

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ  
ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ  
ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ  
(*Gossypium hirsutum* L., cv. Celia)**

**ΒΑΣΙΛΗΣ Ε. ΚΩΤΟΥΛΑΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2010**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:  
**ΑΝΔΡΕΑΣ ΚΑΡΑΜΑΝΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Μελέτη των επιδράσεων της ελλειμματικής άρδευσης σε καλλιέργεια  
βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L., cv. Celia)

ΒΑΣΙΛΗΣ Ε. ΚΩΤΟΥΛΑΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

**Ανδρέας Καραμάνος**, Καθηγητής, ως Επιβλέπων  
**Σωτήρης Αγγελίδης**, Ομ. Καθηγητής, ως Μέλος  
**Γαρυφαλιά Οικονόμου**, Επ. Καθηγήτρια, ως Μέλος

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

**Ανδρέας Καραμάνος**, Καθηγητής, Τμήμα ΕΦΠ, Διευθυντής Εργ. Γεωργίας, ΓΠΑ  
**Σωτήρης Αγγελίδης**, Ομ. Καθηγητής, Τμήμα ΑΦΠ & ΓΜ, Εργ. Υδραυλικής, ΓΠΑ  
**Γαρυφαλιά Οικονόμου**, Επ. Καθηγήτρια, Τμήμα ΕΦΠ, Εργ. Γεωργίας, ΓΠΑ  
**Χρήστος Αυγουλάς**, Καθηγητής, Τμήμα ΕΦΠ, Εργ. Γεωργίας, ΓΠΑ  
**Δέσπω Παπακώστα-Τασοπούλου**, Καθηγήτρια, Τομέας ΦΜΚ, ΑΠΘ  
**Γιώργος Καραμπουρνιώτης**, Καθηγητής, Τμήμα ΓΒ, Εργ. Φυσ. Φυτών, ΓΠΑ  
**Νικόλαος Δέρκας**, Επ. Καθηγητής, Τμήμα ΑΦΠ & ΓΜ, Εργ. Υδραυλικής, ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ 2010

“ Για να δημιουργήσουμε κάτι καθαρό σαν την ασπράδα του βαμβακιού, χρειάζεται να παλαίγουμε, να πονέσουμε, να πικραθούμε. Μονάχα έτσι βλασταίνει και δυναμώνει ο σπόρος της δημιουργίας ”.

Βασίλειος Χριστίδης

“Η έγκρισις της παρούσης διδακτορικής διατριβής  
υπό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών  
δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμεων του συγγραφέως”  
{ Νόμος 5343/1932, άρθρο 202 }

Στους Γονείς μου

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατ' αρχήν θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον Καθηγητή κ. Καραμάνο Ανδρέα, τόσο για την ανάθεση της παρούσας μελέτης, όσο και για την κριτική επίβλεψη και τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά τη συγγραφή της.

Επιπλέον, ξεχωριστά θέλω να ευχαριστήσω τον Ομ. Καθηγητή κ. Αγγελίδη Σωτήρη για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης, καθώς και για τις υποδείξεις του σε θέματα φυσικής εδάφους και αρδεύσεων. Αισθάνομαι ακόμα την ανάγκη να ευχαριστήσω την Επ. Καθηγήτρια κα. Οικονόμου Γαρυφαλιά για τη στήριξή της σε επιστημονικό και κυρίως σε ανθρώπινο επίπεδο.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς την Καθηγήτρια κα. Παπακώστα-Τασοπούλου Δέσπω για την σχολαστική ανάγνωση της μελέτης και τις καίριες υποδείξεις της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Καθηγητές κκ. Αυγουλά Χρήστο και Καραμπουρνιώτη Γιώργο, για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους σε θέματα Γεωργίας και Φυσιολογίας των Φυτών αντίστοιχα.. Ακόμη θερμά ευχαριστώ τον Επ. Καθηγητή κ. Δέρκα Νικόλαο, για την ανυστερόβουλη βοήθειά του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μελέτης, καθώς και για τις χρήσιμες υποδείξεις του.

Ξεχωριστά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Νταράουσε Μωχάμεντ, γεωπόνο του Κέντρου Ποιοτικού Ελέγχου, Ταξινόμησης και Τυποποίησης Βάμβακος του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. στην Καρδίτσα., για την παραχώρηση όλων των απαραίτητων οργάνων, χωρίς τα οποία δεν θα ήταν εφικτή η πραγματοποίηση των πειραμάτων.

Τις θερμές μου ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς τους αγαπητούς συναδέλφους και ειλικρινείς φίλους κκ. Γιώργο Παναγόπουλο, Ηλία Τραυλό, Στέλιο Τσιώρο, Τερτυλλιανό Μήτση, Νίκο Κατσένιο, Ανδρέα Παπασταύρου και Δημήτρη Βολουδάκη για την αμέριστη συμπαράστασή τους και τις χρήσιμες συμβουλές τους κατά την εκπόνηση της παρούσας μελέτης. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τα μέλη του Εργαστηρίου Γεωργίας κα. Δελατόλα Ρόζμαρη και κ. Μαργαρίτη Κώστα για την πολύτιμη συνδρομή τους, όποτε αυτή τους ζητήθηκε.

Τον φίλο αγρότη κ. Θεοδωράκη Δημήτρη ευχαριστώ από καρδιάς για την βοήθειά του σε τεχνικά θέματα, κατά την πραγματοποίηση του πειραματικού μέρους της μελέτης.

Ολοκληρώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αγόγγυστη συμπαράστασή της, ηθική και οικονομική, χωρίς την οποία θα ήταν ανέφικτη η ολοκλήρωση τούτης της προσπάθειας.

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού ευρωπαϊκού προγράμματος “Deficit Irrigation for Mediterranean Agricultural Systems”, με Επ. Υπεύθυνο τον Καθηγητή κ. Καραμάνο Ανδρέα, τον οποίο και ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου.

B.E. Κωτούλας

Αθήνα 2010

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Περιεχόμενα	2
	Περίληψη	4
	Summary	5
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1	Οι υδατικές ανάγκες των φυτών	6
1.1.1	Το σύστημα έδαφος – φυτό - ατμόσφαιρα	6
1.1.2	Η άρδευση του βαμβακιού	7
1.1.3	Επιδράσεις του υδατικού ελλείμματος στα φυτά	12
1.1.4	Μηχανισμοί αντιμετώπισης της ξηρασίας από τα φυτά	21
1.1.4.1	Διαφυγή (Drought escape)	21
1.1.4.2	Ανθεκτικότητα (Drought tolerance)	22
1.1.4.3	Αποφυγή (Drought avoidance)	24
1.1.5	Ανθεκτικές ποικιλίες βαμβακιού στην ξηρασία	25
1.2	Αρδευτικά συστήματα	26
1.2.1	Γενικά	26
1.2.2	Η στάγδην άρδευση	28
1.3	Η ελλειμματική άρδευση	31
1.4	Αποτελεσματικότητα της χρήσης του αρδευτικού νερού	33
1.5	Οι στόχοι της μελέτης	37
2	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	38
2.1	Γενικά	38
2.2	Το πειραματικό σχέδιο	39
2.3	Το φυτικό υλικό	41
2.4	Καλλιεργητικά στοιχεία	41
2.4.1	Η προηγούμενη καλλιέργεια	41
2.4.2	Προετοιμασία εδάφους – Σπορά - Φύτρωμα	41
2.4.3	Αντιμετώπιση των εχθρών της καλλιέργειας	42
2.4.4	Λίπανση	43
2.5	Αρδεύσεις	43
2.6	Παρατηρήσεις και προσδιορισμοί	47
2.6.1	Αγρονομικά χαρακτηριστικά	47
2.6.1.1	Βλαστική ανάπτυξη	47
2.6.1.2	Αναπαραγωγική ανάπτυξη	48
2.6.1.3	Ριζικό σύστημα	48
2.6.2	Φαινολογικά χαρακτηριστικά	48
2.6.3	Αποδόσεις και τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας	52
2.6.4	Υδατικές σχέσεις	52
2.6.5	Εδαφική υγρασία	54
2.6.6	Υπολογισμός δεικτών	55
2.6.7	Μετεωρολογικά δεδομένα	56
2.7	Στατιστική ανάλυση	57
3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	58
3.1	Μετεωρολογικά στοιχεία	58
3.1.1	Θερμοκρασία	58
3.1.2	Σχετική υγρασία	59
3.1.3	Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας	60
3.1.4	Βροχόπτωση	61
3.1.5	Εξατμισοδιαπνοή	62
3.2	Εδαφική υγρασία	64
3.2.1	Υγρασιακή κατάσταση του εδάφους	64

3.3.2	Εξέλιξη των κατατομών υγρασίας	69
3.3	Βλαστική ανάπτυξη	75
3.3.1	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)	75
3.3.2	Ξηρό βάρος φύλλων	77
3.3.3	Ξηρό βάρος στελεχών	77
3.3.4	Ύψος φυτών	81
3.3.5	Ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών	83
3.3.5.1	Επιφάνεια ριζικού συστήματος	83
3.3.5.2	Ξηρό βάρος ριζικού συστήματος	84
3.4	Αναπαραγωγική ανάπτυξη	85
3.4.1	Αριθμός χτενιών και ανθέων	85
3.4.2	Ξηρό βάρος χτενιών και ανθέων	87
3.4.3	Αριθμός καψών	89
3.4.4	Ξηρό βάρος καψών	91
3.5	Αποδόσεις και τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας	93
3.5.1	Αποδόσεις σε σύσπορο βαμβάκι	93
3.5.2	Απόδοση σε ίνα	94
3.5.3	Μέσο βάρος κάψας	95
3.5.4	Ρυθμός ανάπτυξης της φυτείας (Crop Growth Rate)	96
3.5.5	Δείκτης συγκομιδής ((Harvest Index)	96
3.5.6	Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας	98
3.6	Φαινολογικές παρατηρήσεις	100
3.7	Φυσιολογικές παρατηρήσεις	102
3.7.1	Υδατικό δυναμικό των φύλλων των φυτών	102
3.7.2	Αντίσταση στοματίων των φύλλων	106
3.8	Αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού (Water Use Efficiency)	109
4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	111
4.1	Εδαφική υγρασία	111
4.2	Ύψος φυτών	111
4.3	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας	112
4.4	Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος	113
4.5	Απόδοση	115
4.6	Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας	118
4.7	Φυσιολογικές παράμετροι	119
4.8	Αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού (WUE)	123
	BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	125
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	140



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη των επιδράσεων της ελλειμματικής άρδευσης (deficit irrigation) σε ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L. cv. Celia). Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν τρία πειράματα αγρού σε ισάριθμες καλλιεργητικές περιόδους (2005, 2006, 2007) στην Καρδίτσα. Εφαρμόστηκαν τρεις υδατικές μεταχειρίσεις (FI = Πλήρης άρδευση, DI1 = ελ. άρδευση 1, DI2 = ελ. άρδευση 2). Ο προσδιορισμός της ποσότητας του νερού που χορηγήθηκε στο μάρτυρα (FI), έγινε με βάση την εξατμισοδιαπνοή της φυτείας (ETc), η οποία υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση Penman - Monteith (1965), τροποποιημένη κατά FAO 56 (Allen *et al*, 1998). Έτσι τα τρία επίπεδα άρδευσης διαμορφώθηκαν ως εξής: FI = 80% ETc, DI1 = 75% FI, DI2 = 50% FI. Ως έναρξη της εφαρμογής της ελλειμματικής άρδευσης ορίστηκε όταν το υδατικό δυναμικό των φύλλων θα έφτανε τα -1,5 MPa, σημείο που συνέπεσε και στις τρεις περιόδους με την έναρξη της άνθισης. Η άρδευση πραγματοποιήθηκε με σταλακτηφόρους αγωγούς.

Κατά τη διάρκεια των πειραματικών ετών λαμβάνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα μετρήσεις για τον προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας, καθώς και της υδατικής κατάστασης των φυτών. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες καταστροφικές δειγματοληψίες για την παρακολούθηση τόσο της βλαστικής, όσο και της αναπαραγωγικής ανάπτυξης των φυτών (ξηρό βάρος, φυλλική επιφάνεια, αριθμός χτενιών και ανθέων). Επιπλέον, μετρήθηκε η επιφάνεια του ριζικού συστήματος σε βάθος 0-25 cm. Επιπροσθέτως, σε καθορισμένα εκ των προτέρων φυτά ελήφθησαν φαινολογικές παρατηρήσεις. Στο τέλος της κάθε περιόδου συγκομίστηκαν οι δύο ενδιάμεσες γραμμές κάθε τεμαχίου και προσδιορίστηκαν οι αποδόσεις σε σύσπορο βαμβάκι και σε ίνα, όπως και ορισμένα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας. Η αποτελεσματικότητα της χρήσης του νερού (Water Use Efficiency) εκτιμήθηκε με βάση το δείκτη WUE. Τέλος, με τη βοήθεια γραμμικών παλινδρομήσεων μεταξύ του δείκτη υδατικού δυναμικού (WPI) που προτάθηκε από τους Karamanos και Paratheohari (1999) και διαφόρων μορφολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων, έγινε η εκτίμηση της ευαισθησίας των παραμέτρων αυτών στην έλλειψη νερού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο μάρτυρας υπερείχε σταθερά σε όλα τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν, καθώς και στις αποδόσεις, όπως και η επέμβαση DI1 σε σχέση με την DI2. Ωστόσο, οι επεμβάσεις της ελλειμματικής άρδευσης και κυρίως η DI2, ήταν πιο πρώιμες. Όσον αφορά στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας, η ελλειμματική άρδευση δεν επέδρασε σημαντικά. Από τις συνιστώσες της απόδοσης, αυτή που διαδραμάτισε σημαντικότερο ρόλο στις τελικές αποδόσεις ήταν το μέσο βάρος κάψας, ανεξάρτητα από την επέμβαση. Τέλος, πολύ σημαντική ήταν η συσχέτιση ανάμεσα στις τελικές αποδόσεις και τον δείκτη WPI, ανεξάρτητα από την καλλιεργητική περίοδο.

## SUMMARY

The analysis of deficit irrigation effects on quantitative and qualitative characteristics of cotton (*Gossypium hirsutum* L. cv. Celia) was the objective of this study. Three field experiments were setup during 2005, 2006 and 2007 in the region of Karditsa. Three kinds of water treatments were used, FI (Full Irrigation), DI1 (Deficit Irrigation 1) and DI2 (Deficit Irrigation 2). The estimation on the water quantity, supplied to the control treatment was based on crop evapotranspiration (Etc), which was calculated according to the Penman-Monteith equation (1965), modified by FAO 56 (Allen et al, 1998). Therefore, the three irrigation levels were set as follows:  $FI=80\%*ETc$ ,  $DI1=75\%*FI$ ,  $DI2=50\%*FI$ . Irrigation treatments started when leaf water potential reached  $-1,5$  MPa for the first time. In all three periods, the onset of irrigation coincided with the beginning of blooming. A drip irrigation system was used.

Measurements of soil and plant water status were taken frequently. At the same time, damaged samples were taken regularly throughout the experimental period. In addition characteristics of vegetative and reproductive growth were measured by means of destructive sampling (dry matter, leaf area, number of squares and bolls). Root surface area was also measured in the 0-25 cm soil layer. Phenological observations were also taken on marked plants. From the two intermediate lines of each plot, yields both in seed cotton and fiber as well as several of the fiber properties were estimated. Water Use Efficiency was estimated from the WUE index. Finally, using the linear regression technique, suggested by Karamanos and Papatheohari (1999), the sensitivity of several morphological and physiological parameters to water stress was assessed.

Most characteristics were significantly higher in FI in comparison to the other two treatments. DI1 was also superior to DI2. However deficit irrigation treatments, especially DI2, exhibited more pronounced earliness. Deficit irrigation did not affect significantly fiber qualitative properties. The average weight of the seed cotton per boll was more important, than boll number per plant in final yield determination, irrespective of the treatment. Significant correlation between final yield and WPI was observed.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Οι υδατικές ανάγκες των φυτών

#### 1.1.1 Το σύστημα έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα

Το νερό είναι το πιο σημαντικό μέσο της ζωής για όλους τους οργανισμούς. Τα χερσαία φυτά αντιμετωπίζουν ένα σημαντικό πρόβλημα λόγω απωλειών νερού προς την ατμόσφαιρα που μπορεί να οδηγήσει σε θανατηφόρο αφυδάτωση. Αυτό το πρόβλημα επιδεινώνεται λόγω της μεγάλης φυλλικής επιφάνειας της υψηλής ακτινοβολούμενης ενέργειας και της ανάγκης να έχουν τα φυτά ένα ανοικτό μονοπάτι για την πρόσληψη CO<sub>2</sub>. Έτσι, τα φυτά έχουν την ανάγκη ταυτόχρονης διατήρησης της συγκέντρωσης του νερού και αφομοίωσης CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα (Bressan, 1998).

Η επίλυση αυτού του προβλήματος σχετίζεται πάρα πολύ με την μορφολογία του φυτού όπως: 1) εκτεταμένο ριζικό σύστημα, 2) χαμηλή αντίσταση από τα αγγεία του ξύλου, 3) υδρόφοβη εφυμενίδα που καλύπτει τις επιφάνειες του φυτού, 4) μικροσκοπικά στομάτια στην επιφάνεια των φύλλων που επιτρέπουν την ανταλλαγή των αερίων και 5) καταφρακτικά κύτταρα που ρυθμίζουν το άνοιγμα των στοματίων. Το αποτέλεσμα είναι ένας οργανισμός που μεταφέρει νερό από το έδαφος στην ατμόσφαιρα παθητικά χωρίς την κατανάλωση μεταβολικής ενέργειας, λόγω φυσικών δυνάμεων. Η μεταφορά νερού από το έδαφος διαμέσου του φυτικού σώματος στην ατμόσφαιρα περιλαμβάνει μηχανισμούς όπως η διάχυση, η μαζική ροή και η όσμωση. Με μαζική ροή το νερό κινείται λόγω διαφοράς υδροστατικής πίεσης, για παράδειγμα στο έδαφος και στα ξυλώδη αγγεία. Στην αέριο φάση κινείται κυρίως με διάχυση και ανάμεσα στα κύτταρα το νερό κινείται διαμέσου των κυτταρικών μεμβρανών, λόγω διαφοράς υδατικού δυναμικού εκατέρωθεν αυτών. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις το νερό κινείται προς περιοχές χαμηλού υδατικού δυναμικού ή ελεύθερης ενέργειας. Το νερό στο φυτό μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα συνεχές δυναμικό σύστημα που συνδέει το νερό στο έδαφος, με τους υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η διαπνοή ρυθμίζεται κυρίως από τα καταφρακτικά κύτταρα, τα οποία ρυθμίζουν το άνοιγμα των στοματίων για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες του φυτού σε CO<sub>2</sub> και να μειώσουν τις απώλειες νερού προς την ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση του νερού από τα τοιχώματα των κυττάρων του μεσοφύλλου δημιουργεί μεγάλες αρνητικές πιέσεις στο νερό του αποπλάστη. Αυτές οι αρνητικές πιέσεις μεταδίδονται στα ξυλώδη αγγεία και έτσι το νερό κινείται δια μέσου των αγγείων αυτών (Cosgrove, 1998).

### 1.1.2 Η άρδευση του βαμβακιού

Ο προγραμματισμός των αρδεύσεων προσδιορίζεται τόσο από το χρονικό σημείο της εφαρμογής τους, όσο και από την ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί (Martin *et al.*, 1990). Ο προγραμματισμός επηρεάζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και αφορούν στο έδαφος, στο φυτό, στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες και στον αντικειμενικό στόχο της καλλιέργειας. Η κίνηση του νερού στο παραπάνω σύστημα επηρεάζεται από το είδος και το γονότυπο του φυτού, το στάδιο του βιολογικού του κύκλου, τον τύπο του εδάφους, την ώρα της ημέρας, τη θερμοκρασία του αέρα, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, την ατμοσφαιρική υγρασία τη βροχόπτωση και την αποθηκευμένη ποσότητα υγρασίας στο έδαφος.

Κοινές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στον προγραμματισμό των αρδεύσεων είναι ο προσδιορισμός του υδατικού δυναμικού του εδάφους ή των φύλλων, η χρήση μοντέλων που δίνουν τις υδατικές ανάγκες σε πραγματικό χρόνο, καθώς και η χρήση δεικτών που αφορούν στην υδατική καταπόνηση (Martin *et al.*, 1990). Παρόλο που με τη χρήση μοντέλων είναι δυνατός ο προσδιορισμός των υδατικών αναγκών σε πραγματικό χρόνο, υπάρχει η τάση να χρησιμοποιούνται χρονολογικές σειρές κλιματικών δεδομένων (McClendon *et al.*, 1996, Hook, 1994).

Το υδατικό έλλειμμα μπορεί να προσδιοριστεί, τόσο για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο, όσο και για ένα ή περισσότερα στάδια του βιολογικού κύκλου του φυτού. Τα φυτά παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό ευαισθησίας στην υδατική καταπόνηση ανάλογα με το στάδιο στο οποίο βρίσκονται (Doorenbos και Pruiitt, 1977). Το πιο κρίσιμο στάδιο, όσον αφορά στην υδατική καταπόνηση, για την καλλιέργεια του βαμβακιού είναι η περίοδος κατά την οποία τα φυτά έχουν σχηματίσει αρκετές κάψες οπότε και παρουσιάζουν έντονο μεταβολισμό (Χριστίδης, 1965). Ο σχεδιασμός των αρδεύσεων σε συνθήκες υδατικού ελλείμματος πρέπει να περιλαμβάνει πληροφορίες για το υδατικό δυναμικό των φύλλων και του εδάφους καθώς και για τη θερμοκρασία του φυλλώματος (English *et al.*, 1990)

Αν και το βαμβάκι λόγω της καταγωγής του από ξηρές περιοχές, δείχνει σε σχέση με άλλα φυτά σχετική αντοχή στην έλλειψη υγρασίας, η άρδυσή του αποτελεί βασικό συντελεστή της αύξησης των στρεμματικών αποδόσεων, καθώς απαιτεί ικανοποιητική εδαφική υγρασία προκειμένου να αναπτυχθεί απρόσκοπτα (ICAC, 2003). Η μέση απόδοση των αρδευόμενων εκτάσεων με μόνιμα συστήματα άρδευσης, είναι διπλάσια από την απόδοση των εκτάσεων βαμβακιού που

χρησιμοποιούν μόνο το νερό της βροχής (ICAC, 2003). Σήμερα στη χώρα μας το σύνολο σχεδόν της βαμβακοκαλλιέργειας αρδεύεται (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

Οι ανάγκες του βαμβακόφυτου σε νερό διαφέρουν πολύ ανάλογα με το κλίμα, τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, τις συνθήκες θρέψης, το στάδιο ανάπτυξης και την ποικιλία. Τα διάφορα μέρη του φυτού, όπως οι ανθικές καταβολές, τα άνθη, τα φύλλα, οι βλαστοί και οι κάψες δείχνουν διαφορετική ευαισθησία και αντιδρούν κατά διάφορο τρόπο στην έλλειψη ή την περίσσεια νερού (Σιτράς, 1994), αποτελώντας χαρακτηριστικούς δείκτες της υδατικής κατάστασης του φυτού (Σφήκας, 1988).

Η άρδευση γίνεται με σκοπό να εφοδιαστεί το έδαφος με τις κατάλληλες ποσότητες νερού που έχει ανάγκη το φυτό. Το μεγαλύτερο μέρος του νερού που απορροφά το φυτό, αποβάλλεται με την εξάτμιση και τη διαπνοή (96-98%). Το νερό είναι το κύριο συστατικό του φυτού και συμμετέχει σε όλες τις φυσιολογικές λειτουργίες και διεργασίες κατά την θρέψη του. Οι υδατικές ανάγκες του φυτού δεν παραμένουν σταθερές κατά την διάρκεια της ανάπτυξης του, αλλά κυμαίνονται πολύ κατά τα διάφορα φαινολογικά στάδια. Οι ανάγκες είναι ελάχιστες στο φύτευμα, αυξάνονται κατά την έναρξη της ανθοφορίας, φτάνουν το μεγαλύτερο μέγεθος κατά την ανθοφορία (Ιούλιος- Αύγουστος), για να μειωθούν σιγά σιγά αργότερα κατά την φυσιολογική ωρίμανση.

Για το βαμβάκι έχει καθοριστεί η μεταβολή των υδατικών του αναγκών και για αυτό θα πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια να χορηγείται το νερό τη στιγμή που το έχει ανάγκη το φυτό. Ανάλογα με τον τρόπο ποτίσματος διακρίνουμε: πότισμα με κατάκλυση, σε λεκάνες, σε λωρίδες, με αυλάκια, με τεχνητή βροχή και στάγδην άρδευση. Ανάλογα με την περίοδο που γίνονται τα ποτίσματα διακρίνουμε: ποτίσματα φυτρώματος, ανάπτυξης, ανθοκαρποφορίας, παραγωγής και ωρίμανσης. Ο συνολικός αριθμός και η συχνότητα των ποτισμάτων ποικίλει ανάλογα με το έδαφος, την ακτινοβολία, την υγρασία του αέρα κλπ. Το ύψος των ποτιστικών δόσεων αυξάνεται προοδευτικά και ακολουθεί την καμπύλη των απαιτήσεων του φυτού σε νερό. Οι συνολικές δόσεις νερού κατά την αρδευτική περίοδο (όπως και η δόση νερού ανά πότισμα), διαφοροποιούνται από τα βόρεια προς τα νότια διαμερίσματα της χώρας. Συγκεκριμένα στη Θράκη χρειάζονται 2-4 ποτίσματα και η υδατοκατανάλωση κυμαίνεται από 80-160 m<sup>3</sup>/στρέμμα ενώ στη Θεσσαλία τα ποτίσματα κυμαίνονται από 3-7 και η υδατοκατανάλωση 165-385m<sup>3</sup>/στρέμμα. Μεγάλο μέρος των υδατικών

αναγκών του φυτού μπορεί να καλυφθεί από τις βροχοπτώσεις (κυρίως στα βόρεια και δυτικά διαμερίσματα) (Τόλης, 1986, Χλίχλιας και Κατσαμπή-Ζημάκα 1968 ).

Ως γνωστόν το βαμβάκι είναι φυτό ακαθόριστου τύπου ανάπτυξης και ως εκ τούτου η βέλτιστη εδαφική υγρασία συντηρεί μία άριστη ισορροπία ανάμεσα στην αύξηση και την καρποφορία. Η εποχή άρδευσης, η συχνότητα των αρδεύσεων και η ποσότητα του νερού, αποτελούν συστατικά στοιχεία της ορθολογικής άρδευσης που αποσκοπεί στην πρωιμότητα, την ποιότητα και το αποδεκτό ύψος παραγωγής. Με την ορθολογική άρδευση επιδιώκεται η ανάπτυξη φυτών με ικανοποιητικό ύψος, κανονικά μεσογονάτια διαστήματα, άριστο δείκτη φυλλικής επιφάνειας και καλή συγκράτηση και ανάπτυξη των αναπαραγωγικών οργάνων του φυτού (χτένια, άνθη, κάψες)

Τα ποτίσματα που αφορούν την περίοδο πρώτης ανάπτυξης του φυτού, κατά την επικρατούσα πρακτική στη Θεσσαλία, γίνονται με καρούλι, είναι ελαφρά και συνδυάζονται με επιφανειακή λίπανση (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002). Σε εδάφη ξηροθερμικών περιοχών που είναι βαθιά και γόνιμα, ανάλογα με την επικρατούσα κατάσταση της εδαφικής υγρασίας, ένα βαθύ πότισμα δημιουργεί ευνοϊκότερες συνθήκες για την ανάπτυξη του ριζοστρώματος σε μεγαλύτερο όγκο εδάφους και σε βαθύτερα στρώματα (Janat, 2001). Οι υδατικές ανάγκες της περιόδου βλαστικής ανάπτυξης προσδιορίζονται από τους Doorenbos και Kassam (1979) στο 10% των συνολικών αναγκών. Ακολουθούν τα ποτίσματα καρποφορίας που είναι τα πλέον απαραίτητα, διότι η κρίσιμη περίοδος του βαμβακιού αρχίζει όταν το φυτό σχηματίζει τα πρώτα του καρύδια (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002). Τέλος, αρκετές φορές εφαρμόζονται αρδεύσεις παραγωγής από τα μέσα Αυγούστου, οι οποίες είναι ιδιαίτερα ωφέλιμες όταν συνεχίζονται οι υψηλές θερμοκρασίες, διότι συντελούν στην αύξηση της παραγωγής και στη βελτίωση της ποιότητας των όψιμων καρυδιών (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

Η συχνότητα και η ποσότητα του νερού των αρδεύσεων καρποφορίας και παραγωγής είναι συνάρτηση των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό, του τρόπου άρδευσης και των υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους. Οι υδατικές ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν με τις αρδεύσεις καρποφορίας και παραγωγής προσδιορίζονται από τους Doorenbos και Kassam (1979) στο 60% και στο 30% των συνολικών αναγκών αντίστοιχα.

Οι αρδεύσεις πρέπει να δημιουργούν τις προϋποθέσεις για τη διασφάλιση ικανοποιητικής παραγωγής, η οποία συνδέεται με πρόωμη εμφάνιση των χτενιών και τη συγκράτηση των πρώιμων καρποφόρων θέσεων (οι πρώτοι 4-5 συμποδιακοί κλάδοι) (Unruh και Silvertooth, 1997).

Η γνώση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του βαμβακιού και κατ' επέκταση του όγκου του νερού που απαιτείται κατά την περίοδο ανάπτυξής του, παίζει σπουδαίο ρόλο στην ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού (Πανώρας, 1996). Συνήθως, η πρόβλεψη δεν γίνεται για την τρέχουσα καλλιεργητική περίοδο, αλλά γίνεται εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με βάση τους μέσους όρους μιας χρονοσειράς κλιματικών δεδομένων. (Πολυχρονίδης, 2004).

Από το σύνολο του νερού που χρησιμοποιούν τα φυτά κατά τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου, πάνω από το 99% απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών. Για το λόγο αυτό η κατανάλωση νερού θεωρείται ίση με την εξατμισοδιαπνοή. Η προσέγγιση αυτή ισχύει για φυτά, τα οποία έχουν τιμές δείκτη φυλλικής επιφάνειας πάνω από 2 (Katerji και Perrier, 1985) και αυτό διότι τότε η εξάτμιση έχει πολύ χαμηλές τιμές ακόμη και όταν το έδαφος είναι υγρό (Ritchie, 1983, Saugier και Katerji, 1991). Οι μέγιστες τιμές της εξάτμισης στην περίπτωση αυτή δεν ξεπερνούν το 10% της συνολικής υδατοκατανάλωσης (Jara *et al.*, 1998, Villalobos και Fereres, 1990). Η σωστή διαχείριση των γεωργικών τεχνικών (σπορά, πυκνότητα φυτών, συχνότητα αρδεύσεων, λίπανση και χρήση υπολλειμμάτων) μπορεί να ελαχιστοποιήσει το ποσοστό συμμετοχής της εξάτμισης στη συνολική εξατμισοδιαπνοή (Turner, 2004, Deng *et al.*, 2006).

Στην πραγματικότητα για να προσδιοριστεί το ποσοστό συμμετοχής της εξάτμισης στην εξατμισοδιαπνοή, απαιτείται η χρήση πολύπλοκων μοντέλων (Katerji και Perrier, 1985). Σε πειραματικό επίπεδο η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με τις παρακάτω μεθόδους:

1. Άμεσα, με τη χρήση λυσίμετρων ή έμμεσα μέσω μικρομετεωρολογικών μεθόδων (αναλογία Bowen, αεροδυναμική). Τα αποτελέσματα αυτών των μεθόδων είναι τα πιο ακριβή, όσον αφορά στον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής (Rana και Katerji, 2000).
2. Μέσω του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην υπόθεση (Mastrorilli *et al.*, 1998) ότι η άνοδος του

ύδατος μέσω των τριχοειδών, η επιφανειακή απορροή του και η διήθηση σε βαθύτερα στρώματα δεν είναι σημαντικές, ενώ θεωρείται ωφέλιμο το νερό όλων των βροχοπτώσεων.

3. Προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής, σύμφωνα με τη μέθοδο του FAO (Allen *et al.*, 1998). Πρόσφατες αναφορές από τους Rana και Katerji (2000) έδειξαν ότι αυτή η μέθοδος, όταν χρησιμοποιείται για μερικά είδη που καλλιεργούνται σε μεσογειακές συνθήκες, δίνει σημαντικά διαφορετική εκτίμηση, σε σχέση με τις μετρήσεις της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.
4. Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής, μέσω μοντέλων πρόβλεψης παραγωγής (CERES, CROP-Syst). Στην περίπτωση αυτή η βιβλιογραφία δεν έχει καταδείξει ακρίβεια της μεθόδου στον υπολογισμό της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (Ben Nouna *et al.*, 2000).

Τέλος, σε πολλές μελέτες δεν υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή, αλλά αντικαθίσταται με την ποσότητα του νερού με την οποία αρδεύτηκαν τα φυτά. Η υπεράρδευση είναι ένα χαρακτηριστικό της μεσογειακής ζώνης, γεγονός που καθιστά δύσκολη την λήψη τιμών για τον υπολογισμό του δείκτη αποτελεσματικότητας της χρήσης αρδευτικού νερού (Water Use Efficiency) (Shideed *et al.*, 2005).

Οι ξηροθερμικές συνθήκες που επικράτησαν τις χρονιές 1989-1990, ανέδειξαν εντονότερα το πρόβλημα της μειωμένης διαθεσιμότητας του νερού που άρχισε να πλήττει την Ελλάδα (Μιχελάκης, 1992). Αποτέλεσμα της μερικής έλλειψης αρδευτικού νερού και της άγνοιας των παραγωγών στον τρόπο ορθολογικής χρήσης του, ήταν να χαθεί μέρος της παραγωγής και του γεωργικού εισοδήματος (Μυγδάκος, 1994). Κατά συνέπεια το θέμα της άρδευσης πρέπει να αντιμετωπιστεί μέσα από το πρίσμα της ανεπάρκειας ή του υψηλού κόστους του αρδευτικού νερού. Επιβάλλεται λοιπόν, να επιτευχθεί μείωση των απωλειών και μεγιστοποίηση της παραγωγής, ανά μονάδα εφαρμοζόμενου όγκου νερού (Μιχελάκης, 1992).



### 1.1.3 Επιδράσεις του υδατικού ελλείμματος στα φυτά

Κατά τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου τα φυτά εκτίθενται πολλές φορές 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 των φυσιολογικών μηχανισμών. Επομένως, η εμφάνιση δυσλειτουργιών σε ένα φυτικό οργανισμό (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 βέλτιστες συνθήκες. Εάν επομένως παραβιαστούν τα βέλτιστα αυτά όρια, ο φυτικός οργανισμός θα επιβαρυνθεί και θα εμφανίσει τα πρώτα συμπτώματα καταπόνησης. Εάν μάλιστα η καταπόνηση είναι έντονη, παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις από τις άριστες συνθήκες ανάπτυξης, καθώς και πρόσκαιρες ή μη επιδράσεις σε όλα τα επίπεδα λειτουργίας ενός φυτικού οργανισμού. Πάντως, δεν είναι λίγοι όσοι υποστηρίζουν ότι κάτω από φυσιολογικές περιβαλλοντικές συνθήκες (συνθήκες αγρού), τα φυτά είναι συνεχώς εκτεθειμένα σε κάποιου είδους καταπόνηση (Koukkarı *et al.*, 1997).

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 % του δυνητικά παραγόμενου, λαμβάνοντας υπόψη τη γενετικά καθοριζόμενη μέγιστη απόδοση κάθε καλλιεργούμενου φυτού (Buchanan *et al.*, 2000).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δυσμενείς επιδράσεις της υδατικής καταπόνησης εξετάζονται συνήθως υπό το πρίσμα της έλλειψης και όχι της περίσσειας νερού, αφού οι επιπτώσεις της τελευταίας αφορούν κυρίως σε καταπόνηση από έλλειψη οξυγόνου (ανοξία ή υποξία). Έτσι, τα κύτταρα και οι ιστοί θεωρούνται ελλειμματικοί ως προς το νερό (υδατικά καταπονημένοι), όταν δεν είναι σε πλήρη σπαργή (υδατικό δυναμικό χαμηλό), δηλαδή όταν ο ρυθμός απώλειας υπερέχει του ρυθμού απορρόφησης νερού (Crafts, 1968, Kramer, 1969, Karamanos, 1984). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η κατάσταση πλήρους σπαργής δύσκολα επιτυγχάνεται στην πράξη

(Karamanos, 1980), τα φυτά είναι συνήθως υδατικά καταπονημένα κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας (Namken *et al.*, 1969).

Η ανάπτυξη του φυτού ελέγχεται άμεσα από τα υδατικά ελλείμματα του φυτού (μέσω εξατμισοδιαπνοής) και έμμεσα από τα υδατικά ελλείμματα της ατμόσφαιρας και του εδάφους. Σε συνθήκες μάλιστα χαμηλής ατμοσφαιρικής υγρασίας (δηλ. υψηλής εξάτμισης), τα φυτά είναι υδατικά καταπονημένα σε μεγάλο βαθμό, ακόμη και όταν η υγρασία του εδάφους είναι επαρκής (Denmead και Shaw, 1962). Σήμερα, η ξηρασία (το αποτέλεσμα του συνδυασμού της απώλειας του νερού από τα φυτά και της περιορισμένης διαθεσιμότητάς του) αφορά στο 1/3 των χερσαίων εκτάσεων της γης, ενώ ένα επιπλέον σημαντικό ποσοστό της ξηράς υφίσταται χρονικούς ή τοπικούς περιορισμούς στη διαθεσιμότητα του νερού.

Η έλλειψη νερού στο περιβάλλον της ρίζας έχει σοβαρές επιπτώσεις σε όλα τα επίπεδα οργάνωσης ενός φυτικού οργανισμού (μορφολογικό, φυσιολογικό και μοριακό). Τα πρώτα συμπτώματα έλλειψης νερού γίνονται σύντομα εμφανή, συνήθως είναι κοινά στα περισσότερα φυτικά είδη και ουσιαστικά συνιστούν τους στοιχειώδεις μηχανισμούς προσαρμοστικότητας σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης και αποφυγής της πλήρους αφυδάτωσης των φυτών (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Το βαμβάκι είναι απαιτητικό σε εδαφική υγρασία. Η έλλειψη νερού είναι ένας από τους πιο σπουδαίους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του βαμβακιού. Σε όλα τα στάδια ανάπτυξης και καρποφορίας το βαμβάκι είναι πάρα πολύ ευαίσθητο σε μεγάλη έλλειψη νερού. Η έλλειψη νερού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της φυλλικής επιφάνειας, του αριθμού των φύλλων, του αριθμού των κόμβων, του αριθμού των καρποφόρων βλαστών, του ολικού αριθμού και του βάρους των καψών, του αριθμού των καψών πρώτης θέσης ανά φυτό και μείωση της φωτοσύνθεσης (Pettigrew, 2004). Μικρότερη έλλειψη νερού εμποδίζει την ανάπτυξη και προκαλεί πτώση χτενιών και μικρών καψών. Αν η έλλειψη συνεχιστεί, μειώνεται η παραγωγή ποσοτικά και ποιοτικά. Μερικές ποικιλίες έχουν αναπτυχθεί για να αντέχουν στην ξηρασία (Gerik *et al.*, 1994, Hearn 1994, Stiller *et al.*, 1998, Stiller and Constable, 2001). Το νερό, όπως γνωρίζουμε, δεν είναι ανεξάντλητος φυσικός πόρος. Επομένως, η καλλιέργεια ανεκτικών στην ξηρασία ποικιλιών βαμβακιού σχετίζεται με τη λογική διαχείριση των υδάτινων πόρων και με την επέκταση της βαμβακοκαλλιέργειας σε περιοχές με περιορισμένες ποσότητες αρδευτικού νερού.

Η ξηρασία διακρίνεται σε ατμοσφαιρική και εδαφική. Η πρώτη οφείλεται συνήθως σε ζεστούς και ξηρούς ανέμους και προκαλεί υδατική καταπόνηση μέχρι και

προσωρινή μάρανση των φύλλων, ακόμα και όταν στο έδαφος υπάρχει αρκετή υγρασία. Η δεύτερη, εδαφική ξηρασία, είναι ακόμα πιο επιζήμια και προκαλεί στο φυτό μόνιμη μάρανση. Τα βαμβακόφυτα, για να αποφύγουν τις συνέπειες της ξηρασίας, πρέπει να έχουν καλά ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα, άφθονο αγωγό ιστό, μικρή ανάπτυξη σε ύψος και μικρά κύτταρα. Επίσης, ένα πυκνό δίκτυο νευρώσεων, μικρά ή βαθιά σχισμένα φύλλα είναι παράγοντες που βοηθούν στην ανεκτικότητα των φυτών στην ξηρασία. Οι διάφορες ποικιλίες του βαμβακιού διαφέρουν μεταξύ τους σε μερικές από τις προηγούμενες ιδιότητες, γι' αυτό και παρουσιάζουν διαφορετική αντίδραση στην έλλειψη νερού. Ορισμένες ποικιλίες κατορθώνουν να αποφεύγουν την ξηρασία χωρίς να είναι ανθεκτικές σε αυτή. Έτσι οι πρώιμες ποικιλίες σχηματίζουν τα περισσότερα καρύδια τους, πριν πιάσουν οι μεγάλες ζέστες του καλοκαιριού και ζημιώνονται λιγότερο από τις όψιμες (Τόλης, 1986).

Η υδατική καταπόνηση μειώνει την φυλλική επιφάνεια, μέσω της μείωσης, τόσο του αριθμού, όσο και του μεγέθους των φύλλων. Ο περιορισμός της ενεργής φωτοσυνθετικά επιφάνειας επηρεάζει αρνητικά την ολική παραγωγή υδατανθράκων από το φυτό και μειώνει τις τελικές αποδόσεις (Constable *et al.*, 1980). Επίσης, η σταδιακή αύξηση της ηλικίας του φυλλώματος και η επερχόμενη άντληση μεγάλων ποσοτήτων υδατανθράκων από τις κάψες, η οποία περιορίζει την ανάπτυξη νέων φύλλων, οδηγούν σε περαιτέρω μείωση της ενεργής φωτοσυνθετικά επιφάνειας (Krieg και Sung, 1986).

Αρχικά, η εξαγωγή υδατανθράκων από τα φύλλα είναι μικρή, ωστόσο όταν ολοκληρωθεί η ανάπτυξή τους (περίπου 20-30 μέρες μετά την έκπτυξή τους), ενεργοποιούν φυσιολογικές διαδικασίες είτε αποθήκευσης υδατανθράκων με τη μορφή αμύλου, είτε μεταφοράς τους στα ενεργώς αυξανόμενα όργανα. Έχει παρατηρηθεί ότι τα μεταβολικά μονοπάτια που εμπλέκονται στη μεταφορά υδατανθράκων από τα φύλλα, συνεχίζουν να λειτουργούν σε υψηλότερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης από εκείνα που επηρεάζουν τη φωτοσύνθεση, γεγονός το οποίο φανερώνει ότι το φυτό αναγνωρίζει τη σημασία της αξιοποίησης των αποθεματικών θρεπτικών ουσιών, ειδικά σε περιόδους καταπόνησης (Constable και Rawson, 1982).

Η κάθε μεμονωμένη κάψα αντλεί τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία από το διπλανό της φύλλο. Συνήθως όμως, οι απαιτήσεις υπερβαίνουν τις δυνατότητες του φύλλου της συγκεκριμένης θέσης, με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα ανταγωνισμός μεταξύ των καψών ενός βαμβακόφυτου. Συχνά, οι πιο παλιές κάψες είναι πιο

ανταγωνιστικές ως προς τις νεότερες και επάγουν τη μεταφορά υδατανθράκων από τα άκρα του φυτού προς το κέντρο. Σε επαρκώς αρδευόμενα φυτά η αυξημένη βλαστητική ανάπτυξη επιφέρει σκίαση των χαμηλότερων φύλλων και επηρεάζει αρνητικά τη διατήρηση και το μέγεθος των καψών στους 2-3 πρώτους καρποφόρους κλάδους. Επομένως, η μικρότερη σκίαση των κατώτερων φύλλων, έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη διατήρηση και το μεγαλύτερο μέγεθος των καρυδιών στους πρώτους καρποφόρους κλάδους. Σε περίπτωση έντονου υδατικής καταπόνησης είναι δυνατόν να προκληθεί μεγάλη πτώση ανθέων ή και νεαρών καρυδιών (Μαρέτης, 1981).

Η ίνα του βαμβακιού αναπτύσσεται από ένα απλό επιδερμικό κύτταρο του περιβλήματος του σπόρου. Η ίνα επιμηκύνεται για 20 περίπου ημέρες και κατόπιν εναποθέτει δευτερογενές τοίχωμα για τις επόμενες 20 ή περισσότερες ημέρες. Το μήκος της ίνας και η εναπόθεση του δευτερογενούς τοιχώματος βρίσκονται κάτω από γενετικό έλεγχο. Το περιβάλλον ανάπτυξης προσδιορίζει αν το μήκος της ίνας και η ανάπτυξη του δευτερογενούς τοιχώματος θα φτάσει τη δυναμικότητα του γενοτύπου ή όχι. Η ξηρασία τείνει να μειώσει το μήκος της ίνας. Μόνο όταν τα φυτά καταπονήθηκαν έντονα στα πρώτα στάδια της άνθησης υπήρξαν σημαντικές επιδράσεις στο μήκος της ίνας. Η μεγάλη έλλειψη υγρασίας μειώνει το micronaire (λεπτότητα-ωριμότητα της ίνας) φαινόμενο μη επιθυμητό. Η αντοχή στην ξηρασία είναι λοιπόν σημαντικός παράγοντας για την διατήρηση των τεχνολογικών χαρακτηριστικών της ίνας του βαμβακιού (Gerik *et al.*, 1994, Hearn, 1994, Ramey, 1986).

Τα φυτά προσαρμόζονται σε συνθήκες ξηρασίας διαμορφώνοντας ιδιαίτερα μορφολογικά, φυσιολογικά και μοριακά χαρακτηριστικά (Bressan, 1998). Σαν μορφολογικά χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε:

- μειωμένη φυλλική επιφάνεια,
- πτώση φύλλων
- ενισχυμένη ανάπτυξη ριζικού συστήματος
- εναπόθεση κηρών στα φύλλα και πιο παχιά εφυμενίδα

Μία από τις πιο γρήγορες αντιδράσεις στην αφυδάτωση φαίνεται ότι είναι η μείωση της κυτταρικής αύξησης λόγω μείωσης της πίεσης σπαργής. Η κυτταρική αύξηση είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αύξηση της φυλλικής επιφάνειας. Συνεπώς, μειωμένη κυτταρική αύξηση έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη φυλλική επιφάνεια. Η

τελευταία είναι η πρώτη γραμμή άμυνας του φυτού σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης (Bressan, 1998).

Η πτώση των φύλλων μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια σπουδαία μακροπρόθεσμη προσαρμογή της φυλλικής επιφάνειας, η οποία βελτιώνει την προσαρμογή των φυτών σε περιβάλλοντα με περιορισμένες ποσότητες νερού. Η πτώση των φύλλων κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης οφείλεται κυρίως στην αυξημένη σύνθεση ABA (Bressan, 1998).

Η ενισχυμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος μπορεί να θεωρηθεί σαν η δεύτερη γραμμή άμυνας του φυτού σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Αυτό συμβαίνει διότι, καθώς μειώνεται η πρόσληψη νερού, η αύξηση των φύλλων επηρεάζεται πολύ γρήγορα, ενώ οι φωτοσυνθετική δραστηριότητα επηρεάζεται πολύ αργότερα. Η παρεμπόδιση της αύξησης των φύλλων έχει αποτέλεσμα την μειωμένη κατανάλωση άνθρακα και ενέργειας από τα φύλλα και έτσι ένα μεγαλύτερο ποσοστό φωτοσυνθετικών προϊόντων είναι διαθέσιμο για το ριζικό σύστημα (Bressan, 1998).

