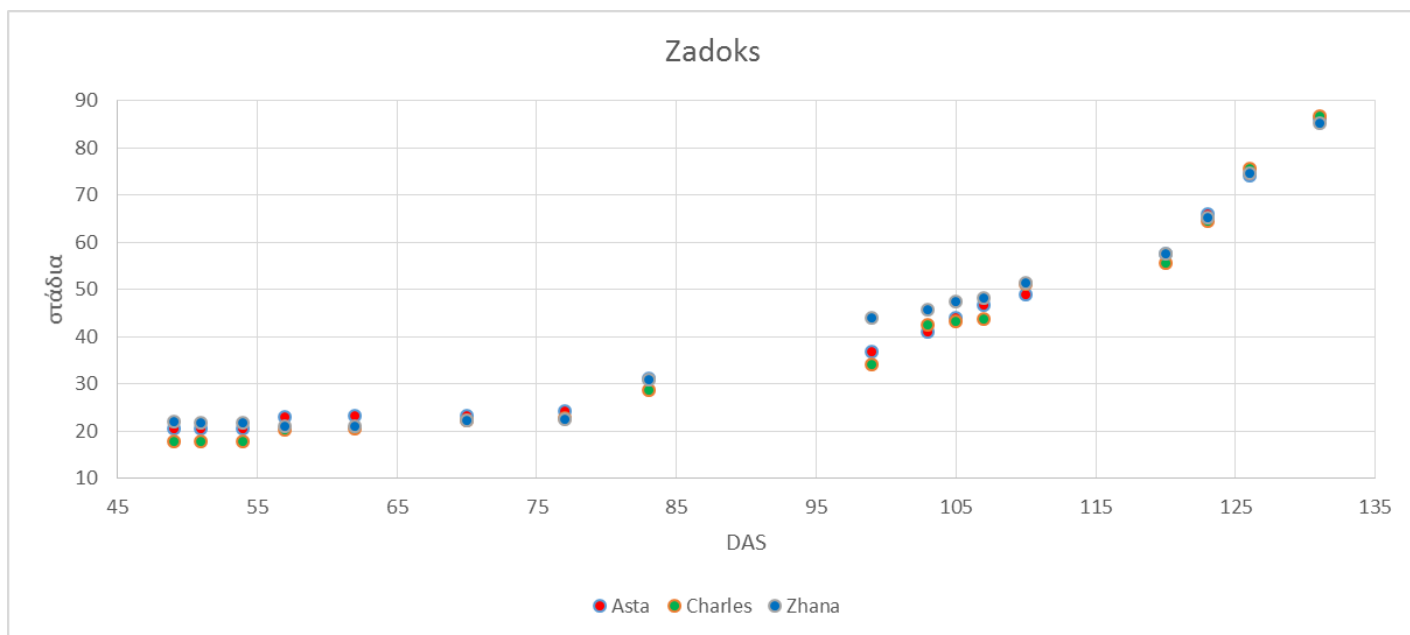
υδατικά ελλείμματα να εμφανίζουν πιο αργό ρυθμό ανάπτυξης. Όσον αφορά τις διαφορές στην εξέλιξη του βιολογικού κύκλου των φυτών στις τρεις ποικιλίες, τα φυτά της ποικιλίας Charles φαίνεται να είχαν πιο αργή ανάπτυξη, από αυτά της Asta. Αντίθετα, τα φυτά της ποικιλίας Zhana φαίνεται να έχουν τον μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης.

Συγκεκριμένα στις 77 ημέρες από την σπορά τα φυτά των ποικιλιών Asta και Charles έχουν αναπτύξει πλήρως το τρίτο φύλλο του κυρίως στελέχους, ενώ αυτά της ποικιλίας Zhana έχουν αναπτύξει το τέταρτο. Επίσης, στις 105 ημέρες, τα φυτά της ποικιλίας Asta βρίσκονται στο στάδιο κατά το οποίο εμφανίζονται τα άγανα, στα φυτά της ποικιλίας Charles διογκώνεται ο κολεός, ενώ στην ποικιλία Zhana υπάρχει άνοιγμα του κολεού.

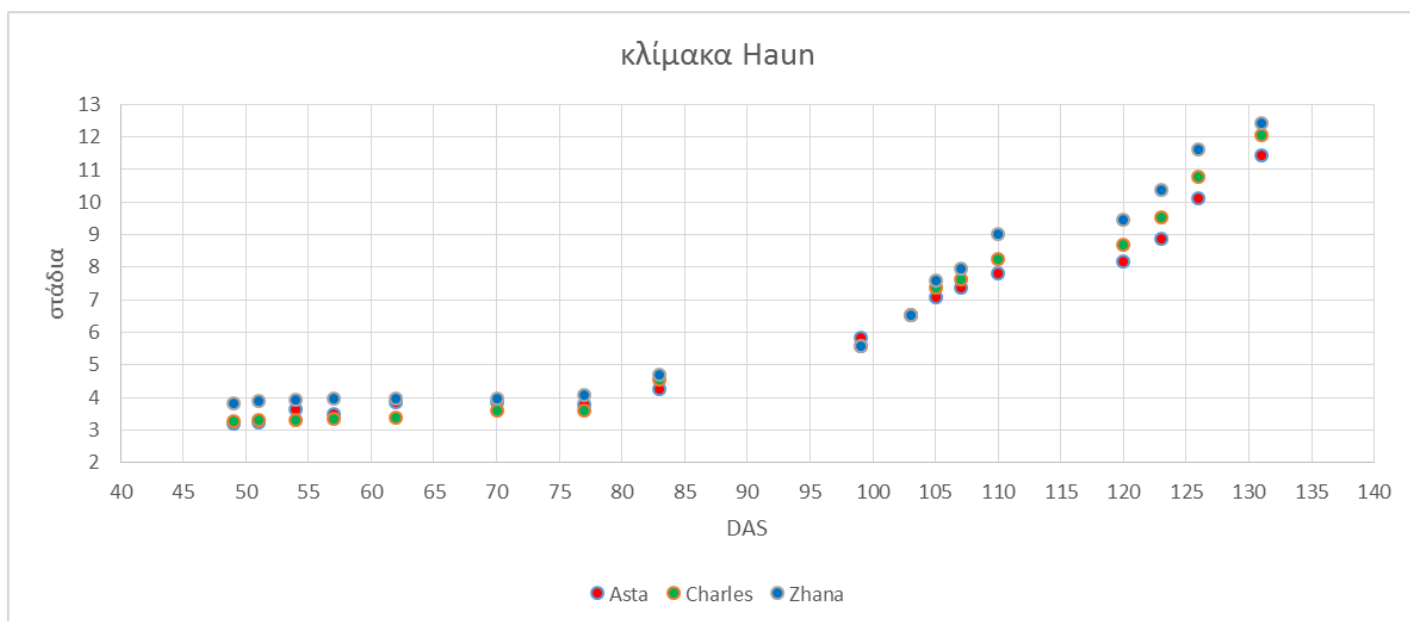
### **3.2.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΛΙΜΑΚΩΝ**

Όπως φάνηκε από τα παραπάνω διαγράμματα η πορεία ανάπτυξης των φυτών και στις δύο κλίμακες περιγράφηκε με παρόμοιο τρόπο, χωρίς ιδιαίτερες διαφορές. Όμως υπήρξαν διαφορές στην διαφοροποίηση μεταξύ των τεσσάρων επιπέδων υδατικής καταπόνησης της κάθε ποικιλίας. Στην καταγραφή της ανάπτυξης με την κλίμακα Zadoks τα επίπεδα καταπόνησης δεν φαίνεται να διαφοροποιούνται ιδιαίτερα. Όμως όταν χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα Haun, υπήρξαν, έστω και μικρές διαφορές σε όλες τις ποικιλίες. Ειδικά στην ποικιλία Charles εμφανίστηκαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων υδατικής καταπόνησης που δεν ήταν ορατές με την κλίμακα Zadoks.

Η διαφορά μεταξύ των δύο κλιμάκων οφείλεται στις περισσότερες υποδιαίρεσεις του κάθε σταδίου του βιολογικού κύκλου του φυτού στην κλίμακα Haun. Αυτό επέτρεψε την πιο ακριβή περιγραφή της κατάστασης και της εικόνας του φυτού, δίνοντας έτσι την δυνατότητα να εντοπιστούν ακόμα και οι μικρές διαφορές που μπορεί να υπήρχαν μεταξύ των τεσσάρων επιπέδων υδατικής καταπόνησης.



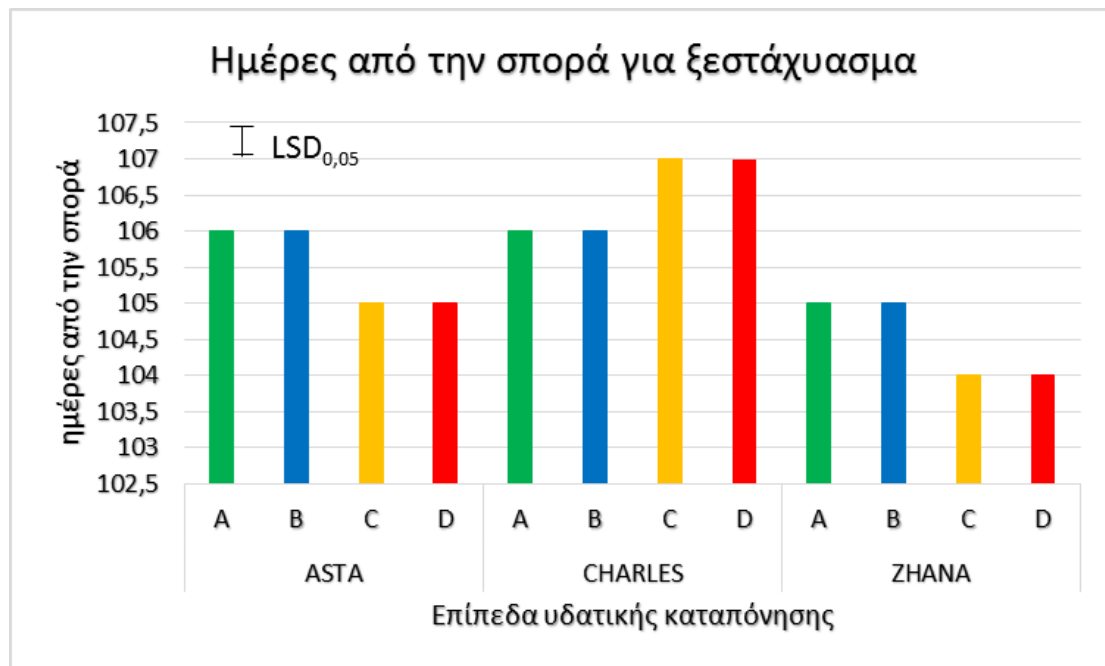
**Διάγραμμα 3.2.3.a** Η σχέση μεταξύ της ανάπτυξης των φυτών (για όλες τις ποικιλίες), σύμφωνα με την κλίμακα Zadoks, και του χρόνου μέσα στον οποίο συντελείται η ανάπτυξη (DAS: ημέρες από τη σπορά).



**Διάγραμμα 3.2.3.b** Η σχέση μεταξύ της ανάπτυξης των φυτών (για όλες τις ποικιλίες), σύμφωνα με την κλίμακα Haun, και του χρόνου μέσα στον οποίο συντελείται η ανάπτυξη (DAS: ημέρες από τη σπορά).

### 3.2.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΡΩΙΜΟΤΗΤΑΣ

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι ημέρες που χρειάστηκαν για τα φυτά κάθε επιπέδου υδατικής καταπόνησης και των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν, για να φτάσουν στο στάδιο του ξεσταχυάσματος.

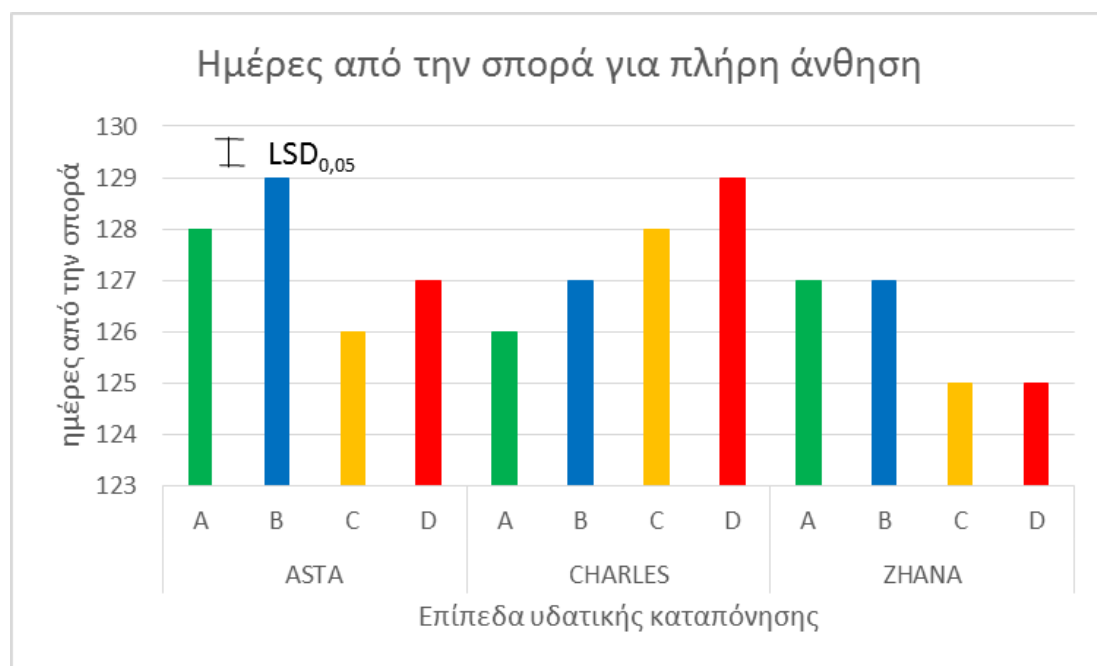


**Διάγραμμα 3.2.4.a** Οι ημέρες από την σπορά που χρειάστηκαν τα φυτά των τριών ποικιλιών για να φτάσουν στο στάδιο του ξεσταχιάσματος. A: κανονική άρδευση B: μικρή υδατική καταπόνηση C: μεσαία υδατική καταπόνηση D: μεγάλη υδατική καταπόνηση. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά για  $\alpha=0.05$ .

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 3.2.4.a, τα φυτά της ποικιλίας Zhana έφτασαν ταχύτερα στο στάδιο του ξεσταχιάσματος από τις άλλες ποικιλίες. Τα φυτά της ποικιλίας Charles ήταν γενικά τα πιο αργά στην ανάπτυξή τους. Μεταξύ των επιπέδων υδατικής καταπόνησης, στις ποικιλίες Asta και Zhana, τα φυτά με την μεγαλύτερη επάρκεια σε νερό (επίπεδα A και B) αναπτύχθηκαν πιο αργά μέχρι το ξεστάχιασμα. Αντίθετα, στην ποικιλία Charles, τα φυτά των αντίστοιχων επιπέδων έφτασαν πιο γρήγορα στο στάδιο του ξεσταχιάσματος.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι ημέρες που χρειάστηκαν για τα φυτά κάθε επιπέδου υδατικής καταπόνησης και των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν, για να φτάσουν στο στάδιο του ξεσταχιάσματος.





**Διάγραμμα 3.2.4.b** Οι ημέρες από την σπορά που χρειάστηκαν τα φυτά των τριών ποικιλιών για να φτάσουν στο στάδιο της πλήρους άνθησης. A: κανονική άρδευση B: μικρή υδατική καταπόνηση C: μεσαία υδατική καταπόνηση D: μεγάλη υδατική καταπόνηση. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά για  $\alpha=0.05$ .

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, και πάλι η ποικιλία Zhana φαίνεται να έχει γρηγορότερη ανάπτυξη από τις άλλες δύο ποικιλίες. Επίσης, όπως και στο στάδιο του ξεσταχυάσματος, στις ποικιλίες Asta και Zhana, τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση (επίπεδα C και D) έφτασαν γρηγορότερα στο στάδιο της πλήρους άνθησης. Αντίθετα, στην ποικιλία Charles, τα φυτά με την μεγαλύτερη επάρκεια νερού (επίπεδα A και B) είχαν γρηγορότερη ανάπτυξη.

Φαίνεται λοιπόν πως και στις τρεις ποικιλίες η υδατική καταπόνηση επηρέασε τα φυτά ως προς τις ημέρες που χρειάστηκαν για να φτάσουν στα στάδια του ξεσταχυάσματος και της πλήρους άνθησης. Επηρεάστηκαν όμως με διαφορετικό τρόπο. Στην ποικιλία Charles τα φυτά με την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση είχαν τον πιο αργό ρυθμό ανάπτυξης. Το αντίθετο παρατηρήθηκε στις ποικιλίες Zhana και Asta.

Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη στην Ισπανία σε φυτά κριθαριού, κατά την περίοδο 1991-1992, βρέθηκε ότι τα φυτά που υποβλήθηκαν σε υδατική καταπόνηση είχαν την τάση να επιταχύνουν τον βιολογικό τους κύκλο για λίγες μόνο ημέρες (Gonzalez *et al.*, 1999). Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έφτασαν στην ωρίμανση εντός 188 ημερών, ενώ τα φυτά που υπέστησαν υδατική καταπόνηση εντός 181,5 ημερών. Επίσης, στο συγκεκριμένο πείραμα μετρήθηκε το

διάστημα το οποίο χρειάστηκε για το γέμισμα των σπόρων. Στα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά αυτό ήταν 40,5 ημέρες, ενώ στα φυτά που υπήρξαν υδατικά ελλείμματα ήταν 34 ημέρες.

Βρέθηκε πως στις ποικιλίες που μελετήθηκαν, ο χρόνος γεμίσματος ήταν για πολύ λίγο μικρότερος. Οι διαφορές σε σχέση με το πείραμα που αναφέρθηκε προηγουμένως, δηλαδή στο ότι ο χρόνος γεμίσματος των ποικιλιών που μελετήθηκαν εδώ, ήταν πολύ μικρότερος σε σχέση με τον χρόνο γεμίσματος των άλλων ποικιλιών, πιθανότατα οφείλεται στο ότι το πείραμα εδώ διεξήχθη σε υπόστεγο, το οποίο ουσιαστικά αύξησε ακόμα περισσότερο τις θερμοκρασίες επιταχύνοντας έτσι τον βιολογικό κύκλο των φυτών (Oweis *et al.*, 2000).

Ακολουθούν οι πίνακες ανάλυσης διασποράς.

**Πίνακας 3.2.4.a** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το χρόνο που χρειάστηκαν τα φυτά μέχρι το στάδιο του ξεσταχυάσματος.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	4,22917	3	1,40972	3,29	0,0357
Επίπεδα άρδευσης	1,72917	3	0,576389	1,35	0,2803
Ποικιλία	32,375	2	16,1875	21,79	0,0018
Επανάληψη x Ποικιλία	4,45833	6	0,743056		
Επίπεδο Άρδευσης x Ποικιλία	11,4583	6	1,90972	4,46	0,0029
Υπόλοιπο	11,5625	27	0,428241		
Σύνολο	65,8125	47			

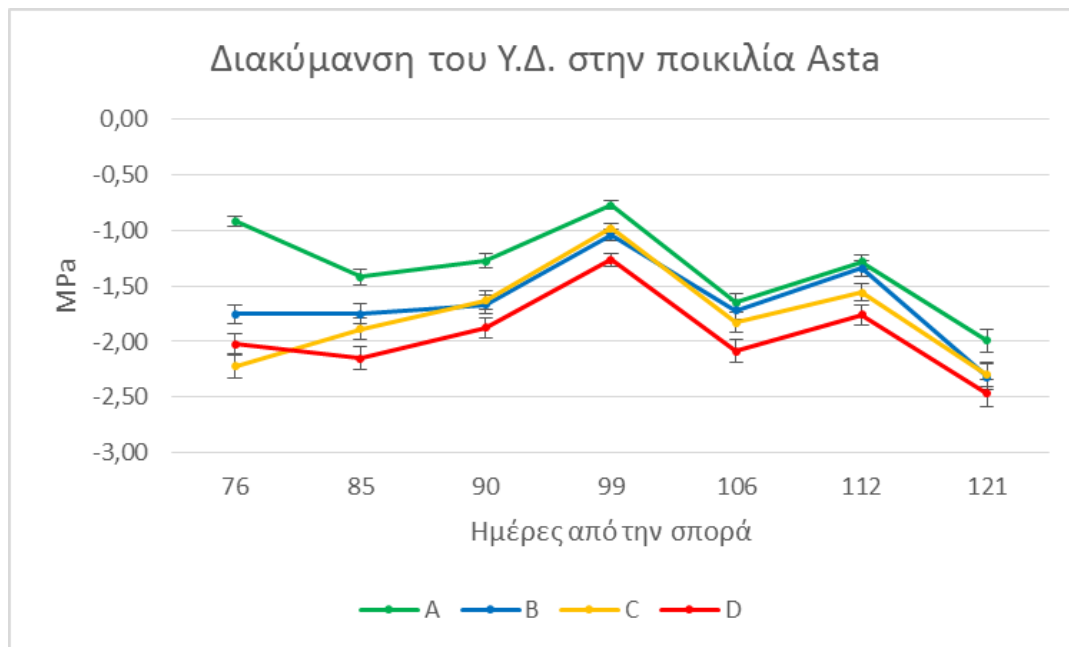
**Πίνακας 3.2.4.b** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το χρόνο που χρειάστηκαν τα φυτά μέχρι το στάδιο της άνθησης.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	7,16667	3	2,38889	3,42	0,0314
Επίπεδα άρδευσης	12,0833	3	4,02778	5,76	0,0035
Ποικιλία	21,875	2	10,9375	14,72	0,0049
Επανάληψη x Ποικιλία	4,45833	6	0,743056		
Επίπεδο Άρδευσης x Ποικιλία	36,5417	6	6,09028	8,71	0
Υπόλοιπο	18,875	27	0,699074		
Σύνολο	101	47			

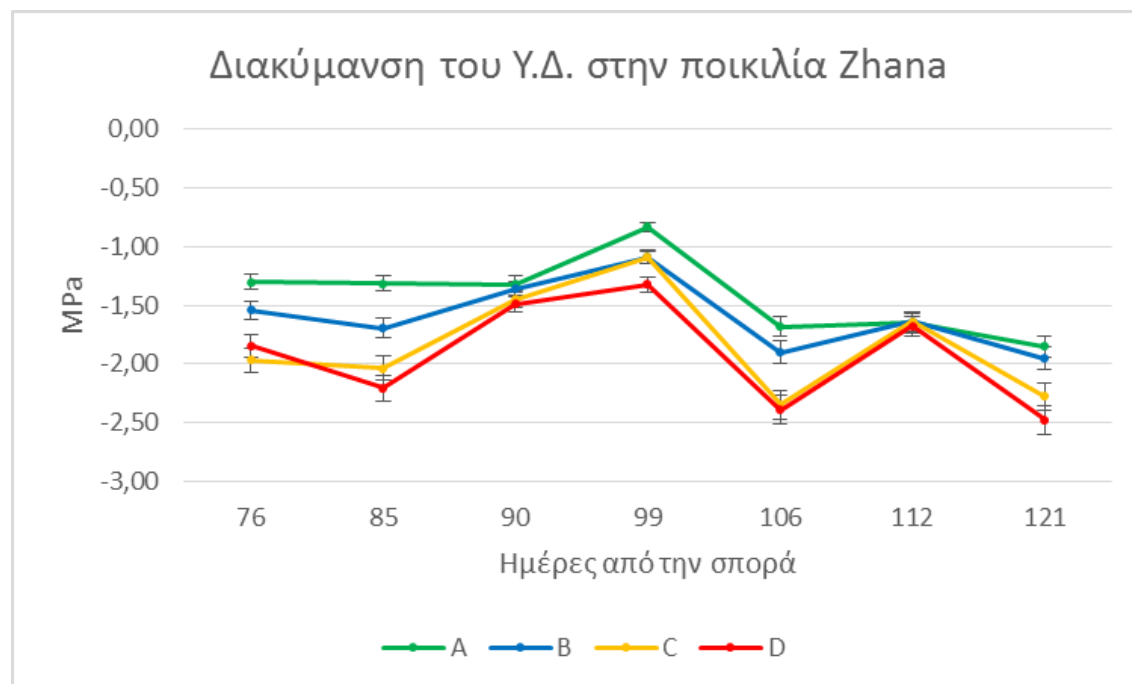
### 3.3 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

#### 3.3.1 ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

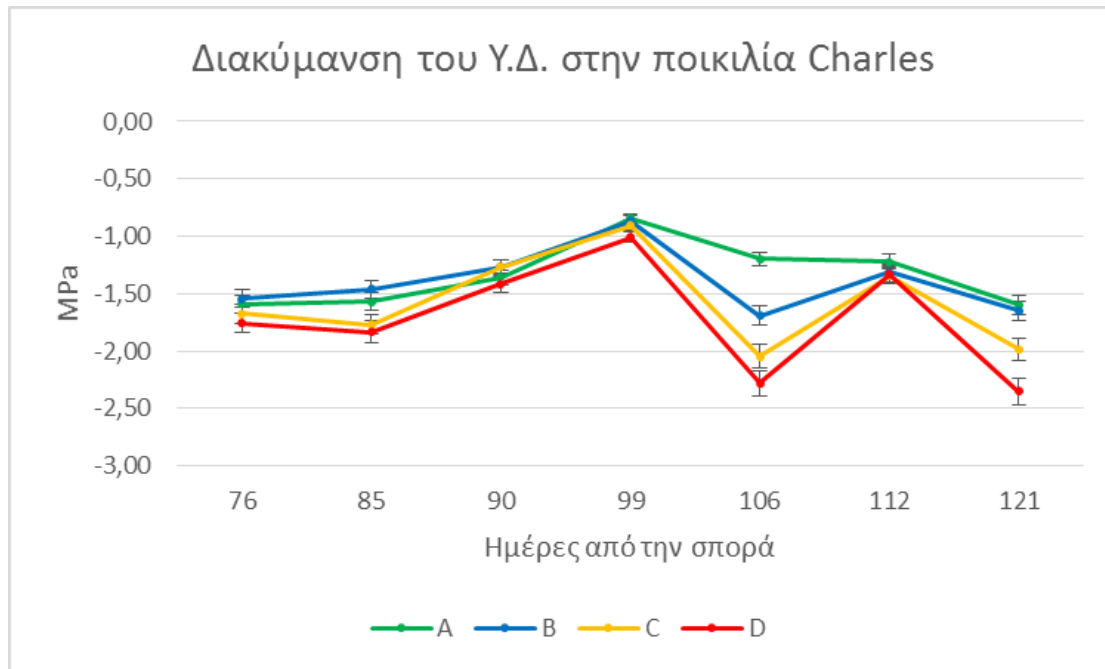
Οι μετρήσεις του υδατικού δυναμικού σε σχέση με την πάροδο του χρόνου δίνονται από τα παρακάτω διαγράμματα.



**Διάγραμμα 3.3.1.a** Η διακύμανση του υδατικού δυναμικού (MPa) στην ποικιλία Asta 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 B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μεγάλη υδατική καταπόνηση.



**Διάγραμμα 3.3.1.b** Η διακύμανση του υδατικού δυναμικού (MPa) στην ποικιλία Zhana 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 B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μεγάλη υδατική καταπόνηση.



**Διάγραμμα 3.3.1.c** Η διακύμανση του υδατικού δυναμικού (MPa) στην ποικιλία Charles 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 B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μεγάλη υδατική καταπόνηση.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά επτά (7) μετρήσεις υδατικού δυναμικού κατά την 76η, 85η, 90η, 99η, 106η, 112η και 121η ημέρα από την σπορά.

Στην ποικιλία Asta, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, το υδατικό δυναμικό ακολουθεί πτωτική πορεία με κάποιες διακυμάνσεις στα επίπεδα υδατικής καταπόνηση A, B και D. Στο επίπεδο C το υδατικό δυναμικό έχει έντονες διακυμάνσεις και καταλήγει στην τελευταία μέτρηση να είναι λίγο μικρότερο από το αρχικό.

Πιο συγκεκριμένα, το υδατικό δυναμικό στο επίπεδο A, όπου τα φυτά αρδεύονταν κανονικά, κατά την 76η ημέρα ήταν  $-0,92$  MPa. Στην συνέχεια έπειτα από μία πτώση στα  $-1,42$  MPa, ακολούθησε άνοδος στα  $-0,77$  MPa κατά την 99η ημέρα από την σπορά. Αντίστοιχη πορεία ακολούθησε το υδατικό δυναμικό και των επιπέδων υδατικής καταπόνησης B, C και D. Στο επίπεδο B, η πρώτη μέτρηση στις 76 ημέρες ήταν  $-1,75$  MPa και κατέληξε στην τελευταία μέτρηση στα  $-2,32$  MPa. Τα φυτά του επιπέδου υδατικής καταπόνησης C, είχαν μικρότερο υδατικό δυναμικό από αυτά του επιπέδου D κατά την πρώτη μέτρηση. Συγκεκριμένα, είχαν  $-2,22$  MPa, ενώ εκείνα του επιπέδου D είχαν  $-2,03$  MPa. Στο τέλος όμως, τα φυτά του επιπέδου C είχαν υδατικό δυναμικό  $-2,3$  MPa, ενώ τα φυτά του επιπέδου D  $-2,47$  MPa.

Όπως φαίνεται, τόσο τα φυτά του επιπέδου C, όσο και τα φυτά του επιπέδου D δεν είχαν μεγάλη μείωση του υδατικού δυναμικού παρά το ότι ήταν αυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση. Όμως, τα φυτά των επιπέδων με την μικρότερη καταπόνηση, ειδικά το A, είχαν σταθερά μεγαλύτερες τιμές υδατικού δυναμικού σε όλη την διάρκεια του βιολογικού κύκλου όπως ήταν αναμενόμενο.

Στην ποικιλία Zhana παρατηρούμε επίσης σε όλα τα επίπεδα μείωση του υδατικού δυναμικού με διακυμάνσεις κατά την εξέλιξη του βιολογικού κύκλου. Πιο συγκεκριμένα, στις 76 ημέρες από την σπορά, το επίπεδο που αρδευόταν κανονικά είχε υδατικό δυναμικό  $-1,3$  MPa, και κατέληξε στις 121 ημέρες στο  $-1,85$  MPa. Τα φυτά του επιπέδου B, με την μικρή υδατική καταπόνηση είχαν στις 76 ημέρες υδατικό δυναμικό  $-1,54$  MPa το οποίο μειώθηκε στο  $-1,95$  MPa. Τα επίπεδα με την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση C και D είχαν υδατικό δυναμικό στις 76 ημέρες  $-1,97$  MPa και  $-1,85$  MPa αντίστοιχα. Και στα δύο επίπεδα το υδατικό δυναμικό μειώθηκε, με το επίπεδο C να έχει  $-2,28$  MPa και το D  $-2,48$  MPa.

Όπως στην ποικιλία Asta, έτσι και στην Zhana παρατηρήθηκε πως το επίπεδο υδατικής καταπόνησης C είχε αρχική μέτρηση χαμηλότερη από το επίπεδο D. Επίσης, όπως ήταν αναμενόμενο, το υδατικό δυναμικό ήταν χαμηλότερο στα επίπεδα που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση.

