

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 197
Ημερομηνία 19-10-2007



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΦΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**ΜΕΛΕΤΗ ΡΥΘΜΩΝ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΑΦ**



ΥΠΟ: ΤΣΙΑΔΗΜΟΣ ΒΑΙΟΣ

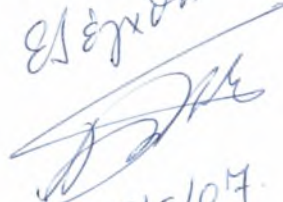
ΒΟΛΟΣ, 2006



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 3845/1
Ημερ. Εισ.: 24-01-2008
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2006
ΤΣΙ

**ΜΕΛΕΤΗ ΡΥΘΜΩΝ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΑΦ**

Τετάρτη
Ελέγχον

2/5/07

Τριμελής Επιτροπή
Καθηγητής Ν. Γ. Δαναλάτος (επιβλέπων)
Επ.Καθηγητής Αθ. Σφουγγάρης
Λέκτορας Εμ. Βαρδαβάκης

Τσιαδήμος Βάιος
Εργαστήριο Γεωργίας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής
& Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Φυτόκο 38446, Βόλος, Ελλάδα
Φεβρουάριος 2006
E-mail: batsiadi@yahoo.gr

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|------------------|---|
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ..... | 4 |
|------------------|---|

| | |
|---------------|---|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ..... | 6 |
|---------------|---|

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

| | |
|--|----|
| 1.1 Γενικά | 7 |
| 1.2 Μορφολογική περιγραφή του φυτού..... | 7 |
| 1.3 Παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη του φυτού..... | 9 |
| 1.4 Έδαφος – φυτό – ατμόσφαιρα..... | 10 |
| 1.5 Διαπνοή και εξάτμιση..... | 11 |
| 1.6 Διαπνοή (Transpiration)..... | 12 |
| 1.7 Φωτοσύνθεση..... | 15 |
| 1.8 Σκοπός της εργασίας..... | 16 |

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

| | |
|--|----|
| 2.1 Πειραματική Περιοχή – Έδαφος | 17 |
| 2.2 Πειράματα Αγρού..... | 17 |
| 2.3 Άρδευση..... | 18 |
| 2.4 Μετρήσεις – Παρατηρήσεις..... | 19 |
| 2.5 Επεξεργασία φύλλων..... | 20 |
| 2.6 Μετρήσεις φωτοσύνθεσης και διαπνοής..... | 21 |

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

| | |
|--|----|
| 3.1 Κλιματολογικές συνθήκες | 23 |
| 3.2 Ύψος φυτού και αριθμός κύριων κόμβων..... | 25 |
| 3.3 Ειδική φιλική επιφάνεια (SLA)..... | 28 |
| 3.4 Διαπνοή (transpiration)..... | 31 |
| 3.5 Φωτοσύνθεση..... | 33 |
| 3.6 Καμπύλη φωτοσύνθεσης (light response curve)..... | 37 |

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....39

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ40

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ43

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή διατριβή αναφέρεται στο κενάφ (*Hibiscus cannabinus L.*), μια νέα, πολλά υποσχόμενη ενεργειακή καλλιέργεια και στην Ελλάδα. Μελετάται η επίδραση τριών διαφορετικών επιπέδων άρδευσης, σε χαρακτηριστικά αύξησης και ανάπτυξης δυο ποικιλιών του κενάφ κάτω από Θεσσαλικές συνθήκες.

Αρχικά δίνεται μια γενική περιγραφή της καλλιέργειας και των απαιτήσεων της σε περιβαλλοντικές συνθήκες και καλλιεργητικές φροντίδες (Εισαγωγή). Ακολουθεί το πειραματικό μέρος (Υλικά και Μέθοδοι) που περιγράφει τις εργασίες που έγιναν στον αγρό και το εργαστήριο κατά την καλλιεργητική περίοδο 2004. Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα του πειράματος (Αποτελέσματα και Συζήτηση).

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή **κ. Ν. Δαναλάτο** για τις πολύτιμες συμβουλές, τη συνεχή καθοδήγηση κατά την διεξαγωγή του πειράματος, για τη βοήθεια που μου παρείχε μέχρι την ολοκλήρωση της Πτυχιακής μου Διατριβής, καθώς και για τις πολύτιμες γνώσεις που αποκόμισα στα μαθήματα Γεωργίας και της (Προσομοίωσης) Ανάπτυξης Καλλιεργειών.

Ευχαριστώ θερμά τον Επ. Καθηγητή Αθανάσιο Σφουγγάρη για την εμπιστοσύνη του να αναλάβει ως μέλος της επιτροπής και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις και διορθώσεις του, που βελτίωσαν την Πτυχιακή αυτή Διατριβή.

Ευχαριστώ τον Λέκτορα Εμμανουήλ Βαρδαβάκη για το ενδιαφέρον που έδειξε για την εργασία αυτή, και τις χρήσιμες παρεμβάσεις του για την ολοκλήρωση της Διατριβής.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αρχοντούλη Σωτήρη για την βοήθεια που μου παρείχε στην λήψη ορισμένων παρατηρήσεων. Τέλος νιώθω υποχρεωμένος να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια και το ενδιαφέρον που έδειξε για την πορεία της Διατριβής μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.,) είναι μια νέα εναλλακτική καλλιέργεια πολλά υποσχόμενη για τον Ελληνικό χώρο. Η ακριβής προέλευση του κενάφ δεν είναι γνωστή. Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι προήλθε από την Αφρική, όπου υπάρχουν πολλά αυτοφυή είδη, ενώ άλλοι πιστεύουν ότι προήλθε από την περιοχή των Ιμαλαίων δεδομένου ότι βρέθηκε εκεί σε υψόμετρο 100 μέτρων. Η υψηλή παραγωγικότητα σε συνδυασμό με την υψηλή περιεκτικότητα του φυτού σε ίνα προκάλεσε το ενδιαφέρον πολλών επιστημών ανά το κόσμο (Πασχαλίδης, 1997). Ως γνωστόν, η παραγωγή οδηγείται από τη φωτοσύνθεση. Το κενάφ είναι C₃ φυτό, ετήσιο, θερμής εποχής και παρουσιάζει υψηλή παραγωγή στην Ελλάδα (Alexoroulou, 2000, Danalatos, 2005). Τα C₃ φυτά έχουν μέγιστα καθαρά ποσοστά αφομοίωσης του CO₂ περίπου 30 κιλά του CO₂ ανά εκτάριο (Goudrian and van Laar, 1994, Lovenstein *et al.*, 1995).

1.2 Μορφολογική περιγραφή του φυτού

Το κενάφ ανήκει στην οικογένεια *Malvaceae*. Στην ύπαιθρο το κενάφ είναι ετήσιο φυτό, ενώ σε συνθήκες θερμοκηπίου είναι πολυετές, με διάρκεια ζωής 3–4 χρόνια, και με το υπέργειο μέρος του να ξηραίνεται κάθε χρόνο (Taylor, 1998). Η καλλιεργητική περίοδος του κενάφ κυμαίνεται από τον Απρίλη έως τα τέλη Οκτωβρίου (Danalatos and Archontoulis, 2004a,β, 2005a,β). Η άνθιση μπορεί να διαρκέσει 3 έως 5 εβδομάδες, αναλόγως των κλιματικών συνθηκών ενώ κάθε μεμονωμένο λουλούδι ανθίζει μόνο για μια ημέρα. Ο βλαστός αποτελείται από δυο τύπους ινών (εξωτερική 40% και την εσωτερική 60%).

Το ριζικό σύστημα του κενάφ αποτελείται από την κύρια πασσαλώδη ρίζα και από τις δευτερεύουσες πλευρικές ρίζες. Η κύρια ρίζα του κενάφ προχωρεί κατακόρυφα προς τα κάτω. Η ανάπτυξη της γίνεται πολύ γρήγορα. Πριν εμφανιστούν τα φυτά στην επιφάνεια του εδάφους, οι ρίζες τους έχουν αναπτυχθεί σε βάθος και αρχίζουν να

σχηματίζουν δευτερεύουσες ρίζες, με την εμφάνιση των κοτυληδόνων στην επιφάνεια. Το βάθος όπου διεισδύει η κύρια ρίζα είναι μόνο 30-40 cm και εξαρτάται από το έδαφος τη υγρασία και τον αερισμό (Πασχαλίδης, 1997). Σε ρηχά ελαφρά εδάφη, με βαθιά στάθμη υπόγειων υδάτων, οι πλευρικές ρίζες κατευθύνονται κάθετα ενώ στα υγρά κατευθύνονται οριζόντια. Σε περίπτωση έλλειψης υγρασίας, η κεντρική πασσαλώδη ρίζα αναπτύσσεται σε βάθος 2 ή και παραπάνω μέτρων. Για να αναπτυχθεί το ριζικό σύστημα κανονικά, απαιτούνται εδάφη με καλή διαπερατότητα, ικανοποιητική υδατοχωρητικότητα, υψηλή θερμοκρασία και καλό αερισμό (Bosisio, 1988).

Ο βλαστός είναι το σημαντικότερο τμήμα του φυτού από πλευράς οικονομικής σημασίας και κατέχει το 63-90% του βάρους του (Πασχαλίδης, 1997, Δαναλάτος και Αρχοντούλης 2004, 2005). Οι πρώιμες ποικιλίες φτάνουν σε ύψος 1,5-2,2 m ενώ οι όψιμες φτάνουν σε ύψος 2,5-4 m. Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες έχουν 50 έως 90 κόμβους σε αποστάσεις 3-4 cm μεταξύ τους. Το ύψος του στελέχους έχει πρακτική σημασία γιατί καθορίζει την απόδοση και την ποιότητα της πρώτης ύλης, που προορίζεται για επεξεργασία., ενώ ο βλαστός καλύπτεται από μικρά αγκάθια (Πασχαλίδης, 1997).

Τα φύλλα παρουσιάζουν διαφορές στο μέγεθος και στο σχήμα ανάλογα με τα είδη και τις ποικιλίες. Αποτελούνται από το έλασμα και το μίσχο. Ανάλογα με το σημείο έκφυσης έχουν διαφορετικό μέγεθος. Τα κάτω φύλλα είναι μικρά, τα μεσαία μεγαλύτερα και αυτά που βρίσκονται στην κορυφή του στελέχους είναι επίσης μικρά. Τα άνθη είναι διγενή, ακτινόμορφα, με διπλό πενταμερές περιάνθιο με επικαλύκιο. Έχουν πολυάριθμους στήμονες συμφυείς στον σωλήνα. Έχουν πέντε πέταλα, με διάμετρο 7 έως 12 cm. Η ωοθήκη είναι επιφυής, αποτελούμενη από πέντε σπερμοφόρα καρπόφυλλα. Τα άνθη είναι μεγάλα, βγαίνουν στις μασχάλες των φύλλων και έχουν χρώμα άσπρο (Killinger, 1969). Ο καρπός είναι πεντάχωρη κάψα. Ο σπόρος έχει χρώμα μαύρο-γκρι. Το μήκος του σπόρου είναι 3 - 5 mm, το πλάτος είναι 2,5 - 4 mm και το πάχος 2 - 3 mm. Οι κάψες μεγαλώνουν μέχρι το κανονικό μέγεθος, και σε κάθε μια ξεχωριστά υπάρχουν 25 σπόροι (Πασχαλίδης, 1997). Οι ίνες του φλοιού έχουν μήκος 2-3 χιλιοστά και οι ίνες του εσωτερικού ξύλου έχουν μήκος 0,45 χιλιοστά. Με το μίγμα αυτών των ινών παράγουμε καλής ποιότητας χαρτί. Στην χαρτοβιομηχανία χρησιμοποιούνται ολόκληρα τα στελέχη του κενάφ. Η πολτοποίηση γίνεται είτε με την μέθοδο κράφτ ή με την μέθοδο της σόδας και απαιτείται λιγότερη ενέργεια από ότι αυτή του ξύλου (Πασχαλίδης, 1997).

1.3 Παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη του φυτού

Τον κυριότερο ρόλο στην ανάπτυξη του φυτού τον παίζουν τέσσερις εξωτερικοί παράγοντες: το φως, η θερμοκρασία, η θρέψη και το νερό. Η βέλτιστη θερμοκρασία του εικοσιτετραώρου για τη αύξηση του φυτού είναι 23-25°C χωρίς απότομες διακυμάνσεις (Πασχαλίδης, 1997), ενώ η βέλτιστη θερμοκρασία για την φωτοσύνθεση κυμαίνεται από 25-32°C αναλόγως με την ένταση της ακτινοβολίας (Archontoulis *et al.*, 2005; Ramachandra and Randy, 2000). Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 25°C ο ρυθμός ανάπτυξης του κενάφ μειώνεται. Η υψηλή θερμοκρασία επίσης επιδρά αρνητικά στην κανονική ανάπτυξη του φυτού (30–40°C), λόγω της αυξημένης αναπνοής και διαπνοής του φυτού.

Ως γνωστόν η ακτινοβολία καθορίζει τον ρυθμό φωτοσύνθεσης και κατά συνέπεια την τελική παραγωγή. Έχει βρεθεί ότι οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης αυξάνονται γραμμικά με την αύξηση του φωτός στο εύρος ακτινοβολίας 0-600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ενώ η ακτινοβολία παύει να είναι περιοριστικός παράγοντας για την φωτοσύνθεση του φυτού πάνω από τα 1500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (saturated part of the light response curve; Archontoulis *et al.*, 2006). Με μεγαλύτερη διάρκεια ηλιοφάνειας, η ανάπτυξη των φυτών επιβραδύνεται ενώ με πολλή μικρή διάρκεια τα φυτά γίνονται νάνοι και ανθίζουν νωρίς. Επίσης με μικρή ένταση φωτός το φυτό δεν φτάνει στο κανονικό ύψος και επιβραδύνεται η ανάπτυξη του. Αυτό παρατηρείται στις πυκνοφυτεμένες φυτείες, στις οποίες για το λόγο αυτό υπάρχουν πολλά ατροφικά φυτά (Francois *et al.*, 1986)

Το κενάφ επειδή προέρχεται από τροπικό κλίμα έχει μεγάλη απαίτηση σε υγρασία. Η ομοιόμορφα κατανεμημένη και επαρκής υγρασία του εδάφους συμβάλει στη καλή δημιουργία της ίνας. Η έλλειψη υγρασίας συντελεί στην επιβράδυνση της αύξησης του ύψους, στη μείωση της παραγωγής και την υποβάθμιση της ποιότητας της ίνας. Η έλλειψη υγρασίας επίσης συμβάλει στην επιτάχυνση της γήρανσης του φυτού (μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας), με αποτέλεσμα η παραγωγικότητα του φυτού να είναι μειωμένη (Stewart *et al.*, 2000)

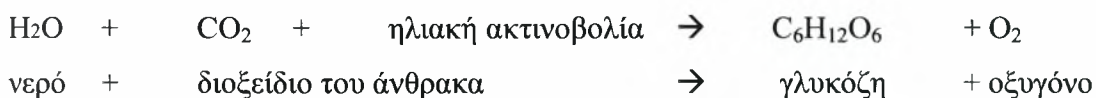
Η άρδευση παίζει πρωταρχικό ρόλο στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, μιας και ενισχύει την κίνηση των ηλεκτρονίων, για να ξεκινήσει η διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στην διαπνοή (transpiration) του

φυτού (άνοιγμα στομάτων) καθώς η φωτοσύνθεση πραγματοποιείται μόνο όταν τα στόματα είναι ανοικτά. Η ποσότητα και η συχνότητα των αρδευτικών εφαρμογών πρέπει να γίνεται με γνώμονα το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, και τις εδαφοκλιματικές ανάγκες. Το βέλτιστο της φωτοσυνθετικής ικανότητας πραγματοποιείται όταν το φυτό είναι σε υδατοικανότητα, πέραν αυτού του σημείου οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης και διαπνοής μειώνονται.