Μια κοινή αντίδραση των φυτών στην υδατική καταπόνηση είναι η ανάπτυξη πιο παχιάς εφυμενίδας λόγω εναπόθεσης κηρών στα φύλλα. Έτσι, μειώνονται οι απώλειες σε CO<sub>2</sub> και υδρατμούς, αλλά δεν επηρεάζεται η φωτοσύνθεση των φύλλων, διότι τα επιδερμικά κύτταρα κάτω από την εφυμενίδα δεν είναι φωτοσυνθετικά ενεργά. Η εφυμενιακή διαπνοή αποτελεί το 5-10% της ολικής διαπνοής του φύλλου. Έτσι, γίνεται σημαντική μόνο όταν η καταπόνηση είναι σοβαρή ή η εφυμενίδα έχει πάθει ζημιά (π.χ. από άμμο που παρασύρθηκε λόγω ισχυρών ανέμων).

Στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε:

- ορμονική προσαρμογή λόγω αύξησης επιπέδων του ABA, το οποίο ρυθμίζοντας το άνοιγμα και κλείσιμο των στοματίων, ρυθμίζει παράλληλα και τη διαπνοή των φυτών.
- Τη μείωση φωτοσύνθεσης, η οποία επηρεάζεται από το υδατικό δυναμικό του φύλλου.
- Την οσμορύθμιση, μια διαδικασία με την οποία το υδατικό δυναμικό του κυττάρου μπορεί να μειώνεται, με συσσώρευση διαλυτών ουσιών, χωρίς να συνοδεύεται από ταυτόχρονη μείωση της σπαργής (Bressan, 1998).

Αν και η συνολική ανάπτυξη του φυτού ελαττώνεται κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης, η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος είναι λιγότερο ευαίσθητη από αυτή του υπέργειου τμήματος των φυτών (El-Nadi *et al.*, 1969, Creelman *et al.*, 1990, Younis *et al.*, 2000). Το γεγονός αυτό οφείλεται στους

μηχανισμούς οσμωρύθμισης των κυττάρων των ριζών, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η πτώση του υδατικού δυναμικού των κυττάρων τους σε χαμηλότερα επίπεδα από εκείνα του δυναμικού του εδαφικού νερού. Επιπρόσθετα, τα κύτταρα των ριζών έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται σε χαμηλότερες τιμές υδατικού δυναμικού έναντι των κυττάρων των φύλλων, έτσι ώστε να διασφαλιστεί πρωτίστως η άντληση νερού από το έδαφος και επομένως η επιβίωση του φυτού.

Ουσιαστικά, σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, εφόσον ο περιορισμός της διάτασης των φύλλων αποτελεί ένα από τα πρώτα συμπτώματα, οι ανάγκες των φύλλων σε φωτοσυνθετικά προϊόντα περιορίζονται, ενώ η φωτοσυνθετική λειτουργία παρεμποδίζεται αργότερα. Επομένως, υπάρχει μια συσσώρευση φωτοσυνθετικών προϊόντων στη ρίζα, η οποία και αναπτύσσεται σημαντικά κατά βάθος, ώστε να αντλήσει νερό από τα βαθύτερα (υγρότερα) στρώματα του εδάφους (Clements, 1964, Καραμπουρνιώτης, 2003).

Τέλος, σε περιπτώσεις έντονης και παρατεταμένης υδατικής καταπόνησης προκαλείται συρρίκνωση της ρίζας, αποκοπή των ριζικών τριχιδίων και κάλυψη της υποδερμίδας της με φελλίνη (σουβερίνη), ώστε να αποφευχθεί η πλήρης αφυδάτωση. Όλες αυτές οι επιπτώσεις δυσχεραίνουν τη μεταφορά νερού, αφού αυξάνουν την αντίσταση που συναντούν τα μόρια του κατά την είσοδό τους στο φυτικό σώμα (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Η υδατική καταπόνηση επηρεάζει τη φωτοσυνθετική λειτουργία σε δύο κυρίως επίπεδα:

α) Κλείσιμο των στοματίων λόγω της παθητικής (μέσω εξάτμισης) ή ενεργητικής (μέσω της εξόδου ιόντων) απώλειας σπαργής των καταφρακτικών κυττάρων. Ο μηχανισμός ενεργοποιείται από το ABA και προκαλεί μείωση της δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα, από το οποίο δημιουργείται το μεγαλύτερο μέρος της ξηράς ουσίας που παράγεται στο φυτό (Boyer και McPherson, 1975, Nielsen και Orcutt, 1996). Εντούτοις, με τη μειωμένη φωτοσύνθεση παρατηρείται και μειωμένη διαπνοή λόγω των κλειστών στομάτων (Hsiao, 1973). Παρολαυτά, η μείωση της διαπνοής είναι μεγαλύτερη από αυτήν της φωτοσύνθεσης, (Rashke, 1976) γι αυτό και συχνά βελτιώνεται η αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού (Water Use Efficiency, WUE) από τα φυτά.

β) Επίδραση στη βιοχημική φάση της φωτοσύνθεσης (μη στοματική παρεμπόδιση). Συγκεκριμένα, παρατηρούνται αλλαγές στη δομική και λειτουργική ακεραιότητα του φωτοσυνθετικού μηχανισμού. Η μεταφορά (φωτοσυνθετική ροή)

των ηλεκτρονίων, καθώς και η φωτοφωσφορυλίωση παρεμποδίζονται σημαντικά (Boyer και Bowen, 1970, Boyer, 1971, Boyer και McPherson, 1975, Taylor *et al.*, 1983). Επιπρόσθετα, παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης ιόντων  $Mg^{2+}$  στους χλωροπλάστες, η οποία παρεμποδίζει σημαντικά τη δέσμευση  $CO_2$ , άρα και τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Plaut, 1971, Plaut και Bravdo, 1973). Επίσης, η έλλειψη του νερού προκαλεί μείωση της φωτοσυνθετικής επιφάνειας (Huang *et al.*, 1998).

Όπως είναι φυσικό, η επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα εξαρτάται τόσο από το φυτικό είδος όσο και από την ηλικία του φυτού (Boyer, 1970).

Στα διάφορα φυτικά είδη η αναπνοή κατά τη διάρκεια της νύχτας μειώνεται, όταν τα υδατικά ελλείμματα είναι αρκετά μεγάλα ώστε να κλείσουν τα στόματα και να μειωθεί η φωτοσύνθεση. Εν τούτοις, η μείωση της αναπνοής κατά τη διάρκεια της νύχτας, είναι μικρότερη από αυτή της καθαρής φωτοσύνθεσης. Έτσι, στην τομάτα η αναπνοή και η φωτοσύνθεση παρέμειναν αμετάβλητες, μέχρι το υδατικό δυναμικό του φύλλου να πέσει κάτω από τα  $-9$  bar, αλλά στα  $-14$  bar η καθαρή φωτοσύνθεση μηδενίστηκε, ενώ η αναπνοή κατά τη διάρκεια της νύχτας ελαττώθηκε μόνο κατά 30 %, ενώ σε άλλες περιπτώσεις αρχικά παρουσίασε μια ελαφρά αύξηση (Brix, 1962). Στη σόγια, στον αραβόσιτο και στον ηλιάνθο, η αναπνοή σχεδόν υποτριπλασιάζεται όταν το υδατικό δυναμικό των φύλλων πέσει από τα  $-0.6$  στα  $-1.6$  MPa, ενώ ειδικά για τη σόγια παραμένει σχετικά αμετάβλητη από τα  $-1.6$  μέχρι τα  $-4$  MPa (Boyer, 1970).

Όσον αφορά τη φωτοαναπνοή, οι απόψεις δίστανται. Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις φυτών κατά τις οποίες τα υδατικά ελλείμματα αυξάνουν (Heichel, 1971, Perry *et al.*, 1983), μειώνουν (Boyer, 1971), ή αφήνουν ανεπηρέαστη τη φωτοαναπνοή (Troughton και Slatyer, 1969). Όμως, επειδή τα υποστρώματα για την φωτοαναπνοή προέρχονται από τα φωτοσυνθετικά προϊόντα, κάθε μείωση στη φωτοσύνθεση πιθανότατα υποβαθμίζει και την φωτοαναπνοή (Boyer, 1971, Heichel, 1971).

Με την φωτοσύνθεση παράγονται οι απαραίτητες ουσίες (υδατάνθρακες) για την αύξηση του φυτού. Κάθε παράγοντας που επηρεάζει τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φύλλων επηρεάζει επίσης την ολική ξηρά ουσία και την παραγωγή καρπού στα φυτά (Boyer και McPherson, 1975).

Είναι γενικά παραδεκτό ότι η έλλειψη νερού έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση των μεταφερόμενων προϊόντων της φωτοσύνθεσης στον αναπτυσσόμενο καρπό. Στο σιτάρι παρατηρήθηκε μείωση του ρυθμού μετακίνησης φωτοσυνθετικών προϊόντων κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού (Wardlaw, 1971). Την ίδια συμπεριφορά έδειξε και η μετακίνηση στον αραβόσιτο (Brevedan και Hodges, 1973). Η μεταφορά των φωτοσυνθετικών προϊόντων (υδατανθράκων) είναι λιγότερο ευαίσθητη στην υδατική καταπόνηση σε σχέση με τη φωτοσύνθεση, αν και σε διάφορα φυτά (π.χ. σόγια) μειώνεται σημαντικά, όταν οι τιμές του υδατικού δυναμικού γίνουν πιο αρνητικές από τα  $-2$  MPa (Wardlaw, 1974).

Ουσιαστικά, η μείωση των αποδόσεων είναι το τελικό συνεπακόλουθο των μορφολογικών και φυσιολογικών μεταβολών του φυτού λόγω ξηρασίας. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών, λόγω της μείωσης της φωτοσυνθετικής επιφάνειας, της αυξημένης πτώσης φύλλων και του γρηγορότερου ρυθμού γήρανσης λόγω αποδόμησης της χλωροφύλλης (Boyer και McPherson, 1975, Taylor *et al.*, 1983, Huang *et al.*, 1998). Τα παραδείγματα από την γεωργική πρακτική είναι πολυάριθμα και αφορούν μεγάλης ή και μικρότερης σπουδαιότητας φυτικά είδη (Taiz και Zeiger, 1998).

Το υδατικό δυναμικό ( $\Psi$ ) και η σχετική υδατοπεριεκτικότητα των φύλλων (R) αποτελούν τις πιο συνηθισμένες από αυτές τις παραμέτρους (Lawlor, 1995). Μάλιστα, το  $\Psi$  αποτελεί ένα αξιόπιστο δείκτη της υδατικής κατάστασης των φυτών, αφού οποιαδήποτε στιγμή αποτελεί τη συνιστώσα της αλληλεπίδρασης της διαθεσιμότητας νερού με τις απαιτήσεις εξάτμισης και τις ανάγκες των φυτών (Karamanos και Paratheohari, 1999). Επιπλέον, η αγωγιμότητα των στοματίων ( $g_s$ ), επομένως και η αντίστασή τους ( $r_s$ ), εφόσον επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες σχετικούς με την υδατική καταπόνηση (π.χ. διαθέσιμη εδαφική υγρασία, υδατική κατάσταση των φύλλων, συγκέντρωση ABA), μπορεί να εξασφαλίζει μια εναλλακτική εκτίμηση του βαθμού της υδατικής καταπόνησης σε σχέση με τα  $\Psi$  και R (Medrano *et al.*, 2002).

Το μεγάλο πλήθος και οι αλληλεπιδράσεις των δυνητικά εμπλεκόμενων παραγόντων στην προσαρμοστικότητα των φυτών στην υδατική καταπόνηση, καθιστούν αδύνατη οποιαδήποτε προσπάθεια ασφαλούς εκτίμησής της, μέσω της μέτρησης μίας και μόνο παραμέτρου (όπως οι προαναφερθείσες), παρόλη την άμεση ή έμμεση συσχέτισή τους με τον περιορισμό των υδατικών απωλειών (Hirasawa *et al.*, 1995). Εξάλλου, από αγρονομικής άποψης, η προσαρμοστικότητα των φυτών σε



ξηροθερμικές συνθήκες, δεν μπορεί να εκτιμηθεί χωρίς την συσχέτισή της με τις αποδόσεις ή την παραγωγή βιομάζας. Είναι ενδεικτικό ότι ο περιορισμός των υδατικών απωλειών μέσω της φυλλόπτωσης ή ενός εκτεταμένου κλεισίματος των στοματιών, είναι μάλλον ανεπιθύμητος, αφού παράλληλα προκαλείται σημαντική μείωση της παραγόμενης ξηράς ουσίας (Karamanos και Paratheohari, 1999). Ως εκ τούτου, η έρευνα κινήθηκε προς την κατεύθυνση κάποιου είδους περιβαλλοντικών δεικτών και την συσχέτισή τους με τις αποδόσεις (σε καρπό ή βιομάζα) των διαφόρων φυτικών ειδών, γονότυπων ή ποικιλιών. Έτσι, κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφοροι δείκτες, όπως από τους Fischer και Maurer (1978) ο “Drought Susceptibility Index” ή DSI (συσχετίζει την απόδοση ενός γονότυπου ή μιας ποικιλίας σε συνθήκες ξηρασίας, με την απόδοση χωρίς ξηρασία) και από τους Lin και Binns (1988) ο “Superiority Index” ή SI (μέσο τετράγωνο της διαφοράς της απόδοσης ενός γονότυπου από τη μέγιστη απόδοση όλων των γονότυπων στη συγκεκριμένη περιοχή). Εξαιτίας της χονδρικής εκτίμησης της επίδρασης διάφορων περιβαλλοντικών παραμέτρων στις αποδόσεις, ήταν πλέον επιτακτική η ανάγκη ύπαρξης νέων δεικτών. Για το λόγο αυτό προτάθηκε ο δείκτης “Crop Water Stress Index” (CWSI), ο οποίος προέκυψε από τη μέση αύξηση της θερμοκρασίας του φυλλώματος μιας υδατικά καταπονημένης φυτείας, σε σχέση με επαρκώς αρδευόμενα φυτά και φαίνεται να σχετίζεται στενά, τόσο με τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία, όσο και με το  $\Psi_1$  (Idso *et al.*, 1981). Μάλιστα, σχετικά πρόσφατα προτάθηκε ένας ακόμη ιδιαίτερα χρήσιμος δείκτης, ο WPI (Water Potential Index), που εκφράζει με ακρίβεια τη συνολική υδατική καταπόνηση μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας για ορισμένο χρονικό διάστημα. Ο δείκτης αυτός προκύπτει μέσω του ολοκληρώματος της χρονικής πορείας του  $\Psi_1$ , σε σχέση με τον αριθμό των ημερών του χρονικού διαστήματος που μας αφορά, ενώ η μεγάλη του χρησιμότητα επιβεβαιώνεται μέσω της ανάλυσης της παλινδρόμησης των αποδόσεων σημαντικών καλλιεργειών, όπως το σιτάρι και τα κουκιά (Karamanos και Paratheohari, 1999).

Δεν θα πρέπει επίσης να παραλείψουμε την αναφορά μας στον δείκτη WUE (Water Use Efficiency), δηλ. στην αποτελεσματικότητα (ή αποδοτικότητα) χρήσης νερού για παραγωγή ξηράς ουσίας, που επίσης χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση της προσαρμοστικότητας των φυτών σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Ο δείκτης αυτός εκφράζεται ως ο λόγος της συνολικά παραγόμενης ξηράς ουσίας προς το συνολικά χρησιμοποιούμενο νερό ή διαφορετικά ως το πηλίκο του ρυθμού

φωτοσύνθεσης προς αυτόν της διαπνοής και είναι ιδιαίτερα χρήσιμος (Ludlow και Muchow, 1990, Boyer, 1996, Turner, 1997).

Τα τελευταία χρόνια, η κρισιμότητα της αξιόπιστης εκτίμησης του βαθμού υδατικής καταπόνησης, άρα και της αξιολόγησης της προσαρμοστικότητας φυτών, γονότυπων, οικοτύπων και ποικιλιών είναι ήδη μεγάλη αλλά και ραγδαία αυξανόμενη. Με δεδομένο το πλήθος των παραγόντων που εμπλέκονται (άμεσα ή έμμεσα) και αλληλεπιδρούν σε μια τέτοια προσπάθεια, εύκολα μπορούμε να οδηγηθούμε σε λανθασμένα συμπεράσματα ή άσκοπες γενικεύσεις. Για τους λόγους αυτούς απαιτείται, αφενός μεν η εκτίμηση περισσότερων της μίας από τις προαναφερθείσες παραμέτρους, αφετέρου δε η μελέτη των συσχετίσεων τους (Karamanos *et al.*, 2008). Η μελέτη της επίδρασής τους στην παραγωγή ξηράς ουσίας, καθώς και μια σχετική αυστηρότητα κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων κρίνονται επίσης επιβεβλημένες.

#### **1.1.4. Μηχανισμοί αντιμετώπισης της ξηρασίας από τα φυτά**

Τα φυτά αντιμετωπίζουν την έλλειψη νερού στο περιβάλλον τους μέσω τριών βασικών στρατηγικών: (α) της διαφυγής, (β) της ανθεκτικότητας (αντοχή στην ξηρασία με διατήρηση χαμηλού δυναμικού) και (γ) της αποφυγής (αντοχή στην υδατική καταπόνηση με υψηλό υδατικό δυναμικό (Levitt, 1972, Simpson, 1981, Boyer, 1996). Οι προσαρμοστικές αυτές στρατηγικές είναι κατά κανόνα περισσότερο έντονες σε άγρια (αυτοφυή), από ότι σε καλλιεργούμενα φυτικά είδη, αν και από αγρονομικής πλευράς δεν είναι πάντα επιθυμητές όταν οδηγούν σε σημαντική μείωση των τελικών αποδόσεων (Karamanos, 1984).

##### **1.1.4.1. Διαφυγή (Drought escape)**

Στην περίπτωση της διαφυγής 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. Στην περίπτωση των μεσογειακών κλιμάτων, τα φυτά παρουσιάζουν την ικανότητα ανάπτυξης σε χαμηλή θερμοκρασία, όταν το νερό δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Τα περισσότερα ερημικά φυτά αναπτύσσονται, αναπαράγονται και ολοκληρώνουν το βιολογικό τους κύκλο σε περιόδους με αρκετή βροχόπτωση και παράγουν σπόρους ή υπόγεια αποθησαυριστικά όργανα που παραμένουν σε λήθαργο κατά τη διάρκεια της ξηρασίας. Ουσιαστικά λοιπόν, τα φυτά αυτά παρουσιάζουν πλαστικότητα στην

ανάπτυξη (Nielsen και Orcutt, 1996), γι αυτό και φυτά γρήγορης και μη καθορισμένης ανάπτυξης προσαρμόζονται καλύτερα στην στρατηγική αυτή (Hale και Orcutt, 1987).

#### 1.1.4.2 Ανθεκτικότητα (Drought tolerance)

Τα φυτά τα οποία χαρακτηρίζονται από τη στρατηγική της ανθεκτικότητας διαθέτουν την ικανότητα να διατηρούν στοιχειώδη μεταβολική δραστηριότητα, ακόμη και αν το υδατικό δυναμικό του κυτοπλάσματος πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Σε αυτή την κατηγορία διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

ι. Στη πρώτη περίπτωση τα φυτά διατηρούν την πίεση σπαργής, μέσω της οσμωτικής εξισορρόπησης ή οσμωρύθμισης. Ουσιαστικά, το οσμωτικό δυναμικό των ιστών ρυθμίζεται σε χαμηλότερα επίπεδα μέσω της συσσώρευσης οσμωτικά ενεργών μεταβολιτών (η βιοσύνθεσή τους επάγεται από την υδατική καταπόνηση), μέσω αλλαγής της σχέσης αποπλαστικού και συμπλαστικού νερού (μείωση του συμπλαστικού νερού) ή μέσω συνδυασμού των δύο παραπάνω. Με όλους τους προαναφερθέντες τρόπους επιτυγχάνεται μείωση του οσμωτικού δυναμικού στα χυμοτόπια των κυττάρων και καθίσταται δυνατή η πρόσληψη νερού, η διατήρηση της σπαργής και η αφομοίωση CO<sub>2</sub>, καθώς τα στομάτια παραμένουν πλήρως ή μερικώς ανοικτά (Morgan, 1984, Blum, 1989, Ludlow και Muchow, 1990, Kramer και Boyer, 1995). Ουσιαστικά, διασφαλίζεται η συνέχιση λειτουργιών εξαρτώμενων από τη σπαργή, όπως η αύξηση και η δραστηριότητα των στοματίων σε προοδευτικά χαμηλότερες τιμές υδατικού δυναμικού (Simpson, 1981, Taylor *et al.*, 1983, Hale και Orcutt, 1987, Nielsen και Orcutt, 1996, Turner, 1997). Επομένως, η δυνατότητα διατήρησης της σπαργής μέσω της συσσώρευσης ορισμένων διαλυτών θεωρείται σημαντική για την προσαρμογή των φυτών σε ξηροθερμικές συνθήκες (Hsiao *et al.*, 1976, Morgan, 1984).

Στις οσμωτικά ενεργές ουσίες ανήκουν ανόργανα ιόντα (όπως K<sup>+</sup>) και οργανικές ενώσεις (αμινοξέα, ενώσεις του τεταρτοταγούς αμμωνίου και σάκχαρα). Ορισμένες αντιπροσωπευτικές οργανικές ουσίες είναι η προλίνη (αμινοξύ), η βεταΐνη, καθώς και η μαννιτόλη, η σορβιτόλη και η πινιτόλη (σάκχαρα). Οι ουσίες αυτές είναι εξαιρετικά ευδιάλυτες και καλούνται “συμβατοί οσμωλύτες”, καθότι η συσσώρευσή τους δεν επιφέρει μεταβολικές δυσλειτουργίες. Οι συμβατοί οσμωλύτες, πέραν της οσμωρύθμισης, προστατεύουν τις πρωτεΐνες από την αφυδάτωση (επομένως και από την περαιτέρω αποδιάταξη και καταστροφή των μορίων τους). Επιπλέον, ορισμένοι

από αυτούς τους οσμωλύτες (προλίνη, μαννιτόλη, σορβιτόλη) έχουν και αντιοξειδωτική δράση. Εξάλλου, η σύνθεση ενός ορισμένου συμβατού οσμωλύτη, στις περισσότερες περιπτώσεις χαρακτηρίζει έναν περιορισμένο αριθμό οικογενειών και επομένως αποτελεί ταξινομικό κριτήριο. Για παράδειγμα, στις οικογένειες Rosaceae και Plantaginaceae είναι διαδεδομένη η σύνθεση σορβιτόλης, ενώ κάτι αντίστοιχο ισχύει για την προλίνη στις Asteraceae και Poaceae, για την πινιτόλη στις Pinaceae, Fabaceae και Caryophyllaceae και για τη βεταΐνη της αλανίνης στην Plumbaginaceae (Καραμπουρνιώτης, 2003). Ενδεικτικό της εκτεταμένης έρευνας πάνω σε αυτές τις ουσίες είναι το παράδειγμα της προλίνης. Η συσσώρευση της στους υδατικά καταπονημένους φυτικούς ιστούς και σε όλα τα όργανα των υδατικά καταπόνημένων φυτών, έχει αποδειχθεί εδώ και μερικές δεκαετίες (Chen *et al.*, 1964, Barnett και Naylor, 1966, Routley, 1966, Karamanos *et al.*, 1983). Οι αιτίες του φαινομένου έχουν μελετηθεί σε βάθος (Samaras *et al.*, 1995) και συνοψίζονται στο σημαντικό ρόλο του γλουταμινικού οξέος (Barnett και Naylor, 1966), στην παρεμπόδιση οξείδωσης της προλίνης (Stewart *et al.*, 1977) και της πρωτεϊνοσύνθεσης (Stewart, 1973, Raymond και Smirnoff, 2002).

Η διατήρηση της σπαργής, εκτός από την οσμωρύθμιση, μπορεί να επιτευχθεί και με την αυξημένη ελαστικότητα των ιστών (Elston *et al.*, 1976). Συνήθως, η αποτελεσματικότητά της είναι σημαντικά μικρότερη από την οσμωρύθμιση (Tyree και Karamanos, 1981), ενώ σε κάποια φυτά (πχ *Vicia faba*) φαίνεται να παίζει κάποιο ρόλο στην διατήρηση της σπαργής (Elston *et al.*, 1976). Όσο μεγαλύτερη είναι η ελαστικότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων, τόσο πιο ομαλή είναι η μείωση του υδροστατικού δυναμικού κατά την αφυδάτωση, το οποίο σημαίνει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην αφυδάτωση (Karamanos, 1984). Εξάλλου, τόσο η οσμωρύθμιση, όσο και η μεταβολή της ελαστικότητας των κυτταρικών τοιχωμάτων, δεν φαίνεται να επηρεάζουν αρνητικά την παραγωγικότητα των φυτών (Turner, 1979), παράμετρος ιδιαίτερα σημαντική από αγρονομικής άποψης.

ii. Σε ακραίες περιπτώσεις συναντάμε την ανθεκτικότητα κάποιων μονοκύτταρων οργανισμών, λειχήνων, καθώς και μερικών ανώτερων φυτών έναντι έντονης και παρατεταμένης αφυδάτωσης. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν μέλη της οικογένειας Gesneriaceae (ενδημικά των Βαλκανίων), καθώς και των οικογενειών Myrothamnaceae, Scrophulariaceae, Lamiaceae, Cyperaceae, Poaceae, Liliaceae και Velloziaceae (τα οποία ενδημούν σε ξηρές περιοχές της Ασίας, της Αυστραλίας, της Αφρικής και της Αμερικής) και καλούνται φυτά αναβίωσης. Κοινό τους

χαρακτηριστικό είναι η ικανότητα επιβίωσης των κυττάρων τους σε συνθήκες σχεδόν πλήρους αφυδάτωσης, η οποία επέρχεται με τη μετάβαση στη λεγόμενη κατάσταση αναβίωσης (μέσω της σύνθεσης υδατανθράκων όπως η ραφινόζη και η τρεαλόζη, της ανθεκτικότητας των κυτταρικών τοιχωμάτων και των λιγοςτών πλασμοδεσμών). Έτσι, σε περίπτωση ενυδάτωσης, τα φυτά ανακτούν σύντομα την κανονική μεταβολική τους δραστηριότητα (Καραμπουρνιώτης, 2003).

#### 1.1.4.3. Αποφυγή (Drought avoidance)

Με την στρατηγική της αποφυγής, τα φυτά αντιμετωπίζουν την υδατική καταπόνηση με τη διατήρηση του υψηλού υδατικού δυναμικού των κυττάρων τους, η οποία και επιτυγχάνεται με τη μείωση των απωλειών του νερού και την αύξηση της απορρόφησής του (Karamanos, 1984, Nielsen και Orcutt, 1996).

Η αποφυγή της υδατικής καταπόνησης με εξοικονόμηση νερού, επιτυγχάνεται με τον περιορισμό των διαπνευστικών απωλειών των φυτών και την ταυτόχρονη διατήρηση της ικανότητας αφομοίωσης CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα. Ουσιαστικά, τα φυτά δίνουν προτεραιότητα στην εξοικονόμηση και τη διαφύλαξη των αποθεμάτων νερού, μέσω ορισμένων μορφολογικών και φυσιολογικών χαρακτηριστικών που τους επιτρέπουν μια τέτοια στρατηγική και τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια.

Ο περιορισμός στο ελάχιστο των επιφανειών των οργάνων που έρχονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα, μέσω της μικροφυλλίας, της πτώσης, του τυλίγματος (σε πολλά αγρωστώδη), του κλεισίματος των σύνθετων φυλλαρίων (σε ψυχανθή) ή την υποκατάσταση των φύλλων με αγκάθια, έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένες απώλειες σε νερό (Simpson, 1981, Karamanos, 1984).

Επίσης, ο έλεγχος της διαπνοής μέσω της μειωμένης πυκνότητας και της γενικότερης λειτουργίας των στοματίων, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός (Raschke, 1975). Τα φυτά κλείνουν τα στομάτια στη διάρκεια εκείνης της περιόδου της ημέρας που ευνοεί σημαντικές απώλειες νερού (μεσημεριανές και απογευματινές ώρες), ενώ σε κάποια φυτά (τύπου CAM) ανοίγουν τα στομάτιά τους μόνον κατά τη διάρκεια της νύχτας. Μάλιστα, η λειτουργία των στοματίων (άρα και η συνέχιση της φωτοσύνθεσης) σε πολύ αρνητικές τιμές υδατικού δυναμικού, αποτελεί σημαντική προσαρμοστική στρατηγική για πολλά γνωστά φυτά (π.χ. σόργο, ελιά, βαμβάκι). Αυτή η ταπείνωση της κρίσιμης τιμής του Ψ<sub>l</sub> (κατώφλι), κάτω από την οποία τα στομάτια κλείνουν μπορεί να επιτευχθεί μέσω της σκληραγώγησης των φυτών σε συνθήκες μέτριας υδατικής καταπόνησης (McCree, 1974, Karamanos, 1984).

Παράλληλα, η διατήρηση υψηλού υδατικού δυναμικού μπορεί να επιτευχθεί και με αποθήκευση νερού σε φυτικούς ιστούς, όπως συμβαίνει στα κακτοειδή και στα φυτά με υπόγεια αποθησαυριστικά όργανα (Simpson, 1981, Malinowski και Beleski, 2000).

Επιπρόσθετα, τα φυτά αναπτύσσουν μορφολογικά χαρακτηριστικά τα οποία παρεμποδίζουν της απώλειες νερού, συμβάλλοντας παράλληλα στην αποφυγή υπερθέρμανσης του ελάσματος. Σε αυτά περιλαμβάνονται η ισχυρή και παχιά εφυμενίδα, η έντονη παρουσία τριχών, η τοποθέτηση των στοματιών σε κρύπτες, η κάλυψή τους από στρώματα κηρών κ.ά. (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένα φυτά εστιάζουν τη συμπεριφορά τους στην εξεύρεση και αποτελεσματική άντληση του νερού του περιβάλλοντος, αδιαφορώντας συχνά για την εξοικονόμηση νερού. Έτσι, δίνεται προτεραιότητα στην ανάπτυξη εκτεταμένου ριζικού συστήματος όπως και στην επίτευξη χαμηλού υδατικού δυναμικού της ρίζας, ώστε να αντληθεί νερό από το έδαφος με ταχείς ρυθμούς. Πολλά γνωστά καλλιεργούμενα είδη (βαμβάκι, κριθάρι, κουκιά, σόγια, λινάρι κ.ά.) αποφεύγουν την ξηρασία μέσω ενός εκτεταμένου ριζικού συστήματος που απορροφά νερό από βαθύτερα στρώματα (Newman, 1966, Klepper *et al.*, 1973, Ellis *et al.*, 1977, Taylor, 1980). Εξάλλου, η μειωμένη αντίσταση στην κίνηση του νερού διαμέσου των ριζών και του αγωγού συστήματος των βλαστών με αύξηση του αριθμού και της διαμέτρου των αγγείων του ξύλου, οδηγεί σε διατήρηση της απορρόφησης νερού σε περίπτωση ξηρασίας (Hale και Orcutt, 1987). Χαρακτηριστική είναι εξάλλου η περίπτωση αρκετών επιφύτων των τροπικών δασών, τα οποία κατορθώνουν να απορροφούν νερό από διάφορα υπέργεια όργανα, όπως φύλλα, βλαστοί και εναέριες ρίζες, διατηρώντας ουσιαστικά το υδατικό τους δυναμικό σε υψηλά επίπεδα και αποφεύγοντας την υδατική καταπόνηση (Καραμπουρνιώτης, 2003).

### **1.1.5 Ανθεκτικές ποικιλίες βαμβακιού στην ξηρασία**

Η δημιουργία ποικιλιών βαμβακιού με αντοχή στην ξηρασία είναι πολύ σημαντική για τη χώρα μας, καθώς και σε παγκόσμιο επίπεδο. Η χρήση ανθεκτικών στη ξηρασία ποικιλιών βαμβακιού θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους της καλλιέργειας, την επέκταση της βαμβακοκαλλιέργειας σε περιοχές με περιορισμένες ποσότητες αρδευτικού νερού, τη λογική διαχείριση των υδάτινων πόρων και

μειωμένες εισροές λιπασμάτων, με αποτέλεσμα μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Το φύλλο τύπου μπάμιας (okra leaf type) είναι ένας γνωστός μορφολογικός τύπος στο βαμβάκι και χαρακτηρίζεται από βαθιά σκισμένα, με στενούς λοβούς φύλλα. Το ενδιαφέρον γι' αυτόν τον μορφολογικό χαρακτήρα, έχει προέλθει από τη μειωμένη σήψη καψών σε περιβάλλοντα με αυξημένη σχετική υγρασία και την αντοχή σε ορισμένα έντομα που παρουσιάζουν οι γονότυποι που τον περιέχουν. Οι ποικιλίες με φύλλα τύπου μπάμιας είναι αρκετά διαδεδομένες στην Αυστραλία (Stiller *et al.*, 1998, Stiller and Constable, 2001). Σημαντική έρευνα έχει πραγματοποιηθεί για την διερεύνηση των φυσιολογικών διαφορών μεταξύ ποικιλιών με κανονικού τύπου φύλλα και φύλλα τύπου μπάμιας. Οι Peng και Krieg (1991) αναφέρουν ότι τα φυτά βαμβακιού με φύλλα τύπου μπάμιας, είχαν σταθερά υψηλότερη φωτοσύνθεση φύλλων ανά μονάδα φυλλικής επιφάνειας, σε σύγκριση με φυτά με κανονικού τύπου φύλλα. Επίσης, αναφέρουν ότι τα φυτά με φύλλα τύπου μπάμιας είχαν χαμηλότερη αγωγιμότητα στοματίων συγκρινόμενα με φυτά με κανονικού τύπου φύλλα. Συνδυάζοντας τον υψηλότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης με τη μικρότερη αγωγιμότητα στοματίων, τα φυτά αυτά αυξάνουν κατά 40% την αποδοτικότητα της χρήσης του νερού (Water Use Efficiency), σε σύγκριση με φυτά με κανονικού τύπου φύλλα. Οι γονότυποι αυτοί έχουν υψηλότερη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα φύλλων που πιθανόν να συνεισφέρει στις παρατηρούμενες υψηλότερες αποδόσεις, σε σύγκριση με φυτά με κανονικού τύπου φύλλα καλλιεργούμενα υπό ξηρικές συνθήκες (Stiller *et al.*, 1998, Stiller and Constable, 2001).

## **1.2 Αρδευτικά συστήματα**

### **1.2.1 Γενικά**

Στην Ελλάδα η γεωργία αποτελεί το μεγαλύτερο χρήστη – καταναλωτή νερού. Συγκεκριμένα, το 85% των καταναλισκόμενων υδατικών πόρων χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς (Karamanos *et al.*, 2007). Η καλλιεργούμενη γη ανέρχεται σε 34, 7 εκατ. στρέμματα, από τα οποία τα 14,3 εκατ. στρέμματα αρδεύονται. Από αυτά το 65% αφορά σε αροτραίες καλλιέργειες, το 24% σε δενδρώδεις καλλιέργειες, το 8% σε κηπευτικές και το 3% σε αμπέλια. (ΕΣΥΕ, 2006).

Η εφαρμογή του νερού στον αγρό, στα συλλογικά έργα, γίνεται κατά 37% με επιφανειακή άρδευση, 53% με τεχνητή βροχή και 10% με στάγδην άρδευση, ενώ παρατηρείται τάση μείωσης των εκτάσεων που εφαρμόζεται επιφανειακή άρδευση. Αντίστοιχα, στα ιδιωτικά έργα γίνεται κατά 7% με επιφανειακή άρδευση, 49% με τεχνητή βροχή και 44% με στάγδην άρδευση. Οι μέγιστες ανάγκες των καλλιεργειών της χώρας μας σε νερό έχουν προσδιοριστεί σε 4.100 Mm<sup>3</sup>/έτος, ενώ η κατανάλωση εκτιμάται σε 6.800 Mm<sup>3</sup>/έτος (Tsanis *et al*, 1996).

Η τιμολόγηση του αρδευτικού νερού στην Ελλάδα γίνεται κυρίως βάσει της έκτασης. Η πρακτική αυτή είναι ικανοποιητική όσον αφορά στις επιφανειακές αρδεύσεις, αλλά προβληματική για αρδευτικά δίκτυα που λειτουργούν υπό πίεση, καθόσον δεν δημιουργεί κίνητρα για εξοικονόμηση νερού και ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεγονός ότι το ενεργειακό κόστος είναι σε πολλές περιπτώσεις υψηλότερο από το κόστος προσωπικού και τη συντήρηση. Η κατάσταση αυτή δεν είναι σε καμία περίπτωση ευθυγραμμισμένη με τις διεθνείς απαιτήσεις όσον αφορά στη λελογισμένη διαχείριση του νερού (Karantounias και Dercas, 1998).

Για την άρδευση στο βαμβάκι παγκοσμίως, αλλά και στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται όλα τα γνωστά συστήματα: κατάκλυση, άρδευση με αυλάκια, τεχνητή βροχή και στάγδην άρδευση. Κριτήρια επιλογής του κατάλληλου συστήματος αποτελούν:

- Η διαθεσιμότητα του νερού
- Η ποιότητα του νερού
- Το κόστος του νερού
- Το ύψος της επένδυσης
- Η αρδευόμενη έκταση
- Η τιμή του παραγόμενου προϊόντος.

Στην Κίνα το 40% των εκτάσεων ποτίζεται με κατάκλυση, 50% με αυλάκια, 5% με τεχνητή βροχή και 5% παραμένει ξηρικό (ICAC, 2003). Στην περιοχή του Delta των Η.Π.Α., 20% των εκτάσεων ποτίζεται με αυλάκια, 10% με κατάκλυση και 70% ικανοποιεί τις αρδευτικές του ανάγκες μέσω των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Αντίθετα, στα υψίπεδα (High Plains) του Τέξας, οι περισσότερες εκτάσεις ποτίζονται με τεχνητή βροχή. Μια δημοφιλής παραλλαγή αυτού του συστήματος είναι το σύστημα LEPA (Low-Energy Precision Application), όπου ο ψεκασμός γίνεται κάτω από το φύλλωμα. Σε επίπεδο χώρας,



στις Η.Π.Α., 50% των εκτάσεων ποτίζεται με αυλάκια, 28% με τεχνητή βροχή, 1% με κατάκλυση και μόνον το 1% με στάγδην άρδευση (ICAC, 2003)

Στην Ελλάδα με βάση στοιχεία του Οργανισμού Βάμβακος (2001), το 1998 σε σύνολο 4.173.000 στρεμμάτων που καλλιεργήθηκαν με βαμβάκι, τα 2.807.000 στρέμματα (67,3%) αρδεύτηκαν με τεχνητή βροχή, 906.000 στρ. (21,7%) με στάγδην, 350.000 στρ. (8,4%) με αυλάκια και 110.000 στρ. (2,6%) παρέμειναν ξηρικά.

Για τη χώρα μας η επέκταση των αρδεύσεων ήταν ένας από τους βασικότερους συντελεστές στην αύξηση των στρεμματικών αποδόσεων. Όπως αποδείχθηκε, η άρδευση ήταν προϋπόθεση για να εκδηλωθεί η ωφελιμότητα της λίπανσης, καθώς και ο δυναμισμός των βελτιωμένων ποικιλιών (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 1995). Σύμφωνα με τον Danalatos (1993), η εισροή ύδατος πέραν ενός ορίου επιδρά αρνητικά στη συνολική απόδοση της καλλιέργειας.

Σε περιοχές που υπάρχει επάρκεια νερού και ένα καλά οργανωμένο δίκτυο καναλιών, η άρδευση γίνεται με αυλάκια. Οι περιοχές αυτές αφορούν κυρίως τη Μακεδονία και τη Θράκη, ενώ στην υπόλοιπη Ελλάδα ο συνηθέστερος τρόπος είναι η τεχνητή βροχή. Τέλος, σε περιοχές όπου η βαμβακοκαλλιέργεια έχει εντατικοποιηθεί και παράλληλα υπάρχει πρόβλημα διαθεσιμότητας νερού, εφαρμόζεται η στάγδην άρδευση (Σιτράς, 1994).

### **1.2.2 Η στάγδην άρδευση**

Η στάγδην άρδευση άρχισε να εφαρμόζεται στην Ελλάδα από το 1985, ενώ το 2002 ήδη κάλυπτε 624,000 στρέμματα (14.8%), εκ των οποίων τα 551,000 στρ. βρίσκονταν στη Θεσσαλία, 70,000 στρ. στην Αν. Στερεά και μόλις 3,000 στρ. στη Μακεδονία.

Το συγκεκριμένο αρδευτικό σύστημα έχει ως χαρακτηριστικά, τη σημειακή πηγή νερού (σταλάκτης), τη χαμηλή πίεση εισόδου και τις μικρές παροχές. Κάτω από το σταλάκτη και σε συγκεκριμένο εδαφικό βάθος, το οποίο εξαρτάται από την εδαφική σύσταση και την ποσότητα του νερού, δημιουργείται ένας υγρός εδαφικός κώνος, μέσα στον οποίο δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης του φυτού. Στον κώνο αυτό επικρατεί χαμηλή αρνητική πίεση του εδαφικού νερού (κοντά στην υδατοϊκανότητα) και καλές συνθήκες αερισμού, σε αντίθεση με άλλα αρδευτικά συστήματα (άρδευση με αυλάκια, τεχνητή βροχή), στα οποία μερικές φορές δημιουργούνται συνθήκες ασφυξίας λόγω της «κατάκλυσης» του εδάφους με νερό.

Πέραν των παραπάνω υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής υδατοδιαλυτών λιπασμάτων, που έχει ως αποτέλεσμα την άμεση πρόσληψή τους από τα φυτά και τη μέγιστη δυνατή αξιοποίησή τους.

Σύμφωνα με το Goren (1994) τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί της στάγδην άρδευσης συνοψίζονται ως κάτωθι:

#### 1. Πλεονεκτήματα

- Υψηλή αποδοτικότητα στη χρήση του αρδευτικού νερού. Περιορισμός των απωλειών, λόγω εξάτμισης ή κίνησης του νερού σε βαθύτερα εδαφικά στρώματα πέραν της ριζόσφαιρας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση νερού, που σε μερικές περιπτώσεις φτάνει το 40%.
- Δεν υπάρχουν περιορισμοί κατά την εφαρμογή, όπως συμβαίνει στην τεχνητή βροχή, όταν πνέουν άνεμοι.
- Αξιοποιούνται κεκλιμένα εδάφη, των οποίων η άρδευση καθίσταται δύσκολη με οποιοδήποτε άλλο σύστημα.
- Αύξηση της αποτελεσματικότητας της λίπανσης, όταν αυτή γίνεται μέσω του αρδευτικού δικτύου.
- Μειωμένη παρουσία ζιζανίων, καθώς περιορίζεται αρκετά η υγρή περιοχή
- Δυνατότητα ελέγχου της ανάπτυξης της καλλιέργειας σύμφωνα με τις καλλιεργητικές συνθήκες και τους στόχους του παραγωγού.
- Ολοκληρωμένη εφαρμογή των φυτοφαρμάκων, τα οποία δεν ξεπλένονται με το αρδευτικό νερό, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα ταυτόχρονης κίνησης αγροτικών μηχανημάτων σε ξηρά τμήματα του αγρού.
- Έλεγχος της ποσότητας του εφαρμοζόμενου νερού, με αποτέλεσμα ο αγρός να αρδεύεται στα όριά του και με μεγάλη ομοιομορφία.

#### 2. Περιορισμοί

- Απαραίτητο κρίνεται το φιλτράρισμα του νερού, ανάλογα με την ποιότητα του.
- Το σύστημα είναι ευαίσθητο σε αστοχίες, διότι ο υγρός κώνος είναι περιορισμένος, οπότε απαιτείται μεγάλη προσοχή στη δόση άρδευσης.

- Υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης αλάτων, όταν χρησιμοποιείται αλατούχο νερό και στην περίπτωση που οι βροχοπτώσεις είναι ανεπαρκείς να ξεπλύνουν τις αποθέσεις αλάτων.
- Υψηλό κόστος αγοράς του συστήματος και σχετικά περιορισμένη διάρκεια ζωής

Σύμφωνα με 15ετή μελέτη που έγινε στο Ισραήλ, η παραγωγή των καλλιεργειών που ποτίστηκαν με σταγόνες, ήταν αυξημένη κατά 15-20%, συγκρινόμενη με την παραγωγή που προέκυψε έπειτα από άρδευση με τεχνητή βροχή (Goren, 1994). Κατά τον Bucks και τους συνεργάτες του (1988), η στάγδην άρδευση δε δίνει πάντα υψηλότερη παραγωγή συγκρινόμενη με την καλά διαχειριζόμενη άρδευση με αυλάκια. Ομοίως, οι Mateos και οι συνεργάτες του (1991) αναφέρουν ότι η σύγκριση στάγδην και άρδευσης με αυλάκια, όσον αφορά στην παραγωγή δεν δίνει πάντα θετικά αποτελέσματα υπέρ της πρώτης, δείχνει όμως την υπεροχή της μεθόδου στην αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό, όταν η ανάπτυξη της φυτείας γίνεται κάτω από συνθήκες έλλειψης αρδευτικού νερού.

Στη Ν. Αφρική σε καλλιέργεια βάμβακος η άρδευση με σταγόνες έδωσε 24-65% υψηλότερη παραγωγή, σε σχέση με αγρούς που αρδεύτηκαν με τεχνητή βροχή (Dirpenaar *et al*, 1994). Κατά τη Διεθνή Συμβουλευτική Επιτροπή Βάμβακος (ICAC, 2003), η άρδευση με κατάκλυση ή αυλάκια έχει τον μικρότερο βαθμό απόδοσης, η άρδευση με σταγόνες τον μεγαλύτερο, ενώ η τεχνητή βροχή παρουσιάζει ενδιάμεσες τιμές για το βαθμό απόδοσης.

Μια ακόμη πιο αποτελεσματική μέθοδος μικροάρδευσης, είναι η υπόγεια στάγδην άρδευση, η οποία προέκυψε από βελτίωση της κλασικής στάγδην άρδευσης. Βασικό πρόβλημα της μεθόδου αυτής αποτελεί η διείσδυση ριζών και εδαφικών συσσωματωμάτων στους σταλάκτες με αποτέλεσμα να τους φράσσουν. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι δίνει υψηλές τιμές στο δείκτη αποτελεσματικότητας της χρήσης νερού (Barth, 1999).

### 1.3. Η ελλειμματική άρδευση

Στο παρελθόν η άρδευση των καλλιεργειών πραγματοποιούνταν, χωρίς να ληφθεί υπόψη η διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Ο σχεδιασμός των αρδευτικών πρακτικών δεν αντιμετώπιζε καταστάσεις κατά τις οποίες η διαθεσιμότητα της υγρασίας ήταν ο κύριος περιοριστικός παράγοντας στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Ωστόσο, σε ξηροθερμικές περιοχές, η μεγάλη αύξηση της κατανάλωσης αστικού και βιομηχανικού νερού, οδήγησε στην αναζήτηση μεθόδων για βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης του αρδευτικού νερού. Προς αυτή την κατεύθυνση έγιναν πολλές προσπάθειες, με την εφαρμογή εναλλακτικών τεχνικών κατεργασίας του εδάφους και ενσωμάτωσης φυτικών υπολλειμμάτων. Μια εναλλακτική πρόταση είναι η ελλειμματική άρδευση, κατά την οποία τα φυτά υπόκεινται σε διάφορα επίπεδα υδατικής καταπόνησης, είτε σε συγκεκριμένα στάδια, είτε καθόλη τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου, χωρίς ωστόσο να μειώνεται σημαντικά η απόδοσή τους. Η δυνατότητα προσδιορισμού του χρόνου και της ποσότητας της άρδευσης είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για τον σωστό σχεδιασμό και τη διαχείριση ενός προγράμματος ελλειμματικής άρδευσης. Η χρήση μόνιμων αρδευτικών συστημάτων δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής μικρών ποσοτήτων νερού σε μεγάλη συχνότητα και καλύτερης διαχείρισης πιθανής υδατικής καταπόνησης των φυτών από την ελλειμματική άρδευση ( Fereres και Soriano, 2007).