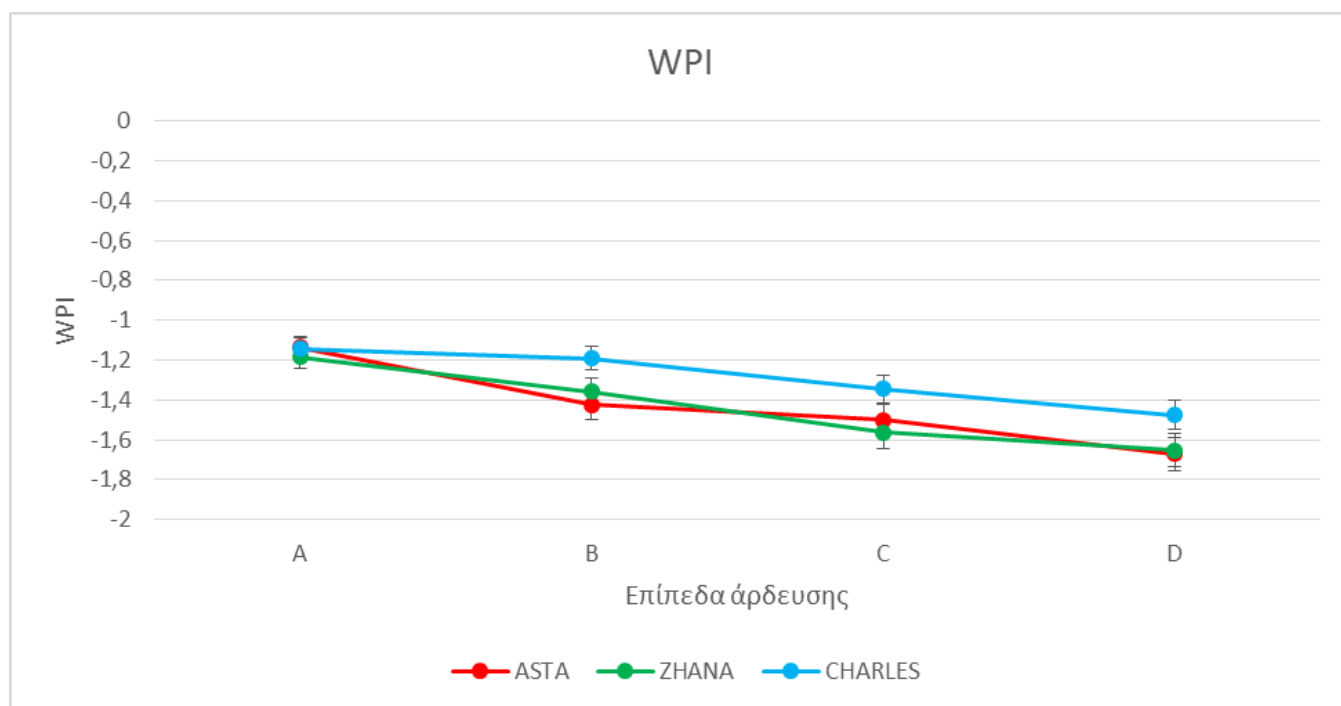
Στην ποικιλία Charles, όπως φαίνεται στο διάγραμμα, σε όλα τα επίπεδα υδατικής καταπόνησης, από την 76η ημέρα έως την 99η υπήρξε αύξηση του υδατικού δυναμικού. Μετά από εκείνη την ημέρα ξεκίνησε η μείωση. Στα επίπεδα A και B, δηλαδή αυτά που καταπονήθηκαν λιγότερο, το υδατικό δυναμικό ακολούθησε παρόμοια πορεία. Συγκεκριμένα, στην πρώτη μέτρηση το επίπεδο A είχε  $-1,59$  MPa, ενώ το B είχε λίγο λιγότερο  $-1,55$  MPa. Στις 121 ημέρες από την σπορά, το επίπεδο A είχε υδατικό δυναμικό  $-1,6$  MPa, ενώ το B είχε  $-1,65$  MPa. Αντίστοιχα, τα επίπεδα με την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση, C και D, είχαν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ τους στις 76 ημέρες με το C να έχει υδατικό δυναμικό  $-1,67$  MPa και το D  $-1,76$  MPa. Στην τελευταία μέτρηση όμως, το υδατικό δυναμικό του επιπέδου C ήταν στο  $-1,99$  MPa, ενώ αυτό του D ήταν στο  $-2,35$  MPa. Όπως και στις άλλες δύο ποικιλίες, έτσι και εδώ παρατηρήθηκε ότι τα επίπεδα με την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση είχαν μικρότερο υδατικό δυναμικό από αυτά που καταπονήθηκαν λιγότερο.

Γενικότερα, και στις τρεις ποικιλίες παρατηρήθηκε ότι υπήρξε άνοδος του υδατικού δυναμικού κατά το διάστημα μέχρι τις 99 ημέρες από την σπορά. Τότε δηλαδή όπου τα φυτά βρίσκονταν στα στάδια μεταξύ της ανάπτυξης του κολεού και

της εμφάνισης των αγάνων. Από το σημείο εκείνο και έπειτα υπήρξε μείωση του υδατικού δυναμικού. Συνολικά και στις τρεις ποικιλίες το υδατικό δυναμικό μειωνόταν όσο μεγαλύτερο ήταν το επίπεδο υδατικής καταπόνησης, με αποτέλεσμα τα επίπεδα A και B να είναι σταθερά μεγαλύτερα από τα C και D με μία εξαίρεση. Στην ποικιλία Asta, το επίπεδο B κατέληξε να έχει μικρότερο υδατικό δυναμικό από το επίπεδο C.

### 3.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (WATER POTENTIAL INDEX)

Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) έδειξε πως ο δείκτης υδατικού δυναμικού επηρεάστηκε με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τις διάφορες μεταχειρίσεις του νερού. Επίσης η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο παραγόντων, δηλαδή των επιπέδων άρδευσης και των ποικιλιών, έδειξε να επηρεάζει στατιστικά σημαντικά τον δείκτη υδατικού δυναμικού. Αντίθετα, οι ποικιλίες δεν διαφοροποιήθηκαν σημαντικά μεταξύ τους όσον αφορά το συγκεκριμένο δείκτη.



**Διάγραμμα 3.3.2.a** Απεικόνιση των τιμών του WPI των τριών ποικιλιών στα τέσσερα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης. Όπου 1=Κανονική άρδευση, 2=Μικρή υδατική καταπόνηση, 3=Μεσαία υδατική καταπόνηση, 4=Μεγάλη υδατική καταπόνηση. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τα σημεία αντιπροσωπεύουν τα τυπικά σφάλματα.

Από το παραπάνω διάγραμμα, αλλά και από τον πίνακα των μέσω τιμών του δείκτη υδατικού δυναμικού (WPI) διαπιστώθηκε πως το σύνολο του φυτικού υλικού παρουσίασε πτώση στις τιμές του συγκεκριμένου δείκτη με την αύξηση των υδατικών ελλειμμάτων, δηλαδή από την επέμβαση A προς την επέμβαση D.

Μεταξύ των επεμβάσεων νερού δημιουργήθηκαν διαφορές υδατικού δυναμικού. Συγκεκριμένα, μεταξύ των επιπέδων A-D η διαφορά ήταν 0,44 MPa, μεταξύ των A-C η διαφορά ήταν 0,31 MPa, μεταξύ A-B ήταν 0,17 MPa, μεταξύ B-D ήταν 0,27 MPa, μεταξύ B-C ήταν 0,14 MPa και μεταξύ των C-D ήταν 0,13 MPa. Φαίνεται λοιπόν πως η μεγαλύτερη διαφορά ήταν μεταξύ των επιπέδων A-D (0,44 MPa) και η μικρότερη μεταξύ C-D (0,13 MPa).

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, η ποικιλία Charles είχε σταθερά μεγαλύτερες τιμές του δείκτη WPI σε όλα τα επίπεδα άρδευσης συγκρινόμενη με τις ποικιλίες Asta και Zhana. Αντίθετα η ποικιλία Asta είχε μεγαλύτερες τιμές του δείκτη WPI σε σχέση με την ποικιλία Zhana στα επίπεδα A και C. Ενώ η δεύτερη εμφάνισε μεγαλύτερες τιμές στα επίπεδα B και D.

**Πίνακας 3.3.2.a** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τον δείκτη υδατικού δυναμικού (WPI).

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επανάληψεις	0,58312	3	0,194373	37,96	0
Επίπεδα άρδευσης	1,3193	3	0,439768	85,89	0
Ποικιλία	0,229681	2	0,114841	3,16	0,1158
Επανάληψη x Ποικιλία	0,218367	6	0,036395		
Επίπεδο Άρδευσης x Ποικιλία	0,0820638	6	0,013677	2,67	0,0363
Υπόλοιπο	0,138247	27	0,00512		
Σύνολο	2,57078	47			

### 3.3.3 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΑΖΩΤΟΥ

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται η περιεκτικότητα των φυτών σε N κατά την άνθηση και κατά την συγκομιδή, η περιεκτικότητα των σπόρων σε N, η μετακίνηση του αζώτου εντός των φυτών (NT), η ικανότητα μετακίνησής του (NTE) αλλά και ο δείκτης συγκομιδής αζώτου (NHI).

**Πίνακας 3.3.3.a** Οι μετρήσεις της περιεκτικότητας των βλαστικών τμημάτων σε N κατά την άνθηση και την συγκομιδή της περιεκτικότητας των σπόρων σε N, της μετακίνησης του N στο φυτό (NT), της ικανότητας μετακίνησης του N (NTE) και του δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI).

Ποικιλίες	Επίπεδα καταπόνησης	N% βλαστικών τμημάτων		N% σπόρων	NT (g/φυτό)	NTE (%)	NHI
		Άνθηση	Συγκομιδή				
<b>Asta</b>	A	2,22	0,63	1,48	0,1599	71,93	0,70
	B	2,63	0,78	1,74	0,1853	70,52	0,69
	C	2,67	1,05	2,56	0,1620	60,27	0,71
	D	2,50	1,61	3,58	0,0898	34,89	0,69
<b>Zhana</b>	A	2,36	0,66	1,59	0,1710	72,43	0,71
	B	2,62	0,70	1,81	0,1922	73,33	0,72
	C	2,75	0,87	2,20	0,1879	68,17	0,72
	D	2,19	1,24	3,08	0,0959	43,40	0,72
<b>Charles</b>	A	2,56	0,72	1,73	0,1842	71,94	0,71
	B	2,72	0,79	1,81	0,1929	71,09	0,70
	C	2,65	0,98	2,33	0,1669	62,10	0,70
	D	2,76	1,15	2,84	0,1613	57,27	0,71

Ακολουθούν οι πίνακες ανάλυσης διασποράς (ANOVA) για τις παραπάνω μετρήσεις.

**Πίνακας 3.3.3.b** Ανάλυσης διασποράς (ANOVA) για το ποσοστό N στα βλαστικά τμήματα κατά την άνθηση.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επανάληψεις	0,151478	3	0,0504928	0,52	0,6728
Επίπεδα άρδευσης	0,758131	3	0,25271	2,6	0,0729
Ποικιλίες	0,347498	2	0,173749	1	0,5
Επανάληψη x Ποικιλία	0,394611	6	0,0657686		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	0,580464	6	0,096744	0,99	0,4491
Υπόλοιπο	2,62721	27	0,0973042		
Σύνολο	4,85939	47			



Πίνακας 3.3.3.c Ανάλυσης διασποράς (ANOVA) για το ποσοστό N στα βλαστικά τμήματα κατά την συγκομιδή.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	0,160346	3	0,0534486	1,33	0,2838
Επίπεδα άρδευσης	3,1282	3	1,04273	26,04	0
Ποικιλίες	0,189882	2	0,0949412	1,03	0,4128
Επανάληψη x Ποικιλία	0,553538	6	0,0922564		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	0,384123	6	0,0640205	1,6	0,1859
Υπόλοιπο	1,0812	27	0,0400445		
Σύνολο	5,49729	47			

Πίνακας 3.3.3.d Ανάλυσης διασποράς (ANOVA) για το ποσοστό N στους σπόρους.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	0,462413	3	0,154138	1,48	0,2432
Επίπεδα άρδευσης	17,8302	3	5,9434	56,93	0
Ποικιλίες	0,28931	2	0,144655	2,9	0,1314
Επανάληψη x Ποικιλία	0,299255	6	0,0498759		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	1,23193	6	0,205321	1,97	0,106
Υπόλοιπο	2,81896	27	0,104406		
Σύνολο	22,9321	47			

Πίνακας 3.3.3.e Ανάλυσης διασποράς (ANOVA) για την μετακίνηση (NT) του N στο φυτό (g/φυτό).

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	56,9799	3	18,9933	1,56	0,2216
Επίπεδα άρδευσης	376,817	3	125,606	10,33	0,0001
Ποικιλίες	58,8414	2	29,4207	2,97	0,1271
Επανάληψη x Ποικιλία	59,51	6	9,91833		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	95,3349	6	15,8891	1,31	0,288
Υπόλοιπο	328,371	27	12,1619		
Σύνολο	975,854	47			

**Πίνακας 3.3.3.f** Ανάλυσης διασποράς (ANOVA) για την ικανότητα μετακίνησης αζώτου (NTE) στο φυτό (%).

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	518,947	3	172,982	2,1	0,1235
Επίπεδα άρδευσης	5701,12	3	1900,37	23,08	0
Ποικιλίες	342,963	2	171,482	1,49	0,2979
Επανάληψη x Ποικιλία	689,702	6	114,95		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	832,867	6	138,811	1,69	0,1628
Υπόλοιπο	2222,8	27	82,3259		
Σύνολο	10308,4	47			

**Πίνακας 3.3.3.g** Ανάλυσης διασποράς (ANOVA) για τον δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI).

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	0,000889	3	0,000296294	0,36	0,7835
Επίπεδα άρδευσης	0,000349	3	0,000116204	0,14	0,9348
Ποικιλίες	0,00237	2	0,0011851	0,46	0,6537
Επανάληψη x Ποικιλία	0,015569	6	0,0025948		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	0,001847	6	0,000307759	0,37	0,8901
Υπόλοιπο	0,022321	27	0,000826716		
Σύνολο	0,043344	47			

Από την ανάλυση της διασποράς φαίνεται πως το επίπεδο εδαφικής υγρασίας επηρέασε στατιστικά σημαντικά το ποσοστό αζώτου στα βλαστικά μέρη κατά την συγκομιδή αλλά και στους σπόρους. Επίσης βρέθηκε πως οι διάφορες μεταχειρίσεις νερού επηρέασαν με στατιστικά σημαντικό τρόπο την μετακίνηση του αζώτου στα φυτά. Αντίθετα, η περιεκτικότητα των φυτών σε άζωτο κατά την συγκομιδή και ο NHI δεν επηρεάστηκαν στατιστικά σημαντικά από το υδατικό στρες.

Οι ποικιλίες δεν διέφεραν μεταξύ τους με στατιστικά σημαντικό τρόπο, ενώ το ίδιο βρέθηκε και για την αλληλεπίδραση μεταξύ του γονότυπου και των διάφορων μεταχειρίσεων νερού.

Οι ποικιλίες που μελετήθηκαν βρέθηκε πως επηρεάστηκαν διαφορετικά από την υδατική καταπόνηση όσον αφορά την περιεκτικότητα των βλαστικών τους τμημάτων

(φύλλα + στελέχη + ταξιανθίες) σε άζωτο κατά την άνθηση. Για την ακρίβεια, τα ποσοστά βρίσκονται μεταξύ 2,19% και 2,76%. Στην ποικιλία Asta το επίπεδο A (2,22%) είχε το χαμηλότερο ποσοστό, ενώ το C είχε το μεγαλύτερο (2,67%). Στην ποικιλία Zhana η μεγαλύτερη μέτρηση δόθηκε επίσης από το επίπεδο C (2,75%), ενώ την τάση να δίνει παρόμοιο ποσοστό είχε το επίπεδο D της ποικιλίας Charles (2,76%). Φαίνεται λοιπόν πως όλα τα επίπεδα, όλων των ποικιλιών είχαν την τάση να δίνουν παρόμοια ποσοστά αζώτου.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των βλαστικών τους τμημάτων σε άζωτο κατά την συγκομιδή, εδώ παρατηρήθηκε πως σε όλες τις ποικιλίες υπήρξε αύξηση της % περιεκτικότητάς τους καθώς αυξανόταν η υδατική καταπόνηση. Επίσης βρέθηκε πως τα επίπεδα A και B είχαν σχετικά κοντινές μετρήσεις, εκτός από την ποικιλία Asta όπου διέφεραν στατιστικά σημαντικά. Τέλος, το επίπεδο D της ποικιλίας Asta είχε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό αζώτου (1,6%) από τα αντίστοιχα των δύο άλλων ποικιλιών.

Το ποσοστό περιεκτικότητας των σπόρων σε άζωτο βρέθηκε πως επηρεάστηκε από τα αυξανόμενα υδατικά ελλείμματα. Φαίνεται πως η διαφορά των 0,44 MPa μεταξύ των ακραίων μεταχειρίσεων του νερού, όσον αφορά το δείκτη WPI, είχε ως αποτέλεσμα σε όλες τις ποικιλίες τα επίπεδα D να δώσουν τα μεγαλύτερα ποσοστά αζώτου, ενώ τα επίπεδα A και B είχαν την τάση να δίνουν κοντινές μετρήσεις χωρίς να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. Η ποικιλία Asta είχε την μεγαλύτερη μέτρηση από όλες τις ποικιλίες που μελετήθηκαν, στο επίπεδο D (3,57%) ενώ το χαμηλότερο ποσοστό δόθηκε επίσης από την ποικιλία Asta στο επίπεδο A (1,48%).

Η μετακίνηση του αζώτου (NT) εντός των φυτών φαίνεται πως παρεμποδίστηκε έως ένα ποσοστό καθώς αυξάνονταν τα υδατικά ελλείμματα. Βρέθηκε πως η διαφορά των 0,44 MPa μεταξύ των ακραίων μεταχειρίσεων του νερού είχε ως αποτέλεσμα να είναι αρκετά μειωμένη η NT στο επίπεδο D (μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση) στις ποικιλίες Asta (0,0897 g/φυτό) και Zhana (0,0958 g/φυτό). Πιο συγκεκριμένα, στην ποικιλία Asta, το επίπεδο B είχε την μεγαλύτερη NT (0,1852 g/φυτό) και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τα υπόλοιπα επίπεδα. Τα επίπεδα A και C είχαν την τάση να δίνουν παρόμοιες μετρήσεις. Στην ποικιλία Zhana τα επίπεδα B και C έδωσαν τις μεγαλύτερες μετρήσεις (0,1921 και 0,1879 g/φυτό) και διέφεραν στατιστικά σημαντικά από τα επίπεδα A (0,1709 g/φυτό) και D. Τέλος στην ποικιλία Charles, η NT είχε παρόμοιες τιμές σε όλες τις μεταχειρίσεις νερού. Πιο συγκεκριμένα, το επίπεδο B είχε την μεγαλύτερη NT (0,1929 g/φυτό) και διέφερε στατιστικά

σημαντικά από τα επίπεδα C (0,1669 g/φυτό) και D (0,1612 g/φυτό), ενώ το επίπεδο A είχε NT 0,1841 g/φυτό. Φαίνεται λοιπόν πως όλα τα επίπεδα και των τριών ποικιλιών είχαν την τάση να δίνουν κοντινές μετρήσεις κίνησης αζώτου που ήταν εντός του εύρους 0,1599-0,1929 g/φυτό, εκτός από τα επίπεδα D της ποικιλίας Asta και Zhana που είχαν σημαντικά μικρότερες τιμές.

Η ικανότητα μετακίνησης του αζώτου (NTE) βρέθηκε πως μειώθηκε καθώς αυξανόταν η υδατική καταπόνηση σε όλες τις ποικιλίες. Συγκεκριμένα, στην ποικιλία Asta, η NTE στα επίπεδα A (71,92%) και B (70,52%) δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, όμως διέφερε από τα επίπεδα C (60,27%) και D (34,89%). Στην ποικιλία Zhana η NTE στα επίπεδα A, B και C ήταν αρκετά κοντινή, με τα φυτά του επιπέδου B να έχουν την τάση να δίνουν μεγαλύτερη μέτρηση (73,33%). Στην ποικιλία Charles τα επίπεδα A (71,94%) και B (71,08%) δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, όμως διέφεραν με τα επίπεδα C (62,09%) και D (57,26%) που έδωσαν χαμηλότερες μετρήσεις. Φαίνεται πως στις ποικιλίες Asta και Zhana η αύξηση της υδατικής καταπόνησης επηρέασε περισσότερο την NTE, ενώ στην ποικιλία Charles η αντίδραση των φυτών στο αυξανόμενο υδατικό στρες ήταν πιο καλή, δίνοντας καλές μετρήσεις στα επίπεδα C και D.

Τέλος, ο δείκτης συγκομιδής του αζώτου (NHI) δεν διαφοροποιήθηκε από τις μεταχειρίσεις του νερού, αλλά ούτε και μεταξύ των ποικιλιών.

Η NTE που βρέθηκε από τους Przuli *et al.* (2003) σε φυτά κριθαριού που δεν εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση ήταν 49%, ενώ σε φυτά που λιπάνθηκαν ήταν 57%. Σε πείραμα σε φυτά σιταριού βρέθηκαν τιμές NTE μεταξύ 64,9% και 69% που συμφωνούν με αυτές παρατηρήθηκαν στο παρόν πείραμα (Dordas, 2009). Επίσης, οι Przuli *et al.* (2003) βρήκαν NHI μεταξύ 0,65 και 0,66, ενώ ο Dordas (2009) 0,68-0,7 (σε φυτά σιταριού) που είναι αρκετά κοντά στις μετρήσεις που καταγράφηκαν στο παρόν πείραμα.

Η μείωση της μετακίνησης του αζώτου καθώς αυξάνονται τα υδατικά ελλείμματα πιθανώς να οφείλεται στο ότι το άζωτο μεταφέρεται στα ανώτερα μέρη του φυτού μέσω της κίνησης του νερού. Συνεπώς υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης θα μετακινηθεί μικρότερη ποσότητα αζώτου. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από ερευνητές που διαπίστωσαν επίσης πως υπάρχει αντίστοιχη αντίδραση και σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και αυξημένης ξηρασίας (Koutroubas *et al.*, 2004).

Η αυξημένη περιεκτικότητα των σπόρων σε N καθώς αυξάνεται το επίπεδο υδατικής καταπόνησης είναι πιθανό να οφείλεται στο εξής γεγονός. Αν και η επανακινητοποίησή του από τα βλαστικά τμήματα στους καρπούς παρεμποδίζεται ως ένα ποσοστό υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης, ωστόσο η συσσώρευσή του στους καρπούς δεν φαίνεται να παρεμποδίζεται στον ίδιο βαθμό όπως συμβαίνει με τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης. Εξάλλου έχει επιβεβαιωθεί ότι υπό συνθήκες υδατικού στρες παρεμποδίζεται η φωτοσυνθετική λειτουργία (Καραμπουρνιώτης *et al.*, 2012), ενώ η μετακίνηση των υδατανθράκων στους σπόρους μειώνεται σημαντικά (Oweis *et al.*, 2000) και συνεπώς το βάρος των σπόρων μειώνεται με τη σειρά του (Acevedo *et al.*, 2002). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η αναλογία του N στο εσωτερικό των σπόρων και όχι η ποσότητά του.

Επίσης έχει βρεθεί πως σε πειράματα κατά τα οποία αφαιρέθηκε μέρος της ταξιανθίας, η συγκέντρωση του αζώτου στους σπόρους ήταν αυξημένη καθώς μειώθηκαν τα εν δυνάμει σημεία συσσώρευσής του (sink) (Yong-Zhan Ma *et al.*, 1996; Cartelle *et al.*, 2006; Voltas *et al.*, 1997; Dreccer *et al.*, 1997).

### **3.3.3.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.**

Και στις τρεις ποικιλίες βρέθηκε πως η σχέση του WPI με το άζωτο των φυτών κατά την συγκομιδή, την περιεκτικότητα του αζώτου στους σπόρους και την NTE ήταν γραμμική.

Αντίθετα, η σχέση του WPI με την περιεκτικότητα των φυτών σε N κατά την άνθηση, την NT και τον NHI δεν ήταν γραμμική σε καμία από τις τρεις ποικιλίες.

Φαίνεται από τον πίνακα γραμμικών παλινδρομήσεων (πίνακας 3.3.3.1.a) πως η ποικιλία Zhana έχει καλύτερη προσαρμογή όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της περιεκτικότητας σε N κατά την συγκομιδή ( $b=-0.7787$ ), την περιεκτικότητα του N στους σπόρους ( $b=-1.4437$ ) αλλά και στην ικανότητα μετακίνησης του N ( $b=35.2172$ ).

**Πίνακας 3.3.3.1.a** Οι γραμμικές παλινδρομήσεις μεταξύ των παραμέτρων και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και r<sup>2</sup>: συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

Ποικιλίες	a	b	r <sup>2</sup>
<b>Αζωτο στην άνθηση</b>			
<b>Asta</b>	1.80906	-0.488231	14.2288 ns
<b>Zhana</b>	2.46932	-0.00959	0.00716
<b>Charles</b>	2.67909	0.00318	0.0003 ns
<b>Αζωτο κατά την συγκομιδή</b>			
<b>Asta</b>	-1.10747	-1.48227	51.3219 **
<b>Zhana</b>	-0.255872	-0.778792	42.9109 **
<b>Charles</b>	-0.1692	-0.837928	44.2588 **
<b>Αζωτο στους σπόρους</b>			
<b>Asta</b>	-2.59371	-3.4433	65.7199 ***
<b>Zhana</b>	0.0992732	-1.4379	35.069 *
<b>Charles</b>	-0.373686	-1.97937	54.1341 **
<b>NT</b>			
<b>Asta</b>	29.1653	9.94035	20.1408 ns
<b>Zhana</b>	27.2519	7.692	18.4223 ns
<b>Charles</b>	28.4829	8.4111	11.459 ns
<b>NTE</b>			
<b>Asta</b>	138.514	55.2191	42.9516 **
<b>Zhana</b>	115.058	35.2172	34.5579 *
<b>Charles</b>	107.262	32.2988	43.9645 **
<b>NHI</b>			
<b>Asta</b>	0.700647	0.000752	0.002 ns
<b>Zhana</b>	0.774492	0.0402033	12.8044 ns
<b>Charles</b>	0.693965	-0.0092	0.528892 ns

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις τρεις ποικιλίες **1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18** στο Παράρτημα..

### 3.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

#### 3.4.1 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΣΤΟΥΣ ΣΠΟΡΟΥΣ

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη στα διάφορα επίπεδα άρδευσης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν.



**Διάγραμμα 3.4.1.a** Το ποσοστό πρωτεΐνης των σπόρων για τα τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: Κανονική άρδευση B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μέγιστη υδατική καταπόνηση.

**Πίνακας 3.4.1.a** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το ποσοστό πρωτεΐνης στους σπόρους.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επανάληψεις	18,063	3	6,02101	1,48	0,2432
Επίπεδα άρδευσης	696,492	3	232,164	56,93	0
Ποικιλίες	11,3012	2	5,65059	2,9	0,1314
Επανάληψη x Ποικιλία	11,6897	6	1,94828		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	48,1222	6	8,02036	1,97	0,106
Υπόλοιπο	110,116	27	4,07836		
Σύνολο	895,784	47			

Από την ανάλυση της διασποράς βρέθηκε πως οι διάφορες μεταχειρίσεις νερού επηρέασαν στατιστικά σημαντικά την περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη. Οι ποικιλίες δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ως προς αυτό το χαρακτηριστικό, ενώ η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν ήταν στατιστικά σημαντική επίσης.

Παρατηρήθηκε πως και στις τρεις ποικιλίες καθώς αυξανόταν η ένταση της υδατικής καταπόνησης, αυξήθηκε και η περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη.

Στην ποικιλία Asta, παρατηρήθηκε πως όλα τα επίπεδα διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Η διαφορά των 0,44 MPa μεταξύ των ακραίων μεταχειρίσεων του νερού, όσον αφορά το δείκτη WPI, είχε ως αποτέλεσμα το επίπεδο D να δώσει το μεγαλύτερο ποσοστό πρωτεΐνης (22,37%) ενώ ακολούθησαν τα C, B και A. Αντίστοιχη αντίδραση υπήρξε και στα φυτά των ποικιλιών Zhana και Charles, με την διαφορά όμως ότι δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επιπέδων A και B και στις δύο ποικιλίες.

Η σημασία της περιεκτικότητας των σπόρων σε πρωτεΐνη στο κριθάρι είναι μεγάλη, καθώς οι σπόροι που προορίζονται για βυνοποίηση θα πρέπει να είναι εντός συγκεκριμένων ορίων. Τα όρια αυτά είναι 9-12% πρωτεΐνης.

Στο παρόν πείραμα τα φυτά των επιπέδων A και B όλων των ποικιλιών ήταν εντός των ορίων. Το επίπεδο A της ποικιλίας Asta είχε το χαμηλότερο ποσοστό (9,28%), ενώ το επίπεδο B της ποικιλίας Charles είχε το υψηλότερο εντός των ορίων (11,34%). Συνεπώς τα φυτά που υπέστησαν μικρή υδατική καταπόνηση έδωσαν σπόρους κατάλληλους για βυνοποίηση από την πλευρά της πρωτεΐνης.

Γενικότερα έχει βρεθεί πως υπό συνθήκες υδατικού στρες μπορεί να υπάρξει αύξηση του ποσοστού πρωτεΐνης στους σπόρους. Γενικά έχουν επικρατήσει δύο σενάρια σύμφωνα με τον Bertholdsson, (1999).

Κατά την πρώτη περίπτωση, υδατική καταπόνηση κατά την περίοδο πριν την άνθηση μπορεί να οδηγήσει στην μειωμένη πρόσληψη N στην φάση της βλαστικής ανάπτυξης και ταυτόχρονα να μειώσει την παραγωγή. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει περισσότερο N διαθέσιμο κατά την περίοδο του γεμίσματος των σπόρων λόγω του μειωμένου αριθμού των κόκκων, έτσι αυξάνεται η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη περισσότερων εν δυνάμει σημείων συσσώρευσης του αζώτου (sink) οδηγεί στην μείωση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη των σπόρων, καθώς αυτή διαμοιράζεται σε μεγαλύτερο αριθμό κόκκων (Yong-Zhan Ma et al, 1996; Cartelle *et al.*, 2006; Voltas *et al.*, 1997; Dreccer *et al.*, 1997).

Κατά την δεύτερη περίπτωση, η υδατική καταπόνηση στα τελευταία στάδια του γεμίσματος των σπόρων περιορίζει την ενσωμάτωση των υδατανθράκων εντός των σπόρων, κάτι που προκαλεί πρωίμηση και μικρότερη διάλυση των πρωτεϊνών στον σπόρο.



### 3.4.1.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΠΟΡΩΝ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ

Για τις τρεις ποικιλίες που μελετήθηκαν βρέθηκε πως η σχέση μεταξύ του WPI και της περιεκτικότητας των σπόρων σε πρωτεΐνη ήταν γραμμική. Συγκεκριμένα για την ποικιλία Asta ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 65,72%, ενώ για την Zhana και την Charles ήταν 35,07% και 54,13% αντίστοιχα.

Φαίνεται από τον πίνακα 3.4.1.1.a πως η ποικιλία Charles εμφανίζει καλύτερη προσαρμογή στις συνθήκες ξηρασίας ( $b=-1,979$ ).

**Πίνακας 3.4.1.1.a** Οι τιμές των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της περιεκτικότητας των σπόρων σε πρωτεΐνη και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και  $r^2$ : συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

Ποικιλίες	a	b	$r^2$
Asta	-16,2107	-21,5206	65,7199***
Zhana	0,620458	-8,9869	35,069*
Charles	0,373686	-1,97937	54,1341**

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις τρεις ποικιλίες **19, 20, 21** στο Παράρτημα.

### 3.4.2 ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΠΟΡΟΥ

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέγεθος των σπόρων των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν στις διάφορες μεταχειρίσεις νερού. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τέσσερις κλάσεις διαμέτρων σπόρων, αλλά και το σύνολο του σπόρου που είναι κατάλληλο για βυνοποίηση από άποψη μεγέθους.

**Πίνακας 3.4.2** Η κατάταξη των σπόρων σε κλάσεις με βάση το μέγεθός τους. Αναφέρεται και η σημαντικότητα των παραγόντων.

Ποικιλία	Επίπεδο άρδευσης	>2,8mm	2,5-2,8mm	2,2-2,5mm	<2,2mm
KWS Asta	A	17,11%	28,86%	28,57%	25,46%
	B	16,18%	16,85%	32,83%	34,15%
	C	4,68%	26,05%	34,98%	34,29%
	D	0,00%	16,94%	40,79%	42,28%
	W effect (%)	-100,00	-41,31	+42,74	+66,03
Zhana	A	30,13%	31,19%	22,12%	16,57%
	B	29,57%	31,09%	22,39%	16,95%
	C	11,18%	27,79%	31,51%	29,51%
	D	11,28%	27,81%	31,46%	29,44%
	W effect (%)	-62,55	-10,82	+42,27	+77,66
Charles	A	18,27%	29,06%	28,00%	24,67%
	B	2,26%	26,20%	35,94%	35,60%
	C	0,00%	9,41%	43,95%	46,64%
	D	0,00%	3,40%	45,36%	51,24%
	W effect (%)	-100,00	-88,30	+62,03	+107,71
LSD <sub>(0.05)</sub>		10,84	8,06	6,93	10,4
Νερό (W)		***	***	***	***
Ποικιλία (V)		***	***	***	***
W x V		ns	**	ns	ns

Επίπεδα άρδευσης (Α-κανονικά αρδευόμενο, Β-μικρή υδατική καταπόνηση, Γ-μεσαία υδατική καταπόνηση, Δ-μεγάλη υδατική καταπόνηση)

\*, \*\*, \*\*\*, σημαντικότητα σε 0.05, 0.01 και 0.001 επίπεδο σημαντικότητας, αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

W effect συμβολίζει το % αύξησης ή μείωσης μέσω της αύξησης της έντασης της υδατικής καταπόνησης

W effect (%) = [(D-A)/A]\*100.