Όσον αφορά τον τέταρτο παράγοντα που επιδρά στην αύξηση και την ανάπτυξη του φυτού, την λίπανση, σε πρόσφατες μελέτες (Alexopoulou, 2000, Danalatos και Archontoulis, 2005) μελετήθηκε η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης (εύρος 0-15 κιλά/στρ) και βρέθηκε ότι η λίπανση δεν είχε μεγάλη επίδραση στην αύξηση και την ανάπτυξη του φυτού.

1.4 Έδαφος – φυτό – ατμόσφαιρα

Το εσωτερικό περιβάλλον του φυτού αποτελείται κατά κανόνα κατά 80-90% από νερό. Η σχετική υγρασία μέσα στο φυτό είναι πάντα υψηλότερη από 95%. Το φυτό έχουν εξελίξει διάφορους μηχανισμούς, όπως οι κέρινες επιδερμίδες, ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν στεγνώνουν, και έχουν στην διάθεση τους νερό για τη θεμελιώδη διαδικασία της φωτοσύνθεσης:



Η γλυκόζη που παράγεται κατά την φωτοσύνθεση είναι η δομική μονάδα για την αύξηση των φυτών και επομένως για όλες τις ανώτερες μορφές ζωής στη γη. Το σημαντικότερο πρόβλημα για τα φυτά δεν είναι το νερό που χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση, και ως επακόλουθο στην αύξηση (λιγότερο από 2% της συνολικού νερού του φυτού), αλλά το νερό που εξατμίζεται από το φύλλο (διαπνοή) δεδομένου ότι συλλαμβάνει το CO₂ από την ατμόσφαιρα που περιέχει μόνο 0,035% του CO₂.

Η εξάτμιση του νερού από το φυτό στην ατμόσφαιρα καλείται διαπνοή (transpiration). Τα σχετικά ποσά φωτοσύνθεσης (CO₂ in) και διαπνοής (H₂O out) εξαρτώνται από την πίεση ατμών του CO₂ και του νερού στην ατμόσφαιρα μέσα και έξω από το φύλλο, αντίστοιχα.

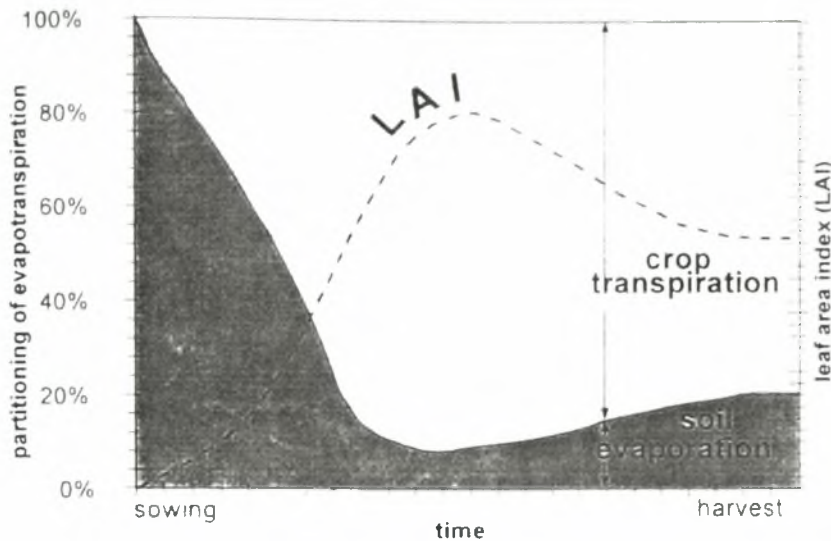
Κατά μέσον όρο, για κάθε 100 λίτρα νερού που χρησιμοποιούνται από το φυτό, οι ακόλουθες διαδικασίες λαμβάνουν χώρα:

| | |
|---------------------------------|-----------------|
| Φωτοσύνθεση | 0,1 λίτρα |
| Αύξηση (νέα φύλλα, ρίζες κ.λπ.) | 1,9 λίτρα |
| <u>Διαπνοή</u> | <u>98 λίτρα</u> |
| Σύνολο | 100 λίτρα |

Η ροή του νερού στο φυτό γίνεται από ένα καλά κατασκευασμένο διασυνδεδεμένο σύστημα σωλήνων που λέγεται xylem, με ταχύτητα από ένα έως αρκετά μέτρα ανά ώρα. Τα ποσοστά είναι συνήθως γρηγορότερα στα δέντρα από ότι στα ποώδη, ετήσια φυτά, λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους των αγγείων τους. Το σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του υδραυλικού συστήματος είναι ότι και οι δύο άκρες (ρίζες και φύλλα) είναι κλειστά από κυτταρικά τοιχώματα, με 3 δομές κυτταρίνης. Οι ρίζες αποτελούν τα όργανα απορρόφησης νερού από το έδαφος. Η δυνατότητα των φυτών να απορροφούν ύδωρ από το έδαφος εξαρτάται από τον αριθμό των ριζιδίων και άλλων εδαφολογικών παραγόντων. Ακόμη και η κατανομή της ρίζας είναι σημαντική και για την απορρόφηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος με το εδαφικό διάλυμα. Η κίνηση του νερού προς την ρίζα σε καλά ποτισμένα εδάφη κυμαίνεται από 0,01 έως 0,2 μέτρων ανά ώρα, ενώ σε ξηρό έδαφος (όπως στις περισσότερες φορές) είναι 10 έως 100 φορές πιο αργή. Έχοντας υπόψη ότι η κίνηση του νερού στο xylem της χλόης είναι περίπου 1 μέτρο ανά ώρα, μπορούμε να εκτιμήσουμε ότι το νερό κινείται 50 έως 1000 φορές πιο αργά στο χώμα από τις ρίζες.

1.5 Διαπνοή και εξάτμιση

Μπορεί και με τις δυο διαδικασίες να έχουμε απώλεια νερού αλλά είναι δυο διαφορετικές έννοιες και φυσικά ακολουθούν διαφορετικές πορείες. Διαπνοή είναι η απώλεια νερού από το φυτό ενώ η εξάτμιση είναι η απώλεια νερού από το έδαφος. Στο παρακάτω σχήμα περιγράφονται οι πορείες αυτές σε σχέση με το δείκτη f υλικτικής επιφάνειας των φυτών (leaf area index).



Σχήμα 1. Η πορεία της εξάτμισης και της διαπνοής (πηγή: FAO, 1998)

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1, στα αρχικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας όπου η βλάστηση είναι μικρή, η κύρια διεργασία απώλειας νερού είναι η εξάτμιση. Αργότερα, με την ανάπτυξη της φυλλοστοιβάδας η διαπνοή αποτελεί την κύρια διεργασία απωλειών νερού από την καλλιέργεια. Όπως γίνεται σαφές στις μέρες όπου η εξοικονόμηση νερού είναι ύψιστης σημασίας, μελέτες που αφορούν στους ρυθμούς διαπνοής και παραγόντων που επιδρούν σε αυτές είναι μεγάλης σημασίας (Kramer, 1983)

1.6 Διαπνοή (*Transpiration*)

Ο μηχανισμός με τον οποίο το νερό διαφεύγει μέσω των στοματιών στην ατμόσφαιρα είναι σχετικά απλός. Η διαπνοή παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση με την ώρα της ημέρας (αυξάνεται από το πρωί έως το μεσημέρι, μετά σταθεροποιείται για λίγο και μειώνεται μέχρι το βράδυ. Τις νυκτερινές ώρες δεν μηδενίζεται αλλά εξακολουθεί σε πολύ μικρά επίπεδα (αδημοσίευτα δεδομένα προγράμματος Βιοκενάφ 2005). Η διάχυση αποτελεί την κύρια διαδικασία με την οποία οι υδρατμοί διαφεύγουν από την στοματική κοιλότητα στην ατμόσφαιρα. Η διαπνοή διαφέρει από την εξάτμιση διότι η διαφυγή των υδρατμών εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό και από την αντίσταση του φύλλου και δεν περιορίζεται μόνο σε εδαφο-κλιματικούς παράγοντες. Η εξίσωση η οποία μπορεί να περιγράψει αρκετά καλά την διαδικασία της διαπνοής είναι η ακόλουθη:

$$E = (C_{\text{leaf}} - C_{\text{air}}) / (r_{\text{leaf}} + r_{\text{air}}) \quad \text{ή} \quad [1]$$

$$E = (e_{\text{leaf}} - e_{\text{air}}) / (r_{\text{leaf}} + r_{\text{air}}) \quad [1a]$$

Όπου

E = η διαπνοή ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

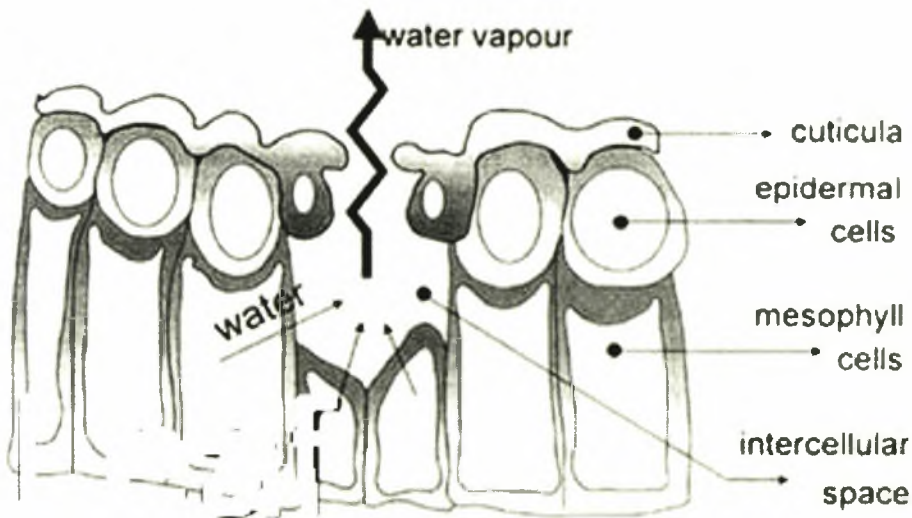
C_{leaf} , e_{leaf} = η συγκέντρωση και η πίεση υδρατμών στην στοματική κοιλότητα ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

C_{air} , r_{air} = η συγκέντρωση και η πίεση υδρατμών στην ατμόσφαιρα ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

r_{leaf} = η αντίσταση του φύλλου ($\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)

r_{air} = η αντίσταση του γύρω από το φύλλο ($\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)

Από την παραπάνω εξίσωση οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η διαπνοή του φύλλου / φυτό είναι ανάλογη με την διάφορα συγκέντρωσης υδρατμών και αντιστρόφως ανάλογη με το άθροισμα των αντιστάσεων (Kramer, 1983)



Σχήμα 2. Η πορεία της διαπνοής από τη στοματική κοιλότητα στην ατμόσφαιρα. (cuticula = επιδερμίδα, epidermal cells = επιδερμικά κύτταρα, mesophyll cells = κύτταρα του μεσόφυλλου, intercellular space = μεσοκυντάριος χώρος) (Πηγή: FAO, 1998)

Η διαπνοή, όπως και η εξάτμιση, εξαρτώνται από την ενέργεια που εισρέει, την πίεση των υδρατμών στον αέρα. Ως εκ τούτου, η ακτινοβολία, η θερμοκρασία αέρα, η υγρασία αέρα και η ταχύτητα του ανέμου διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην πορεία της διαπνοής των φύλλων. Επίσης η υγρασιακή κατάσταση του εδάφους, η

ικανότητα του εδάφους να τροφοδοτεί τις ρίζες με νερό, και η ποιότητα του νερού (π.χ. προβλήματα αλατότητας και όσμωσης), επηρεάζουν την πορεία της διαπνοής. Ο ρυθμός διαπνοής επηρεάζεται επίσης από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, από περιβαλλοντικές συνθήκες. Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και τέλος από τις καλλιεργητικές τεχνικές. Διαφορετικά είδη φυτών έχουν διαφορετικούς ρυθμούς διαπνοής.

Στην παράγραφο που ακολουθεί θα αναφέρουμε μερικά απλά παραδείγματα για να γίνουν πιο κατανοητοί οι παράγοντες που επιδρούν στην διαπνοή των φυτών.

- Ο δυνατός αέρας μειώνει την αντίσταση των φύλλων, αυξάνει την διαφορά πίεσης υδρατμών και αυξάνει την διαπνοή.
- Η χαμηλή σχετική υγρασία του αέρα αυξάνει την διαφορά συγκεντρώσεως υδρατμών (στοματική κοιλότητα με ατμόσφαιρα, *VPD*: vapour pressure deficit) μιας και η στοματική κοιλότητα θεωρείται σχεδόν πάντα κορεσμένη, και κατά συνέπεια αυξάνονται και οι ρυθμοί διαπνοής
- Η θερμοκρασία παίζει καταλυτικό ρόλο στην διαπνοή του φυτού. Μεγάλες θερμοκρασίες επιταχύνουν τους ρυθμούς διαπνοής. Σύμφωνα με τους Archontoulis *et al.*, (2005), η διαπνοή στο κενάφ (ποικιλία Everglades 41) ακολουθεί μια εκθετική πορεία και μάλιστα σε θερμοκρασίες φύλλων άνω των 35°C, το φυτό έχει την ανάγκη να εξατμίσει περί τα 20 mmol (H₂O) m⁻² (leaf) s⁻¹, προκειμένου να διατηρήσει τη θερμοκρασία και κατά συνέπεια τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης σε ικανοποιητικά επίπεδα. Επίσης βρέθηκε ότι οι ρυθμοί διαπνοής δεν επηρεάστηκαν από τα διάφορα επίπεδα ηλιοφάνειας.
- Η υγρασιακή κατάσταση του φυτού, μιας και η έλλειψη επαρκούς ποσότητας νερού έχει ως αποτέλεσμα το κλείσιμο των στοματίων και την μείωση της διαπνοής.