Προκειμένου να προσδιοριστεί το επίπεδο της ελλειμματικής άρδευσης σε κάθε περίπτωση, πρέπει αρχικά να υπολογιστούν οι υδατικές ανάγκες της φυτείας (ETc) (Fereres και Soriano, 2007). Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με βάση την εξίσωση Penman–Monteith (Monteith και Unsworth, 1990, Allen *et al.*, 1998) που αποτελεί έγκυρη και δοκιμασμένη μέθοδο όσον αφορά στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας, ενώ δίνει αβέβαια αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται σε δέντρα ή αμπέλια (Fereres και Goldhamer, 1990). Όταν η ποσότητα του νερού άρδευσης είναι μικρότερη από τις υδατικές ανάγκες, τα φυτά αναπληρώνουν το νερό από την αποθηκευμένη εδαφική υγρασία και εφόσον αυτή είναι επαρκής δεν επηρεάζεται η εξατμισοδιαπνοή (ETc) . Στην περίπτωση όμως που το εδαφικό νερό δεν επαρκεί, τότε παρατηρείται μείωση της ETc, με ενδεχόμενη μείωση των αποδόσεων. Στην πρώτη περίπτωση και εφόσον το αποθηκευμένο νερό που απομακρύνθηκε, αναπληρωθεί με τις βροχοπτώσεις, τότε η πρακτική της ελλειμματικής άρδευσης

αποτελεί μια βιώσιμη πρόταση. Στη δεύτερη περίπτωση παρατηρείται μείωση της χρήσης του νερού από τα φυτά, όσο και της υδατοκατανάλωσης (ET). Ο προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής σε φυτείες, στις οποίες έχει εφαρμοστεί ελλειμματική άρδευση, παραμένει ένα σύνθετο πρόβλημα, καθώς τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ETc σε καταπονημένες φυτείες, είναι ακόμη εμπειρικά. (Burba και Verma, 2005).

Οι Kirda *et al.*, (1999b) έχουν ενδελεχώς μελετήσει το θέμα της ανταπόκρισης διαφόρων καλλιεργειών στην ελλειμματική άρδευση. Ένας μεγάλος αριθμός καλλιεργούμενων φυτών (βαμβάκι, σιτάρι, ζαχαρότευτλα, ζαχαροκάλαμο, σόγια, πατάτα και αραβόσιτος) μελετήθηκαν σε τέσσερα πειράματα αγρού. Τα δεδομένα της απόδοσης των φυτών σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης τοποθετήθηκαν στην παρακάτω γραμμική εξίσωση που είχε χρησιμοποιηθεί νωρίτερα από τους Stewart *et al.*, (1977).

$$\frac{Y}{Y_m} = 1 - k_y \left[ 1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right] \quad (1)$$

Y: αναμενόμενη απόδοση

Y<sub>m</sub>: μέγιστη απόδοση

ET<sub>a</sub>: πραγματική εξατμισοδιαπνοή

ET<sub>m</sub>: μέγιστη εξατμισοδιαπνοή

k<sub>y</sub>: φυτικός συντελεστής εξαρτώμενος από το είδος του φυτού, τη μέθοδο άρδευσης και το στάδιο ανάπτυξης όταν ξεκίνησε η ελλειμματική άρδευση

Η αναμενόμενη απόδοση (Y), δίνει μία ένδειξη εάν το φυτό είναι ανθεκτικό στην υδατική καταπόνηση. Όταν οι τιμές του παράγοντα αυτού (Y/Y<sub>m</sub>) είναι μεγαλύτερες της μονάδας, δείχνει ότι η αναμενόμενη σχετική μείωση της απόδοσης για συγκεκριμένο έλλειμμα εξατμισοδιαπνοής είναι αναλογικά μεγαλύτερη από τη σχετική μείωση της εξατμισοδιαπνοής (Kirda *et al.*, 1999a). Στη σόγια επί παραδείγματι, η μείωση της απόδοσης ήταν αναλογικά μεγαλύτερη, όταν το υδατικό

έλλειμμα παρουσιάστηκε μεταξύ της άνθισης και της ανάπτυξης των λοβών, παρά κατά τη διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης.

#### **1.4. Αποτελεσματικότητα της χρήσης του αρδευτικού νερού**

Το υδατικό ισοζύγιο, αν και παγκοσμίως παραμένει σταθερό, χαρακτηρίζεται από ανομοιόμορφη κατανομή στο χώρο και στο χρόνο. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η περίοδος αυξημένης ζήτησής του δεν συμπίπτει με την περίοδο επάρκειάς του. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη έργων αποθήκευσής του και ανακατανομής. Η άνοδος της θερμοκρασίας τα τελευταία 20 έτη κατά 0.2-0.3 °C (UNEP, 1999), έκανε πιο έντονο το φαινόμενο της ανισοκατανομής των υδάτινων κατακρημνισμάτων και σε συνδυασμό με την αυξημένη ζήτηση νερού, τα προβλήματα λειψυδρίας οξύνθηκαν (Πολυχρονίδης, 2004).

Οι εύκολα εκμεταλλεύσιμοι υδατικοί πόροι έχουν σχεδόν παγκόσμια εξαντληθεί (κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες) και η περαιτέρω εκμετάλλευσή τους ισοδυναμεί με αύξηση του κόστους χρήσης του νερού και μεγαλύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον (Αγγελίδης, 2000).

Η βαμβακοκαλλιέργεια, ως ένα σημαντικό κομμάτι της γεωργικής δραστηριότητας, θα πρέπει να πείσει ότι μπορεί να διαχειριστεί αειφορικά το περιβάλλον, παράγοντας ταυτόχρονα ποιοτικό βαμβάκι (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2004).

Η εγκατάσταση ενός συστήματος άρδευσης στο βαμβάκι δεν αρκεί από μόνη της να ικανοποιήσει την απαίτηση για βέλτιστη εδαφική υγρασία. Απαιτείται ο προσδιορισμός των υδατικών του αναγκών και η συνεχής παρακολούθηση των μεταβολών της εδαφικής υγρασίας ή του υδατικού δυναμικού των φύλλων ώστε να προσδιοριστούν το εύρος και η δόση άρδευσης (Martin, 2000).

Η γεωργία αναλώνει περίπου το 70 % του παγκόσμιου νερού διαχειριζόμενο από μεμονωμένα άτομα και περίπου 80% στον αναπτυσσόμενο κόσμο (Prinz, 2000). Όσον αφορά στις χώρες της Μεσογείου, χρησιμοποιούν τουλάχιστον το 72% του διαθέσιμου νερού για γεωργικούς σκοπούς (Hamdy και Lacirignola, 1999). Μεγάλες ποσότητες του καταναλισκόμενου αρδευτικού ύδατος σπαταλώνται, καθώς οι παραγωγοί υπερβαίνουν τις πραγματικές υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών (Shideed *et al.*, 2005) και η υπέρβαση αυτή κυμαίνεται από 30-50% (Hamdy και Katerji, 2006). Κατά συνέπεια η γεωργία, ως ο κύριος καταναλωτής νερού, έρχεται αντιμέτωπη με την πρόκληση μιας νέας προσέγγισης απέναντι στη διαχείριση των

υδατικών πόρων, με στόχο την προστασία τους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τρεις τρόπους:

1. Εξοικονόμηση νερού μέσω του ακριβούς προσδιορισμού των υδατικών αναγκών των φυτών (Katerji, 1997)
2. Βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των συστημάτων άρδευσης (Pereira et al., 2002)
3. Βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης του αρδευτικού νερού για τα διάφορα είδη και τις ποικιλίες, μέσω του προσδιορισμού των βιολογικών, περιβαλλοντικών και γεωργικών παραμέτρων που μπορούν να οδηγήσουν στη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του νερού άρδευσης (Katerji et al., 2008).

Για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας χρήσης νερού άρδευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο προσεγγίσεις:

Καταρχήν, η οικο-φυσιολογική προσέγγιση, η οποία βασίζεται στη σχέση μεταξύ φωτοσύνθεσης και διαπνοής (Goudriaan, 1982, Pearcy, 1983, Feddes, 1985). Η προσέγγιση αυτή συντελεί στον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού σε θεωρητικό επίπεδο (Jones, 1973, Cowan, 1982, Farquhar και Sharkey, 1982, Hsiao, 1993) και στη σύγκριση φωτοσύνθεσης και διαπνοής φυτών που καλλιεργούνται κάτω από διαφορετικές συνθήκες άρδευσης, αναλύοντας την επίδραση στην αποτελεσματικότητα της χρήσης του νερού άρδευσης.

Επίσης, υπάρχει και η αγρονομική προσέγγιση, η οποία βασίζεται στη σχέση μεταξύ του καταναλισκόμενου για άρδευση νερού και της απόδοσης (Feddes, 1985). Η κατανόηση της σχέσης αυτής συμβάλλει στη διαχείριση της παραγωγής των αρδευόμενων φυτών, και συντελεί στη βελτίωση των αποδόσεων. Ωστόσο, δεν παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την κατανόηση και επεξήγηση των αποτελεσμάτων.

Παράλληλα, έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες, οι οποίες κινούνται ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις και αφορούν στον αραβόσιτο, τον ηλίανθο (Katerji και Bethenod, 1997) και στο γλυκό σόργο (Steduto et al., 1997). Οι μελέτες αυτές είναι απαραίτητες, προκειμένου να κατανοηθεί το δυναμικό των διαφόρων φυτικών ειδών, κάτω από συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Η οικο-φυσιολογική και η αγρονομική

προσέγγιση συνδέονται άμεσα, όπως πρόσφατα έδειξε ο Hsiao και οι συνεργάτες του (2007).

Από την μελέτη του de Wit (1958) και μετά, έχουν προταθεί και συζητηθεί διάφορες εκφράσεις για την αποτελεσματικότητα της χρήσης ή την παραγωγικότητα νερού (Water Use Efficiency, Crop Water Productivity) (Rijtema και Endrodi, 1970, Slabbers *et al.*, 1979, Ritchie, 1983, Tanner και Sinclair, 1983, Feddes, 1985, Pereira *et al.*, 2002, Zwart και Bastiaanssen, 2004, Turner, 2004, Hsiao *et al.*, 2007). Μια κοινώς αποδεκτή έκφραση φαίνεται στην εξίσωση (2)

$$WUE (kg.m^{-3}) = \text{Απόδοση} / \text{Υδατική κατανάλωση} \quad (2)$$

Η απόδοση εκπεφρασμένη σε  $kg/m^2$  αναφέρεται είτε στη συνολική ξηρά μάζα είτε στην εμπορεύσιμη απόδοση, που έχει και μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Σε μερικά είδη, όπως το σκληρό σιτάρι, η συνολική ξηρά μάζα μπορεί να είναι παρόμοια, οι διαφορές όμως στη απόδοση είναι μεγάλες εξαιτίας της γενετικής βελτίωσης (Katerji *et al.*, 2005). Ωστόσο, σε άλλα φυτά, όπως το βαμβάκι, ο λόγος της απόδοσης προς τη βιομάζα, είναι αρκετά σταθερός για ένα μεγάλο εύρος υδατικής καταπόνησης (Thomson *et al.*, 1997, Fereres και Soriano, 2007), εν αντιθέσει με φυτά όπως ο αραβόσιτος, ο ηλίανθος και το σιτάρι, στα οποία οι τιμές του λόγου μεταβάλλονται σημαντικά, ανάλογα με το επίπεδο του υδατικού ελλείμματος (Fereres και Soriano, 2007).

Στην Αυστραλία  $1.000 m^3$  νερού χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μιας μπάλας ίνας βαμβακιού (περίπου 227 kg) ανά εκτάριο. Στην Καλιφόρνια με την ίδια ποσότητα νερού παράγονται 139 kg ίνας, 136 στην Αίγυπτο και μόνο 50 kg στο Πακιστάν. Έρευνες δείχνουν ότι στην Αυστραλία είναι εφικτή η παραγωγή μιας μπάλας ίνας ανά εκτάριο με την χρήση  $800 m^3$ . Αυτή η αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού έχει επιτευχθεί με την εφαρμογή προδιαγραφών άρδευσης. Οι αγρότες σχεδιάζουν το πότε και πόσο θα ποτίσουν, έτσι ώστε το μεγαλύτερο μέρος του νερού να χρησιμοποιείται από τα φυτά. Δεδομένου ότι τα εδάφη που καλλιεργούνται είναι ως επί το πλείστον αργιλώδη, με αποτέλεσμα να συγκρατούν και να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ύδατος, το βαμβάκι εκμεταλλεύεται μέχρι και το 85% του νερού που εφαρμόζεται με κάθε άρδευση (ICAC, 2003).

Σε τεύχος της Διεθνούς Συμβουλευτικής Επιτροπής Βάμβακος (ICAC, 1996) περιγράφεται η τεχνική για τον πρακτικό προσδιορισμό του εύρους και της δόσης



άρδευσης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή αποτελεσματικότητα της χρήσης αρδευτικού νερού και ως τούτου η ελαχιστοποίηση του κόστους άρδευσης. Σε αμμώδη εδάφη, στα οποία η ικανότητα συγκράτησης και αποθήκευσης υγρασίας είναι μικρή, συνήθως εφαρμόζεται στάγδην άρδευση δύο φορές την εβδομάδα. Η άρδευση αρχίζει δύο εβδομάδες πριν την ανθοφορία και ολοκληρώνεται όταν ανοίξει το 20-30% των καψών. Καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο καταγράφεται η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ( $ET_0$ ) και η δόση άρδευσης υπολογίζεται ως το γινόμενο της  $ET_0$  με τον φυτικό συντελεστή,  $K_c$  ο οποίος κυμαίνεται από 0,20 έως 1,00 για ύψη φυτών από 20-120 cm.

Η αντιστοιχία του ύψους των φυτών και του φυτικού συντελεστή, προκύπτει από στατιστική επεξεργασία με υψηλό βαθμό συσχέτισης του ύψους με τη φυλλική επιφάνεια και το ξηρό βάρος φύλλων, ενώ συνεκτιμάται και ο βαθμός αύξησης. Αναφέρεται ότι ο μέσος ρυθμός αύξησης του ύψους, είναι 2 cm/ημέρα κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας. Προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, όταν ο ρυθμός αύξησης είναι πολύ μικρός, γίνονται μετρήσεις του υδατικού δυναμικού των φύλλων, ώστε να προσδιοριστεί η υδατική κατάσταση των φυτών. Οι μετρήσεις γίνονται τις μεσημβρινές ώρες σε θερμοκρασίες 26-33 °C και τιμές από -1,5 έως -1,6 MPa θεωρούνται οριακές για την έναρξη της στάγδην άρδευσης.

## 1.5. Οι στόχοι της μελέτης

Η δεδομένη αύξηση της κατανάλωσης νερού για βιομηχανική και αστική χρήση τα τελευταία χρόνια, περιόρισε σε σημαντικό βαθμό τη χρήση του για γεωργικούς σκοπούς. Η κύρια χρήση του νερού στη γεωργία είναι η άρδευση, η οποία και επηρεάστηκε από την μείωση των υδατικών αποθεμάτων. Μεταξύ των πρακτικών που εφαρμόστηκαν για την εξοικονόμηση νερού είναι και η ελλειμματική άρδευση (Deficit Irrigation), κατά την οποία η καλλιέργεια δέχεται ένα μόνον ποσοστό των πραγματικών της αναγκών. Έχει ως στόχο την μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης νερού (Water Use Efficiency), προκειμένου να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις ανά μονάδα νερού άρδευσης. Η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα μείωσης των υδατικών της αποθεμάτων, γεγονός που έχει επίδραση στην άρδευση των καλλιεργειών, κυρίως της κεντρικής και νότιας χώρας.

Το βαμβάκι αποτέλεσε και αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική καλλιέργεια για την Ελλάδα και το γεωργικό εισόδημα, παρά την επικείμενη αναθεώρηση της ΚΑΠ (2013), με την οποία ενδεχομένως να περιοριστούν οι κοινοτικές ενισχύσεις για το προϊόν. Η ανάγκη λοιπόν, για εξοικονόμηση υδατικών πόρων, καθώς και η αναγκαιότητα να παραμείνει το βαμβάκι η “ατμομηχανή” των φυτών μεγάλης καλλιέργειας στη χώρα, αποτέλεσαν τα βασικά κίνητρα για την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Η μελέτη επιχείρησε να ανιχνεύσει εάν είναι δυνατή η εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης και σε ποιο επίπεδο στην καλλιέργεια του βαμβακιού. Για το λόγο αυτό μελετήθηκε η επίδραση σε μορφολογικά, φυσιολογικά και φαινολογικά χαρακτηριστικά, καθώς και στις αποδόσεις και τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας, προκειμένου να αποκτηθεί μία όσο το δυνατόν πληρέστερη εικόνα της ανταπόκρισης της καλλιέργειας στη συγκεκριμένη τεχνική.

Σίγουρα απομένουν προς διερεύνηση αρκετά πεδία σχετικά με την ελλειμματική άρδευση στην Ελλάδα. Ωστόσο στην παρούσα μελέτη έγινε μια πρώτη προσέγγιση του θέματος με την ελπίδα να αποτελέσει το έναυσμα για περαιτέρω ερευνητικές προσπάθειες.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Γενικά

Το πείραμα αγρού πραγματοποιήθηκε κατά τα έτη 2005, 2006 και 2007 στην κοινότητα Ξινοερίου του Ν. Καρδίτσας. Στην περιοχή πειραματισμού καλλιεργείται κυρίως βαμβάκι, αραβόσιτος και σιτάρι. Η άρδευση πραγματοποιείται ως επί το πλείστον μέσω του δημόσιου αρδευτικού δικτύου της λίμνης Πλαστήρα. Το αγρόκτημα, στο οποίο εγκαταστάθηκε το πείραμα το 2005 βρέθηκε να διαθέτει υψηλό υδατικό ορίζοντα σε βάθος 120 cm, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται άμεσα η διαφοροποίηση μεταξύ των επεμβάσεων. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε η μετεγκατάσταση του πειράματος τα έτη 2006 και 2007 σε άλλο αγρό, στον οποίο ο υδατικός ορίζοντας ήταν κάτω από τα 250 cm, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα. Για τους δύο πειραματικούς αγρούς έγιναν αναλύσεις των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 2.1 – 2.4

**Πίνακας 2.1:** Χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους του πειραματικού αγρού όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα κατά το έτος 2005.

Βάθος (cm)	N %	P ppm	K meq.100g <sup>-1</sup>	CaCO <sub>3</sub>	Οργανική ουσία %	PH
0-30	0.20	9	116	ίχνη	1.31	6.9

**Πίνακας 2.2:** Ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά του πειραματικού αγρού σε δύο εδαφικά βάθη, κατά το έτος 2005.

Βάθος (cm)	Μηχανική σύσταση (S-C-L)	Φαινομενική πυκνότητα (g.cm <sup>-3</sup> )	Υγρασία Κορεσμού (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	Υδατοϊκανότητα (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	Σημείο μάρανσης (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	Υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό (mm.h <sup>-1</sup> )
15-60	34-41-25 (CL)	1.45	0.51	0.29	0.15	4
60-110	-	1.50	0.50	0.28	0.13	3

**Πίνακας 2.3:** Χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους του πειραματικού αγρού σε δύο εδαφικά βάθη κατά τα έτη 2006 και 2007.

Βάθος (cm)	N %	P ppm	K meq.100g <sup>-1</sup>	CaCO <sub>3</sub>	Οργανική ουσία %	PH
0-30	0.09	14.2	97.3	ίχνη	1	5.6
30-60	0.07	5.2	48.7	ίχνη	0.7	5.9

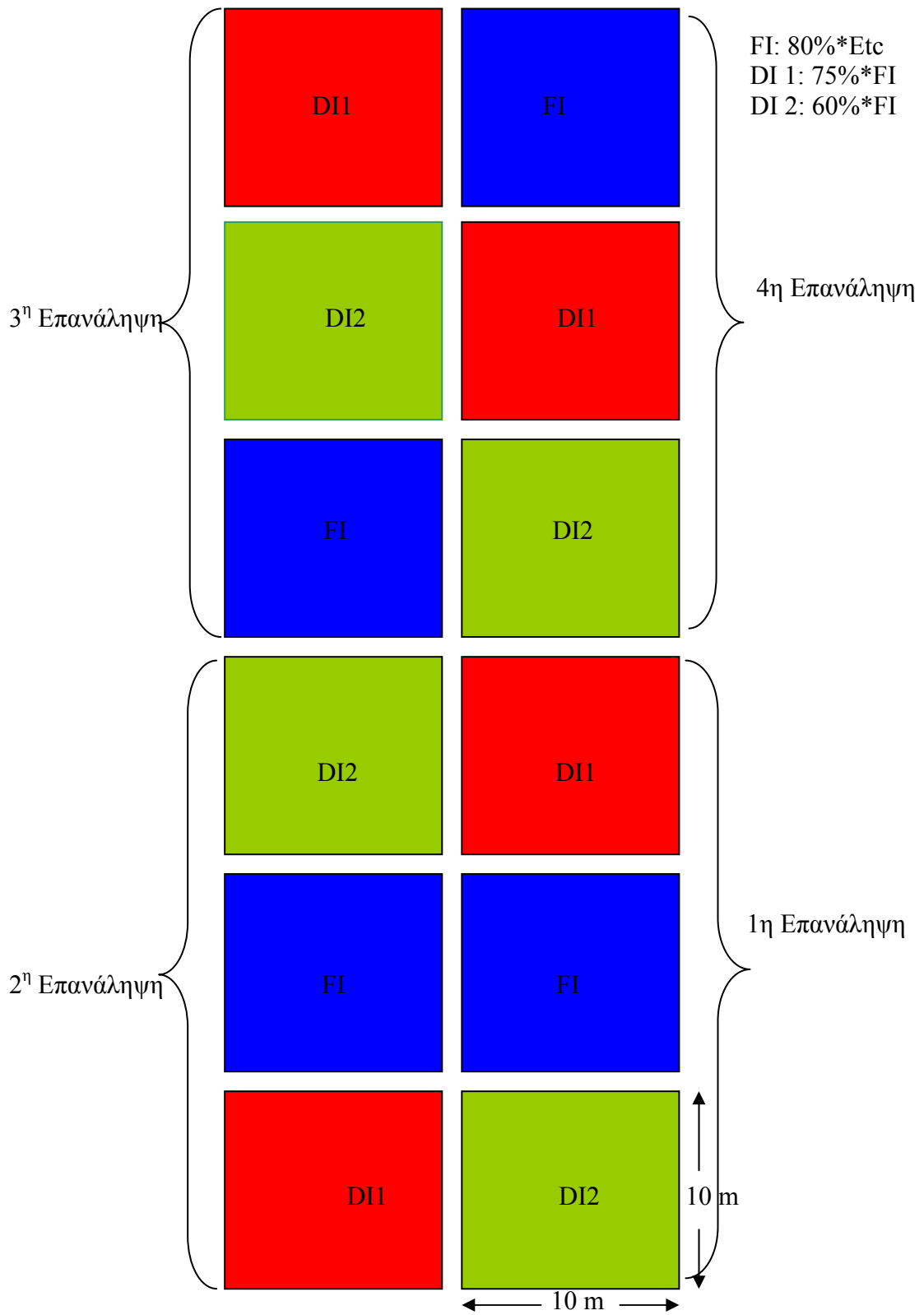
**Πίνακας 2.4:** Ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά του πειραματικού αγρού σε δύο εδαφικά βάθη, κατά τα έτη 2006-07.

Βάθος (cm)	Μηχανική σύσταση (S-C-L)	Φαινομενική πυκνότητα ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Υγρασία Κορεσμού ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ )	Υδατοϊκανότητα ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ )	Σημείο μάρανσης ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ )	Υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό ( $\text{mm.h}^{-1}$ )
0-30	20-38-42 (SCL)	1.58	0.51	0.25	0.17	4
30-60	21-32-47 (SCL)	1.48	0.49	0.26	0.15	23

Από πλευράς μηχανικής σύστασης το έδαφος, τόσο του πρώτου, όσο και του δεύτερου πειραματικού αγρού, χαρακτηρίζεται ως αμμοαργιλοπηλώδες. Όσον αφορά στα μακροστοιχεία (N, P, K) ο πρώτος αγρός, όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα κατά το έτος 2005, είναι επαρκώς εφοδιασμένος σε ολικό άζωτο και σε υδατοδιαλυτό κάλιο, ενώ είναι οριακά φτωχός σε αφομοιώσιμο φωσφόρο (<10 ppm). Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία κρίνεται ικανοποιητική. Ο δεύτερος πειραματικός αγρός είναι επαρκώς εφοδιασμένος με φωσφόρο αφομοιώσιμο και οριακά φτωχός σε ολικό άζωτο (<0,1%) και υδατοδιαλυτό κάλιο (<100 ppm). Τέλος, χαρακτηρίζεται φτωχός όσον αφορά στην περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

## 2.2. Το πειραματικό σχέδιο

Κατά τη διάρκεια και των τριών πειραματικών ετών ακολουθήθηκε το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων με 4 επαναλήψεις και 3 επεμβάσεις. Οι επεμβάσεις αφορούσαν στην ποσότητα του νερού που χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση του βαμβακιού. Η άρδευση με το 80% της εξατμισοδιαπνοής της φυτείας χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας (F1). Το πρώτο επίπεδο ελλειμματικής άρδευσης ήταν το 75% του νερού που εφαρμόστηκε στον μάρτυρα (DI1) και το δεύτερο επίπεδο ήταν το 60% (DI2). Το μέγεθος των πειραματικών τεμαχίων ήταν 10m x10m (10 γραμμές με μήκος 10 m η καθεμία) και η συνολική έκταση του πειραματικού αγρού έφτανε τα 1200 m<sup>2</sup>. Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε.



Εικ 2.1. Το πειραματικό σχέδιο.

## 2.4. Το φυτικό υλικό

Χρησιμοποιήθηκαν σπόροι βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L.) της ποικιλίας Celia. Η ποικιλία είναι αρκετά διαδεδομένη στην περιοχή και χαρακτηρίζεται ως μέσο-πρώιμη με μεγάλο μέγεθος καρυδιού. Τα φύλλα της είναι παλαμοειδή και το φυτό είναι μέσου μεγέθους με ισχυρό κεντρικό βλαστό. Παρουσιάζει πολύ καλή ανθεκτικότητα στις αδρομυκώσεις, ενώ είναι λιγότερο απαιτητική στη χρήση ρυθμιστών ανάπτυξης. Στον πίνακα 2.5 παρατίθενται μερικά από τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας.

**Πίνακας 2.5. :** Ορισμένα χαρακτηριστικά της ποικιλίας Celia

Βάρος 100 σπόρων	11.6 g
Μήκος ίνας	29.9 mm
Αντοχή ίνας	29g/tex
Micronaire	4.2
Ωριμότητα	0.9
Ομοιομορφία	84.5%
Απόδοση σε ίνα	38%

## 2.5. Καλλιεργητικά στοιχεία

### 2.5.1. Η προηγούμενη καλλιέργεια

Κατά τις προηγούμενες καλλιεργητικές περιόδους είχε πραγματοποιηθεί και στους δύο πειραματικούς αγρούς καλλιέργεια βάμβακος, για τις ανάγκες τις οποίας εφαρμόστηκαν 10 μονάδες N, 6 μονάδες P και 6 μονάδες K ανά στρέμμα. Η στρεμματική απόδοση του βαμβακιού ήταν 340 και 320 kg/στρ. για τον πρώτο και το δεύτερο αγρό αντίστοιχα.

### 2.5.2. Προετοιμασία εδάφους – Σπορά - Φύτρωμα

Για την προετοιμασία του εδάφους πραγματοποιήθηκε φθινοπωρινή άροση σε βάθος 25 cm. Στη συνέχεια και μερικές ημέρες πριν τη σπορά, έγιναν επεμβάσεις με σβάρνα (3-5 περάσματα) για τη βελτιστοποίηση της σποροκλίνης, την αντιμετώπιση των ζιζανίων και την ενσωμάτωση του λιπάσματος και του ζιζανιοκτόνου. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 25/4, 7/5 και 29/4 για τα τρία πειραματικά έτη αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκαν 3,5 kg σπόρου της ποικιλίας Celia, ο οποίος ήταν επενδεδυμένος

με το εντομοκτόνο Gaucho 600 FS (imidacloprid 60 %). Δέκα ημέρες μετά τη σπορά ολοκληρώθηκε η ανάδυση των νεαρών βαμβακόφυτων, καθώς οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες ήταν ιδανικές. Η πυκνότητα της φυτείας ήταν 15000 φυτά ανά στρέμμα και στις 3 πειραματικές χρονιές. Στην εικόνα 2.2 φαίνεται ο πειραματικός αγρός κατά το πρώτο πειραματικό έτος, στις 123 Η.Μ.Σ. (Ημέρες Μετά τη Σπορά).



Εικ. 2.2. Ο πειραματικός αγρός, κατά το πρώτο πειραματικό έτος 123 Η.Μ.Σ.

### **2.5.3 Αντιμετώπιση των εχθρών της καλλιέργειας.**

Η αντιμετώπιση του πληθυσμού των ζιζανίων πραγματοποιήθηκε με προσπαρτική εφαρμογή 350 g/στρ. του ζιζανιοκτόνου Sonalan (ethalfluraline 33,3%), το οποίο ενσωματώθηκε με τη χρήση σβάρνας. Επίσης πραγματοποιήθηκε και μηχανικό σκάλισμα μετά την πρώτη ανάπτυξη των βαμβακόφυτων (4-5 φύλλα) και πριν την εγκατάσταση του αρδευτικού συστήματος. Όσον αφορά σε προσβολές από έντομα και ακάρεα πραγματοποιήθηκαν τακτικοί έλεγχοι των πληθυσμών με οπτικές παρατηρήσεις. Για την παρακολούθηση των πληθυσμών του ρόδινου και του πράσινου σκουληκιού τοποθετήθηκαν φερομονοπαγίδες (εικ. 2.3). Σε γενικές γραμμές οι πληθυσμοί εντόμων και ακάρεων ήταν χαμηλοί και δεν κατέστη αναγκαία η χημική αντιμετώπισή τους. Τέλος, ελάχιστα φυτά (20-30) ανά στρέμμα, παρουσίασαν συμπτώματα αδρομυκώσεως, χωρίς βέβαια να επηρεάζεται η εξέλιξη του πειράματος.



Εικ. 2.3. Εγκατεστημένη φερομονοπαγίδα ρόδινου σκουληκιού. Στην ένθετη εικόνα φαίνεται ένα ακμαίο άτομο ρόδινου σκουληκιού του βάμβακος.

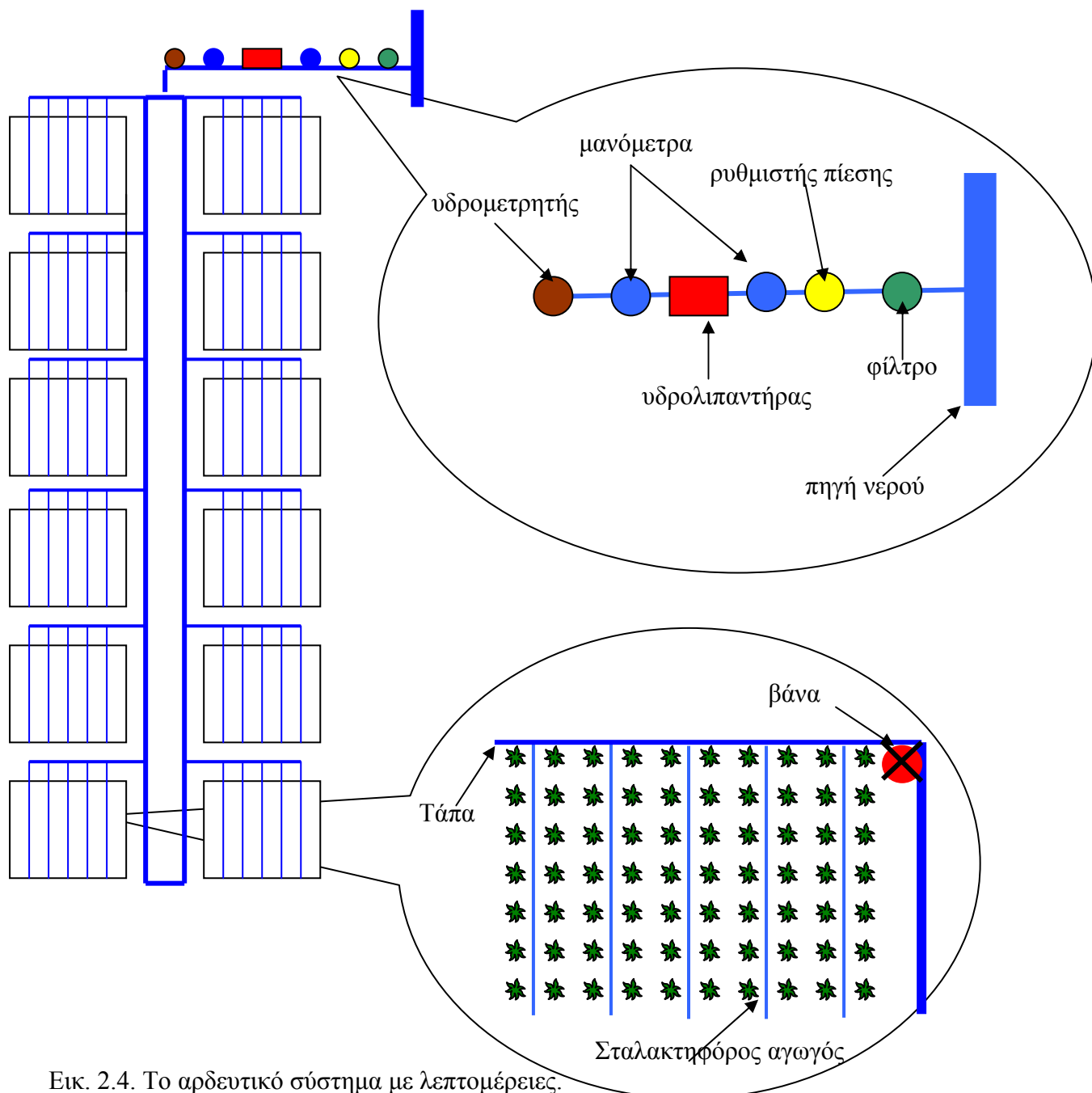
#### 2.5.4. Λίπανση

Για την εφαρμογή της βασικής λίπανσης χρησιμοποιήθηκαν 30 kg/στρ. λιπάσματος 20-10-10 (6-3-3 μονάδες/στρ. N, P, K αντίστοιχα). Επίσης, προστέθηκαν άλλες 5 μονάδες N (ουρία) με υδρολίπανση κατά τη διάρκεια των 2 πρώτων εφαρμογών στάγδην άρδευσης (2,5 + 2,5 μονάδες) που πραγματοποιήθηκαν 73 και 96 Η.Μ.Σ. το 2005, 72 και 81 Η.Μ.Σ. το 2006 και 73 και 87 Η.Μ.Σ. το 2007.

#### 2.6. Αρδεύσεις

Η άρδευση της φυτείας έγινε στάγδην εκτός από την άρδευση φυτρώματος και μία άρδευση για την πρώτη ανάπτυξη, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με καταιονισμό. Το δίκτυο διανομής του νερού αποτελείτο από έναν κεντρικό αγωγό Ø 32 mm, από δευτερεύοντες Ø 25 mm και σταλακτηφόρους αγωγούς Ø 16 mm. Η ονομαστική παροχή των σταλακτών ήταν 4 lit/h και η απόσταση μεταξύ τους 1m. Η τοποθέτηση των σταλακτηφόρων έγινε ανά δύο γραμμές, σύμφωνα με την πρακτική που επικρατεί στην άρδευση του βάμβακος. Το αρδευτικό σύστημα με λεπτομέρειες παρουσιάζεται στην εικόνα 2.4.





Εικ. 2.4. Το αρδευτικό σύστημα με λεπτομέρειες.

Ο χρόνος έναρξης των επεμβάσεων καθορίστηκε σε σχέση με το υδατικό δυναμικό των φύλλων και ορίστηκε όταν αυτό έφτασε  $-1,5$  MPa, γεγονός που συνέπεσε με την έναρξη της ανθοφορίας και χρονικά τοποθετείται στο πρώτο 15νήμερο του Ιουλίου. Το σύστημα διανομής του αρδευτικού νερού, λόγω του δημόσιου χαρακτήρα του δεν επέτρεψε τα συχνά ποτίσματα με μικρές ποσότητες, καθώς η διανομή του νερού γίνεται εκ περιτροπής στους αγρότες της περιοχής. Έτσι, οι αρδεύσεις πραγματοποιήθηκαν με ένα εύρος 7-10 ημερών. Για τον υπολογισμό της δόσης άρδευσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από μετεωρολογικό σταθμό που

εγκαταστάθηκε πλησίον του πειραματικού αγρού, με βάση τα οποία υπολογίστηκε, μέσω της εξίσωσης Penman και Monteith (1965), τροποποιημένη κατά FAO 56 (Allen *et al*, 1998) (εξίσωση 1) η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς. Η εξατμισοδιαπνοή της φυτείας υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 2, στην οποία χρησιμοποιήθηκαν τιμές του φυτικού συντελεστή  $K_c$ , όπως προτείνονται από τον FAO (πιν. 2.6). Ο χρόνος, ο αριθμός των αρδεύσεων και η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού για κάθε πειραματικό έτος, παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 2.7, 2.8 και 2.9

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

$ET_0$ : Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς [ $\text{mm day}^{-1}$ ],

$R_n$ : καθαρή ηλιακή ακτινοβολία [ $\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ],

$G$ : η ροή θερμότητας στο έδαφος [ $\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ],

$T$ : μέση ημερήσια θερμοκρασία σε ύψος 2 m [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$u_2$ : ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2 m [ $\text{m s}^{-1}$ ],

$e_s$ : πίεση κορεσμού υδρατμών [ $\text{kPa}$ ],

$e_a$ : πραγματική πίεση υδρατμών [ $\text{kPa}$ ],

$e_s - e_a$ : έλλειμμα κορεσμού υδρατμών [ $\text{kPa}$ ],

$\Delta$ : η κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών σε θερμοκρασία  $T$  [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ],

$\gamma$ : ψυχρομετρική σταθερά [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ].

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (2)$$

$ET_c$ : εξατμισοδιαπνοή φυτείας [ $\text{mm day}^{-1}$ ]

$K_c$ : φυτικός συντελεστής που εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης της φυτείας

Πιν. 2.6: Οι φυτικοί συντελεστές  $K_c$ , στα διάφορα στάδια ανάπτυξης της φυτείας

H.M.Σ.	0-30	30-80	80-140	140-195
$K_c$	0.35	1.20	1.20	0.60

Πιν. 2.7: Η ποσότητα του νερού σε mm που δέχτηκαν οι 3 επεμβάσεις κατά το 1<sup>ο</sup> πειραματικό έτος (2005).

	<b>FI</b>	<b>DI1</b>	<b>DI2</b>
20 ΗΜΣ	25	25	25
38 ΗΜΣ	25	25	25
73 ΗΜΣ	44	30	24
96 ΗΜΣ	32	24	19
110 ΗΜΣ	32	24	19
121 ΗΜΣ	32	24	19
Βροχόπτωση	110		
<b>Σύνολο</b>	<b>300</b>	<b>262</b>	<b>241</b>
Etc	657		

\* Η συνολική ποσότητα του νερού άρδευσης που εφαρμόστηκε ήταν σημαντικά μικρότερη από την εξατμισοδιαπνοή που υπολογίστηκε, καθώς λόγω της ύπαρξης υδατικού ορίζοντα υπήρχε ο κίνδυνος να προκληθούν ζημιές στη φυτεία λόγω υπεράρδευσης.

Πιν. 2.8: Η ποσότητα του νερού σε mm που δέχτηκαν οι 3 επεμβάσεις κατά το 2<sup>ο</sup> πειραματικό έτος (2006).

	<b>FI</b>	<b>DI1</b>	<b>DI2</b>
13 ΗΜΣ	25	25	25
35 ΗΜΣ	25	25	25
72 ΗΜΣ	40	30	24
81 ΗΜΣ	38	28	23
90 ΗΜΣ	36	27	22
101 ΗΜΣ	36	27	22
109 ΗΜΣ	36	27	22
118 ΗΜΣ	36	27	22
Βροχόπτωση	400		
<b>Σύνολο</b>	<b>672</b>	<b>616</b>	<b>585</b>
Etc	618		

Πιν. 2.9: Η ποσότητα του νερού σε mm που δέχτηκαν οι 3 επεμβάσεις κατά το 3<sup>ο</sup> πειραματικό έτος (2007).

	<b>FI</b>	<b>DI1</b>	<b>DI2</b>
24 ΗΜΣ	25	25	25
42 ΗΜΣ	25	25	25
73 ΗΜΣ	40	30	24
87 ΗΜΣ	44	33	26
94 ΗΜΣ	44	33	26
101 ΗΜΣ	30	23	18
112 ΗΜΣ	40	30	24
Βροχόπτωση	226		
<b>Σύνολο</b>	<b>474</b>	<b>425</b>	<b>394</b>
Etc	642		

## 2.7. Παρατηρήσεις και προσδιορισμοί

### 2.7.1 Αγρονομικά χαρακτηριστικά

#### 2.7.1.1 Βλαστική ανάπτυξη

Σε τακτά χρονικά διαστήματα (ανά 10-15 ημέρες) ελήφθησαν μετρήσεις για την εξέλιξη του ύψους των βαμβακόφυτων. Οι μετρήσεις του ύψους έγιναν επί τόπου και σε συγκεκριμένα φυτά, τα οποία είχαν σημειωθεί. Η μέτρηση, τόσο της φυλλικής επιφάνειας, όσο και του ξηρού βάρους των βλαστικών οργάνων, πραγματοποιήθηκε με καταστροφική δειγματοληψία 10 φυτών. Συγκεκριμένα κατά το πρώτο έτος η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε 60, 73, 83, 93, 107 και 114 Η.Μ.Σ. Κατά το δεύτερο πειραματικό έτος έγινε 64, 79, 94 και 110 Η.Μ.Σ., ενώ κατά το τρίτο έτος 74, 85, 92, 103 και 113 Η.Μ.Σ. Η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας έγινε με τη βοήθεια της συσκευής DT-area meter (Delta-T Devices Ltd., Burwell Cambridge, UK). Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI). Για τη μέτρηση του ξηρού βάρους, τα φυτά τοποθετήθηκαν σε κλιβάνους, όπου και ξηράθηκαν για 48 ώρες σε θερμοκρασία 72<sup>0</sup>C. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε ζύγισμα σε ζυγό ακριβείας. Μετρήθηκαν τα ξηρά βάρη των φύλλων, των στελεχών, των χτενιών, των ανθέων και των καψών των φυτών.

### **2.7.1.2 Αναπαραγωγική ανάπτυξη**

Παράλληλα, έγιναν παρατηρήσεις σχετικά με στοιχεία της αναπαραγωγικής ανάπτυξης των φυτών. Έτσι, μετρήθηκαν ο αριθμός και το ξηρό βάρος των καψών, το ξηρό βάρος των χτενιών και των ανθέων. Οι παραπάνω παρατηρήσεις έγιναν στα ίδια φυτά που έγιναν και οι μετρήσεις των παραμέτρων της βλαστικής ανάπτυξης. Οι δειγματοληψίες για την παρακολούθηση της αναπαραγωγικής ανάπτυξης πραγματοποιήθηκαν 73, 83, 93, 107 και 121 Η.Μ.Σ. για το 2005, 64, 79, 94 και 110 Η.Μ.Σ. για το 2006 και 74, 85, 92 και 113 Η.Μ.Σ. για το 2007. Όλες οι παραπάνω παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο του Κέντρου Ποιοτικού Ελέγχου, Ταξινόμησης και Τυποποίησης Βάμβακος Θεσσαλίας του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. στην Καρδίτσα.

### **2.7.1.3 Ριζικό σύστημα**

Η μέτρηση για το ριζικό σύστημα έγινε στο τέλος κάθε καλλιεργητικής περιόδου. Η δειγματοληψία έγινε με μεταλλικό κύλινδρο σε απόσταση 25 cm από τη γραμμή σποράς (μεταξύ γραμμής σπορά και σταλακτηφόρου αγωγού). Η εξαγωγή έγινε από βάθος 25 εκατοστών. Στη συνέχεια, στο δείγμα προστέθηκε διάλυμα πολυφωσφορικού νατρίου 0.5%, για να πραγματοποιηθεί η διασπορά των κολλοειδών του εδάφους και να διευκολυνθεί η εξαγωγή των ριζών. Τέλος, το δείγμα πέρασε από κόσκινα διαφορετικής διαμέτρου, ώστε να γίνει η παραλαβή των ριζών. Στις ρίζες που εξήχθησαν μετρήθηκε το ξηρό τους βάρος, αφού ξηράθηκαν στους 72<sup>0</sup>C για 48 ώρες. Η επιφάνεια του ριζικού συστήματος υπολογίστηκε με τη βοήθεια σαρωτή και τη χρήση του λογισμικού πακέτου Delta Scan version 2.04 (Delta-T Devices Ltd.)

### **2.7.2 Φαινολογικά χαρακτηριστικά**

Κατά τη διάρκεια των πειραματικών ετών παρακολουθήθηκε η εμφάνιση των ανθέων και η εξέλιξή τους σε κάψες, καθώς και το άνοιγμα αυτών, σύμφωνα με την κλίμακα BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and CHemical industry), η οποία παρατίθεται στον πίνακα 2.8. Για τον σκοπό αυτό οριοθετήθηκε 1 τρέχον μέτρο στις δύο κεντρικές γραμμές, κάθε πειραματικού τεμαχίου (εικ. 2.5). Κάθε νέο (λευκό) άνθος, σημειωνόταν με ένα καρτελάκι, πάνω στο οποίο υπήρχε η ημερομηνία εμφανίσεώς του. Με τον τρόπο αυτό παρακολουθήθηκε η εξέλιξή του σε κάψα και τελικά σε ώριμο βαμβάκι.

Πίνακας 2.10: Τα στάδια της ανάπτυξης του βάμβακος

Στάδια	Κωδικός	Περιγραφή
0: Βλάστηση	00	Ξηρός σπόρος
	01	Έναρξη ενυδάτωσης σπόρου
	03	Πέρασ ενυδάτωσης σπόρου
	05	Εμφάνιση ριζιδίου
	06	Επιμήκυνση ριζιδίου
	07	Έξοδος υποκοτυλίου και κοτυληδόνων από το περίβλημα του σπόρου
	08	Ανάπτυξη υποκοτυλίου και κοτυληδόνων εντός του εδάφους
	09	Φύτρωμα: Έξοδος υποκοτυλίου και κοτυληδόνων από το έδαφος
1: Βλαστική ανάπτυξη κυρίου στελέχους	10	Πλήρες ξεδίπλωμα κοτυληδόνων
	11	Πρώτο πλήρως ανεπτυγμένο φύλλο
	12	Δεύτερο πλήρως ανεπτυγμένο φύλλο
	13	Τρίτο πλήρως ανεπτυγμένο φύλλο
	1 .	Συνέχιση των σταδίων μέχρι...
	19	9 ή περισσότερα φύλλα πλήρως ανεπτυγμένα- Ορατός ο πρώτος πλάγιο βλαστός
2: Σχηματισμός πλαγίων βλαστών	21	Ορατός ο πρώτος πλάγιος βλαστός
	22	Ορατός ο δεύτερος πλάγιος βλαστός
	23	Ορατός ο τρίτος πλάγιος βλαστός
	2 .	Συνέχιση των σταδίων μέχρι...
	29	Εμφάνιση εννέα ή περισσότερων πλαγίων βλαστών
3: Επιμήκυνση κεντρικού στελέχους (εδαφοκάλυψη)	31	Έναρξη εδαφοκάλυψης: 10% των φυτών συναντώνται μεταξύ των γραμμών.
	32	20% των φυτών συναντώνται μεταξύ των γραμμών.
	33	30% των φυτών συναντώνται μεταξύ των γραμμών.
	34	40% των φυτών συναντώνται μεταξύ των γραμμών.
	35	50% των φυτών συναντώνται μεταξύ των γραμμών.
	36	60% των φυτών συναντώνται μεταξύ των γραμμών.
	37	70% των φυτών συναντώνται μεταξύ των γραμμών.
	38	80% των φυτών συναντώνται μεταξύ των γραμμών.