Η ανάλυση διασποράς δείχνει πως όλες οι κλάσεις του μεγέθους των σπόρων επηρεάστηκαν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τις διάφορες μεταχειρίσεις νερού. Επίσης φαίνεται πως το μέγεθος των σπόρων επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά και

από τις ποικιλίες. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο αυτών παραγόντων όμως δεν ήταν στατιστικά σημαντική εκτός από την κλάση των 2,5 mm.

Το βυνοποιήσιμο κλάσμα (Μέγεθος καρπών > 2,2 mm) βρέθηκε πως επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από τις διάφορες μεταχειρίσεις νερού, αλλά και από τις ποικιλίες. Όμως, ούτε σε αυτό το χαρακτηριστικό η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων ήταν σημαντική.

Στην ποικιλία Asta, η γενικότερη εικόνα δείχνει πως το ποσοστό των μεγάλων σπόρων μειώνεται καθώς αυξάνει η ένταση της υδατικής καταπόνησης. Συνεπώς υπάρχουν λιγότεροι σπόροι στην κλάση των 2,8 mm από ότι στις άλλες δύο, ενώ στην κλάση των 2,2 mm υπάρχει το μεγαλύτερο ποσοστό. Όπως φαίνεται, η υδατική καταπόνηση επηρέασε σημαντικά το ποσοστό των σπόρων σε όλες τις κλάσεις μεγέθους. Πιο συγκεκριμένα, τα επίπεδα που καταπονήθηκαν λίγο ή και καθόλου (B, A) το ποσοστό των πολύ μεγάλων σπόρων ήταν 16,18% και 17,11% αντίστοιχα, ενώ στα επίπεδα με την μεσαία και μεγάλη καταπόνηση το ποσοστό των πολύ μεγάλων σπόρων ήταν σχεδόν μηδενικό (4,68% και 0%) και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τα άλλα δύο. Στην κλάση των 2,5 mm τα ποσοστά είναι αρκετά μεγαλύτερα, με τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά να δίνουν 28,86% (επίπεδο A) και τα φυτά του επιπέδου C να έχουν την τάση να δίνουν λίγο μικρότερη τιμή (26,05%). Στην κλάση των 2,2 mm παρατηρήθηκε πως καθώς η υδατική καταπόνηση αυξανόταν, αυξήθηκε και το ποσοστό των σπόρων. Πιο συγκεκριμένα, το επίπεδο D έχει ποσοστό 40,79% που είναι στατιστικά μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα επίπεδα. Στην συνέχεια ακολουθούν το επίπεδο C (34,98%), το B (32,83%) και το A (28,57%). Όσον αφορά το βυνοποιήσιμο κλάσμα, βρέθηκε πως τα υδατικά ελλείματα επηρέασαν αρνητικά τα ποσοστά του. Το επίπεδο A είχε τιμή 74,54% που διέφερε στατιστικά σημαντικά από όλα τα υπόλοιπα επίπεδα. Στην συνέχεια ακολουθεί το επίπεδο B (65,85%) με το επίπεδο C έχει σχεδόν ίδια τιμή (65,71%), ενώ στατιστικά μικρότερη είναι η τιμή του D (57,72%).

Στην ποικιλία Zhana παρατηρήθηκε πως τα επίπεδα A και B, δηλαδή τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά ή καταπονήθηκαν λίγο, έδωσαν παρόμοιες μετρήσεις στις κλάσεις των 2,8 mm και των 2,5 mm. Τα επίπεδα C και D έδωσαν στην κλάση 2,8 mm μικρότερα ποσοστά που διέφεραν στατιστικά σημαντικά από τα άλλα επίπεδα. Αντίθετα, στην κλάση 2,5 mm και πάλι το ποσοστό τους ήταν παρόμοιο, αλλά λίγο μικρότερο από αυτό των επιπέδων A και B. Στην κλάση των 2,2 mm υπήρξε διαφορετική αντίδραση των φυτών, με τα επίπεδα C και D να έχουν στατιστικά

μεγαλύτερα ποσοστά (31,51% και 31,46% αντίστοιχα) από τα A και B (22,12% και 22,39%). Όσον αφορά το βυνοποιήσιμο κλάσμα, τα ποσοστά της ποικιλίας Zhana ήταν αρκετά μεγάλα, τα φυτά των επιπέδων A και B (83,43% και 83,05%) έδωσαν παρόμοιες και στατιστικά μεγαλύτερες μετρήσεις σε σχέση με τα φυτά των επιπέδων C και D (70,49% και 70,56%).

Η ποικιλία Charles στην κλάση των 2,8 mm όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, έδωσε πολύ χαμηλές μετρήσεις. Συγκεκριμένα το επίπεδο A έδωσε 18,27% ενώ τα υπόλοιπα επίπεδα έδωσαν μηδενικές μετρήσεις. Στην κλάση των 2,5 mm τα επίπεδα A και B (29,06% και 26,2%) είχαν τις μεγαλύτερες μετρήσεις και διέφεραν στατιστικά σημαντικά από τα επίπεδα C και D (9,41% και 3,4%) που φαίνεται να επηρεάστηκαν από την υδατική καταπόνηση. Αντίθετα, στην κλάση των 2,2 mm τα φυτά αντέδρασαν διαφορετικά στις συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Συγκεκριμένα, τα φυτά του επιπέδου D δίνουν την μεγαλύτερη μέτρηση μαζί με αυτά του επιπέδου C (45,36% και 43,95%) και διαφέρουν στατιστικά σημαντικά από τα επίπεδα A και B (28% και 35,94%). Όσον αφορά το βυνοποιήσιμο κλάσμα, φαίνεται πως η υδατική καταπόνηση επηρέασε αρνητικά τα ποσοστά. Το επίπεδο A (75,33%) είχε την μεγαλύτερη μέτρηση και διέφερε στατιστικά σημαντικά από όλα τα άλλα. Το μικρότερο ποσοστό βρέθηκε στο επίπεδο D (48,76%).

Μεταξύ των ποικιλιών, βρέθηκε πως στην κλάση των 2,8 mm η ποικιλία Zhana έδωσε στατιστικά μεγαλύτερα ποσοστά από τις υπόλοιπες σε όλα τα επίπεδα. Στην κλάση των 2,5 mm και πάλι η ποικιλία Zhana έχει την τάση να δίνει μεγαλύτερα ποσοστά σε όλα τα επίπεδα υδατικής καταπόνησης, με την ποικιλία Charles να δίνει μικρότερα ποσοστά, που διαφέρουν και στατιστικά σημαντικά στα επίπεδα C και D. Στην κλάση των 2,2 mm αντίθετα με τις προηγούμενες, η ποικιλία Zhana έχει στατιστικά μικρότερα ποσοστά από όλες τις άλλες. Η ποικιλία Charles βρέθηκε πως έχει τις μεγαλύτερες μετρήσεις και διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. Όσον αφορά το βυνοποιήσιμο κλάσμα, η ποικιλία Zhana έχει στα επίπεδα A, B και D στατιστικά μεγαλύτερα ποσοστά ενώ στο επίπεδο C έχει την τάση να δίνει μεγαλύτερες μετρήσεις. Οι ποικιλίες Asta και Charles έχουν παρόμοια ποσοστά στα επίπεδα A και B, αλλά στα C και D η Asta έχει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερες μετρήσεις από την Charles.

Φαίνεται λοιπόν πως η ποικιλία Zhana αντέδρασε καλύτερα στις συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Έδωσε τα μεγαλύτερα ποσοστά βυνοποιήσιμου κλάσματος σε όλες τις μεταχειρίσεις νερού. Επίσης είχε πολύ μεγάλα ποσοστά στην κλάση των

2,8 mm, εκεί όπου οι άλλες δύο ποικιλίες είχαν είτε μικρές είτε μηδενικές μετρήσεις. Γενικότερα παρατηρήθηκε πως η υδατική καταπόνηση επηρέασε και μείωσε τα ποσοστά και στις τρεις ποικιλίες στις κλάσεις των 2,8 mm, των 2,5 mm αλλά και στο βυνοποιήσιμο κλάσμα. Αντίθετα παρατηρήθηκε πως και οι τρεις ποικιλίες στην κλάση των <2,2 mm (μη βυνοποιήσιμο κλάσμα) αύξησαν τα ποσοστά τους καθώς αυξανόταν η υδατική καταπόνηση. Πιθανώς αυτό οφείλεται στην επιτάχυνση του βιολογικού κύκλου των φυτών των επιπέδων C και D, λόγω της αύξησης των υδατικών ελλειμμάτων που είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου και του ρυθμού γεμίσματος του σπόρου επηρεάζοντας έτσι και το μέγεθός του (Oweis *et al.*, 2000).

Έχει βρεθεί από προηγούμενες έρευνες πως η ξηρασία σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες κατά την περίοδο γεμίσματος των σπόρων, αύξησε την αναλογία των λεπτών σπόρων αλλά και την περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη (Fathi *et al.*, 1997; Savin *et al.*, 1997).

Για να διαπιστωθεί αν τελικά οι σπόροι που παρήχθησαν από τα φυτά, είναι κατάλληλοι για βυνοποίηση από κάθε άποψη, θα πρέπει να συνδυαστούν τα αποτελέσματα του μεγέθους των σπόρων, με αυτά της περιεκτικότητας των σπόρων σε πρωτεΐνη. Φαίνεται λοιπόν πως η ποικιλία Zhana παρουσίασε την καλύτερη συμπεριφορά, καθώς κατέγραψε το μεγαλύτερο ποσοστό σπόρων που μπορούν να οδηγηθούν για βυνοποίηση (μέγεθος σπόρων > 2,2mm), τόσο στο επίπεδο A (83,43%) όσο και στο επίπεδο B (83,05%) που υπέστη μικρή υδατική καταπόνηση. Ενδιαφέρον είναι επίσης το γεγονός ότι η ποικιλία Zhana παρουσίασε και το μικρότερο ποσοστό ακατάλληλων για βυνοποίηση σπόρων (μέγεθος σπόρων < 2,2mm) όταν η ένταση της υδατικής καταπόνησης ήταν υψηλή (επίπεδα C και D).

#### **3.4.2.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΣΠΟΡΩΝ**

Στις ποικιλίες Asta και Charles, αν και το επίπεδο υδατικής καταπόνησης επηρέασε στατιστικά σημαντικά το βυνοποιήσιμο κλάσμα, η σχέση με τον δείκτη WPI δεν ήταν γραμμική. Αντίθετα, στην ποικιλία Zhana, η σχέση του δείκτη WPI και του βυνοποιήσιμου κλάσματος ήταν γραμμική.

**Πίνακας 3.4.2.1** Οι τιμές των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ του βυνοποιήσιμου κλάσματος και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και  $r^2$ : συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

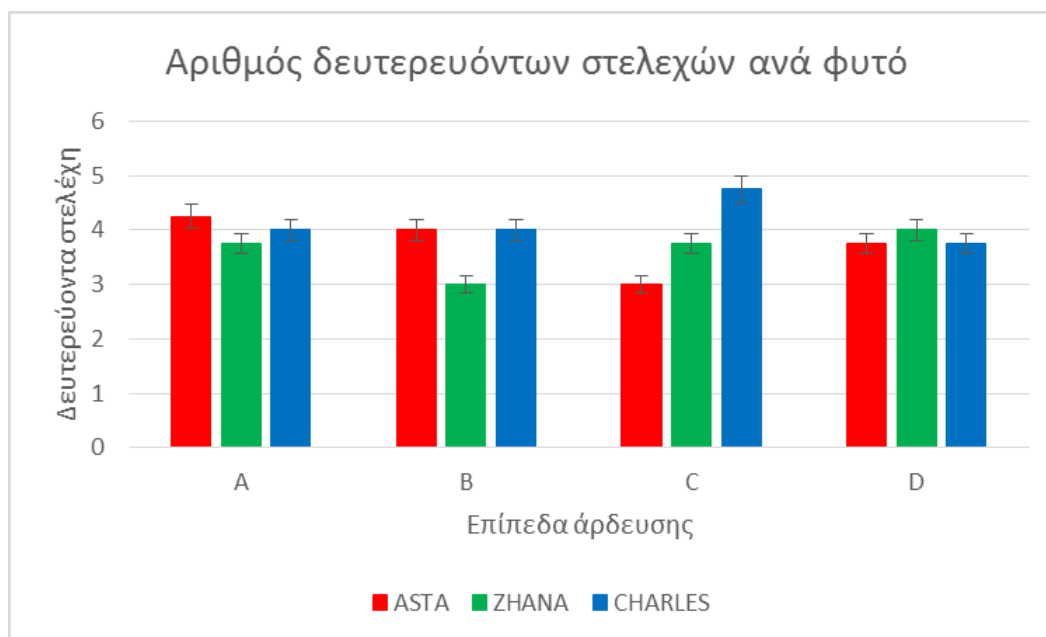
<b>Ποικιλίες</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
<b>Asta</b>	99,8879	23,6838	14,5133 ns
<b>Zhana</b>	100,144	16,1518	38,7678 **
<b>Charles</b>	92,309	24,7044	20,1948 ns

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις τρεις ποικιλίες **22, 23, 24** στο Παράρτημα.

### 3.5 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

#### 3.5.1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΑΝΑ ΦΥΤΟ

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο αριθμός των δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό, στα τέσσερα επίπεδα άρδευσης των ποικιλιών που μελετήθηκαν.



**Διάγραμμα 3.5.1.a** Ο αριθμός των δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό, για τα τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: Κανονική άρδευση B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μέγιστη υδατική καταπόνηση.

Ακολουθεί ο πίνακας ανάλυσης της διασποράς.

**Πίνακας 3.5.1.a** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τον αριθμό δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επανάληψεις	13,6667	3	4,55556	2,62	0,0714
Επίπεδα άρδευσης	0,666667	3	0,222222	0,13	0,9429
Ποικιλία	2,16667	2	1,08333	0,83	0,4807
Επανάληψη x Ποικιλία	7,83333	6	1,30556		
Επίπεδο Άρδευσης x Ποικιλία	7,33333	6	1,22222	0,7	0,6504
Υπόλοιπο	47	27	1,74074		
Σύνολο	78,6667	47			

Όπως παρατηρήθηκε από την ανάλυση της διασποράς, στον παραπάνω πίνακα, ο αριθμός των δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό δεν επηρεάστηκε στατιστικά

σημαντικά ούτε από την υδατική καταπόνηση, ούτε από τις ποικιλίες, αλλά ούτε και από την αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων.

Στην ποικιλία Asta παρατηρήθηκε πως ο μεγαλύτερος αριθμός δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό δόθηκε στο επίπεδο A (4,25 δ.σ./φυτό), δηλαδή στα φυτά που δεν υπέστησαν υδατική καταπόνηση. Από εκεί και πέρα, τα φυτά του επιπέδου B δεν διέφεραν αρκετά ως προς τον αριθμό δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό (4 δ.σ./φυτό). Τα φυτά που καταπονήθηκαν περισσότερο από την έλλειψη νερού, δηλαδή στα επίπεδα C και D, εμφάνισαν διαφορές τόσο μεταξύ τους, όσο και με τα άλλα δύο επίπεδα. Συγκεκριμένα, στο επίπεδο C παρατηρήθηκε ο μικρότερος αριθμός δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό (3 δ.σ./φυτό) ενώ στο επίπεδο με την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση ο αριθμός ήταν μεγάλος και πλησιάζει αυτούς των επιπέδων A και B (3,75 δ.σ./φυτό).

Στην ποικιλία Zhana όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, ο μεγαλύτερος αριθμός δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό δόθηκε από τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση, δηλαδή αυτά του επιπέδου D (4 δ.σ./φυτό). Τα φυτά των επιπέδων A και C έδωσαν παρόμοιο αριθμό δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό (3,7 και 3,75 δ.σ./φυτό). Αντίθετα τα φυτά του επιπέδου B που υπέστησαν μικρή υδατική καταπόνηση έδωσαν τον μικρότερο αριθμό δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό (3 δ.σ./φυτό).

Στην ποικιλία Charles τα επίπεδα A, B και D έδωσαν σχεδόν ίδιο αριθμό δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό (4, 4,05 και 3,79 δ.σ./φυτό αντίστοιχα). Τα φυτά όμως που υπέστησαν μεσαία υδατική καταπόνηση, στο επίπεδο C, έδωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό από όλα τα υπόλοιπα (4,75 δ.σ./φυτό).

Όπως φαίνεται, με εξαίρεση τα φυτά της ποικιλίας Asta στο επίπεδο C, η υδατική καταπόνηση δεν φαίνεται να επηρέασε ιδιαίτερα τα φυτά ως προς το αδελφωμα. Τα επίπεδα C και D, δηλαδή αυτά που καταπονήθηκαν περισσότερο έδωσαν αριθμούς δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό που πλησιάζουν αυτούς των φυτών που αρδεύτηκαν κανονικά. Η ποικιλία Charles φαίνεται να έδωσε σταθερά μεγάλους αριθμούς δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό σε όλα τα επίπεδα άρδευσης. Μάλιστα, το επίπεδο C, δηλαδή αυτό με την μεσαία υδατική καταπόνηση, έδωσε το μεγαλύτερο αριθμό δευτερευόντων στελεχών από όλα τα άλλα επίπεδα των υπόλοιπων ποικιλιών.



### 3.5.1.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΑΝΑ ΦΥΤΟ

Όπως φαίνεται, με δεδομένο ότι το επίπεδο άρδευσης δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά τον αριθμό δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό, η σχέση μεταξύ του δείκτη WPI και του αριθμού δευτερευόντων στελεχών δεν ήταν γραμμική για καμία από τις τρεις ποικιλίες που μελετήθηκαν.

**Πίνακας 3.5.1.1** Οι τιμές των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ του αριθμού των δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και  $r^2$ : συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

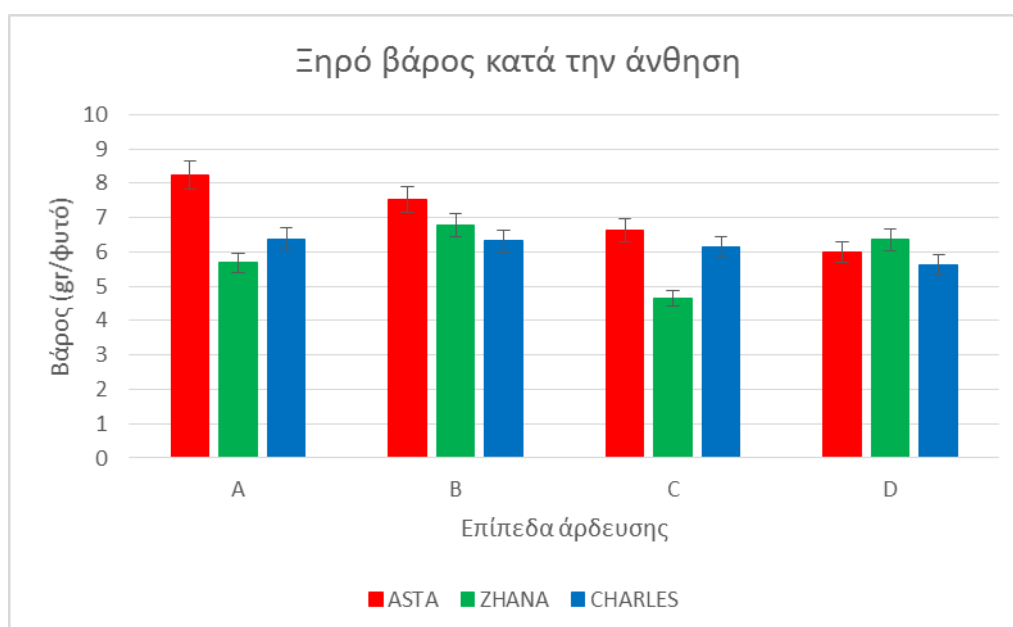
Ποικιλίες	a	b	$r^2$
Asta	5,74	1,38	5,53 ns
Zhana	1,51	-1,46	6,01 ns
Charles	5,19	0,82	2,69 ns

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης για τις τρεις ποικιλίες **25, 26, 27** στο Παράρτημα.

### 3.5.2 ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΤΩΝ

#### 3.5.2.1 ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΘΗΣΗ

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ξηρό βάρος των φυτών κατά την άνθηση, στα διάφορα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν.



**Διάγραμμα 3.5.2.1** Το ξηρό βάρος των φυτών κατά την άνθηση σε g/φυτό, για τα τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: Κανονική άρδευση B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μέγιστη υδατική καταπόνηση.

Ακολουθεί ο πίνακας ανάλυσης της διασποράς.

**Πίνακας 3.5.2.1** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το ξηρό βάρος των φυτών κατά την άνθηση.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	6,29551	3	2,0985	0,43	0,7358
Επίπεδα άρδευσης	10,4099	3	3,46996	0,7	0,5576
Ποικιλία	13,4069	2	6,70343	0,93	0,4433
Επανάληψη x Ποικιλία	43,042	6	7,17367		
Επίπεδο Άρδευσης x Ποικιλία	12,9673	6	2,16122	0,44	0,8463
Υπόλοιπο	132,959	27	4,92441		
Σύνολο	219,081	47			

Όπως παρατηρήθηκε από την ανάλυση της διασποράς, στον παραπάνω πίνακα, ούτε οι διάφορες μεταχειρίσεις νερού, ούτε και οι ποικιλίες επηρέασαν στατιστικά σημαντικά το ξηρό βάρος των φυτών κατά την άνθηση. Όπως αναμενόταν και η αλληλεπίδραση των δύο αυτών παραγόντων δεν ήταν στατιστικά σημαντική.

Στην ποικιλία Asta, το ξηρό βάρος των φυτών κατά την άνθηση φαίνεται να επηρεάστηκε, αν και όχι σημαντικά, από την αύξηση της υδατικής καταπόνησης. Έτσι, το βάρος μειώθηκε καθώς μειώθηκε και η διαθέσιμη εδαφική υγρασία. Το επίπεδο A είχε την τάση να δίνει μεγαλύτερο βάρος (8,22 g/φυτό), ενώ το μικρότερο δόθηκε από τα φυτά του επιπέδου D (5,98 g/φυτό).

Στην ποικιλία Zhana υπήρξε διαφορετική αντίδραση των φυτών στην υδατική καταπόνηση. Τα φυτά που υπέστησαν μικρή υδατική καταπόνηση (επίπεδο B) είχαν την τάση να δίνουν το μεγαλύτερο βάρος (6,76 g/φυτό) ενώ πολύ κοντά σε αυτή την παρατήρηση ήταν και τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη καταπόνηση (επίπεδο D) με βάρος 6,36 g/φυτό.

Στην ποικιλία Charles παρατηρήθηκε πως τα επίπεδα A, B και C έδωσαν πολύ κοντινές μετρήσεις όσον αφορά το ξηρό βάρος κατά την άνθηση. Συγκεκριμένα τα βάρη ήταν 6,37 g/φυτό για το A, 6,32 g/φυτό για το B και 6,15 g/φυτό για το C. Από εκεί και πέρα, τα φυτά που καταπονήθηκαν περισσότερο, έδωσαν μικρότερη μέτρηση (5,62 g/φυτό).

Φαίνεται πως η κάθε ποικιλία είχε διαφορετική αντίδραση απέναντι στην υδατική καταπόνηση ως προς το ξηρό βάρος των φυτών κατά την άνθηση. Είναι

ενδιαφέρον πως στην ποικιλία Asta αν και μειώθηκε το βάρος στα επίπεδα C και D, οι μετρήσεις ήταν παρόμοιες με όλα τα επίπεδα της ποικιλίας Charles, αλλά και μεγαλύτερες από τα επίπεδα A και C της ποικιλίας Zhana. Από την άλλη πλευρά, η ποικιλία Charles έδειξε να μην επηρεάζεται ιδιαίτερα από την έλλειψη νερού και ουσιαστικά κράτησε σταθερό το βάρος των φυτών κατά την άνθηση.

### 3.5.2.1.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΘΗΣΗ

Όπως αναμενόταν, καθώς η επίδραση των επιπέδων άρδευσης δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά το ξηρό βάρος των φυτών κατά την άνθηση σε καμία ποικιλία, ούτε η συνολική υδατική καταπόνηση επηρέασε σημαντικά την μέτρηση αυτή. Σε καμία ποικιλία η σχέση μεταξύ του δείκτη WPI και του ξηρού βάρους των φυτών κατά την άνθηση δεν ήταν γραμμική.

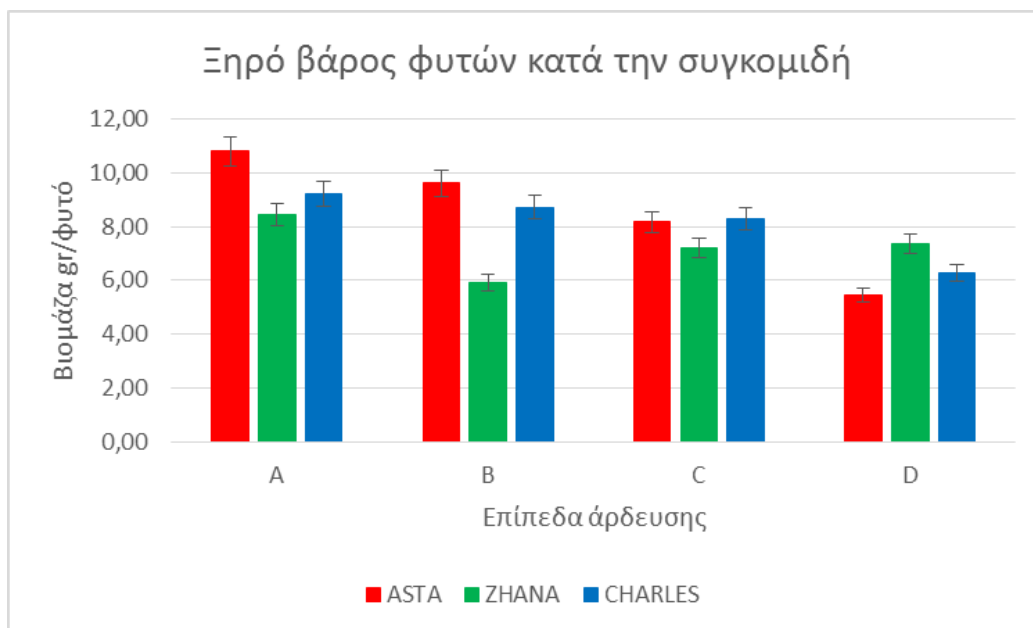
**Πίνακας 3.5.2.1.1** Οι τιμές των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ του ξηρού βάρους των φυτών κατά την άνθηση και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και  $r^2$ : συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

Ποικιλίες	a	b	$r^2$
Asta	10,7716	2,56668	6,69101 ns
Zhana	5,57624	-0,203088	0,0353125 ns
Charles	7,67999	1,2089	5,46055 ns

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις τρεις ποικιλίες **28, 29, 30** στο Παράρτημα. Το βάρος έχει μετρηθεί σε g.

### 3.5.2.2 ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ξηρό βάρος των φυτών στα διάφορα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών.



**Διάγραμμα 3.5.2.2** Το ξηρό βάρος των φυτών σε g/φυτό, για τα τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: Κανονική άρδευση B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μέγιστη υδατική καταπόνηση.

Ακολουθεί ο πίνακας ανάλυσης της διασποράς.

**Πίνακας 3.5.2.2** Ανάλυση της διασποράς (ANOVA) για το ξηρό βάρος των φυτών.

Πηγή παραλλακτικότητας	Αθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	56,92	3	18,9738	1,83	0,1663
Επίπεδα άρδευσης	58,94	3	19,648	1,89	0,155
Ποικιλία	13,63	2	6,81331	1,08	0,3974
Επανάληψη x Ποικιλία	37,83	6	6,30489		
Επίπεδο Άρδευσης x Ποικιλία	38,02	6	6,33603	0,61	0,7204
Υπόλοιπο	280,62	27	10,3933		
Σύνολο	485,96	47			

Όπως παρατηρήθηκε από τον πίνακα ανάλυσης της διασποράς, ούτε το επίπεδο εδαφικής υγρασίας, ούτε και οι ποικιλίες δεν επηρέασαν στατιστικά σημαντικά, ως παράγοντες, το ξηρό βάρος των φυτών. Επίσης, όπως αναμενόταν, ούτε η αλληλεπίδραση των δύο αυτών παραγόντων ήταν στατιστικά σημαντική.

Στην ποικιλία Asta παρατηρήθηκε μείωση του ξηρού βάρους των φυτών, καθώς αυξανόταν το επίπεδο της υδατικής καταπόνησης. Τα φυτά του επιπέδου A είχαν την τάση να δίνουν το μεγαλύτερο βάρος (10,8 g/φυτό) ενώ τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη καταπόνηση (επίπεδο D) έδωσαν το μικρότερο βάρος (5,45 g/φυτό).

Στην ποικιλία Zhana, παρατηρήθηκε πως τα φυτά αντέδρασαν διαφορετικά απέναντι στην αυξανόμενη υδατική καταπόνηση. Το επίπεδο A δίνει το μεγαλύτερο ξηρό βάρος (8,44 g/φυτό), ενώ τα επίπεδα C και D, που υπέστησαν μεσαία και μεγάλη καταπόνηση, έχουν την τάση να δίνουν παρόμοιες μετρήσεις (7,23 και 7,36 g/φυτό αντίστοιχα).

Στην ποικιλία Charles, φαίνεται πως τα φυτά δεν επηρεάστηκαν από τις διάφορες μεταχειρίσεις νερού, καθώς οι μετρήσεις ήταν σχετικά σταθερές. Η μόνη διαφοροποίηση υπήρξε στο επίπεδο D, όπου το ξηρό βάρος ήταν αρκετά μικρότερο. Πιο συγκεκριμένα, στο επίπεδο A το βάρος ήταν 9,22 g/φυτό, στο επίπεδο B ήταν 8,71 g/φυτό, στο C ήταν 8,3 g/φυτό και τέλος στο D ήταν 6,26 g/φυτό.

Φαίνεται λοιπόν πως η αντίδραση των φυτών στις διάφορες μεταχειρίσεις νερού, ως προς το ξηρό βάρος κατά την συγκομιδή, ήταν διαφορετική για κάθε ποικιλία. Μάλιστα φαίνεται πως κάθε ποικιλία είχε αντίστοιχη αντίδραση με αυτή που είχε κατά την μέτρηση του ξηρού βάρους στην άνθηση.

Σε πείραμα που διεξήχθη στην Νέα Ζηλανδία, ο Ruiter (1999) βρήκε πως τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν σημαντικά μεγαλύτερη βιομάζα από τα φυτά που υπέστησαν υδατική καταπόνηση. Αντίστοιχα αποτελέσματα βρήκαν και οι Gonzalez *et al.* (1999) με τον γενότυπο και τις μεταχειρίσεις νερού να επηρεάζουν με στατιστικά σημαντικό τρόπο την παραγόμενη βιομάζα. Τέλος, και οι Albizio *et al.* (2010) έδειξαν πως η αύξηση της υδατικής καταπόνησης επηρεάζει αρνητικά την παραγόμενη βιομάζα.

### 3.5.2.2.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Όπως στο ξηρό βάρος κατά την άνθηση, έτσι και τώρα, σε καμία ποικιλία από τις τρεις που μελετήθηκαν, η σχέση μεταξύ του δείκτη WPI και του ξηρού βάρους κατά την συγκομιδή δεν ήταν γραμμική.