1.7 Φωτοσύνθεση

Η όλη διαδικασία της φωτοσύνθεσης πραγματοποιείται με μια σειρά αλληλοδιαδοχικών φυσικών και χημικών φαινομένων τα οποία δεν έχουν πλήρως διαλευκανθεί. Η αλυσίδα των επιμέρους αντιδράσεων οδηγεί στο σχηματισμό της τελικής ουσίας που κατά κανόνα είναι η γλυκόζη από το CO₂ της ατμόσφαιρας. Μεγάλο μέρος των αντιδράσεων αυτών (αναπνοή) είναι ανεξάρτητο του φωτός, με αλλά λόγια μπορούν να συμβούν τόσο παρουσία φωτός όσο και στο σκοτάδι, γ' αυτό και ονομάζονται "σκοτεινές αντιδράσεις (dark respiration)" σε αντίθεση προς της "φωτεινές αντιδράσεις". (Atwell *et al.*, 1999).

Η αφομοίωση του CO₂ είναι σημαντικός παράγοντας διότι με αυτήν πραγματοποιείται η παραγωγή οργανικών ουσιών, καθώς επίσης και η αποταμίευση ενέργειας με χημική μορφή. Η αναγωγή του άνθρακα πραγματοποιείται στο στρώμα του χλωροπλάστη με μια σειρά πολύπλοκων αντιδράσεων, που είναι γνωστές ως κύκλος του Calvin και πραγματοποιούνται σε τρία στάδια: α) στο πρώτο γίνεται η καρβοξυλίωση του αποδέκτη του CO₂, β) το δεύτερο περιλαμβάνει την αναγωγή των καρβοξυλικών οξέων σε αλδευδική μορφή, γ) στο τρίτο αναγεννάται ο αποδέκτης του CO₂ (Hopkins, 1995).

Η φωτοσυνθετική απόδοση ενός φυτού μπορεί να επηρεασθεί από διάφορους παράγοντες, είτε εξωτερικούς είτε εσωτερικούς, οι οποίοι με τη σειρά τους έχουν επιπτώσεις στην παραγωγή κάθε καλλιέργειας. Μερικοί από τους παράγοντες επηρεάζουν άμεσα τη φωτοσύνθεση όπως το φως και το CO₂, ενώ άλλοι όπως το νερό και τα θρεπτικά συστατικά έχουν έμμεσες επιδράσεις. Το φως είναι απαραίτητο αφού παρέχει την ενέργεια. Η φωτοσύνθεση αυξάνει γενικά όσο αυξάνει η ένταση του φωτός μέχρι ένα ορισμένο σημείο, το σημείο κορεσμού πέρα από το οποίο παύει να αυξάνεται η φωτοσύνθεση. Με την αύξηση του CO₂ αυξάνεται και η φωτοσύνθεση εφόσον οι άλλοι παράγοντες δεν είναι περιοριστικοί, εμπλουτισμός ενός συστήματος με CO₂ δεν ωφελεί παρά μόνο εάν ταυτόχρονα εξασφαλίσουμε και ικανοποιητικό φωτισμό. Επίσης σε υψηλές εντάσεις θερμοκρασίας έχουμε αύξηση της φωτοσύνθεσης, φωτοσύνθεση δεν γίνεται αν η θερμοκρασία δεν είναι μεγαλύτερη από μια ορισμένη τιμή ελάχιστη, μετά το σημείο αυτό όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία τόσο αυξάνεται και η φωτοσύνθεση. Το νερό επίσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την φωτοσύνθεση, όλα τα κύτταρα κανονικά έχουν πάντα άφθονο νερό, έτσι όσο τα κύτταρα είναι σε σπαργή και ενεργά το νερό δεν αποτελεί

περιοριστικό παράγοντα για τη φωτοσύνθεση. Έλλειψη νερού περιορίζει την είσοδο CO₂ στα φύλλα, την κίνηση e⁻ και την επιφάνεια των φύλλων. Η κατασκευή και διάταξη του φύλλου, η πυκνότητα των χλωροπλαστών, η θρεπτική κατάσταση του φυτού, ένζυμα, συνένζυμα κ.α. επηρεάζουν τη φωτοσύνθεση. Τέλος, με τη μείωση της φωτοαναπνοής, θα έχουμε αύξηση της φωτοσύνθεσης, και αυτό μπορούμε να το πετύχουμε με : αύξηση της συγκέντρωσης CO₂, μείωση της συγκέντρωσης του O₂ από 21% σε 2% και χρήση χημικών ουσιών(Hall *et all.*,1993)

1.8 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να καταγράψει και να αναλύσει τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης της διαπνοής δυο ποικιλιών κενάφ σε 2 επίπεδα φωτός και σε δυο επίπεδα μετρήσεων φύλλων πάνω στο φυτό.

Επίσης σκοπός ήταν να καθορίσει και να αναλύσει την πορεία της SLA (Ειδική φιλική επιφάνεια) καθόλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η παρούσα μελέτη έλαβε χώρα στον Παλαμά Καρδίτσας, στα πλαίσια Ευρωπαϊκού Προγράμματος Biokenaf, και οι παρακάτω μετρήσεις συλλέχθηκαν:

- Ύψος φυτού
- Αριθμός κόμβων
- Ειδική φιλική επιφάνεια
- Ρυθμοί φωτοσύνθεσης και διαπνοής (2 επίπεδα φωτός, 900 και 1600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ × 2 φύλλα, πάνω και κάτω × 4 φαινολογικά στάδια ανάπτυξης)
- Light response curve

2.1 Πειραματική Περιοχή – Έδαφος

Η παρούσα μελέτη έλαβε χώρα στον Παλαμά Καρδίτσας (συντεταγμένες 39°25'43.4'' Βόρειο, 22°05'09.7'' Ανατολικό, Υψόμετρο 107,5 μέτρα) το 2004, σε βαθύ, γόνιμο, πηλώδες έδαφος. Το έδαφος ταξινομείται ως Aquic Xerofluent σύμφωνα με USDA (1975), έχοντας υπόγειο νερό που κυμαίνεται 150-200 cm από την επιφάνεια του εδάφους την περίοδο Μάιος-Ιούνιος. Οι τυποποιημένες εδαφολογικές φυσικές και χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο ΙΧΤΕΛ Λάρισα. Το υπό μελέτη έδαφος είναι ελλιπώς αποστραγγιζόμενο, πηλώδες (άμμος 40-42%, πηλός 40-41%, άργιλος 18-19%) με pH=8-8.2 που σχηματίστηκε σε πρόσφατες αλλούβιες αποθέσεις και αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο μέρος της πεδιάδας της Δυτικής Θεσσαλίας. Το έδαφος αποστραγγίζεται τεχνητά και έχει ένα ποσοστό οργανικής ουσίας περισσότερο από 1% σε ένα βάθος 50 εκατοστών.

2.2 Πειράματα Αγρού

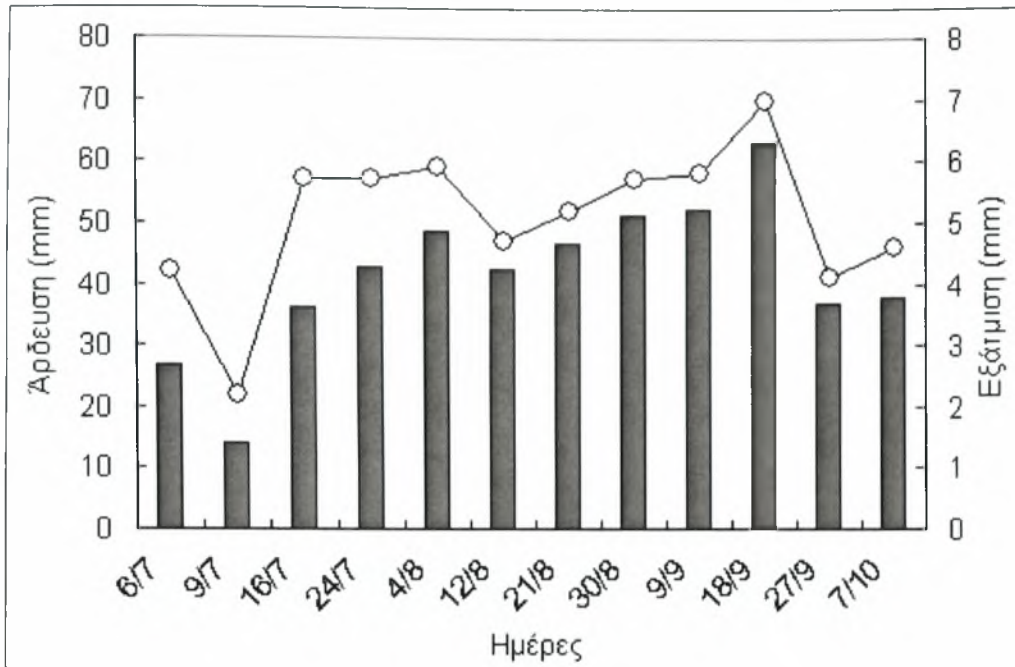
Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος BIOKENAF εγκαταστάθηκαν δυο πειράματα αγρού. Το πρώτο πείραμα (Tainnung 2) περιλάμβανε τρεις επεμβάσεις άρδευσης ($I_1=25\%$, $I_2=50\%$ και $I_3=100\%$ της ΕΤο) και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης (0, 5, 10 και 15 kg N/στρ) της ποικιλίας Tainnung 2. Το πειραματικό σχέδιο ήταν (factorial 3x4) διπαραγοντικό διχαζομένων τεμαχίων, με κύρια τεμάχια την άρδευση

και υποτεμάχια την λίπανση, σε 3 επαναλήψεις (blocks). Το δεύτερο πείραμα ήταν πλήρως τυχαιοποιημένο (RCB) 2x2x2 με δύο εποχές σποράς (1/6 και 1/7/04), δυο ποικιλίες (Tainnung 2 και Everglades 41) και 2 πυκνότητες πληθυσμού (20 και 40 φυτά m⁻²), με άριστες τις λοιπές συνθήκες. Πριν την σπορά του κενάφ, εφαρμόστηκε βασική λίπανση με φωσφόρο (5 κιλά/στρ) και κάλιο (10 κιλά/στρ). Η σπορά του πρώτου πειράματος έγινε ταυτόχρονα με την πρόιμη σπορά του δεύτερου πειράματος. Η σπορά πραγματοποιήθηκε με πνευματική μηχανή ακρίβειας τύπου “GASPARTO”. Το 50% του φυτρώματος καταγράφηκε 5 μέρες αργότερα για όλες τις ποικιλίες και εποχές σποράς. Ακολούθησε έλεγχος ζιζανίων με μηχανικό τρόπο (φρεζοσκαλιστήρι) καθώς και έλεγχος ζιζανίων πάνω στην γραμμή με το χέρι (συνολικά 3 φορές), κατά την διάρκεια του πρώτου μήνα της αύξησης του φυτού, η οποία χαρακτηρίζεται ως βραδεία αύξηση με αυξημένη ευαισθησία του φυτού σε διάφορες παθήσεις και ιδιαίτερα στα ζιζάνια.

2.3 Άρδευση

Η άρδευση των πειραμάτων έγινε με τη χρήση σταλακτηφόρων σωλήνων (διαμέτρου Φ20, απόσταση σταλάκτη 1m και παροχή 4 lt/h). Παρακάτω παρατίθεται γράφημα με την συχνότητα (6-7 ημέρες) και την ποσότητα του νερού που εφαρμοζόταν την καλλιεργητική περίοδο του 2004 . Στον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας άρδευσης ελήφθησαν υπόψη συντελεστές εξάτμισης της λεκάνης 0,75, η Kc του φυτού (min 0,7 και max 1,2, αναλόγως με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και τον δείκτη φιλικής επιφάνειας). Επιπλέον η παροχή του σταλάκτη μετρήθηκε και υπολογίστηκε σε 3,9 lt/hour (λίγο πιο κάτω από τις προδιαγραφές). Η παροχή διατηρήθηκε σταθερή σε όλο το πειραματικό εύρος.

Σχήμα 2.1



Σχήμα 2.1: Εφαρμογές άρδευσης (μπάρες) και η πορεία της εξάτμισης στον Πειραματικό αγρό του Κενάφ Παλαμά την καλλιεργητική περίοδο του 2004 (γραμμή).

2.4 Μετρήσεις – Παρατηρήσεις

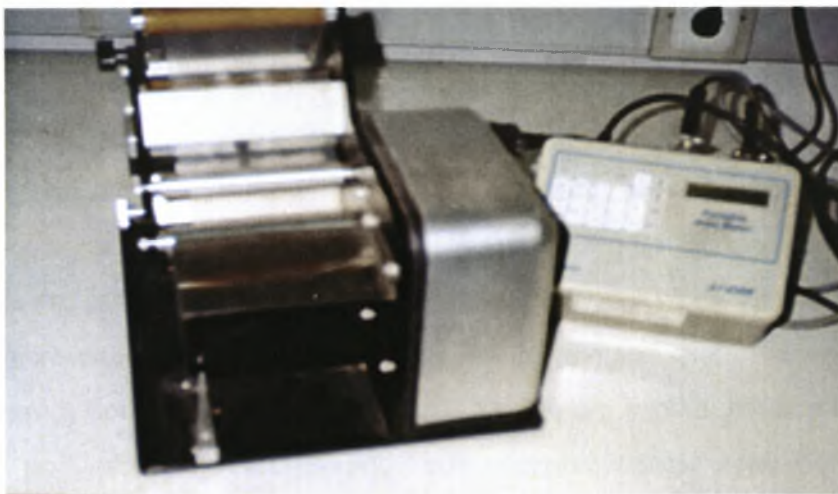
Για τους σκοπούς της μελέτης επιλέχθηκαν εξ αρχής κάποια πειραματικά τεμάχια στα οποία διεξήχθησαν όλες οι παρατηρήσεις-μετρήσεις, με κριτήριο να έχουν την ίδια ποσότητα λιπάσματος (10 kg/στρ.). Πιο συγκεκριμένα τα τεμάχια ήταν τα ακόλουθα:

| Πείραμα | Αριθμός τεμαχίων | ποικιλία | Πυκνότητα φυτών | Άρδευση |
|-----------|------------------|---------------|--------------------------|---------|
| Factorial | 12 | Tainnung 2 | 20 φυτά / m ² | 100% |
| Factorial | 12 | Tainnung 2 | 20 φυτά / m ² | 50% |
| Factorial | 12 | Tainnung 2 | 20 φυτά / m ² | 25% |
| RCBD | 6 | Everglades 41 | 20 φυτά / m ² | 100% |

Οι μετρήσεις έγιναν στις παρακάτω ημερομηνίες: 16/7, 2/8, 7/8, 18/8, 24/8, 4/9 και 2/10/2004.