	39	«Κλείσιμο φυτείας»: 90% των φυτών συναντώνται μεταξύ των γραμμών.
5: Εμφάνιση και ανάπτυξη ανθοφόρων καταβολών στον κύριο βλαστό	51	Πρώτο χτένι ανιχνεύσιμο (“μέγεθος κεφαλής καρφίτσας”)
	52	Πρώτο χτένι ορατό (“μέγεθος κεφαλής σπύριτου”)
	55	Σαφής μεγέθυνση χτενιού
	59	Ορατά πέταλα: Χτένι κλειστό
6: Άνθιση	60	Εμφάνιση πρώτων ανθεών (Σποραδικά μέσα στη φυτεία)
	61	Έναρξη άνθισης: 5–6 άνθη / 7.5 μέτρα πάνω στη γραμμή)
	65	Πλήρης άνθιση: 11 ή περισσότερα άνθη / 7.5 μέτρα πάνω στη γραμμή
	67	Όλοκλήρωση άνθισης: Αποχρωματισμός της πλειονότητας των ανθέων.
	69	Πέρασ άνθισης
7: Ανάπτυξη καψών	71	10% των καψών φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος
	72	20% των καψών φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος
	73	30% των καψών φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος
	74	40% των καψών φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος
	75	50% των καψών φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος
	76	60% των καψών φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος
	77	70% των καψών φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος
	78	80% των καψών φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος
	79	90% των καψών φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος
	8: Άνοιγμα καψών	80
81		Έναρξη ανοίγματος καψών: 10% ανοιχτές κάψες.
82		20% ανοιχτές κάψες.
83		30% ανοιχτές κάψες.
84		40% ανοιχτές κάψες.
85		50% ανοιχτές κάψες.
86		60% ανοιχτές κάψες.

	87	70% ανοιχτές κάψες.
	88	80% ανοιχτές κάψες.
	89	90% ανοιχτές κάψες.
9: Γήρανση	91	10% των φύλλων αποχρωματισμένα ή πεσμένα
	92	20% των φύλλων αποχρωματισμένα ή πεσμένα
	93	30% των φύλλων αποχρωματισμένα ή πεσμένα
	94	40% των φύλλων αποχρωματισμένα ή πεσμένα
	95	50% των φύλλων αποχρωματισμένα ή πεσμένα
	96	60% των φύλλων αποχρωματισμένα ή πεσμένα
	97	Νέκρωση τμημάτων του φυτού
	99	Συγκομιδή



Εικ. 2.5. Οριοθέτηση των φυτών που επιλέχθηκαν για τις φαινολογικές παρατηρήσεις.



### 2.7.3 Αποδόσεις και τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας

Για τον προσδιορισμό των αποδόσεων του βαμβακιού επιλέχθηκαν οι δύο κεντρικές γραμμές κάθε πειραματικού τεμαχίου και η συλλογή έγινε με το χέρι. Στη συνέχεια προσδιορίστηκε η στρεμματική απόδοση. Παράλληλα λήφθηκε ως δείγμα ποσότητα 50 καψών, η οποία εκκοκκίστηκε σε εκκοκκιστική μηχανή Continental Eagle της εταιρίας Continental. Το προϊόν της εκκόκκισης (ίνα) χρησιμοποιήθηκε για περαιτέρω μελέτη. Με μία μηχανή uster HVI spectrum (zellweger uster), έγινε ανάλυση των τεχνολογικών χαρακτηριστικών της ίνας. Έτσι, καταγράφηκαν ο δείκτης micronaire, το μήκος, η αντοχή, η ωριμότητα, και η ομοιομορφία της ίνας. Η συγκομιδή για το πρώτο έτος έγινε 155, 166 και 184 Η.Μ.Σ (α', β' και γ' χέρι αντίστοιχα). Για το δεύτερο έτος έγινε 140, 154 και 184 Η.Μ.Σ (α', β' και γ' χέρι αντίστοιχα). Για το τρίτο έτος 130 και 145 Η.Μ.Σ (α' και β' χέρι αντίστοιχα).

### 2.7.4 Υδατικές σχέσεις

#### α. Υδατικό δυναμικό φύλλου ( $\Psi_1$ )

Το υδατικό δυναμικό των φύλλων μετρήθηκε με τη μέθοδο του θαλάμου πίεσης. Ο θάλαμος πίεσης που χρησιμοποιήθηκε κατασκευάστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Waring και Cleary (1967). Η μέθοδος αυτή (Scholander *et al.*, 1964, 1965) συνεχίζει να αποτελεί τον κυριότερο τρόπο μέτρησης του υδατικού δυναμικού των φύλλων σε συνθήκες αγρού, διότι είναι γρήγορη, αξιόπιστη και δεν παρουσιάζει ευαισθησία στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Οι Tyree *et al.*, (1974) απέδειξαν ότι το υδατικό δυναμικό μεταβάλλεται λιγότερο από 0.02 MPa μέσα σε ένα εύρος θερμοκρασιών από 0 έως 36 °C.

Με την τεχνική αυτή ουσιαστικά υπολογίζεται η αρνητική πίεση απορρόφησης του ανιόντος χυμού (δηλ. η αρνητική υδροστατική πίεση) στα αγγεία του ξύλου (P). Η πίεση αυτή είναι ίση, κατά προσέγγιση, με το υδατικό δυναμικό του φύλλου σε μη αλόφυτα (Scholander *et al.*, 1964, Boyer, 1967), επομένως:

$$\Psi_1 \approx -P \quad (3)$$

Ο παραπάνω θάλαμος πίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του υδατικού δυναμικού φυτικών ιστών όπως φύλλα ή ολόκληροι βλαστοί. Με τη βοήθεια του θαλάμου πίεσης ουσιαστικά μετράμε την αρνητική υδροστατική πίεση στα αγγεία του ξύλου, η οποία καλείται και πίεση ισορροπίας (pressure balance) και

είναι αναγκαία για να φέρει το νερό στην επιφάνεια του κομμένου μίσχου του φύλλου. Έτσι γνωρίζοντας το P, από την εξίσωση 2.1, ξέρουμε και το  $\Psi_1$ .

Κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους, έγιναν 8 μετρήσεις του υδατικού δυναμικού με την προαναφερόμενη τεχνική στο τέταρτο ζεύγος των φύλλων από την κορυφή του φυτού στις 12 το μεσημέρι, οπότε και παρατηρούνται οι μέγιστες ημερήσιες αρνητικές τιμές του υδατικού δυναμικού. Για τον περιορισμό των υδατικών απωλειών από την κοπή έως τη μέτρηση, τα φύλλα τοποθετήθηκαν σε μικρές αεροστεγείς σακούλες πολυαιθυλενίου και σε φορητό ψυγείο μέχρι να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Οι μετρήσεις έγιναν σε πέντε φυτά ανά επέμβαση. Κατά τη δεύτερη και τρίτη καλλιεργητική περίοδο έγιναν έντεκα και δώδεκα μετρήσεις, σε πέντε φυτά ανά επέμβαση αντίστοιχα. Επιπλέον, κατά το τρίτο έτος έγιναν μετρήσεις του  $\Psi_1$  σε συγκεκριμένες ημέρες, ανά 3 ώρες, προκειμένου να μελετηθεί επαρκώς η ημερήσια πορεία του υδατικού δυναμικού των φύλλων. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν μία ημέρα πριν, κατά τη διάρκεια και μία ημέρα μετά την πραγματοποίηση μιας άρδευσης σε πέντε φυτά ανά επέμβαση 93, 94 και 95 Η.Μ.Σ. αντίστοιχα.

#### β. Αντίσταση στοματίων ( $r_s$ ).

Η αντίσταση των στοματίων παρουσιάζει ενδιαφέρον, καθότι ουσιαστικά ελέγχει τις υδατικές απώλειες και τη φωτοσύνθεση. Οι μετρήσεις έγιναν *in situ* στην κάτω επιφάνεια του τέταρτου από την κορυφή φύλλου των φυτών. Για την μέτρηση αυτή χρησιμοποιήθηκε αυτόματο κυκλικό πορόμετρο διάχυσης τύπου AP4 (Delta-T Devices Ltd., Burwell Cambridge, UK). Το πορόμετρο αυτό ουσιαστικά μετρά την αντίσταση στην απώλεια των υδρατμών διαμέσου των στοματίων, δίνοντας έτσι μια ένδειξη της φυσιολογικής κατάστασης του φυτού. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά το τρίτο πειραματικό έτος (2007) 101, 108 και 111 Η.Μ.Σ., σε πέντε φυτά ανά επέμβαση στις 12 το μεσημέρι. Παράλληλα, μετρήθηκε η ημερήσια πορεία της αντίστασης των στοματίων μία ημέρα πριν, κατά τη διάρκεια και μία ημέρα μετά την άρδευση, στις 06.00 h, 09.00 h, 12.00 h, 15.00 h και 18.00 h, 93, 94 και 95 Η.Μ.Σ. αντίστοιχα.

### 2.7.5. Εδαφική υγρασία

Κατά τη διάρκεια των τριών πειραματικών ετών, έγινε συστηματική παρακολούθηση της εδαφικής υγρασίας στο διάστημα πριν από την εφαρμογή της πρώτης άρδευσης, μέχρι και μετά την τελευταία άρδευση. Κατά τη διάρκεια των αρδεύσεων η υγρασία μετρήθηκε ανά 2 έως 3 ώρες, προκειμένου να καταγραφεί η κίνηση του νερού στο έδαφος. Για τις ανάγκες των μετρήσεων έγινε εγκατάσταση πλαστικών (PVC) σωληνών διαμέτρου 5.6 cm και μήκους 200 cm. Η τοποθέτησή τους στο έδαφος έγινε με τη βοήθεια τριπόδου και τρυπανιού. Η διάταξη αυτή εγκαταστάθηκε σε μία επανάληψη και απεικονίζεται στην εικόνα 2.6.



Εικ 2.6. Η διάταξη των σωλήνων για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε η φορητή συσκευή μέτρησης Diviner 2000, Sentek Pty Ltd, η οποία είναι συσκευή παρακολούθησης της εδαφικής υγρασίας που αποτελείται από τη μονάδα εμφάνισης και αποθήκευσης των δεδομένων (data display unit) και έναν καθετήρα, στην άκρη του οποίου βρίσκεται ο αισθητήρας (probe) (εικ 2.7). Η συσκευή μετράει την κατατομή της εδαφικής υγρασίας σε βάθος 0-160 cm ανά διαστήματα 10 cm.



Εικ 2.7. Καταγραφή της εδαφικής υγρασίας στον αγρό.

### 2.7.6 Υπολογισμός δεικτών

Υπολογίστηκαν ο ρυθμός ανάπτυξης (Crop Growth Rate) και ο δείκτης συγκομιδής (Harvest Index) της φυτείας. Πιο συγκεκριμένα ο ρυθμός ανάπτυξης υπολογίστηκε ως ο ρυθμός μεταβολής του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος των φυτών (εξίσωση 4). Ο δείκτης συγκομιδής υπολογίστηκε ως η αναλογία του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος προς το βάρος του εμπορικού προϊόντος (σύσπορο βαμβάκι) (εξίσωση 5). Η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (Water Use Efficiency) και αρδευτικού νερού (Irrigation Water Use Efficiency), υπολογίστηκε σύμφωνα με τις εξισώσεις (6) και (7). Τέλος η διάρκεια της φυλλικής επιφάνειας υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 8.

$$CGR = (DW_2 - DW_1) / (t_2 - t_1) \quad (4)$$

CGR: Ρυθμός ανάπτυξης (Crop Growth Rate)

DW: Ξηρό Βάρος (Dry Weight)

t: χρόνος που πραγματοποιήθηκε η μέτρηση

$$HI = DW / Y \quad (5)$$

HI: Δείκτης συγκομιδής (Harvest Index)

DW: Ξηρό Βάρος (Dry Weight)

Y: απόδοση σε εμπορικό προϊόν (Yield)

$$WUE = Y / (P+I) \quad (6)$$

$$IWUE = Y / I \quad (7)$$

Y: απόδοση σε εμπορικό προϊόν (Yield)

P: η ποσότητα του νερού από βροχόπτωση

I: η ποσότητα του νερού άρδευσης.

$$LAD = (LAI_1 + LAI_2) / 2 * (t_2 - t_1) \quad (8)$$

LAD: Η διάρκεια της φυλλικής επιφάνειας

LAI<sub>1</sub>: Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας σε χρόνο t<sub>1</sub>

LAI<sub>2</sub>: Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας σε χρόνο t<sub>2</sub>

### 2.7.7 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν στις μέγιστες, ελάχιστες και μέσες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα (T), της σχετικής ατμοσφαιρικής υγρασίας (RH), της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, της ταχύτητας του ανέμου και του ύψους της βροχόπτωσης, τα οποία και παρατίθενται στο κεφάλαιο 3. Για τη συλλογή των μετεωρολογικών παραμέτρων εγκαταστάθηκε φορητός μετεωρολογικός σταθμός στον πειραματικό αγρό (εικ. 2.8), τα όργανα του οποίου είχαν τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

#### **Θερμόμετρο – Υγρόμετρο (Skye Instruments Ltd):**

Βάρος: 160g

Εύρος μέτρησης: 0-100 RH, -40 to +60 °C

Ακρίβεια: για την υγρασία 2% και για τη θερμοκρασία +/-0.2 - +/-0.4 °C.

Απαιτούμενη ενέργεια: 5-15 V/DC

Κατανάλωση: 7 mA (max 9 mA)

Ανάλυση : για την υγρασία 0.012% RH και για τη θερμοκρασία 0.125 °C.

#### **Βροχόμετρο (PRONAMIC, Bekhti International Trading Engineering Co. Ltd):**

Βάρος: 380 g

Ύψος: 240 mm

Διάμετρος στομίου: 159.6 mm

Επιφάνεια στομίου: 200 cm<sup>2</sup>

Ανάλυση: 0.20 mm

Χωρητικότητα ανά λεπτό με 12 μετρήσεις: 0.20 mm: 2.4 mm

#### **Ανεμόμετρο (ADOLF THIES GmbH & Co.KG):**

Θερμοκρασία λειτουργίας: -30 °C - +70 °C

Ακρίβεια: +/- 0.5 m/s or +/- 3% of measuring value

Ανταπόκριση: 0.5 m/s

Ανάλυση: 0.1 m/s

### **Πυρανόμετρο (Skye Instruments Ltd):**

Βάρος: 130 g

Ευαισθησία:  $1\text{mV}/100\text{W}/\text{m}^2$

Σφάλμα:  $<0.2\%$

Επίδραση της θερμοκρασίας:  $0.2\%/^{\circ}\text{C}$

Σταθερότητα:  $2\%$

Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας:  $-30$  to  $75^{\circ}\text{C}$

Υγρασιακό εύρος λειτουργίας:  $0-100\%$

Οι μετρήσεις από τα παραπάνω όργανα χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστούν οι υδατικές ανάγκες της φυτείας και να καταρτιστεί το πρόγραμμα των αρδεύσεων.



Εικ. 2.8 Ο μετεωρολογικός σταθμός

### **2.8 Στατιστική ανάλυση**

Για τη στατιστική επεξεργασία και την παρουσίαση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά προγράμματα Microsoft Excel, Statistica και Statgraphics centurion. Οι δοκιμασίες σημαντικότητας έγιναν σύμφωνα με το κριτήριο του F, ενώ οι περαιτέρω συγκρίσεις των μέσων πραγματοποιήθηκαν με βάση τη μέθοδο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD).

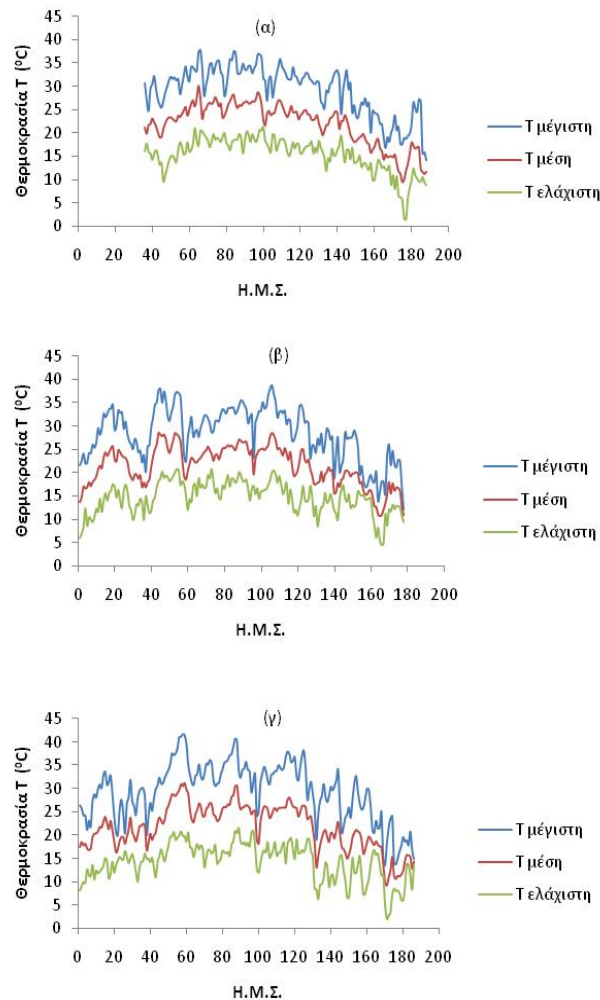
### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Μετεωρολογικά στοιχεία

Στη συνέχεια παρατίθενται τα μετεωρολογικά στοιχεία υπό μορφή διαγραμμάτων.

##### 3.1.1 Θερμοκρασία

Στην εικόνα 3.1 (α, β, γ) φαίνονται οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα κατά τη διάρκεια της πρώτης, δεύτερης και τρίτης καλλιεργητικής περιόδου (2005, 2006, 2007).



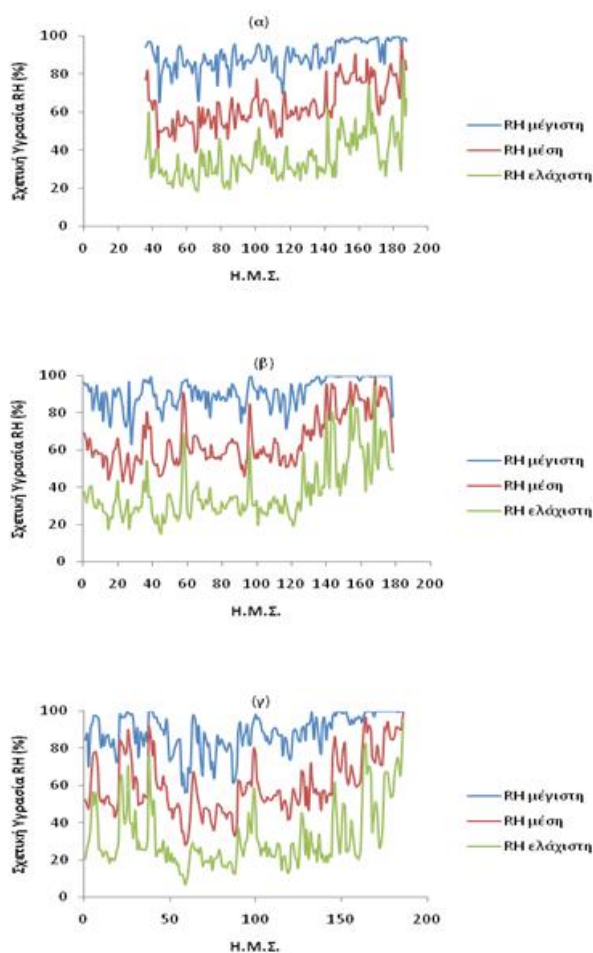
Εικ. 3.1. Η πορεία της μέγιστης, μέσης και ελάχιστης θερμοκρασίας, κατά τη διάρκεια της πρώτης (α), δεύτερης (β) και τρίτης (γ) καλλιεργητικής περιόδου.



Γενικά φαίνεται να υπάρχει σταθερότητα όσον αφορά στις τιμές τις μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για τα τρία πειραματικά έτη. Αξιοσημείωτες είναι οι τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας κατά το τρίτο έτος, όταν στις 60 και 90 Η.Μ.Σ. ξεπέρασαν τους  $40^{\circ}\text{C}$ , γεγονός που δεν παρατηρήθηκε κατά τις προηγούμενες καλλιεργητικές περιόδους.

### 3.1.2 Σχετική υγρασία

Στην εικόνα 3.2 (α, β, γ) παρουσιάζονται η πορεία της μέγιστης, μέσης και ελάχιστης σχετικής υγρασίας (RH) για τις τρεις καλλιεργητικές περιόδους (2005, 2006, 2007).



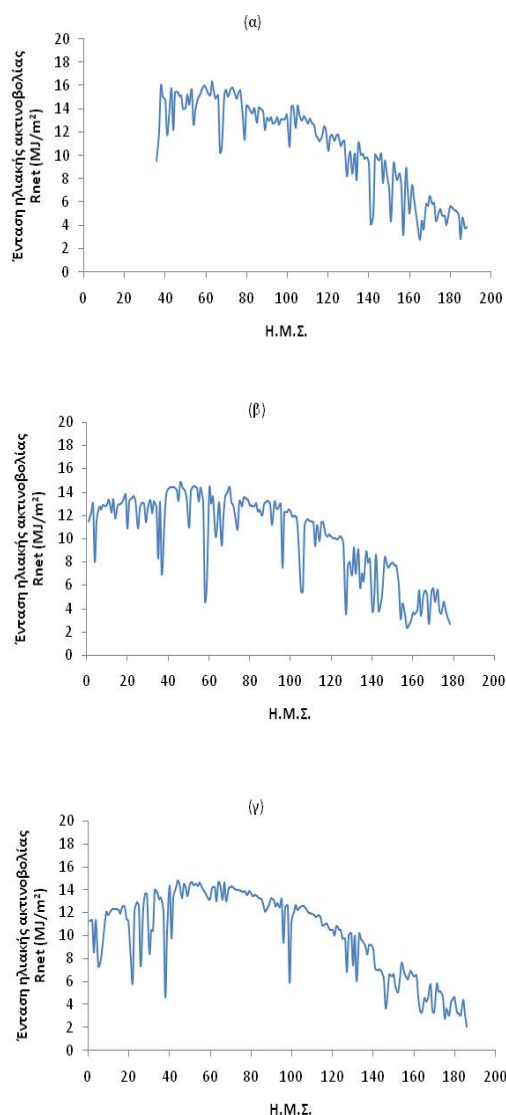
Εικ. 3.2. Η πορεία της μέγιστης, μέσης και ελάχιστης σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια της πρώτης (α), δεύτερης (β) και τρίτης (γ), καλλιεργητικής περιόδου.



Η μέση σχετική υγρασία κατά τα έτη 2005 και 2006 παρουσιάζει αξιοσημείωτη σταθερότητα με τιμές 63 και 64% αντίστοιχα. Κατά το τρίτο έτος επικράτησαν σαφώς πιο ξηρές συνθήκες, καθώς η μέση τιμή της υγρασίας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ήταν 56%.

### 3.1.3 Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Στην εικόνα 3.3 (α, β, γ) παρουσιάζεται η πορεία της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας  $R_{net}$  για τις τρεις καλλιεργητικές περιόδους (2005, 2006, 2007).

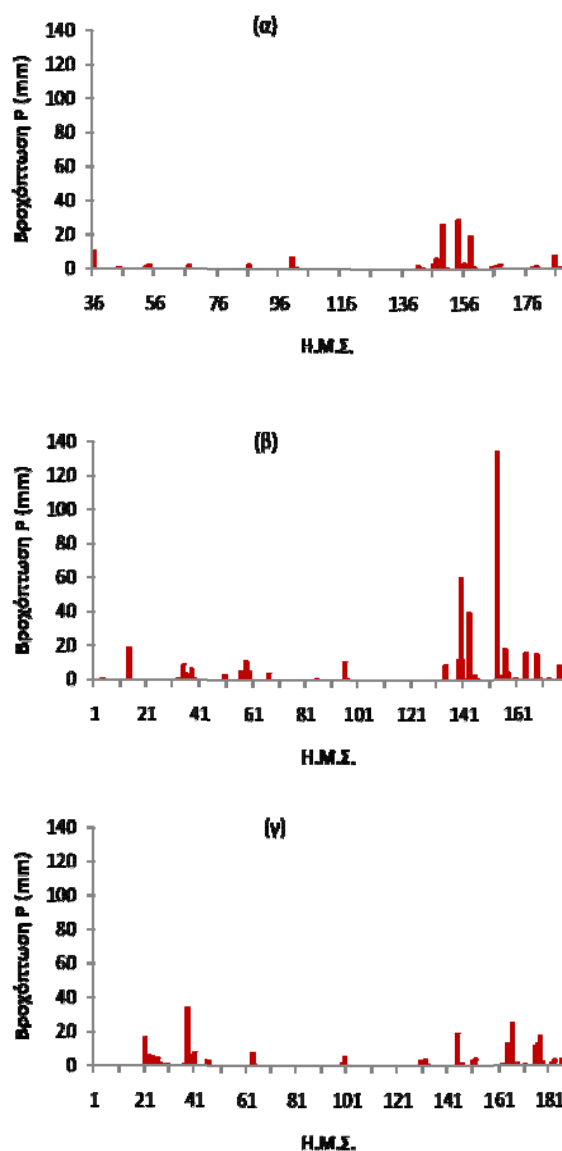


Εικ. 3.3. Η πορεία της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της πρώτης (α), δεύτερης (β) και τρίτης (γ), καλλιεργητικής περιόδου.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας δεν παρουσίασε αξιοσημείωτες διακυμάνσεις μεταξύ των ετών, με μόνη εξαίρεση το πρώτο έτος, όταν οι τιμές της έφτασαν τα  $16 \text{ MJ/m}^2$  μεταξύ 60 και 80 Η.Μ.Σ. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου και του τρίτου έτους οι τιμές δεν ξεπέρασαν τα  $15 \text{ MJ/m}^2$ .

### 3.1.4 Βροχόπτωση

Στην εικόνα 3.3 (α, β, γ) παρουσιάζεται το ύψος της βροχής (P) για τις τρεις καλλιεργητικές περιόδους (2005, 2006, 2007).

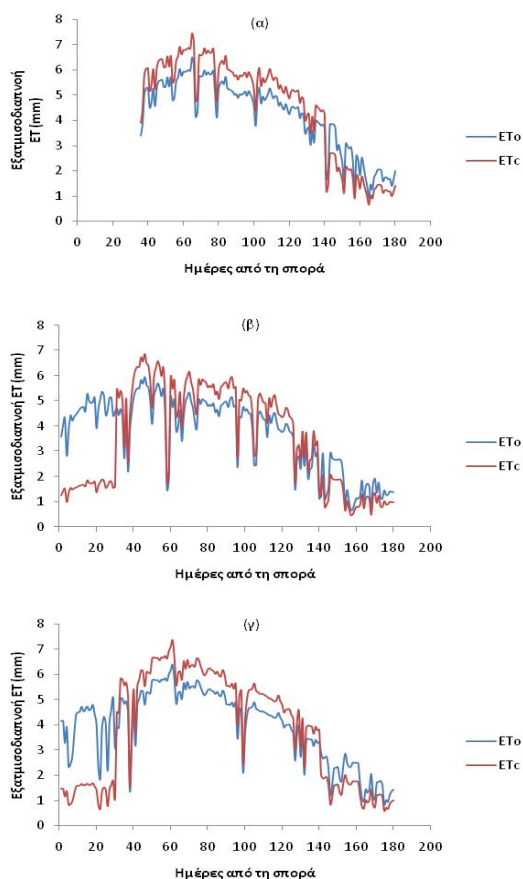


Εικ. 3.4. Το ύψος της βροχής κατά τη διάρκεια της πρώτης (α), δεύτερης (β) και τρίτης (γ), καλλιεργητικής περιόδου.

Το ύψος της βροχόπτωσης κατά την πρώτη περίοδο έφτασε τα 110 mm, με τον κύριο όγκο να παρατηρείται μετά τις 140 Η.Μ.Σ. Πολύ μεγάλο ύψος βροχόπτωσης μετρήθηκε κατά το δεύτερο έτος, καθώς οι τιμές της έφτασαν τα 400 mm. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στις 153 Η.Μ.Σ. η βροχόπτωση έφτασε τα 133 mm. Τέλος κατά το τρίτο έτος, το ύψος της βροχόπτωσης έφτασε τα 226 mm, με τον κύριο όγκο να κατανέμεται στα πρώτα (20-40 Η.Μ.Σ.) και στα τελευταία (140-180 Η.Μ.Σ.) στάδια της καλλιέργειας.

### 3.1.5 Εξατμισοδιαπνοή

Στην εικόνα 3.5 (α, β, γ) παρουσιάζεται η πορεία της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ( $ET_0$ ) και της εξατμισοδιαπνοής της φυτείας του βάμβακος ( $ET_c$ ) για τις τρεις καλλιεργητικές περιόδους (2005, 2006, 2007).



Εικ. 3.5 Η πορεία της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ( $ET_0$ ) και της εξατμισοδιαπνοής της φυτείας του βάμβακος ( $ET_c$ ), κατά τη διάρκεια της πρώτης (α), της δεύτερης (β) και της τρίτης (γ) καλλιεργητικής περιόδου.

Στον παρακάτω πίνακα (πιν. 3.1) παρουσιάζονται οι συνολικές τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ( $ET_0$ ) και της εξατμισοδιαπνοής της φυτείας ( $ET_C$ ). Οι διαφορές στις τιμές ανάμεσα στα δύο μεγέθη δικαιολογούνται με βάση τη χρονική περίοδο που παρατηρήθηκαν οι μεγάλες τιμές της  $ET_0$ . Έτσι, κατά το πρώτο έτος, όπου  $ET_0 < ET_C$ , οι μεγάλες τιμές της  $ET_0$  παρατηρήθηκαν σε στάδια της καλλιέργειας όπου ο φυτικός συντελεστής ήταν  $>1$ . Αντίθετα κατά το δεύτερο έτος, όπου  $ET_0 > ET_C$  οι μεγάλες τιμές της  $ET_0$  παρατηρήθηκαν σε στάδια της καλλιέργειας όπου ο φυτικός συντελεστής ήταν  $<1$ .

Πίνακας 3.1. Οι τιμές της  $ET_0$  και  $ET_C$  για τις τρεις επεμβάσεις κατά τη διάρκεια των τριών πειραματικών ετών.

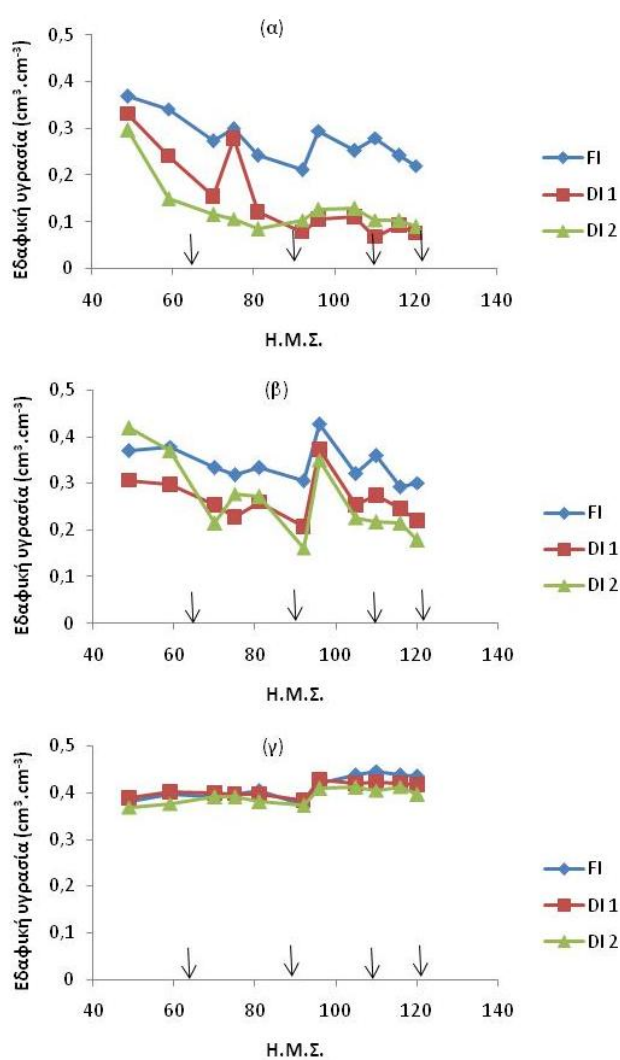
Καλ. Περίοδος	Συνολικές τιμές (mm)	
	$ET_0$	$ET_C$
1 <sup>η</sup>	610	657
2 <sup>η</sup>	651	618
3 <sup>η</sup>	645	642

## 3.2 Εδαφική υγρασία

### 3.2.1 Υγρασιακή κατάσταση του εδάφους.

#### (α) Πρώτο πειραματικό έτος

Στην παρακάτω εικόνα 3.6 (α, β, γ) απεικονίζεται η πορεία της εδαφικής υγρασίας σε τρία βάθη (20, 40 και 80 cm αντίστοιχα) για όλες τις επεμβάσεις, όπως αυτή μετρήθηκε πάνω στη γραμμή σποράς κατά το πρώτο πειραματικό έτος (2005).

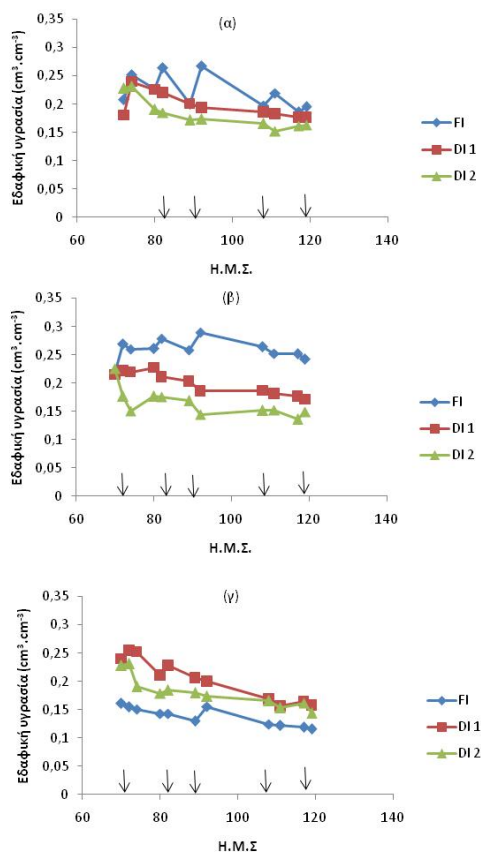


Εικ. 3.6: Η πορεία της εδαφικής υγρασίας για τις τρεις επεμβάσεις σε τρία βάθη 20 (α), 40 (β) και 80 (γ) cm, για την πρώτη καλλιεργητική περίοδο. Τα βέλη στο κάτω μέρος κάθε γραφήματος δείχνουν τις ημέρες που πραγματοποιήθηκε άρδευση.

Ουσιαστικά υπήρξε σαφής διαφοροποίηση της εδαφικής υγρασίας στη μεταχείριση FI από τις άλλες δύο μεταχειρίσεις στα βάθη 20 και 40 cm. Η DI1 διαφοροποιήθηκε σε χαμηλά επίπεδα μέχρι τις 90 Η.Μ.Σ. από την DI2 σε εδαφικό βάθος 20 cm, αλλά σχεδόν καθόλου στα 40 cm. Οι σταθερά υψηλές τιμές της υγρασίας στο βάθος των 80 cm σε όλες τις μεταχειρίσεις φανερώνουν την ύπαρξη υδατικού ορίζοντα. Η περιοδική αύξηση της εδαφικής υγρασίας οφείλεται στις αρδεύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος

(β) Δεύτερο πειραματικό έτος

Στην παρακάτω εικόνα 3.7 (α, β, γ) απεικονίζεται η πορεία της εδαφικής υγρασίας σε τρία βάθη (20, 40 και 80 cm αντίστοιχα) για όλες τις επεμβάσεις, όπως μετρήθηκε πάνω στη γραμμή σποράς κατά το δεύτερο πειραματικό έτος (2006).

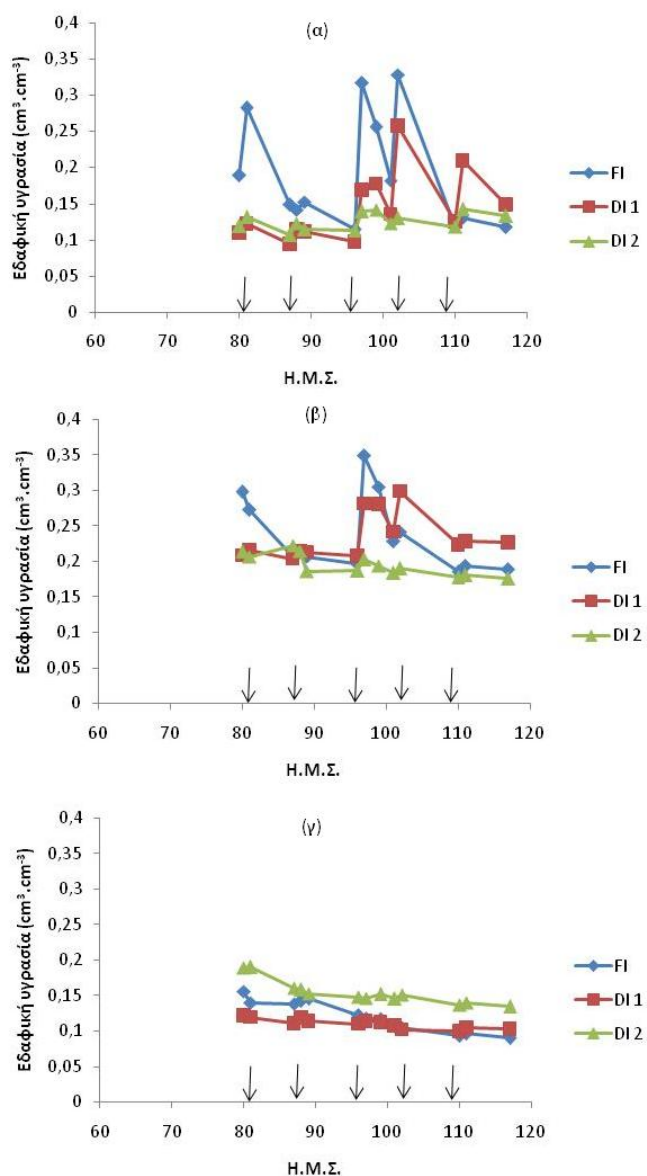


Εικ. 3.7: Η πορεία της εδαφικής υγρασίας για τις τρεις επεμβάσεις σε τρία βάθη 20 (α), 40 (β) και 80 (γ) cm, για τη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο. Τα βέλη στο κάτω μέρος κάθε γραφήματος δείχνουν τις ημέρες που πραγματοποιήθηκε άρδευση.

Κατά το δεύτερο πειραματικό έτος, παρατηρήθηκε σαφής διαφοροποίηση της υγρασίας μεταξύ των τριών επεμβάσεων, στο βάθος των 20 και 40 cm, ενώ μικρότερες είναι οι διαφορές στο βάθος των 80 cm και οφείλονται όχι στις μεταχειρίσεις, αλλά στη διαφοροποίηση που υπήρξε πριν την έναρξη των επεμβάσεων. Η περιοδική αύξηση της εδαφικής υγρασίας οφείλεται στις αρδεύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Εντούτοις, η πολύ μικρή αύξηση της, στα 40 και κυρίως στα 80 cm μπορεί να αποδοθεί στην ύπαρξη δυσδιαπέρατου εδαφικού στρώματος (hardpan).

(γ) Τρίτο πειραματικό έτος

Στην παρακάτω εικόνα 3.8 (α, β, γ) απεικονίζεται η πορεία της εδαφικής υγρασίας σε τρία βάθη (20, 40 και 80 cm αντίστοιχα) για όλες τις επεμβάσεις, όπως μετρήθηκε πάνω στη γραμμή σποράς κατά το τρίτο πειραματικό έτος (2007).



Εικ. 3.8: Η πορεία της εδαφικής υγρασίας για τις τρεις επεμβάσεις σε τρία βάθη 20 (α), 40 (β) και 80 (γ) cm, για την τρίτη καλλιεργητική περίοδο. Τα βέλη στο κάτω μέρος κάθε γραφήματος δείχνουν τις ημέρες που πραγματοποιήθηκε άρδευση.

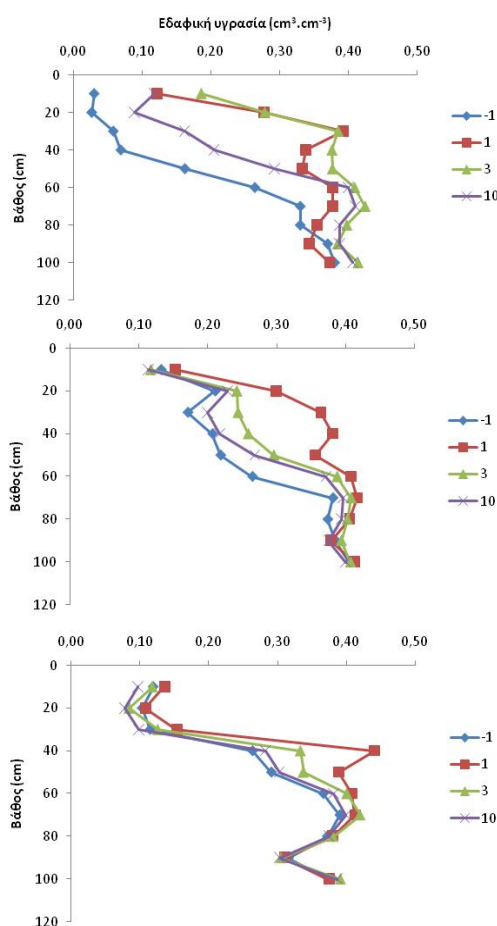


Κατά το τρίτο πειραματικό έτος, υπήρξει σαφής διαφοροποίηση της υγρασίας μεταξύ των τριών επεμβάσεων, στο βάθος των 20 cm. Στα 40 cm, διαφοροποιήθηκαν οι επεμβάσεις FI και DI1 με την DI2., ενώ δεν υπήρξαν διαφορές στο βάθος των 80 cm. Η περιοδική αύξηση της εδαφικής υγρασίας οφείλεται στις αρδεύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Εντούτοις η πολύ μικρή αύξηση της στα 40 και κυρίως στα 80 cm, μπορεί να αποδοθεί στην ύπαρξη δυσδιαπέρατου εδαφικού στρώματος (hardpan).

### 3.2.2 Εξέλιξη των κατατομών υγρασίας

#### (α) Πρώτο πειραματικό έτος

Στην παρακάτω εικόνα 3.9 (α-FI, β-DI1 και γ-DI2), απεικονίζονται οι κατατομές της εδαφικής υγρασίας σε βάθος 0-100 cm για τις τρεις επεμβάσεις πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άρδευση, 73 Η.Μ.Σ. για την πρώτη καλλιεργητική περίοδο, σε μετρήσεις που έγιναν πάνω στη γραμμή σποράς (50 cm από τον σταλάκτη).

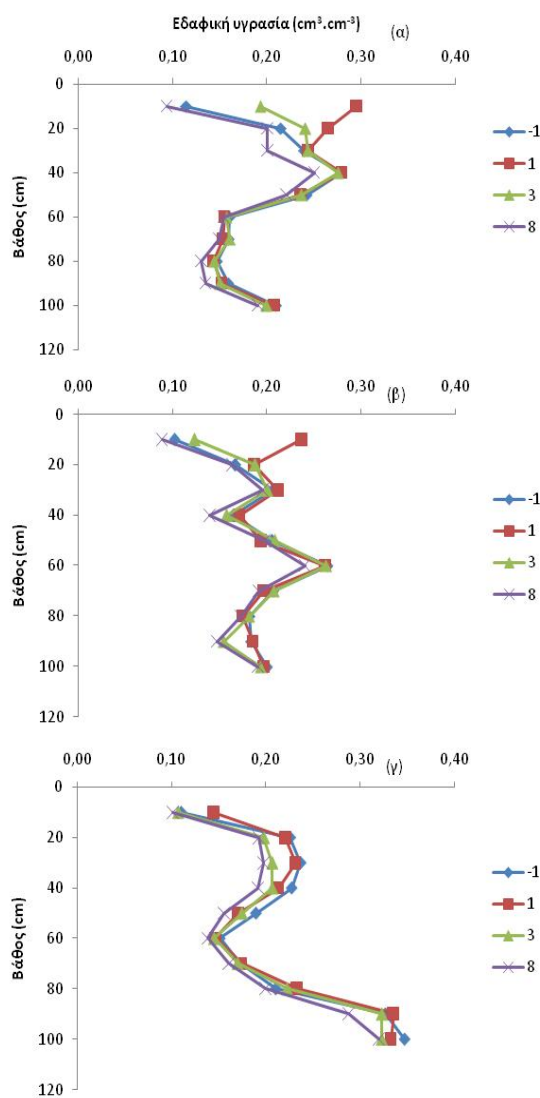


Εικ. 3.9. Κατατομές της εδαφικής υγρασίας για τις τρεις επεμβάσεις (α-FI, β-DI1 και γ-DI2) πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άρδευση, (73 Η.Μ.Σ.) για την πρώτη καλλιεργητική περίοδο (Στο υπόμνημα αναφέρονται οι ημέρες σε σχέση με την άρδευση, με ημέρα 0 την ημέρα της άρδευσης). Η άρδευση πραγματοποιήθηκε στις 73 Η.Μ.Σ.

Η μεγαλύτερη αύξηση της υγρασίας παρατηρήθηκε στην επέμβαση F1 στο βάθος των 30 cm, όπου η αύξηση ήταν 0,33 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), ενώ φαίνεται ότι η υγρασία 10 ημέρες μετά την άρδευση παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα κάτω από τα 40 cm. Στην επέμβαση DI1 η μεγιστη αύξηση ήταν στα 30 cm ( $0.19 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) και ήταν ελαφρώς αυξημένη 10 ημέρες μετά την άρδευση, σε σχέση με τη μέτρηση που έγινε 1 ημέρα πριν την άρδευση. Τέλος, στην επέμβαση DI2 η μέγιστη αύξηση παρατηρήθηκε στα 40 cm και ήταν μόλις  $0.16 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  και έχει παραπλήσιες τιμές 10 ημέρες μετά την άρδευση σε σχέση με τη μέτρηση που έγινε 1 ημέρα πριν την άρδευση. Άξια αναφοράς είναι η πολύ μικρή αύξηση της υγρασίας στα πρώτα 30 cm για την συγκεκριμένη μεταχείριση. Η μεγάλη αύξηση που παρατηρήθηκε σε όλες τις επεμβασεις κάτω από τα 70 cm ( $0,3 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) μαρτυρά την ύπαρξη υπόγειου υδατικού ορίζοντα.

(β) Δεύτερο πειραματικό έτος

Στην παρακάτω εικόνα 3.10 (α-FI, β-DI1 και γ-DI2), απεικονίζονται οι κατατομές της εδαφικής υγρασίας σε βάθος 0-100 cm για τις τρεις επεμβάσεις πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άρδευση, 81 Η.Μ.Σ. για τη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, σε μετρήσεις που έγιναν πάνω στη γραμμή σποράς (50 cm από τον σταλάκτη).