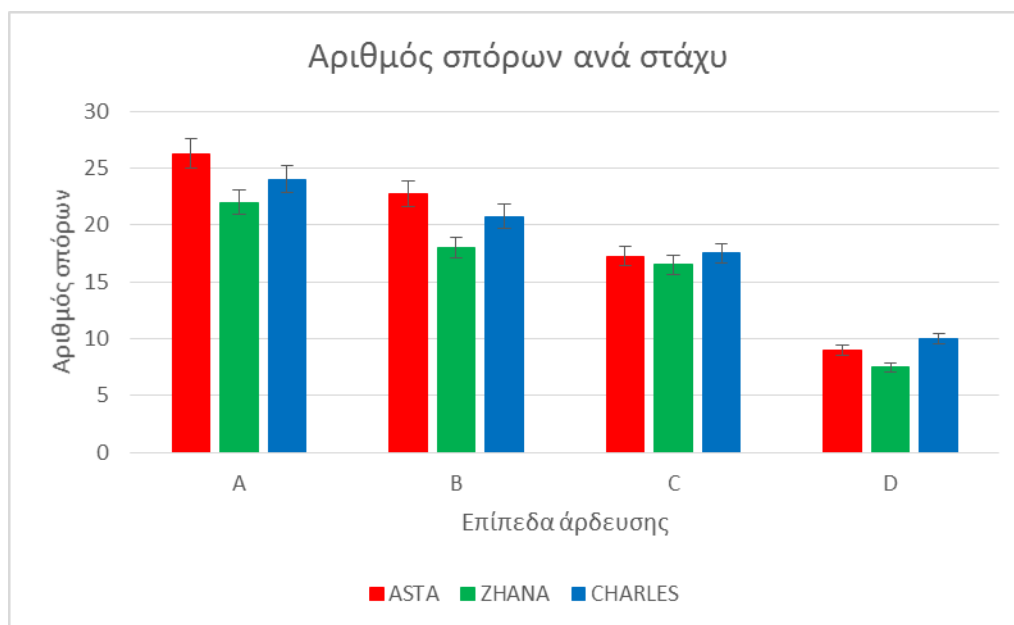
**Πίνακας 3.5.2.2.1** Οι τιμές των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ του ξηρού βάρους των φυτών και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και  $r^2$ : συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

Ποικιλίες	a	b	$r^2$
Asta	21,8963	9,34696	24,6987 ns
Zhana	9,29167	1,42924	1,39618 ns
Charles	11,8959	2,92582	6,34195 ns

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις τρεις ποικιλίες **31, 32, 33** στο Παράρτημα. Το βάρος έχει μετρηθεί σε g.

### 3.5.3 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΠΟΡΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο μέσος όρος των σπόρων στα διάφορα επίπεδα άρδευσης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν.



**Διάγραμμα 3.5.3** Ο αριθμός των σπόρων ανά στάχυ για τα τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: Κανονική άρδευση B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μέγιστη υδατική καταπόνηση.

**Πίνακας 3.5.3** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τον αριθμό των σπόρων ανά στάχυ.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επανάληψεις	96,0833	3	32,0278	3,37	0,033
Επίπεδα άρδευσης	1530,75	3	510,25	53,68	0,0000
Ποικιλίες	67,875	2	33,9375	1,42	0,3125
Επανάληψη x Ποικιλία	143,292	6	23,8819		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	28,625	6	4,77083	0,5	0,8013
Υπόλοιπο	256,625	27	9,50463		
Σύνολο	2123,25	47			

Από την ανάλυση της διασποράς, στον παραπάνω πίνακα, παρατηρήθηκε πως το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας επηρέασε στατιστικά σημαντικά τον αριθμό των παραγόμενων σπόρων. Αντίθετα, οι ποικιλίες δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ως προς αυτό το χαρακτηριστικό, ενώ ούτε η αλληλεπίδραση μεταξύ του επιπέδου άρδευσης και της ποικιλίας επηρέασε με αυτόν τον τρόπο τον αριθμό των σπόρων.

Στην ποικιλία Asta ο αριθμός των σπόρων ανά στάχυ φαίνεται πως επηρεάζεται από την αυξανόμενη υδατική καταπόνηση. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των σπόρων διαφέρει στατιστικά σημαντικά ανάμεσα σε όλα επίπεδα. Τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά, στο επίπεδο A, έδωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό σπόρων ανά στάχυ (26,25 σπόροι/στάχυ), ενώ ακολούθησαν τα φυτά του επιπέδου B, που υπέστησαν μικρή υδατική καταπόνηση (22,75 σπόροι/στάχυ). Τα φυτά που καταπονήθηκαν περισσότερο, στο επίπεδο D, έδωσαν πολύ μικρό αριθμό σπόρων ανά στάχυ (9 σπόροι/στάχυ).

Στην ποικιλία Zhana παρατηρήθηκε πάλι μείωση του αριθμού των σπόρων όσο αυξανόταν η υδατική καταπόνηση που υπέστησαν τα φυτά. Ο μεγαλύτερος αριθμός σπόρων ανά στάχυ δόθηκε από τα φυτά του επιπέδου A (22 σπόροι/στάχυ) και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τον αριθμό σπόρων των υπόλοιπων επιπέδων. Τα φυτά που υπέστησαν μικρή υδατική καταπόνηση είχαν την τάση να δίνουν μεγαλύτερο αριθμό σπόρων (18 σπόροι/στάχυ) από αυτά που υπέστησαν μεσαία υδατική καταπόνηση (16,5 σπόροι/στάχυ). Τέλος, τα φυτά που είχαν την μικρότερη εδαφική υγρασία έδωσαν και του λιγότερους σπόρους ανά στάχυ (7,5 σπόροι/στάχυ) και διέφεραν στατιστικά σημαντικά από αυτούς των υπόλοιπων επιπέδων.

Στην ποικιλία Charles, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, η υδατική καταπόνηση φαίνεται να οδήγησε στην μείωση του αριθμού των σπόρων ανά στάχυ. Όλα τα επίπεδα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ως προς τον αριθμό των σπόρων. Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά, στο επίπεδο A, έδωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό σπόρων (24 σπόροι/στάχυ). Ακολούθησαν τα φυτά του επιπέδου B (20,75 σπόροι/στάχυ). Τα φυτά που υπέστησαν μεσαία υδατική καταπόνηση (επίπεδο C) έδωσαν λίγο μικρότερο αριθμό (17,5 σπόροι/στάχυ), ενώ τα φυτά που καταπονήθηκαν περισσότερο, έδωσαν αρκετά μικρότερο αριθμό σπόρων (10 σπόροι/στάχυ).

Μεταξύ των τριών ποικιλιών φαίνεται πως στο επίπεδο που αρδεύτηκε κανονικά (επίπεδο A) και στο επίπεδο που υπέστη μικρή καταπόνηση (επίπεδο B) η ποικιλία Asta έχει την τάση να δίνει μεγαλύτερο αριθμό σπόρων ανά στάχυ, ενώ η

ποικιλία Zhana έχει την τάση να δίνει τον μικρότερο. Στο επίπεδο C, όπου τα φυτά υπέστησαν μεσαία υδατική καταπόνηση αλλά και στο επίπεδο D, με την μεγαλύτερη καταπόνηση, και οι τρεις ποικιλίες δίνουν σχετικά όμοιο αριθμό σπόρων ανά στάχυ. Πιο συγκεκριμένα, η ποικιλία Charles έχει την τάση να δίνει μεγαλύτερο αριθμό σπόρων, ενώ ακολουθεί η Asta με μικρές διαφορές. Η ποικιλία Zhana και στα δύο αυτά επίπεδα δίνει μικρότερο αριθμό σπόρων ανά στάχυ.

Ο μεγαλύτερος αριθμός σπόρων ανά στάχυ δόθηκε από τα φυτά του επιπέδου A της ποικιλίας Asta (26,25 σπόροι/στάχυ), ενώ ο μικρότερος αριθμός δόθηκε από το επίπεδο D της ποικιλίας Zhana (7,5 σπόροι/στάχυ). Τέλος, και στις τρεις ποικιλίες φαίνεται να υπάρχει παρόμοια αντίδραση στην αυξανόμενη υδατική καταπόνηση, καθώς ο αριθμός των παραγόμενων σπόρων ανά στάχυ μειώνεται από το επίπεδο A προς το επίπεδο D.

Τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται να συμφωνούν με αυτά που βρέθηκαν και σε άλλα πειράματα σε φυτά κριθαριού. Οι Gonzalez *et al.* (1999) βρήκαν πως τα φυτά 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 αυτές τις μετρήσεις. Σε άλλο πείραμα που διεξήχθη στην Ιορδανία, βρέθηκε επίσης ότι οι σπόροι ανά στάχυ μειώθηκαν καθώς αυξήθηκε το υδατικό στρες (Samarah, 2004). Αντίστοιχα αποτελέσματα δόθηκαν και σε άλλο πείραμα που έγινε επίσης στην Ιορδανία (Haddadin, 2015). Πιθανότατα, σύμφωνα με όσα έδειξαν και τα παραπάνω πειράματα, η υδατική καταπόνηση κατά τα στάδια σχηματισμού του στάχυ, να έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού των σπόρων ανά στάχυ. Η πρόταση αυτή έχει διατυπωθεί και από τον Ruiter (1999) που έδειξε πως ο αριθμός των σπόρων επηρεάζεται αρνητικά όταν υπάρξουν ελλείματα νερού είτε σε όλο το βιολογικό κύκλο του φυτού είτε και μόνο μέχρι το στάδιο της επιμήκυνσης του στελέχους.

### **3.5.3.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΠΟΡΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ**

Η σχέση μεταξύ του δείκτη WPI και του αριθμού των σπόρων ανά στάχυ ήταν γραμμική και στις τρεις ποικιλίες. Πιο συγκεκριμένα, στην ποικιλία Asta ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν 66,31%, στην ποικιλία Zhana ήταν 33,42% και στην ποικιλία Charles 52,15%.



Όπως φαίνεται από τον πίνακα 3.5.3.1 η ποικιλία Zhana εμφανίζει την καλύτερη προσαρμογή ως προς το χαρακτηριστικό του αριθμού σπόρων ανά στάχυ ( $b=12,6379$ ).

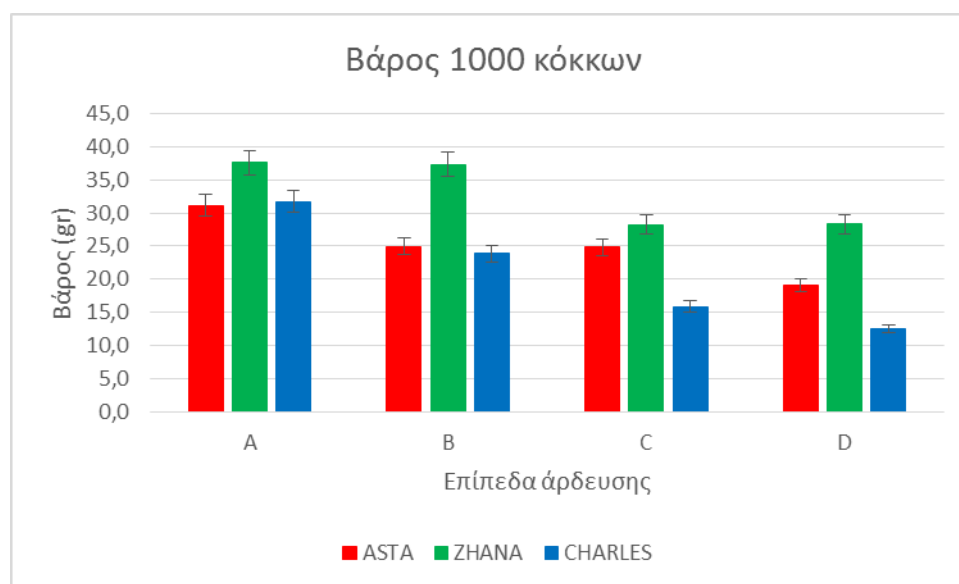
**Πίνακας 3.5.3.1** Οι τιμές των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ του αριθμού των σπόρων ανά στάχυ και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και  $r^2$ : συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

Ποικιλίες	a	b	$r^2$
Asta	64,7922	32,0937	66,3186 ***
Zhana	34,2025	12,6379	33,4284 *
Charles	45,1534	21,0023	52,1502 **

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις τρεις ποικιλίες **34, 35, 36** στο Παράρτημα.

### 3.5.4 ΒΑΡΟΣ 1000 ΚΟΚΚΩΝ

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το βάρος των χιλίων σπόρων για τα διάφορα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν. Το βάρος μετρήθηκε σε γραμμάρια (g).



**Διάγραμμα 3.5.4** Το βάρος των χιλίων σπόρων (g) για τα τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: Κανονική άρδευση B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μέγιστη υδατική καταπόνηση.

**Πίνακας 3.5.4** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το βάρος των χιλίων σπόρων.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επανάληψεις	128,372	3	42,7906	1,23	0,3176
Επίπεδα άρδευσης	1307,42	3	435,806	12,54	0,0000
Ποικιλίες	1166,83	2	583,416	36,82	0,0004
Επανάληψη x Ποικιλία	95,0621	6	15,8437		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	211,307	6	35,2178	1,01	0,4375
Υπόλοιπο	938,316	27	34,7525		
Σύνολο	3847,31	47			

Όπως φαίνεται από την ανάλυση της διασποράς, στον παραπάνω πίνακα, το επίπεδο άρδευσης επηρέασε στατιστικά σημαντικά το βάρος των 1000 σπόρων. Επίσης, οι ποικιλίες διέφεραν στατιστικά σημαντικά ως προς το βάρος αυτό. Αντίθετα, η αλληλεπίδραση μεταξύ της ποικιλίας και του επιπέδου άρδευσης δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά το βάρος των 1000 σπόρων.

Στην ποικιλία Asta τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά έδωσαν το μεγαλύτερο βάρος 1000 σπόρων (31,2 g) και μάλιστα διέφερε στατιστικά σημαντικά από το βάρος που έδωσαν τα επίπεδα που καταπονήθηκαν περισσότερο. Τα φυτά που υπέστησαν μικρή υδατική καταπόνηση (επίπεδο Β) είχαν την τάση να δίνουν σχεδόν ίδιο βάρος χιλίων σπόρων με τα φυτά που υπέστησαν μεσαία καταπόνηση (επίπεδο C). Τα δύο αυτά επίπεδα έδωσαν βάρος χιλίων σπόρων 24,9 και 24,8 g αντίστοιχα. Τέλος, τα φυτά που είχαν τα μεγαλύτερα υδατικά ελλείματα, στο επίπεδο D, έδωσαν το μικρότερο βάρος χιλίων σπόρων (19 g) και μάλιστα διέφερε στατιστικά σημαντικά από τα υπόλοιπα τρία επίπεδα.

Στην ποικιλία Zhana παρατηρήθηκε πως τα φυτά των επιπέδων με την μικρότερη υδατική καταπόνηση (Α και Β) έδωσαν βάρη χιλίων σπόρων που δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, όμως διέφεραν με αυτά των επιπέδων C και D. Συγκεκριμένα το επίπεδο Α έχει την τάση να δίνει μεγαλύτερο βάρος χιλίων σπόρων (37,6 g) από αυτό του επιπέδου Β (37,3 g). Επίσης, τα φυτά με την μεσαία υδατική καταπόνηση έχουν την τάση να δίνουν σχεδόν ίδιο βάρος χιλίων κόκκων με τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση (28,3 g).

Στην ποικιλία Charles όπως φαίνεται από το διάγραμμα, το βάρος των χιλίων σπόρων κάθε επιπέδου διέφερε στατιστικά σημαντικά. Μάλιστα, όσο αυξανόταν το υδατική καταπόνηση, μειωνόταν το βάρος των σπόρων. Πιο συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο βάρος 1000 σπόρων δόθηκε από τα φυτά του επιπέδου Α (31,8 g) και ακολούθησαν τα επίπεδα Β (23,9 g), C (15,9 g) και D (12,6 g).

Φαίνεται πως τα μεγαλύτερα βάρη χιλίων κόκκων δόθηκαν από την ποικιλία Zhana. Μάλιστα, τα επίπεδα C και D που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση έδωσαν βάρη λίγο μικρότερα αλλά δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά από τα επίπεδα A των ποικιλιών Asta και Charles. Το μικρότερο βάρος χιλίων σπόρων δόθηκε από το πιο ξηρικό επίπεδο (D) της ποικιλίας Charles. Γενικότερα φαίνεται πως η ποικιλία Charles είχε την τάση να δίνει μικρότερα βάρη από τις άλλες δύο ποικιλίες. Τέλος, παρατηρήθηκε σε όλες τις ποικιλίες η τάση να μειώνεται το βάρος των χιλίων σπόρων όσο αυξάνεται η υδατική καταπόνηση, επιβεβαιώνοντας έτσι αυτό που έδειξε η ανάλυση της διασποράς.

Τα αποτελέσματα φαίνεται να συμφωνούν με αυτά του Ruiter (1999) σε πείραμα που διεξήχθη το 1995 στην Νέα Ζηλανδία. Βρέθηκε πως φυτά κριθαριού που υπέστησαν υδατική καταπόνηση σε όλο το 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. Αντίστοιχα αποτελέσματα βρήκαν τόσο οι Gonzalez *et al.* (1999) όσο και οι Wu *et al.* (2015) με τα φυτά κριθαριού που υπέστησαν υδατική καταπόνηση να εμφανίζουν μικρότερο βάρος 1000 σπόρων από αυτά που αρδεύτηκαν κανονικά. 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 σάχχ τα οποία συμβάλλουν κατά 50-75% στο τελικό βάρος των καρπών (Καραμάνος, 1994). Συνεπώς, το βάρος των σπόρων αναμένεται να είναι μικρότερο σε φυτά που υπέστησαν υδατική καταπόνηση.

#### **3.5.4.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟ ΒΑΡΟΣ ΤΩΝ 1000 ΣΠΟΡΩΝ**

Στις ποικιλίες Asta και Charles, παρά το ότι το επίπεδο εδαφικής υγρασίας επηρέασε στατιστικά σημαντικά το βάρος των 1000 σπόρων, η σχέση μεταξύ του δείκτη WPI και του βάρους των σπόρων δεν ήταν γραμμική.

Αντίθετα στην ποικιλία Zhana, η σχέση μεταξύ του δείκτη WPI και του βάρους των χιλίων σπόρων ήταν γραμμική με συντελεστή προσδιορισμού 38,7%.

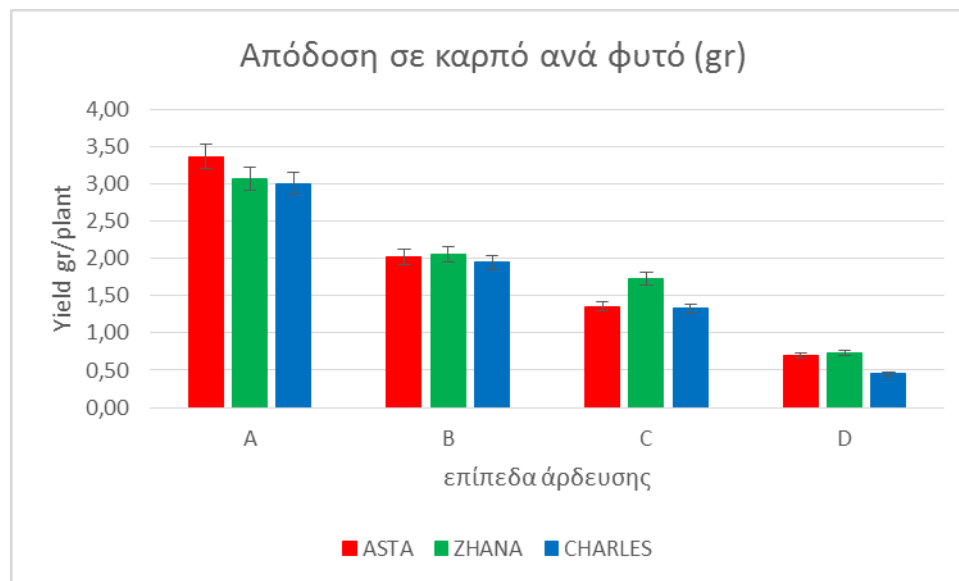
**Πίνακας 3.5.4.1** Οι τιμές των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ του βάρους των χιλίων σπόρων και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και  $r^2$ : συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

Ποικιλίες	a	b	$r^2$
<b>Asta</b>	49,4943	17,114	14,5133 ns
<b>Zhana</b>	49,6795	11,6716	38,7678 *
<b>Charles</b>	44,0335	17,8519	20,1948 ns

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις τρεις ποικιλίες **37, 38, 39** στο Παράρτημα.

### 3.5.5 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΚΑΡΠΟ ΑΝΑ ΦΥΤΟ

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο μέσος όρος της απόδοσης σε καρπό ανά φυτό στις διάφορες μεταχειρίσεις νερού των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν.



**Διάγραμμα 3.5.5** Η απόδοση σε καρπό ανά φυτό για τα τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: Κανονική άρδευση B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μέγιστη υδατική καταπόνηση.

**Πίνακας 3.5.5** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την απόδοση σε καρπό ανά φυτό.

Πηγή παραλλακτικότητας	Αθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επαναλήψεις	1,20727	3	0,402424	0,68	0,5728
Επίπεδα άρδευσης	40,2132	3	13,4044	22,6	0,0000
Ποικιλίες	0,426633	2	0,213317	0,51	0,625
Επανάληψη x Ποικιλία	2,5156	6	0,419266		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	0,497133	6	0,082856	0,14	0,9896
Υπόλοιπο	16,0129	27	0,593069		
Σύνολο	60,8726	47			

Από την ανάλυση της διασποράς στον παραπάνω πίνακα, παρατηρήθηκε πως οι μεταχειρίσεις του νερού άσκησαν στατιστικά σημαντική επίδραση στον καθορισμό της απόδοσης σε καρπό ανά φυτό. Αντίθετα, ούτε οι ποικιλίες, αλλά ούτε και η αλληλεπίδραση μεταξύ της υδατικής καταπόνησης και της ποικιλίας επηρέασαν στατιστικά σημαντικά το χαρακτηριστικό αυτό.

Στην ποικιλία Asta, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, όλες οι μεταχειρίσεις νερού διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά του επιπέδου A δίνουν σημαντικά μεγαλύτερη απόδοση καρπού (3,37 g/φυτό) σε σχέση με το αμέσως επόμενο επίπεδο που είναι το B (2,02 g/φυτό). Στην συνέχεια ακολουθούν τα φυτά της μεταχείρισης C (1,36 g/φυτό) και τελευταία τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση, στο επίπεδο D (0,7 g/φυτό).

Στην ποικιλία Zhana, τα φυτά που αρδεύτηκαν κανονικά (επίπεδο A) έδωσαν μεγαλύτερη απόδοση σε καρπό (3,07 g/φυτό) και διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο από τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Τα φυτά που υπέστησαν μικρή και μεσαία υδατική καταπόνηση έδωσαν απόδοση σε καρπό που διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους (2,06 και 1,73 g/φυτό αντίστοιχα). Τέλος, τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση είχαν και την μικρότερη απόδοση σε καρπό (0,45 g/φυτό) που διέφερε με στατιστικά σημαντικό τρόπο με την απόδοση των υπόλοιπων επιπέδων.

Στην ποικιλία Charles η απόδοση σε καρπό όλων των μεταχειρίσεων διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Τα φυτά που δεν καταπονήθηκαν (επίπεδο A) έδωσαν την μεγαλύτερη απόδοση (3,01 g/φυτό). Τα φυτά του επιπέδου B

ακολούθησαν με 1,95 g/φυτό και από εκεί και πέρα ήταν τα επίπεδα C και D με απόδοση 1,33 g/φυτό και 0,45 g/φυτό αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται και στις τρεις ποικιλίες υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων νερού. Επίσης, η αυξανόμενη υδατική καταπόνηση επηρέασε αρνητικά την απόδοση σε καρπό ανά φυτό, καθώς αυτή μειωνόταν από το επίπεδο A προς το επίπεδο D και στις τρεις ποικιλίες. Αξίζει όμως να αναφερθεί πως τα φυτά της ποικιλίας Zhana που υπέστησαν μεσαία υδατική καταπόνηση (1,73 g/φυτό) δεν είχαν μεγάλη διαφορά από τα φυτά της ποικιλίας Charles που υπέστησαν μικρή υδατική καταπόνηση (1,95 g/φυτό). Σε κάθε περίπτωση όμως, τα φυτά που υπέστησαν την μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση σε όλες τις ποικιλίες είχαν πολύ μικρή απόδοση σε καρπό.

Αντίστοιχα αποτελέσματα, δηλαδή μείωση της απόδοσης σε καρπό καθώς αυξήθηκε το υδατικό στρες, βρέθηκαν και σε άλλα πειράματα σε διάφορες ποικιλίες κριθαριού. Συγκεκριμένα, σε πείραμα που έγινε στην Ιταλία, η απόδοση με σε καρπό (grain yield) εμφάνισε μείωση καθώς αυξήθηκε η υδατική καταπόνηση (Albrizio *et al.*, 2010). Επίσης οι Gonzalez *et al.* (1999) βρήκαν πως τα φυτά που καταπονήθηκαν είχαν σχεδόν την μισή απόδοση σε καρπό σε σχέση με αυτά που αρδεύτηκαν κανονικά. Στο συγκεκριμένο πείραμα βρέθηκε πως η αλληλεπίδραση μεταξύ του γενότυπου και των μεταχειρίσεων του νερού επηρέασαν στατιστικά σημαντικά την απόδοση σε καρπό. Τέλος, αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν σε πείραμα που διεξήχθη στο ΓΠΑ το 2010 (Stavroulaki, 2015) αλλά και από τον Ruiter (1999) σε πείραμα που έγινε στην Νέα Ζηλανδία.

Πιθανότατα τα αποτελέσματα που βρέθηκαν οφείλονται στην μείωση της φωτοσυνθετικής ταχύτητας λόγω έλλειψης νερού, με 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, 1994). Επίσης, είναι γνωστό πως η έλλειψη νερού κατά την περίοδο από την άνθηση έως την ωρίμανση μειώνει τον χρόνο και τον ρυθμό γεμίσματος 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).

### 3.5.5.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΚΑΡΠΟ ΑΝΑ ΦΥΤΟ

Στις ποικιλίες Asta και Charles η σχέση μεταξύ του δείκτη WPI και της απόδοσης σε καρπό ανά φυτό ήταν γραμμική με συντελεστή προσδιορισμού 51,65% και 33,92% αντίστοιχα.

Αντίθετα, στην ποικιλία Zhana, παρά το ότι το επίπεδο εδαφικής υγρασίας επηρέασε στατιστικά σημαντικά την απόδοση σε καρπό, η σχέση της με τον δείκτη WPI δεν ήταν γραμμική.

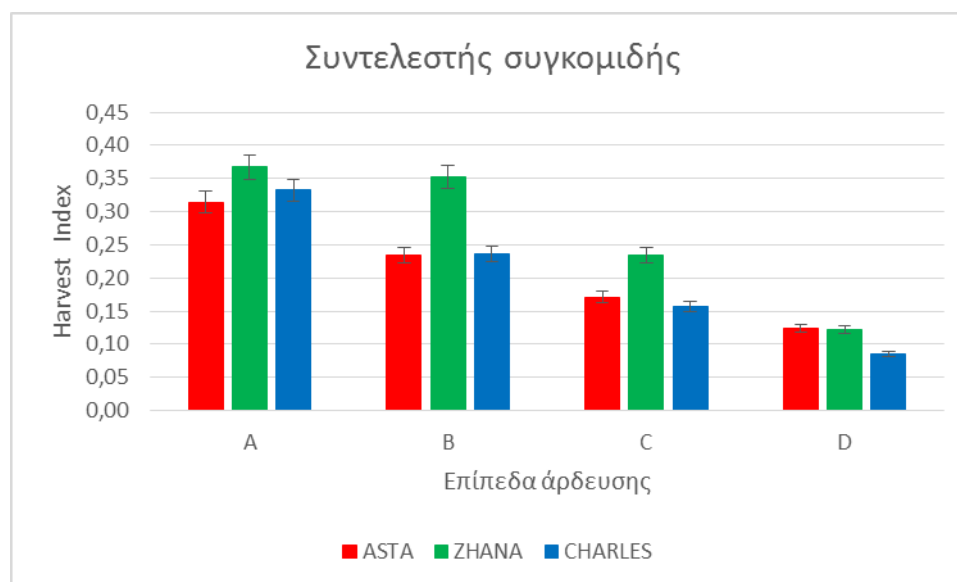
**Πίνακας 3.5.5.1** Οι τιμές των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της απόδοσης σε καρπό ανά φυτό και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και  $r^2$ : συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

Ποικιλίες	a	b	$r^2$
Asta	8,7269	4,79101	51,6579 **
Zhana	4,0011	1,46061	14,9645 ns
Charles	5,50174	2,96096	33,9216 *

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις τρεις ποικιλίες **40, 41, 42** στο Παράρτημα.

### 3.5.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (HARVEST INDEX)

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο συντελεστής συγκομιδής, στα τέσσερα επίπεδα άρδευσης των ποικιλιών που μελετήθηκαν.



**Διάγραμμα 3.5.6** Ο συντελεστής συγκομιδής, για τα τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης των τριών ποικιλιών που μελετήθηκαν. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις συμβολίζουν το τυπικό σφάλμα. A: Κανονική άρδευση B: Μικρή υδατική καταπόνηση C: Μεσαία υδατική καταπόνηση D: Μέγιστη υδατική καταπόνηση.

Ακολουθεί ο πίνακας ανάλυσης της διασποράς.

**Πίνακας 3.5.6** Ανάλυσης διασποράς (ANOVA) για τον συντελεστή συγκομιδής.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Επανάληψεις	0,01	3	0,002113	0,41	0,7487
Επίπεδα άρδευσης	0,36	3	0,119741	23,1	0,0000
Ποικιλίες	0,04	2	0,020977	2,52	0,1609
Επανάληψη x Ποικιλία	0,05	6	0,008338		
Επίπεδο Άρδευσης X Ποικιλία	0,02	6	0,003141	0,61	0,7232
Υπόλοιπο	0,14	27	0,005184		
Σύνολο	0,62	47			

Όπως φαίνεται από τον πίνακα ανάλυσης διασποράς, το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας επηρέασε με στατιστικά σημαντικό τρόπο, ως παράγοντας, τον συντελεστή συγκομιδής. Αντίθετα, οι ποικιλίες δεν διέφεραν σημαντικά ως προς αυτό το χαρακτηριστικό. Επίσης η αλληλεπίδραση των δύο αυτών παραγόντων δε επηρέασε σημαντικά τον συντελεστή συγκομιδής.

Στην ποικιλία Asta παρατηρήθηκε πως υπάρχει μείωση του συντελεστή συγκομιδής καθώς αυξάνεται το επίπεδο της υδατικής καταπόνησης. Επίσης, όλα τα επίπεδα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ως προς τον συντελεστή συγκομιδής. Πιο συγκεκριμένα, στο επίπεδο όπου τα φυτά δεν καταπονήθηκαν (επίπεδο A) ο συντελεστής συγκομιδής ήταν 0,31 ενώ στο επίπεδο με τα μεγαλύτερα υδατικά ελλείματα (επίπεδο D) ο συντελεστής ήταν πολύ μικρότερος (0,12).

Στην ποικιλία Zhana ο συντελεστής συγκομιδής ακολουθεί πτωτική πορεία καθώς μειώνεται το επίπεδο άρδευσης. Στο επίπεδο A, όπου τα φυτά αρδεύονταν κανονικά, ο συντελεστής συγκομιδής είναι 0,37. Στο επίπεδο B υπάρχει μία μικρή μείωση (0,35) και μάλιστα ο συντελεστής δεν διαφέρει στατιστικά σημαντικά από αυτό του επιπέδου A. Από εκεί και πέρα υπάρχει μία μεγάλη και ταυτόχρονα στατιστικά σημαντική μείωση στα επίπεδα C και D, που καταπονήθηκαν περισσότερο. Στο επίπεδο C ο συντελεστής συγκομιδής είναι 0,23 ενώ στο D είναι 0,12.

Όπως στις άλλες δύο ποικιλίες, έτσι και στην ποικιλία Charles ο συντελεστής συγκομιδής μειώνεται καθώς αυξάνεται ο βαθμός υδατικής καταπόνησης. Επίσης, ο συντελεστής διαφέρει με στατιστικά σημαντικό τρόπο μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων νερού. Ο μεγαλύτερος συντελεστής συγκομιδής δόθηκε από τα φυτά του επιπέδου A (0,33), ενώ ο μικρότερος δόθηκε από τα φυτά του επιπέδου D (0,08).



Παρατηρήθηκε πως και στις τρεις ποικιλίες, το επίπεδο άρδευσης επηρέασε τον συντελεστή συγκομιδής, καθώς αυτός μειωνόταν ενώ αυξανόταν το επίπεδο της υδατικής καταπόνησης. Επίσης φαίνεται πως η διαφορά των 0,44 MPa μεταξύ των επιπέδων A-D οδήγησε στην μεγάλη μείωση του συντελεστή συγκομιδής.

Μεταξύ των τριών ποικιλιών, φαίνεται πως η ποικιλία Zhana αντέδρασε καλύτερα στην αυξανόμενη υδατική καταπόνηση, όσον αφορά τον συντελεστή συγκομιδής. Οι μετρήσεις τόσο στο επίπεδο A, όσο και στο επίπεδο B ήταν μεγαλύτερες από τις μετρήσεις των άλλων δύο ποικιλιών στο επίπεδο A. Επίσης, ο συντελεστής συγκομιδής του επιπέδου C της ποικιλίας Zhana, δεν διαφέρει ιδιαίτερα από τους συντελεστές του επιπέδου B των ποικιλιών Asta και Charles.

Σύμφωνα με πείραμα που διεξήχθη κατά την περίοδο 2005-2008 στην Ιταλία σε φυτά κριθαριού, βρέθηκε πως ο συντελεστής συγκομιδής μειώθηκε καθώς αυξήθηκε η υδατική καταπόνηση (Albrizio *et al.*, 2009). Αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν και σε πείραμα που διεξήχθη κατά την περίοδο 1991-1992 στην Ισπανία, με τον συντελεστή συγκομιδής να μειώνεται στα φυτά κριθαριού που υπέστησαν υδατική καταπόνηση (Gonzalez *et al.*, 1999). Είναι χαρακτηριστικό πως ο συντελεστής μειώθηκε από το 0,345 στο 0,255 για τα φυτά που καταπονήθηκαν.

Ο συντελεστής συγκομιδής είναι ο λόγος του βάρους των σπόρων προς την βιομάζα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως πιθανότατα η μείωσή του οφείλεται στο γεγονός πως η καταπόνηση επηρέασε το βάρος των σπόρων. Τα ελλείματα νερού από την άνθηση έως και την ωρίμανση, ειδικά αν συνοδεύονται από υψηλές θερμοκρασίες, μειώνουν τον χρόνο και τον ρυθμό του γεμίσματος του σπόρου μειώνοντας έτσι τον χρόνο για την μετακίνηση των υδατανθράκων προς αυτόν (Oweis *et al.*, 2000). Αποτέλεσμα είναι να μειώνεται τελικά το βάρος του σπόρου και συνεπώς οι συντελεστές που εξαρτώνται από αυτό (Acevedo *et al.*, 2002).

### **3.5.6.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WPI ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (HI)**

Στις ποικιλίες Asta και Charles, η σχέση μεταξύ του δείκτη WPI και του συντελεστή συγκομιδής ήταν γραμμική. Συνεπώς, ο συντελεστής στις δύο αυτές ποικιλίες επηρεάστηκε σημαντικά από την συνολική υδατική καταπόνηση που υπέστησαν τα φυτά.

Αντίθετα, στην ποικιλία Zhana αν και το επίπεδο υδατικής καταπόνησης επηρέασε στατιστικά σημαντικά τον συντελεστή συγκομιδής, η σχέση μεταξύ του δείκτη WPI και του συντελεστή δεν ήταν γραμμική.

**Πίνακας 3.5.6.1** Οι τιμές των παραμέτρων της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ του συντελεστή συγκομιδής και του WPI. a: τιμή αποκοπής, b: συντελεστής παλινδρόμησης και  $r^2$ : συντελεστής προσδιορισμού. Όπου \*, \*\*, \*\*\* σημαντικό σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα και ns: μη σημαντικό.

<b>Ποικιλίες</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>r^2</math></b>
<b>Asta</b>	0,68898	0,333455	37,8491 *
<b>Zhana</b>	0,512274	0,169077	14,6711 ns
<b>Charles</b>	0,636732	0,337125	40,513 **

Ακολουθούν τα γραφήματα της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις τρεις ποικιλίες **43, 44, 45** στο Παράρτημα.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συνολική υδατική καταπόνηση εκφρασμένη ως δείκτης υδατικού δυναμικού (WPI), παρουσίασε μείωση σε όλες τις ποικιλίες και σε όλα τα επίπεδα υδατικής καταπόνησης με την πάροδο του χρόνου, με την διαφορά του WPI μεταξύ αρδευόμενων και καταπονημένων φυτών να είναι κατά μέσο όρο περίπου 0,44 MPa. Η ποικιλία Charles κατέγραψε τις υψηλότερες τιμές του δείκτη WPI σε όλα τα επίπεδα από τις υπόλοιπες ποικιλίες.

Η διαφορά των 0,44 MPa μεταξύ των ακραίων μεταχειρίσεων του νερού, όσον αφορά τον δείκτη WPI, ήταν αρκετή ώστε να επηρεάσει στατιστικά σημαντικά την περιεκτικότητα σε N των βλαστικών μερών κατά την συγκομιδή, την περιεκτικότητα των σπόρων σε N, την κίνηση του N εντός των φυτών, τον αριθμό σπόρων ανά στάχυ, το βάρος των σπόρων και την απόδοση σε καρπό ανά φυτό. Επίσης επηρέασε στατιστικά σημαντικά τον δείκτη συγκομιδής, την περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη, καθώς και το μέγεθος των σπόρων. Αντίθετα μεταξύ των ποικιλιών δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές εκτός από το βάρος των σπόρων και το μέγεθός τους.

Ο βιολογικός κύκλος των ποικιλιών του κριθαριού επηρεάστηκε από τη διαβάθμιση της υδατικής καταπόνησης. Μεταξύ τους οι ποικιλίες εμφάνισαν διαφορετική στρατηγική, με τη Zhana και την KWS Asta να χρησιμοποιούν τη διαφυγή μιας και ο βιολογικός τους κύκλος επιταχύνθηκε από την αύξηση των υδατικών ελλειμμάτων, ενώ αντίθετα στην Charles η αύξηση της έντασης της υδατικής καταπόνησης προκάλεσε μία επιβράδυνση του βιολογικού της κύκλου. Η μελέτη της φαινολογίας των συγκεκριμένων ποικιλιών κριθαριού πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της κλίμακας Zadoks και ταυτόχρονα με τη χρήση της κλίμακας Haun. Αν και αρκετά πιο δύσκολη στην εφαρμογή της η κλίμακα Haun ήταν σε θέση να διακρίνει με μεγαλύτερη ευχέρεια τις διαφορές που υπάρχουν στην αναπτυξιακή πορεία των φυτών.

Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, τόσο το μέγεθος των καρπών, όσο και η πρωτεΐνη των καρπών επηρεάστηκε σημαντικά από την αύξηση της υδατικής καταπόνησης. Σε κάθε περίπτωση η έλλειψη του νερού οδήγησε σε μείωση του ποσοστού των μεγάλων σπόρων και ταυτόχρονα σε αύξηση του ποσοστού των πολύ μικρών σπόρων (μέγεθος < 2,2mm) οι οποίοι είναι ακατάλληλοι για βυνοποίηση. Από

την πλευρά της η πρωτεΐνη των καρπών αυξήθηκε σημαντικά και αρκετά υψηλότερα από τα επιτρεπτά όρια (9,5-11,5%) με την μείωση της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας.

Τα φυτά της ποικιλίας Zhana φαίνεται να έχουν καλύτερη προσαρμογή σε συνθήκες αυξανόμενης υδατικής καταπόνησης, καθώς από τη μία πλευρά κατέγραψαν τις υψηλότερες αποδόσεις, το μεγαλύτερο ποσοστό μεγάλων σπόρων και το μικρότερο ποσοστό μικρών σπόρων και από την άλλη πλευρά, τουλάχιστον μέχρι το επίπεδο C, η πρωτεΐνη των καρπών τους, αν και πάνω από τα επιτρεπτά όρια, ήταν σαφώς χαμηλότερη από αυτή που παρουσίασαν οι υπόλοιπες ποικιλίες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική Βιβλιογραφία

- Θεουλάκης, Ν., Ε. Οικονόμου, και Κ. Μπλαδενόπουλος. 1992. Δείκτης συγκομιδής και απόδοση στο κριθάρι (*H. vulgare*). 4ο Συνέδριο Ελληνικής Επιστημονικής Εταιρείας Γενετικής και Βελτίωσης των Φυτών, Θεσσαλονίκη. Πρακτικά σελ: 52.
- Καραμάνος, Α,Ι, 1987. *Τα σιτηρά εύκρατων κλιμάτων*. 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.
- Μπλαδενόπουλος, Κ. 2002. Το ύψος του φυτού και η σχέση του με άλλα γνωρίσματα στο κριθάρι (*Hordeum vulgare* L.). *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Σειρά Ι, Τόμος 13, 4: 39-46.
- Μπλαδενόπουλος, Κ., Ματσούκας, Ν. 2000. Κριθάρι. Μια παλιά καλλιέργεια με ευοίωνες προοπτικές. *Αγροτική Έρευνα Τεχνολογία. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας*.
- Μπλαδενόπουλος, Κ. και Α. Γκατζιάνας. 2001. Η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης σε αγρονομικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του κριθαριού (*Hordeum vulgare* L.). *Αγροτική έρευνα*. 24 (2): 21-28.
- Μπλαδενόπουλος, Κ. 2002. Το ύψος του φυτού και η σχέση του με άλλα γνωρίσματα στο κριθάρι (*Hordeum vulgare* L.). *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Σειρά Ι, Τόμος 13, 4: 39-46.
- Μπλαδενόπουλου Σ.Β., Α.Δ. Σιμώνης και Τ.Α. Τσιπρόπουλος. 1990. Αζωτούχος λίπανση και ποιότητα κριθαριού. 3ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο. Αθήνα. Πρακτικά σελ: 333-344.
- Παπακώστα - Τασοπούλου, Δ., 2008 *Ειδική Γεωργία Ι τεύχος Α Σιτηρά (χειμερινά εαρινά)*. Σύγχρονη παιδεία, Θεσσαλονίκη, 760 σελ.
- Σιδηράς Κ. Νικόλαος. 1994. *Δεύτερο μέρος : Εδαφικό Περιβάλλον* (Πανεπιστημιακές Σημειώσεις). Αθήνα. Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών – Φυτική Παραγωγή – Εργαστήριο Γεωργίας.
- Σταυρουλάκη Β. 2015. *Αλληλεπιδράσεις της έλλειψης αζώτου και της υδατικής καταπόνησης σε διαφορετικούς γονοτύπους κριθαριού (Hordeum vulgare L.)*. Αθήνα 2015.
- Σφήκας, Α.Γ., 1995. *Ειδική γεωργία. Σιτηρά, Ψυχανθή και Χορτοδοτικά Φυτά*. Θεσσαλονίκη, 248 σελ.

### Ξένη Βιβλιογραφία

- Acevedo, E., T.C. Hsiao and D.W. Henderson 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to change in water status. *Pl. Physiol.* 48, 631-36.
- Acevedo, E., E., Fereres, T.C., Hsiao and D.W. Henderson 1979. Diurnal growth trends, water potential and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. *Pl. Physiol.* 64: 476-80.
- Albrizio R., M. Todorovic, T. Matic, A.M. Stellaci (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.
- Alessi, J. and J.F. Power. 1973. Effect of source and rate of nitrogen on N-uptake and fertilizer efficiency by spring wheat and barley. *Agron. J.* 65: 53-55.
- Akmal, M., Janssens, M.J.J. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. *Field Crops Research*, 88: 143-155.
- Austin, R.B., J.Bingham, R.D. Blackwell, J.T. Evans, M.A. Ford, C.L. Morgan, and M. Taylor. 1980. Genetic improvements in winter wheat since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric Sci.* 94: 675-690.
- Austin, R.B., C.L. Morgan, M.A. Ford and R.D. Blackwell. 1980. Contribution to grain yield from pre-anthesis assimilation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons. *Ann Bot.* 1980. 45: 309-319.
- Austin R.B., Ford M.A., Edrich J.A., Blackwell R.D., 1977. The nitrogen economy of winter wheat. *J. Agri. Sci. (Cambridge)* 88, 159-167.
- Aulakh, M.S., Malhi, S.S. 2005. Interactions of nitrogen with other nutrients and water: Effect on crop yield and quality, nutrient use efficiency, carbon sequestration, and environmental pollution. *Adv. Agron.*, 86: 341-409.
- Baghot, K.G., C.W. Schaller and M.D. Miller. 1968. Response of six barley varieties to elected cultural practices. *Calif. Agric.* 22: 10-12.
- Bahrún, A., Jensen, C.R., Asch, F., Mogensen, V.O. 2002. Drought-induced changes in xylem pH, ionic composition, and ABA concentration act as early signals in field-grown maize (*Zea mays L.*). *J. Exp. Bot.*, 53: 251-263.
- Barbottin, A., Lecomte, C., Bouchard, C., Jeuffroy, M.-H. 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: Genotypic and environmental effects. *Crop Sci.*, 45: 1141-1150.
- 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.

- Bertholdsson N.O., 1999. Characterization of malting barley cultivars with more or less stable grain protein content under varying environmental conditions. *Eur. J. Agron.* 10,1-8.
- Boyer, J.S. 1967. Leaf water potentials measurements with a pressure chamber. *Pl. Physiol.* 42, 133-137.
- 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. 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.
- Boatwright, G.O. and H.J. Haas. 1961. Development and composition of spring wheat as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization. *Argon. J.* 53:33-36.
- Brevedan, E.R. and H.F. Hodges 1973. Effects of moisture deficits on <sup>14</sup>C translocation in corn (*Zea Mays L.*). *Pl. Physiol.* 52, 436-39.
- Brouwer, R. 1963. The influence of the suction tension of the nutrient of bean leaves (*Phaseolus Vulgaris*) *Ada bot Neerl.* 12, 248-60.
- Buchanan, B.B., W. Gruissen and R.L. Jones 2000. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. *Am. Soc. Of Plant Phys.*, Rockville, ML
- Burger, W.C., and D.E. Lambrge. 1985. Malting and brewing quality in barley (Ed. D.C. Rasmusson) p367-401. *Agron. Monograph* 26. ASA-CSSA-SSSA Madison, WI 53711-USA.
- Cartelle J., Pedro A., Savin R., Slafer G.A., 2006. Grain weight responses to postanthesis spikelet-trimming in an old and a modern wheat under Mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.* 25, 365-371.
- Cannell, R.Q. 1969. The Tilling pattern of barley varieties. Production, survival and contribution to yield by component tillers. *J. Agric Sci. Cambridge* 1969. 72, 405-422.
- Clements, H. F. 1964. Interaction factors affecting yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 15, 409-442.
- Cox M.C., Qualset C.O., Rains D.W., 1985. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat.I. Dry matter and nitrogen accumulation. *Crop Sci.* 25, 430-435.
- Cox, M.C., C.O. Qualset and D.W. Rains. 1986. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Sci.* 25, 435-440.
- Cook, A.H., (ed). 1962. Barley and Malt biology, biochemistry and technology. *Academic Press*, New York.

- 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.
- Craswell, E.T. and D.C. Gogwin. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. *Adv. Plant Nut.* 1, 1-55.
- Dainty, J. 1963. Water relations of plant cells. *Adv. Bot. Res.* 1, 279-326.
- Dimmock, J. and M/J/ Gooding. 2002. The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: A review. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 138, 349-366.
- Dordas, C. 2012. Variation in dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in barley as affected by fertilization, cultivar, and source-sink relations. *Eur. J. Agron.*, 37, 31-42.
- Dreccer, M.F. 2006. Nitrogen use at the leaf and canopy level: A framework to improve crop N use efficiency. *J. Crop Impr.*, 15, 97-125.
- Dreccer M.F., Grashoff C., Rabbinge R., 1997. Source-sink ratio in barley (*Hordeum vulgare* L.) during grain filling: effects on senescence and grain protein concentration. *Field Crops Res.* 49, 269-277.
- Durand, J.L., Onillon, B., Schnyder, H., Rademacher, I. 1995. Drought effects on cellular and spatial parameters of leaf growth in tall fescue. *Journal of Experimental Botany*, 46, 1147-1155.
- Dubetz. S., and S.A. Wells. 1968. Reaction of barley varieties to nitrogen fertilizer. *J. Agric. Sci., Camb.* 70, 253-256.
- Eilrich G.L., Hageman R.H., 1973. Nitrate reductase activity and its relationship to accumulation of vegetative and grain nitrogen in wheat. *Crop Sci.* 13, 257-261.
- El-Nadi, A.H. Brouwer and J.T. Locker 1969. Some responses of the root and the shoot of *Vicia faba* plants to water stress. *Neth. J. Agric. Sci. M.* 133-42.
- El-Negoumy A.M., Newman C.W., Hocket E.A., 1982. Effect of level of nitrogen fertilizer on protein composition of some barley cultivars. *Nutr. Rep. Int.* 25:89-96.
- Fageria, N.K. and A.S. Prabhu. 2003. Response of lowland rice to nitrogen application and seed treatment with fungicide doses to blast control. *Pesq. Agropec. Brasileira* 39, 123-129.
- Fathi, G., G.K. McDonald and R.C.M. Lance, R. (1997) Effect of post-anthesis water stress on the yield and grain protein concentration of barley grown at two levels of nitrogen, *Aust. J. Agric. Res.* 48, 67-80.
- Fisher, R.A. and R.H. Hagan 1965. Plant water relations, irrigation management and crop yield. *Exp. Agric.* 1, 161-77.



- Fisher, R.A. and G.D. Kohn 1966a. The relationship of grain yield to vegetative growth and post-flowering leaf area in the wheat crop under conditions of limited soil moisture. *Aust. J. Agric. Res.* 17, 281-95.
- Fletcher, G.M. and J.E. Dale. 1974. Growth of the tiller buds in barley effect of shade treatment and mineral nutrition. *Ann. Bot.* 38, 63-76.
- Foster, E., and N. Prentice. 1987. Barley in nutritional quality of cereal grains. ASACSSA- SSSA. Pp. 338-285. Edited by R.A. Olson and K.J. Frey. Madison Wisc. USA.
- Gates, C.T. 1964. The effect of water stress on plant growth. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 30, 3-22.
- Gately, T.F. 1968. The effects of different levels of N, P, and K on yields, nitrogen content and kernel weights of malting barley. *J. Agric. Sci., Camb.* 70, 361-367.
- Gonzalez-Dugo, V., Durand, J.-L., Gastal, F., Picon-Cochard, C. 2005. Short-term response of the nitrogen nutrition status of tall fescue and Italian ryegrass swards under water deficit. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, 1269-1276.
- Gonzalez-Dugo, V., Durand, J.-L., Gastal, F. 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 529-544.
- 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
- Haddadin F. (2015). Assessment of Drought Tolerant Barley Varieties under Water Stress. *International Journal of Agriculture and Forestry* 5(2): 131-137.
- 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.
- Halloran, G.M. 1981. Cultivar differences in nitrogen translocation in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 535-544.
- Haun, J R. 1973. Visual quantification of wheat development. *Agron. J.* 65: 116-119.
- Heitholt J.J., Croy L.I., Maness N.O., Nguyen H.T., 1990. Nitrogen partitioning in genotypes of winter wheat differing in kernel N concentration. *Field Crops Res.* 23, 133-144.
- Hsiao, C.T. 1973. Plant resources to water stress. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 24: 519-570.

- Huang, B., J. Fry, and B. Wang 1998. Water relations and water canopy characteristics of tall fescue cultivars during and after drought stress. *Hortscience* 23, 837-40.
- Jensen J., Nielsen G., 1982. Linkage relationships of high lysine and storage protein genes in barley. In IAEA (ed), The use of nuclear technique for cereal grain improvement, *FAO/ IAEA/GSF/SIDA*, Vienna (in press).
- Jenner, C.F., T.D. Ugalde and D. Aspinall. 1991. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 18, 211-226.
- Jeuffroy, M.H., Ney, B., Ourry, A. 2002. Integrated physiological and agronomic modelling of N capture and use within the plant. *J. Exp. Bot.* 53, 809-823.
- Johanson E., Prieto-Linde M.L., Jonsson, J.O., 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chemistry* 78: 19-25.
- 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.
- Karamanos, A.J. & Gimenez, C. (1991). Physiological factors limiting growth and yield of faba beans. *Options Méditerranéennes* 10, 79-90.
- Karamanos, A.J. and A.Y. Papaptheohari 1999. Assessment of drought resistance of crop genotypes by means of the water potential index. *Crop Sci.* 39, 1792-1797.
- Killen G.J., Newman C.W., Eslick R.F., El-Negoumy A.M., 1978. The effect of nitrogen fertilizer on the nutritional quality of barley. *Proc. West. Sec. Am. Sec. Am. Soc. Anim. Sci.* 29:169-172.
- Kramer, P.J. 1969. *Plant and Soil Water Relationships: A Modern Synthesis.* McGraw-Hill, Book Co: New York.
- Larsson, M., Larsson, C.-M., Whitford, P.N., Clarkson, D.T. 1989. Influence of osmotic stress on nitrate reductase activity in wheat (*Triticum aestivum* L.) and the role of abscisic acid. *J. Exp. Bot.* 40, 1265-1271.
- Large, E.C. 1954. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. *Pl. Path.* 3, 128-129.
- Lawlor, D.W., Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell Env.* 25, 275-294.
- Lemaire, G., Recous, S., Mary, B. 2004. *Managing residues and nitrogen in intensive cropping systems. New understanding for efficient recovery by crops, In: 4th*

*International Crop Science Congress* (Fischer, T., Turner, N.C., Angus, J.F., McIntyre, L., Robertson M.J., Borrell A., Lloyd D. eds.). The Regional Institute Ltd, Gosford, Brisbane, Australia.

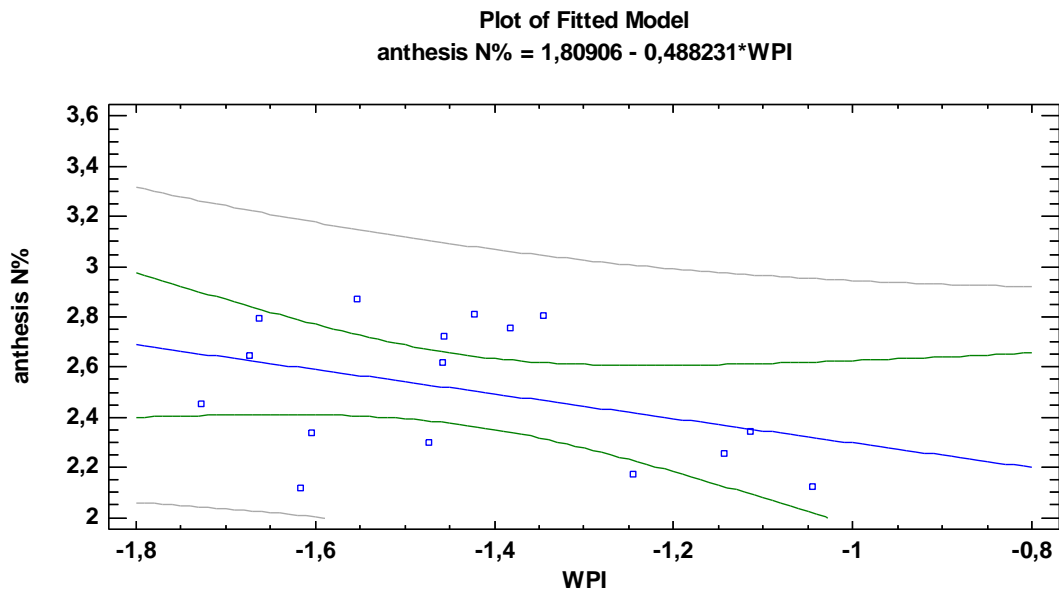
- Leonard, E.R. 1962. Inter relations of vegetative and reproductive growth with special reference to indeterminate plants. *Bot. Rev.* 28, 353-410.
- Loffler, C.M., T.I. Rauch and R.H. Busch. 1985. Kernel and plants protein relationships on hard red spring wheat. *Crop. Sci.* 25, 521-524.
- Ludlow, M.M. 1975. *Effect of water stress on the decline of leaf net photosynthesis with age. In: Environmental and biological control of photosynthesis* (eds. R. Marcelle), pp. 123-134. The Hague: W.Junk
- 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.
- Lupton, F.G.H. and M.J. Pinthus. 1969. Carbohydrate translocation from small tillers to spike producing shoots in wheat. *Nature* (London) 221, 483-484.
- Martin, W.E., and D.S. Mikelsen. 1960. Grain fertilization in California. *Cal. Agric. Exp. Sta. Bul.* 775.
- 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.
- McDonald, A.J.S., Davies, W.J. 1996. Keeping in touch: Responses of the whole plant to deficits in water and nitrogen supply. *Adv. Bot. Res.* 22, 229-300.
- McDowell, N.G. 2011. Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. *Pl. Physiol.* 155, 1051-1059.
- Newman, E.I. 1966. Relationship between root growth of flax and soil water potential. *New Phytol.*, 273-83.
- Nicolas, M.E., Simpson, R.J., Lambers, H., Dalling, M.J. 1985. Effects of drought on partitioning of nitrogen in two wheat varieties differing in drought-tolerance. *An. Bot.* 55, 743-754.
- Nielsen, D.C., Halvorson, A.D. 1991. Nitrogen fertility influence on water stress and yield of winter wheat. *Agron. J.* 83, 1065-1070.
- Nilsen, E.T.; and D.M. Orcutt. 1996. *The physiology of plants under stress*. John Wiley & Sons Inc. New York, USA. 687 p.
- Onillon, B., Durand, J.-L., Gastal, F., Tournebize, R. 1995. Drought effects on growth and carbon partitioning in a tall fescue sward grown at different rates of nitrogen fertilization. *Eur. J. Agron.* 4, 91-99.
- 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.

- Palta J.A., T. Kobata, N.C. Turner and R.Fillery. 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influence by postanthesis water deficits. *Crop Sci.* 34, 118-124.
- Petinov, N.S. 1965. The Psysiology Of Irrigated Agricultural Plants. *Field Crop Abstr.*, 1-8.
- Perez, P., R. Martinez Carrasco, L. Sanchez de la Puente. 1983. Uptake and distribution of nitrogen in wheat plants supplied with different amounts of nitrogen after stem elongation. *Ann. Appl. Biol.* 102, 399-406.
- Pinheiro, C., Chaves, M.M. 2011. Photosynthesis and drought: Can we make metabolic connections from available data? *J. Exp. Bot.* 62, 869-882.
- Porporato, A., D'Odorico, P., Laio, F., Rodriguez-Iturbe, I. 2003. Hydrologic controls on soil carbon and nitrogen cycles. I. Modeling scheme. *Adv. Water Res.* 26, 45-58.
- Przuli, N. and V. Momcilovic. 2001. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley I. Dry matter translocation. *European Journal of Agronomy.* 15:241.
- Przuli, N. and V. Momcilovic. 2003. Dry matter and nitrogen accumulation and use in spring barley. *Plant Soil Environ.*, 49: 36-47
- Raven, J.A. 1985. Regulation of pH and generation of osmolarity in vascular plants: a cost-benefit analysis in relation to efficiency of use of energy, nitrogen and water. *New Phytologist*, 101: 25-77.
- Rasmusson, D.C. 1985. Barley. *Agron. Monograph* 26. ASA-CSSA-SSSA Madison, WI 53711-USA.
- Rawson, H.M. and C.M. Donald. 1969. The absorption and distribution of nitrogen, after floret initiation in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 20: 799-808.
- 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.
- Salter, P.J. and J.E. Goode 1967. *Crop responses to Water at Different Stages of growth*, CAB, Farnham RO.
- Savin, R., P.J. Stone, M.E. Nicolas and I.F. Wardlaw, (1997). Grain growth and malting quality of barley. 1. Effects of heat stress and moderately high temperature, *Aust. J. Agric. Res.* 48: 615–624.
- 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.
- Scharf, P.C. and M.M. Alley. 1988. Nitrogen loss pathways requirements for irrigated malting barley. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18: 459-463.

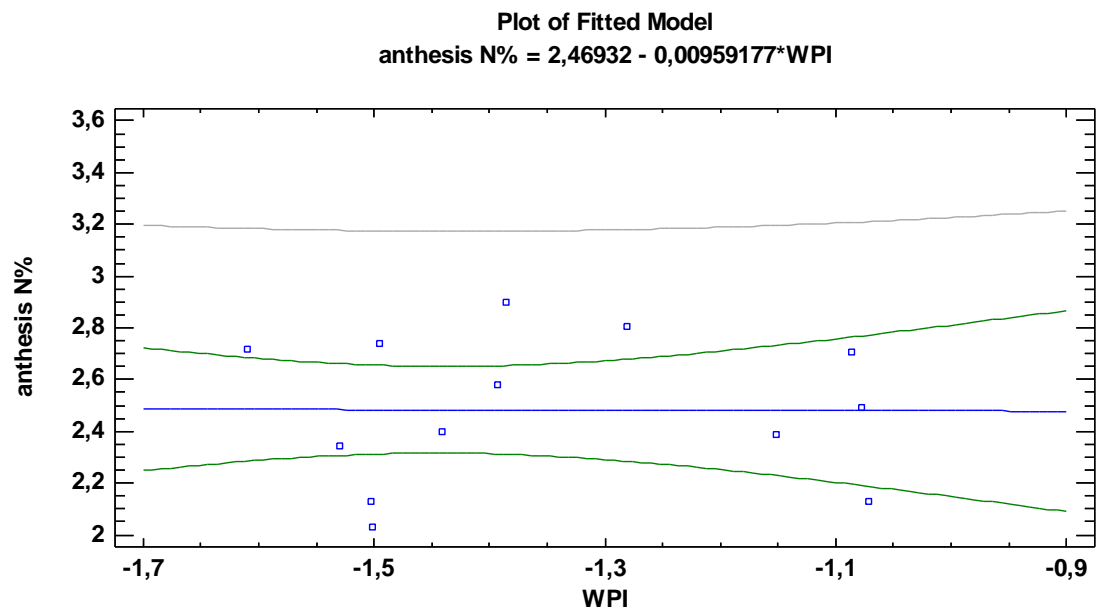
- Simpson, R.J., H.Lambers and M.J. Dalling. 1983. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiol.* 71: 7-14.
- Simpson, G.M. 1981. *Water stress on plants*. Praeger Publ. Corp., New York.
- Slatyer R.O. and S.A. Taylor, 1960. Terminology in Plant-and Soil- Water Relations. *Nature*, 187: 922-924.
- Slatyer, R.O. 1967. *Plant-Water Relationships*. Academic Press, London, New York.
- Slatyer, R.O. 1969. Physiological Aspects of Grain Yield. (eds J.D. Eastin et al.), pp. 53-83. Amer. Soc. Agron. And Crop Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin.
- Smolander, A., Barnette, L., Kitunen, V., Lumme, I. 2005. N and C transformations in long-term N-fertilized forest soils in response to seasonal drought. *Applied Soil Ecology*, 29: 225-235.
- Spiertz, J.H.J. and N.M. de Vos. 1983. Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. *Plant soil.* 75: 379-391.
- Vaadia, Y., F.C., Raney and R.M. Hagan 1961. Plant Water Deficits and Physiological processes. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 12, 265-92.
- van Keulen, H. 1981. Modelling the interaction of water and nitrogen. *Pl. Soil*, 58, 205-229.
- Vos, J. 1981. Effects of temperature and nitrogen supply on post-floral growth of wheat, measurements and simulations. *Agric. Recs.* Reports 911 Pudoc, Wageningen.
- Voltas J., Romagosa I., Araus J.L., 1997. Grain size and nitrogen accumulation in sink-reduced barley under Mediterranean conditions. *Field Crops Res.* 52, 117-126.
- Warren Wilson, J. 1967. The components of leaf water potential. I. Osmotic and matric potentials. *Aust. J. Biol. Sci.* 20, 329-347.
- Wardlaw, I.F. 1971. The early stages of grain development in wheat: response to water stress in a single variety. *Aust. J. biol. Sci.* 24, 104-55.
- Watson, D.J., G.N. Thorne and S.A.W. French. 1958. Physiological causes of differences in grain yield between varieties of barley. *Ann. Bot.* 22, 321-352.
- 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.
- Wiebe, H.H. 1960. Matric potentials of several plant tissues and biocolloids. *Plant Physiol.* 41: 1439-1442.
- Wilkinson, S., Bacon, M.A., Davies, W.J. 2007. Nitrate signalling to stomata and growing leaves: Interactions with soil drying, ABA, and xylem sap pH in maize. *J. Exp. Bot.* 58, 1705-1716.