2.5 Επεξεργασία φύλλων

Τέσσερις φορές κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και συγκεκριμένα στις ακόλουθες ημερομηνίες: 30/7, 4/8, 20/8 και 9/9/04 ελήφθησαν δείγματα φύλλων από τον αγρό, συνολικά : 2 ποικίλες (Tainnung 2 και Everglades 41) × 2 διαφορετικά ύψη (πάνω φύλλα και κάτω φύλλα σε απόσταση > 0.5 m) × 2 συγκεκριμένες ώρες την ημέρα (πρωί, απόγευμα). Κάθε δείγμα αποτελούνταν από 10–15 φύλλα. Αμέσως μετά τη συλλογή τους μεταφέρονταν αμέσως στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις όπου μετρήθηκε η φυλλική επιφάνεια. Έπειτα τοποθετήθηκαν μέσα σε χάρτινες σακούλες και ξηράθηκαν στους 90 °C μέχρι να αποκτήσουν σταθερά βάρη. Μετά την ξήρανση (2 ημέρες περίπου) μετρήθηκε το ξηρό τους βάρος με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας. Η επιφάνεια των χλωρών φύλλων μετρήθηκε με τη βοήθεια του αυτόματου μετρητή φύλλων (leaf area meter). Το σύστημα αποτελείται από: α) Το LI-COR model LI-3000A portable area meter, που είναι ο υπολογιστής του συστήματος και αποτελείται από την οθόνη, τα πλήκτρα του υπολογιστή και τις υποδοχές για τις συνδέσεις με τα παράπλευρα όργανα. β) Την κεφαλή σάρωσης του συστήματος μέσα από την οποία περνούν τα φύλλα. γ) Το εξάρτημα LI-3050A Transparent Belt Conveyor με πλαστική διάφανη ζώνη η οποία περιστρέφεται βοηθώντας τη διέλευση των φύλλων μέσα από την κεφαλή σάρωσης, για τη μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας.



Εικόνα 2.1. Το σύστημα μέτρησης φυλλικής επιφάνειας στο εργαστήριο.

2.6 Μετρήσεις φωτοσύνθεσης και διαπνοής

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκαν πολλές μετρήσεις (συνολικά σε 7 διαφορετικά φαινολογικά στάδια του φυτού) αλλά εδώ παρουσιάζεται ένα μέρος αυτών που είχαν κοινή ώρα έναρξης και λήξης (4.30-7.30 το απόγευμα). Η καταγραφή των ρυθμών φωτοσύνθεσης και διαπνοής έγινε ως εξής:

Στην αρχή επιλέχθηκαν και «σημαδεύτηκαν» ορισμένα φυτά στα οποία θα πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις. Τα φυτά ήταν στο κέντρο κάθε πειραματικού τεμαχίου ώστε να έχουμε πλήρη αφομοίωση στις συνθήκες του μικρό-κλίματος της καλλιέργειας, και απάλειψης της επίδρασης του περιθωρίου “border effect”. Τα τεμάχια επιλέχθηκαν με σκοπό να μελετηθούν οι ρυθμοί κάτω από 3 επίπεδα άρδευσης (25, 50, 100% της ΕΤο) για τις ποικιλίες Tainnung 2 και Everglades 41. Η λίπανση ήταν η ίδια σε όλα τα πειραματικά τεμάχια (10 κιλά Ν/στρ).

Σε κάθε τεμάχιο μετρήθηκαν οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης σε δυο ύψη πάνω στο ίδιο φυτό (σημαδεμένα φύλλα, απόσταση 2 φύλλων 50-80 cm) και σε δυο εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας (450 και 800 W m⁻², τεχνητή ακτινοβολία). Προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα, η θερμοκρασία του θαλάμου κρατήθηκε σταθερή και η θερμοκρασία του φύλλου διακυμάνθηκε σε ένα μικρό εύρος 27-30 °C (LCpro παρέχει αυτή τη δυνατότητα). Οι μετρήσεις κάλυψαν ένα μεγάλο εύρος της καλλιεργητικής περιόδου, και έγιναν ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Όλες οι παρατήσεις καταγράφηκαν κατά κανόνα 3-4 ημέρες μετά το πότισμα. Για τους σκοπούς της μελέτης χρησιμοποιήθηκε σύγχρονο μηχάνημα φωτοσύνθεσης (LC-pro Leaf Chamber Analysis System, England).

Το LCpro είναι ειδικά σχεδιασμένο για να μεταφέρεται παντού και για χρήση στον αγρό και περιέχει εσωτερική μπαταρία ικανή για συνεχή χρήση από 4 έως 16 ώρες ανάλογα με της ρυθμίσεις. Ο σκοπός του είναι να μετρά και να ελέγχει το περιβάλλον ενός φύλλου το οποίο βρίσκεται στο θάλαμο του μηχανήματος και να υπολογίζει τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φύλλου. Το όργανο περιλαμβάνει μια κεντρική κονσόλα με ενδείξεις διαχείρισης του μηχανήματος, τροφοδοσία αέρα, μικροεπεξεργαστή, κάρτα αποθήκευσης δεδομένων (PCMC), πληκτρολόγιο πέντε πλήκτρων και ένα θάλαμο φύλλου συνδεδεμένο με καλώδιο. Ο θάλαμος είναι εφοδιασμένος με ρυθμιστή θερμοκρασίας και αποσπώμενη μονάδα φωτισμού. Η κεντρική κονσόλα προμηθεύει αέρα με ελεγχόμενη συγκέντρωση CO₂ και H₂O, στο θάλαμο με μετρήσιμο ρυθμό.



Εικόνα 2.2: Το μηχάνημα φωτοσύνθεσης (LC-pro) κατά τη διάρκεια μετρήσεων σε φύλλα κενάφ, ποικιλία Everglades 41 (αριστερά) και ποικιλία Tainnung 2 (δεξιά) στον Παλαμά Καρδίτσας, το 2004.

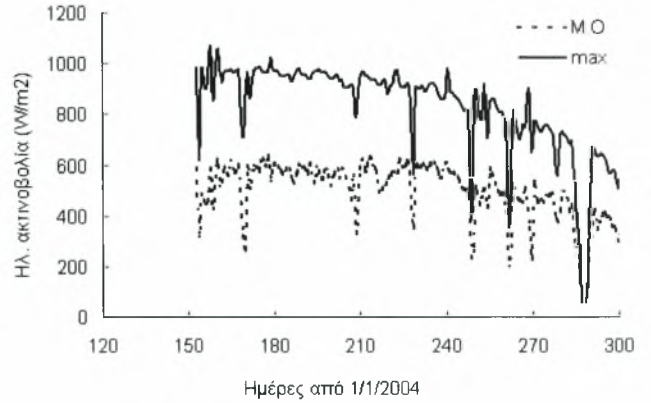
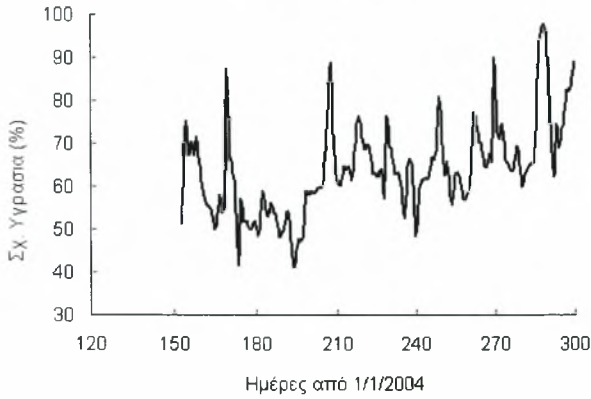
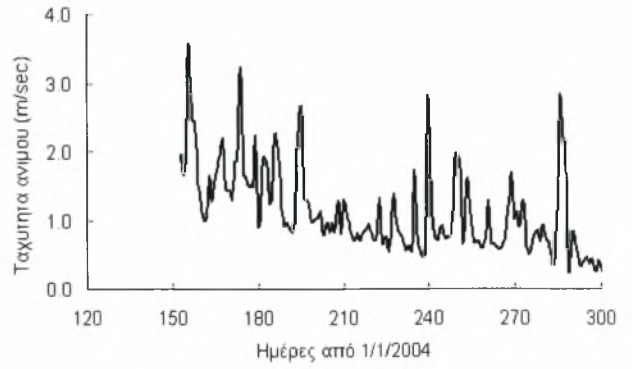
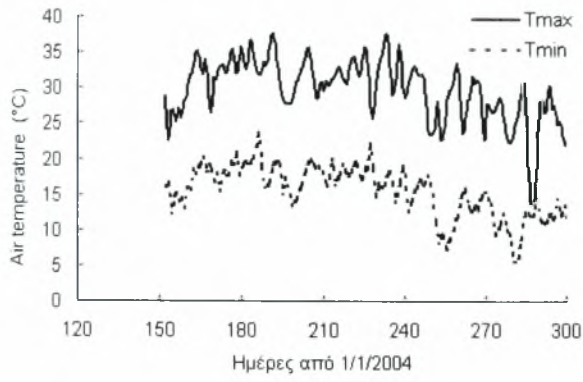
Από τις διαφορές στη συγκέντρωση αερίων και ρυθμού παροχής αέρα, οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης και διαπνοής υπολογίζονται περίπου κάθε 20 δευτερόλεπτα. Ένας μικρός ανεμιστήρας στο θάλαμο διασφαλίζει την όμοια κατανομή του αερίου πέριξ των φύλλων. Η μέτρηση του CO₂ γίνεται με έναν υπέρυθρο αναλυτή αερίων (IRGA) ενώ η μέτρηση του ρυθμού διαπνοής γίνεται από δυο υψηλής ποιότητας ανιχνευτές υγρασίας. Το σύστημα επίσης υπολογίζει τη θερμοκρασία του φύλλου, τη θερμοκρασία του αέρα στο θάλαμο, την PAR (φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία) και την ατμοσφαιρική πίεση. Τα δεδομένα (μετρημένες και υπολογισμένες τιμές) προβάλλονται σε μια οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) στο εμπρόσθιο τμήμα της κονσόλας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Κλιματολογικές συνθήκες

Γενικά, η πειραματική περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα τυπικό μεσογειακό κλίμα, με ζεστά καλοκαίρια και υγρούς χειμώνες. Η συνολική βροχόπτωση κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου το 2004 ήταν 190 mm, (83 mm λιγότερη από την μέση κλιματική τιμή για την περιοχή). Το 35% από τις βροχοπτώσεις σημειώθηκαν περί τα τέλη Ιουλίου. Σε γενικές γραμμές η περίοδος του 2004 χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια.

Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας, ακτινοβολίας, ταχύτητας ανέμου και σχετικής υγρασίας. Η μέση θερμοκρασία κατά την καλλιεργητική περίοδο ήταν κοντά στους 25° C (μέγιστες το μεσημέρι 35 °C ενώ ελάχιστες λίγο πριν ξημερώσει 17 °C). Ως γνωστόν, η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη μιας καλλιέργειας (Heuvelink *et al.*, 2005), (πέρασμα από το ένα φαινολογικό στάδιο ανάπτυξης στο άλλο) επηρεάζοντας τους ρυθμούς αύξησης (growth rates) μέσω της επιδράσής της στην αναπνοή. Με βάση τα διαγράμματα (Σχ. 3.1) αναμένονται μεγάλες απώλειες την ημέρα (light respiration and photorespiration) ιδιαίτερα στην μεταχείριση με 25% άρδευση. Η μέση ακτινοβολία ήταν περί τα 550 Wm⁻², ενώ η μέγιστη ξεπέρασε τα 1000 Wm⁻², γεγονός που υποδηλεί ότι η ακτινοβολία που φτάνει στο αγρό αγγίζει το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης. Επιπλέον τα ποσά ακτινοβολίας προδιαθέτουν σε μεγάλους ρυθμούς φωτοσύνθεσης εφόσον δεν υπάρχουν άλλοι παράγοντες που να την περιορίζουν (μειωμένη διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών ουσιών). Η ταχύτητα του ανέμου κυμάνθηκε περί τα 1–2 m/sec, ενώ η σχετική υγρασία του αέρα ήταν χαμηλή κατά την διάρκεια του θέρους 2004 επιφέροντας μεγάλες απώλειες νερού λόγω διαπνοής.



Σχήμα 3.1. Θερμοκρασία αέρα (άνω αριστερά), ταχύτητα ανέμου (άνω δεξιά), σχετική υγρασία αέρα (κάτω αριστερά) και ηλιακή ακτινοβολία (κάτω δεξιά). Ημερήσιες τιμές όπως καταγράφηκαν στο μετεωρολογικό σταθμό στο πειραματικό αγρόκτημα το 2004.

3.2 Ύψος φυτού και αριθμός κύριων κόμβων

Η εργασία άρχισε όταν τα φυτά είχαν φθάσει σε ύψος περίπου ένα μέτρο. Αργότερα, και σύμφωνα με τις εφαρμογές ποτίσματος, παρατηρήθηκε μια διαφοροποίηση στο ύψος των φυτών ανάλογα με τη μεταχείριση. Στο σχήμα 3.2, φαίνεται η πορεία αύξησης δυο ποικιλιών κεναφ κάτω από διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης (25, 50 και 100%, της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής,) και λίπανσης 10 kg N / στρ., μόνο για την ποικιλία Tainnung 2, ενώ για την ποικιλία Everglades 41, παρουσιάζεται η αύξηση του φυτού υπό 100% της άρδευσης, και λίπανσης 10 kg N / στρ.