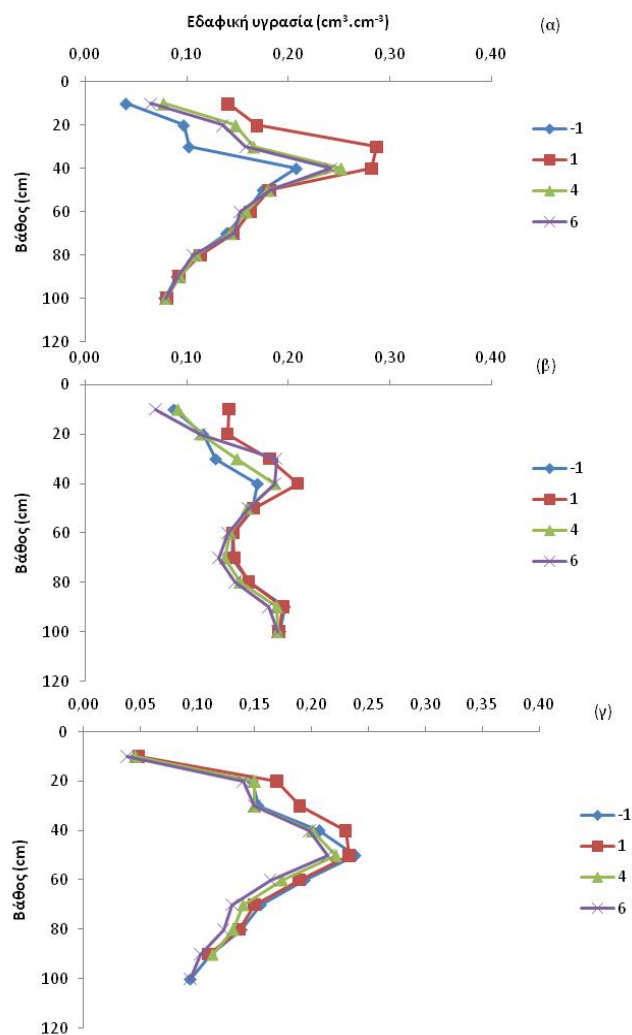


Εικ. 3.10. Κατατομές της εδαφικής υγρασίας για τις τρεις επεμβάσεις (α-FI, β-DI1 και γ-DI2) πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άρδευση, για τη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο (Στο υπόμνημα αναφέρονται οι ημέρες σε σχέση με την άρδευση, με ημέρα 0 την ημέρα της άρδευσης). Η άρδευση πραγματοποιήθηκε στις 81 Η.Μ.Σ.

Σε όλες τις μεταχειρίσεις παρατηρήθηκε ελάχιστη ή και καθόλου αύξηση της εδαφικής υγρασίας κάτω από τα 30-40 cm, γεγονός που αποδίδεται στην ύπαρξη δυσδιαπέρατου εδαφικού στρώματος που εμπόδιζε τη διήθηση του νερού. Στη μεταχείριση FI παρατηρήθηκε, όπως αναμενόταν η μεγαλύτερη αύξηση μετά την άρδευση στα 10 cm ( $0.18 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ). Για τις άλλες δύο μεταχειρίσεις (DI1, DI2) η αύξηση στο αντίστοιχο βάθος ήταν 0,14 και 0,03  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , αντιστοίχα. Η μικρή αύξηση της υγρασίας για τη μεταχείριση DI2, φανερώνει ότι το νερό της άρδευσης σε επιφανειακά στρώματα, δεν έφτασε μέχρι τη γραμμή σποράς. Αντίθετα, παρατηρήθηκε μικρή αύξηση της υγρασίας σε βαθύτερα στρώματα.

(γ) Τρίτο πειραματικό έτος

Στην παρακάτω εικόνα 3.11 (α-FI, β-DI1 και γ-DI2), απεικονίζονται οι κατατομές της εδαφικής υγρασίας σε βάθος 0-100 cm για τις τρεις επεμβάσεις πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άρδευση, 94 Η.Μ.Σ. για την τρίτη καλλιεργητική περίοδο, σε μετρήσεις που έγιναν πάνω στη γραμμή σποράς (50 cm από τον σταλάκτη).



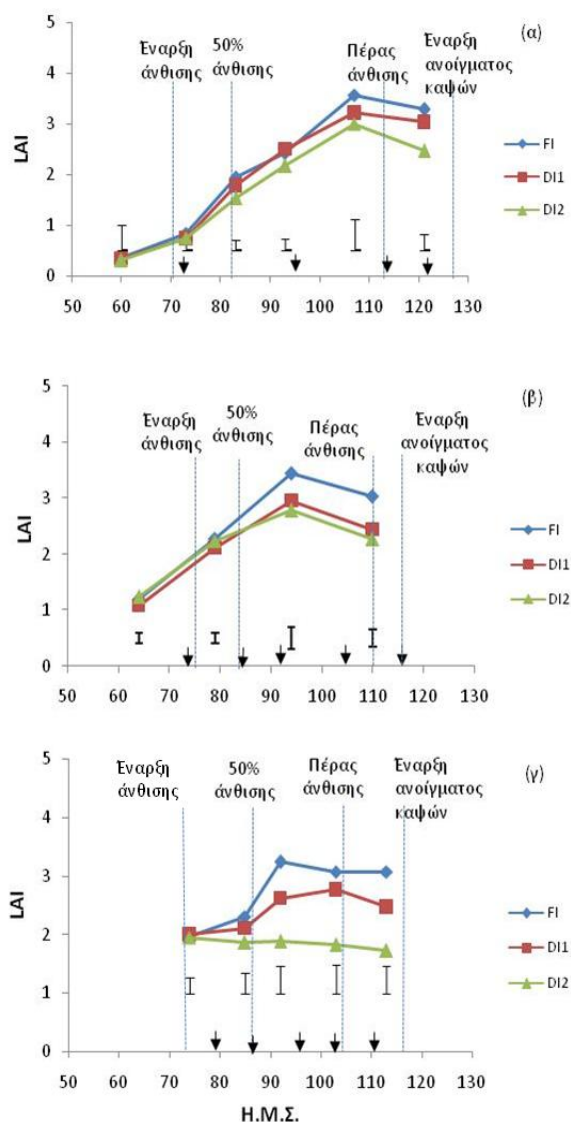
Εικ. 3.10. Κατατομές της εδαφικής υγρασίας για τις τρεις επεμβάσεις (α-FI, β-DI1 και γ-DI2) πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άρδευση, για τη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο (Στο υπόμνημα αναφέρονται οι ημέρες σε σχέση με την άρδευση, με ημέρα 0 την ημέρα της άρδευσης). Η άρδευση πραγματοποιήθηκε στις 94 Η.Μ.Σ.

Σε όλες τις μεταχειρίσεις παρατηρήθηκε ελάχιστη ή και καθόλου αύξηση της εδαφικής υγρασίας κάτω από τα 30-40 cm, γεγονός που αποδίδεται στην ύπαρξη δυσδιαπέρατου εδαφικού στρώματος που εμπόδιζε τη διήθηση του νερού. Στη μεταχείριση FI παρατηρήθηκε, όπως αναμενόταν η μεγαλύτερη αύξηση μετά την άρδευση στα 30 cm ( $0.19 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ). Για τις άλλες δύο μεταχειρίσεις (DI1, DI2) η αύξηση στο αντίστοιχο βάθος ήταν 0,05 και  $0,04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , αντιστοίχα. Η πολύ μικρή αύξηση της υγρασίας για αυτές τις μεταχειρίσεις, φανερώνει ότι το νερό της άρδευσης στα επιφανειακά στρώματα, δεν έφτασε μέχρι στη γραμμή σποράς. Αντίθετα, παρατηρήθηκε μικρή αύξηση της υγρασίας σε βαθύτερα στρώματα.

### 3.3 Βλαστική ανάπτυξη

#### 3.3.1 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)

Στην εικόνα 3.11 (α, β, γ) απεικονίζεται η χρονική πορεία του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, για τις τρεις υδατικές μεταχειρίσεις για τα τρία πειραματικά έτη αντίστοιχα.



Εικ. 3.11 Η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας για κάθε επέμβαση, για τα τρία πειραματικά έτη (2005-α, 2006-β, 2007-γ) σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (H.M.S.). Οι μπάρες στο κάτω μέρος του γραφήματος συμβολίζουν την ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.



Κατά το πρώτο πειραματικό έτος (εικ. 3.11-α) η πορεία του δείκτη ήταν ανάλογη για όλες τις επεμβάσεις και κατέγραψε τις μέγιστες τιμές την 107<sup>η</sup> Η.Μ.Σ, (λίγο πριν τη λήξη της άνθισης) που ήταν 3,57 (FI), 3,22 (DI1) και 3 (DI2). Οι τιμές της ξηρότερης μεταχείρισης ήταν σταθερά μικρότερες σε σχέση με τις άλλες δύο, με ενώ οι τιμές των επεμβάσεων FI και DI1 υπερέιχαν σημαντικά έναντι της DI2 122 Η.Μ.Σ (μετά το τέλος της άνθισης).

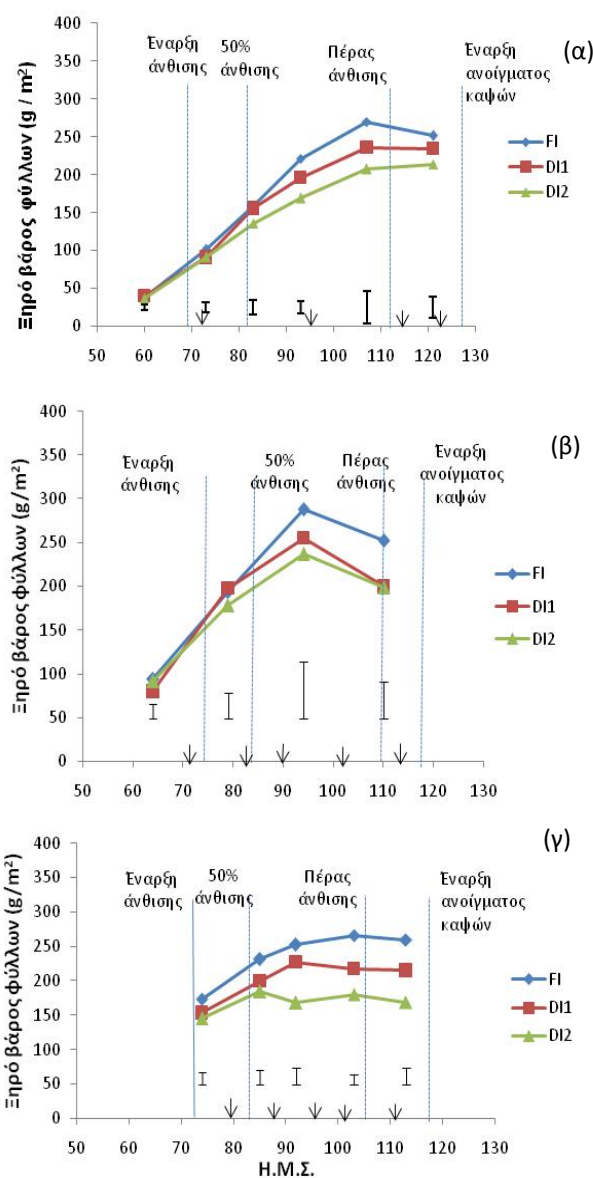
Κατά το δεύτερο πειραματικό έτος (εικ. 3.11-β) η πορεία του δείκτη κατέγραψε τις μέγιστες τιμές την 94<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (μεταξύ του 50% και του τέλους της άνθισης) που είναι 3,44 (FI), 2,96 (DI1) και 2,56 (DI2). Οι τιμές του πρώτου και του δεύτερου επιπέδου ελλειμματικής άρδευσης δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ωστόσο παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις FI και DI2 110 Η.Μ.Σ.

Κατά το τρίτο πειραματικό έτος (εικ. 3.11-γ) η πορεία του δείκτη ήταν ανάλογη. Οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν στις 92, 103 και 74 Η.Μ.Σ. για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2, με μέγιστες τιμές 3,24, 2,77 και 1,95. Οι τιμές της ξηρότερης μεταχείρισης ήταν σημαντικά μικρότερες των άλλων δύο στις μετρήσεις που έγιναν μετά τις 92 Η.Μ.Σ.

Οι υψηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν κατά το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος. Η πορεία του δείκτη μεταξύ των επεμβάσεων ήταν ανάλογη κατά τη διάρκεια των τριών πειραματικών ετών. Σταθερά υψηλότερες τιμές παρουσίασε η υγρότερη μεταχείριση (FI), ακολούθησε το ενδιάμεσο επίπεδο άρδευσης (DI1), ενώ τις χαμηλότερες τιμές παρουσίασε η ξηρότερη μεταχείριση (DI2).

### 3.3.2 Ξηρό βάρος φύλλων

Στην εικόνα 3.12 (α, β, γ) απεικονίζεται η εξέλιξη του ξηρού βάρους των φύλλων, για τις τρεις υδατικές μεταχειρίσεις για τα τρία πειραματικά έτη αντίστοιχα.



Εικ. 3.12 Η εξέλιξη του ξηρού βάρους φύλλων για κάθε επέμβαση, για τα τρία πειραματικά έτη (2005-α, 2006-β, 2007-γ) σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.). Οι μπάρες στο κάτω μέρος του γραφήματος συμβολίζουν την ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.

Κατά το πρώτο πειραματικό έτος (εικ. 3.12-α) οι μέγιστες τιμές του ξηρού βάρους φύλλων παρατηρήθηκαν την 107<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (λίγο πριν τη λήξη της άνθισης) και συγκεκριμένα ήταν 270 g/m<sup>2</sup> (FI), 236 g/m<sup>2</sup> (DI1) και 207 g/m<sup>2</sup> (DI2). Οι τιμές της ξηρότερης μεταχείρισης ήταν σταθερά μικρότερες σε σχέση με τις άλλες δύο με στατιστικά σημαντική διαφορά μετά την μέτρηση που έγινε στις 94 Η.Μ.Σ. (μεταξύ 50% και τέλους της άνθισης), ενώ οι τιμές των επεμβάσεων FI και DI1 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

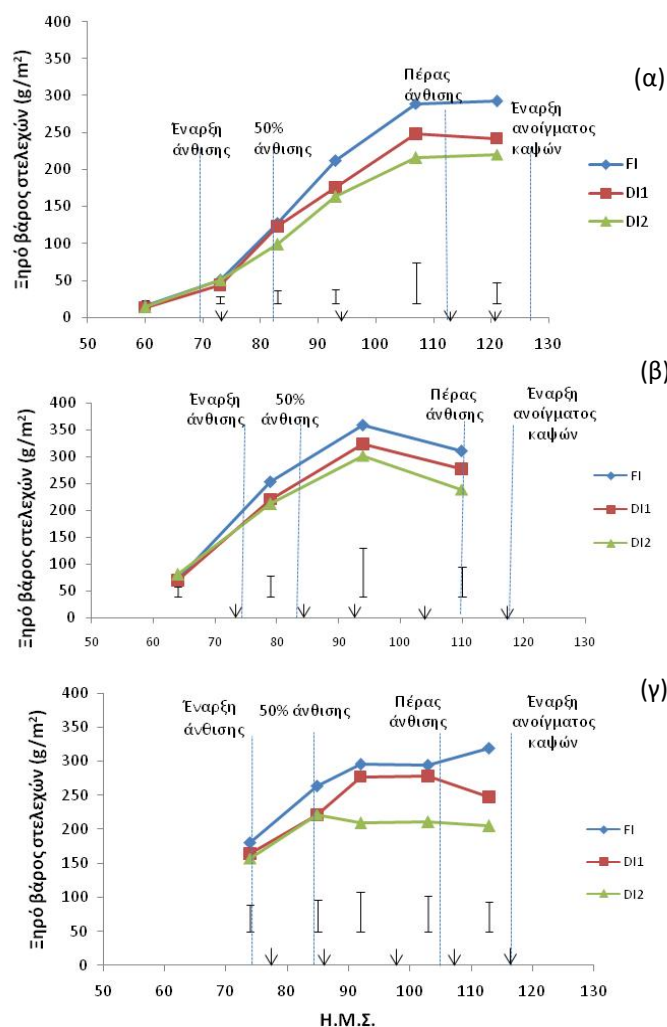
Κατά το δεύτερο πειραματικό έτος (εικ. 3.12-β) οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν την 94<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (μεταξύ 50% και τέλους της άνθισης) και συγκεκριμένα ήταν 287 g/m<sup>2</sup> (FI), 255 g/m<sup>2</sup> (DI1) και 236 g/m<sup>2</sup> (DI2). Οι τιμές της ξηρότερης μεταχείρισης ήταν σταθερά μικρότερες σε σχέση με τις άλλες δύο με στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο κατά την τελική μέτρηση που έγινε 110 Η.Μ.Σ. (μετά το πέρας της άνθισης), όπου οι τιμές των επεμβάσεων DI1 και DI2 υστέρησαν σημαντικά έναντι της FI.

Κατά το τρίτο πειραματικό έτος (εικ. 3.12-γ) οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν την 85<sup>η</sup> (50% της άνθισης), 92<sup>η</sup> (μεταξύ 50% και τέλους της άνθισης) και την 103<sup>η</sup> Η.Μ.Σ (λίγο πριν το τέλος της άνθισης), για τις επεμβάσεις DI2, DI1 και FI αντίστοιχα και συγκεκριμένα ήταν 184 g/m<sup>2</sup> (DI2), 228 g/m<sup>2</sup> (DI1) και 252 g/m<sup>2</sup> (FI). Οι τιμές της ξηρότερης μεταχείρισης ήταν σημαντικά μικρότερες σε σχέση με τις άλλες δύο μετά την μέτρηση που έγινε στις 92 Η.Μ.Σ., ενώ οι τιμές των επεμβάσεων FI και DI1 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους παρά μόνον κατά την μέτρηση που πραγματοποιήθηκε 103 Η.Μ.Σ.

Η πορεία της συγκεκριμένης παραμέτρου μεταξύ των επεμβάσεων ήταν ανάλογη κατά τη διάρκεια των τριών πειραματικών ετών. Σταθερά υψηλότερες τιμές παρουσίασε η υγρότερη μεταχείριση (FI), ακολούθησε το ενδιάμεσο επίπεδο άρδευσης (DI1), ενώ τις χαμηλότερες τιμές παρουσίασε η ξηρότερη μεταχείριση (DI2). Γενικά, υψηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν κατά την πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, ενώ χαμηλότερες ήταν οι τιμές κατά την τρίτη.

### 3.3.3 Ξηρό βάρος στελεχών

Στην εικόνα 3.13 (α, β, γ) απεικονίζεται η εξέλιξη του ξηρού βάρους των στελεχών, για τις τρεις υδατικές μεταχειρίσεις για τα τρία πειραματικά έτη αντίστοιχα.



Εικ. 3.13 Η εξέλιξη του ξηρού βάρους των στελεχών για κάθε επέμβαση, για τα τρία πειραματικά έτη (2005-α, 2006-β, 2007-γ) σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.). Οι μπάρες στο κάτω μέρος του γραφήματος συμβολίζουν την ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.

Κατά το πρώτο πειραματικό έτος (εικ. 3.13-α) οι μέγιστες τιμές του ξηρού βάρους των στελεχών παρατηρήθηκαν την 107<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (λίγο πριν τη λήξη της άνθισης) και συγκεκριμένα ήταν 289 g/m<sup>2</sup> (FI), 237 g/m<sup>2</sup> (DI1) και 215 g/m<sup>2</sup> (DI2). Οι τιμές των επεμβάσεων DI1 και DI2 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, ενώ η μεταχείριση FI υπερέιχε σημαντικά των άλλων δύο στις 94 και 122 Η.Μ.Σ.

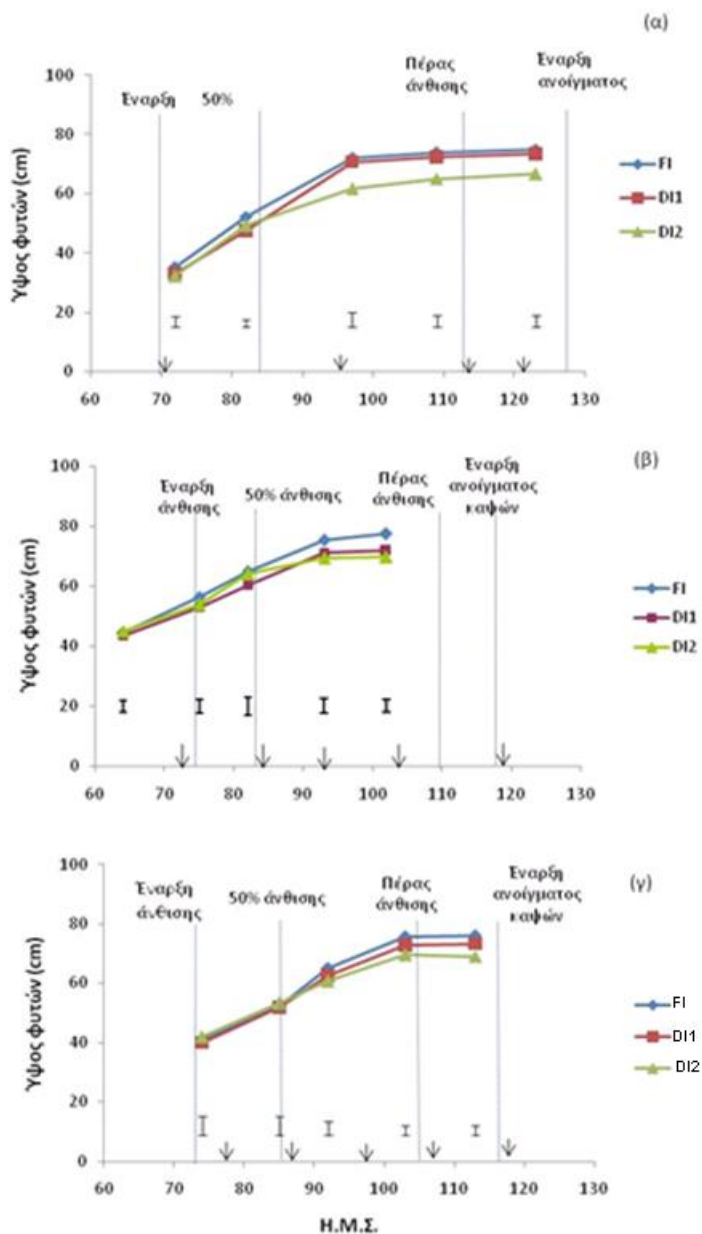
Κατά το δεύτερο πειραματικό έτος (εικ. 3.13-β) οι μέγιστες τιμές του ξηρού βάρους των στελεχών παρατηρήθηκαν την 94<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (μεταξύ 50% και τέλους της άνθισης) και συγκεκριμένα ήταν 358 g/m<sup>2</sup> (FI), 323 g/m<sup>2</sup> (DI1) και 301 g/m<sup>2</sup> (DI2). Κατά την τελική μέτρηση (110 Η.Μ.Σ., δηλαδή μετά το πέρας της άνθισης) οι τιμές της ξηρότερης μεταχείρισης ήταν σημαντικά μικρότερες της FI, η οποία δεν διέφερε με την DI1.

Κατά το τρίτο πειραματικό έτος (εικ. 3.13-γ) οι μέγιστες τιμές του ξηρού βάρους των στελεχών παρατηρήθηκαν στις 113 Η.Μ.Σ. (μεταξύ του τέλους της άνθισης και του ανοίγματος των καψών), 92 Η.Μ.Σ. (μεταξύ του 50% και του τέλους της άνθισης) και 85 Η.Μ.Σ. (στο 50% της άνθισης) Η.Μ.Σ. για τις επεμβάσεις FI και DI1 και DI2 αντίστοιχα. Οι τιμές ήταν 319 g/m<sup>2</sup> (FI) και 277 g/m<sup>2</sup> (DI1) και 221 g/m<sup>2</sup> (DI2). Οι τιμές της ξηρότερης μεταχείρισης ήταν σημαντικά μικρότερες σε σχέση με τις άλλες δύο στις μετρήσεις που έγιναν στις 92 και 103 Η.Μ.Σ., ενώ οι τιμές των επεμβάσεων FI και DI1 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους παρά μόνον στην τελική μέτρηση (113 Η.Μ.Σ.).

Η πορεία της συγκεκριμένης παραμέτρου μεταξύ των επεμβάσεων είναι ανάλογη κατά τη διάρκεια των τριών πειραματικών ετών. Σταθερά υψηλότερες τιμές παρουσιάζει η υγρότερη μεταχείριση (FI), ακολουθεί το ενδιάμεσο επίπεδο άρδευσης (DI1), ενώ τις χαμηλότερες τιμές παρουσιάζει η ξηρότερη μεταχείριση (DI2). Τέλος, οι υψηλότερες μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν κατά τη δεύτερη περίοδο, ακολούθως κατά την πρώτη, ενώ οι χαμηλότερες κατά την τρίτη καλλιεργητική περίοδο.

### 3.3.4 Ύψος φυτών

Στην εικόνα 3.14 (α, β, γ) απεικονίζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών, για τις τρεις υδατικές μεταχειρίσεις για τα τρία πειραματικά έτη αντίστοιχα.



Εικ. 3.14 Η εξέλιξη του ύψους των φυτών για κάθε επέμβαση, για τα τρία πειραματικά έτη (2005-α, 2006-β, 2007-γ) σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.). Οι μπάρες στο κάτω μέρος του γραφήματος συμβολίζουν την ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.

Κατά το πρώτο πειραματικό έτος (εικ. 3.14-α) οι μέγιστες τιμές του ύψους των φυτών παρουσιάστηκαν 123 Η.Μ.Σ. (λίγο πριν την έναρξη του ανοίγματος των καψών) και ήταν 75 cm (FI), 73,5 cm (DI1) και 67 cm (DI2). Οι τιμές των επεμβάσεων FI και DI1 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, ενώ η μεταχείριση DI2 υστέρησε σημαντικά έναντι των άλλων δύο, όσον αφορά στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό στις περισσότερες δειγματοληψίες.

Κατά το δεύτερο πειραματικό έτος (εικ. 3.14-β) οι μέγιστες τιμές του ύψους των φυτών βρέθηκαν 102 Η.Μ.Σ. (μεταξύ 50% και του τέλους της άνθισης) και ήταν 77 cm (FI), 72 cm (DI1) και 70 cm (DI2). Οι τιμές των επεμβάσεων DI1 και DI2 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, ενώ η μεταχείριση FI υπερείχε σημαντικά έναντι των άλλων δύο, κατά την τελική μέτρηση.

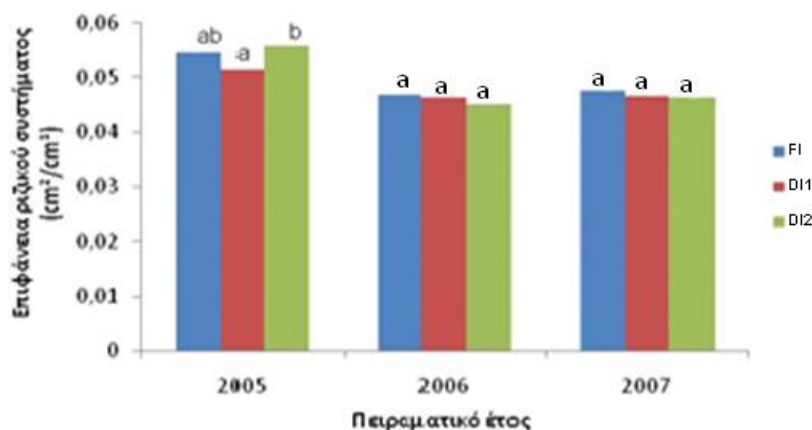
Κατά το τρίτο πειραματικό έτος (εικ. 3.14-γ) οι μέγιστες τιμές του ύψους των φυτών παρουσιάστηκαν 113 Η.Μ.Σ. (λίγο πριν την έναρξη του ανοίγματος των καψών) και ήταν 76 cm (FI) και 73 cm (DI1). Η μέγιστη τιμή για το δεύτερο επίπεδο ελλειμματικής άρδευσης (DI2) 103 Η.Μ.Σ. (λίγο πριν το τέλος της άνθισης) και ήταν 69,5 cm. Οι τιμές των επεμβάσεων FI, DI1 και DI2 παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους κατά την τελευταία μέτρηση.

Στο σύνολο των τριών ετών οι τιμές του ύψους δεν διαφοροποιήθηκαν έντονα και ακολούθησαν ανάλογη πορεία. Σταθερά μεγαλύτερες τιμές παρουσίασε η επέμβαση της πλήρους άρδευσης. Οι μέγιστες τιμές του ύψους των φυτών για όλα τα έτη παρουσιάστηκαν περίπου 105 Η.Μ.Σ. και δεν διέφεραν μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων.

### 3.3.5 Ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών

#### 3.3.5.1. Επιφάνεια ριζικού συστήματος

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.15) απεικονίζεται η επιφάνεια του ριζικού συστήματος φυτών βαμβακιού για κάθε επέμβαση κατά τη συγκομιδή, για τα τρία πειραματικά έτη σε βάθος 0-25 cm.



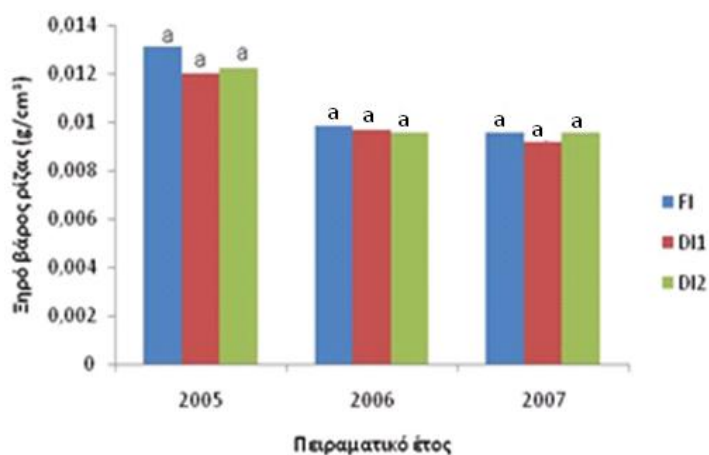
Εικ. 3.15. Η επιφάνεια του ριζικού συστήματος των φυτών βαμβακιού για κάθε επέμβαση, καθόλα τα πειραματικά έτη σε βάθος 0-25 cm κατά τη συγκομιδή. Διαφορετικά γράμματα στις μπάρες καταδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων, ανά έτος ( $p < 0,05$ ).

Καμία στατιστικά σημαντική διαφορά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των τριών επεμβάσεων εκτός του πρώτου πειραματικού έτους, κατά το οποίο το πρώτο επίπεδο ελλειμματικής άρδευσης υστέρησε σημαντικά έναντι του δεύτερου. Οι τιμές κυμάνθηκαν από 0,056 (DI1) – 0,051 (DI2)  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ , για το α' πειραματικό έτος, 0,047(FI) – 0,045 (DI2)  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ , για το β' έτος και 0,048 (FI) – 0,046 (DI2)  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$  για το γ' πειραματικό έτος.



### 3.3.5.2. Ξηρό βάρος ριζικού συστήματος

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.16) απεικονίζεται το ξηρό βάρος του ριζικού συστήματος φυτών βαμβακιού για κάθε επέμβαση κατά τη συγκομιδή, για τα τρία πειραματικά έτη σε βάθος 0-25 cm.



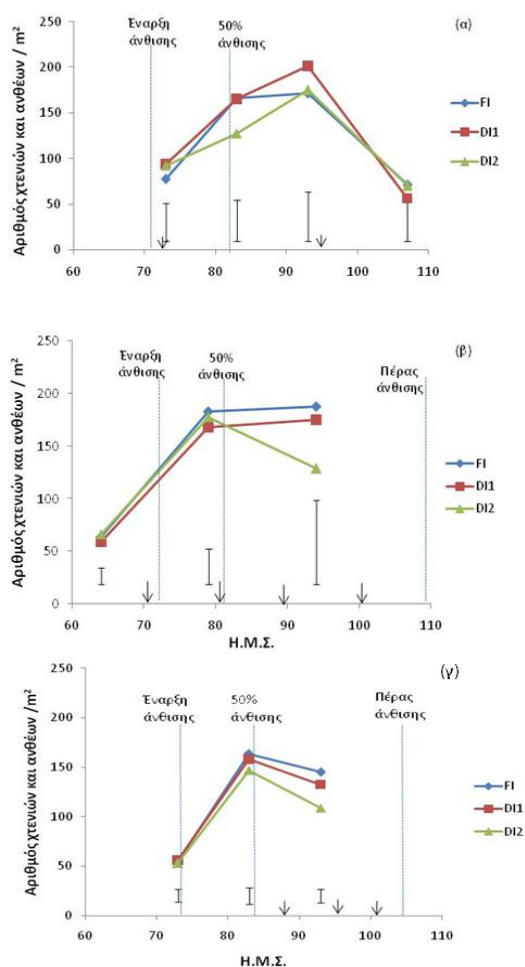
Εικ. 3.16. Το ξηρό βάρος του ριζικού συστήματος των φυτών βαμβακιού για κάθε επέμβαση, καθόλα τα πειραματικά έτη σε βάθος 0-25 cm κατά τη συγκομιδή. Διαφορετικά γράμματα στις μπάρες καταδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων, ανά έτος ( $p < 0,05$ ).

Καμία στατιστικά σημαντική διαφορά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των τριών επεμβάσεων σε όλα τα πειραματικά έτη. Οι τιμές κυμάνθηκαν από 0,0119 (DI1) – 0,0122 (DI2) g/cm<sup>3</sup>, για το α' πειραματικό έτος, 0,0095 (DI2) – 0,0098 (FI) g/cm<sup>3</sup>, για το β' έτος και 0,0091 (DI1) – 0,0095 (FI και DI2) g/cm<sup>3</sup> για το γ' πειραματικό έτος. Γενικά υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν κατά το πρώτο πειραματικό έτος και χαμηλότερες κατά το δεύτερο και το τρίτο.

### 3.4 Αναπαραγωγική ανάπτυξη

#### 3.4.1 Αριθμός χτενιών και ανθέων

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.17) απεικονίζεται η εξέλιξη του αριθμού των αναπαραγωγικών οργάνων (χτένια και άνθη) της καλλιέργειας βαμβακιού σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.), για τις τρεις μεταχειρίσεις, κατά το πρώτο (3.17-α), δεύτερο (3.17-β) και τρίτο (3.17-γ) πειραματικό έτος.



Εικ. 3.17. Η πορεία του αριθμού χτενιών και ανθέων των φυτών βαμβακιού για κάθε επέμβαση, κατά το πρώτο (α), δεύτερο (β) και τρίτο (γ) πειραματικό έτος, σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.). Οι μπάρες στο κάτω μέρος του γραφήματος συμβολίζουν την ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.

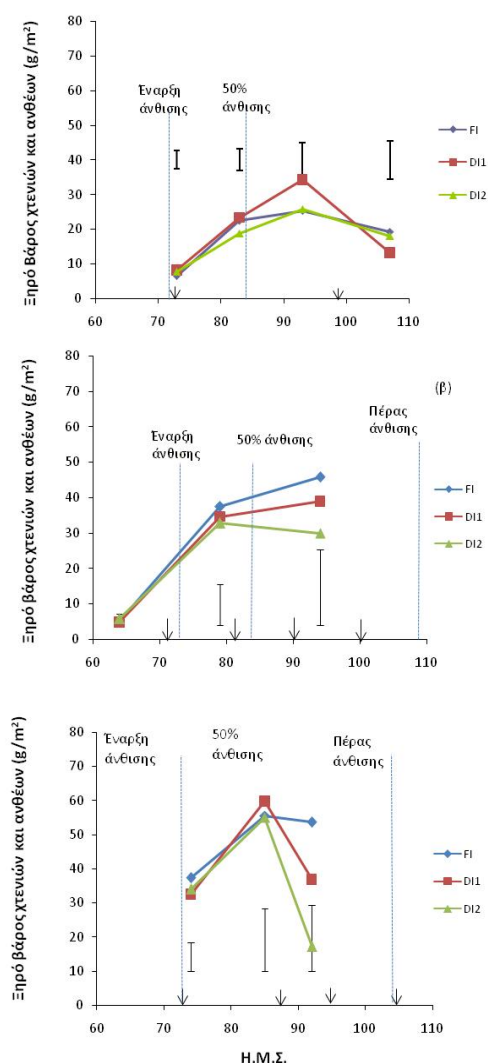
Ο μέγιστος αριθμός κατά το πρώτο πειραματικό έτος (εικ. 3.17-α) παρατηρήθηκε την 93<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (μετά το 50% της άνθισης) και έδειξε υπεροχή της μεταχείρισης που αφορά στο μεσαίο επίπεδο άρδευσης (DI1) με 201 άνθη και χτένια ανά m<sup>2</sup>, έπεται το επίπεδο κατά το οποίο χρησιμοποιήθηκε η μικρότερη ποσότητα νερού (DI2) με 175 άνθη και χτένια ανά m<sup>2</sup>, και τέλος το επίπεδο, της πλήρους άρδευσης (FI) με 171 άνθη και χτένια ανά m<sup>2</sup>. Μεταξύ των τριών επεμβάσεων δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά.

Ο μέγιστος αριθμός χτενιών και ανθέων κατά το δεύτερο πειραματικό έτος (εικ. 3.17-β) παρατηρήθηκε την 79<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (λίγο πριν το 50% της άνθισης) για τις επεμβάσεις FI και DI1 με 182 και 175 άνθη και χτένια ανά m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Για την επέμβαση DI2 ο μέγιστος αριθμός παρατηρήθηκε στις 79 Η.Μ.Σ. και ήταν 178 άνθη και χτένια ανά m<sup>2</sup>. Μεταξύ των τριών επεμβάσεων δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη μείωση του αριθμού ανθέων και χτενιών της τελευταίας μεταχείρισης (DI2) μετά την 79<sup>η</sup> ημέρα, γεγονός που καταδεικνύει την αδυναμία των συγκεκριμένων φυτών να δώσουν ικανοποιητική όψιμη παραγωγή.

Κατά το τρίτο πειραματικό έτος (εικ. 3.17-γ), ο μέγιστος αριθμός χτενιών και ανθέων μετρήθηκε 83 Η.Μ.Σ. (λίγο πριν το 50% της άνθισης) και ήταν 164 (FI), 155 (DI1) και 147 (DI2) άνθη και χτένια/m<sup>2</sup>. Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν μεταξύ όλων των επεμβάσεων κατά την τελευταία δειγματοληψία (93 Η.Μ.Σ.) και μεταξύ της επέμβασης DI2 των άλλων δύο στην δειγματοληψία που έγινε 83 Η.Μ.Σ.

### 3.4.2 Ξηρό βάρος χτενιών και ανθέων

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.18) απεικονίζεται η εξέλιξη του ξηρού βάρους των χτενιών και των ανθέων της καλλιέργειας βαμβακιού σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.) για τις τρεις μεταχειρίσεις, κατά το πρώτο (εικ. 3.18-α), το δεύτερο (εικ. 3.18-β) και τρίτο (εικ. 3.18-γ) πειραματικό έτος.

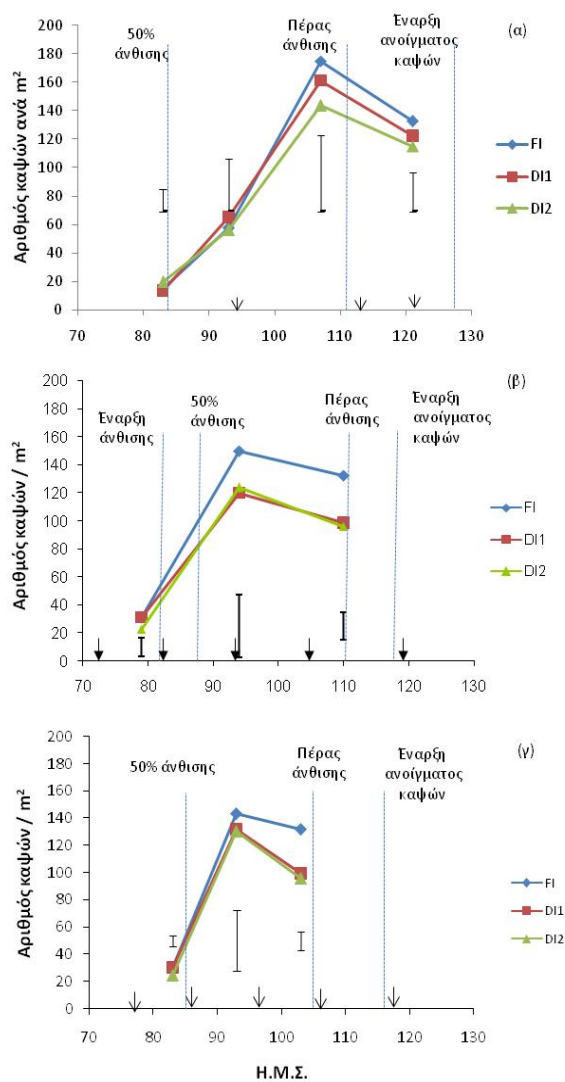


Εικ.3.18. Η πορεία του ξηρού βάρους χτενιών και ανθέων των φυτών βαμβακιού για κάθε επέμβαση, κατά το πρώτο (α), δεύτερο (β) και τρίτο (γ) πειραματικό έτος, σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.). Οι μπάρες στο κάτω μέρος του γραφήματος συμβολίζουν την ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.

Κατά το πρώτο πειραματικό έτος (εικ. 3.18-α), οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν την 93<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (μετά το 50% της άνθισης) και έδειξαν σημαντική υπεροχή της μεταχείρισης που αφορά στο μεσαίο επίπεδο άρδευσης (DI1) με 34 g/m<sup>2</sup>, και ακολούθησαν τα επίπεδα FI και DI2 με 25 g/m<sup>2</sup>. Κατά το δεύτερο έτος (εικ. 3.18-β) οι μέγιστες τιμές για τις επεμβάσεις FI και DI1 παρατηρήθηκαν την 94<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (μεταξύ του 50% και του τέλους της άνθισης) και ήταν 46 και 39 g/m<sup>2</sup>. Η επέμβαση DI2 παρουσίασε τη μέγιστη τιμή για το εν λόγω χαρακτηριστικό στις 79 Η.Μ.Σ. και ήταν 33 g/m<sup>2</sup>. Μεταξύ των επεμβάσεων δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τέλος, κατά το τρίτο πειραματικό έτος (εικ. 3.18-γ) οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν την 83<sup>η</sup> Η.Μ.Σ και ήταν 55, 59 και 55 g/m<sup>2</sup> για τις επεμβάσεις FI, DI1, και DI2 αντίστοιχα, χωρίς να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Ωστόσο σημαντικά υπερείχε η επέμβαση FI και DI1 έναντι της DI2 κατά τη μέτρηση που έγινε 93 Η.Μ.Σ. Οι μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου παρατηρήθηκαν κατά το δεύτερο και τρίτο πειραματικό έτος, ενώ οι μικρότερες κατά το πρώτο.

### 3.4.3 Αριθμός καψών

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.19) απεικονίζεται η εξέλιξη του αριθμού των καψών της καλλιέργειας βαμβακιού σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.) για τις τρεις μεταχειρίσεις, κατά το πρώτο (εικ. 3.19-α), το δεύτερο (εικ. 3.19-β) και το τρίτο (3.19-γ) πειραματικό έτος.



Εικ.3.19. Η εξέλιξη του αριθμου των καψών του βαμβακιού για κάθε επέμβαση, κατά το πρώτο (α), δεύτερο (β) και τρίτο (γ) πειραματικό έτος, σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.). Οι μπάρες στο κάτω μέρος του γραφήματος συμβολίζουν την ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.

Κατά το πρώτο πειραματικό έτος ο μέγιστος αριθμός καψών παρατηρήθηκε την 107<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (λίγο πριν το τέλος της άνθισης) και κατέδειξε υπεροχή της μεταχείρισης που αφορά στην πλήρη άρδευση (FI) με 175 κάψες ανά m<sup>2</sup>, ακολούθησε το μεσαίο επίπεδο άρδευσης (DI1) με 160 κάψες m<sup>2</sup> και τέλος το επίπεδο κατά το οποίο χρησιμοποιήθηκε, η μικρότερη ποσότητα νερού (DI2) με 143 κάψες ανά m<sup>2</sup>, Μεταξύ των τριών επεμβάσεων δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά.

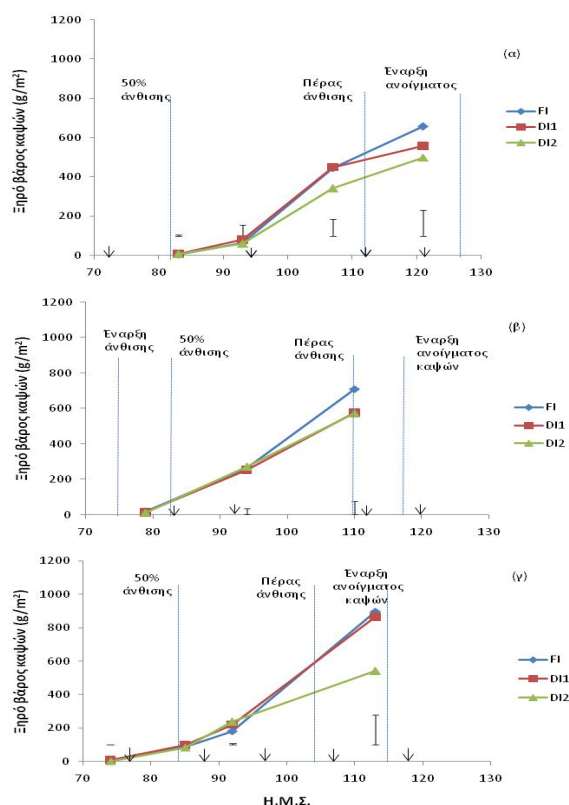
Κατά το δεύτερο πειραματικό έτος ο μέγιστος αριθμός παρατηρήθηκε την 94<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (μετά το 50% της άνθισης) και κατέδειξε υπεροχή της μεταχείρισης που αφορά στην πλήρη άρδευση (FI) με 150 κάψες ανά m<sup>2</sup>, έπονται τα άλλα δύο επίπεδα με 123 και 120 κάψες m<sup>2</sup> για τις μεταχειρίσεις DI2 και DI1 αντίστοιχα. Στατιστικά σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε υπέρ της πλήρους άρδευσης έναντι των άλλων δύο στη μέτρηση που έγινε 110 Η.Μ.Σ. (πέρας άνθισης).

Κατά το τρίτο πειραματικό έτος ο μέγιστος αριθμός παρατηρήθηκε στις 93 Η.Μ.Σ. (μεταξύ του 50% και του τέλους της άνθισης) και οι τιμές που παρατηρήθηκαν ήταν 143, 132 και 130 κάψες / m<sup>2</sup> για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα. Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν κατά την τελευταία δειγματοληψία, κατά την οποία η επέμβαση FI υπερείχε έναντι των άλλων δύο.

Ο μεγαλύτερος αριθμός καψών παρατηρήθηκε κατά το πρώτο έτος, ενώ ήταν μικρότερες κατά το δεύτερο και τρίτο. Τέλος κατά το τρίτο έτος παρατηρήθηκε εντονότερη πτωτική τάση μετά τις 93 Η.Μ.Σ. για τις μεταχειρίσεις της ελλειμματικής άρδευσης (DI1, DI2) έναντι αυτής της πλήρους (FI). Ανάλογες παρατηρήσεις δεν μπορούν να γίνουν για τα δύο πρώτα έτη, καθώς παρατηρήθηκε ανάλογη μείωση του αριθμού των καψών.

### 3.4.4 Ξηρό βάρος καψών

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.20) απεικονίζεται η πορεία του ξηρού βάρους των καψών της καλλιέργειας βαμβακιού σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.) για τις τρεις μεταχειρίσεις, κατά το πρώτο (εικ. 3.20-α), το δεύτερο (εικ. 3.20-β) και το τρίτο (3.20-γ) πειραματικό έτος.



Εικ.3.20. Η εξέλιξη του ξηρού βάρους των καψών του βαμβακιού για κάθε επέμβαση, κατά το πρώτο (α), δεύτερο (β) και τρίτο (γ) πειραματικό έτος, σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (Η.Μ.Σ.). Οι μπάρες στο κάτω μέρος του γραφήματος συμβολίζουν την ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.