- Wu, Y., Sharp, R.E., Durachko, D.M., Cosgrove, D.J. 1996. Growth maintenance of the maize primary root at low water potentials involves increases in cell-wall extension properties, expansin activity, and wall susceptibility to expansins. *Pl. Physiol.* 111, 765-772.
- Yang, G., Schwarz, P. B., Vick, B. A. 1993. Purification and characterization of lipoxygenase isozymes in germinating barley. *Cereal Chem.* 70, 589-595.
- Yong-Zhan Ma, MacKown C.T., Van Stanford D.A., 1996. Differential effects of partial spikelet removal and defoliation on kernel growth and assimilate partitioning among wheat cultivars. *Field Crops Res.* 47, 201-209.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14, 415-421.
- Zubriski, J.C., E.H. Vasey and E.B. Norum. 1970. Influence of nitrogen and potassium fertilizers and dates of seeding on yield and quality of malting barley. *Agron. J.* 62, 216-219.
- Zwieniecki, M.A., Melcher, P.J., Holbrook, N.M. 2001. Hydrogel control of xylem hydraulic resistance in plants. *Science*, 291, 1059-1062.

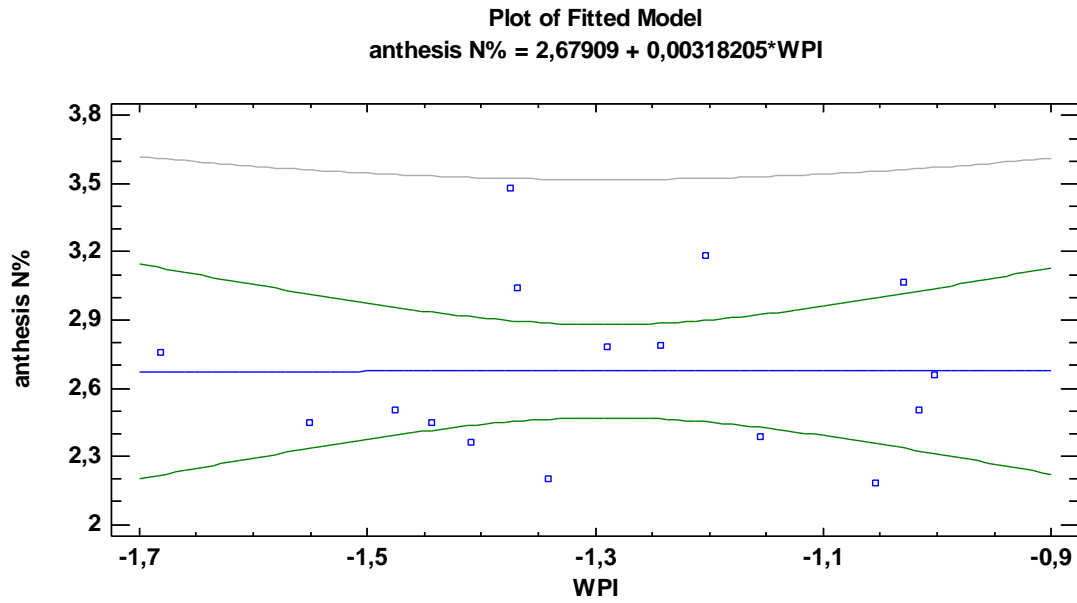
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



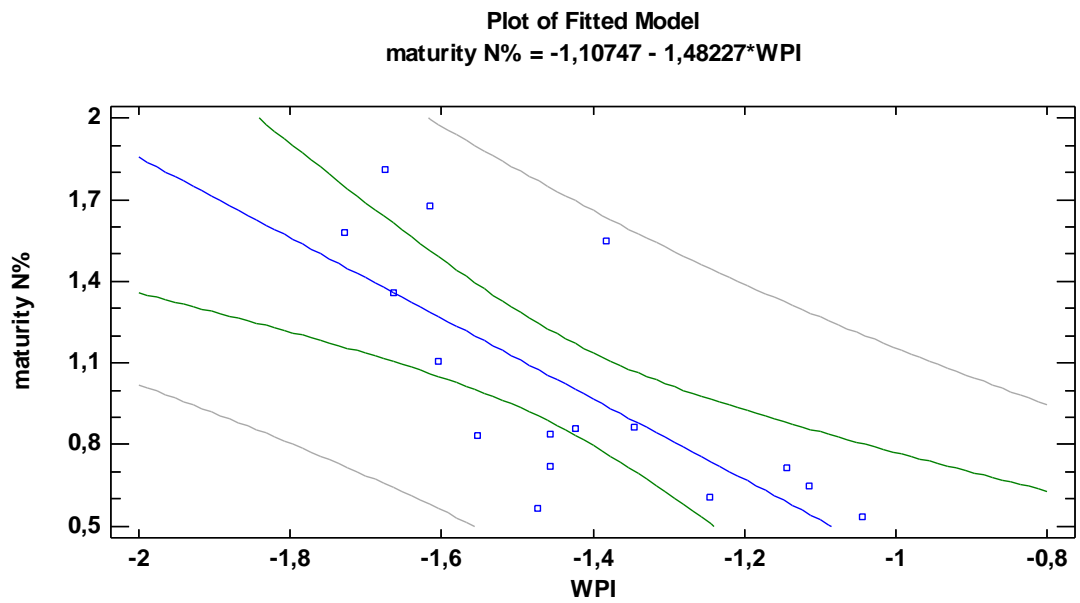
**Διάγραμμα 1** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας αζώτου κατά την άνθηση στην ποικιλία Asta.



**Διάγραμμα 2** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας αζώτου κατά την άνθηση στην ποικιλία Zhana.

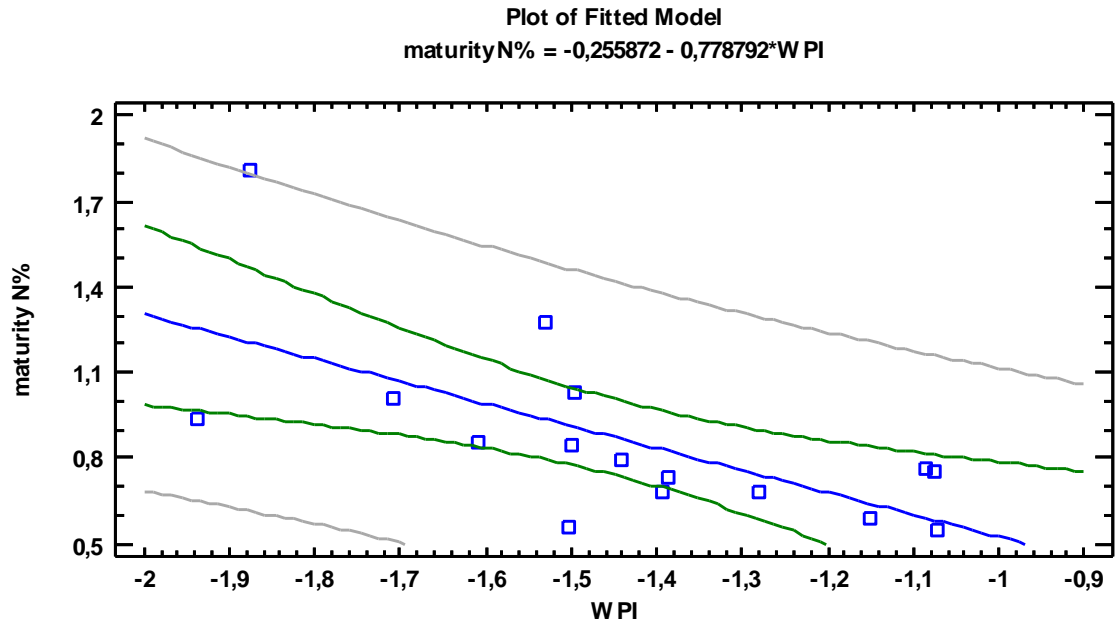


**Διάγραμμα 3** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας αζώτου κατά την άνθηση στην ποικιλία Charles.

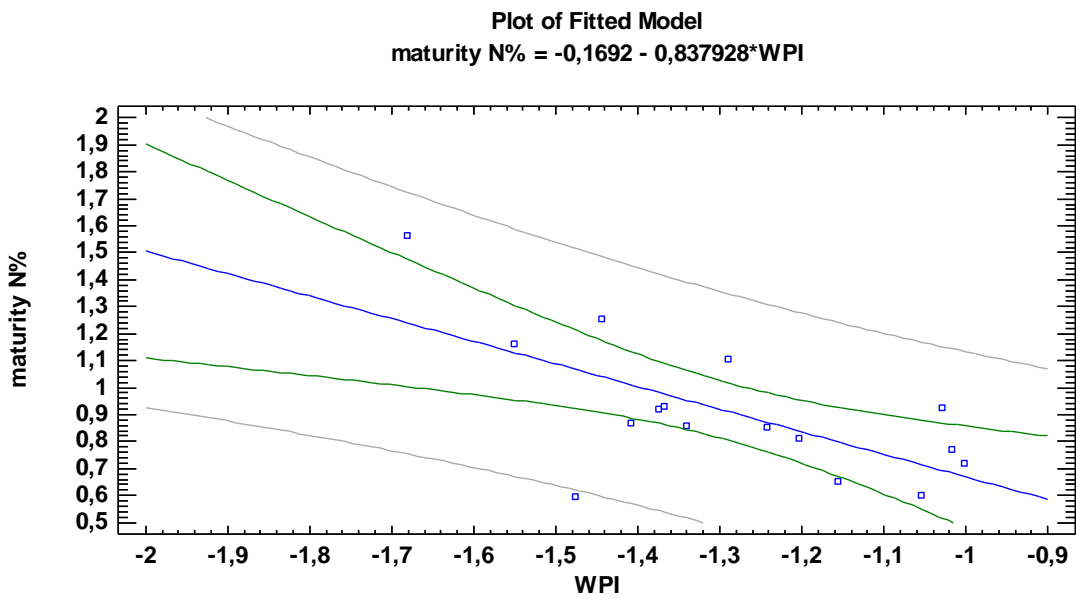


**Διάγραμμα 4** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας αζώτου κατά την συγκομιδή στην ποικιλία Asta.

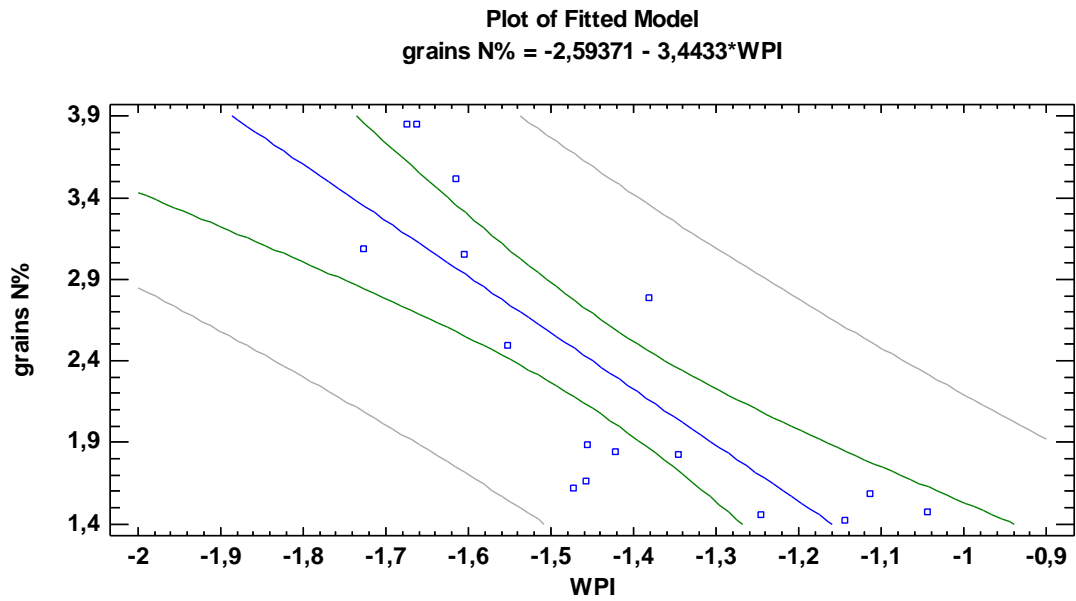




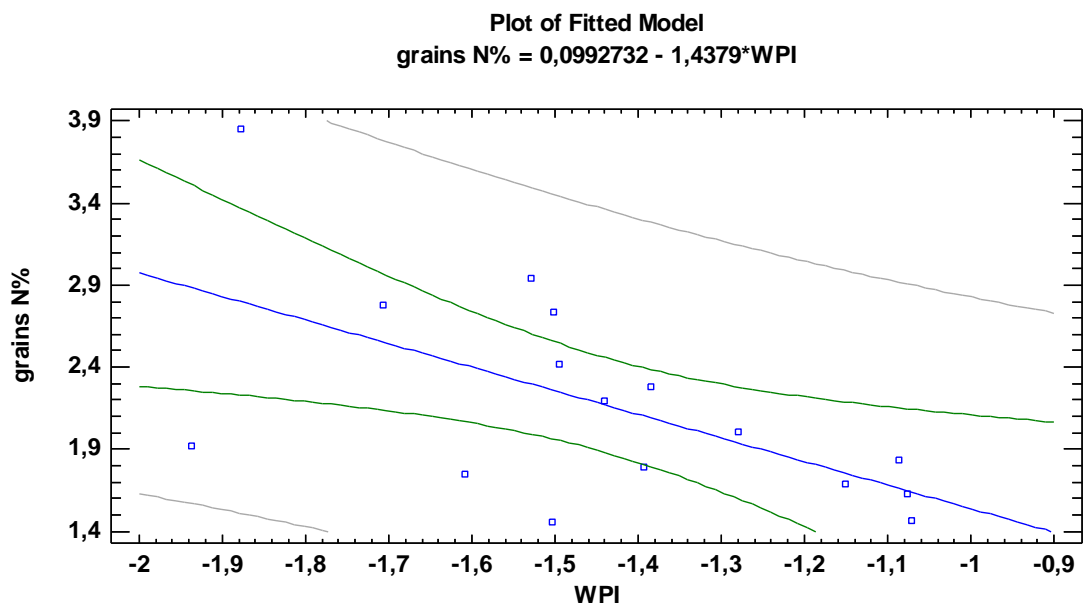
**Διάγραμμα 5** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας αζώτου κατά την συγκομιδή στην ποικιλία Zhana.



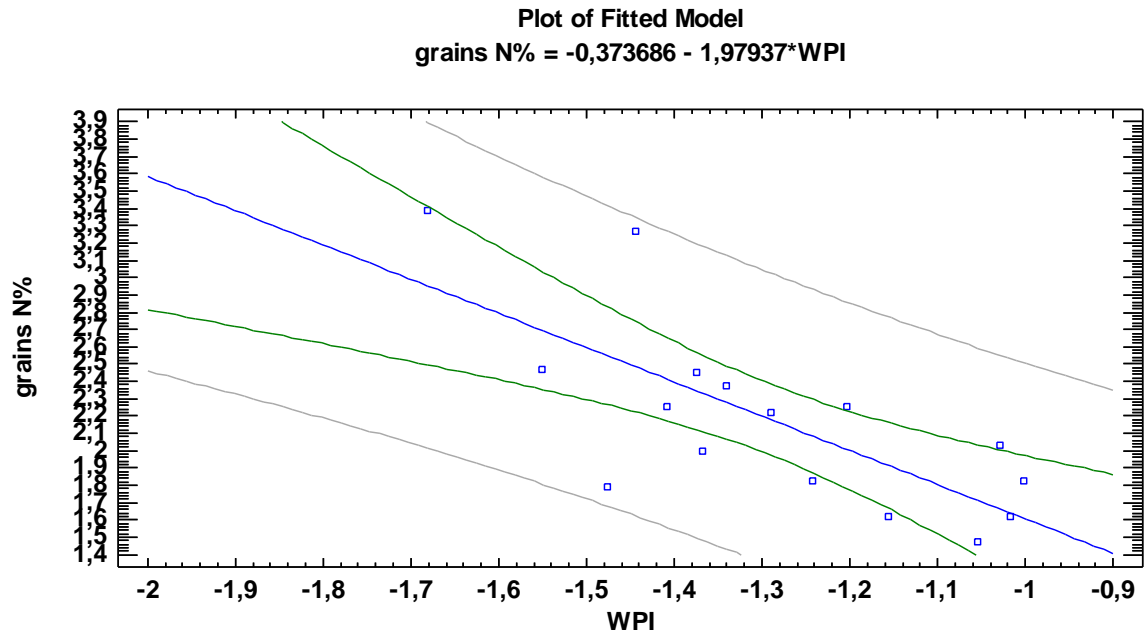
**Διάγραμμα 6** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας αζώτου κατά την συγκομιδή στην ποικιλία Charles.



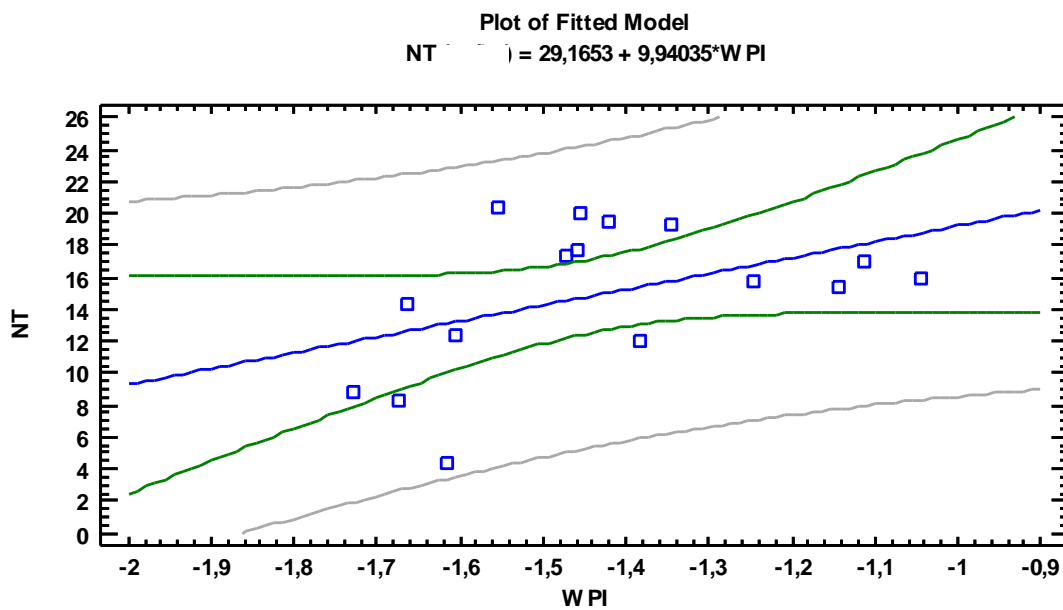
**Διάγραμμα 7** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας των σπόρων σε άζωτο στην ποικιλία Asta.



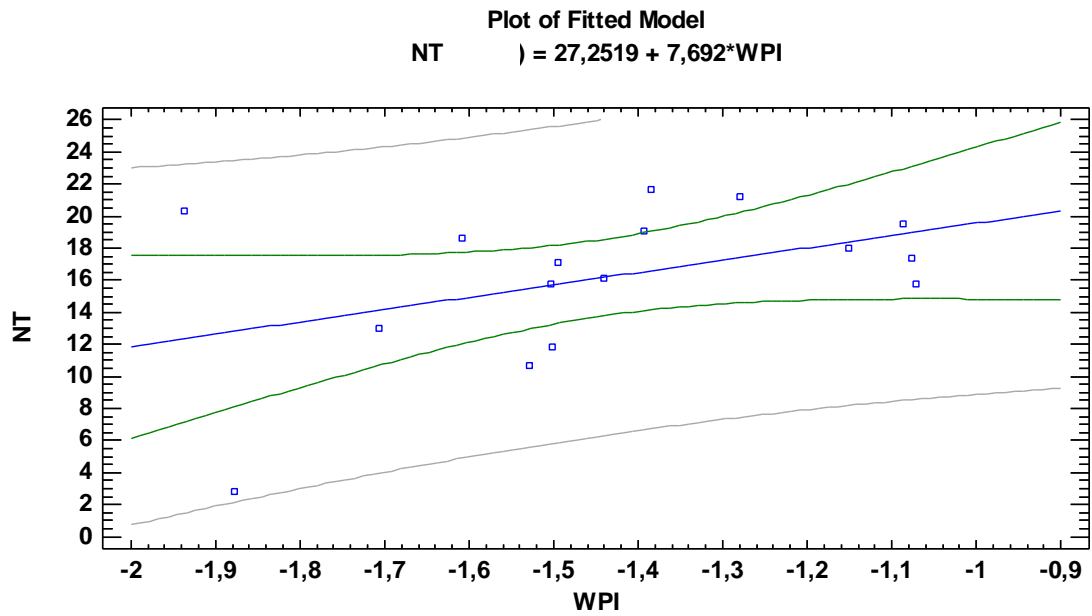
**Διάγραμμα 8** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας των σπόρων σε άζωτο στην ποικιλία Zhana.



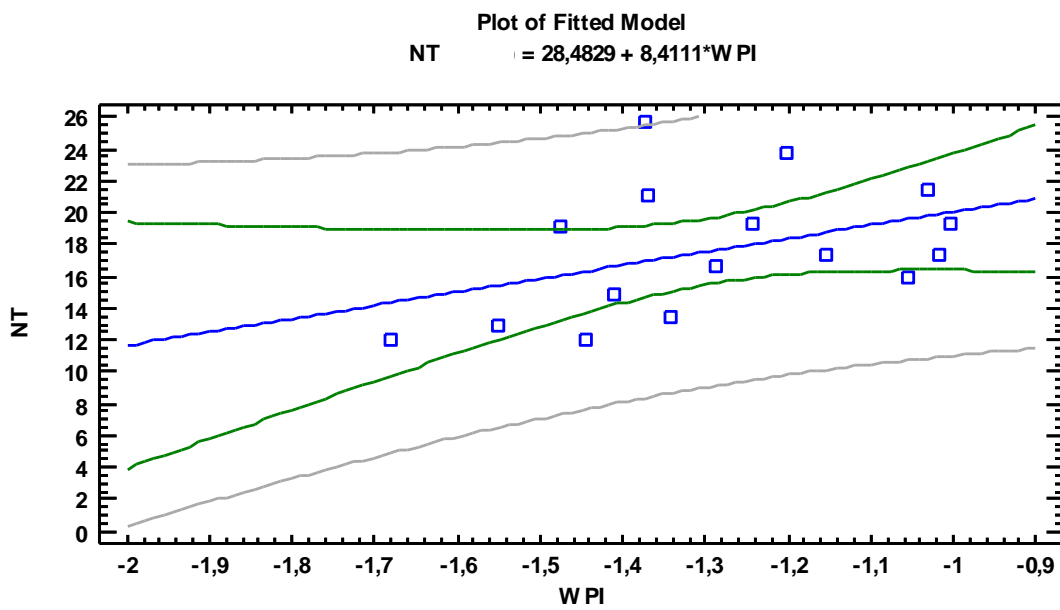
**Διάγραμμα 9** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας των σπόρων σε άζωτο στην ποικιλία Charles.



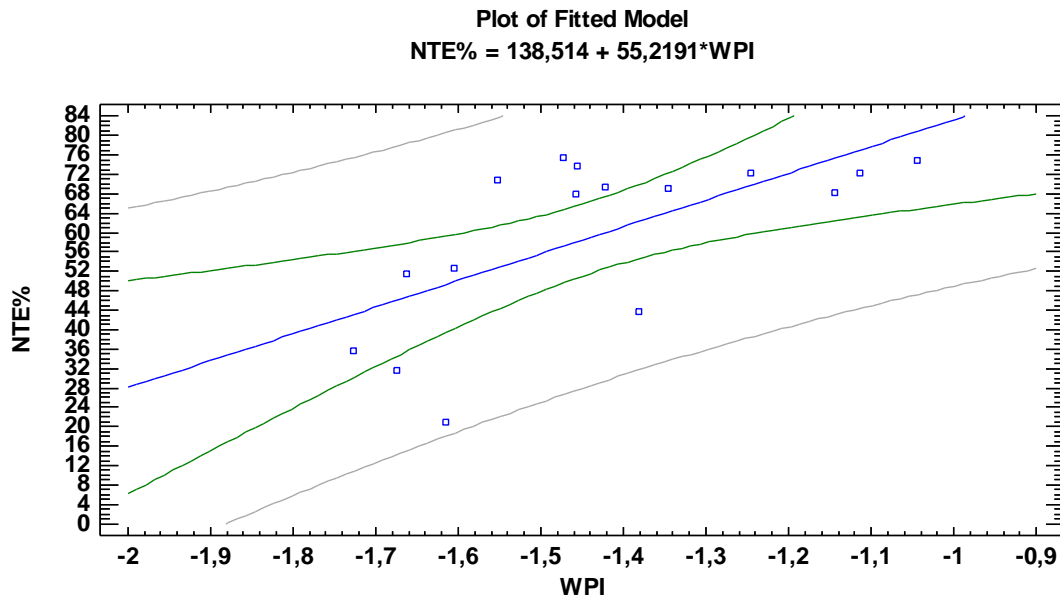
**Διάγραμμα 10** Η γραμμική παλινδρόμηση της μετακίνησης του αζώτου (NT) στην ποικιλία Asta.



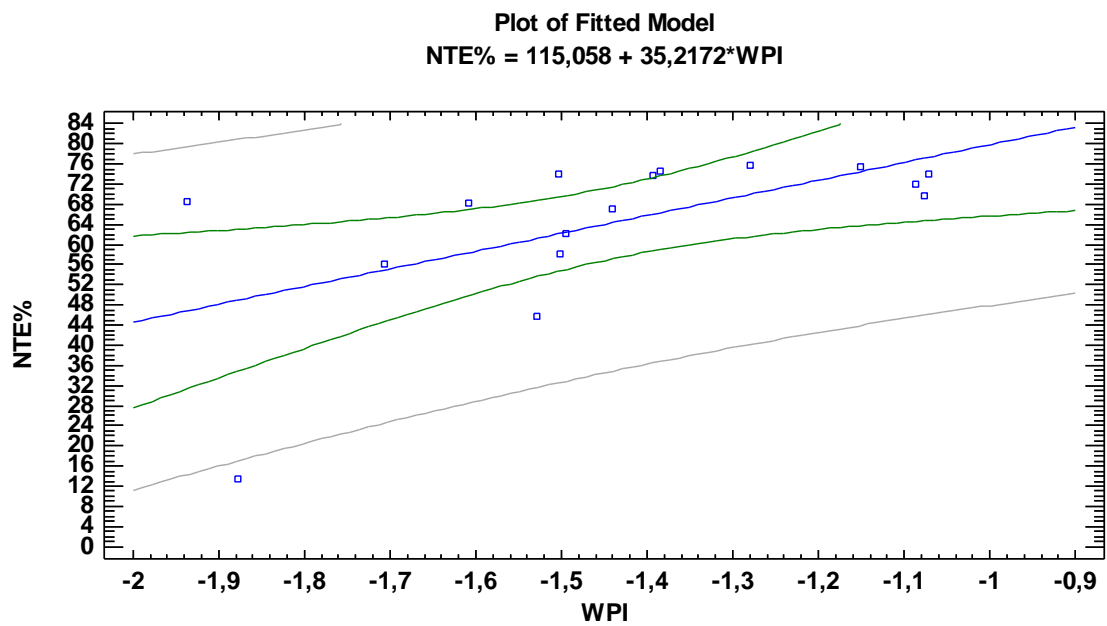
**Διάγραμμα 11** Η γραμμική παλινδρόμηση της μετακίνησης του αζώτου (NT) στην ποικιλία Zhana.



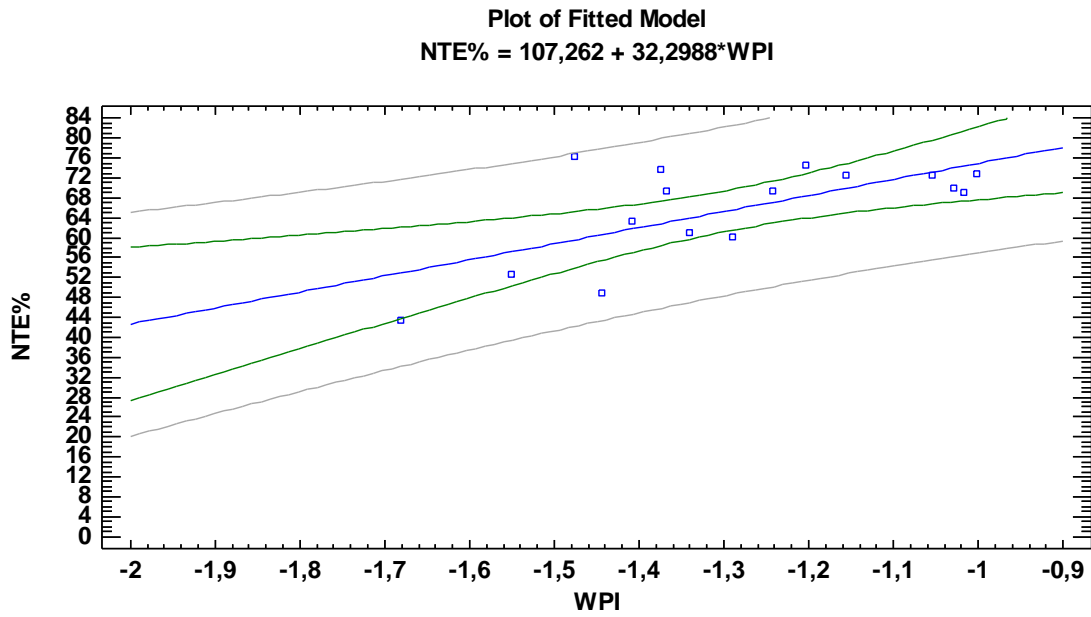
**Διάγραμμα 12** Η γραμμική παλινδρόμηση της μετακίνησης του αζώτου (NT) στην ποικιλία Charles.



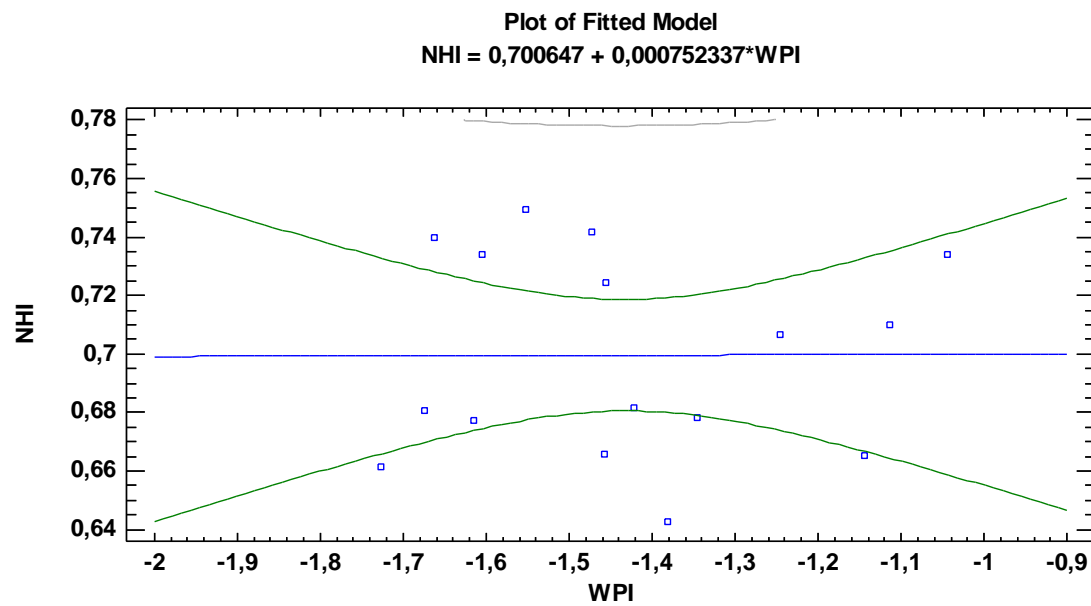
**Διάγραμμα 13** Η γραμμική παλινδρόμηση της ικανότητας μετακίνησης του αζώτου (NTE) στην ποικιλία Asta.



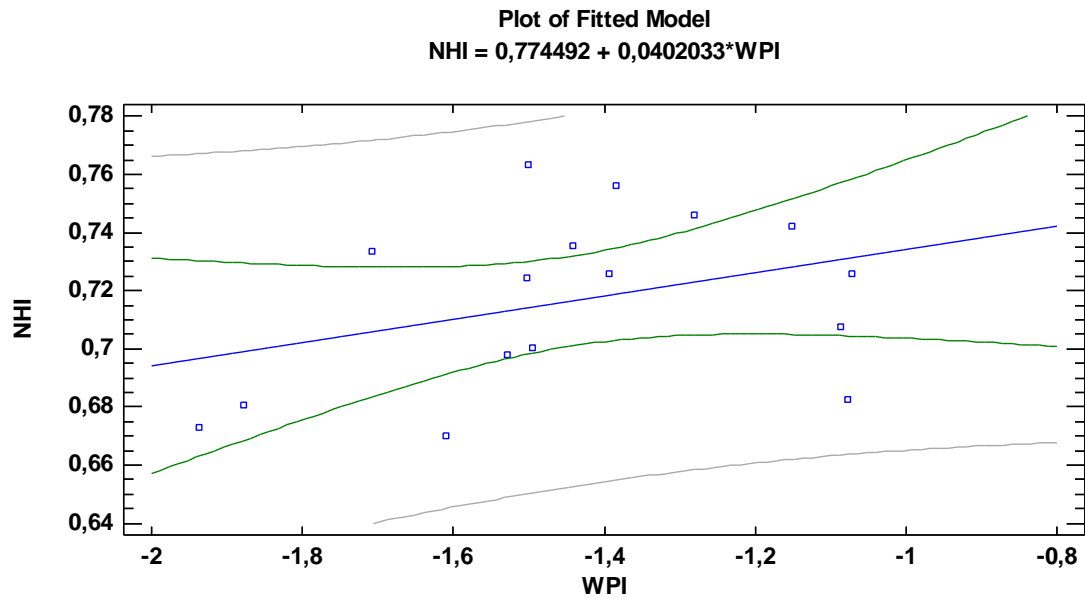
**Διάγραμμα 14** Η γραμμική παλινδρόμηση της ικανότητας μετακίνησης του αζώτου (NTE) στην ποικιλία Zhana.



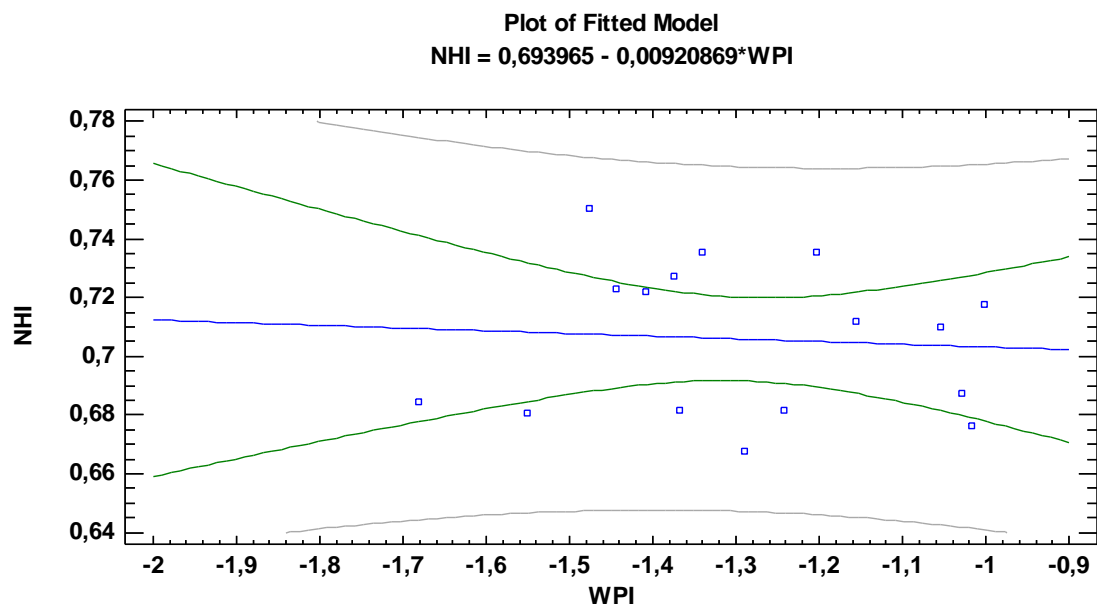
**Διάγραμμα 15** Η γραμμική παλινδρόμηση της ικανότητας μετακίνησης του αζώτου (NTE) στην ποικιλία Charles.



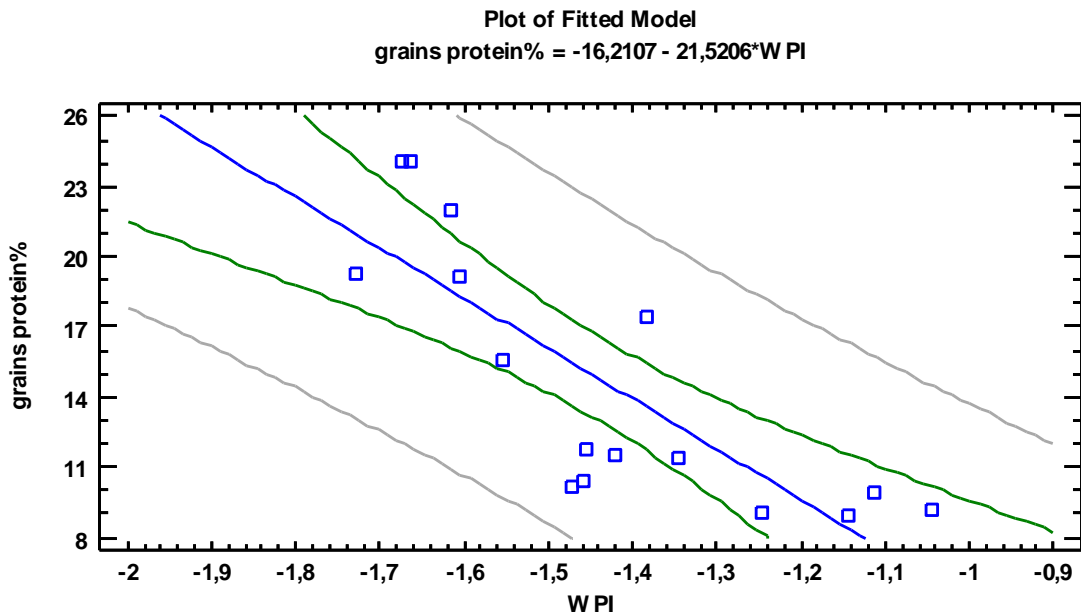
**Διάγραμμα 16** Η γραμμική παλινδρόμηση του δείκτη συγκομιδής του αζώτου (NHI) στην ποικιλία Asta.



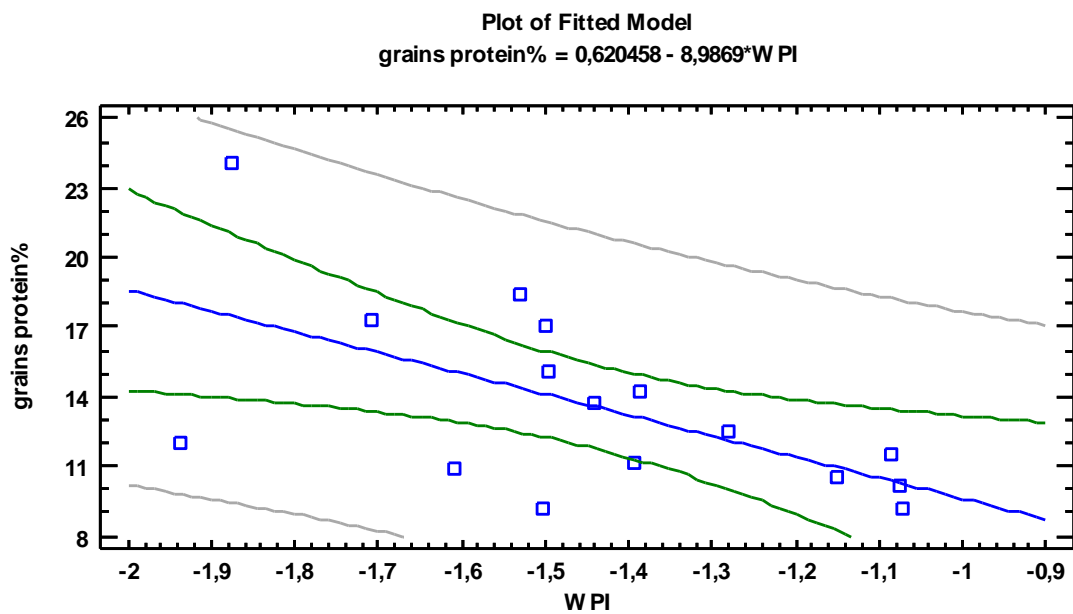
**Διάγραμμα 17** Η γραμμική παλινδρόμηση του δείκτη συγκομιδής του αζώτου (NHI) στην ποικιλία Zhana.



**Διάγραμμα 18** Η γραμμική παλινδρόμηση του δείκτη συγκομιδής του αζώτου (NHI) στην ποικιλία Charles.

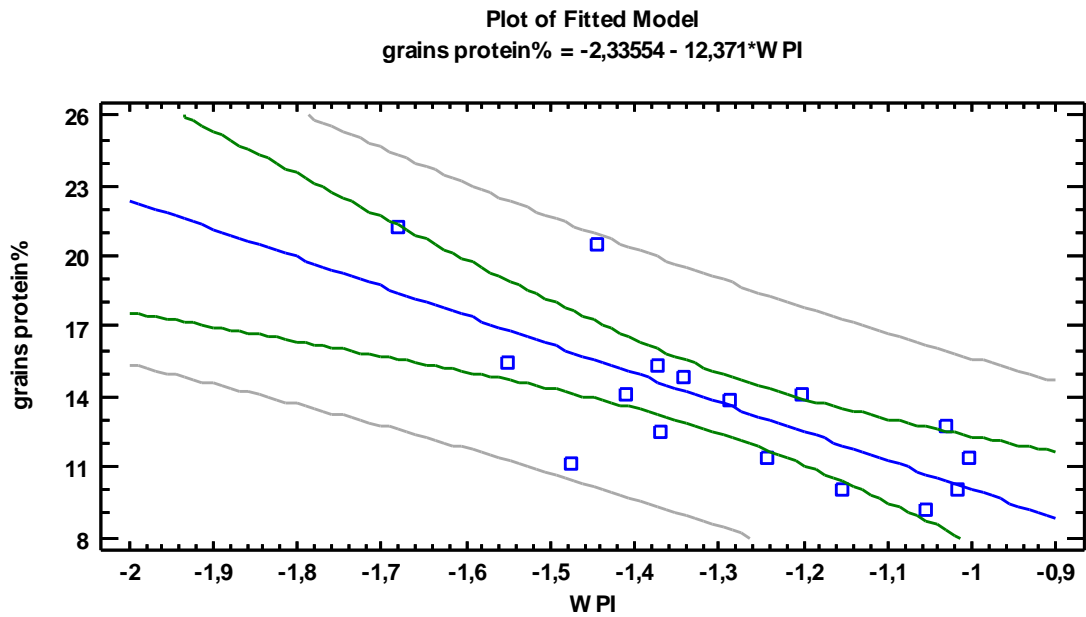


**Διάγραμμα 19** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας των σπόρων σε πρωτεΐνη με το δείκτη WPI για την ποικιλία Asta.

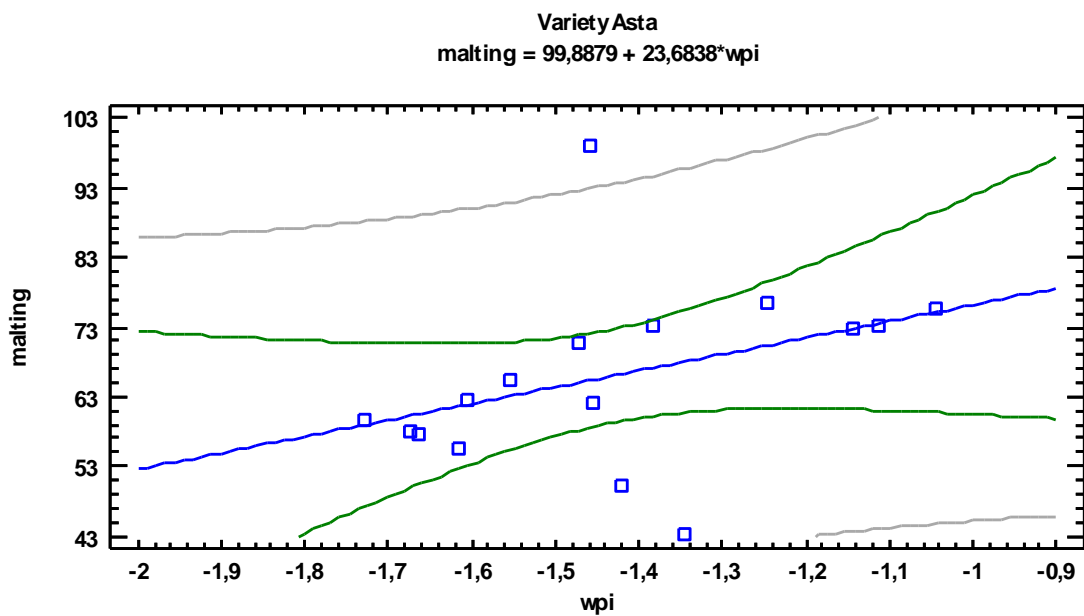


**Διάγραμμα 20** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας των σπόρων σε πρωτεΐνη με το δείκτη WPI για την ποικιλία Zhana.

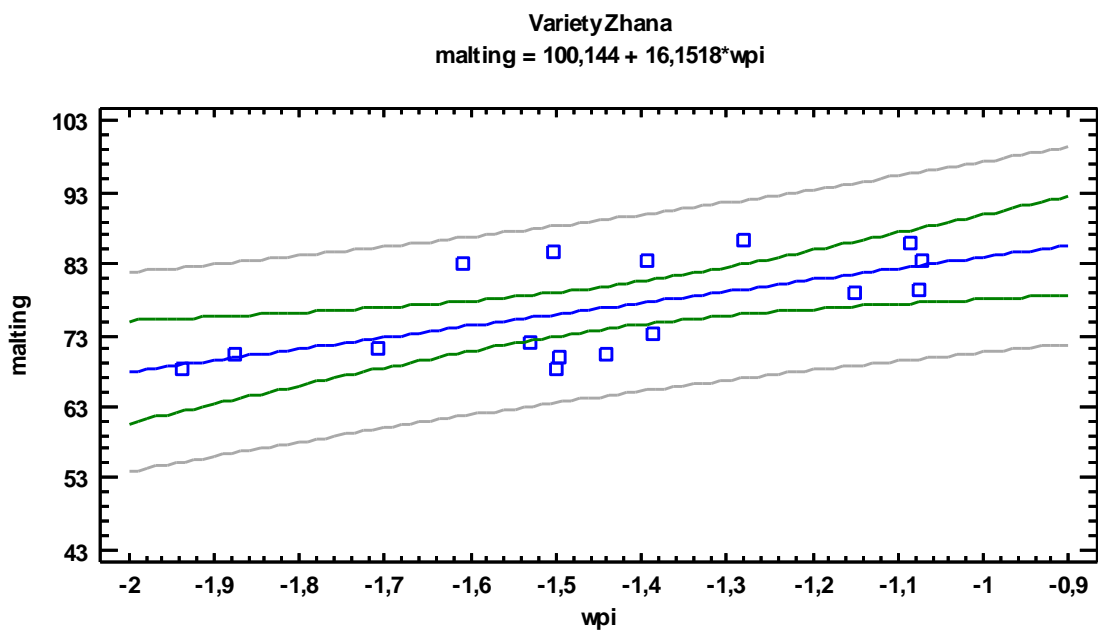




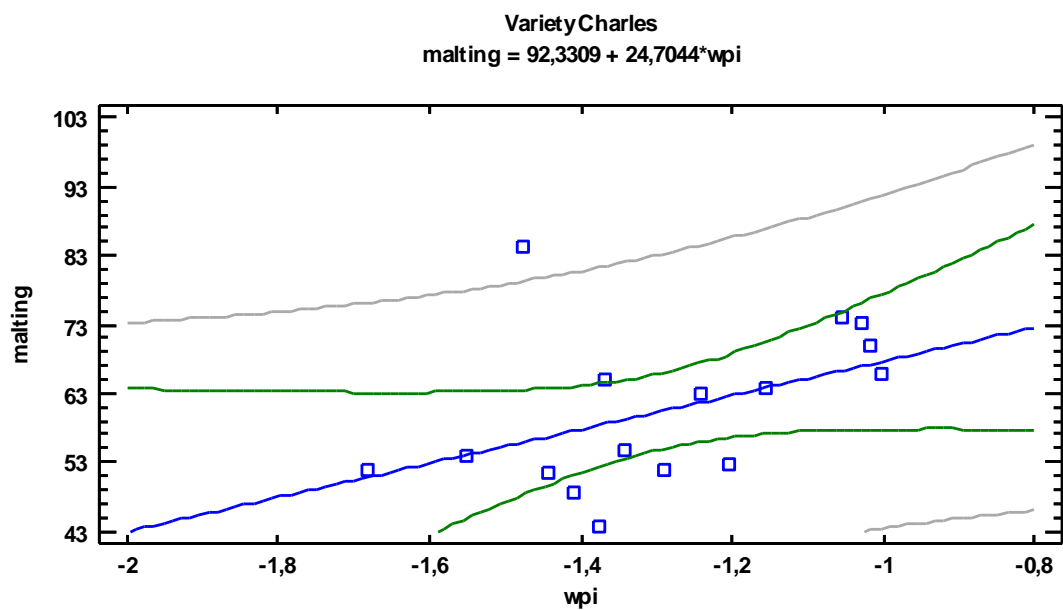
**Διάγραμμα 21** Η γραμμική παλινδρόμηση της περιεκτικότητας των σπόρων σε πρωτεΐνη με το δείκτη WPI για την ποικιλία Charles.



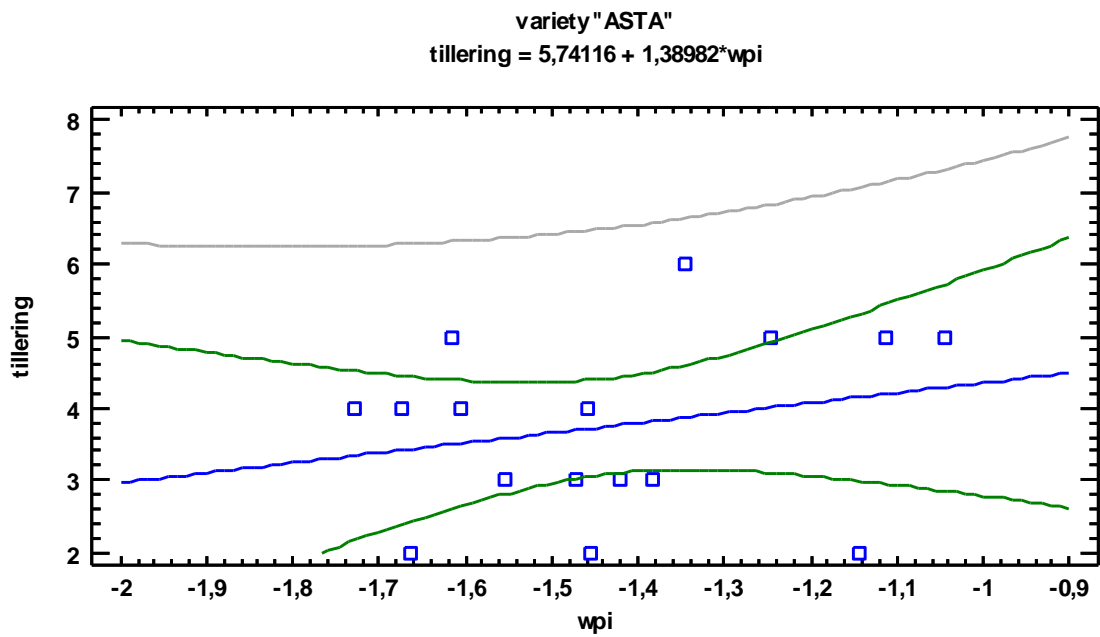
**Διάγραμμα 22** Η γραμμική παλινδρόμηση του βυνοποιήσιμου κλάσματος με το δείκτη WPI για την ποικιλία Asta.



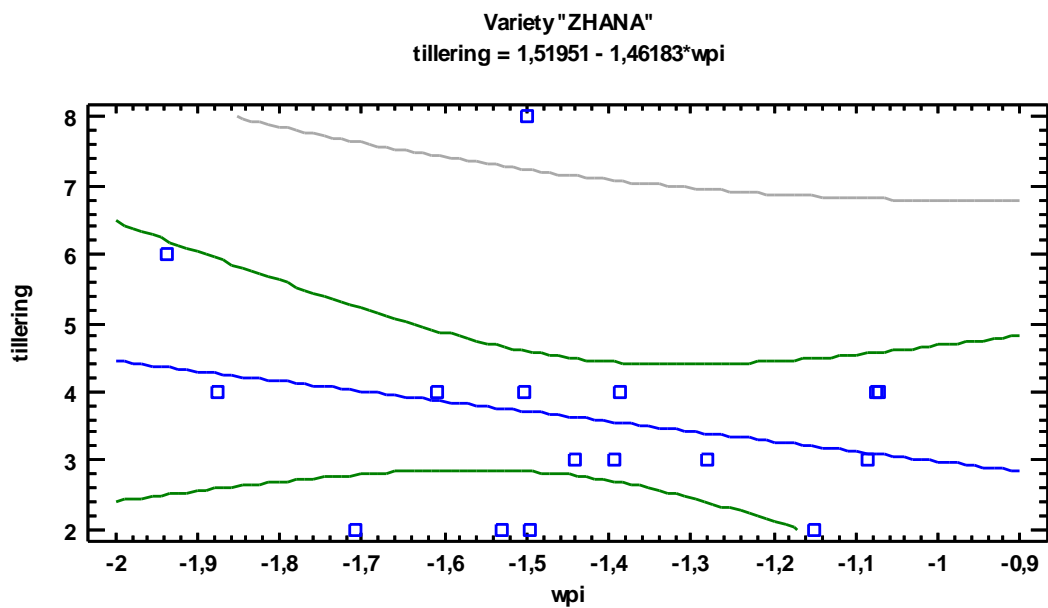
**Διάγραμμα 23** Η γραμμική παλινδρόμηση του βυνοποιήσιμου κλάσματος με το δείκτη WPI για την ποικιλία Zhana.



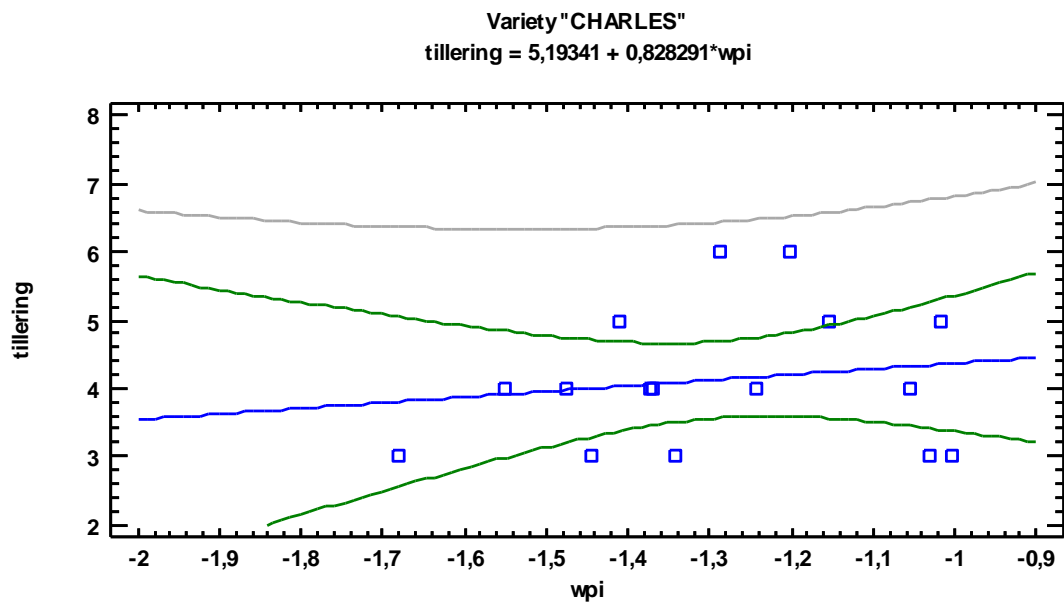
**Διάγραμμα 24** Η γραμμική παλινδρόμηση του βυνοποιήσιμου κλάσματος με το δείκτη WPI για την ποικιλία Charles.



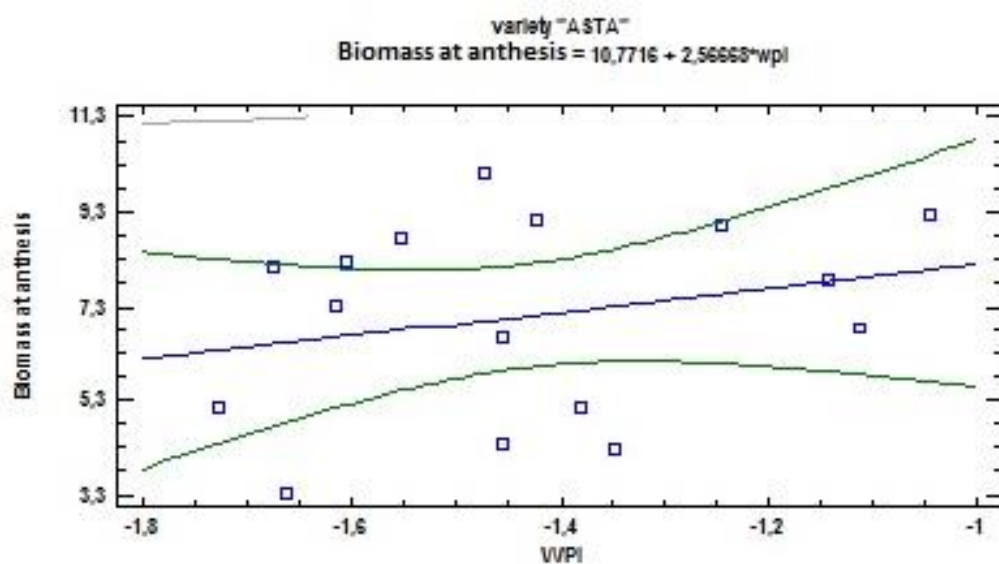
**Διάγραμμα 25** Η γραμμική παλινδρόμηση του αριθμού δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό με το δείκτη WPI για την ποικιλία Asta.



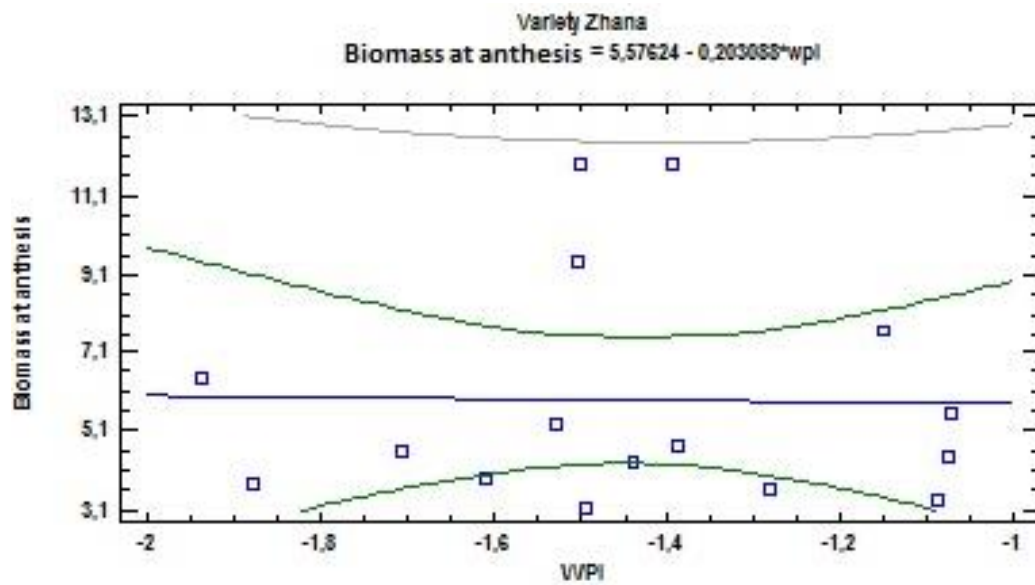
**Διάγραμμα 26** Η γραμμική παλινδρόμηση του αριθμού δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό με το δείκτη WPI για την ποικιλία Zhana.



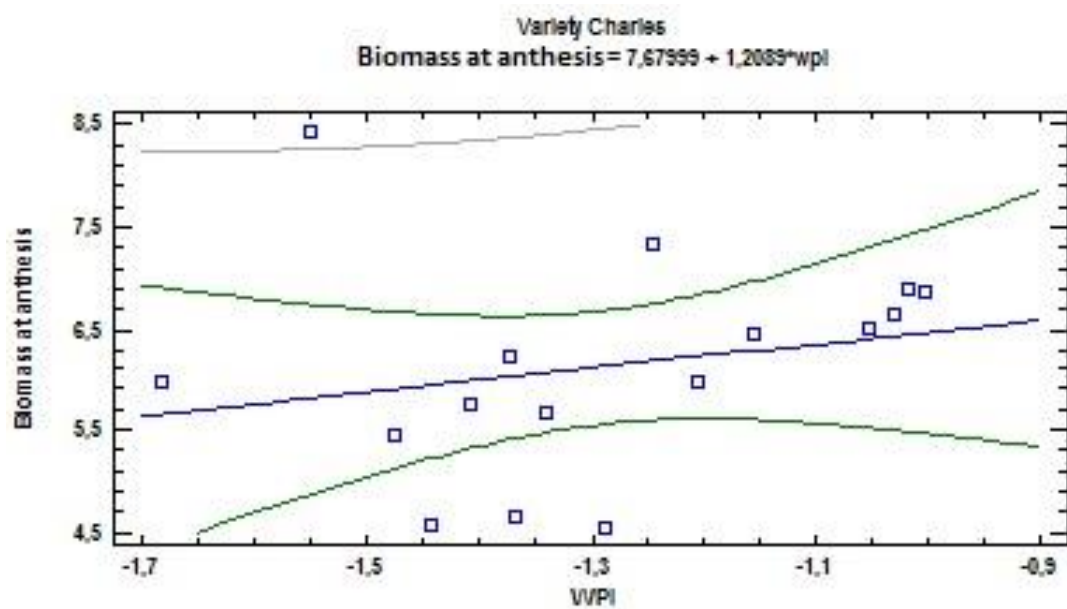
**Διάγραμμα 27** Η γραμμική παλινδρόμηση του αριθμού δευτερευόντων στελεχών ανά φυτό με το δείκτη WPI για την ποικιλία Charles.



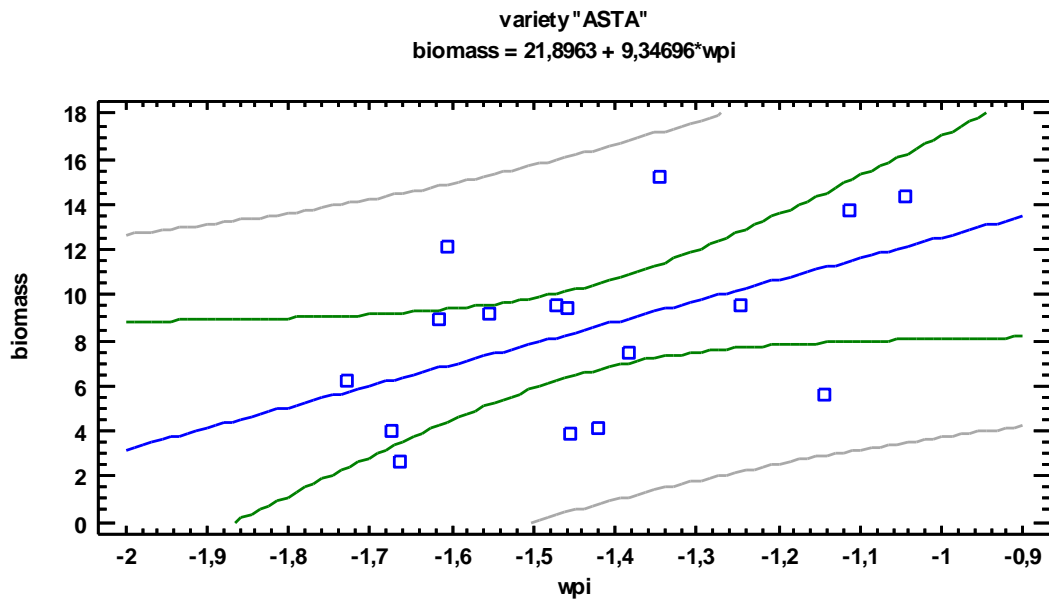
**Διάγραμμα 28** Η γραμμική παλινδρόμηση του ξηρού βάρους των φυτών στην άνθηση με το δείκτη WPI για την ποικιλία Asta.



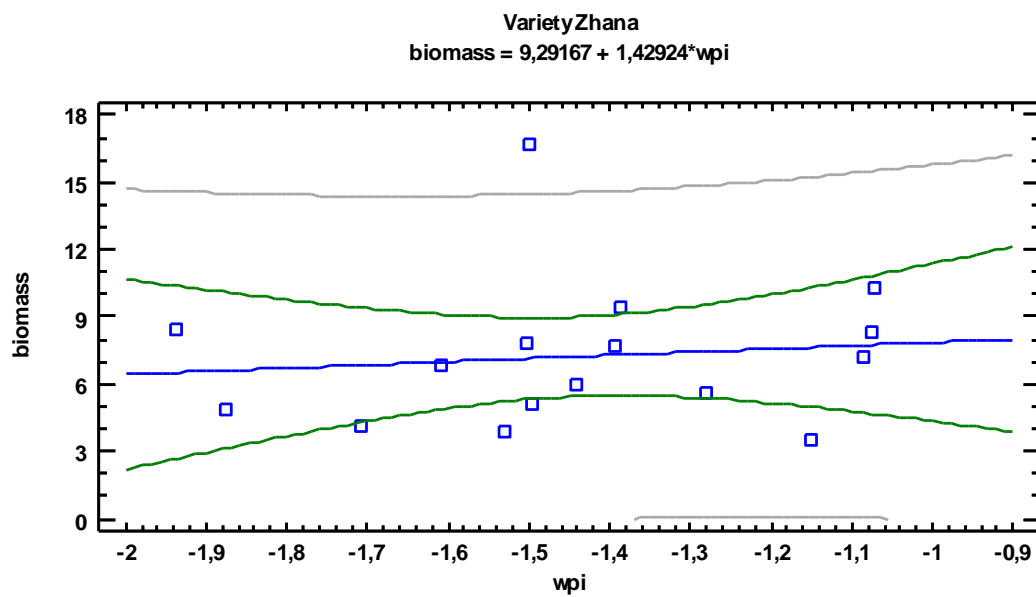
**Διάγραμμα 29** Η γραμμική παλινδρόμηση του ξηρού βάρους των φυτών στην άνθηση με το δείκτη WPI για την ποικιλία Zhana.



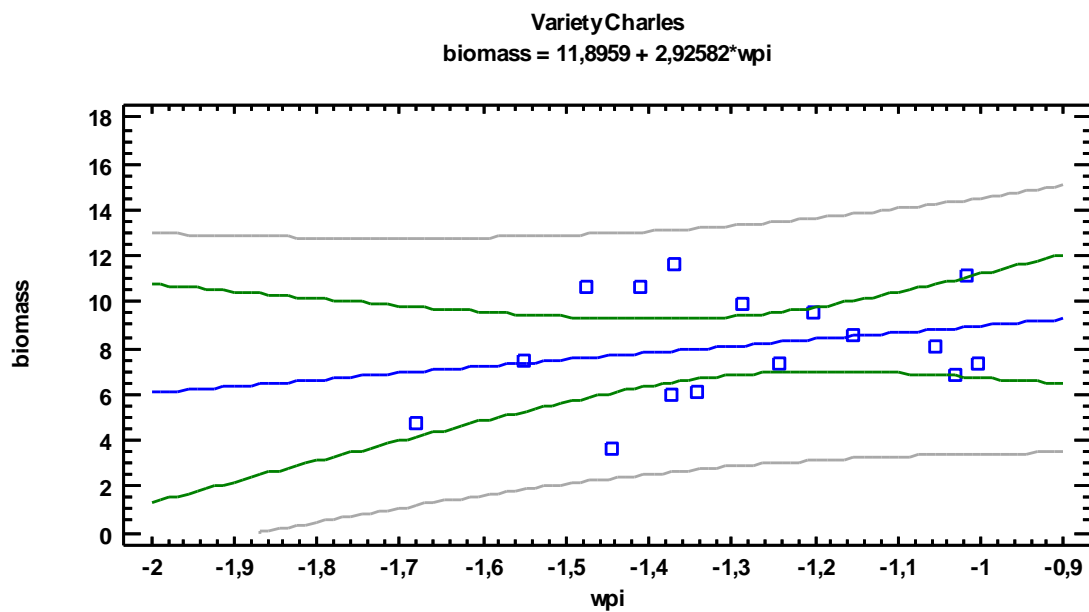
**Διάγραμμα 30** Η γραμμική παλινδρόμηση του ξηρού βάρους των φυτών στην άνθηση με το δείκτη WPI για την ποικιλία Charles.



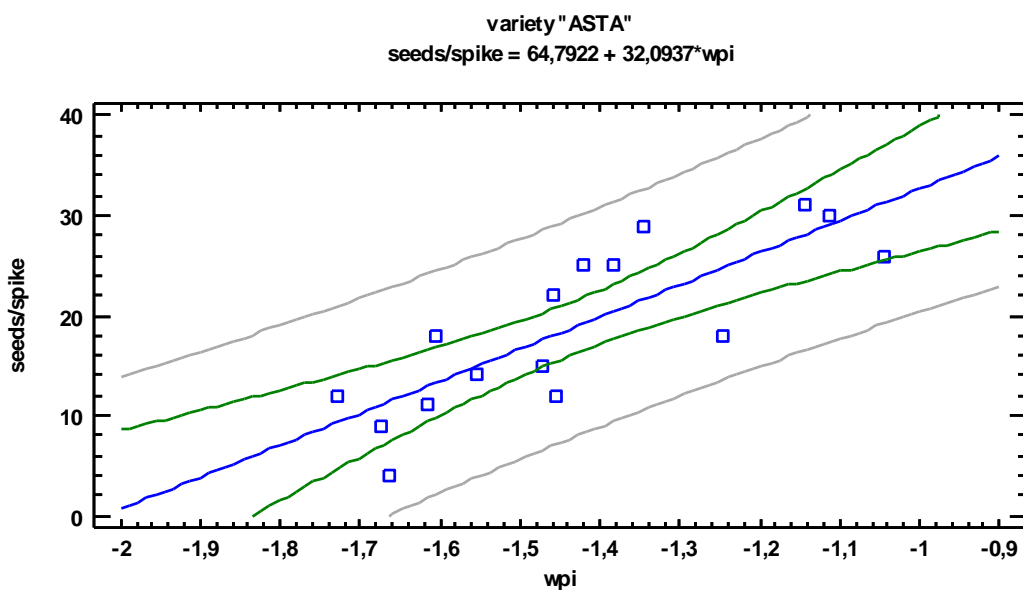
**Διάγραμμα 31** Η γραμμική παλινδρόμηση του ξηρού βάρους των φυτών στην συγκομιδή με το δείκτη WPI για την ποικιλία Asta.



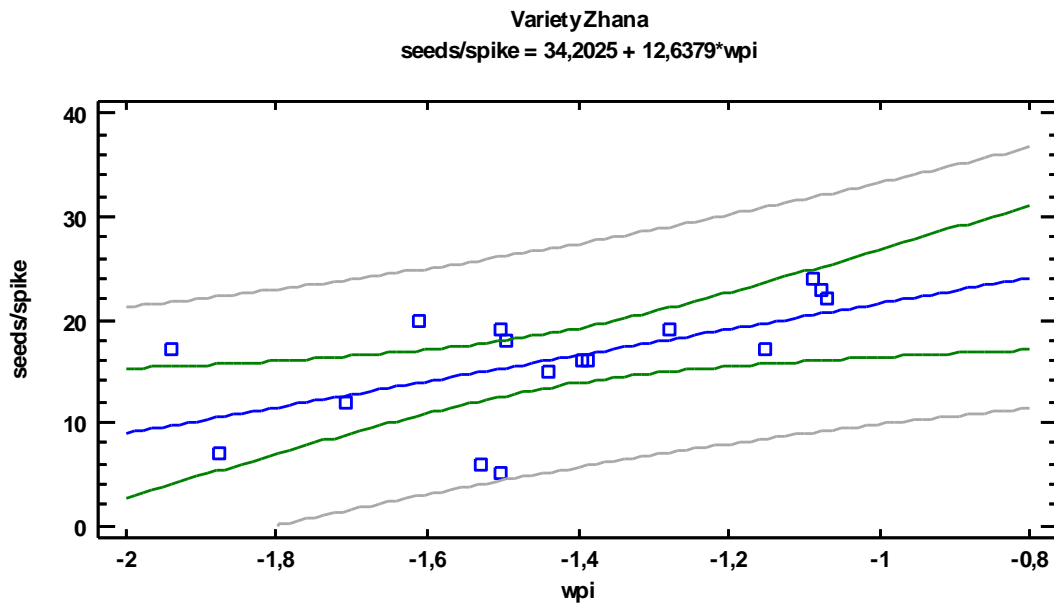
**Διάγραμμα 32** Η γραμμική παλινδρόμηση του ξηρού βάρους των φυτών στην συγκομιδή με το δείκτη WPI για την ποικιλία Zhana.



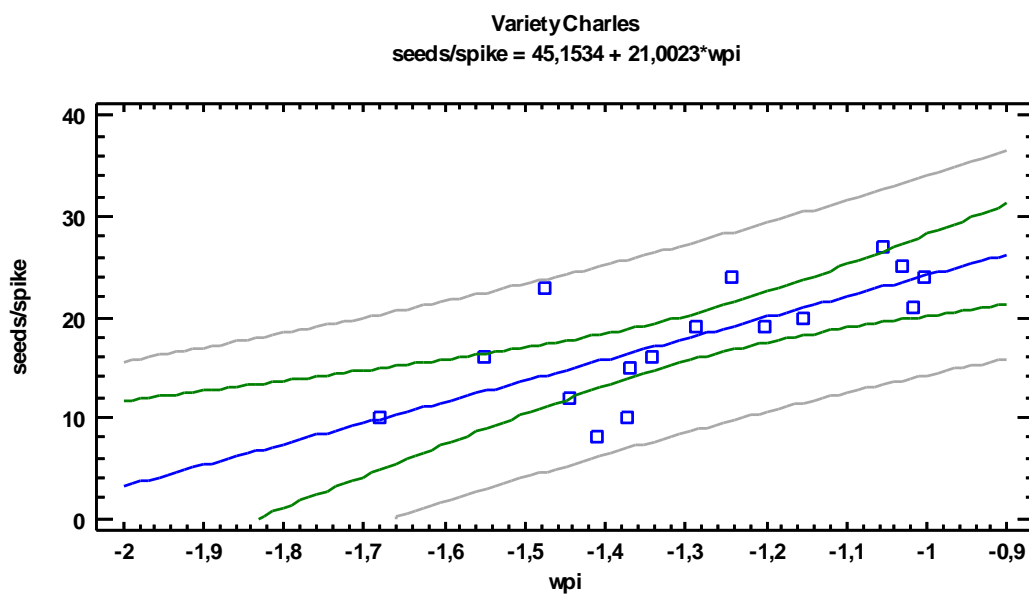
**Διάγραμμα 33** Η γραμμική παλινδρόμηση του ξηρού βάρους των φυτών στην συγκομιδή με το δείκτη WPI για την ποικιλία Charles.



**Διάγραμμα 34** Η γραμμική παλινδρόμηση του αριθμού των σπόρων ανά στάχυ με το δείκτη WPI για την ποικιλία Asta.

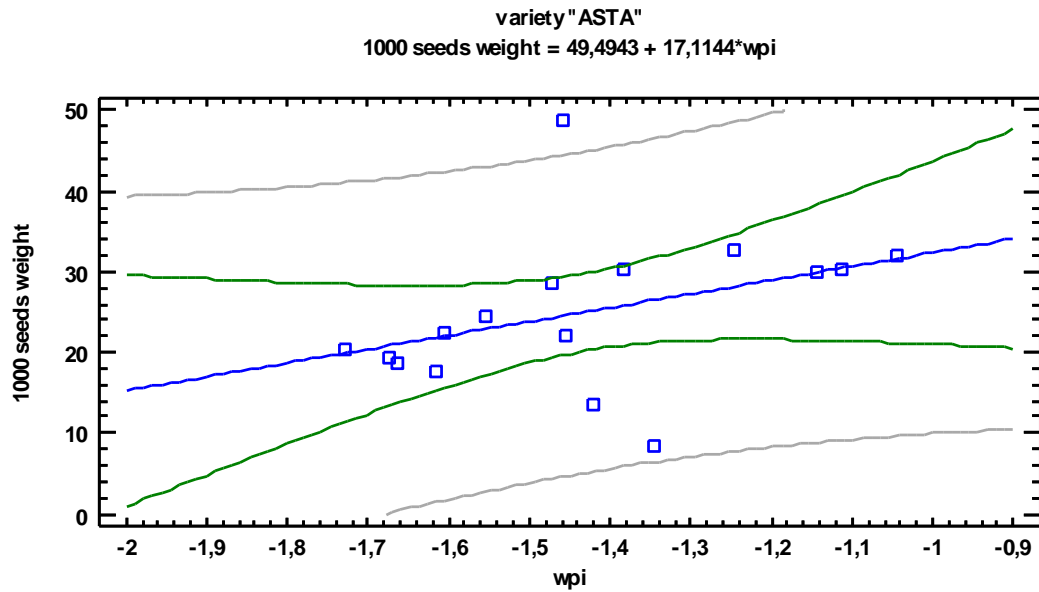


**Διάγραμμα 35** Η γραμμική παλινδρόμηση του αριθμού των σπόρων ανά στάχυ με το δείκτη WPI για την ποικιλία Zhana.

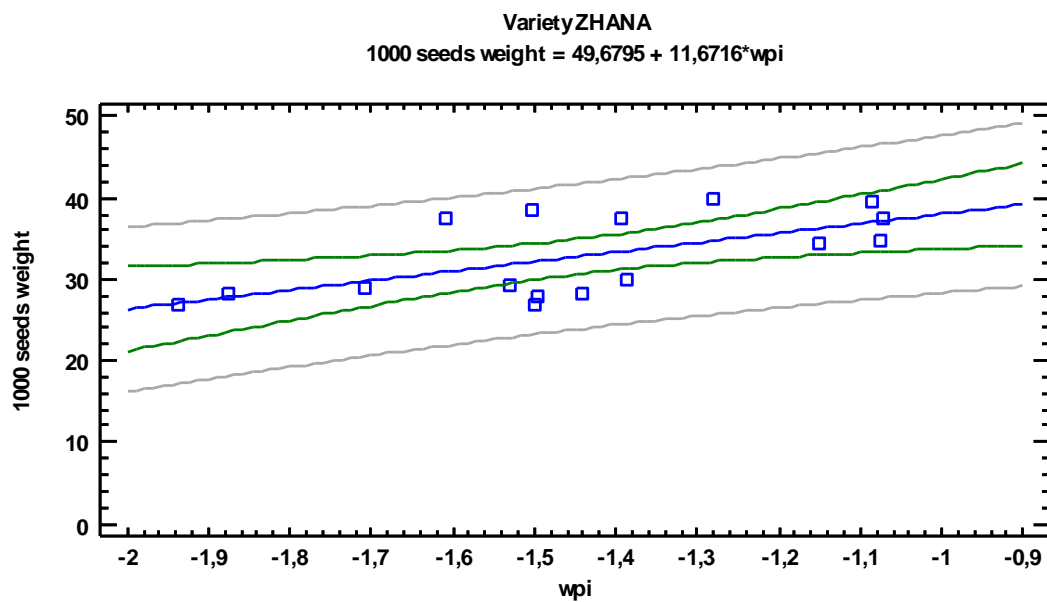


**Διάγραμμα 36** Η γραμμική παλινδρόμηση του αριθμού των σπόρων ανά στάχυ με το δείκτη WPI για την ποικιλία Charles.

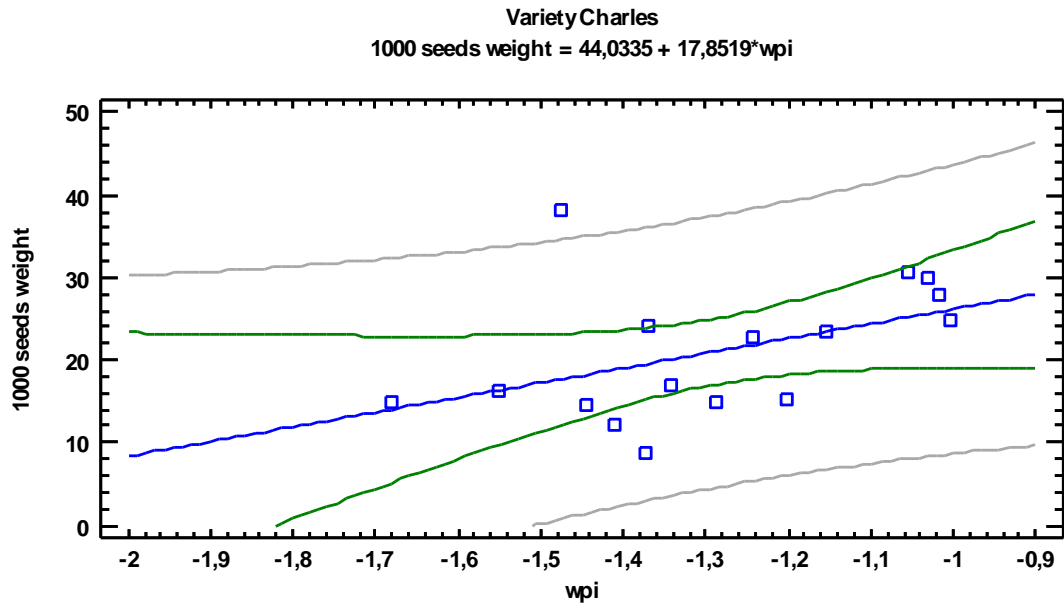




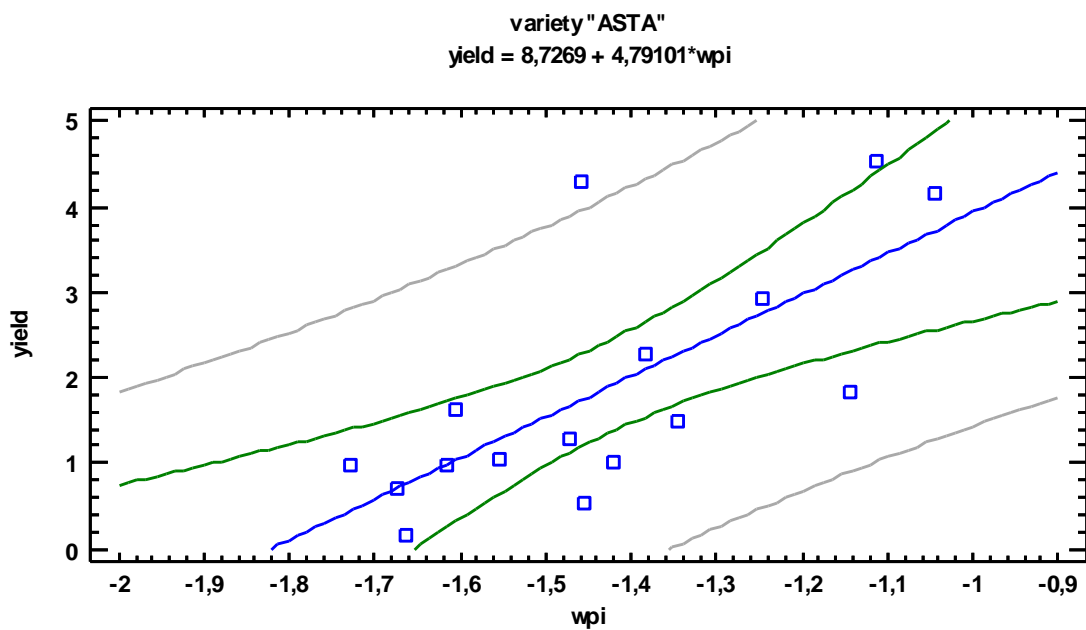
**Διάγραμμα 37** Η γραμμική παλινδρόμηση του βάρους των χιλίων σπόρων με το δείκτη WPI για την ποικιλία Asta.



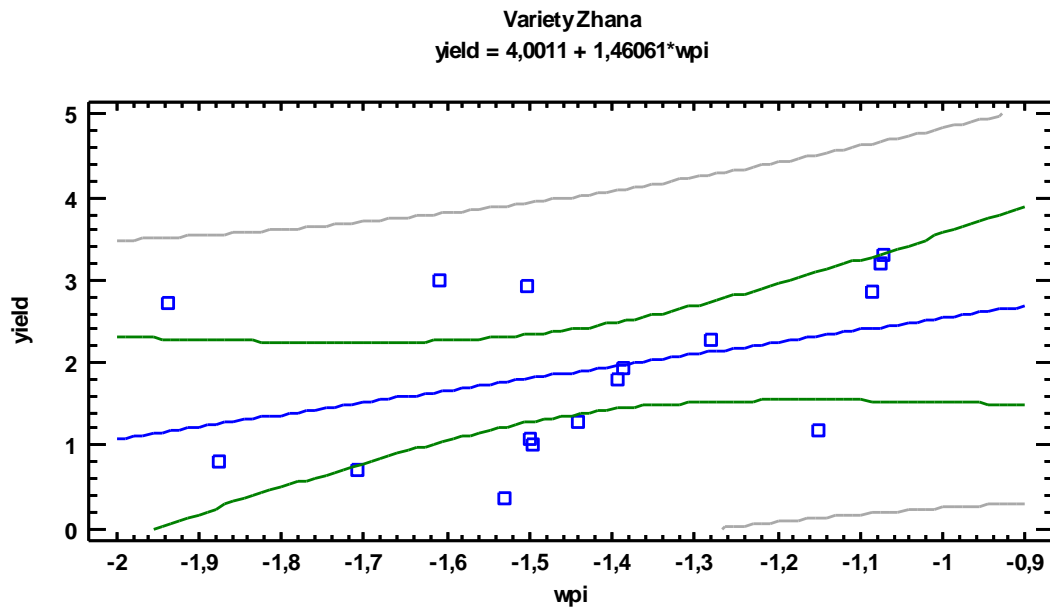
**Διάγραμμα 38** Η γραμμική παλινδρόμηση του βάρους των χιλίων σπόρων με το δείκτη WPI για την ποικιλία Zhana.



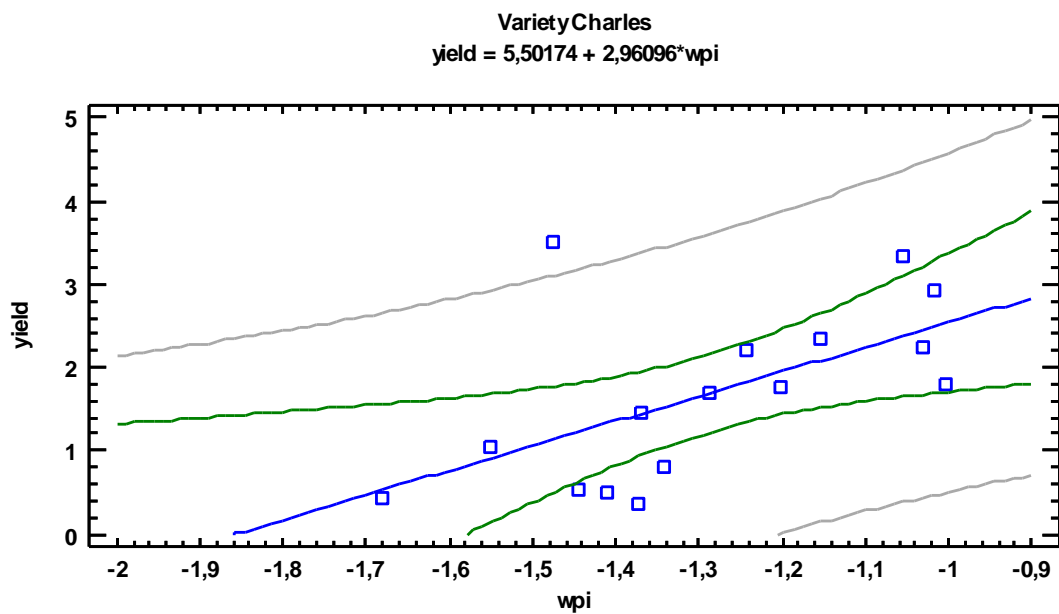
**Διάγραμμα 39** Η γραμμική παλινδρόμηση του βάρους των χιλίων σπόρων με το δείκτη WPI για την ποικιλία Charles.



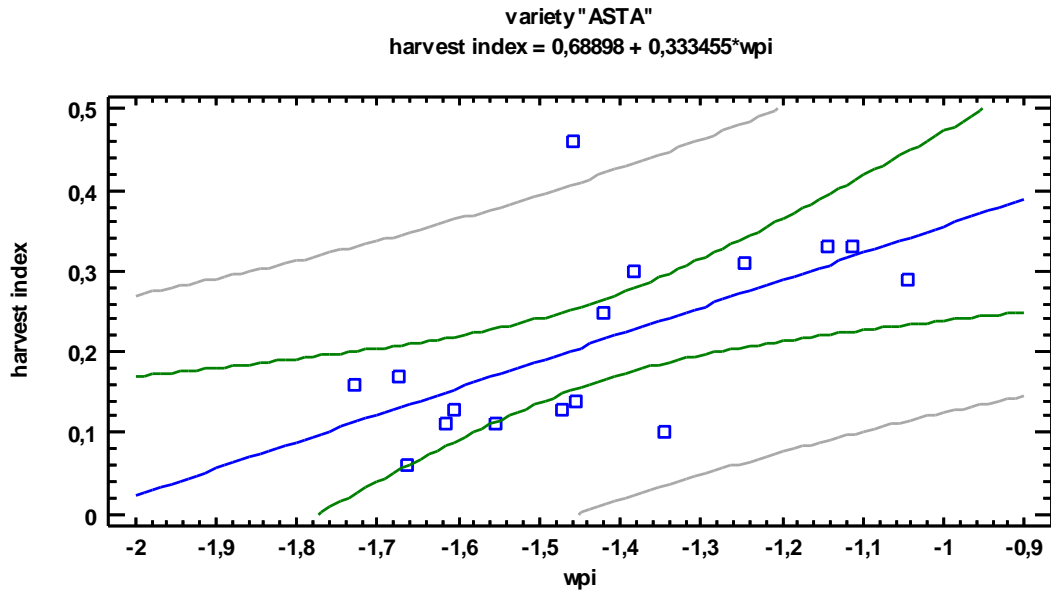
**Διάγραμμα 40** Η γραμμική παλινδρόμηση της απόδοσης σε καρπό ανά φυτό με το δείκτη WPI για την ποικιλία Asta.



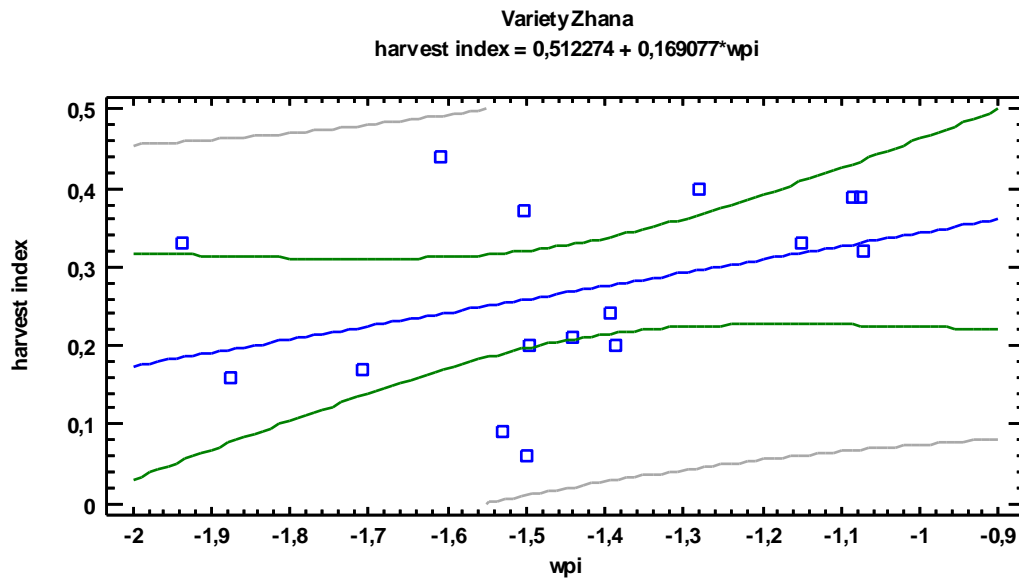
**Διάγραμμα 41** Η γραμμική παλινδρόμηση της απόδοσης σε καρπό ανά φυτό με το δείκτη WPI για την ποικιλία Zhana.



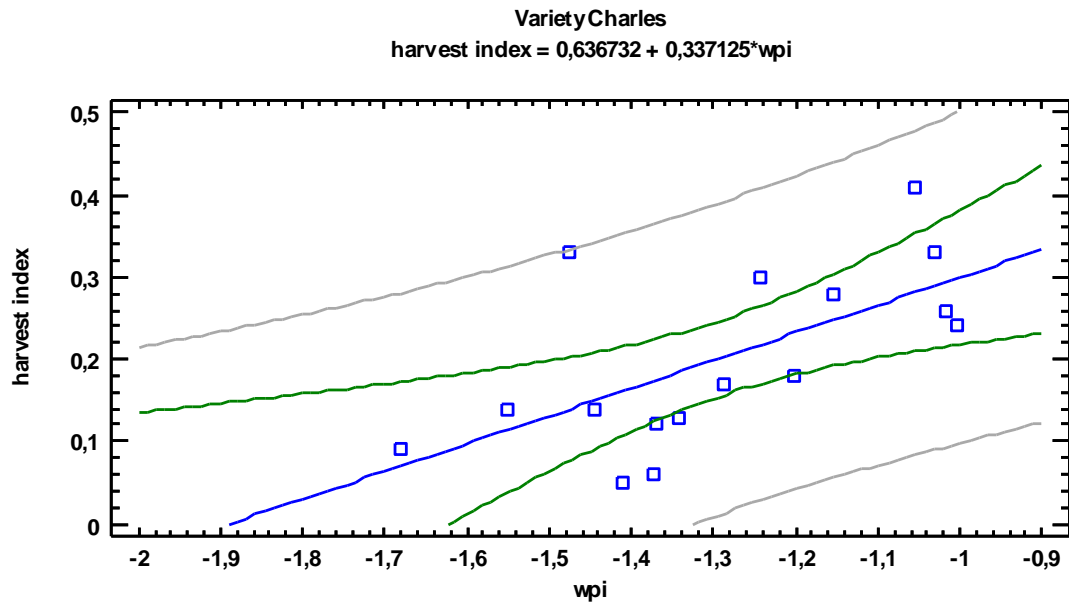
**Διάγραμμα 42** Η γραμμική παλινδρόμηση της απόδοσης σε καρπό ανά φυτό με το δείκτη WPI για την ποικιλία Charles.



**Διάγραμμα 43** Η γραμμική παλινδρόμηση του συντελεστή συγκομιδής με το δείκτη WPI για την ποικιλία Asta.



**Διάγραμμα 44** Η γραμμική παλινδρόμηση του συντελεστή συγκομιδής με το δείκτη WPI για την ποικιλία Zhana.



**Διάγραμμα 45** Η γραμμική παλινδρόμηση του συντελεστή συγκομιδής με το δείκτη WPI για την ποικιλία Charles.