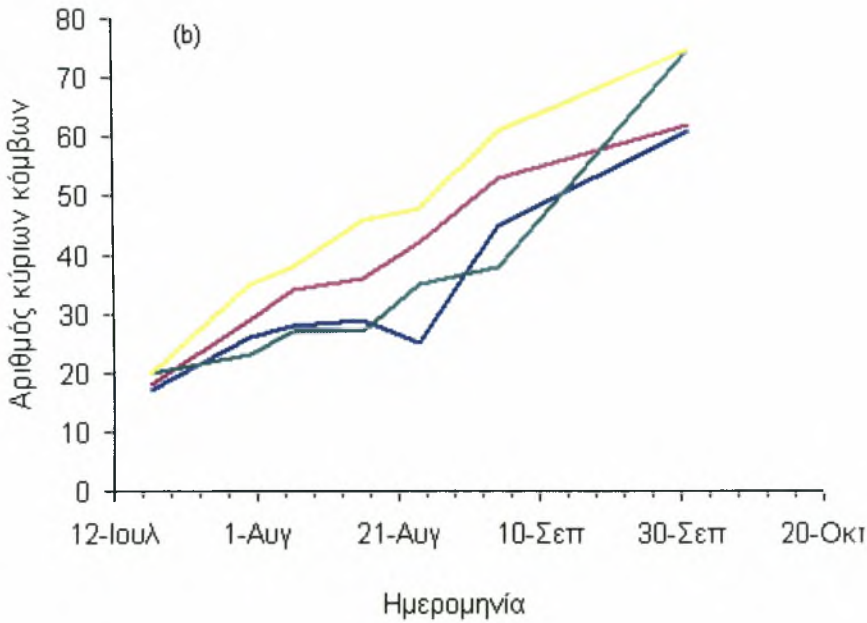
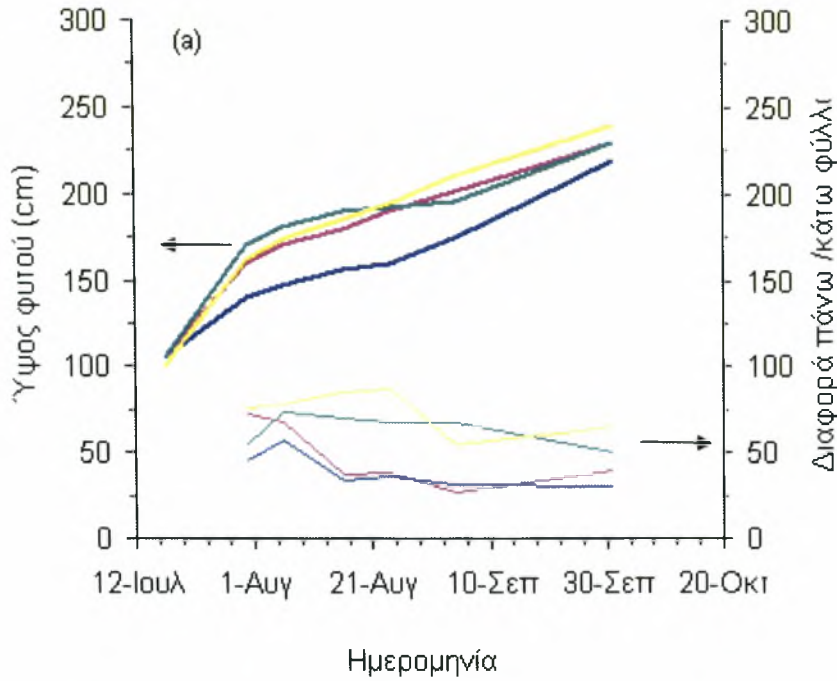
Πιο συγκεκριμένα, όλες οι μελετούμενες μεταχειρίσεις αυξήθηκαν με γοργούς ρυθμούς κατά τη διάρκεια του Ιουλίου- μέσα Αυγούστου (περίοδος εκθετικής αύξησης, το φυτό προσπαθεί να κλείσει την φυλλοστοιβάδα) με ρυθμούς 2.5 / ημέρα για την μεταχείριση με το 25% της άρδευσης και ρυθμούς (μέσο όρο) 4.3 cm / ημέρα για τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Από εκεί και πέρα και έως τις αρχές Οκτωβρίου οι ρυθμοί αύξησης σε ύψος μειώθηκαν και ήταν περίπου οι ίδιοι για όλες τις μεταχειρίσεις (1.3 cm / ημέρα). Η μείωση αυτή έχει να κάνει με την αλλαγή στην κατανομή ξηρής ουσίας. Καθώς αυξάνεται η φυτομάζα, αυξάνεται και η ζήτηση για κατανάλωση ενέργειας προς συντήρηση (maintenance respiration). Το τελικό ύψος για όλες τις μελετούμενες μεταχειρίσεις κυμάνθηκε από 220-240 cm με μικρή διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων άρδευσης (περίπου 5%). Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι το ύψος αυτό είναι το επιμέρους των μεταχειρίσεων και δεν μπορεί να γενικευτεί για ολόκληρο το πείραμα. Μεγάλο ρόλο στην μικρή διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων οφείλεται στο έδαφος (υπόγεια στάθμη νερού).

Ένα άλλο εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό που καταγράφηκε είναι η διάφορα μεταξύ του «άνω» και το «κάτω» φύλλου τα οποία επιλέχτηκαν για την μέτρηση των ρυθμών φωτοσύνθεσης (Σχήμα 3.2α, δεξιός Ψ άξονας). Τα φύλλα ήταν σημαδεμένα από την αρχή της πειραματικής εργασίας, και η απόσταση τους διατηρήθηκε στο εύρος 30-60 cm². Αυτή η παρατήρηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην ερμηνεία των ρυθμών της φωτοσύνθεσης, καθώς μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για το πως επηρεάζεται η φωτοσύνθεση και η διαπνοή με το βάθος της φυλλοστοιβάδας.

² Σε περιπτώσεις όπου το φύλλο είχε καταστραφεί από την διαδικασία της μέτρησης της φωτοσύνθεσης ή πτώσης του φύλλου από διάφορους παράγοντες, οι μετρήσεις εγίνοντο σε διπλανό φύλλο του ίδιου ή γειτονικού φυτού.

Σε μια προσπάθεια υπολογισμού των αριθμών των φύλλων καταγράφηκαν οι κύριοι κόμβοι των μετρημένων φυτών. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2 β, οι κόμβοι αυξήθηκαν με την πάροδο της καλλιεργητικής περιόδου με γοργούς ρυθμούς και έφτασαν έως τις αρχές Οκτωβρίου περί τους 62-75 κόμβους ανά φυτό, με σαφή υπεροχή των μεταχειρίσεων με πλήρη άρδευση⁴. Το κεναφ είναι φυτό που από ένα κύριο κόμβο μπορεί να βγάλει από ένα έως και πολλά φύλλα (σε περίπτωση τραυματισμού του φυτού σε μικρό στάδιο ανάπτυξης, αυτό διακλαδίζεται σε 2 ή 3 ίσα κύρια στελέχη). Ο υπολογισμός του αριθμού και της συνολικής ποσότητας (μάζας) φύλλων αποτελεί σημαντικό παράγοντα, ο οποίος εισέρχεται σε μοντέλα προσομοίωσης καλλιεργειών διαδραματίζοντας ρόλο στην κατανομή ξηρής ουσίας στα διάφορα φυτικά όργανα (dry matter distribution).

⁴ Οι χαμηλές τιμές της μεταχείρισης 100% άρδευσης της ποικιλίας Tainnung 2 (πράσινη γραμμή, σχήμα 3.1β) ίσως να οφείλεται σε σφάλμα δειγματοληψίας ή στην αλλαγή φυτού προς μέτρηση λόγω πτώση σημαδεμένου φύλλου.



Σχήμα 3.2. Η μεταβολή του ύψους του φυτού (έντονες γραμμές) καθώς και η διάφορα ύψους μεταξύ των δυο φύλλων (κανονικές γραμμές) που επιλέχτηκαν για μέτρηση ρυθμών φωτοσύνθεσης (a) και η κύριοι κόμβοι (b) για δυο ποικιλίες του κεναφ (το τελευταίο σημείο δεν αντιπροσωπεύει το τελικό ύψος της καλλιέργειας) το 2004. Κιτρίνη γραμμή: Everglades 41, 100% πότισμα και 10 kg N /στρ (plot 6, S₁V₂D₁, RCBD), Πράσινη γραμμή: Tainnung 2, 100% πότισμα και 10 kg N /στρ., Ροζ γραμμή: Tainnung 2 50% πότισμα και 10 kg N /στρ., Μπλε γραμμή: Tainnung 2, 25% πότισμα, και 15 kg N /στρ.

3.3 Ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA)

Η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA, m^2/kg) είναι ένα μορφολογικό χαρακτηριστικό που μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες και την ηλικία του φυτού (Danalatos *et al.*, 1993, 1994, Danalatos *et al.*, 2005). Η SLA έχει αποκτήσει ιδιαίτερη βαρύτητα με την ανάπτυξη και την ευρεία χρήση των μοντέλων προσομοίωσης καλλιεργειών, καθώς αποτελεί θεμελιώδη κρίκο στο χτίσιμο του μοντέλου (επηρεάζει την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας, την αθροιστική φωτοσύνθεση του φυτού και φυσικά τους ρυθμούς αύξησης και την τελική παραγωγικότητα, Heuvelink *et al.*, 2005). Η SLA μειώνεται με το χρόνο καθώς τα φύλλα γηράσκουν (αύξηση βάρους). Επίσης αυξάνεται με το βάθος της φυλλοστοιβάδας καθώς η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται (Danalatos *et al.*, 2005).

Επίσης οι τιμές του SLA παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση και πάνω στο ίδιο το φυτό (Awal *et al.*, 2004). Τα φύλλα του φυτού ως γνωστόν δεν δέχονται όλα την ίδια ένταση ακτινοβολίας (τα πάνω φύλλα δέχονται- απορροφούν την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία περίπου το 80%, το 10% αντανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα και το άλλο 10% μόλις μεταφέρεται στα κατώτερα φύλλα). Το ποσοστό της ακτινοβολίας που περνάει στα κατώτερα στρώματά της φυλλικής επιφάνειας εξαρτάται κυρίως από την αρχιτεκτονική του φυτού. Τα φύλλα προσαρμόζονται κάτω από αυτές τις συνθήκες «σκιαζόμενα φύλλα». Έτσι τα σκιαζόμενα κάτω φύλλα είναι πιο λεπτά, και λιγότερο πράσινα (λιγότερη χλωροφύλλη ανά φύλλο) εν σύγκριση με τα άνω φύλλα διότι χρησιμοποιούν όλους τους υδατάνθρακες που κατανέμονται στα φύλλα σε έκταση, προσπαθώντας να βρουν περισσότερο φως, παρά σε πάχος, δηλαδή δομικά στοιχεία, (Heuvelink *et al.*, 2005). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της SLA ανάλογα με το ύψος που βρίσκονται τα φύλλα πάνω στο φυτό. Όπως γίνεται φανερό είναι ιδιαίτερα δύσκολο να περιγράψει η πορεία της SLA, καθώς αυτή μεταβάλλεται με το χρόνο και τον τόπο.

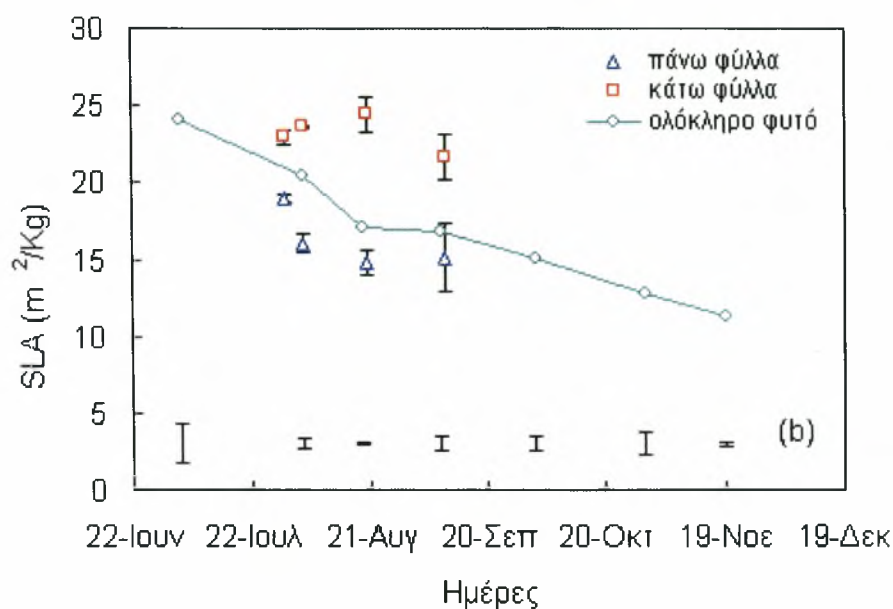
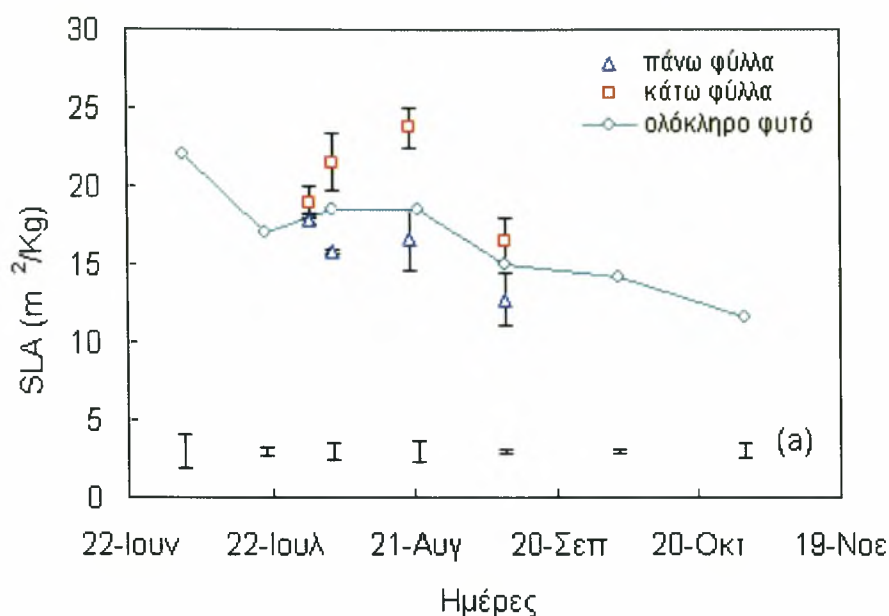
Στην παρούσα μελέτη γίνεται μια προσπάθεια να δειχτεί η διαφορά στην SLA μεταξύ της θέσης των φύλλων πάνω στο φυτό. Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται η μεταβολή της ειδικής φυλλικής επιφάνειας για δυο ποικιλίες του Κενάφ στο Παλαμά το 2004. Στο γράφημα επίσης διακρίνεται η διαφορά στη SLA μεταξύ των μετρημένων φύλλων (πάνω και κάτω). Προκείμενου να οδηγηθούμε σε πιο ασφαλή συμπεράσματα / συγκρίσεις χρησιμοποιήθηκαν και επιπλέον δεδομένα από το Βιοκενάφ πρόγραμμα (χορηγία εργαστηρίου γεωργίας).



Γενικά κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου η SLA έλαβε αρχικά μεγάλες τιμές (22-24 m² / kg, σχήμα 3.3, ολόκληρο φυτό) για να μειωθεί με το χρόνο και να λάβει τιμές περί τα 10-12 m² / kg κατά την ωρίμανση, ανθοφορία του φυτού. Όπως φαίνεται επίσης οι τιμές της SLA ήταν παρόμοιες και για τις δυο ποικιλίες του κενάφ (Tainnung 2 και Everglades 41). Παρατηρήθηκε μια σαφής υπέροχη των κάτω φύλλων (και των δυο ποικιλιών) στις τιμές της SLA καθόλη την διάρκεια των μετρήσεων. Τα κάτω φύλλα εν σύγκριση με τα άνω φύλλα ήταν:

- i) πιο λεπτά (λιγότερο βάρος)
- ii) λιγότερο πράσινα (1/3 περίπου λιγότερο, έλλειψη χλωροφύλλης)
- iii) όχι 100% υγιής (διακρινόταν σημάδια γήρανσης)
- iv) και τέλος είχαν και πιο μικρό μέγεθος (έως και 1/2, ιδιαίτερα τα κάτω φύλλα που εκφύονταν από το κεντρικό στέλεχος (βλαστό).