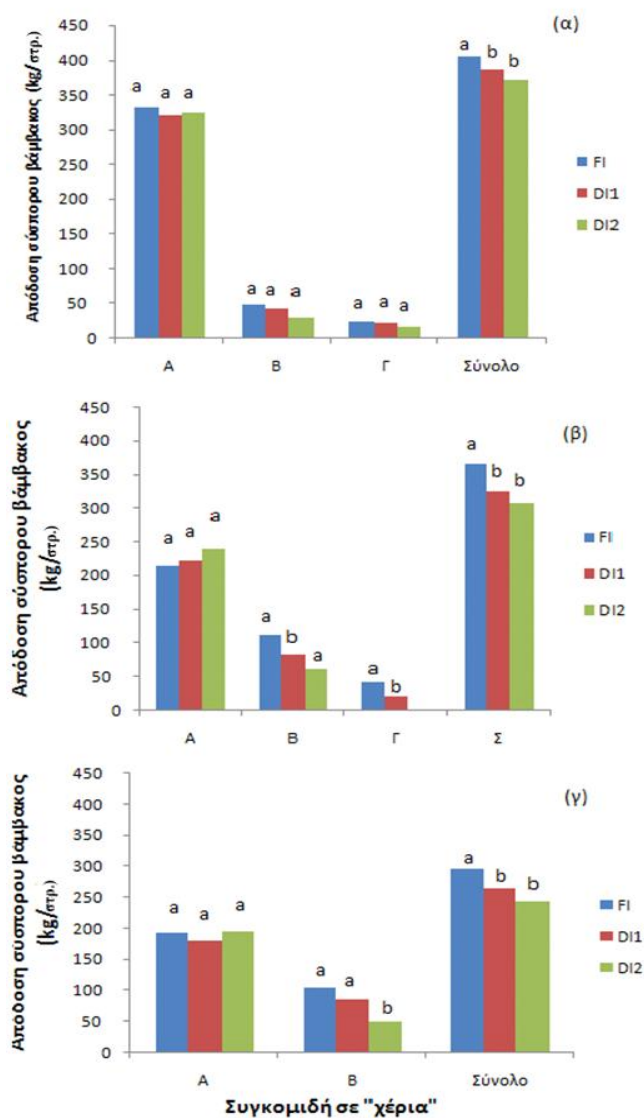


Κατά το πρώτο πειραματικό έτος, οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν την 121<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (μεταξύ του τέλους της άνθισης και της έναρξης του ανοίγματος των καψών) και κατέδειξαν υπεροχή της μεταχείρισης που αφορά στην πλήρη άρδευση (FI) με 657 g/m<sup>2</sup>, έπονται τα άλλα δύο επίπεδα με 557 και 500 g/m<sup>2</sup> για τις μεταχειρίσεις DI2 και DI1 αντίστοιχα. Στατιστικά σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε υπέρ της FI και DI1 έναντι της DI2 στη μέτρηση που έγινε 107 Η.Μ.Σ., (λίγο πριν το τέλος της άνθισης). Κατά το δεύτερο πειραματικό έτος, οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν την 110<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (πέρας άνθισης) και κατέδειξαν υπεροχή της μεταχείρισης που αφορά στην πλήρη άρδευση (FI) με 710 g/m<sup>2</sup>, έπονται τα άλλα δύο επίπεδα με 577 και 571 g/m<sup>2</sup> για τις μεταχειρίσεις DI2 και DI1 αντίστοιχα. Δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων. Κατά το τρίτο πειραματικό έτος, οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν την 113<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. (λίγο πριν την έναρξη του ανοίγματος των καψών) και κατέδειξαν υπεροχή της μεταχείρισης που αφορούσε στην πλήρη άρδευση (FI) με 897 g/m<sup>2</sup>, ακολούθησε πολύ κοντά το επίπεδο DI1 με 863 g/m<sup>2</sup>, ενώ την χαμηλότερη τιμή είχε η DI2 με 541 g/m<sup>2</sup>, χωρίς ωστόσο να σημειωθούν σημαντικές διαφορές.

### 3.5 Αποδόσεις και τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας.

#### 3.5.1 Αποδόσεις σε σύσπορο βαμβάκι.

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.21) απεικονίζεται η απόδοση του σύσπορου βάμβακος σε «χέρια» για τις τρεις μεταχειρίσεις, κατά το πρώτο (εικ. 3.21-α), το δεύτερο (εικ. 3.21-β) και το τρίτο (3.21-γ) πειραματικό έτος.

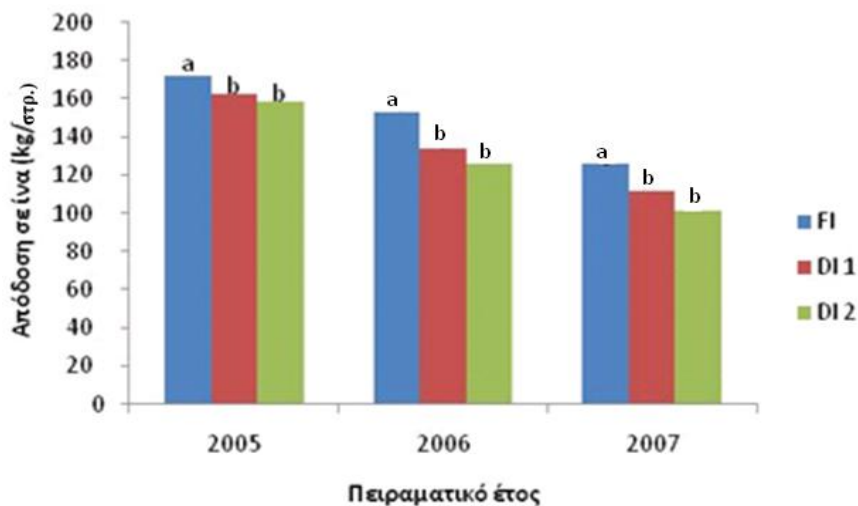


Εικ. 3.21. Οι αποδόσεις σε σύσπορο βαμβάκι για κάθε επέμβαση, κάθε χέρι συγκομιδής (A, B και Γ) και στο σύνολο κατά το πρώτο (α), το δεύτερο (β) και το τρίτο (γ) πειραματικό έτος. Διαφορετικά γράμματα στις μπάρες καταδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων, ανά έτος ( $p < 0,05$ ).

Κατά το πρώτο πειραματικό έτος (εικ. 3.20-α), οι τελικές αποδόσεις ήταν 405, 386 και 371 Kg/στρ. για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα και δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, σε κάθε «χέρι». Στο σύνολο ωστόσο η FI υπερείχε έναντι των DI1 και DI2. Κατά το δεύτερο πειραματικό έτος (εικ. 3.20-β), οι τελικές αποδόσεις ήταν 365, 325 και 301 Kg/στρ. για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα, ενώ η επέμβαση της πλήρους άρδευσης υπερείχε σημαντικά των άλλων δύο. Άξια αναφοράς είναι η πρωιμότητα της ξηρότερης μεταχείρισης, καθώς, όπως φαίνεται από το διάγραμμα, υπερείχε των άλλων δύο κατά την πρώτη συγκομιδή. Κατά το τρίτο πειραματικό έτος οι τελικές αποδόσεις ήταν 297, 265 και 244 Kg/στρ. για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα, ενώ στατιστικά σημαντική διαφορά είχε η επέμβαση της πλήρους άρδευσης έναντι των άλλων δύο.

### 3.5.2 Αποδόσεις σε ίνα

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.22) απεικονίζεται η απόδοση του βαμβακιού σε ίνα για τις τρεις μεταχειρίσεις, κατά το πρώτο, δεύτερο και τρίτο πειραματικό έτος.

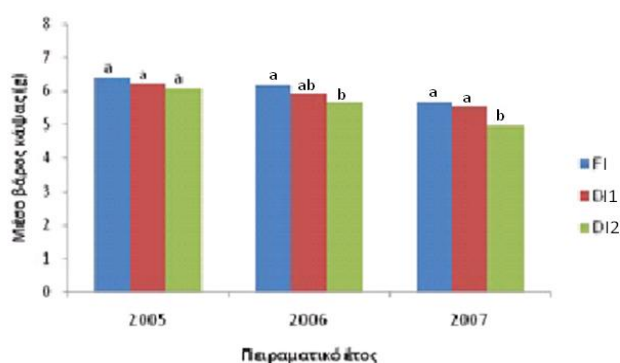


Εικ. 3.22. Οι αποδόσεις σε ίνα για κάθε επέμβαση, κατά το πρώτο, δεύτερο και τρίτο πειραματικό έτος. Διαφορετικά γράμματα στις μπάρες καταδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων ( $p < 0,05$ ).

Κατά τη διάρκεια των τριών πειραματικών ετών η επέμβαση της πλήρους άρδευσης υπερέιχε σημαντικά των άλλων δύο, οι οποίες δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα κατά το πρώτο έτος (2005), η απόδοση ήταν 1725, 1627 και 1586 kg/ha για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα. Κατά το δεύτερο έτος (2006) οι αποδόσεις ήταν 1530, 1340 και 1265 kg/ha για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα. Τέλος στο τρίτο έτος οι αποδόσεις ήταν 1258, 1118 και 1019 1265 kg/ha για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2.

### 3.5.2 Μέσο βάρος κάψας.

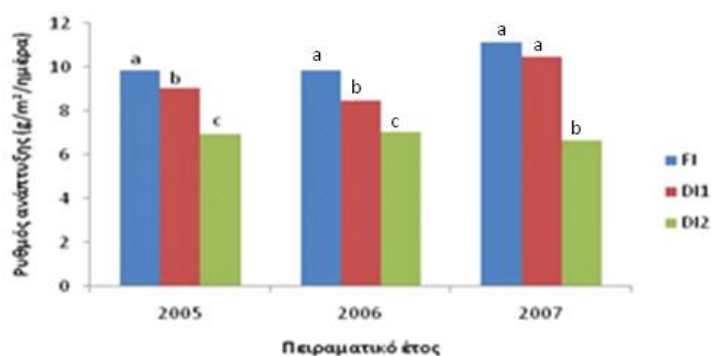
Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.23) απεικονίζεται το μέσο βάρος κάψας για κάθε μεταχείριση κατά τα πειραματικά έτη 2005, 2006 και 2007. Από την στατιστική ανάλυση που έγινε δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων για το πειραματικό έτος 2005. Ωστόσο υπερέιχε η επέμβαση FI (6.39 g) και ακολούθησαν οι DI1 (6.24 g) και DI2 (6.09 g). Για το δεύτερο έτος οι τιμές του μέσου βάρους κάψας ήταν 6,17, 5,96 και 5,67 g για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα, ενώ σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν μεταξύ των επεμβάσεων FI και DI2. Κατά το έτος 2007 τα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ήταν ανάλογα. Πιο συγκεκριμένα, η μεταχείριση που αρδεύτηκε επαρκώς, καθώς και το πρώτο επίπεδο ελλειμματικής άρδευσης υπερέιχαν έναντι του δευτέρου επιπέδου, καθώς οι τιμές ήταν 5,66, 5,52 και 4,97 για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα.



Εικ.3.23. Το μέσο βάρος κάψας για κάθε μεταχείριση κατά τα πειραματικά έτη 2005, 2006 και 2007. Διαφορετικά γράμματα στις μπάρες καταδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων ( $p < 0,05$ ).

### 3.5.3. Ρυθμός ανάπτυξης της φυτείας (Crop Growth Rate).

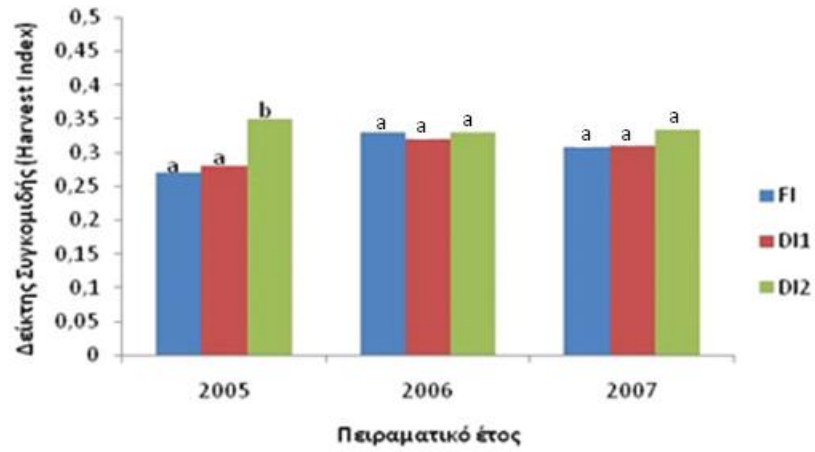
Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.24) απεικονίζεται ο ρυθμός ανάπτυξης της φυτείας για κάθε επέμβαση για τα έτη 2005, 2006 και 2007. Σταθερά μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης σε όλα τα έτη είχε η επέμβαση FI και ακολούθως η DI και η DI2. Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν ανάμεσα σε όλες τις επεμβάσεις για τα πειραματικά έτη 2005 και 2006, ενώ κατά το έτος 2007 η επέμβαση DI2 υστέρησε σημαντικά έναντι των άλλων δύο.



Εικ. 3.24. Ο ρυθμός ανάπτυξης της φυτείας για κάθε μεταχείριση κατά τα πειραματικά έτη 2005, 2006 και 2007. Διαφορετικά γράμματα στις μπάρες καταδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων ( $p < 0,05$ ).

### 3.5.4. Δείκτης συγκομιδής (Harvest index).

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.25) απεικονίζεται ο δείκτης συγκομιδής για κάθε επέμβαση για τα έτη 2005, 2006 και 2007. Από την ανάλυση της διασποράς προέκυψε ότι η επέμβαση της πλήρους άρδευσης (FI) και του πρώτου επιπέδου ελλειμματικής άρδευσης (DI1) υστέρησαν σημαντικά έναντι του δευτέρου επιπέδου ελλειμματικής άρδευσης (DI2) κατά το έτος 2005, ενώ καμία σημαντική διαφορά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των επεμβάσεων τα έτη 2006 και 2007.



Εικ. 3.25. Ο δείκτης συγκομιδής για κάθε μεταχείριση κατά τα πειραματικά έτη 2006 και 2007. Διαφορετικά γράμματα στις μπάρες καταδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων ( $p < 0,05$ ).

### 3.5.5. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας.

Στον παρακάτω πίνακα (πιν. 3.2) φαίνονται οι αναλύσεις που αφορούν στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας για κάθε επέμβαση κατά το α' πειραματικό έτος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, για κανένα από τα χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν.

Πιν. 3.2: Ορισμένα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας του βαμβακιού για το πειραματικό έτος 2005. Διαφορετικά γράμματα δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων ( $p < 0,05$ ).

	<b>Micronaire</b>	<b>Ωριμότητα</b>	<b>Μήκος</b>	<b>Ομοιομορφία</b>	<b>Αντοχή</b>	<b>Υγρασία</b>
<b>FI</b>	4,74a	0,91b	29,68c	86,80d	35,16e	7,70f
<b>DI1</b>	4,78a	0,90b	29,29c	88,35d	35,66e	7,67f
<b>DI2</b>	4,81a	0,90b	29,71c	85,80d	34,40e	7,67f

Στον παρακάτω πίνακα (πιν. 3.3) φαίνονται οι αναλύσεις που αφορούν στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας για κάθε επέμβαση κατά το β' πειραματικό έτος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, για κανένα από τα χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν.

Πιν. 3.3: Ορισμένα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας του βαμβακιού για το πειραματικό έτος 2006. Διαφορετικά γράμματα δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων ( $p < 0,05$ ).

	<b>Micronaire</b>	<b>Ωριμότητα</b>	<b>Μήκος</b>	<b>Ομοιομορφία</b>	<b>Αντοχή</b>	<b>Υγρασία</b>
<b>FI</b>	4,96 a	0,95 b	30,10 c	88,48 d	38,48 e	7,88 f
<b>D1</b>	4,78 a	0,95 b	30,21 c	88,68 d	38,23 e	7,55 f
<b>D2</b>	4,90 a	0,94 b	30,23 c	88,03 d	38,20 e	7,65 f

Στον παρακάτω πίνακα (πιν. 3.4) φαίνονται οι αναλύσεις που αφορούν στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας για κάθε επέμβαση κατά το γ' πειραματικό έτος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, για κανένα από τα χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν.

Πιν. 3.4: Ορισμένα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας του βαμβακιού για το πειραματικό έτος 2007. Διαφορετικά γράμματα δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων ( $p < 0,05$ ).

	<b>Micronaire</b>	<b>Ωριμότητα</b>	<b>Μήκος</b>	<b>Ομοιομορφία</b>	<b>Αντοχή</b>	<b>Υγρασία</b>
<b>FI</b>	4,78 a	0,89 b	28,05 c	83,22 d	29,40 e	6,18 f
<b>D1</b>	4,66 a	0,90 b	28,11 c	84,77 d	31,03 e	6,30f
<b>D2</b>	4,79 a	0,9 b	28,25 c	83,67 d	29,72 e	6,20 f

Στον παρακάτω πίνακα (πιν. 3.5), φαίνονται οι επιδράσεις της καλλιεργητικής περιόδου, των υδατικών μεταχειρίσεων και της αλληλεπίδρασης αυτών σε τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η καλλιεργητική περίοδος είχε πολύ σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν εκτός από το micronaire. Αντίθετα μη σημαντική ήταν η επίδραση της υδατικής μεταχείρισης και της αλληλεπίδρασης καλλιεργητικής περιόδου με την υδατική μεταχείριση.

Πιν. 3.5: Οι επιδράσεις της καλλιεργητικής περιόδου, των υδατικών μεταχειρίσεων και της αλληλεπίδρασης αυτών σε τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας του βάμβακος. (\*\*\*) σημαντική για  $p < 0.001$ , ns=μη σημαντική).

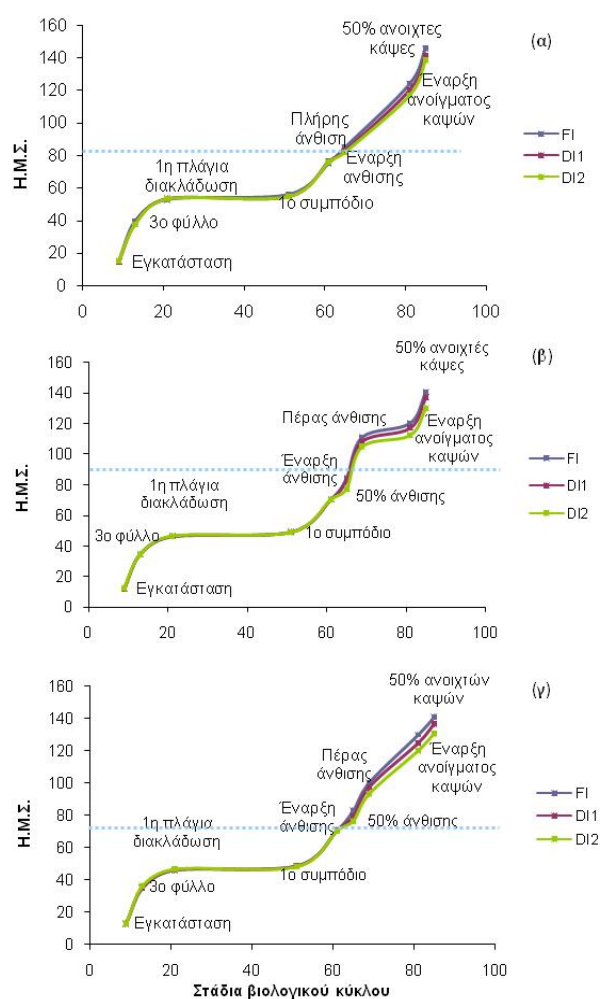
	<b>Micronaire</b>	<b>Ωριμότητα</b>	<b>Μήκος</b>	<b>Ομοιομορφία</b>	<b>Αντοχή</b>	<b>Υγρασία</b>
<b>Έτος</b>	ns	***	***	***	***	***
<b>Υδ. Μεταχείριση</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Έτος x Υδ. Μεταχείριση</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns



### 3.6 Φαινολογικές παρατηρήσεις

#### Στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.26) απεικονίζονται κάποια χαρακτηριστικά στάδια του βιολογικού κύκλου των φυτών του πειράματος για τις τρεις επεμβάσεις κατά το πρώτο (εικ. 3.26-α), το δεύτερο (εικ. 3.26-β) και το τρίτο (εικ. 3.26-γ) πειραματικό έτος.



Εικ. 3.26. Η πορεία ανάπτυξης της φυτείας κατά το πρώτο (α), δεύτερο (β) και τρίτο (γ) πειραματικό έτος. Στο γράφημα φαίνονται βασικά στάδια του βιολογικού κύκλου των φυτών. Με τη διακεκομμένη γαλάζια γραμμή σημειώνεται η ημέρα έναρξης των επεμβάσεων (αρδεύσεων).

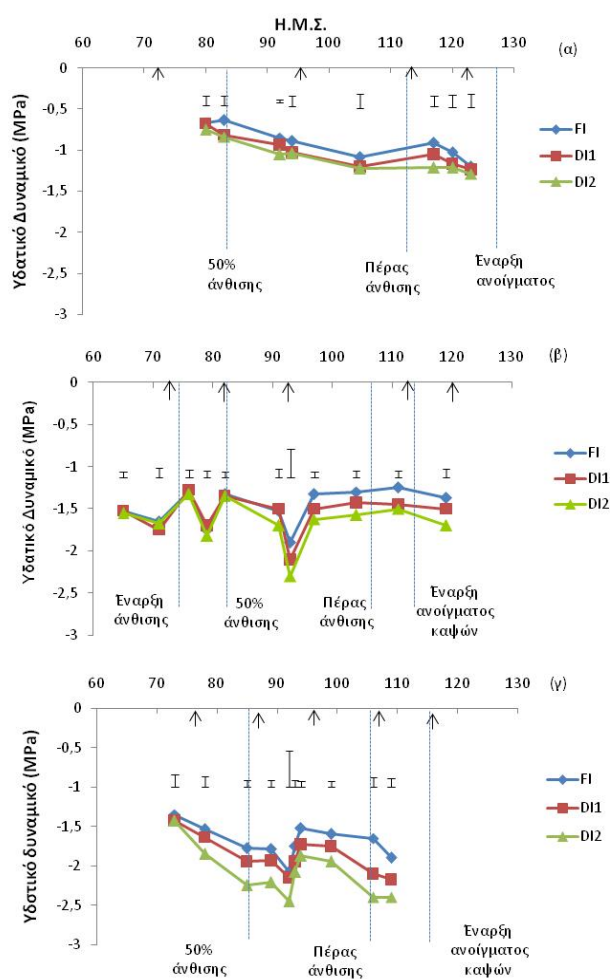
Κατά το πρώτο πειραματικό έτος (εικ. 3.26-α), δεν διαπιστώθηκε σημαντική διαφορά ως προς την πρωιμότητα μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων. Κατά το δεύτερο πειραματικό (εικ. 3.26-β) έτος παρατηρήθηκαν διαφορές ως προς την πρωιμότητα μετά το 65<sup>ο</sup> στάδιο (80 Η.Μ.Σ.) με την ξηρότερη μεταχείριση (DI2) να είναι εμφανώς πρωιμότερη από αυτή της πλήρους άρδευσης (FI) και του πρώτου επιπέδου ελλειμματικής άρδευσης (DI1). Κατά το τρίτο πειραματικό έτος (εικ. 3.26-γ), παρατηρήθηκαν διαφορές ως προς την πρωιμότητα μετά το 65<sup>ο</sup> στάδιο (80 Η.Μ.Σ.) με την ξηρότερη μεταχείριση (DI2) να είναι εμφανώς πρωιμότερη από αυτή της πλήρους άρδευσης (FI).

### 3.7 Φυσιολογικές παρατηρήσεις

#### 3.7.1 Υδατικό δυναμικό των φύλλων των φυτών

(α) Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.27) απεικονίζεται η πορεία του υδατικού δυναμικού των φύλλων των φυτών για τις τρεις επεμβάσεις κατά το πρώτο (εικ. 3.27-α), το δεύτερο (εικ. 3.27-β) και το τρίτο (εικ. 3.27-γ) πειραματικό έτος.

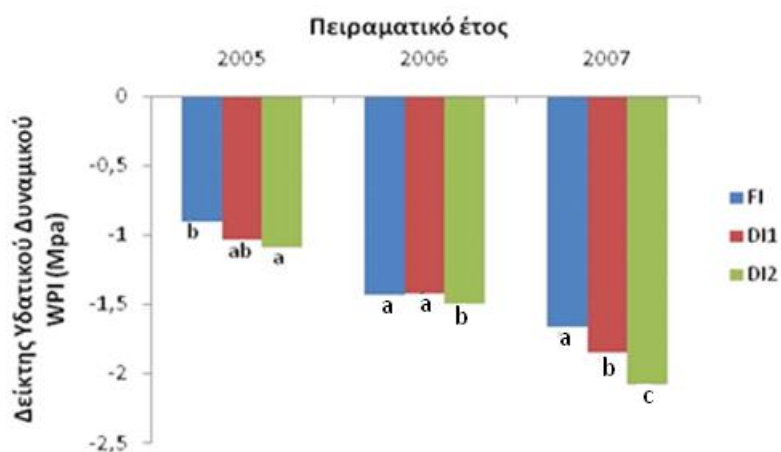


Εικ. 3.27. Η πορεία του υδατικού δυναμικού των φύλλων των φυτών για τις τρεις επεμβάσεις κατά το πρώτο (α), το δεύτερο (β) και το τρίτο (γ) πειραματικό έτος. Οι μπάρες αφορούν στην ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται στάδια του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.

Κατά το πρώτο πειραματικό έτος (εικ. 3.27-α), όλες οι μεταχειρίσεις ακολούθησαν ανάλογη πορεία, με τις χαμηλότερες τιμές να παρατηρούνται στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, δηλαδή 123 Η.Μ.Σ. (-1,28, -1,24 και -1,2 MPa για τις επεμβάσεις DI2, DI1 και FI αντίστοιχα). Οι σχετικά υψηλές τιμές του δυναμικού, ακόμα και προς το τέλος της περιόδου μαρτυρούν την καλή υδατική κατάσταση όλων των φυτών, γεγονός που ερμηνεύεται με την παρουσία υδατικού ορίζοντα σε βάθος 110 cm. Εντούτοις παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις 92 και 117 Η.Μ.Σ. Συγκεκριμένα στις 92 Η.Μ.Σ. παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των επεμβάσεων, ενώ στις 117 Η.Μ.Σ. σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν μεταξύ της FI και των άλλων δύο. Κατά τη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο (εικ. 3.27-β), όλες οι μεταχειρίσεις ακολούθησαν ανάλογη πορεία. Πιο συγκεκριμένα στις 92 Η.Μ.Σ., όταν τα φυτά βρίσκονταν σε πλήρη άνθιση οι τιμές ήταν, -1,9, -2,1 και -2,3 MPa για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα. Οι ιδιαίτερα χαμηλές τιμές που παρατηρήθηκαν σε αυτή τη δειγματοληψία μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι είχαν παρέλθει δέκα ημέρες από την τελευταία άρδευση (81 Η.Μ.Σ.). Μεταξύ των αρδεύσεων παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις, κυρίως μετά τις 93 Η.Μ.Σ. Συγκεκριμένα η επέμβαση FI παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές και ακολούθησαν το πρώτο (DI1) και το δεύτερο (DI2) επίπεδο ελλειμματικής άρδευσης. Τέλος, το τρίτο πειραματικό έτος (εικ. 3.27-γ), οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στις 92 Η.Μ.Σ., όταν τα φυτά βρίσκονταν σε πλήρη άνθιση. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές ήταν (-2,45, -2,15 και 2 MPa για τις επεμβάσεις DI2, DI1 και FI, αντίστοιχα). Οι χαμηλές τιμές μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι προηγήθηκαν της μέτρησης υψηλές θερμοκρασίες (>40<sup>0</sup>C), καθώς επίσης και στο ότι είχαν παρέλθει 4 ημέρες από την τελευταία άρδευση (87 Η.Μ.Σ.). Μεταξύ των αρδεύσεων παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις, εκτός από τις δειγματοληψίες που έγιναν 73 και 92 Η.Μ.Σ. Η επέμβαση FI παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές και ακολούθησαν το πρώτο και το δεύτερο επίπεδο ελλειμματικής άρδευσης.

## Δείκτης Υδατικού Δυναμικού (Water Potential Index)

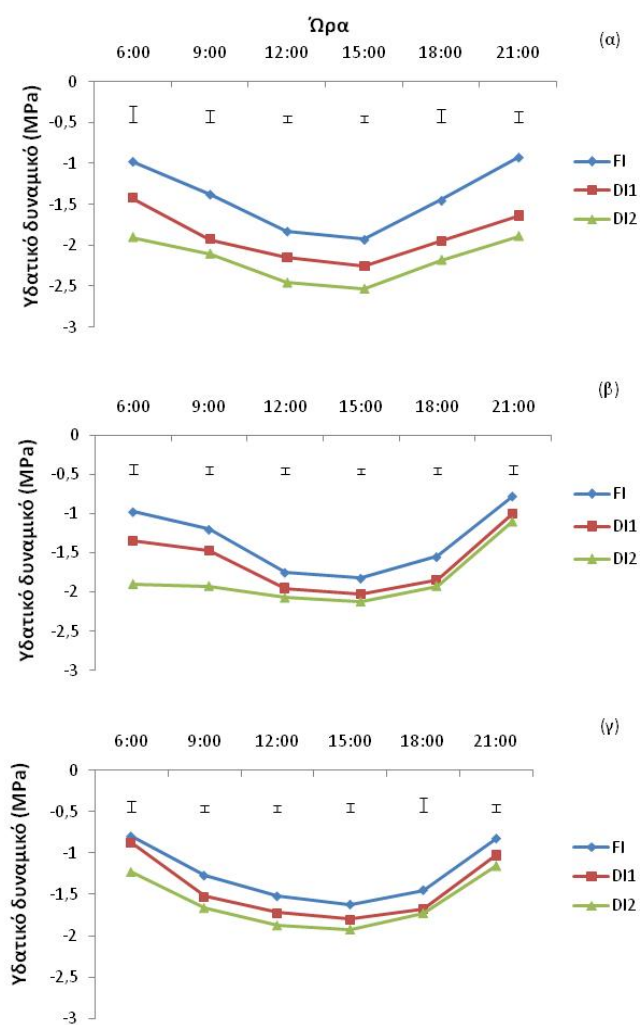
Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.28) απεικονίζεται ο δείκτης υδατικού δυναμικού για κάθε επέμβαση κατά τη διάρκεια των πειραματικών ετών. Είναι φανερή η κλιμάκωση του δείκτη μεταξύ των μεταχειρίσεων. Το πρώτο έτος (2005) οι τιμές του δείκτη ήταν -0,9 (FI), -1,03 (DI1) και -1,09 MPa (DI2). Σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν μεταξύ των επεμβάσεων FI και DI2. Το δεύτερο έτος (2006) οι τιμές ήταν -1,43 (FI), -1,42 (DI1) και -1,5 MPa (DI2). Σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν μεταξύ της επέμβασης DI2 και των άλλων δύο. Τέλος το τρίτο έτος (2007) οι τιμές ήταν -1,66 (FI), -1,85 (DI1) και -2,07 MPa (DI2). Σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν ανάμεσα σε όλες τις επεμβάσεις.



Εικ.3.28. Ο δείκτης υδατικού δυναμικού, WPI, για κάθε επέμβαση κατά τα τρία πειραματικά έτη. Διαφορετικά γράμματα στις μπάρες καταδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p < 0,05$ ).

(β) Κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.29) απεικονίζεται η πορεία του υδατικού δυναμικού των φύλλων των φυτών για τις τρεις επεμβάσεις 1 ημέρα πριν (εικ. 3.29-α), κατά τη διάρκεια (εικ. 3.29-β) και μία ημέρα μετά (εικ. 3.29-γ) την άρδευση κατά το τρίτο πειραματικό έτος.



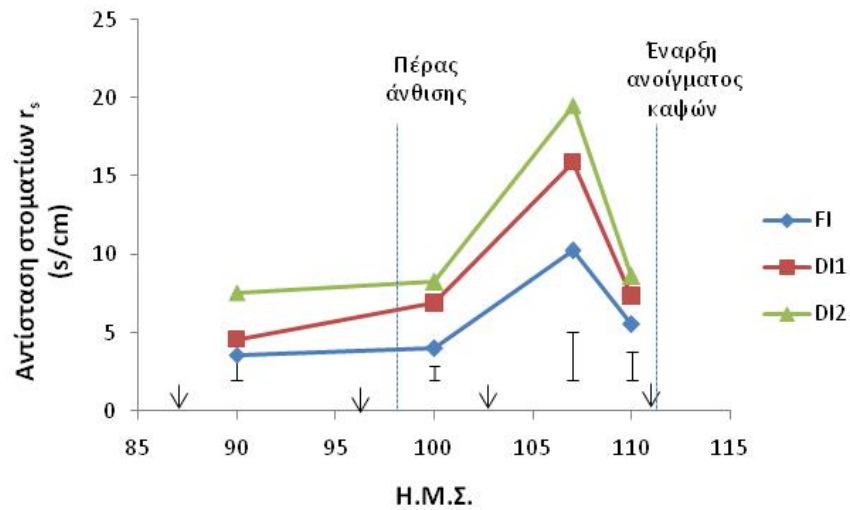
Εικ. 3.29. Η πορεία του υδατικού δυναμικού των φύλλων των φυτών για τις τρεις επεμβάσεις 1 ημέρα πριν (α), κατά τη διάρκεια (β) και μία ημέρα μετά (γ) την άρδευση (96 Η.Μ.Σ.), κατά το τρίτο πειραματικό έτος. Οι μπάρες αφορούν στην ΕΣΔ.

Μια ημέρα πριν την άρδευση (95 Η.Μ.Σ.), παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε όλες τις επεμβάσεις καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Το χαμηλότερο δυναμικό βρέθηκε στις 15:00 το μεσημέρι και ήταν -2,5, -2,25 και -1,9 MPa για τις επεμβάσεις DI2, DI1 και FI. Κατά τη διάρκεια της ημέρας άρδευσης (εικ.3.29-β), οι καμπύλες ακολούθησαν ανάλογη πορεία και οι διαφορές μειώθηκαν προϊόντος του χρόνου. Παρόλα αυτά, στο τέλος της άρδευσης η διαφορά παρέμεινε σημαντική ανάμεσα στην επέμβαση της πλήρους άρδευσης και στις δύο επεμβάσεις ελλειμματικής άρδευσης. Η εξέλιξη του υδατικού δυναμικού των φύλλων των φυτών για κάθε επέμβαση, 1 ημέρα μετά την άρδευση (εικ. 3.29-γ), έδειξε ότι οι τιμές ακολούθησαν ανάλογη πορεία με ταυτόχρονη μείωση των διαφορών, οι οποίες αυξήθηκαν τις μεσημβρινές ώρες. Σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν ανάμεσα σε όλες τις επεμβάσεις κατά τις μετρήσεις που έγιναν στις 09:00, 12:00, 15:00 και 21:00 h.

### 3.7.2 Αντίσταση στοματίων των φύλλων

#### (α) Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου

Στην παρακάτω εικόνα (εικ.. 3.30) απεικονίζεται η αντίσταση των στοματίων στην κάτω επιφάνεια των φύλλων κατά το τρίτο πειραματικό έτος. Οι μέγιστες τιμές παρουσιάστηκαν την 107<sup>η</sup> Η.Μ.Σ. και ήταν 19,5, 15,9 και 10,3 s/cm για τις επεμβάσεις DI2, DI1 και FI αντίστοιχα, οι οποίες διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Οι υψηλές τιμές μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι προηγήθηκαν της μέτρησης υψηλή θερμοκρασία (>40<sup>0</sup>C), και χαμηλή σχετική υγρασία (<50%), καθώς επίσης και στο ότι είχαν παρέλθει 4 ημέρες από την τελευταία άρδευση (87 Η.Μ.Σ.).

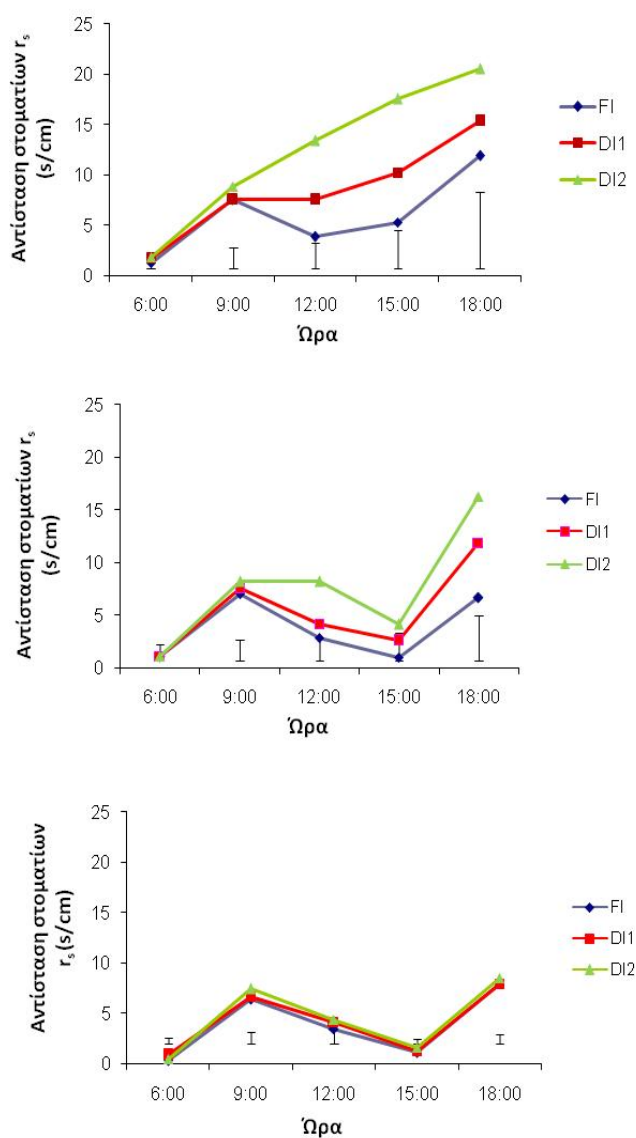


Εικ. 3.30. Η αντίσταση των στοματίων στην κάτω επιφάνεια των φύλλων κατά το τρίτο πειραματικό έτος (2007) σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (H.M.S.). Οι μπάρες στο πάνω μέρος του γραφήματος αφορούν στη ΕΣΔ, τα βέλη δείχνουν τις ημέρες άρδευσης, ενώ σημειώνονται φάσεις του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.



(β) Κατά τη διάρκεια της ημέρας

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.31) απεικονίζεται η πορεία της αντίστασης των στοματιών των φύλλων των φυτών για τις τρεις επεμβάσεις 1 ημέρα πριν (εικ. 3.31-α), κατά τη διάρκεια (εικ. 3.31-β) και μία ημέρα μετά (εικ. 3.31-γ) την άρδευση κατά το τρίτο πειραματικό έτος πειραματικό έτος.

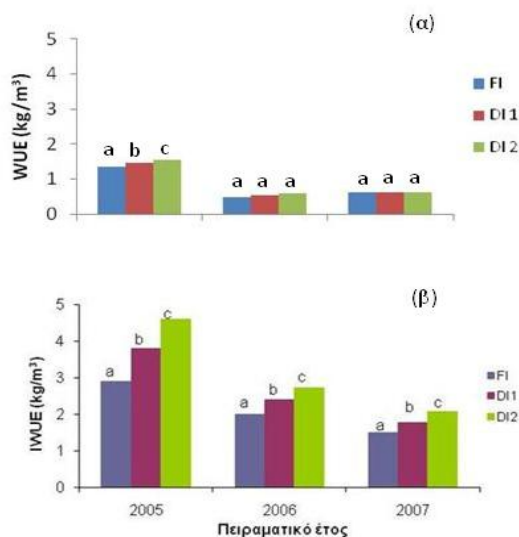


Εικ. 3.31. Η πορεία της αντίστασης στοματιών των φύλλων των φυτών για τις τρεις επεμβάσεις 1 ημέρα πριν (α), κατά τη διάρκεια (β) και μία ημέρα μετά (γ) την άρδευση (96 Η.Μ.Σ.), κατά το τρίτο πειραματικό έτος. Οι μπάρες αφορούν στην ΕΣΔ.

Μια ημέρα πριν την άρδευση (εικ. 3.31-α) παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε όλες τις επεμβάσεις τις μεσημβρινές ώρες, κατά τις οποίες φαίνεται ότι τα φυτά της επέμβασης DI2 συνέχισαν να αυξάνουν την αντίσταση καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, σε αντίθεση με τις δύο άλλες επεμβάσεις που διατήρησαν εν μέρει ανοικτά τα στοματίά τους. Κατά τη διάρκεια της ημέρας άρδευσης (εικ. 3.31-β), οι διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις αυξήθηκαν κατά τις μεσημβρινές ώρες και έγιναν σημαντικές ανάμεσα στα φυτά της επέμβασης DI2 και των άλλων δύο μεταχειρίσεων (12:00 h). Μία ημέρα μετά την άρδευση (εικ. 3.31-γ), οι καμπύλες ακολούθησαν ανάλογη πορεία και οι διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις δεν ήταν σημαντικές, καθώς οι τιμές της αντίστασης στοματίων μειώθηκαν αισθητά σε όλες τις μεταχειρίσεις.

### 3.8 Αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού (Water Use Efficiency)

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.32) απεικονίζεται ο δείκτης που περιγράφει την αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού (WUE, 3.32-α) και ο δείκτης της αποτελεσματικότητας χρήσης μόνον του **αρδευτικού** νερού (IWUE, 3.32-β).



Εικ.3.32. Ο δείκτης αποτελεσματικότητας της χρήσης νερού (3.32-α) και **αρδευτικού** νερού (3.32-β), για κάθε επέμβαση κατά τα τρία πειραματικά έτη. Διαφορετικά γράμματα στις μπάρες καταδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p < 0,05$ ).

Κατά το πρώτο έτος η τιμή του δείκτη WUE ήταν υψηλότερη για την επέμβαση DI2 (1,54 kg/m<sup>3</sup>) ακολούθως για την DI1 (1,48 kg/m<sup>3</sup>), ενώ τη χαμηλότερη τιμή είχε η FI (1,35 kg/m<sup>3</sup>). Στο δεύτερο έτος οι τιμές ήταν αρκετά μικρότερες από το πρώτο, καθώς το νερό που δέχτηκε η καλλιέργεια από βροχοπτώσεις ήταν περισσότερο, με αποτέλεσμα να “πέσουν” οι τιμές του δείκτη. Ωστόσο και στο δεύτερο έτος τη μεγαλύτερη τιμή είχε η επέμβαση DI2 (0,58 kg/m<sup>3</sup>), ακολούθως η DI1 (0,53 kg/m<sup>3</sup>), ενώ η χαμηλότερη τιμή βρέθηκε για την επέμβαση FI (0,49 kg/m<sup>3</sup>). Τέλος, κατά το τρίτο έτος οι τιμές του δείκτη δεν διέφεραν μεταξύ τους και ήταν 0,63, 0,62 και 0,62 kg/m<sup>3</sup> για τις επεμβάσεις FI, DI1 και DI2 αντίστοιχα.

Κατά τα τρία πειραματικά έτη, η τιμή του IWUE είναι σημαντικά μεγαλύτερη για την επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε η μικρότερη ποσότητα νερού, ενώ αντίθετα τη μικρότερη τιμή έχει ο δείκτης στη επέμβαση πλήρους άρδευσης. Επίσης, η επέμβαση που δέχτηκε ενδιάμεση ποσότητα νερού, διαφέρει σημαντικά με τις άλλες δύο.

## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1. Εδαφική υγρασία

Κατά το πρώτο πειραματικό έτος παρατηρήθηκε ύπαρξη υδατικού ορίζοντα σε βάθος 100 cm. Από την εικόνα 3.6 (γ), φαίνεται ότι στα 80 cm η εδαφική υγρασία δεν υποχώρησε κάτω από  $0,36 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , για καμία από τις επεμβάσεις καθόλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, τιμή που ήταν πάνω από την υδατοϊκανότητα ( $0,29 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ). Η υγρασία αυτή κρίνεται ικανοποιητική για την ανάπτυξη των φυτών του βαμβακιού και στο γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί η ύπαρξη μικρών διαφορών μεταξύ των επεμβάσεων σε αρκετές από τις μετρήσεις που έγιναν. Παράλληλα, άξια αναφοράς είναι η υψηλή εδαφική υγρασία κατά την έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου ( $0,3- 0,4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ).

Κατά το δεύτερο και τρίτο πειραματικό έτος, σημαντική ήταν η επίδραση των αρδεύσεων στην εδαφική υγρασία στο βάθος των 20 cm. Αντίθετα, στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο βάθος των 40 και κυρίως 80 cm φάνηκε ότι οι αρδεύσεις δεν συνετέλεσαν στην αύξηση της εδαφικής υγρασίας, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην ύπαρξη δυσδιαπέρατου εδαφικού ορίζοντα (hardpan). Οι τιμές της υγρασίας για τις μεταχειρίσεις DI1 και DI2 στο βάθος των 40 cm κινήθηκαν πολύ κοντά στο σημείο μάρανσης ( $0,15-0,17 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) και είναι πιθανό ο μεγαλύτερος όγκος της ριζόσφαιρας να περιορίστηκε πάνω από το προαναφερόμενο βάθος.

### 4.2. Ύψος φυτών

Το ύψος των φυτών κατά την έναρξη των αρδευτικών επεμβάσεων κυμάνθηκε από 35-45 cm για τα 3 πειραματικά έτη. Η διαφοροποίηση ανάμεσα στις επεμβάσεις ξεκίνησε άμεσα, μετά την πρώτη άρδευση, γεγονός που καταδεικνύει την ευαισθησία του φυτού όσον αφορά στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Εντούτοις, στατιστικά σημαντικά μικρότερο ήταν το ύψος των φυτών που υπέστησαν τη μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση (DI2) σε σχέση με το μάρτυρα (FI) και την επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε η ενδιάμεση ποσότητα νερού (DI1), κατά τη διάρκεια του πρώτου και του τρίτου πειραματικού έτους. Κατά το δεύτερο έτος ο μάρτυρας υπερτέρησε σημαντικά έναντι των άλλων δύο επεμβάσεων. Σημαντικές διαφορές στο ύψος των φυτών, ανάλογα με την ποσότητα αρδευτικού νερού που χορηγήθηκε βρήκε και ο DeTar (2008), ο οποίος υποστηρίζει ότι το ύψος των φυτών για μια συγκεκριμένη ποικιλία βαμβακιού σχετίζεται άμεσα με την χορηγούμενη ποσότητα νερού. Η διαφοροποίηση του ύψους των φυτών οφείλεται στην επίδραση των υδατικών ελλειμμάτων

στη διαίρεση και διαφοροποίηση, καθώς και στη διόγκωση των κυττάρων στα μεσογονάτια. Οι διαδικασίες αυτές είναι πολύ ευαίσθητες στην έλλειψη νερού, διότι επηρεάζονται από την πίεση σπαργής. Η μικρή αύξηση που παρατηρείται στο ύψος των φυτών κάτω από συνθήκες υδατικής καταπόνησης, ίσως οφείλεται σε μειωμένες τιμές της πίεσης σπαργής, που επηρεάζει άμεσα κυρίως τη διόγκωση των κυττάρων (Lockhart, 1965). Η μείωση της διόγκωσης των κυττάρων φαίνεται να είναι η κύρια παράμετρος που επιδρά στη μείωση του ύψους, καθώς αυτή επηρεάζεται περισσότερο σε σχέση με την κυτταρική διαίρεση (Hsiao, 1973).

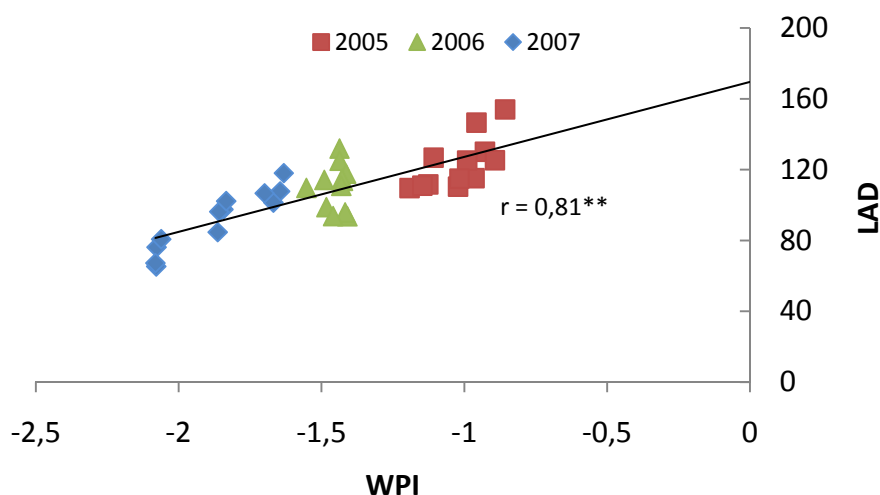
#### 4.3. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)

Οι τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ακολούθησαν ανάλογη πορεία κατά τα τρία πειραματικά έτη. Τις μεγαλύτερες τιμές παρουσίασε η επέμβαση της πλήρους άρδευσης και ακολούθησε το μεσαίο επίπεδο, ενώ τις μικρότερες τιμές παρουσίασε η μεταχείριση που δέχτηκε τη μικρότερη ποσότητα αρδευτικού νερού και μάλιστα με στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τις άλλες δύο. Το υδατικό έλλειμμα προκαλεί αυξημένη γήρανση των φύλλων στο σιτάρι, σύμφωνα με τους Teare *et al.*, (1982). Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Finch-Savage και Elston (1982), οι οποίοι αναφέρουν ότι η υδατική καταπόνηση στα κουκιά μπορεί να επηρεάσει την γήρανση των φύλλων, είτε άμεσα επιδρώντας πάνω στα ίδια τα φύλλα, είτε έμμεσα επιδρώντας πάνω στην ανάπτυξη των καρπών. Συγκεκριμένα, η υδατική καταπόνηση οδηγεί σε μείωση της περιόδου ανάπτυξης των καρπών και ως εκ τούτου, μειώνεται η διάρκεια του βιολογικού κύκλου των φυτών και αλλάζει ο ρυθμός των βιοχημικών διαδικασιών που οδηγούν στη γήρανση των φύλλων. Παρατηρούμενη μάρανση σε ώριμα φύλλα πιθανόν να συνδέεται με τη μείωση των υδατανθράκων. Η παρεμπόδιση της ανάπτυξης μετά τη μάρανση ενισχύει την καταστροφή του νουκλεϊκού οξέος (Hsiao, 1973). Επιπλέον, η μείωση της διαπνόης που παρατηρείται σε συνθήκες υδατικού ελλείμματος, οδηγεί κατά το μάλλον ή ήττον σε αύξηση της θερμοκρασίας του φυλλώματος. Το γεγονός αυτό είναι πολύ πιθανό να οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού γήρανσης των φύλλων και ως εκ τούτου σε μείωση της φυλλικής επιφάνειας, ιδιαίτερα κάτω από συνθήκες υψηλής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (Ehleringer 1980, Collinson *et al.* 1997).

Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο βαμβάκι, βρέθηκαν μειωμένες τιμές φυλλικής επιφάνειας κάτω από συνθήκες υδατικής καταπόνησης σύμφωνα με τους Jordan (1970), McMichael και Hesketh (1982), Turner *et al.* (1986), Ball *et al.* (1994) και Gerik *et*

al. (1996). Χωρίς αμφιβολία η μείωση της διαθέσιμης υγρασίας οδηγεί σε μείωση του μεγέθους των πλήρως αναπτυγμένων φύλλων σε φυτά βαμβακιού (Pettigrew, 2004).

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 4.1) παρουσιάζεται η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του δείκτη υδατικού δυναμικού (WPI) και της διάρκειας φυλλικής επιφάνειας (LAD). Ο σημαντικός συντελεστής συσχέτισης που βρέθηκε ( $r = 0,81^{**}$ ), φανερώνει στενή εξάρτηση της φυλλικής επιφάνειας από την υδατική κατάσταση των φυτών.



Εικ. 4.1. Οι γραμμικές παλινδρομήσεις μεταξύ WPI και LAD στις τρεις καλλιεργητικές περιόδους.

Τα υδατικά ελλείμματα επιδρούν επίσης σημαντικά στην φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών. Έχει διαπιστωθεί ότι, ενδεχόμενη μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας οδηγεί σε παρεμπόδιση της ανάπτυξης και διόγκωσης των κυττάρων των φύλλων, σε μείωση της διαπνοής και κατά συνέπεια σε μείωση της φυλλικής επιφάνειας (Hsiao, 1973).

#### 4.4. Ξηρό Βάρος υπέργειου τμήματος

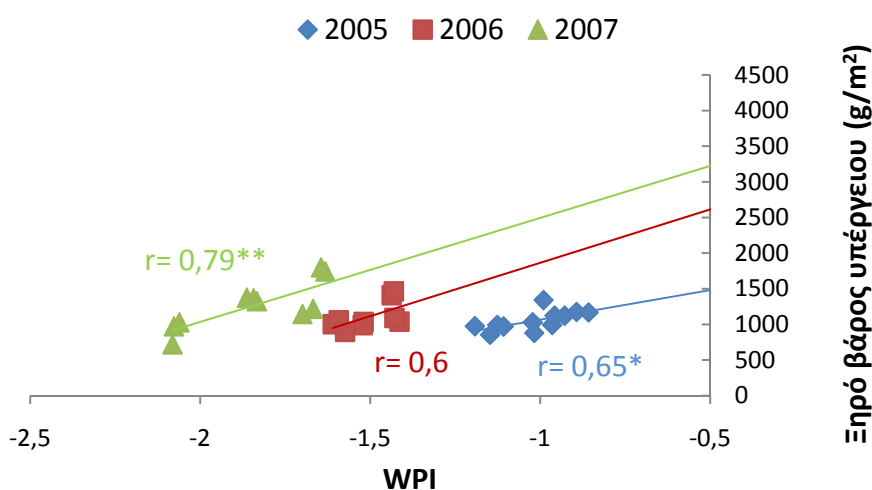
Οι τιμές του ξηρού βάρους των φύλλων και των στελεχών ακολούθησαν ανάλογη πορεία για τις τρεις επεμβάσεις. Πιο αναλυτικά, η ξηρότερη μεταχείριση υστέρησε σημαντικά έναντι των άλλων δύο. Τις υψηλότερες τιμές παρουσίασε η μεταχείριση της πλήρους άρδευσης, χωρίς να υπάρχουν όμως σημαντικές διαφορές σε σχέση με το μεσαίο επίπεδο άρδευσης. Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξαν και οι Dagdelen *et al.* (2009).

Η μείωση του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος των φυτών είναι αποτέλεσμα της αρνητικής επίδρασης που έχει η έλλειψη νερού στο συνολικό αριθμό φύλλων και στο μέγεθος του φύλλων, ενώ σχετίζεται θετικά με το ρυθμό γήρανσης αυτών (Karamanos,

1986). Πιο συγκεκριμένα η έλλειψη νερού επιδρά περισσότερο στο μέγεθος των φύλλων (Constable και Rawson, 1982).

Όσον αφορά στην αναπαραγωγική ανάπτυξη των φυτών, τα αποτελεσματα των μετρήσεων έδειξαν σημαντική επίδραση των επεμβάσεων, τόσο στον αριθμό των καψών, όσο και στο ξηρό βάρος αυτών. Στις ίδιες παρατηρήσεις καταλήγουν και οι Pettigrew (2004), Turner *et al.* (1986). Επίσης από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι με τη μείωση του νερού μειώθηκε και το μέσο βάρος κάψας.

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 4.2) παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ του δείκτη υδατικού δυναμικού (WPI) και του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος των φυτών. Την πρώτη και την τρίτη πειραματική χρονιά, υπήρξε σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη ( $r=0,79^{**}$ , και  $r=0,65^*$ ) ενώ αντίθετα τη δεύτερη χρονιά η συσχέτιση δεν ήταν σημαντική ( $r=0,6$ ). Φαίνεται ότι σε υψηλότερες τιμές του υδατικού δυναμικού η συσχέτιση με την απόδοση είναι μικρότερη απ' ό,τι σε χαμηλότερες τιμές, κάτι που μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι το ξηρό βάρος του φυτού επηρεάζεται έντονα και από άλλους παράγοντες, όταν η υδατική του κατάσταση είναι καλή (π.χ. ρυθμός φωτοσύνθεσης). Αντίθετα, όταν οι τιμές του υδατικού δυναμικού είναι χαμηλές, φαίνεται να είναι αυτός ο κυρίαρχος παράγοντας ελέγχου του ξηρού βάρους.



Εικ. 4.2. Οι γραμμικές παλινδρομήσεις μεταξύ WPI και ξηρού βάρους υπέργειου τμήματος των φυτών στις τρεις καλλιεργητικές περιόδους.

#### 4.5. Απόδοση

Η μείωση των αποδόσεων, προϊόντος του υδατικού ελλείμματος, οφείλεται στη μείωση της παραγωγής καψών, είτε λόγω μειωμένων ανθέων, είτε λόγω απόπτωσης αυτών, κυρίως όταν πραγματοποιείται έντονη υδατική καταπόνηση κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής ανάπτυξης (Grimes και Yamada, 1982, McMichael και Hesketh, 1982, Turner *et al.*, 1986, Gerik *et al.*, 1996). Ο Pettigrew (2004), διαπίστωσε μείωση των αποδόσεων κατά 25% σε ξηρική καλλιέργεια βάμβακος, η οποία οφείλεται στην κατά 19% μείωση του αριθμού των καψών.

Οι Falkenberg *et al.* (2007), διαπίστωσαν ότι δεν υπάρχει σημαντική μείωση των αποδόσεων ανάμεσα στην επέμβαση της πλήρους άρδευσης και αυτής που χρησιμοποιήθηκε το 75% της ETc. Πάντως υπάρχουν πολλές αναφορές που συγκλίνουν στο γεγονός ότι η μείωση της ποσότητας του νερού άρδευσης οδηγεί σε μείωση των αποδόσεων (Grimes *et al.*, 1969, Jackson και Tilt, 1968, Letey και Dinar, 1986, Grimes, 1994, Wanjura *et al.*, 2002, Karam *et al.*, 2006).

Σε πειράματα που έγιναν στη ΝΑ Τουρκία βρέθηκε ότι οι υψηλότερες αποδόσεις στο βαμβάκι σημειώθηκαν κάτω από καθεστώς πλήρους άρδευσης (100% ET<sub>0</sub>) (Yazar *et al.* (2002). Οι Ertek και Kanber (2003) παρατήρησαν ότι η απόδοση του βάμβακος και ο αριθμός των καψών, αυξήθηκαν γραμμικά με την ποσότητα του νερού άρδευσης. Αντίθετα, οι Karam *et al.* (2006), παρατήρησαν ότι η παραγωγή ίνας σχετίζεται αντίστροφα με την ποσότητα του νερού άρδευσης. Οι Gerik *et al.* (1996), αναφέρουν ότι το υδατικό έλλειμμα στο βαμβάκι προκάλεσε μείωση του αριθμού των καψών και του βάρους του σύσπορου βαμβακιού ανα κάψα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, η επέμβαση της πλήρους άρδευσης υπερείχε σημαντικά των ελλειμματικών στη συνολική απόδοση, ενώ οι δύο ελλειμματικές δεν διέφεραν μεταξύ τους. Από τα διαγράμματα (εικ. 3.21) φαίνεται ότι το σύνολο σχεδόν της απόδοσης για την επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε η μικρότερη ποσότητα νερού αποδίδεται κατά το πρώτο «χέρι». Μάλιστα η απόδοση είναι, αν και όχι στατιστικά σημαντικά, μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες δύο. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την Ελλάδα, η οποία ως γνωστόν βρίσκεται στα όρια της ζώνης βαμβακοκαλλιέργειας στο βόρειο ημισφαίριο, με αποτέλεσμα να είναι πολύ συνηθισμένες οι βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου και του Οκτωβρίου που οδηγούν, τόσο σε μείωση, όσο και σε υποβάθμιση της ποιότητας της παραγωγής.



Από τους συντελεστές μερικής συσχέτισης του πίνακα 4.1 φαίνεται ότι η τελική απόδοση κατά τα δύο πρώτα έτη επηρεάστηκε σημαντικά και στον ίδιο σχεδόν βαθμό, τόσο από το μέσο βάρος σύσπορου βάμβακος ανά κάψα, όσο και από τον αριθμό των καψών. Κατά το τρίτο έτος δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική συσχέτιση των δύο συστατικών με τις τελικές αποδόσεις.

Πίνακας 4.1 Οι συντελεστές μερικής συσχέτισης που προέκυψαν από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση της απόδοσης σε σύσπορο βαμβάκι με το μέσο βάρος κάψας και τον αριθμό καψών, για καθένα πειραματικό έτος.

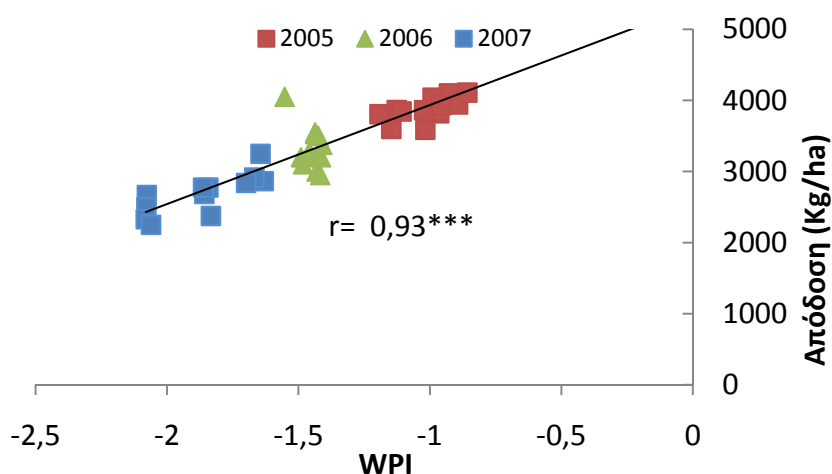
	Απόδοση		
	2005	2006	2007
Αριθμός καψών	0,66*	0,62*	0,44
M.B. κάψας	0,67*	0,60*	0,37

Από τους συντελεστές μερικής συσχέτισης του πίνακα 4.2 φαίνεται ότι ο παράγοντας που επηρεάζει κυρίαρχα την απόδοση είναι το μέσο βάρος σύσπορου βάμβακος ανά κάψα, ανεξάρτητα από την υδατική μεταχείριση. Η επίδραση του αριθμού των καψών στις τελικές αποδόσεις, φαίνεται να μειώνεται κάπως με την αύξηση της υδατικής καταπόνησης. Η μείωση των αποδόσεων λοιπόν, αποδίδεται κυρίως στη μείωση του βάρους σύσπορου βάμβακος ανά κάψα και λιγότερο στον αριθμό των καψών. Σύμφωνα με τους McMichael και Hesketh (1982), η μείωση των αποδόσεων σε ξηρική καλλιέργεια βαμβακιού μπορεί να οφείλεται τόσο σε μείωση του αριθμού των καψών, όσο και σε μείωση του βάρους τους, η οποία συνδέεται με τη μείωση του αριθμού και του βάρους των σπόρων.

Πίνακας 4.2 Οι συντελεστές μερικής συσχέτισης που προέκυψαν από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση της απόδοσης σε σύσπορο βαμβάκι με το μέσο βάρος κάψας και τον αριθμό καψών, για κάθε επέμβαση στο σύνολο των πειραματικών ετών.

	Απόδοση		
	FI	DI1	DI2
<b>Αρ. καψών (r1)</b>	0,59	0,37	0,36
<b>Μέσο βάρος (r2)</b>	0.89***	0.88***	0.91***

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 4.3) παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ του δείκτη υδατικού δυναμικού (WPI) και των αποδόσεων σε σύσπορο βαμβάκι για τα έτη 2005, 2006 και 2007. Στο σύνολο των πειραματικών ετών, υπήρξε πολύ σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη ( $r=0,93$ ),  $p<0,05$ ), γεγονός που δείχνει την ισχυρή επίδραση της υδατικής κατάστασης των φυτών στο ύψος των τελικών αποδόσεων.



Εικ. 4.3. Η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ WPI και των αποδόσεων σε σύσπορο βαμβάκι στις τρεις καλλιεργητικές περιόδους.

#### 4.6. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας

Από τους πίνακες που παρατίθενται στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά όσον αφορά τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ίνας του βάμβακος.

Σύμφωνα με τον Χριστίδη (1965), η άρδευση δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο όσον αφορά στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας του βάμβακος. Το μήκος ίνας παρουσιάζει κάποια ελαφρά βελτίωση με την άρδευση, η οποία είναι πολύ μικρή και χωρίς πρακτική σημασία. Ωστόσο, η κανονική άρδευση επηρεάζει θετικά την ωρίμανση της ίνας, οπότε και την λεπτότητά της. Αντιφατικά αποτελέσματα παρουσιάζει ο Sturkie (1947), σύμφωνα με τον οποίο η εδαφική υγρασία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για το μήκος, την αντοχή, την ωριμότητα και το βάρος της ίνας.

Σύμφωνα με τους Grimes και Yamada (1982) το μήκος της ίνας δεν επηρεάστηκε σημαντικά, παρά μόνο όταν η καταπόνηση ήταν τόσο έντονη που μείωσε την παραγωγή ίνας στο επίπεδο 60-70 kg/στρ. Η έλλειψη σημαντικών διαφορών για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό στην παρούσα μελέτη, πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι σε καμία περίπτωση η υδατική καταπόνηση δεν ήταν τόσο έντονη. Αναφέρουν επίσης, ότι η τιμή του δείκτη micronaire ήταν σε γενικές γραμμές χαμηλότερη στις επεμβάσεις που παρατηρήθηκε καθυστέρηση στην ωρίμανση. Ωστόσο, σε υψηλά επίπεδα καταπόνησης, παρατηρήθηκε τάση μείωσης των τιμών του ανωτέρω χαρακτηριστικού παρόλο που η ωρίμανση δεν καθυστέρησε. Σύμφωνα με τον Hake *et al.* (1996), η ποικιλία είναι ο κυρίαρχος παράγοντας που ελέγχει το μήκος και την αντοχή της ίνας του βαμβακιού. Ωστόσο οι ακραίες θερμοκρασίες, η υδατική καταπόνηση και η έλλειψη καλίου, είναι δυνατόν να μειώσουν τις τιμές των ανωτέρω ποιοτικών χαρακτηριστικών.

Ο Booker *et al.* (2006), διαπίστωσαν ότι η επέμβαση που αρδεύτηκε με το 90% της εξατμισοδιαπνοής είχε χαμηλότερες τιμές του δείκτη micronaire σε σχέση με τις επεμβάσεις που αρδεύτηκαν με το 75% και το 60% της εξατμισοδιαπνοής. Αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν για την αντοχή της ίνας. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές στην επέμβαση που αρδεύτηκε με το 60% της εξατμισοδιαπνοής, ακολούθησε η επέμβαση που αρδεύτηκε με το 75%, ενώ τις χαμηλότερες τιμές εμφάνισε η μεταχείριση που αρδεύτηκε με το 90% της εξατμισοδιαπνοής. Στην παρούσα διατριβή δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων.

Ο Dagdelen *et al.*, (2009), διαπίστωσαν ότι το μήκος της ίνας επηρεάζεται αρνητικά από την ελλειμματική άρδευση. Η επίδραση του υδατικού ελλείμματος στο μήκος της ίνας εξαρτάται από τη διάρκεια, την ένταση και το χρονικό σημείο εφαρμογής της υδατικής καταπόνησης. Όταν αυτή εφαρμοστεί κατά τα πρώτα στάδια της άνθισης δεν επηρεάζει το μήκος της ίνας, ενώ αντίθετα όταν εφαρμοστεί κατά τη διάρκεια της επιμήκυνσης της ίνας, τότε επηρεάζει το τελικό της μήκος, λόγω της μηχανικής και φυσιολογικής επίδρασης στη διόγκωση των κυττάρων. Οι Hearn (1994), Lascano και Hicks (1999), Ertek και Kanber (2002), Pettigrew (2004), Ritchie *et al.* (2004), και ο Balkcom *et al.* (2006), συμφωνούν ότι με την αύξηση της ποσότητας του νερού άρδευσης, αυξάνεται και το μήκος της ίνας. Όσον αφορά στην αντοχή της ίνας, παρουσίασε υψηλότερες τιμές στη επέμβαση που αρδεύτηκε πλήρως (Dagdelen *et al.*, 2009). Σύμφωνα πάντως με τον May (1999), το παραπάνω χαρακτηριστικό ελέγχεται γονιδιακά και πολύ λίγο επηρεάζεται από το περιβάλλον. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και ο Pettigrew (2004), σύμφωνα με τον οποίο η άρδευση δεν είχε καμία επίδραση στην αντοχή της ίνας, γεγονός που προκύπτει και από τα δεδομένα της παρούσας μελέτης. Οι Johnson *et al.* (2002) βρήκαν ότι η αντοχή της ίνας συσχετίζεται θετικά με την ποσότητα του νερού άρδευσης, ενώ αντίθετα η υπερβολική άρδευση μειώνει το μήκος της ίνας.

Αντικρουόμενα συμπεράσματα υπάρχουν και για τις τιμές του δείκτη micronaire. Έτσι οι Ramey (1986) και Pettigrew (2004) βρήκαν ότι οι τιμές του δείκτη μειώνονται με την υδατική καταπόνηση, ενώ οι Bradow και Davidonis (2000) και ο McWilliams (2004) οδηγήθηκαν στο αντίθετο συμπέρασμα. Πάντως κοινό συμπέρασμα είναι ότι η επίδραση της ελλειμματικής άρδευσης στην λεπτότητα της ίνας, εξαρτάται από το στάδιο, κατά το οποίο θα εφαρμοστεί η υδατική καταπόνηση.

#### 4.7. Φυσιολογικές παράμετροι

Όσον αφορά στο υδατικό δυναμικό των φύλλων των φυτών, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις. Η έντονη διαφοροποίηση άρχισε μετά τις 80 Η.Μ.Σ. Οι υψηλότερες τιμές υδατικού δυναμικού παρατηρήθηκαν, όπως αναμενόταν, στην επέμβαση της πλήρους άρδευσης, ακολούθως στο μεσαίο επίπεδο ελλειμματικής άρδευσης, ενώ οι χαμηλότερες τιμές βρέθηκαν στο επίπεδο της έντονης ελλειμματικής άρδευσης.

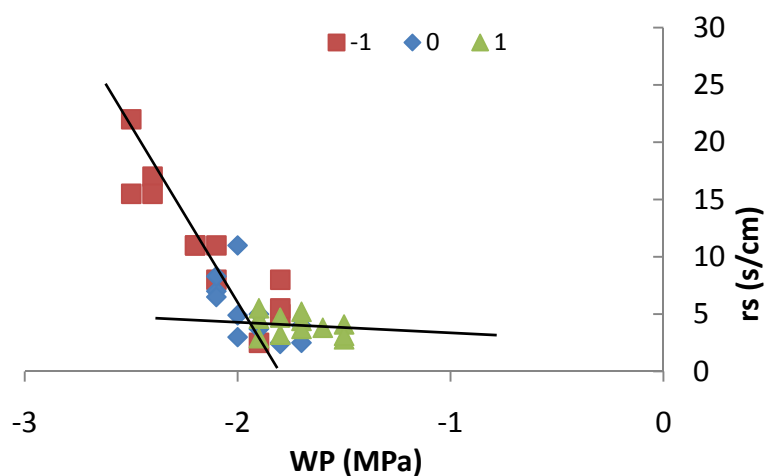
Δύο απαραίτητες διαδικασίες για την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα είναι η φωτοσύνθεση και η μεταφορά θρεπτικών στοιχείων. Οι δύο αυτές διαδικασίες είναι απαραίτητες για το σχηματισμό και τη διανομή οσμωτικά ενεργών διαλυτών ουσιών. Στα περισσότερα φυτά η υδατική καταπόνηση μειώνει τη φωτοσύνθεση (Boyer, 1976) και την κίνηση των προϊόντων της φωτοσύνθεσης από τα φύλλα (Munns, και Pearson, 1974).

Το βαμβάκι παρουσιάζει περίπλοκες αντιδράσεις στην ελλειμματική άρδευση, κυρίως εξαιτίας του εκτεταμένου του ριζικού συστήματος και της ικανότητάς του να διατηρεί το υδατικό του δυναμικό σε χαμηλά επίπεδα (Kirda *et al*, 1999a). Οι Thomas *et al.* (1976) βρήκαν, ότι φυτά που υπέστησαν ήπια υδατική καταπόνηση κατά τη βλαστική περίοδο, έδειξαν στη συνέχεια του βιολογικού τους κύκλου μεγαλύτερη αντοχή στο υδατικό έλλειμμα. Οι Grimes και Dickens (1977) ανέφεραν ότι τόσο οι πολύ πρώιμες, όσο και οι πολύ όψιμες αρδεύσεις, μείωσαν της αποδόσεις του βαμβακιού. Ωστόσο οι Grimes και Yamada, (1982) παρατήρησαν ότι όταν η υδατική καταπόνηση κατά τη βλαστική περίοδο είναι τέτοια που να μειώνει το υδατικό δυναμικό κάτω από μια κρίσιμη τιμή των  $-1,6$  MPa, επηρεάζει αντίστροφα την απόδοση.

Ο Pettigrew (2004), αναφέρει ότι μελέτησε τις υδατικές σχέσεις στα φύλλα σε προχωρημένο στάδιο της άνθισης και διαπίστωσε ότι αυτές διαφέρουν ανάλογα με το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας. Βρήκε ότι οι τιμές του υδατικού δυναμικού το απόγευμα, ήταν κατά 36% χαμηλότερες στα φύλλα των ξηρικών μεταχειρίσεων, σε σχέση με τις αρδευόμενες. Λόγω του ότι η εξέλιξη της υδατικής καταπόνησης ήταν βραδεία, τα φύλλα των ξηρικών φυτών ήταν ικανά να προσαρμοστούν, μέσω της οσμωρύθμισης. Αυτή η προσαρμογή, αναφέρει ο συγγραφέας, σημαίνει ότι παρά τη διαφορά στο υδατικό δυναμικό, τα καταπονημένα φυτά ήταν ικανά να διατηρήσουν παρόμοια πίεση σπαργής με τα αρδευόμενα.

Οι Jordan και Ritchie (1971), αναφέρουν ότι τα στομάτια φυτών που αναπτύχθηκαν σε θάλαμο έκλεισαν όταν το υδατικό δυναμικό έφτασε τα  $-1,6$  MPa, αλλά η αντίσταση στοματίων σε φυτά που προηγουμένως υπέστησαν υδατική καταπόνηση, σε συνθήκες αγρού έδειξε ότι τα στομάτια παρέμειναν ανοιχτά ακόμη και όταν το υδατικό δυναμικό έπεσε στα  $-3$  MPa. Οι Jordan *et al.* (1975), παρατήρησαν ότι τα στομάτια κλείνουν πρώτα στα γηρασμένα φύλλα. Τα στομάτια στην άνω επιδερμίδα ήταν πιο ευαίσθητα σε χαμηλότερες τιμές του υδατικού δυναμικού σε σχέση με αυτά της κάτω επιδερμίδας.

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 4.4) φαίνεται η σχέση μεταξύ WP και της αντίστασης στοματίων ( $r_s$ ) για το τρίτο πειραματικό έτος μία ημέρα πριν (-1), κατά τη διάρκεια (0) και μία ημέρα μετά (+1) την άρδευση. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχει πολύ στενή συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει δύο ομάδες τιμών για τα δύο μεγέθη. Φαίνεται ότι υπάρχει μια οριακή τιμή του υδατικού δυναμικού (-2 MPa) μέχρι την οποία τα φυτά του βαμβακιού διατηρούν ανοιχτά τα στοματίά τους. Σε χαμηλότερες τιμές υδατικού δυναμικού, παρατηρήθηκε απότομο κλείσιμο των στοματίων, καθώς οι τιμές της αντίστασης αυξήθηκαν με μεγάλο ρυθμό.



Εικ. 4.4. Η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ WP και της αντίστασης στοματίων ( $r_s$ ) για το τρίτο πειραματικό έτος μία ημέρα πριν (-1), κατά τη διάρκεια (0) και μία ημέρα μετά (+1) την άρδευση.

Σύμφωνα με τους Hitron και Zur (1990), οι κρίσιμες τιμές του υδατικού δυναμικού των φύλλων του βαμβακιού πέρα από τις οποίες παρατηρήθηκε κλείσιμο των στοματίων προσδιορίζονται από -1,3 έως -2 MPa. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι McMichael και Hesketh (1982), οι οποίοι αναφέρουν ότι η αντίσταση στοματίων της άνω επιφάνειας των φύλλων αυξάνεται σημαντικά μετά τα -2 MPa, ενώ της κάτω μετά τα -2,5 MPa. Οι Jordan και Ritchie (1971), αναφέρουν ότι αυτή η κρίσιμη τιμή για φυτά που αναπτύχθηκαν σε θερμοκήπιο ήταν -1,7 MPa, ενώ σε πειράματα αγρού, όπου τα φυτά δέχθηκαν σταδιακή υδατική καταπόνηση, τα στοματίδια παρέμειναν ανοιχτά, ακόμα και όταν το υδατικό δυναμικό έφτασε στα -2,7 MPa.

Το βαμβάκι και το σόργο που έχουν αναπτυχθεί σε συνθήκες αγρού, είναι καλά παραδείγματα φυτών που αναπτύσσουν προσαρμοστικούς μηχανισμούς, προκειμένου να ανταποκριθούν σε συνθήκες έλλειψης νερού (Hsiao *et al.*, 1976, Cutler και Rains 1977, Fereres *et al.*, 1978). Γενικά πάντως, το βαμβάκι ανταποκρίνεται καλά στις περιόδους ξηρασίας και ανάμεσα στις αρδεύσεις μειώνοντας τη βλαστική του ανάπτυξη (Stockton *et al.*, 1961, Longenecker *et al.*, 1968).

Από πολλούς συγγραφείς έχουν αναφερθεί μεταβολές στα επίπεδα του αμπισικού οξέος σε φυτά που έχουν υποστεί υδατική καταπόνηση (Beardsell *et al.*, 1974). Πολλοί ερευνητές συσχετίζουν τις μεταβολές αυτές με αλλαγές στη λειτουργία των στοματίων. Έχει αναφερθεί ότι υψηλά επίπεδα ABA προκαλούν κλείσιμο των στοματίων κάτω από καταπόνηση και μάλιστα παρεμποδίζουν το άμεσο άνοιγμά τους και την κανονική λειτουργία τους, μετά το πέρας της καταπόνησης (Boussiba και Richmond, 1976). Κάποιοι ερευνητές συσχετίζουν την παραπάνω συμπεριφορά με γονότυπους ανθεκτικούς στην ξηρασία και πιθανολογούν ότι το ABA είναι μέρος ενός ευρύτερου προστατευτικού μηχανισμού απέναντι στην έλλειψη νερού (Laarque-Saavedra and Wain, 1976).

Όσον αφορά στην αντίσταση των στοματίων, παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην επέμβαση της πλήρους άρδευσης και του δευτέρου επιπέδου ελλειμματικής άρδευσης. Οι διαφορές πάντως έγιναν εμφανείς μετά τις 9:00 π.μ., καθώς νωρίτερα το υδατικό δυναμικό ακόμα και των καταπονημένων φυτών είναι τέτοιο που επιτρέπει την ομαλή λειτουργία των στοματίων. Ο Pettigrew (2004), βρήκε ότι τα φυτά βαμβακιού που αναπτύχθηκαν υπό συνθήκες ξηρασίας παρουσίασαν αυξημένο ρυθμό φωτοσύνθεσης κατά τις πρωινές ώρες, όταν το υδατικό δυναμικό των φυτών ήταν ακόμη σε ικανοποιητικά επίπεδα. Κατά την εξέλιξη της ημέρας καθώς οι ανάγκες εξατμισοδιαπνοής υπερβαίνουν την ικανότητα αναπλήρωσης των υδατικών ελλειμμάτων από το φυτό και το έδαφος, η υδατική κατάσταση του φυτού επιδεινώνεται, με αποτέλεσμα η μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας να είναι εμφανής στα ξηρικά φυτά κατά τις μεσημβρινές ώρες.

Σύμφωνα με τον Ackerson (1979), επαναλαμβανόμενοι κύκλοι υδατικής καταπόνησης «κατεβάζουν» το όριο του υδατικού δυναμικού που απαιτείται για το κλείσιμο των στοματίων. Πιο συγκεκριμένα σε φυτά που δεν καταπονήθηκαν τα στομάτια των νεαρών φύλλων άρχισαν να κλείνουν, όταν το υδατικό δυναμικό έφτασε τα -1,1 MPa. Παρόλαυτα τα στομάτια των φυτών απεκατέστησαν την κανονική τους λειτουργία για τέσσερις τουλάχιστον

ημέρες μετά από τρεις και έξι κύκλους υδατικής καταπόνησης, αρχίζοντας να κλείνουν στα -1,2 και -1,5 MPa αντίστοιχα. Επιπροσθέτως παρατηρήθηκε ότι τα στομάτια των φυτών που υπεβλήθησαν σε έξι κύκλους καταπόνησης δεν έκλεισαν εντελώς, ακόμη και όταν το υδατικό δυναμικό μειώθηκε σε -2,4 MPa. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και στα πιο ώριμα φύλλα, χωρίς όμως να είναι τόσο έντονη η ανταπόκριση των στοματίων στην καταπόνηση. Έτσι, το κλείσιμο των στοματίων ήταν εμφανές, ακόμη και στην περίπτωση κατά την οποία τα φυτά υπεβλήθησαν σε έξι κύκλους υδατικής καταπόνησης.

#### 4.8. Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE)

Ο δείκτης έλαβε τις μικρότερες τιμές για την επέμβαση της πλήρους άρδευσης και τις μεγαλύτερες τιμές για την επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε η μικρότερη ποσότητα νερού, κατά το πρώτο έτος. Στο δεύτερο και τρίτο έτος δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων, γεγονός που δείχνει ότι η μείωση της ποσότητας του νερού άρδευσης οδήγησε σε ανάλογη μείωση των αποδόσεων. Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων η τρίτη πειραματική χρονιά χαρακτηρίστηκε από υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία, με αποτέλεσμα η μείωση του νερού άρδευσης να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των αποδόσεων. Ωστόσο οι τιμές του δείκτη είναι από τις υψηλότερες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία και κυμαίνονται από 1,54 kg/m<sup>3</sup> (πρώτο έτος, DI1) έως 0,49 kg/m<sup>3</sup> (δεύτερο έτος, FI).

Για το βαμβάκι, τόσο η χρήση του νερού, όσο και η αποτελεσματικότητα της χρήσης του, επηρεάζονται από την μέθοδο άρδευσης και την ποσότητα του νερού. Σε πολλές μελέτες αναφέρεται ότι η στάγδην άρδευση αύξησε την απόδοση σε ίνα, καθώς και το δείκτη WUE κατά πολύ, σε σχέση με την άρδευση με καταιονισμό ή με κατάκλυση (Smith *et al.*, 1991, Bordovsky, 2001, Janat και Somi, 2002, Kamilov *et al.*, (2003). Ο Colaizzi *et al.*, (2005), βρήκε ότι η στάγδην άρδευση έδωσε σημαντικά μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με τον καταιονισμό. Οι τιμές WUE κυμάνθηκαν από 0,152 έως 0,194 kg/m<sup>3</sup> και δεν διέφεραν σημαντικά ανάμεσα στην επέμβαση της πλήρους άρδευσης και της ελλειμματικής που χρησιμοποιήθηκε το 75% του νερού. Οι Howell *et al.*, (2004), σε πείραμα άρδευσης βαμβακιού που διενέργησαν στο Τέξας, βρήκε σημαντικά μεγαλύτερες τιμές WUE για την επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε το 50% του νερού που χρησιμοποιήθηκε στην πλήρη άρδευση. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές κυμάνθηκαν από 0,144 έως 0,219 kg/m<sup>3</sup>.



Ο Grismer (2002), αναφέρει ότι σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην Καλιφόρνια οι τιμές WUE ήταν 0.19-0,21 kg/m<sup>3</sup>, παρόμοιες με τα πειράματα που έγιναν στο Τέξας, αν και η περίοδος ανάπτυξης εκεί, είναι αρκετά μικρότερη. Οι Ayars *et al.*, (1999) βρήκε WUE κάπως μεγαλύτερο (0,30-0,33 kg/m<sup>3</sup>) στη στάγδην άρδευση σε σχέση με την κατάκλυση (0,23-0,32 kg/m<sup>3</sup>). Σε παρόμοιες τιμές αναφέρεται στη μελέτη του και ο Grismer (2002).

Η εφαρμογή μεσαίου επιπέδου ελλειμματικής άρδευσης (78% ET), οδήγησε σε αύξηση του WUE και πρωίμηση της φυτείας (White και Raine, 2004). Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγει και οι (Yazar *et al.*, 2002). Στα φυτά που εφαρμόστηκε ελλειμματική άρδευση παρατηρήθηκε η τάση για μικρότερη απόπτωση των καψών. Το γεγονός αυτό συνδέεται με τη διαθεσιμότητα και τις απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία και με το γεγονός ότι το φυτό δίνει προτεραιότητα στην θρέψη των αναπαραγωγικών του οργάνων (Hearn, 1994). Στην παρούσα μελέτη φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη τάση για απόπτωση των καψών στις επεμβάσεις της ελλειμματικής άρδευσης μόνον κατά το τρίτο έτος. Αντίθετα, κατά το πρώτο ήταν μεγαλύτερη η τάση για απόπτωση καρπών στην επέμβαση της πλήρους άρδευσης σε σχέση με το δεύτερο επίπεδο ελλειμματικής. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως συνδέεται με την περίσσεια εδαφικής υγρασίας. Τέλος κατά το δεύτερο έτος η απόπτωση καψών ακολουθεί τον ίδιο περίπου ρυθμό σε όλες τις επεμβάσεις.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγελίδης, Σ. 2000. Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Περιβάλλον. Πανεπιστημιακές σημειώσεις Γ.Π.Α. Αθήνα.

Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ. 1995. Νέα δεδομένα στην Ελληνική βαμβακοκαλλιέργεια. *Γεωργική Τεχνολογία*: **1**, 104-110.

Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ. 2002. *Βιομηχανικά φυτά: Βαμβάκι και υπόλοιπα κλωστικά, Ελαιοδοτικά, Ζαχαρότευτλα, Καπνός*. Εκδόσεις Σταμούλη.

Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ. 2004. Αγρονομικές απόψεις και προσεγγίσεις για μία αειφόρο παραγωγή βαμβακιού. *Γεωτεχνικά*, **403**, 16-26.

ΕΛ.ΣΤΑΤ. (Ελληνική Στατιστική Αρχή). 2006. Εκτάσεις καλλιεργειών και όσες από αυτές ποτίστηκαν, κατά κατηγορίες, με διάκριση ομάδων πεδινών, ημιορεινών και ορεινών κοινοτήτων.

Καραμπουρνιώτης, Γ. 2003. *Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών*. σσ. 274. Εκδόσεις Έμβρυο και Γ. Καραμπουρνιώτης, Αθήνα.

Μαρέτης Κ. 1981. *Οικολογία βάμβακος*, Εγνατία, σσ. 244-246.

Μιχελάκης, Ν. 1992. Κατάλληλη αρδευτική αγωγή για αντιμετώπιση της λειψυδρίας. *Γεωργική Τεχνολογία*, **3**, 54-59.

Μυγδάκος, Ε. 1994. Η Βαμβακοκαλλιέργεια στο Νομό Καρδίτσας. *Πρακτικά Επιστημονικής Ημερίδας: Μέρες Βαμβακιού 94*, σσ. 11-40, Καρδίτσα.

Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε., 2004

Οργανισμός Βάμβακος, Διεύθυνση Παραγωγής, 2001.

Πανώρας, Α. Γ. 1996. Άρδευση του Βαμβακιού. *Γεωργία – Κτηνοτροφία*: **1**, 46-49.

Πολυχρονίδης, Μ. 2004. Επίδραση της εδαφικής υγρασίας και της υδρολίπανσης, με στάγδην άρδευση, στην αύξηση και ανάπτυξη του βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L.). Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος.

Σιτράς, Θ. Α. 1994. Η άρδευση του βαμβακιού. Πρακτικά Συνεδρίου *Το Ελληνικό βαμβάκι στην Ευρώπη*, σσ. 77-90, Λάρισα, 13-14 Μαΐου. Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος,

Σφήκας, Α. Γ. 1988. *Ειδική Γεωργία II. Βιομηχανικά φυτά*. σσ. 3-39, Θεσσαλονίκη.

Τόλης, Ι. 1986. *Βαμβάκι εχθροί ασθένειες ζιζάνια*.

Χλίχλιας, Αγγ., Ε. Κατσαμπή-Ζημάκα 1968. *Το βαμβάκι στην Ελλάδα*, σσ. 323, Θεσσαλονίκη.

Χριστίδης, Β. 1965. *Το βαμβάκι*. Θεσσαλονίκη.

## ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ackerson, R.C., D.R. Krieg, F.J.M. Sung 1979. Osmoregulation and leaf conductance of field grown sorghum genotypes. *Crop. Sci.* **20**, 10-14
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrig. and Drain. Paper* **56**. FAO, Rome.
- Arkin, G.F., W.D. Rosenthal and W.R. Jordan 1983. A sorghum leaf area model. *ASAE Tech Paper* 83-2098. Am. Soc. Agric. Eng., St Joseph, Mich.
- Ayars, J.E., C.J. Phene, R.B. Hutmacher, K.R. Davis, R.A. Schoneman, S.S. Vail and R.M. Mead 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agric. Water Manage.* **42**, 1-27.
- Balkcom, K.S., D.W. Reeves, J.N. Shaw, C.H. Burmester and L.M. Curtis 2006. Cotton yield and fiber quality from irrigated tillage systems in the Tennessee Valley. *Agron. J.* **98**, 596-602.
- Ball, R.A., D.M. Oosterhuis, and A. Mauromoustakos 1994. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. *Agron. J.* **86**, 788-795.
- Barnett, N.M. and A.W. Naylor 1966. Amino acid and protein metabolism in Bermuda grass during water stress. *Plant Physiol.* **41**, 1222-1230
- Barth, H.K. 1999. Sustainable and effective irrigation through a new subsoil irrigation system. *Agric. Water. Manage.* **40**, 283-290.
- Beardsell, M.F. and D. Cohen 1974. Endogenous abscisic acid-plant water stress relationships under controlled environmental conditions. In: R. L. Bieleski, A. R. Ferguson, and M.M. Cresswell, eds., *Mechanisms of Regulation of Plant Growth*, pp. 411 - 415, Bulletin 12. Roy. Soc. N.Z., Wellington.
- Ben Nouna, B., N. Katerji and M. Mastrorilli 2000. Using the CERES-Maize model in a semi-arid Mediterranean environment. Evaluation of model performance. *Eur. J. Agron.* **13**, 309-322.
- Blum, A. 1989. Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Sci.* **29**, 230-233
- Booker, J.D., J.R. Bordovsky, J. Lascano and E. Segarra 2006. Variable rate irrigation on cotton lint yield and fiber quality, *Beltwide Cotton Conferences* pp. 1768-1776, San Antonio, Texas, January 3-6.
- Bordovsky, J.P. 2001. Comparison of spray, LEPA, and subsurface drip irrigated cotton, *Proceedings of the Beltwide Cotton Conference*, **1**, 301-304.
- Boussiba, S. and A. E. Richmond 1976. Abscisic acid and the after-effect of stress in tobacco plants. *Planta*, **129**, 217-19.

- Boyer, J.S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. *Plant Physiol.* **46**, 236–239.
- Boyer, J.S. and B.L. Bowen 1970. Inhibition of oxygen evolution in chloroplasts isolated from leaves with low leaf water potentials. *Plant Physiol.* **45**, 612-615.
- Boyer, J.S. 1971. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. *Plant Physiol.* **47**, 816-820.
- Boyer, J. S. and H. G. McPherson 1975. Physiology of water deficits in cereal crops. *Adv. Agron.* **27**, 1-23.
- Boyer, J.S. 1996. Advances in drought tolerance in plants. *Adv. Agron.* **56**, 187–218.
- Bradow, J.M. and G.H. Davidonis 2000. Quantitation of fiber quality and the cotton production-processing interface—a physiologist's perspective. *J. Cotton Sci.* **4**, 34–64.
- Bressan, R.A. 1998. Stress physiology. In Taiz and E. Zeiger eds, *Plant physiology* (2<sup>nd</sup> edn), pp. 725-734, Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA.
- Brevedan, E.R. and H.F. Hodges 1973. Effects of moisture deficits on <sup>14</sup>C translocation in corn (*Zea mays* L.). *Plant Physiol.* **52**, 436–439.
- Brix, H.B. 1962. The effect of water stress on the rates of photosynthesis and respiration in tomato plants and loblolly pine seedlings. *Plant Physiol.* **15**, 10-20.
- Buchanan, B.B., W. Gruissen and R.L. Jones 2000. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. In *American Society of Plant Physiology*. Rockville, ML.
- Bucks, D. A., S. G. Allen, R. L. Roth and B. R. Gardner 1988. Short staple cotton under micro and level-basin irrigation methods. *Irrig. Sci.* **9**, 161–176.
- Burba, G.G. and S.B. Verma 2005. Seasonal and interannual variability in evapotranspiration of native tallgrass prairie and cultivated wheat ecosystems. *Agric. and Forest Meteorol.* **135**, 190-201.
- Chen, D., B. Kessler and S.P. Monselise 1964. *Plant Physiol.* **39**, 379-386.
- Clements, A.S. 1964. Interaction of factors affecting yield. *A. Rev. Pl. Physiol.* **15**, 409 - 442.
- Colaizzi, P.D., S.R. Evett and T.A. Howell 2005. Cotton production with SDI, LEPA, and spray irrigation in a thermally limited climate, *Conf. Proc. Emerging Irrigation Technology* pp. 15–30, The Irrigation Association, Phoenix, Arizona, November 6–8.
- Collinson, S.T., E.J. Clawson, S.N. Azam-Ali and C.R. Black 1997. Effects of soil moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.). *J. Exp. Bot.* **48**, 877–884.
- Cosgrove, D.J. 1998. Relaxation in a high-stress environment: the molecular bases of extensible cell wall and cell enlargement. *Plant Cell* **9**, 1031-1041.

- Constable, G.A. and H.M. Rawson 1982. Distribution of  $^{14}\text{C}$  label from cotton leaves: consequences of changed water and nitrogen status. *Aust. J. Plant Physiol.* **9**, 735–747.
- Cowan, I.R. 1982. Regulation of water use in relation to carbon gain in higher plants. In: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler, eds, *Physiological Plant Ecology. II. Water Relations and Carbon Assimilation. Encyclopedia of Plant Physiology* vol. **12B**, pp. 589–613, Springer, Berlin.
- Crafts, A.S. 1968. Water Deficits and physiological processes. In T.T. Kozlowski ed. *Water Deficits and Plant Growth*, pp. 85-133, Academic Press. Inc., New York,
- Creelman, R.A., H.S. Mason, R.J. Bensen, J.S. Boyer, and J.E. Mullet 1990. Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot versus root growth in soybean seedlings. *Plant Physiol.* **92**, 205–214.
- Cutler, J.M. and D.W. Rains 1977. Effects of irrigation history on responses of cotton to subsequent water stress. *Crop Sci.* **17**, 329–335.
- Dagdelen, N., H. Basal, E. Yilmaz, T. Gurbuz and S. Akcay 2009. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. *Agric. Water Manage.* **96**, 111–120
- Danalatos, N.G. 1993. Quantified analysis of select land use systems in the Larissa area, Greece. PhD Thesis, 370 pp, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands. Wageningen,.
- De Wit, C.T. 1958. Transpiration and Crop Yields. Versl. Landbouwk. Onderz. 64.6, Pudoc, Wageningen, pp. 88
- Deng, X.P., L. Shan, H.P. Zhang and N.C. Turner 2006. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. *Agric. Water Manage.* **80**, 23–40.
- Denmead, O.T. and R.H. Shaw 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.* **54**, 385-389.
- DeTar, W.R. 2008. Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation regimes on sandy soil. *Agric. Water Manage.* **95**, 69-76.
- Dippenaar, M.C., C. Barnard and M.M. Pretorius 1994. Yield potential of cotton under drip irrigation in South Africa. *Proceed. of the World Cotton Research Conference-1*, pp. 53-56, February 14-17, Brisbane.
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrig. Drain. Paper*, **24**, 144 FAO, Rome
- Doorenbos, J. and A.H. Kassam 1979. Yield response to water. *Irrig. Drain. Paper* **33**. FAO, Rome.