Η SLA από τις κοπές (πράσινη γραμμή) κυμαίνεται μεταξύ των δυο ορίων που ορίζονται από τα πάνω φύλλα (χαμηλές τιμές) και τα κάτω φύλλα (υψηλές τιμές). Το συμπέρασμα από αυτή την διαδικασία είναι ότι η SLA είναι ένα μορφολογικό χαρακτηριστικό που επηρεάζεται από την θέση του φύλλου πάνω στο φυτό καθώς και την ηλικία του φύλλου. Είναι πολύ δύσκολο να γίνει ακριβής διαχωρισμός του ορίου όπου η SLA μεταβάλετε πάνω στο φυτό. Από την γραφική παράσταση φαίνεται ότι SLA που μετρήθηκε κατά την διάρκεια των κοπών αποτελεί « κάτι » σαν μέσο όρο της γενικής πορείας της SLA για το κενάφ. Σύμφωνα με πρόσφατες ερευνητικές μελέτες έχει βρεθεί ότι η SLA διατηρείται σε υψηλά επίπεδα (18-22, μέσος όρος) κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών (ίδια περιοχή), και αρχίζει να μειώνετε με την πτώση της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας από τον Σεπτέμβριο έως και τον Νοέμβριο με εκθετικούς ρυθμούς (Danalatos *et al.*, 2005).



Σχήμα 3.3. Η μεταβολή της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) δυο ποικιλιών κεναφ (a: ποικιλία Tainnung 2, and b: ποικιλία Everglades 41) στον Παλαμά το 2004. Κόκκινα και μπλε σημεία αντιπροσωπεύουν κάτω και πάνω φύλλα αντίστοιχα. Πράσινα σημεία είναι οι επιμέρους μετρήσεις, των μεταχειρίσεων I₃-N₂ στο πείραμα split plot, και S₁V₂D₁ από το πείραμα RCBD αντίστοιχα, και αντιπροσωπεύουν την SLA ολόκληρου του φυτού (δεδομένα 2⁰⁰ έτους Βιοκενάφ πρόγραμμα, Εργαστήριο Γεωργίας). Κάθε σημείο είναι μέσος όρος 3-5 επαναλήψεων (± τυπικό σφάλμα, το οποίο απεικονίζεται με μπάρες). Διαφορετικά δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή αυτών των μετρήσεων.

3.4 Διαπνοή (*transpiration*)

Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έλαβαν χώρα την καλλιεργητική περίοδο του 2004 στον Παλαμά Καρδίτσας. Οι παρακάτω μετρήσεις πάρθηκαν ύστερα από προγραμματισμό του μηχανήματος και η καταγραφή γινόταν κάθε ένα λεπτό (LC-pro).

Πριν καταλήξουμε στην παρουσίαση των δεδομένων σε αυτή την μορφή παρατηρήθηκε ελάχιστη έως μηδαμινή διαφοροποίηση του ρυθμού διαπνοής (< 7%) με την αλλαγή της ακτινοβολίας από 900 σε 1600 και αντίστροφα μιας και η θερμοκρασία παραμένει σταθερή (27–29.6 °C). Σύμφωνα με τους Archontouli *et al.*, 2005, η διαπνοή στο συγκεκριμένο φυτό ακολουθεί μια εκθετική πορεία και σε εύρος θερμοκρασίας (27–29 °C) κυμαίνεται μεταξύ 5–6 mol H₂O m⁻² s⁻¹ ή 7.7–9.5 mm H₂O day⁻¹ ανεξαρτήτως ηλιακής ακτινοβολίας, μιας και η θερμοκρασία είναι ελεγχόμενη. Για το λόγο αυτό υπολογίσαμε τον μέσο όρο των δυο μετρήσεων και τις παρουσιάζουμε στο σχήμα 3.4.

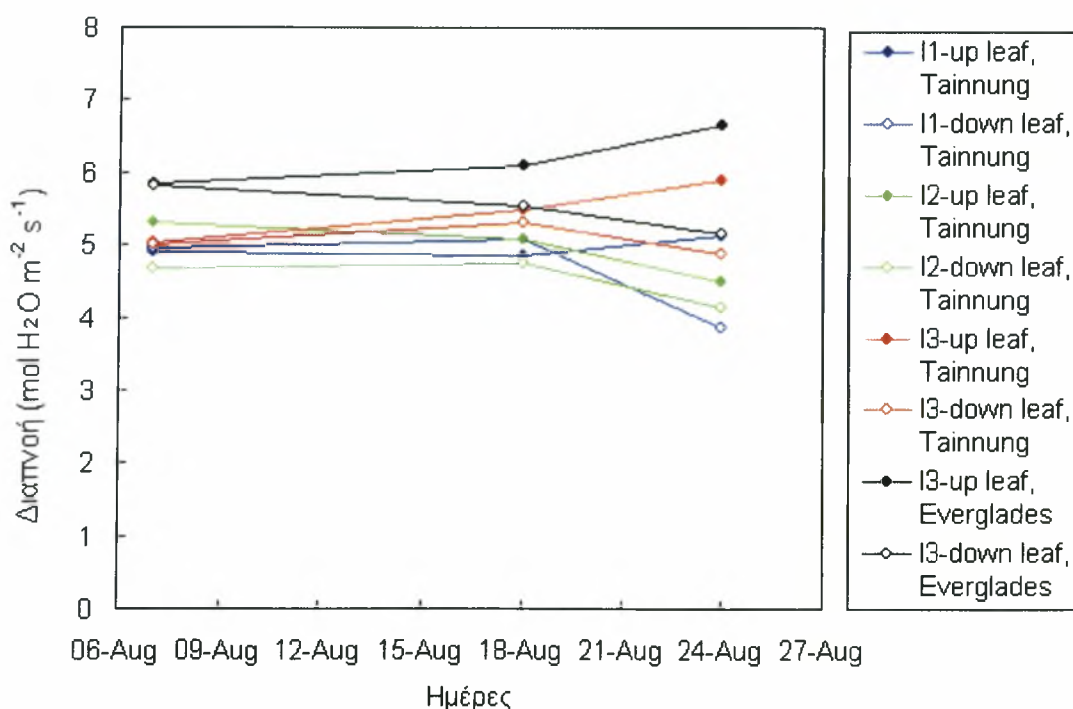
Φαίνεται ότι κάτω από τις υπάρχουσες τεχνητές συνθήκες φωτός και θερμοκρασίας η διαπνοή στο συγκεκριμένο φυτό κυμαίνεται μεταξύ 4.5–6.5 mol H₂O m⁻² s⁻¹. Δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των μεταχειρίσεων άρδευσης, ενώ μια μικρή διαφορά μεταξύ των ποικιλιών κάτω από συνθήκες με 100% άρδευσης. Φαίνεται ότι τα φυτά που δέχτηκαν περισσότερο νερό να έχουν λίγο υψηλότερους ρυθμούς διαπνοής. Αυτό είναι κατανοητό αν λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι περισσότερη η υγρασιακή κατάσταση του φυτού, περισσότερη η απώλεια λόγω διαπνοής μιας και τα φύλλα θα λειτουργούν υπό βέλτιστες συνθήκες και δεν θα χρειαστεί να κλείσουν τα στόματα του λόγω έλλειψης υγρασίας.

Όσο αφορά το ύψος του φύλλου πάνω στο φυτό, δηλαδή την ηλικία του φύλλου, παρατηρήθηκε και εκεί μια διάφορα. Η διαφορές αυτές ήταν σταθερές κατά το 1^ο δεκαπενθήμερο του Αυγούστου και οι ρυθμοί διαφοροποιήθηκαν κατά το 2^ο δεκαπενθήμερο του ίδιου μήνα. Βρέθηκαν μεγαλύτεροι ρυθμοί διαπνοής στα άνω φύλλα έναντι των κάτω φύλλων. Αυτό ερμηνεύεται με το γεγονός ότι τα πάνω φύλλα είναι πιο εύκολα εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή υψηλότερη θερμοκρασία και χαμηλότερη σχετική υγρασία.

Τέλος όσο αφορά το φαινολογικό στάδιο των φύλλων (πριν και μετά τις 15-Αυγουςτου), φαίνεται η διαπνοή να αυξάνεται στα πάνω φύλλα, ενώ να μειώνεται στα κάτω φύλλα. Αυτό ίσως να έχει να κάνει με περιβαντολογικές συνθήκες (την

συγκεκριμένα ημέρα που πάρθηκαν οι μετρήσεις) αλλά κυρίως στο γεγονός ότι μειώνετε η ενεργή φωτοσυνθετική επιφάνεια των κάτω φύλλων «γήρανση», και φυσικά και ο αριθμός των στομάτων.

Συνοψίζοντας, κάτω από εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας 900 και 1600 PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (transmission coefficient = 0.93) και θερμοκρασία 27–29 °C η διαπνοή στο κενάφ διατηρείται σε επίπεδα 4.5–6.5 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ σε ένα μεγάλο εύρος φύλλων πάνω στο φυτό (απόσταση φύλλων 30–60 εκατοστά, απόσταση άνω φύλλου από την κορυφή 5-50 εκατοστά). Παρόλο την μεγαλύτερη ηλιακή κατάσταση των άνω φύλλων φαίνεται ότι διατηρούν ενεργά ένα μεγάλο αριθμό στομάτων ικανών να εξατμίσουν ποσότητα νερού παραπλήσια με τα άνω φύλλα. Επίσης η διαπνοή του φυτού θεωρείται ως ένα κριτήριο υγρασιακής καταστάσεις του φυτού και ο λόγος της πραγματικής διαπνοής προς την δυναμική εξατμισοδιαπνοή εισέρχεται σε μοντέλα που περιγράφουν την αύξηση του φυτού.



Σχήμα 3.4: Ρυθμοί διαπνοής δυο ποικιλιών του κενάφ Tainnung 2 and Everglades 41 όπως επηρεάστηκαν από το ύψος του μετρημένου φύλλου (πάνω και κάτω φύλλο) σε τρία στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας (αρχές – μέσα και τέλη Αυγούστου 2004). Η πρώτη ποικιλία μελετήθηκε σε τρία διαφορετικά επίπεδα νερού ($I_1 = 25\%$, $I_2 = 50\%$ και $I_3 = 100\%$ της εξατμισοδιαπνοής), ενώ η δεύτερη σε επίπεδο 100%. Κάθε σημείο αποτελεί μέσο όρο δυο μετρήσεων (900 και 1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, transmission factor=0.93). Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τις απογευματινές ώρες της ημέρας (16:30 έως 19:30) και έγιναν σε θερμοκρασιακό εύρος 27–30 °C, υπό ελεγχόμενες συνθήκες (LCpro apparatus). Τα φύλλα (άνω και κάτω) όπου οι μετρήσεις έλαβαν χώρα, ήταν τα ίδια και στα τρία φαινολογικά στάδια ανάπτυξης του φυτού. Κάθε σημείο είναι μέσος όρος 4 τιμών.

3.5 Φωτοσύνθεση (*assimilation rate*)

Στα παρακάτω γραφήματα (σχήμα 3.5.1 και 3.5.2) παρουσιάζονται οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης δυο ποικιλιών του κεναφ (Tainnung 2 and Everglades 41) και για τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης σε πέντε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα ίδια σημαδεμένα φύλλα. Στις 7 Αυγούστου (1^η μέτρηση έλαβε μέρος), το ύψος του φυτού (μέσο όρο όλων των μεταχειρίσεων) ήταν κοντά στα 160 εκατοστά. Ως πάνω φύλλο ονομάστηκε το τρίτο φύλλο από την κορυφή.

Όπως άλλωστε φαίνονται και από τα γραφήματα η πορεία της φωτοσύνθεσης ακολούθησε μια καθοδική πορεία με την πάροδο του χρόνου. Στην αρχή σημείωσε υψηλές τιμές περί 25–29 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($= 39\text{--}46 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ leaf h}^{-1}$), δείχνοντας την μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα του μελετουμένου φυτού. Η πτώση της φωτοσύνθεσης με την πάροδο του χρόνου δικαιολογείται με την ηλικία του φυτού (μάρανση, αλλάζει η χημική σύσταση του φύλλου, λιγότερους χλωροπλάστες, περισσότερα δομικά συστατικά, καθώς επίσης λιγότερο φως μιας και νέα φύλλα εκφύονται πάνω από αυτό).

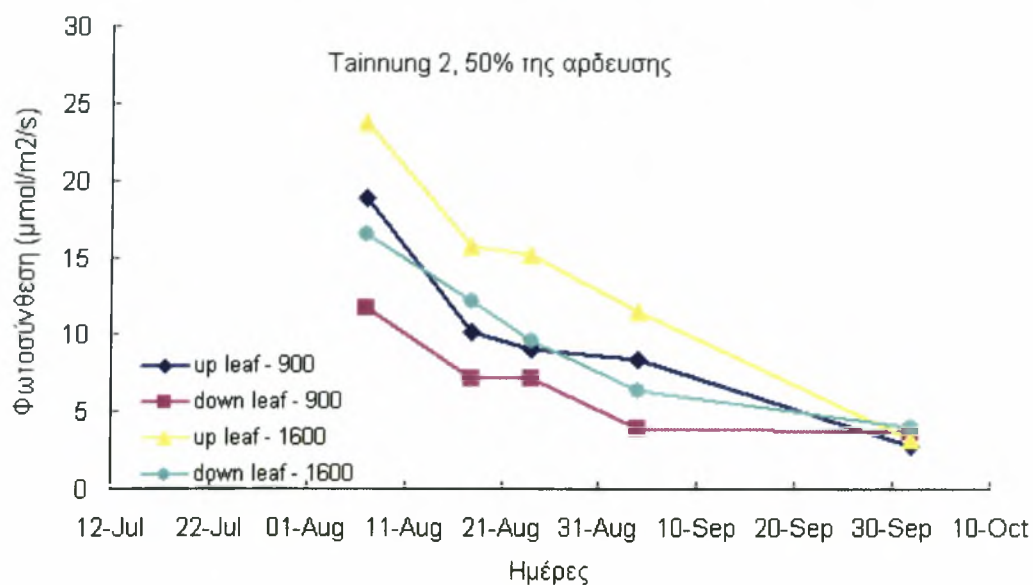
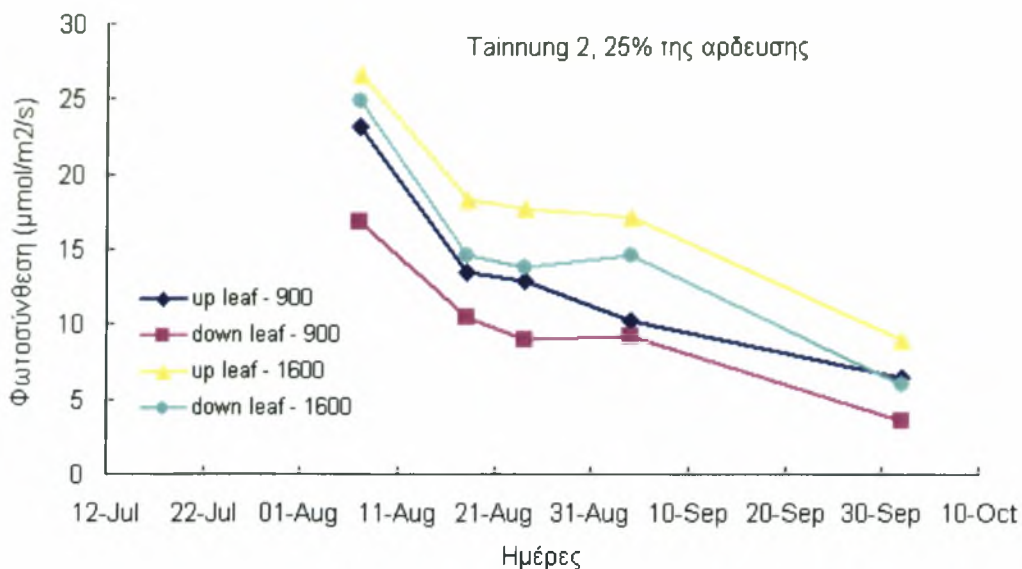
Όλες οι μέγιστες τιμές σημειώθηκαν στα πάνω φύλλα και σε μεγάλες εντάσεις ακτινοβολίας ($1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Μικρή (2-3 μονάδες) αλλά αξια τονισμού διαφορά σημειώθηκε και μεταξύ των μεταχειρίσεων άρδευσης, με την μεταχείριση ($I_3 = 100\%$ της εξατμισοδιαπνοής) να υπερισχύει. Μεταξύ των ποικιλιών (ίδια μεταχείριση νερού) ίδιοι ρυθμοί σημειώθηκαν, με μια μικρή υπεροχή της ποικιλίας Everglades 41. Αυτό ίσως να οφείλετε σε γενετικά χαρακτηριστικά.

Τέλος όσο αφορά τις άλλες μεταχειρίσεις (στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας) η μεταχείριση πάνω φύλλα με ηλιακή ακτινοβολία $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ακολούθησε με σαφώς μικρότερους ρυθμούς φωτοσύνθεσης (σχ. 3.5.1 και 3.5.2) έναντι της προηγούμενης (πάνω φύλλα και 1600 PAR), ακολούθησε η μεταχείριση κάτω φύλλα με ηλιακή ακτινοβολία $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ και τελευταία η πάνω φύλλα με ηλιακή ακτινοβολία $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Οι διαφορές αυτές μεταξύ των επεμβάσεων φαίνονται καθαρά στις μεταχειρίσεις με το 100% της άρδευσης. Εξαιρέση αποτέλεσε η μεταχείριση με το 25% της απαιτούμενης άρδευσης όπου η επέμβαση με τα κάτω φύλλα με ηλιακή ακτινοβολία $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ έδειξε να υπερέχει την επέμβαση πάνω φύλλα με ηλιακή ακτινοβολία $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, αλλά οι διαφορές αυτές είναι μικρές και αγγίζουν το όριο του πειραματικού σφάλματος.

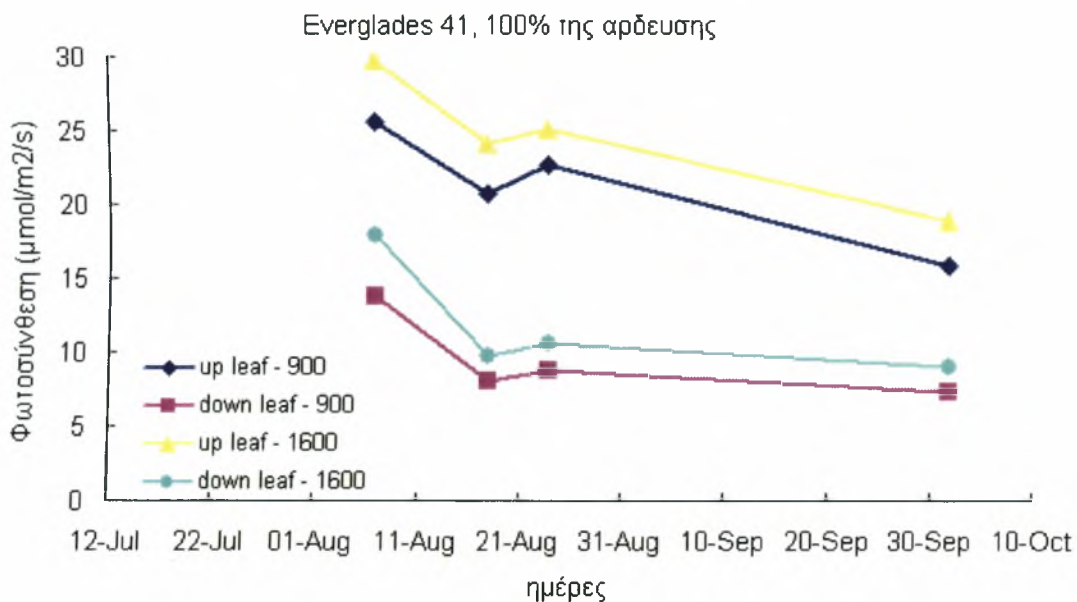
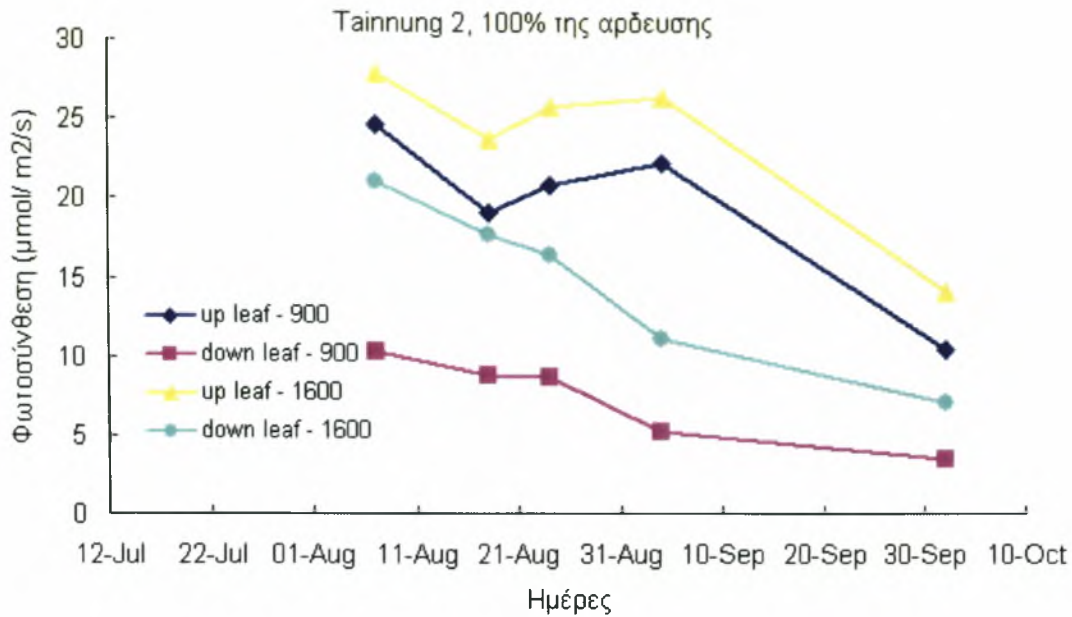
Από τα παραπάνω οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η προσπίπτουσα ακτινοβολία στην φυλλική επιφάνεια του φύλλου να μεν διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στην πορεία της φωτοσύνθεσης αλλά έως ένα όριο μιας και η ηλικία του φύλλου φαίνεται να υπερτερεί (πάνω φύλλα με 900 PAR έδωσαν υψηλότερους ρυθμούς φωτοσύνθεσης από ότι τα κάτω φύλλα με διπλάσια ακτινοβολία, 1600 PAR), σε όλες τις μεταχειρίσεις νερού. Το παραπάνω αποτέλεσμα απαντούν και στην ερώτηση που τέθηκε πριν ακόμα οι μετρήσεις προγραμματιστούν και υλοποιηθούν.

Η μείωση της φωτοσύνθεσης με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι απολύτως φυσιολογικό μιας και η φωτοσύνθεση οδηγείται από το φως (όσο περισσότερο φως τόσο πιο πολύ το φυτό φωτοσυνθέτει). Η μείωση της φωτοσύνθεσης με το ύψος του μετρημένου φυτού πάνω στο φύλλο εξηγείται με την ηλικία του φύλλου, την γήρανση, και τον εγκλιματισμό του σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Όπως άλλωστε ειπώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας των κάτω φύλλων ήταν κατά πολύ μεγαλύτερος από τα πάνω, σημαίνοντας ότι ο όλος μηχανισμός που εμπλέκετε στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης έχει εξασθενήσει. Για το λόγο αυτό τα κάτω φύλλα έδωσαν μικρότερους ρυθμούς αφομοίωσης διοξειδίου του άνθρακα.

Ένα άλλο σημείο άξιο τονισμού είναι ότι οι υψηλοί ρυθμοί φωτοσύνθεσης στις μεταχειρίσεις με το 100% της απαιτούμενης άρδευσης (και για τις δυο ποικιλίες) παρέμειναν σε υψηλά επίπεδα για μεγάλο χρονικό διάστημα σε αντίθεση με τις μεταχειρίσεις με το 25 και 50%, όπου οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης μειώθηκαν στο 1/3 του χρόνου. Αυτό έχει να κάνει κατά κάποιο τρόπο με την θερμοκρασία, καθώς η υγρασιακή κατάσταση του φυτού επηρεάζει την θερμοκρασία, και αυτή με την σειρά της την ανάπτυξη του φύλλου (μπορεί να βρίσκονται στο ίδιο ύψος αλλά είναι σε διαφορετικό στάδιο ανάπτυξης, μιας και η μεγαλύτερη θερμοκρασία επιταχύνει την ανάπτυξη και τη μετάβαση στο επόμενο φαινολογικό στάδιο ανάπτυξης).



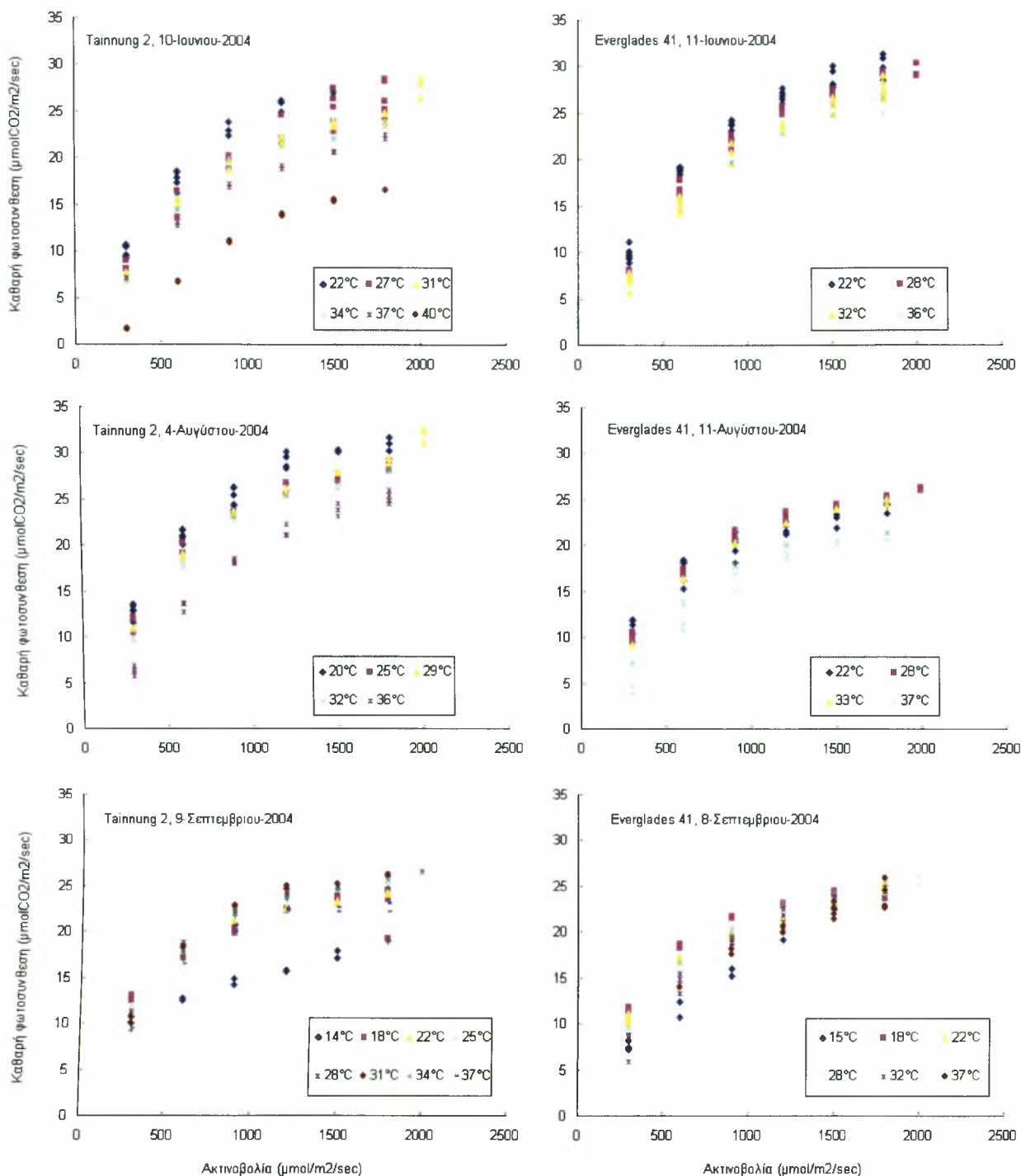
Σχήμα 3.5.1. Ρυθμοί φωτοσύνθεσης της ποικιλίας “Tainnung 2” σε πέντε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας (7/8, 18/8, 24/8, 4/9, και 2/10/04) κάτω από δύο μεταχειρίσεις άρδευσης (άνω γράφημα: 25% και κάτω γράφημα: 50% της εξατμισοδιαπνοής). Στο γράφημα επίσης παρουσιάζονται οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης για δυο φύλλα (πάνω και κάτω φύλλα, απόσταση > 50 εκατοστά) και για δυο εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας (900 και 1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ή 450 και 800 W m^{-2} ή 225 και 400 PAR, ενεργή φωτοσυνθετική ακτινοβολία). Κάθε σημείο αποτελεί μέσο όρο 5 μετρήσεων. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν της απογευματινές ώρες.



Σχήμα 3.5.2. Ρυθμοί φωτοσύνθεσης δυο ποικιλιών κεναφ (άνω cv. Tainnung 2, κάτω cv. Everglades 41) σε πέντε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας (7/8, 18/8, 24/8, 4/9, και 2/10/04). Όλες οι μετρήσεις έγιναν κάτω από την μεταχείριση με 100% νερού. Στο γράφημα επίσης παρουσιάζονται οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης για δυο φύλλα (πάνω και κάτω φύλλα, απόσταση > 50 εκατοστά) και για δυο εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας (900 και 1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ή 450 και 800 W m^{-2} ή 225 και 400 PAR, ενεργή φωτοσυνθετική ακτινοβολία). Κάθε σημείο αποτελεί μέσο όρο 5 μετρήσεων. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν της απογευματινές ώρες.

3.6 Καμπύλη φωτοσύνθεσης (*light response curve*)

Η καμπύλη φωτοσύνθεσης σε σχέση με το φως είναι ένα από τα πιο αναγνωρισμένα χαρακτηριστικά για την κατάταξη των φυτών και επιπλέον αποτελεί ένα θεμελιώδη κρίκο στην λειτουργία των περισσότερων μοντέλων προσομοίωσης καλλιεργειών ανά τον κόσμο (Lovenstein *et al.*, 1995, Goudrian and van Laar, 1994). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.6 και σε όλα τα ευρύ θερμοκρασίας έχουμε μια εκθετική αύξηση με το φως. Σε μικρές εντάσεις ακτινοβολίας η φωτοσύνθεση αυξάνετε σχεδόν γραμμικά, και είναι περιορισμένη από το φως. Σε επίπεδα φωτός άνω των $1500 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($\times 0.93$ transmission coefficient), ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης είναι κορεσμένος και η πορεία της φωτοσύνθεσης είναι περιορισμένη από την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα. Από το γράφημα επίσης, διακρίνονται διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών στο ρυθμό φωτοσύνθεσης, και οι διαφορές αυτές είναι πιο έντονες σε επίπεδα θερμοκρασιών $>35^{\circ}\text{C}$ και $<15^{\circ}\text{C}$. Αυτό έχει να κάνει με το ένζυμο rubisco που είναι πολύ ευαίσθητο με την θερμοκρασία και επίσης με το λεγόμενο *photodamage* (Atwell *et al.*, 1999). Και οι δυο ποικιλίες σημείωσαν παρόμοιους ρυθμούς φωτοσύνθεσης (μέγιστο περί τα $30 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Σαφώς μικρότερους ρυθμούς παρατηρήθηκαν κατά τα τέλη της καλλιεργητικής περιόδου (Σεπτέμβριος) και στις δυο ποικιλίες όπου το μέγιστο κυμάνθηκε περί τα $25 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$.



Σχήμα 3.6. Η πορεία της φωτοσύνθεσης σε σχέση με την ακτινοβολία, για δυο ποικιλίες και σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του φυτού κάτω από διάφορες εντάσεις θερμοκρασίας φύλλου. Όλες οι μετρήσεις έγιναν από τις 12:00–20:00, στον Παλαμά Καρδίτσας το 2005, και αφορούν φύλλο που κατανέμετε στα πάνω στρωματά της φυλλοστοιβάδας. Τα δεδομένα αυτά ανήκουν στο Βιοκενάφ πρόγραμμα, και δόθηκαν να αναλυθούν σε αυτή την εργασία. Για την δημιουργία κάθε καμπύλης χρησιμοποιήθηκε ειδικό πρόγραμμα (sequence 9), το οποίο δεν αναλύετε στην παρούσα μελέτη. Στους υπολογισμούς της ακτινοβολίας δεν λάβαμε υπόψη την διαπερατότητα του γυαλιού (0.93).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα εργασία μπορούν να ελεγχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- μεγάλοι ρυθμοί αύξηση σε ύψος και στις 2 ποικιλίες του κенаφ
- το νερό δεν επηρέασε τα μετρημένα χαρακτηριστικά όσο αναμέναμε και αυτό έχει να κάνει με την υψηλή στάθμη υπόγειου νερού
- η πορεία της ειδικής φιλικής επιφάνειας επηρεάζει την φωτοσύνθεση, μιας και τα κάτω φύλλα φωτοσυνθέτουν λιγότερο ακόμα και όταν βρεθούν σε συνθήκες βέλτιστες
- η διαπνοή των φυτών κυμάνθηκε περί τα $5-6 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ σε εύρος θερμοκρασίας $27-29^\circ\text{C}$ και δεν επηρεάστηκε από το φως
- ρυθμοί φωτοσύνθεσης κυμάνθηκαν (μέγιστο) περί τα $30 \text{ }\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ και για τις δυο ποικιλίες
- οι ρυθμοί αυτοί μειώθηκαν με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας
- με τέτοιους ρυθμούς φωτοσύνθεσης (μεγάλη παραγωγή) και με επάρκεια νερού (υψηλή στάθμη υπόγειου νερού μέχρι τα μέσα Αυγούστου), το κенаφ μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική πρόταση για αντικατάσταση μέρους του βαμβακιού στην δυτική θεσσαλική πεδιάδα, εφόσον πρώτα δοθούν κίνητρα στους ενδιαφερόμενους παραγωγούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Danalatos, N.G., 1993. Quantified analysis for selected land use systems in the Larissa region, Greece Ph.D Thesis. Agricultural University of Wageningen, the Netherlands. 370 p.
2. Danalatos, N.G., Kosmas, C.S., Driessen, P.M., Yassoglou, N., 1994. The chance in the SLA of maize grown under Mediterranean conditions. *Agronomy* 14: 433-443.
3. USDA (Soil Survey Staff), 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agric. Handbook 466. Washington DC, pp 754.
4. Danalatos, N.G., and Archontoulis S.V., 2004. Potential growth and biomass productivity of kenaf under central Greek conditions: I. the influence of fertilization and irrigation. In: Van Swaalj, W.P.M., Fjalistrom, T., Helm, P., Grassi, A. (Ed.), *Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Proceedings of the 2nd World Biomass Conference, 10-14 May, Roma, Italy*, pp 323-6.
5. Danalatos, N.G., and Archontoulis S.V., 2004. Potential growth and biomass productivity of kenaf under central Greek conditions: II. the influence of variety, sowing time and plant density. In: Van Swaalj, W.P.M., Fjalistrom, T., Helm, P., Grassi, A. (Ed.), *Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Proceedings of the 2nd World Biomass Conference, 10-14 May, Roma, Italy*, pp 319-322.
6. Danalatos, N.G. and S.V. Archontoulis, 2005. Irrigation and N-fertilization effects on Kenaf growth and biomass productivity in central Greece. In: M.J Pascual-Villalobos, F.S. Nakayama, C.A. Bailey, E. Correal and W.W. Schloman, Jr. *Proceeding of 2005 Annual Meeting of the Association for Advancement of Industrial Crops: International Conference on Industrial Crops and Rural Development 17-21 September 2005, Murcia, Spain*, pp 879-888.
7. Danalatos, N.G. and S.V. Archontoulis, 2005. Sowing time and plant density effects on growth and biomass productivity of two Kenaf varieties in central Greece. In: M.J Pascual-Villalobos, F.S. Nakayama, C.A. Bailey, E. Correal and W.W. Schloman, Jr. *Proceeding of 2005 Annual Meeting of the Association for Advancement of Industrial Crops: International Conference on Industrial Crops and Rural Development 17-21 September 2005, Murcia, Spain*, pp 889-901.
8. Danalatos, N.G. and S.V. Archontoulis, 2005. Growth and biomass productivity of Kenaf as biomass crop in Greece. 14th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Palais des Conges, Paris, France, 17-21 October 2005. (in press)

9. Archontoulis, S.V., P.C. Struik, and Danalatos, N.G., 2005. Leaf photosynthesis of kenaf (cv. Everglades 41) as affected by different light intensity and temperature regimes. 14th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Palais des Conges, Paris, France, 17-21, October 2005. (in press)
10. Alexopoulou, E., Christou, M., Mardikis, M., Chatziathanassiou A., 2000. Growth and yields of kenaf varieties in central Crecece. *Industrial Crop and Products* 11, 163-172.
11. M.A. Awal, W. Ishak, J. Endan and M. Haniff, 2004. Determination of Specific Leaf Area and Leaf Area-leaf Mass Relationship in Oil Palm Plantation, *Asian Journal of Plant Sciences* 3 (3): 264-268.
12. Heuvelink, E., Vos, J. and P.A. Leffelaar, 2005. Crop Ecology course. Wageningen University, Wageningen, 7A-6pp.
13. Atwell, B., Kriedemann, P., and Turnbull, C., 1999. *Plants in action. Adaptation in nature performance.* Macmillan publishers Australia PTY LTD.
14. Lovenstein, H., E.A. Lantinga, R. Rabbinge, and H. van Keulen, 1995. *Principles of production ecology.* Text course, Wageningen university, the Netherlands.
15. Goundrian and H.H. van Laar, 1994. *Modelling potential crop growth processes. Current issues in production ecology.* Kluwer Academic press, London, 239 pp.
16. P. Kramer, 1983, *Water relations of plants.* Academic press, New York, pp. 292-340
17. Ramachandra Reddy A., and V.S. Rama Das, 2002. Photosynthesis and kinetic characteristics of rubisco in *Hibiscus cannabinus* L. *Indian Journal of Experimental Biology* 38: 841–844
18. Charles S. Taylor, Kenaf International, Ltd., McAllen, 1998
19. Bosisio.M. 1988. Kenaf paper: A forest-saving alternative. *USDA-ARS Agric. Res.* 36(9):6-8.
20. Πασχαλίδης. 1997. Το Κενάφ. Μια νέα καλλιέργεια με προοπτική ανάπτυξης στη χώρα μας. Αθήνα
21. Killinger, G.B. 1969. Kenaf, a multiuse crop *Agron. J.* 61: 734-736

22. Francois, L., Donovan, T. and Maas, E 1986. Yield, vegetative growth, and fiber length of kenaf grown on saline soil. *Agr. J.* Vol. 78. p. 592-598.
23. Hopkins, W.G. 1995. *Introduction to plant physiology*. pp464. J. Wiley
24. Stewart, G.A., Gartside, G., Gifford, R.M., Nix, H.A., Rawlins, W.H.M., and Siemon, J.R. 2000. *The potential for liquid fuels from agriculture and forestry in Australia*. CSIRO. Alexander Bros., Mentone, Victoria, Australia.
25. Πασχαλίδης, Αθήνα 1997. *ΤΟ ΚΕΝΑΦ (Hibiscus cannabinus L)*. Μια νέα καλλιέργεια με προοπτική ανάπτυξης στην χώρα μας.
26. Hall, D. O. and K. K. Rao. *Photosynthesis*. 4th Edition, by Cambridge University Press 1993
27. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, 1998. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998 (M-56, ISBN 92-5-104219-5)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1: Μετρημένα χαρακτηριστικά ποικιλίας Tainnung 2 στην μεταχείριση με το 25% της ΕΤο.

| Tainnung 2 - 25% of PET | | | | | |
|-------------------------|------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------|
| Ημερομ. | Ύψος cm | αριθμός κόμβων | Επάνω Φύλλο cm | Κάτω Φύλλο cm | απόσταση cm |
| 17-Ιουλ | 105 | 17 | 102 | | |
| 31-Ιουλ | 140 | 26 | 130 | 85 | 45 |
| 6-Αυγ | 147 | 28 | 135 | 78 | 57 |
| 16-Αυγ | 156 | 29 | 142 | 108 | 34 |
| 24-Αυγ | 160 | 25 | 140 | 104 | 36 |
| 4-Σεπ | 175 | 45 | 145 | 113 | 32 |
| 1-Οκτ | 220 | 61 | 170 | 140 | 30 |

Πίνακας 2: Μετρημένα χαρακτηριστικά ποικιλίας Tainnung 2 στην μεταχείριση με το 50% της ΕΤο.

| Tainnung 2 - 50% of PET | | | | | |
|-------------------------|------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------|
| Ημερομ. | Ύψος cm | αριθμός κόμβων | Επάνω Φύλλο cm | Κάτω Φύλλο cm | απόσταση cm |
| 17-Ιουλ | 105 | 18 | 100 | | |
| 31-Ιουλ | 160 | 29 | 142 | 70 | 72 |
| 6-Αυγ | 170 | 34 | 148 | 80 | 68 |
| 16-Αυγ | 180 | 36 | 150 | 113 | 37 |
| 24-Αυγ | 190 | 42 | 153 | 115 | 38 |
| 4-Σεπ | 202 | 53 | 155 | 128 | 27 |
| 1-Οκτ | 230 | 62 | 170 | 130 | 40 |

Πίνακας 3: Μετρημένα χαρακτηριστικά ποικιλίας Tainnung 2 στην μεταχείριση με το 100% της ΕΤο.

| Tainnung 2 - 100% of PET | | | | | |
|--------------------------|------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------|
| Ημερομ. | Ύψος cm | αριθμός κόμβων | Επάνω Φύλλο cm | Κάτω Φύλλο cm | απόσταση cm |
| 17-Ιουλ | 105 | 20 | 93 | | |
| 31-Ιουλ | 170 | 23 | 145 | 90 | 55 |
| 6-Αυγ | 181 | 27 | 170 | 97 | 73 |
| 16-Αυγ | 190 | 27 | 180 | 110 | 70 |
| 24-Αυγ | 193 | 35 | 186 | 118 | 68 |
| 4-Σεπ | 196 | 38 | 188 | 120 | 68 |
| 1-Οκτ | 230 | 75 | 197 | 147 | 50 |

Πίνακας 4: Μετρημένα χαρακτηριστικά ποικιλίας Everglades 41

| Everglades 41 - 100% of PET | | | | | |
|-----------------------------|------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------|
| Ημερομ. | Ύψος cm | αριθμός κόμβων | Επάνω Φύλλο cm | Κάτω Φύλλο cm | απόσταση cm |
| 17-Ιουλ | | | | | |
| 31-Ιουλ | 162 | 35 | 151 | 75 | 76 |
| 6-Αυγ | 174 | 38 | 161 | 83 | 78 |
| 16-Αυγ | 186 | 46 | 168 | 83 | 85 |
| 24-Αυγ | 195 | 48 | 170 | 83 | 87 |
| 4-Σεπ | 211 | 61 | 155 | 100 | 55 |
| 1-Οκτ | 240 | 75 | 200 | 135 | 65 |

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091142



EXPERIMENTAL FIELD
KENAF B PALAMAS 2004

Sowing time: 01-6-2004

Design: 3 x 4 Factorial

Split – plot in 3 blocks

12 rows per plot

0, 5 m between the rows

0, 1 m on the rows

Variety: Tainnung 2

Density: 200,000 pl/ha

FACTORS

I: Irrigation

I₁: 25% of PET

I₂: 50% of PET

I₃: 100% of PET

N : Fertilization

N₀ : 0 kg N/ha

N₁ : 50 kg N/ha

N₂ : 100 kg N/ha

N₃ : 150 kg N/ha