- Ehleringer, J. 1980. Leaf morphology and reflectance in relation to water and temperature stress. In Turner N, Kramer PJ eds, *Adaptations of Plants to Water and High Temperature Stress*, pp. 295-308, Wiley-Interscience, New York.
- Ellis, F.B., J.G. Elliot, B.T. Barns and K.R. Howse 1977. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. II. Spring barley on a sandy loam soil; soil physical conditions and root growth. *J. Agric. Sci.* **89**, 631–642.
- El-Nadi, A.H. 1969. Efficiency of water use by irrigated wheat in Sudan. *J. Agric. Sci. Camb.* **73**, 261–266
- Elston, J., A.J. Karamanos, A.M. Kassam and R.M. Wadsworth 1976. The water relations of the field bean crop. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* **273**, 581-591.
- English, M.J., J.T. Musick and V.V. Murty 1990. Deficit irrigation. In: G.J. Hoffman, T.A. Towell & K.H. Solomon, eds, *Management of farm irrigation systems*, St. Joseph, Michigan, United States of America, ASAE.
- Ertek, A. and R. Kanber 2002. Effects of different irrigation programs on the quality properties of drip-irrigated cotton. *KSU J. Sci. Eng.* **5**, 118–130.
- Ertek, A. and R. Kanber 2003. Effects of different drip irrigation programs on boll number and shedding percentage and yield of cotton. *Agric. Water Manage.* **60**, 1–11.
- Falkenberg, N.R., P. Giovanni, J.T. Cothren, D.I. Leskovar and C.M. Rush 2007. Remote sensing of biotic and abiotic stress for irrigation management of cotton. *Agric. Water Manage.* **87**, 23–31
- Farquhar, G.D. and T.D. Sharkey 1982. Stomatal conductance and photosynthesis, *Annu. Rev. Plant Physiol.* **33**, 317–345.
- Feddes, R.A. 1985. Crop water use and dry matter production: state of the art, *Les besoins en eau des cultures. Conférence internationale* pp. 221–234, Paris, September 11–14.
- Fereres, E., E. Acevedo, D.W. Henderson and T.C. Hsiao. 1978. Seasonal changes in water potential and turgor maintenance in sorghum and maize under water stress. *Plant Physiol.* **44**, 261-267.
- Fereres, E. and D.A. Goldhammer 1990. Deciduous fruit and nut trees. In B.A. Stewart and D.R. Nielsen eds, *Irrigation of Agricultural Crops*, pp. 987-1017, Agronomy No. 30. Am. Soc. Agron.
- Fereres, E. and M.A. Soriano 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J. Exp. Bot.* **58**, 147–159.
- Finch-Savage, W.E. and J. Elston 1982: The effect of temperature and water stress on the timing of leaf death in *Vicia faba*. *Ann. Appl. Biol.* **100**, 567-579.
- Fischer, R.A. and R. Maurer 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* **29**, 897–912.

- Gerik, T.J., K.L. Faver, P.M. Thaxton and K.M. El-Zik 1996. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water use, and yield. *Crop Sci.* **36**, 914–921.
- Gerik, T.J., B.S. Jackson, C.O Stockle. and W.D. Rosenthal 1994. Plant nitrogen status and boll load of cotton. *Agron. J.* **86**, 514–518.
- Goren, M. 1994. Drip irrigation. Πρακτικά Συνεδρίου *Το Ελληνικό Βαμβάκι στην Ευρώπη*, σσ. 97-100, Λάρισα, 13-14 Μαΐου, Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος,.
- Goudriaan, J. 1982. Some techniques in dynamic simulation. In: *Penning de Vries FWT*, van Laar HH, eds., pp. 66-84, *Simulation of plant growth and crop production*. Simulation Monographs. Wageningen (Netherlands): Pudoc.
- Grimes, D.W. 1994. Efficient irrigation of Pima cotton, *Proceedings of 1994 Beltwide Cotton Conferences*, vol. **1**, pp. 90–93, National Cotton Council of America, Memphis, TN
- Grimes, D.W., H. Yamada and W.L. Dickens 1969. Functions for cotton (*Gossypium hirsutum* L.) production from irrigation and nitrogen fertilization variables. I. Yield and evapotranspiration. *Agron. J.* **61**, 769–773.
- Grimes, D.W. and W.L. Dickens 1977. Irrigation water management of cotton for a planting configuration and variety conducive to short-season development. *Water Sci. Engin. Papers* 7003, pp. 74, Univ. of Calif., Davis.
- Grimes, D.W. and H. Yamada 1982. Relation of cotton growth and yield to minimum leaf water potential. *Crop Sci.* **22**, 134-139.
- Grismer, M.E. 2002. Regional cotton lint yield, ETc and water value in Arizona and California. *Agric. Water Manage.* **54**, 227–242.
- Hake, S. J., K. D. Hake, and T. A. Kerby 1996. Prebloom decisions. In S. J. Hake, T. A. Kerby, and K. D. Hake, eds, pp. 29–33, 335–355, *Cotton Production Manual*, Oakland, CA, University of California.
- Hale, M.G. and D.M. Orcutt 1987. The physiology of plants under stress. A Wiley Interscience publication, John Wiley and sons Inc., New York.
- Hamdy, A. and N. Katerji 2006. Water Crisis in the Arab World, in IAM-Bari ed, pp. 60 Analysis and Solutions.
- Hamdy, A. and C. Lacirignola 1999. Mediterranean water resources: major challenges towards the 21st century. Centre International de Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes; Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Bari, Italy.
- Hearn, A.B. 1994. OZCOT: a simulation model for cotton crop management. *Agricultural Systems* **44**, 257–299.
- Heichel, G. H. 1971. Stomatal movements, frequencies, and resistances in two maize varieties differing in photosynthetic capacity. *J. Exp. Bot.* **22**, 644-9.

- Hirasawa, T., K. Wakabayashi, S. Touya and K. Ishihara 1995. Stomata responses to water deficits and abscisic acid in leaves of sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) grown under different conditions. *Plant Cell Physiol.* **36**, 955–964.
- Hitron, O. and B. Zur 1990. Differences in stomatal response within a cotton canopy. *Biotronics* **19**, 39 – 48.
- Hook, J.E. 1994. Using crop models to plan water withdrawals for irrigation in drought years. *Agric. Sys.* **45**, 271–289.
- Howell, T.A., S.R. Evett, J.A. Tolk and A.D. Schneider 2004. Evapotranspiration of full-, deficit-irrigated, and dryland cotton on the Northern Texas High Plains. *J. Irrig. Drainage Eng. (ASCE)* **130**, 277–285.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **24**, 519–570.
- Hsiao, T.C., E. Acevedo, E. Fereres and D.W. Henderson 1976. Stress metabolism - Water stress, growth, and osmotic adjustment. *Trans. R. Soc. Lond.* **273**, 479–500.
- Hsiao, T.C. 1993. Effects of drought and elevated CO<sub>2</sub> on plant water use efficiency and productivity. In: M.B. Jackson and C.R. Black, eds, *Global Environment Change: Interacting Stresses on Plants in a Changing Climate*, pp. 435–465, NATO ASI Series I, Springer, Berlin.
- Hsiao, T., P. Steduto and E. Fereres 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrig. Sci.* **25**, 209–231.
- Huang, J.W., M.J. Blaylock, Y. Kapulnik, and B.D. Ensley 1998. Phytoremediation of Uranium-Contaminated Soils: role of organic acids in triggering uranium hyperaccumulation in plants. *Environ. Sci. Technol.* **32**, 2004–2008.
- ICAC (International Cotton Advisory Committee). 1996. Irrigating cotton in Israel. The ICAC Recorder International Cotton Advisory Committee. Vol. XXI No. 4. December 2003.
- ICAC (International Cotton Advisory Committee). 1996. Irrigation of cotton. The ICAC Recorder International Cotton Advisory Committee. Vol. XIV No. 2. June 1996.
- Idso, S.B., R. Reginato, D. Reicosky and J. Hatfield 1981. Determinating soil-induced plant water potential depressions in alfalfa by means of infrared thermometry. *Agron. J.* **73**, 826–830.
- Jackson, E.B. and P.A. Tilt 1968. Effects of irrigation intensity and nitrogen level on the performance of eight varieties of upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. *Agron. J.* **60**, 13–17.
- Janat, M. 2001. Irrigation Scheduling. Regional Project INT/5/144, Syrian Arab Republic. In: First Annual Co-ordination Meeting of RER/5/011. Fertigation For Improved Crop Production and Enviromental Protection. IAEA HQ, Vienna, Austria, 21-23 Febr.



- Janat, M. and G. Somi 2002. Comparative study of nitrogen fertilizer use efficiency of cotton grown under conventional and fertigation practices using N-15 methodology, *Water Balance and Fertigation for Crop Improvement in West Asia*, pp. 85–98 International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- Jara, J., C.O. Stockle and J. Kjelgaard 1998. Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea mays* L.) field. *Agric For Meteorol.* **92**, 131-145.
- Johnson, R.M., R.G. Downer, J.M. Bradow, P.J. Bauer and E.J. Sadler 2002. Variability in cotton fiber yield, fiber quality, and soil properties in a southeastern coastal plain. *Agron. J.* **94**, 1305–1316.
- Jones, H.G. 1973. Limiting factors in photosynthesis. *New Phytol.* **72**, 1089–1094.
- Jordan, W.R. 1970. Growth of cotton seedlings in relation to maximum daily plant-water potential. *Agron. J.* **62**, 699–701.
- Jordan, W.R., K.W. Brown and J.C. Thomas 1975. Leaf age as a determinant in stomatal control of water loss from cotton during water stress. *Plant Physiol.* **56**, 595–599.
- Jordan, W.R. and J.T. Ritchie 1971. Influence of soil water stress on evaporation, root absorption, and internal water status of cotton. *Plant Physiol.* **48**, 783–788.
- Kamilov, B., N. Ibragimov, Y. Esanbekov, S.R. Evett and L.K. Heng 2003. Drip irrigated cotton: irrigation scheduling study by use of soil moisture neutron probe. *Int. Water Irrig.* **1**, 38–41.
- Karam, F., L. Rafic, M. Randa, A. Daccache, O. Mounzer and Y. Rouphael 2006. Water use and lint yield response of drip irrigated cotton to length of season. *Agric. Water Manage.* **85**, 287–295.
- Karamanos, A.J. 1980. Response in plant water status to integrated values of soil metric potential calculated from soil water depletion by a field bean crop. *Australian J. Plant Physiol.* **7**, 51-66.
- Karamanos, A.J., J.B. Drossopoulos, and C.A. Niavis 1983. Free proline accumulation during development of two wheat cultivars with water stress. *J. agric. Sci.* **100**, 429-439.
- Karamanos, A.J. 1984. Ways of detecting adaptive responses of cultivated plants to drought. An agronomic approach. In N.S. Margaris, M. Arianoustaki-Fargitaki and W.C. Oechel, eds, *Being Alive on Land. Task for vegetation science*. pp. 91-101, Dr. W. Junk Publishers, The Hague.
- Karamanos, A.J. 1986. Effects of plant water status on leaf area development and yield of the *Vicia faba* crop. *Vortr. Pflanzenzucht.* **11**, 25-39.
- Karamanos, A.J. and A.Y. Papatheohari 1999. Assessment of drought resistance of crop genotypes by means of the water potential index. *Crop Sci.*, **39**, 1792–1797.

Karamanos, A., N. Dercas, P. Londra and S. Aggelides 2007. 'Agricultural water saving in Greece', Proceedings of the International Conference of WASAMED, 'Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs' Eds. Lamaddalena N., Bogliotti C., Todorovic M., Scardigno A., CIHEAM-IAMB, Vol. 3, Bari, pp 225-234.

Karamanos, A. J., G. Economou, G. Livanos and A. Papastaurou 2008. Evaluating yield responses to water stress and drought resistance mechanisms of 20 local bread and durum wheat landraces. Agricultural University of Athens. Academy of Athens Award. Monography.

Karantounias, G. and N. Dercas 1998. Problèmes de fonctionnement et de gestion les réseaux d'irrigation en Grèce. *ICID Journal*, **2**, 11-32.

Katerji, N. 1997. Les indicateurs de l'état hydrique de la plante. In: Riou, Ch., Bonhomme, R., Chassin, P., Neven, A., Papy, F. eds, L'eau dans l'espace Rural: Production végétale et qualité de l'eau. pp. 169–177, Aupelf-UREF/INRA editions.

Katerji, J N., W. van Hoorn, A. Hamdy, M. Mastrorilli and T. Oweis 2005. Salt tolerance analysis of chickpea, faba bean and durum wheat varieties. I. Chickpea and faba bean. *Agric. Water Manage.* **72**, 177–194.

Katerji, N., M. Mastrorilli and G. Rana 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: review and analysis. *Eur. J. Agron.* **28**, 493–507.

Katerji, N. and A. Perrier 1985. Détermination de la résistance globale d'un couvert végétal à la diffusion de vapeur d'eau et de ses différentes composantes. Approche théorique e vérification expérimentale sur une culture de luzerne, *Agric. Meteorol.* **34**, 105–120.

Katerji, N. and O. Bethenod 1997. Comparaison du comportement hydrique et de la capacité photosynthétique du maïs et du tournesol en condition de contrainte hydrique. Conclusions sur l'efficacité de l'eau. *Agronomie* **17**, 17–24.

Kirda, C., R. Kanber and K. Tulucu 1999. Yield response of cotton, maize, soybean, sugar beet, sunflower and wheat to deficit irrigation. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera & D.R. Nielsen, eds, *Crop yield response to deficit irrigation*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

Kirda, C., P. Moutonnet, C. Hera and D.R. Nielsen 1999. Crop yield response to deficit irrigation. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

Klepper, B., H.M. Taylor, M.G. Huck and E.L. Fiscus 1973. Water relation and growth of cotton in drying soil. *Agron. J.* **65**, 307-310.

Koukkari, W.L., C. Bingham, J.D. Hobbs and S.H. Duke 1997. In Search of a Biological Hour. *J. Plant Physiol.* **151**, 352-357.

Kramer, P.J. 1969. *Plant and Soil Relationships: A Modern Synthesis*. McGraw-Hill, Book Co: New York.

- Kramer, P.J. and J.S. Boyer 1995. *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press, San Diego.
- Krieg, D.R., and J.F.M. Sung 1986. Source-sink relationships as affected by water stress during boll development. In J.R. Mauney and J.M. Stewart eds, *Cotton physiology*, pp.73–77, The Cotton Foundation, Memphis, TN.
- Laarque-Saavedra, A. and R.L. Wain 1976. Studies on plant growth-regulating substances . XLII . Abscisic acid as a genetic character related to drought tolerance. *Ann. Appl. Biol.* **83**, 291-297
- Lascano, R.J., and S.K. Hicks 1999. Cotton lint yield and fiber quality as a function of irrigation level and termination dates in the Texas High Plains: 1996–1998.. In D.A. Richter ed, *Proc. Beltwide Cotton Conf.*, pp. 570–571, Orlando, FL. 3–7 Jan. 1999. Natl. Cotton Counc. of Am., Memphis, TN.
- Lawlor, D.W. 1995. The effects of water deficit on photosynthesis. *In: Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimation*. N. Smirnoff ed. pp. 128-160, Oxford: Bios Scientific Publishers.
- Letey, J. and A. Dinar 1986. Simulated crop-water production functions for several crops when irrigated with saline waters. *Hilgardia* **54** (1).
- Levitt, J. 1972. *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, New York.
- Lin, C.S., and M.R. Binns 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Sci.* **68**, 193–198.
- Lockhart, J.A. 1965. Cell extension. In: J. Bonner & J. Varner, eds, *Plant Biochemistry*, pp. 827-849, Academic Press, N. York.
- Longenecker, D.E. and L.J. Erie 1968. Irrigation water management. In: F.C. Elliot, M. Hoover and W.K. Porter, Jr., eds, *Advances in Production and Utilization of Quality Cotton: Principles and Practices*, pp. 321–356, Iowa State Univ. Press, Ames.
- Ludlow, M.M. and R.C. Muchow 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.* **43**, 107-153.
- Luvaha, E., G.W. Netondo and G. Ouma 2008. Effect of water deficit on the physiological and morphological characteristics of mango (*mangifera indica*) rootstock seedlings. *American Journal of Plant Physiology.* **3**, 1-15.
- Malinowski, D.P. and D.P. Beleski 2000. Adaptation of endophyte – infected cool season grasses. Mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Sci.* **40**, 923-937.
- Martin, E. 2000. Methods of determining when to irrigate. College of Agriculture and Life Sciences, The University of Arizona. Document located <http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1220/>

- Martin, D. L., E. C. Stegman and E. Fereres 1990. Irrigation scheduling principles. In G J. Hoffman and K. H. Solomon eds, *Management of Farm Irrigation Systems*, pp. 155-203, St. Joseph, Mich., ASAE.
- Mastrorilli, M., N. Katerji, G. Rana. and B. Ben Nouna 1998. Daily actual evapotranspiration measured with TDR technique in Mediterranean conditions. *Agric. Forest Meteorol.* **90**, 81–89.
- Mateos, L., J. Berengena, F. Orgaz, J. Diz and E. Fereres 1991. A comparison between drip and furrow irrigation in cotton at two levels of water supply. *Agric. Water Manage.* **19**, 313–324
- May, O.L. 1999. Genetic variation in fiber quality. In: A.S. Basra, ed., *Cotton Fibers*, pp. 183-229, Food Products Press, NY.
- McClendon, R.W., G. Hoogenboom and I. Seginer 1996. Optimal control and neural networks applied to peanut irrigation management. *Transactions of the ASAE*, **39**, 275-279.
- McCree, K.J. 1974. Changes in stomatal response characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. *Crop Sci.* **14**, 273–278.
- McMichael, B.L. and J.D. Hesketh 1982. Field investigations of the response of cotton to water deficits. *Field Crops Res.* **5**, 319–333.
- McWilliams, D. 2004. Drought Strategies for Cotton. Cooperative Extension Service Circular 582 College of Agriculture and Home Economics.
- Medrano, H., J.M. Escalona, J. Bota, J. Gulias and J. Flexas 2002. Regulation of photosynthesis of C<sub>3</sub> plants in response to progressive drought: stomatal conductances as a reference parameter. *Ann. Bot. London* **89**, 895–905.
- Monteith, J.L., and M.H. Unsworth 1990. Principles of environmental physics, 2nd ed. Edward Arnold, London, United Kingdom.
- Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **35**, 299–319.
- Munns, R. and C.J. Pearson 1974. Effect of water deficit on translocation of carbohydrate in *Solanum tuberosum*. *Aust. J. Plant Physiol.* **1**, 529-537.
- Namken, L.N., J.F. Bartholic and J.R. Runkles 1969. Monitoring cotton plant stem radius as an indication of water stress. *Agron. J.* **61**, 891-893.
- Newman, E.I. 1966. Relationship between root growth of flax. (*Linum usitatissimum*) and soil water potential. *New Phytologist* **65**, 273-283.
- Nielsen, E.T. and D.M. Orcutt 1996. *Physiology of plants under stress, abiotic factors*, pp. 486-511, John Wiley and Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York,.

- Pearcy, R.W. 1983. Physiological consequences of cellular water deficits: efficient water use in crop production. In: H.M. Taylor, W.M. Jordan and T.R. Sinclair, eds, *Limitations of Efficient Water Use in Crop Production*, pp. 277–287, Amer. Soc. Agron., Inc., Crop Sci. Soc. Amer., Inc., Soil Sci. Soc. Amer., Inc., Madison..
- Peng, S. and D.R. Krieg 1991. Single leaf and canopy Photosynthesis response to plant age in cotton. *Agron. L.* **83**, 704-708.
- Pereira, L., T. Oweis and A. Zairi 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manage.* **57**, 75-206.
- Perry, R.L., S.D. Lyda, and H.H Bowen 1983. Root distribution of four Vitis cultivars. *Plant and Soil* **71**, 63-74. The Hague.
- Pettigrew, W. T. 2004. Physiological Consequences of Moisture Deficit Stress in Cotton. *Crop Sci.* **44** 1265-1272.
- Plaut, Z., and B. Bravdo 1973. Response of carbon dioxide fixation to water stress. Parallel measurements on isolated chloroplasts and intact spinach leaves. *Plant Physiol.* **52**, 28-32.
- Plaut, Z. 1971. Inhibition of photosynthetic carbon dioxide fixation in isolated spinach chloroplast exposed to reduced osmotic potentials. *Plant Physiol.* **48**, 591-595.
- Prinz, D. 2000. Global and European Water Challenges in the 21<sup>st</sup> Century. Proceedings: *Third Inter-Regional Conference on Environment-Water. Water Resources Management in the 21<sup>st</sup> Century*, pp. 247-254. Budapest, Hungary, 1-3 June.
- Ramey, H.H. 1986. Stress influences on fiber development. In J.R. Mauney and J.McD. Stewart, eds, *Cotton Physiology*, pp. 315–359, The Cotton Foundation, Memphis, TN.
- Rana, G. and N. Katerji 2000. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *Eur. J. Agron.* **13**, 125–153.
- Rashke, K. 1976. How stomata resolve the dilemma of opposing priorities. *Phil. Trans. R. Soc. London B* **273**: 551- 60
- Raymond, M.J. and N. Smirnoff 2002. Proline metabolism and transport in maize at low water potential. *Ann. Bot.* **89**, 813–823.
- Ritchie, G.L., C.W. Bednarz, P.H. Jost and S.M. Brown 2004. Cotton growth and development. Cooperative Extension Service and the University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences. Bulletin 1252.
- Ritchie, J.T. 1983. Efficient water use in crop production: discussion on the generality of relations between biomass production and evapotranspiration. In: H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair, eds, *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*, pp. 29–44, ASA/CCSA/SCSA, Madison, WI.

- Rijtema, P.E. and G. Endrödi 1970. Calculation of production of potatoes. *Neth. J. Agric. Sci.* **18** (1), 26–36.
- Routley, D.G. 1966. Proline accumulation in wilted ladino clover leaves. *Crop Sci.* **6**, 358 - 361.
- Samaras, Y., R.A. Bressan, L.N. Csonka, M. Garcia-Rios, M. Paino D'Urzo and D. Rhodes 1995. Proline accumulation during drought and salinity. In N. Smirnoff, ed, *Environment and Plant Metabolism: Flexibility and Acclimation*, pp. 161-187, Bios Scientific Publishers, Oxford,.
- Saugier, B. and N. Katerji 1991. Some plant factors controlling evapotranspiration. *Agric. Forest Meteorol.* **54**, 263-277.
- Shideed, K., T. Oweis, M. Gabr and M. Osman 2005. Assessing On-farm Water-use Efficiency: A New Approach, pp. 86. ICARDA/ESCWA Editions.
- Simpson, G.M. 1981. *Water Stress on Plants*. Praeger Publ. Corp., New York.
- Slabbers, P.J., V. Sorbello Herrendorf and M. Stepper 1979. Evaluation of simplified water–crop–yield models. *Agric. Water Manage.* **2**, 95–129.
- Smith, R.B., J.D. Oster and J.C. Phene 1991. Subsurface drip irrigation produced highest net return in wasteland area study. *Calif. Agric.* **45**, 8–10.
- Steduto, P., N. Katerji, H. Puertos-Molina, M. Ünlü, M. Mastrorilli and G. Rana 1997. Water-use efficiency of sweet sorghum under water stress conditions. Gas-exchange investigations at leaf and canopy scales. *Field Crops Res.* **54**, 221–234.
- Stewart, C.R. 1973. The effect of wilting on proline metabolism in excised bean leaves in the dark. *Plant Physiol.* **66**, 230-233.
- Stewart, C.R., S.F. Boggess, D. Aspinall and L.G. Paleg 1977. Inhibition of proline oxidation by water stress. *Plant Physiol.* **59**, 930-932.
- Stiller, W.N. and G.A. Constable 2001. Influence of cultivar maturity and leaf type on the agronomic water use efficiency of raingrown cotton. In: *Proceedings of the 10th Australian agronomy conference*. Australian Society of Agronomy, Toowoomba, Hobart.
- Stiller, W.N., R.R. Eveleigh, G.A. Constable, and P.E. Reid 1998. Varietal characteristics for adaptation of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to raingrown conditions. In: D.L. Michalk and J.E. Pratley eds, *Proceedings of the 9th Australian agronomy conference*, pp. 359–362, Australian Society of Agronomy, Toowoomba, Wagga.
- Stockton, J.R., L.D. Doneen and V.T. Walhood 1961. Boll shedding and growth of the cotton plant in relation to irrigation frequency. *Agron. J.* **53**, 272–275.
- Sturkie, D. G. 1947. The effects of some environmental factors on the seed and lint of cotton. Alabama Agricultural Experimental Station, Bulletin 263.

- Taiz, L. and E. Zeiger 1998. *Plant Physiology*. 2<sup>nd</sup> Ed.- Sinauer Associates Publ., Sunderland 1998.
- Tanner, C.B. and T.R. Sinclair 1983. Efficient water use in crop production: research or re-search?. In: H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair, eds, *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*, pp. 1–27, Am. Soc. Agron.
- Taylor, H.M. 1980. Modifying root systems of cotton and soybeans to increase water absorption. In N.C. Turner and P.J. Kramer, eds, *Adaptation of plants to water and high temperature stress.*, pp. 75-84. John Wiley and Sons, New York.
- Taylor, H.M., W.R. Jordan and T.R. Sinclair 1983. Limitations to efficient water use in crop production. *Crop Science of Am., Inc., American Soc. Of Agron. Inc. Soil Science of America, Inc.*, pp. 227-340.
- Teare, I.D., N. Sionit and P.J. Kramer 1982. Changes in water status during water stress at various stages of development in wheat. *Physiol. Plant.* **55**, 296
- Thomas, J.C., K.W. Brown and W. R. Jordan 1976. Stomatal response to leaf water potential as affected by preconditioning water stress in the field. *Agron. J.* **68**, 706-708.
- Thomson, B.D., K.H.M. Siddique, M.D. Barr and P. Wilson 1997. Grain legume species in low rainfall Mediterranean-type environments. I. Phenology and seed yield. *Field Crops Res.* **54**, 173–187.
- Troughton, J.H. and R.O. Slatyer 1969. Plant water status, leaf temperature and the calculated mesophyll resistance to carbon-dioxide of cotton leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* **22**, 815–827.
- Tsanis, K., P.A. Londra, A.N. Angelakis 1996. Assessment of Water Needs for Irrigation in the island of Crete. 2<sup>nd</sup> *International Symposium on Irrigation of Horticulture crops*, pp. 41-48, 8-13 September.
- Turner, N. C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In Mussell H. and R. C. Staples, eds, pp. 343–372, *Stress Physiology in Crop Plants*. John Wiley and Sons, New York.
- Turner, N.C., A.B. Hearn, J.E. Begg and G.A. Constable 1986. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.): Physiological and morphological responses to water deficits and their relationship to yield. *Field Crops Res.* **14**, 153–170.
- Turner, N.C. 1997. Further progress in crop water relations. *Adv. Agron.* **58**, 293-338
- Turner, N.C. 2004. Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *J. Exp. Bot.* **55**, 2413–2425.
- Tyree, M.T. and A.J. Karamanos 1981. Water stress as an ecological factor. In J. Grace *et al* eds, *Plants and their Atmospheric Environment*, pp. 237-261, Backwell, Oxford.

UNEP (United Nations Environmental Programme). 1999. Norway Office, United Kingdom. Index at <http://www.grida.no/climate/vital/17.htm>

Unruh, B.L. and J.C. Silvertooth 1997. Date of planting and irrigation termination effects on yield of Upland and Pima cotton. *J. Prod. Agric.* **10**(1), 74-79.

Villalobos, F.J. and E. Fereres 1990. Evaporation measurements beneath corn, cotton, and sunflower canopies. *Agron. J.* **82**, 1153–1159.

Wanjura, D.F., D.R. Upchurch, J.R. Mahan and J.J. Burke 2002. Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation. *Agric. Water Manage.* **55** (3), 217–237.

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**(6), 1047-1055.

Wardlaw, I.F. 1974. Phloem transport: Physical chemical or impossible. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **25**, 515-539.

White, S.C., and S.R. Raine 2004. Identifying the potential to apply deficit irrigation strategies in cotton using large mobile irrigation machines. *4th International Crop Science Conference, 26th Sept – 1st Oct*, Brisbane.

Yazar A, S.M. Sezen, S. Sesveren 2002. LEPA and trickle irrigation of cotton in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Agric. Water Manage.* **54**(3), 189-203.

Younis, M.E., O.A. El-Shahaby, S.A. Abo-Hamed and A.H. Ibrahim 2000. Effects of water stress on growth, pigments and <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> assimilation in three sorghum cultivars. *Agron. Crop Sci.* **185**, 73–82.

Zwart, S.J. and W.G.M. Bastiaanssen 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. *Agric. Water Manage.* **69**, 115–133.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ακολουθούν πίνακες της στατιστικής ανάλυσης που ακολουθήθηκε για την ανάλυση των αποτελεσμάτων του πειράματος που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.

### 1. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)

#### α. 2005

Επίπεδα άρδευσης	61 H.M.Σ.	74 H.M.Σ.	84 H.M.Σ.	94 H.M.Σ.	108 H.M.Σ.	122 H.M.Σ.
FI	0,36	0,85	1,96	2,42	3,57	3,28 a
DI1	0,35	0,74	1,78	2,51	3,22	3,04 a
DI2	0,31	0,75	1,53	2,17	3,01	2,47 b
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	Ns	ns	ns	ns	0,55

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

#### β. 2006

Επίπεδα άρδευσης	64 H.M.Σ.	79 H.M.Σ.	94 H.M.Σ.	110 H.M.Σ.
FI	1,19	2,27	3,44	3,03 a
DI1	1,08	2,11	2,96	2,44 ab
DI2	1,23	2,24	2,78	2,27 b
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	Ns	ns	ns	0,6

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

#### γ. 2007

Επίπεδα άρδευσης	74 H.M.Σ.	85 H.M.Σ.	92 H.M.Σ.	103 H.M.Σ.	113 H.M.Σ.
FI	1,97	2,31	3,24 a	3,07 d	3,08 f
DI1	2	2,11	2,62 b	2,77 d	2,47 g
DI2	1,95	1,87	1,88 c	1,83 e	1,72 h
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	0,47	0,49	0,47

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

## 2. Ξηρό βάρος φύλλων

### α. 2005

Επίπεδα άρδευσης	61 Η.Μ.Σ.	74 Η.Μ.Σ.	84 Η.Μ.Σ.	94 Η.Μ.Σ.	108 Η.Μ.Σ.	122 Η.Μ.Σ.
FI	38,78	100,93	159,01	221,26 a	269,69	251,28
DI1	39,95	91,25	156,09	196,29 a	236,20	234,44
DI2	37,35	90,79	135,36	169,10 b	207,00	213,81
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	Ns	ns	26,41	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

### β. 2006

Επίπεδα άρδευσης	64 Η.Μ.Σ.	79 Η.Μ.Σ.	94 Η.Μ.Σ.	110 Η.Μ.Σ.
FI	94,16	193,08	287,51	252,34 a
DI1	80,49	197,98	255,14	199,69 b
DI2	91,13	177,86	236,44	198,65 b
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	Ns	ns	ns	41.49

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

### γ. 2007

Επίπεδα άρδευσης	74 Η.Μ.Σ.	85 Η.Μ.Σ.	92 Η.Μ.Σ.	103 Η.Μ.Σ.	113 Η.Μ.Σ.
FI	174,08	231,47	252,31 a	266,23 c	259,8 f
DI1	153,69	199,95	227,52 a	217,8 d	215,65 f
DI2	145,62	184,76	168,7 b	180,08 e	169,11 g
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	48,6	28,7	46,2

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

### 3. Ξηρό βάρος στελεχών

α. 2005

Επίπεδα άρδευσης	61 Η.Μ.Σ.	74 Η.Μ.Σ.	84 Η.Μ.Σ.	94 Η.Μ.Σ.	108 Η.Μ.Σ.	122 Η.Μ.Σ.
FI	14,99	50,63	126,55	211,66 a	288,91	292,73 c
DI1	13,45	43,18	123,10	175,66 b	237,40	227,20 d
DI2	14,24	50,49	98,74	163,56 b	215,85	220,33 d
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	Ns	ns	28.5	ns	45,14

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

β. 2006

Επίπεδα άρδευσης	64 Η.Μ.Σ.	79 Η.Μ.Σ.	94 Η.Μ.Σ.	110 Η.Μ.Σ.
FI	71,03	252,23	358,06	310,20 a
DI1	69,80	220,69	323,64	276,35 ab
DI2	81,30	212,66	301,66	239,15 b
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	Ns	ns	ns	54,25

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

γ. 2007

Επίπεδα άρδευσης	74 Η.Μ.Σ.	85 Η.Μ.Σ.	92 Η.Μ.Σ.	103 Η.Μ.Σ.	113 Η.Μ.Σ.
FI	180,15	263,02	295,34 a	293,65 c	319,00 e
DI1	164,13	220,92	277,29 a	278,35 c	246,80 f
DI2	157,40	221,41	208,95 b	210,35 d	204,42 f
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	58,06	52,3	43,9

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

#### 4. Ύψος φυτών

##### α. 2005

Επίπεδα άρδευσης	74 H.M.Σ.	84 H.M.Σ.	94 H.M.Σ.	108 H.M.Σ.	122 H.M.Σ.
FI	35	52,25	72 a	73,75 c	75 e
DI1	33	47,5	70,75 a	72,25 c	73,5 e
DI2	32,25	49,15	61,75 b	65 d	66,75 f
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	8,14	6,34	6,48

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

##### β. 2006

Επίπεδα άρδευσης	64 H.M.Σ.	75 H.M.Σ.	82 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.	102 H.M.Σ.
FI	44,5	56,5	64,75	75,25	77,5 a
DI1	43,5	52,75	60,25	71,25	71,75 b
DI2	45	54	64	69,25	69,75 b
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns	ns	4,28

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

##### γ. 2007

Επίπεδα άρδευσης	74 H.M.Σ.	85 H.M.Σ.	92 H.M.Σ.	103 H.M.Σ.	113 H.M.Σ.
FI	40,75	52,25	65 a	75,5 c	76 e
DI1	40	51,75	62,5 ab	72,75 cd	73,25 f
DI2	42	53,25	60,75 b	69,5 d	69 g
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	3,6	5,07	1,9

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

## 5. Ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών

### α. Επιφάνεια ριζικού συστήματος

Επίπεδα άρδευσης	2005	2006	2007
FI	0,055 ab	0,047	0,048
DI1	0,052 a	0,046	0,047
DI2	0,056 b	0,045	0,046
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	0,033	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

### β. Ξηρό βάρος ριζικού συστήματος

Επίπεδα άρδευσης	2005	2006	2007
FI	0,013	0,010	0,010
DI1	0,012	0,010	0,009
DI2	0,012	0,010	0,010
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

## 6. Αριθμός χτενιών και ανθέων

### α. 2005

Επίπεδα άρδευσης	73 H.M.Σ.	83 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.	107 H.M.Σ.
FI	77,5	166,25	171,25	71,25
DI1	93,75	165	201,25	56,25
DI2	92,5	127,5	175	70
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	Ns	ns	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

### β. 2006

Επίπεδα άρδευσης	64	79	94
FI	63,75	182,5	187,5
DI1	58,75	167,5	175
DI2	66,25	177,5	128,75
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

### γ. 2007

Επίπεδα άρδευσης	73 H.M.Σ.	83 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.
FI	54,75	163,5 a	145,25 c
DI1	55,75	158 a	132,5 d
DI2	52,75	147 b	109 e
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	8,48	6,9

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

## 7. Συνολικός αριθμός χτενιών και ανθέων

Πειραματική χροιά	2005	2006	2007
FI	4603	4621	2436a
DI1	4927	4265	2280b
DI2	4327	4125	2064c
ΕΣΔ ( $p < 0,05$ )	ns	ns	57,4

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

8. Ξηρό βάρος χτενιών και ανθέων

α. 2005

Επίπεδα άρδευσης	73 H.M.Σ.	83 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.	107 H.M.Σ.
FI	6,48	22,46	25,26	19,26
DI1	8,13	23,36	34,25	13,24
DI2	7,8	18,75	25,89	18,04
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	Ns	ns	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

β. 2006

Επίπεδα άρδευσης	64	79	94
FI	5,04	37,48	45,84
DI1	4,86	34,59	38,9
DI2	5,75	32,74	29,91
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

γ. 2007

Επίπεδα άρδευσης	73 H.M.Σ.	83 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.
FI	37,25	55,5	53,59 a
DI1	32,53	59,74	36,86 a
DI2	34,05	54,99	17,25 b
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	19,37

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

## 9. Αριθμός καψών

### α. 2005

Επίπεδα άρδευσης	83 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.	107 H.M.Σ.	121 H.M.Σ.
FI	15	57,5	175	132,5
DI1	13,75	65	161,25	122,5
DI2	20	56,25	143,75	115
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

### β. 2006

Επίπεδα άρδευσης	79 H.M.Σ	94 H.M.Σ	110 H.M.Σ
FI	31,25	150	132,5 a
DI1	31,25	120	98,75 b
DI2	22,5	123,75	96,25 b
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	20.03

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

### γ. 2007

Επίπεδα άρδευσης	83 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.	103 H.M.Σ.
FI	30,75	143,5	132 a
DI1	30,25	132	99,5 b
DI2	24,75	130,25	96 b
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	13,81

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

## 10. Συνολικός αριθμός καψών

Πειραματική χρονιά	2005	2006	2007
FI	4142	3619a	3391c
DI1	3963	2884b	2930d
DI2	3592	2930b	2860d
ΕΣΔ ( $p < 0,05$ )	ns	657	76

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές



## 11. Ξηρό βάρος καψών

α. 2005

Επίπεδα άρδευσης	83 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.	107 H.M.Σ.	121 H.M.Σ.
FI	3,94	65,76	445,35 a	657,63
DI1	6,29	80,6	449,61 a	557,64
DI2	7,25	60,96	341,59 b	499,96
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	84,15	Ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

β. 2006

Επίπεδα άρδευσης	79 H.M.Σ	94 H.M.Σ	110 H.M.Σ
FI	19,7875	265,325	710,1375
DI1	15,9125	254,35	577,45
DI2	12,3	272,4	571,9875
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

γ. 2007

Επίπεδα άρδευσης	74 H.M.Σ.	85 H.M.Σ.	92 H.M.Σ.	113 H.M.Σ.
FI	4,62	85,8	181,98	897,06
DI1	8,39	99,1	221,22	863,27
DI2	2,93	84,7	238,79	541,32
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

12. Αποδόσεις σε σύσπορο βαμβάκι.

α. 2005

Επίπεδα άρδευσης	A χέρι	B χέρι	Γ χέρι	Σύνολο
FI	3312,5	491,75	243,72	4048 a
DI1	3200	432,25	233,73	3865,98 b
DI2	3237,5	306,5	170,88	3714,89 b
ΕΣΔ (p<0.05)	ns	ns	ns	154,2

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

β. 2006

Επίπεδα άρδευσης	A χέρι	B χέρι	Γ χέρι	Σύνολο
FI	2137,5	1106,25 a	412,5 c	3656,25 f
DI1	2218,75	831,25 b	200 d	3250 g
DI2	2456,25	625 b	0 e	3081,25 g
ΕΣΔ (p<0.05)	ns	227,58	117	287,6

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

γ. 2007

Επίπεδα άρδευσης	A χέρι	B χέρι	Σύνολο
FI	1925	1042,5 a	2967,5 c
DI1	1800	852,5 a	2652,5 d
DI2	1950	487,5 b	2437,5 d
ΕΣΔ (p<0.05)	ns	241,6	302,6

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

13. Αποδόσεις σε ίνα.

Επίπεδα άρδευσης	2005	2006	2007
FI	1725a	491,75c	243,72e
DI1	1627b	432,25d	233,73f
DI2	1586b	306,5d	170,88f
ΕΣΔ (p<0.05)	67	130	120

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

14. Μέσο βάρος κάψας.

Επίπεδα άρδευσης	2005	2006	2007
FI	6,39	6,17 a	5,66 c
DI1	6,24	5,96 ab	5,53 c
DI2	6,09	5,67 b	4,97 d
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	0,37	0,42

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

15. Ρυθμός ανάπτυξης της φυτείας (Crop Growth Rate).

Επίπεδα άρδευσης	2005	2006	2007
FI	9,87 a	9,86 d	11,16 g
DI1	9,03 b	8,48 e	10,46 g
DI2	6,97 c	7,03 f	6,65 h
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	0,76	0,72	1,02

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

16. Δείκτης συγκομιδής της φυτείας (Harvest index).

Επίπεδα άρδευσης	2005	2006	2007
FI	0,27 a	0,33 c	0,31 d
DI1	0,28 a	0,32 c	0,31 d
DI2	0,35 b	0,33 c	0,33 d
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	0,022	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

17. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ίνας του βάμβακος.

α. 2005

	Micronaire	Ωριμότητα	Μήκος	Ομοιομορφία	Αντοχή	Υγρασία
FI	4,74	0,905	29,68	86,8	35,16	7,7
DI1	4,78	0,9	29,29	88,35	35,66	7,67
DI2	4,81	0,9	29,71	85,8	34,4	7,67
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns	ns	ns	ns

β. 2006

	Micronaire	Ωριμότητα	Μήκος	Ομοιομορφία	Αντοχή	Υγρασία
FI	4,96	0,95	30,1	88,48	38,48	7,88
DI1	4,78	0,95	30,21	88,68	38,23	7,55
DI2	4,9	0,94	30,23	88,03	38,2	7,65
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns	ns	ns	ns

γ. 2007

	Micronaire	Ωριμότητα	Μήκος	Ομοιομορφία	Αντοχή	Υγρασία
FI	4,78	0,89	28,05	83,22	29,4	6,18
DI1	4,66	0,9	28,11	84,77	31,03	6,3
DI2	4,79	0,9	28,25	83,67	29,72	6,2
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	ns	ns	ns	ns	ns	ns

18. Υδατικό δυναμικό των φύλλων των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου

α. 2005

	80 H.M.Σ.	83 H.M.Σ.	92 H.M.Σ.	94 H.M.Σ.	105 H.M.Σ.	117 H.M.Σ.	120 H.M.Σ.	123 H.M.Σ.
FI	-0,66	-0,64	-0,85 a	-0,89	-1,09	-0,91 d	-1,03	-1,20
DI1	-0,68	-0,81	-0,94 b	-1,03	-1,20	- 1,05de	-1,16	-1,24
DI2	-0,75	-0,84	-1,05 c	-1,04	-1,23	-1,21 e	-1,21	-1,29
ΕΣΔ (p<0.05)	ns	ns	-0,07	ns	ns	-0,22	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

β. 2006

	65 H.M.Σ.	71 H.M.Σ.	76 H.M.Σ.	79 H.M.Σ.	82 H.M.Σ.	91 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.	97 H.M.Σ.	104 H.M.Σ.	111 H.M.Σ.	119 H.M.Σ.
FI	-1,53	-1,65	-1,30	-1,75	-1,33	-1,53	-1,90	-1,33 a	-1,30 d	-1,25 f	-1,38 i
DI1	-1,53	-1,75	-1,28	-1,70	-1,35	-1,50	-2,10	-1,50 b	-1,43 d	-1,45 g	-1,50 ij
DI2	-1,55	-1,68	-1,33	-1,83	-1,35	-1,70	-2,30	-1,63 c	-1,58 e	-1,50 g	-1,70 j
ΕΣΔ (p<0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,125	-0,146	-0,151	-0,205

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

γ. 2007

	73 H.M.Σ.	78 H.M.Σ.	85 H.M.Σ.	89 H.M.Σ.	92 H.M.Σ.	93 H.M.Σ.	94 H.M.Σ.	99 H.M.Σ.	106 H.M.Σ.	109 H.M.Σ.
FI	-1,35	-1,54 a	-1,78 c	-1,79 f	-2,08	-1,75 i	-1,53 l	-1,60 o	-1,65 r	-1,90 u
DI1	-1,43	-1,64 a	-1,95 d	-1,94 g	-2,15	-1,95 j	-1,73 m	-1,75 p	-2,10 s	-2,18 v
DI2	-1,43	-1,85 b	-2,25 e	-2,21 h	-2,45	-2,08 k	-1,88 n	-1,95 q	-2,40 t	-2,40 w
ΕΣΔ (p<0.05)	ns	-0,135	-0,088	-0,085	ns	-0,088	-0,079	-0,075	-0,119	-0,116

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

19. Υδατικό δυναμικό των φύλλων των φυτών κατά τη διάρκεια της ημέρας για το έτος 2007.

α. Μία ημέρα πριν την άρδευση

	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
FI	-0,98 a	-1,38 d	-1,83 g	-1,93 j	-1,45 m	-0,93 p
DI1	-1,43 b	-1,93 e	-2,15 h	-2,25 k	-1,95 n	-1,64 q
DI2	-1,90 c	-2,10 f	-2,45 i	-2,53 l	-2,18 o	-1,89 r
ΕΣΔ (p<0.05)	-0,21	-0,15	-0,088	-0,084	-0,162	-0,137

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

β. Κατά τη διάρκεια της άρδευσης

	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
FI	-0,98 a	-1,20 d	-1,75 g	-1,83 j	-1,55 m	-0,78 o
DI1	-1,35 b	-1,48 e	-1,95 h	-2,03 k	-1,85 n	-1,00 p
DI2	-1,90 c	-1,93 f	-2,08 i	-2,13 l	-1,93 n	-1,10 p
ΕΣΔ (p<0.05)	-0,128	-0,099	-0,088	-0,079	-0,088	-0,116

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

γ. Μία ημέρα μετά την άρδευση

	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
FI	-0,80 a	-1,28 c	-1,53 f	-1,63 i	-1,45 l	-0,83 n
DI1	-0,88 a	-1,53 d	-1,73 g	-1,80 j	-1,68 m	-1,03 o
DI2	-1,23 b	-1,66 e	-1,88 h	-1,93 k	-1,73 m	-1,15 p
ΕΣΔ (p<0.05)	-0,125	-0,079	-0,08	-0,099	-0,17	-0,084

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

20. Αντίσταση στοματίων των φύλλων κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2007.

	90 Η.Μ.Σ.	100 Η.Μ.Σ.	107 Η.Μ.Σ.	110 Η.Μ.Σ.
FI	3,60 a	4,00 c	10,2 f	5,52 i
DI1	4,57 a	6,88 d	15,9 g	7,33 j
DI2	7,58 b	8,25 e	19,5 h	8,63 j
ΕΣΔ (p<0.05)	2,99	0,89	3,1	1,78

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

21. Αντίσταση στοματίων των φύλλων κατά τη διάρκεια της ημέρας για το έτος 2007.

α. Μία ημέρα πριν την άρδευση

	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00
FI	1,25 a	7,52	3,85 d	5,25 g	11,88 j
DI1	1,64 b	7,52	7,50 e	10,25 h	15,33 jk
DI2	1,83 c	8,85	13,37 f	17,50 i	20,50 k
ΕΣΔ (p<0.05)	1,01	ns	2,58	3,79	7,58

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

β. Κατά τη διάρκεια της άρδευσης

	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00
FI	1,06	7,05	2,85 a	0,98 c	6,65 e
DI1	1,10	7,60	4,15 a	22,58 cd	11,88 f
DI2	1,13	8,20	8,20 b	4,13 d	16,28 g
ΕΣΔ (p<0.05)	ns	ns	2,18	2,59	4,26

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

γ. Μία ημέρα μετά την άρδευση

	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00
FI	0,33	6,40	3,45	1,13	7,93
DI1	0,88	6,65	44,13	1,13	7,95
DI2	0,50	7,45	4,43	1,65	8,50
ΕΣΔ (p<0.05)	ns	ns	ns	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

## 22. Δείκτης Υδατικού Δυναμικού (Water Potential Index)

	2005	2006	2007
FI	0,90 a	1,43 d	1,66 g
DI1	1,03 b	1,42 e	1,85 h
DI2	1,09 c	1,50 f	2,07 i
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	0,13	0,04	0,03

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

## 23. Αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού (Irrigation Water Use Efficiency)

### α. WUE

	2005	2006	2007
FI	1,35a	0,49	0,63
DI1	1,48b	0,53	0,62
DI2	1,54c	0,58	0,62
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	0,06	ns	ns

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

### β. IWUE

	2005	2006	2007
FI	-0,91 a	-1,43 c	-1,66 e
DI1	-1,03 ab	-1,42 c	-1,85 f
DI2	-1,09 b	-1,50 d	-2,07 g
ΕΣΔ ( $p < 0.05$ )	-0,13	-0,04	-0,03

Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές