

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 387
Ημερομηνία 16-3-2012

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος



**Επίδραση θερμοκρασίας και φωτισμού στην ανάπτυξη σπορόφυτων καρπουζιού
στο θερμοκήπιο**

ΔΟΥΛΓΕΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :

Κωνσταντίνος Κίττας

Φεβρουάριος 2012

ΒΟΛΟΣ



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

Αριθ. Εισ.: 10525/1
Ημερ. Εισ.: 22-05-2012
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2012
ΔΟΥ

**Επίδραση θερμοκρασίας και φωτισμού στην ανάπτυξη σπορόφυτων καρπουζιού
στο θερμοκήπιο**

ΔΟΥΛΓΕΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

Κ. Κίττας, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Σ. Φουντάς, Επ. Καθηγητής (Μέλος) και

Ν. Κατσούλας, Επ. Καθηγητής (Μέλος)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα Καθηγητή της εργασίας μου κύριο Κωνσταντίνο Κίττα , για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκειά της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον αντικείμενο. Θέλω να ευχαριστήσω για αυτήν την ευκαιρία τον κύριο Νικόλαο Κατσούλα που διέθεσε χρόνο και μου προσέφερε τις απαραίτητες γνώσεις. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κώστα Πεπονάκη για την αμέριστη βοήθειά του στα πειράματα της εργασίας, αλλά και για την παροχή της βιβλιοθήκης της εργασίας του. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμηση και τις ευχαριστίες μου στην τριμελή εξεταστική επιτροπή για την σχολαστική διόρθωση της μελέτης αυτής.

Περιεχόμενα

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ	11
ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ	11
Αύξηση – Ανάπτυξη σπορόφυτων	15
ΦΩΤΙΣΜΟΣ.....	16
Μονάδες μέτρησης έντασης ακτινοβολίας	16
Το φάσμα του ηλιακού φωτός.....	17
Επίδραση του φωτισμού.....	21
Πρόσθετος φωτισμός	25
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	28
CO₂	32
ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	36
Νερό.....	36
Διαπνοή.....	37
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	40
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	40
ΜΕΘΟΔΟΙ	40
ΥΛΙΚΑ	43
Μετρήσεις.....	44
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	45
ΥΨΟΣ	46
ΠΛΑΤΟΣ.....	48
ΜΗΚΟΣ ΒΛΑΣΤΟΥ	51
ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΛΛΩΝ	53
ΠΑΧΟΣ ΒΛΑΣΤΟΥ	55
ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΛΛΩΝ.....	57
. ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΒΛΑΣΤΟΥ	58
ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΡΙΖΑΣ.....	60
ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63

Δήλωση: Δηλώνω υπεύθυνα ότι το παρόν κείμενο αποτελεί προϊόν προσωπικής μελέτης και εργασίας και πώς όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της δηλώνονται σαφώς είτε στις παραπομπές είτε στο βιβλιογραφικό κατάλογο.

Υπογραφή

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια οι παραγωγοί κηπευτικών έχουν στραφεί στην αγορά έτοιμων σπορόφυτων, με αποτέλεσμα στην Ελλάδα να έχουν δημιουργηθεί πολλά φυτώρια για παραγωγή σπορόφυτων κηπευτικών σε εμπορική κλίμακα. Στην πλειοψηφία τους αποτελούν σύγχρονες και καλά εξοπλισμένες μονάδες, ωστόσο η διαχείριση του κλίματος είναι καθαρά εμπειρική. Ο λόγος είναι η περιορισμένη βιβλιογραφία σχετικά με την επίδραση που έχουν διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες στην καλλιέργεια σπορόφυτων κηπευτικών σε συνθήκες θερμοκηπίου. Ειδικότερα στην Ελλάδα, η επίδραση του πρόσθετου φωτισμού στην ανάπτυξη σπορόφυτων είναι ελάχιστα τεκμηριωμένη.

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας και της έντασης του φωτισμού στην ανάπτυξη καλλιέργειας σπορόφυτων καρπουζιού σε συνθήκες θερμοκηπίου, εγκαταστάθηκαν στην περιοχή του Βελεστίνου πειραματικές καλλιέργειες σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους (Νοέμβριος – Δεκέμβριος 2007, Δεκέμβριος 2007 – Ιανουάριος 2008, Φεβρουάριος – Μάρτιος 2008). Σε κάθε χρονική περίοδο υπήρχαν τρεις μεταχειρίσεις φωτισμού (φυσικός φωτισμός, πρόσθετος φωτισμός και σκίαση με εμπλουτισμό της ατμόσφαιρας με CO₂). Το κλίμα εντός του θερμοκηπίου καταγραφόταν συνεχώς, ενώ κάθε εβδομάδα πραγματοποιούνταν καταστροφικές μετρήσεις σπορόφυτων .

Βρέθηκε ότι μεγέθη σχετιζόμενα με την αύξηση, αυξάνουν γραμμικά συναρτήσει της προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας. Ο ρυθμός εμφάνισης νέων φύλλων επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από το περιβάλλον, ενώ η φυλλική επιφάνεια δεν διαφέρει μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων φωτισμού.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το καρπούζι (επιστ.: *Κίτρουλλος ο εριώδης, Citrullus lanatus*) είναι ένα φρούτο το οποίο προέρχεται από τη νότια Αφρική. Οι ποικιλίες που καταναλώνονται σήμερα μπορούν να φτάσουν σε βάρος αρκετά κιλά. Το καρπούζι είναι λείο εξωτερικά με χρώμα αποχρώσεις του πράσινου και ενίοτε με εναλλασσόμενες σκούρες και ανοικτές πράσινες ρίγες. Ο φλοιός του είναι αρκετά σκληρός, με πάχος περίπου ένα εκατοστό και άσπρο χρώμα στο εσωτερικό. Το κύριο μέρος του καρπουζιού στο εσωτερικό είναι μαλακό, κόκκινο, περιέχει μεγάλο αριθμό μαύρων σπόρων (ή και άσπρων) και περιέχει μεγάλες ποσότητες νερού.

Το καρπούζι εμφανίζεται σε ιερογλυφικά της Αρχαίας Αιγύπτου. Τον 10ο αιώνα μ.Χ. καλλιεργείται στην Κίνα και τον 13ο αιώνα εμφανίζεται στην Ευρώπη. Η ελληνική λέξη για τον καρπό είναι «υδροπέπων» (αντίστοιχα στην αγγλική γλώσσα *water-melon*). Η λέξη «καρπούζι» προέρχεται από την αντίστοιχη τουρκική *karpuz*, η οποία ανάγεται στην περσική *xarbusz(a)*. Στην Κύπρο δε, χρησιμοποιείται και η αραβική ονομασία 'παττίχα'.

Το καρπούζι αποτελείται κατά 90% από νερό, οπότε η επάρκεια νερού είναι καθοριστική κατά την ανάπτυξη του φυτού και του καρπού. Έλλειψη νερού μπορεί να προκαλέσει κενά στον αγρό και μείωση της φυλλικής επιφάνειας και κυρίως της σοδειάς. Η επάρκεια νερού είναι σημαντική κατά τη βλαστική ανάπτυξη αλλά τελειώς καθοριστική κατά την περίοδο της ανθοφορίας και της ανάπτυξης του καρπού. Η συχνότητα και η διάρκεια της άρδευσης εξαρτάται κυρίως από τις καιρικές συνθήκες, τον τύπο του εδάφους και από μερικές εδαφογενείς ασθένειες, κυρίως μετά τη δωδέκατη εβδομάδα.

Το καρπούζι είναι ένα πολύ κοινό λαχανικό ο καρπός του οποίου είναι εύγευστος και δροσερός. Είναι λιγότερο γνωστές οι ωφέλιμες ιδιότητες του καρπού αυτού. Η καλλιέργεια του καρπουζιού είναι ευρέως διαδεδομένη στον ελληνικό χώρο. Το καρπούζι αναπτύσσεται σε θερμά κλίματα, σε εδάφη ελαφρά, καλά στραγγιζόμενα και γόνιμα. Παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία σε ασθένειες του εδάφους και δεν μπορεί να καλλιεργηθεί για συνεχόμενα χρόνια στο ίδιο χωράφι. Αυτό δημιουργεί

πολλά προβλήματα γιατί δεν υπάρχουν πάρα πολλές εκτάσεις κατάλληλες ιδιαίτερα για πρώιμη παραγωγή. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται τα τελευταία χρόνια με τον εμβολιασμό του καρπουζιού πάνω σε φυτό κολοκυθιάς. Έτσι η ρίζα είναι από κολοκύθι, το οποίο αντέχει στις ασθένειες του εδάφους, και το φυτό είναι καρπούζι. Με την τεχνική αυτή το ίδιο χωράφι καλλιεργείται για πολλά χρόνια με καρπούζι χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση μεγάλων ποσοτήτων φυτοφαρμάκων για την προστασία του.

Τα πρώιμα καρπούζια καλλιεργούνται σε θερμοκήπια είτε χαμηλού είτε υψηλού τύπου. Σε μερικές περιπτώσεις μετά την αφαίρεση του πλαστικού της χαμηλής κάλυψης τα φυτά σκεπάζονται με αντιανεμικά δίχτυα τα οποία τα προστατεύουν από δυνατούς ανοιξιάτικους ανέμους.

Έχει επικρατήσει η εντύπωση ότι το καρπούζι είναι σκέτο νεράκι, πρόκειται φυσικά για μια άποψη που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Ο χυμός του καρπουζιού είναι πλούσιος σε ζάχαρα και άλλα θρεπτικά συστατικά. Η περιεκτικότητα του χυμού στα διάφορα στοιχεία επηρεάζεται από την ποικιλία τις καλλιεργητικές συνθήκες και βασικά από το βαθμό ωρίμασης.

Από μελέτες που έγιναν στο Εργαστήριό μας βρέθηκε ότι ο χυμός του καρπουζιού περιέχει ζάχαρα από 5% έως 8%. Αυτό σημαίνει ότι έχει λίγες θερμίδες. Στο εργαστήριο υπολογίσαμε ότι ένα κιλό καρπούζι περιέχει 100-200 μόνο θερμίδες. Το καρπούζι δεν παχαίνει, δυναμώνει και ομορφαίνει.

Η περιεκτικότητά του σε οξέα είναι πολύ χαμηλή, της τάξεως του 0,009% (τιμή Ph 5,5), περιέχει επίσης ασκορβικό οξύ (Βιταμίνη C) 8-9mg%. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι ο χυμός περιέχει Βιταμίνη Β6, κάλιο, φυτικές ίνες, β-καροτένιο και φυσικά λυκοπένιο.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βιταμίνη C είναι ουσία αντιοξειδωτική πολύ ωφέλιμη για τον οργανισμό. Το β-καροτένιο είναι προβιταμίνη της βιταμίνης A η οποία είναι απαραίτητη για την όραση. Το κάλιο είναι απαραίτητο για τη ρύθμιση της πίεσης και για τη σωστή λειτουργία του νευρικού συστήματος. Οι φυτικές ίνες βοηθούν στην ομαλή λειτουργία του πεπτικού συστήματος, στη μείωση της απορρόφησης από το έντερο της χοληστερόλης και προστατεύουν από τον καρκίνο του παχέως εντέρου και άλλων μορφών καρκίνου

Αξίζει να σημειωθεί ότι το λυκοπένιο, δηλαδή η χρωστική ουσία στην οποία οφείλεται το κόκκινο χρώμα ορισμένων φρούτων και λαχανικών (π. χ. τομάτας, καρπούζιου), που περιέχεται στο καρπούζι είναι περισσότερο διαθέσιμο για τον ανθρώπινο οργανισμό συγκριτικά με το αντίστοιχο που περιέχεται στην τομάτα. Επίσης, το καρπούζι προσφέρει το λυκοπένιο όταν καταναλώνεται ωμό, σε αντίθεση με την τομάτα, η οποία απελευθερώνει καλύτερα τη συγκεκριμένη ουσία όταν μαγειρευτεί. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό βεβαίως με τις αποδεδειγμένες ευεργετικές δράσεις του λυκοπενίου στο καρδιαγγειακό σύστημα, στην πρόληψη διαφόρων μορφών καρκίνου και στην άνοση λειτουργία του οργανισμού εξαιτίας της ισχυρής αντιοξειδωτικής του δράσης, καθιστά το καρπούζι ως μια επιπρόσθετη εναλλακτική πηγή υγείας και πρόληψης. Φυσικά, με την εξέλιξη της γενετικής έχουν παραχθεί καρπούζια διαφορετικού χρώματος (κίτρινα και άσπρα), που παρά το γεγονός ότι έχουν την ίδια γεύση με τα κόκκινα, δεν περιέχουν λυκοπένιο. Επίσης, σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Αμερική αποδείχθηκε ότι το παγωμένο καρπούζι, ακόμα κι αν προσφέρει μια ευχάριστη πηγή δροσιάς, είναι κατά πολύ λιγότερο θρεπτικό από το αντίστοιχο που καταναλώνεται σε θερμοκρασία δωματίου. Συγκεκριμένα, διάφορες ποικιλίες καρπούζιου αποθηκεύτηκαν για δύο εβδομάδες σε θερμοκρασίες 21, 13 και 5 οC. Μετά από εξέταση των θρεπτικών συστατικών τους, αποδείχθηκε ότι αυτά που συντηρήθηκαν στους 21 οC περιείχαν 40% περισσότερο λυκοπένιο και 140% επιπλέον β-καροτένιο, το οποίο ο οργανισμός μετατρέπει σε βιταμίνη Α. Από το γεγονός αυτό φαίνεται ότι τα καρπούζια συνεχίζουν να παράγουν θρεπτικές ουσίες ακόμα και μετά τη συλλογή τους και ότι η ψύξη επιβραδύνει αυτή τη διαδικασία. Σημειώνεται, επίσης, ότι η διάρκεια ζωής του φρούτου κυμαίνεται μεταξύ 14 και 21 ημερών σε θερμοκρασία 13 οC, ενώ η αντίστοιχη στο ψυγείο είναι κατά πολύ μικρότερη.

Τέλος, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε νερό, το καρπούζι έχει διουρητικές ιδιότητες και βοηθά στην καλύτερη λειτουργία των νεφρών

Ένα άλλο θέμα που απασχολεί τους καταναλωτές είναι το πρόβλημα της τυχόν ύπαρξης στον καρπό υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων. Το πρόβλημα αυτό έχει τελευταία ελαχιστοποιηθεί με τη μελετημένη και περιορισμένη χρήση φυτοφαρμάκων με τη βοήθεια πάντα των Γεωπόνων . Αρκετοί παραγωγοί εφαρμόζουν σύστημα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης και παράγουν προϊόντα Πιστοποιημένα. Η γενίκευση

της Πιστοποίησης είναι απαραίτητη για την προστασία όχι μόνο των καταναλωτών αλλά και των παραγωγών και του περιβάλλοντος. Το καρπούζι θα πρέπει να θεωρείται το περισσότερο ακίνδυνο από όλα τα λαχανικά.

Το καρπούζι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγή άλλων προϊόντων . Από ολόκληρο μικρού μεγέθους καρπό (μέγεθος καρυδιού περίπου) παρασκευάζεται γλυκό κουταλιού. Το ίδιο προϊόν παρασκευάζεται επίσης με τεμάχια φλοιού. Αλήθεια, έχετε δοκιμάσει ποτέ να τηγανίσετε φλοιό καρπουζιού; Ξύνετε το σκληρό πράσινο μέρος και στη τηγανίζετε το υπόλοιπο σα να είναι κολοκυθάκι. Η γεύση του θα σας καταπλήξει. Ο χυμός του καρπουζιού είναι ένα αξιόλογο προϊόν. Η απόδοση του καρπού σε χυμό ανέρχεται σε 50-60%. Σε πειράματα στο εργαστήριό ο χυμός καρπουζιού χρησιμοποιήθηκε για γέμισμα κονσερβών βερικόκου, σε συνδυασμό με σιρόπι ζάχαρης, καθώς και στην παρασκευή μιγμάτων φυσικών χυμών και νέκταρς, σε συνδυασμό με χυμό πορτοκαλιού και μανταρινιού, με άριστα αποτελέσματα.

Σύμφωνα με τον Ολύμπιο (2001), τα φυτάρια καρπουζιού δεν θα πρέπει να ψηλώσουν υπέρμετρα. Η σχέση ύψος προς πλάτος θα πρέπει να είναι είτε ίση με τη μονάδα είτε υπέρ του πλάτους. Τα κοτυληδονόφυλλα πρέπει να είναι μεγάλα, ο βλαστός χοντρός, τα φύλλα βαθυπράσινα και πυκνά πάνω στο βλαστό. Στις μασχάλες των φύλλων θα πρέπει να αναπτύσσονται δυνατοί πλευρικοί βλαστοί. Κατά τη μεταφύτευση το φυτό δεν θα πρέπει να έχει ανθήσει. Η μεταφύτευση γίνεται όταν η πρώτη ταξιανθία είναι εμφανής, αλλά κλειστή (10-12 ημέρες πριν την άνθηση) ή το φυτό έχει αποκτήσει 6-8 πραγματικά φύλλα.

Όπως γίνεται φανερό, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μεγέθη για την ποσοτικοποίηση της ποιότητας σπορόφυτων. Οι δείκτες αυτοί υιοθετήθηκαν με βάση την εμπειρία και τον ειδικό σκοπό κάθε μελέτης. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε συγκρίσεις μεταξύ διάφορων μεταχειρίσεων, χωρίς να είναι δυνατό να εκτιμηθεί αντικειμενικά αν οι διαφορές που βρίσκονται μεταξύ των μεταχειρίσεων έχουν επίπτωση στην ποιότητα ή αν μία οποιαδήποτε μεταχείριση παρήγαγε ποιοτικά σπορόφυτα.

Καθώς στόχο αποτελεί η παραγωγή ποιοτικών σπορόφυτων, θεωρήθηκε σκόπιμο να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά ενός ποιοτικού σπορόφυτου.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ

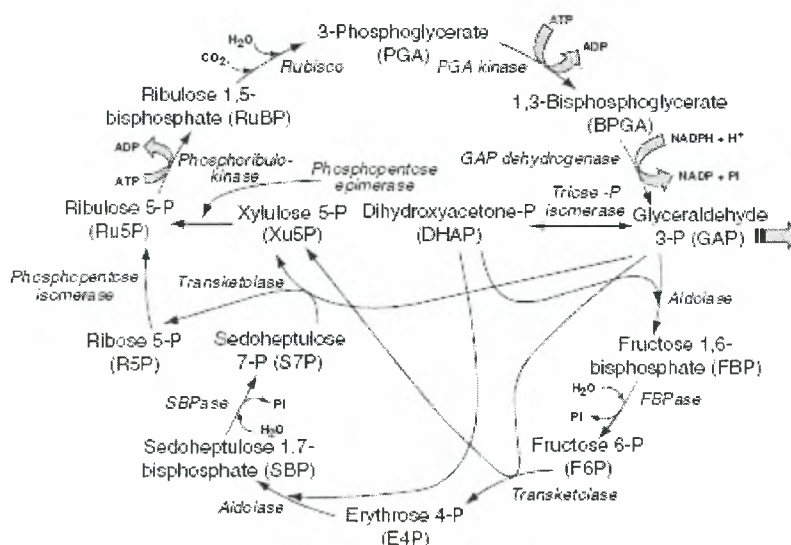
ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Η φωτοσύνθεση θα μπορούσε να συνοψιστεί με την παρακάτω αντίδραση



Η όλη διαδικασία διαχωρίζεται σε τρεις διαφορετικές διεργασίες: α) φωτεινές αντιδράσεις, β) σκοτεινές αντιδράσεις και γ) μεταφορά CO₂ από τον αέρα στο σημείο δέσμευσης (fixation) του εντός του χλωροπλάστη (Jones, 1992).

Κατά τις φωτεινές αντιδράσεις η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια του φωτός χρησιμοποιείται για το σχηματισμό των υψηλής ενέργειας ενώσεων ATP και NADPH. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τις διάφορες χρωστικές που βρίσκονται στους χλωροπλάστες. Οι χλωροφύλλες, οι κύριες χρωστικές ουσίες των φυτών, απορροφούν πιο αποτελεσματικά ακτινοβολία στα μήκη κύματος του μπλε και του κόκκινου. Τα καροτενοειδή και άλλες χρωστικές, απορροφούν στα υπόλοιπα μήκη του PAR¹. Οι αντιδράσεις αυτές είναι ανεξάρτητες της θερμοκρασίας (Καράταγλης, 1994; Jones, 1992).



Εικόνα 1. Σχηματική παράσταση του κύκλου του Calvin. Το κύριο προϊόν του

¹ PAR – Photosynthetically Active Radiation, φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία. Αφορά το φάσμα του φωτός από τα 400 έως 700nm

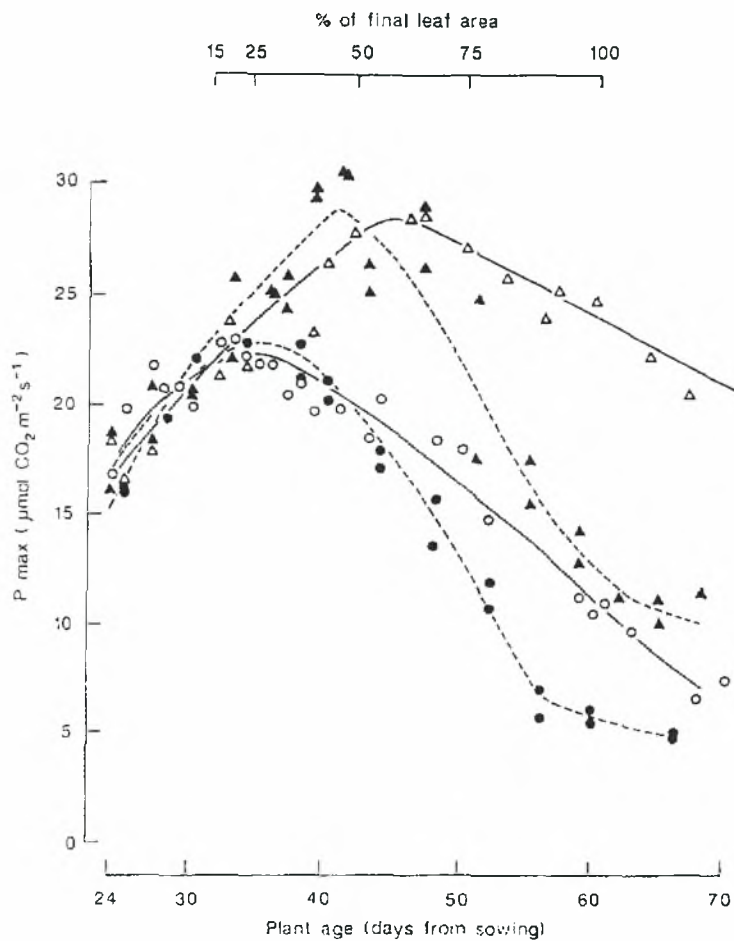
κύκλου είναι η GAP, η οποία είτε εξέρχεται του χλωροπλάστη για να σχηματιστεί σουκρόζη, είτε παραμένει στο χλωροπλάστη και σχηματίζει άμυλο ή χρησιμοποιείται για την αυτοκατάλυση του κύκλου (Πηγή: Raghavendra, 2003).

Η ενέργεια που έχει παραχθεί κατά τη διάρκεια των φωτεινών αντιδράσεων χρησιμοποιείται για την αναγωγή του άνθρακα και την παραγωγή βασικών υδατανθράκων. Οι διεργασίες αυτές μπορούν να πραγματοποιηθούν απουσία φωτός και ονομάζονται σκοτεινές. Αρχικά το CO₂ δεσμεύεται από τη Rubisco, παράγεται 3-PGA (3-φωσφορικός εστέρας του γλυκερινικού οξέος). Με χρήση ATP και NADPH, που έχει παραχθεί από τις φωτεινές αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης, η 3-PGA ανάγεται σε 1,6-διφωσφορική φρουκτόζη, από την οποία μέρος χρησιμοποιείται για την αναγέννηση της Rubisco ή για την παραγωγή διαφόρων υδατανθράκων. Ο κύκλος αυτός ονομάζεται κύκλος του Calvin (βλ. **Εικόνα 1**) και συναντάται στα C3 φυτά. Τα C4 και CAM φυτά επίσης χρησιμοποιούν τον κύκλο του Calvin, αλλά παραλλαγμένο στο στάδιο της αρχικής δέσμευσης του CO₂.

Για τα C4 φυτά ο ρυθμός δέσμευσης CO₂ (CO₂ fixation rate) συχνά είναι κοντά στο σημείο κορεσμού του CO₂. Ωστόσο στα C3 φυτά η φωτοσύνθεση τείνει να συνεχίζει να αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂, μερικώς λόγω της αναστολής της φωτοαναπνοής (photorespiration) καθώς το CO₂ ανταγωνίζεται το O₂ και στρέφει τη λειτουργία της Rubisco προς τη καρβοξυλίωση (carboxylation). Η αντίδραση αυτή παρατηρείται παρόλο που τα στόματα τείνουν να κλείνουν μερικώς καθώς αυξάνεται η μερική πίεση του CO₂. Ωστόσο σε περιπτώσεις μακροχρόνιας έκθεσης σε ατμόσφαιρα με αυξημένη συγκέντρωση CO₂ συχνά παρατηρείται η μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα κάτω από συνθήκες κορεσμού σε φως και να αντισταθμίζει τα οφέλη από τη μειωμένη φωτοαναπνοή. Ο εγκλιματισμός σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης CO₂ μπορεί να επιφέρει μορφολογικές (όπως κατανομή ξηράς ουσίας, κατανομή στομάτων, leaf cell packing), φυσιολογικές (αλλαγές στο άνοιγμα των στομάτων [stomata aperture]) ή βιοχημικές αλλαγές (Jones, 1992).

Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 2**, όταν ένα φύλλο, που αναπτύσσεται συνεχώς σε εμπλουτισμένη με CO₂ ατμόσφαιρα, φτάσει περίπου στο 50% της τελικής του επιφάνειας αρχίζει και μειώνεται η φωτοσυνθετική του ικανότητα. Όταν φτάσει την τελική του επιφάνεια, ο ρυθμός φωτοσύνθεσης του φύλλου που έχει αναπτυχθεί σε

εμπλουτισμένη ατμόσφαιρα, όταν αυτή μετρηθεί σε συνθήκες κορεσμού σε φως, και με υψηλή συγκέντρωση CO₂ (1000νppm) είναι λίγο υψηλότερη από ότι ο ρυθμός φωτοσύνθεσης ενός φύλλου που έχει αναπτυχθεί σε φυσιολογικές συγκεντρώσεις CO₂, όταν αυτή μετρηθεί στις ίδιες συνθήκες φωτισμού αλλά με συγκέντρωση CO₂ στα 300νppm.



Εικόνα 2. Ρυθμός φωτοσύνθεσης υπό συνθήκες κορεσμού σε φως, P_{max} ($1500 \mu\text{mol quanta m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) μη σκιασμένου 5^{ου} φύλλου σε διάφορα στάδια ανάπτυξης. Φυτά που αναπτύχθηκαν σε συγκέντρωση 340 νppm CO₂ (○,△) ή 1000 νppm CO₂ (●,▲) και μετρήθηκαν σε συγκέντρωση 300 νppm CO₂ (○,●) ή 1000 νppm CO₂ (△,▲).

Η μείωση αυτή της φωτοσυνθετικής ικανότητας αποδίδεται σε μείωση της συγκέντρωσης και της δραστηρότητας της Rubisco. Σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε ατμόσφαιρα με συγκέντρωση CO₂ στα 1000 νppm η συγκέντρωση της Rubisco ήταν

περίπου η μισή σε σχέση με φυτά που αναπτύχθηκαν σε περιβάλλον με φυσιολογική συγκέντρωση CO₂. Εκτός από αυτή τη μείωση παρατηρήθηκε και σε άλλα δύο ένζυμα του κύκλου του Calvin, της 3PGA φωσφοκινάσης (3PGA phosphokinase) και της NADP-G3P διωδρογενάση (NADP-G3P dehydrogenase), ωστόσο δεν ήταν τέτοια που να περιορίζει τη φωτοσύνθεση (Besford, 1993). Ο εγκλιματισμός των φυτών σε υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ φαίνεται να συνδέεται με τη θρέψη του φυτού, καθώς σε υδροπονικά καλλιεργούμενο σιτάρι σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης CO₂ και με παροχή αζώτου ανάλογης του ρυθμού αύξησής του, η συγκέντρωση του αζώτου στα φύλλα παρέμεινε σε φυσιολογικά επίπεδα και δεν παρατηρήθηκε εγκλιματισμός σε αντίθεση με τη μεταχείριση όπου ο ρυθμός παροχής αζώτου ήταν σταθερός. Στη δεύτερη μεταχείριση παρατηρήθηκαν όλες οι προαναφερόμενες μεταβολές στα ένζυμα του κύκλου του Calvin, στα φυτά που είχαν εγκλιματιστεί σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης CO₂ (Farage et al, 1998). Είναι γνωστό επίσης ότι η Rubisco περιέχει το 25-45% του αζώτου των φύλλων (Marcelis et al., 1998).

Σε χαμηλής έντασης φωτισμό ωστόσο δεν παρατηρείται ανάλογο φαινόμενο εγκλιματισμού. Παρόλα αυτά η παροδική αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ από 350 σε 700 ppm αυξάνει την κβαντική απόδοση (quantum yield) από 0,078 σε 0,095 και μειώνει το σημείο ισοστάθμισης (compensation point) από τα 48 στα 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Στα θερμοκήπια ο εμπλουτισμός με CO₂ διαρκεί για περιορισμένο χρονικό διάστημα και έτσι ο εγκλιματισμός δεν είναι πλήρης. Κάθε είδος αντιδρά διαφορετικά στην αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂. Έτσι στα C₄ δεν παρατηρείται καμία διαφορά ενώ στα C₃ έχουν βρεθεί σημαντικές διαφορές. Είδη που ακολουθούν ως στρατηγική επιβίωσης την ανθεκτικότητα (stress tolerant, ruderal) ανταποκρίθηκαν ελάχιστα στο διπλασιασμό της συγκέντρωσης του CO₂ (5%). Αντίθετα φυτά με ανταγωνιστικότητα (near-competitive strategy) παρουσίασαν αύξηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας κατά 43% (Jones, 1992).

Η φωτοαναπνοή (photorespiration) είναι μια διεργασία του φυτού, παρουσία φωτός, κατά την οποία ελευθερώνεται CO₂ με μηχανισμό ωστόσο διαφορετικό από την αναπνοή. Συγκεκριμένα η αναπνοή λαμβάνει χώρα στα μιτοχόνδρια και οξειδώνει σάκχαρα, ενώ η φωτοαναπνοή οξειδώνει το γλυκολικό οξύ και λαμβάνει χώρα σε τρία διαφορετικά οργανίδια του φυτού με την εξής σειρά: χλωροπλάστης,

υπεροξειδιοσωμάτιο, μιτοχόνδριο. Μια άλλη διαφορά είναι ότι η αναπνοή ελευθερώνει ATP, που χρησιμοποιείται σε άλλες λειτουργίες του φυτού, ενώ η φωτοαναπνοή καταναλώνει ATP. Η φωτοαναπνοή επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του O₂ στον ατμοσφαιρικό αέρα, τη συγκέντρωση του CO₂ στον ατμοσφαιρικό αέρα, τη θερμοκρασία και το φως. (Καράταγλης, 1994).

Αύξηση – Ανάπτυξη σπορόφυτων

Κατά την αρχική του ανάπτυξη το φυτό βασίζεται στις ουσίες των αποθησαυριστικών ιστών του σπόρου ή άλλων αναπαραγωγικών οργάνων. Η μετατροπή του σε ανεξάρτητο αυτότροφο οργανισμό, διαδικασία γνωστή ως αποώχρωση (de-etiolation), συμβαίνει όταν αυτό εκτεθεί σε φως μιας κάποιας έντασης και διάρκειας (significant amount of light) (Hart, 1988).

Ο χρόνος φυτρώματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία, με το ταχύτερο φύτρωμα να επιτυγχάνεται για θερμοκρασία εδάφους ίση με 85°F (28°C). Στα θερμοκήπια η θερμοκρασία του υποστρώματος ανάπτυξης των σπορόφυτων ακολουθεί στενά τη θερμοκρασία του αέρα, ακόμη και όταν αυτό είναι στην υδατοϊκανότητα. Υπό τις βέλτιστες αυτές συνθήκες το φύτρωμα ολοκληρώνεται σε 5 ημέρες.

Πίνακας 1. Θερμοκρασία εδάφους και ημέρες για φύτευση

Θερμοκρασία εδάφους (°F/°C)	60/15,6	68/20	77/25	85/29,4	95/35
Ημέρες για φύτευση	14	8	6	5	9

Πηγή: Boyhan and Kelley, 2006 (ο πίνακας αφορά σπορόφυτα τομάτας)

Το πρώτο πραγματικό φύλλο που εμφανίζεται στα σπορόφυτα είναι διαφορετικό από τα επόμενα που παράγει το φυτό. Γενικά εμφανίζουν διαρκώς πιο σύνθετα και μεγαλύτερα φύλλα, έως ότου αρχίσουν να εμφανίζονται τα τυπικά φύλλα του φυτού. Παράγοντες του περιβάλλοντος, όπως η σκίαση μπορούν να επηρεάσουν μέγεθος και ανατομία των ώριμων φύλλων. Τα τέσσερα στάδια ανάπτυξης ενός φύλλου είναι α) διαφοροποίηση (initiation) β) μορφογένεση (morphogenesis) γ) αύξηση (expansion) δ) ιστογένεση (histogenesis) (Dengler and Kang, 2003). Τα δύο πρώτα στάδια της

ανάπτυξης του φύλλου επηρεάζονται από γενετικούς παράγοντες, ενώ τα δύο τελευταία στάδια επηρεάζονται κυρίως από το περιβάλλον.

Η ανάπτυξη ενός φυτού μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο ο ρυθμός αύξησης είναι εκθετικός, στο δεύτερο ο ρυθμός αύξησης είναι σταθερός και στην τελευταία φάση ο ρυθμός αύξησης μειώνεται. Έτσι ανάλογα η αύξηση είναι εκθετική, γραμμική στη συνέχεια και τελικώς η ξηρά ουσία σταθεροποιείται (Goudriaan and van Laar, 1994).

ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Μονάδες μέτρησης έντασης ακτινοβολίας

Επειδή για το φωτισμό έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς πολλές μονάδες κρίνεται απαραίτητο αρχικά να γίνει αναφορά στις μονάδες μέτρησης έντασης της ακτινοβολίας. Οι μονάδες που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι φωτομετρικές (photometric), ραδιομετρικές (radiometric) και κβαντικές (quantum).

Οι φωτομετρικές μονάδες περιγράφουν την ένταση του φωτισμού όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι και χρησιμοποιούνται κυρίως στην αρχιτεκτονική, την ιατρική και τη φωτογραφία, ενώ παλαιότερα και στη γεωπονία. Καθώς ωστόσο εκφράζουν τη φωτεινότητα (όπως είναι αντιληπτή από τον άνθρωπο) και όχι την ενέργεια του φωτός, είναι ακατάλληλες για χρήση στη μελέτη της επίδρασης του φωτός στα φυτά και εγκαταλείφθηκε η χρήση τους. Η κύρια φωτομετρική μονάδα είναι το lumen και από αυτή προέρχονται το lux ($1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen} \cdot \text{m}^{-2}$), και το footcandle ($1 \text{ fc} = 1 \text{ lumen} \cdot \text{ft}^{-2}$) (Baille, 1993; Hart, 1988).

Οι ραδιομετρικές μονάδες εκφράζουν την ενέργεια του φωτός σε ένα μέρος του φάσματος του και είναι κατάλληλες για τη μελέτη της επίδρασης της έντασης του φωτισμού στα φυτά, ωστόσο είναι ακατάλληλες για μελέτη μορφογενετικών επιδράσεων. Επίσης θα πρέπει να είναι γνωστό και το εύρος του φάσματος στο οποίο μετράει το χρησιμοποιούμενο όργανο, καθώς μόνο η περιοχή του PAR επηρεάζει την αύξηση των φυτών. Αν το εύρος μέτρησης του οργάνου είναι πέρα από αυτή την περιοχή, για να είναι δυνατός ο υπολογισμός της έντασης του φωτός στο PAR, θα πρέπει να είναι γνωστή και η πηγή, καθώς διαφορετικές πηγές έχουν διαφορετικό

φάσμα εκπομπής φωτός. Σε ραδιομετρικές μονάδες εκφράζεται η ενέργεια του φωτός και συνεπώς πρόκειται για μονάδες ενέργειας ($W \cdot m^{-2}$ για στιγμιαίες μετρήσεις ή $J \cdot m^{-2}$ όταν ολοκληρώνουμε για ένα χρονικό διάστημα).

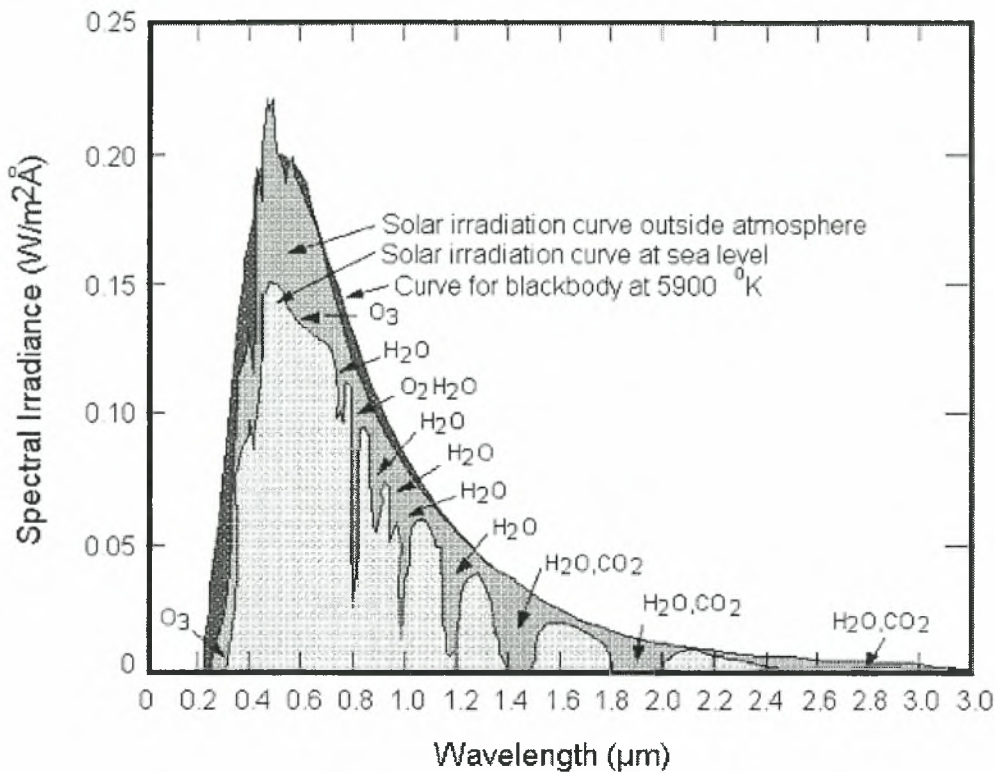
Οι καταλληλότερες μονάδες για τη μελέτη της επίδρασης του φωτός στα φυτά είναι οι κβαντικές. Η μονάδα που χρησιμοποιείται είναι το $mole \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ή η ισοδύναμη $Einstein \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Αυτές εκφράζουν τον αριθμό των φωτονίων στο φάσμα από 400-700nm, που αντιστοιχεί στην PAR (Baille, 1993; Hart, 1988).

Το φάσμα του ηλιακού φωτός

Η θερμοκρασία του χρώματος του Ήλιου είναι περίπου $6000^{\circ}K$. Το μήκος κύματος στο οποίο παρατηρείται το μέγιστο της φασματικής εκπομπής ενός μέλανος σώματος συνδέεται με τη θερμοκρασία του σώματος αυτού σύμφωνα με τη σχέση του Wien:

$$L_{max} \cdot T = 2,9 \cdot 10^6 \quad [1]$$

Άρα το μέγιστο της εκπομπής του ηλιακού φωτός υπολογίζεται ότι θα είναι στα 500nm. Ο παραπάνω υπολογισμός επιβεβαιώνεται από σχετικές μετρήσεις. Στην **Εικόνα 3** παρουσιάζεται το φάσμα του ηλιακού φωτός στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας και στην επιφάνεια της Γης, καθώς και τα μήκη κύματος όπου διάφορα αέρια απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία. Το 41% της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας κατανέμεται μεταξύ των 400 και 700nm, και αποτελούν την Φωτοσυνθετικά Ενεργό Ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation – PAR). Ένα 9% της ηλιακής ενέργειας είναι στο υπεριώδες και το υπόλοιπο 50% είναι στο υπέρυθρο (Bonhomme, 1993). Η ακτινοβολία κάτω από τα 200nm απορροφάται όλη από το οξυγόνο, το οποίο ιονίζεται σχηματίζοντας όζον (Hart, 1988).



Εικόνα 3. Φάσμα ηλιακού φωτός στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας (σκούρα γκρι περιοχή) και στην επιφάνεια της Γης (ανοιχτό γκρι περιοχή). Πηγή: www.csr.utexas.edu/projects/rs/hrs/process.html

Όμως δεν φτάνει όλο το ηλιακό φως στην επιφάνεια της Γης. Τα αέρια της ατμόσφαιρας απορροφούν ή ανακλούν μέρος της. Οι υδρατμοί απορροφούν ποσοτικά το μεγαλύτερο ποσό ηλιακής ενέργειας σε σχέση με τα άλλα αέρια. Τα μήκη κύματος τα οποία απορροφούνται είναι 1100, 1400, 1600 και 1900nm. Το όζον απορροφά κάτω από τα 300nm., το CO₂ στα 2750 και 4250nm και το οξυγόνο στα 690 και 760nm (Bonhomme, 1993). Έτσι στην επιφάνεια της Γης η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεταξύ 45-55% η PAR, 4-9% για το υπεριώδες και 51-36% για το εγγύς υπέρυθρο (near infrared) ανάλογα με της ατμοσφαιρικές συνθήκες. Το πρώτο νούμερο αναφέρεται σε συνθήκες ηλιοφάνειας και το δεύτερο σε συνθήκες συννεφιάς (overcast) (Goudriaan and van Laar, 1994).

Ο ετήσιος μέσος όρος της ακτινοβολίας που φτάνει στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας είναι 11 MJ·m⁻². Από αυτή την ποσότητα τα 1,9 MJ·m⁻² απορροφούνται από τα αέρια και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και τα 3,8 MJ·m⁻² ανακλώνται στο διάστημα. Τελικά 5,3 MJ·m⁻² φτάνουν στο έδαφος από τα οποία τα 2,0 MJ·m⁻²

φτάνουν ως διάχυτη ακτινοβολία και τα υπόλοιπα $3,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ως άμεση (Bonhomme, 1993). Τα παραπάνω νούμερα αποτελούν μέσους όρους.

Ο λόγος της διάχυτης ακτινοβολίας προς τη συνολική που φτάνει στην επιφάνεια της Γης έχει βρεθεί ότι σχετίζεται θετικά με την διαπερατότητα της ατμόσφαιρας (atmospheric transmissivity) και επηρεάζεται ελαφρώς από την εποχή. Ο λόγος της διάχυτης ακτινοβολίας είναι 0,2 για διαπερατότητα της ατμόσφαιρας πάνω από 0,7 και 1 για ατμοσφαιρική διαπερατότητα κάτω από 0,3 όταν η τιμές είναι στιγμιαίες ή κάτω από 0,15 όταν οι τιμές είναι ημερήσια αθροίσματα. Μεταξύ των δύο αυτών άκρων υπάρχει γραμμική σχέση. Η ατμοσφαιρική διαπερατότητα μπορεί να υπολογιστεί από το λόγο της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης προς τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας (Goudriaan and van Laar, 1994).

Από την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα φυτά ένα μέρος απορροφάται, ένα μέρος ανακλάται και το υπόλοιπο διέρχεται μέσα από τα φύλλα. Το ποσοστό της ακτινοβολίας που απορροφάται, ανακλάται ή διέρχεται μέσα από το φύλλο εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας (Jones, 1992).

Το τμήμα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τα φυτά είναι αυτό από τα 300nm έως 1000nm. Αυτό γιατί μήκη κύματος άνω των 1000nm φέρουν πολύ λίγη ενέργεια για να επιδράσουν φωτοχημικά σε οποιοδήποτε μόριο, ενώ μήκη κύματος μικρότερα από τα 300nm φέρουν πολύ μεγάλη ενέργεια που μπορεί να σπάσει χημικούς δεσμούς, οπότε θα κατάστρεφε το όποιο μόριο δρούσε ως φωτοϋποδοχέας (photoreceptor) (Hart, 1988).

Το φως, εκτός από την ενέργεια του, μπορεί να παρέχει σημαντικές πληροφορίες στα φυτά για την επιβίωση τους. Η ποσότητα, η ποιότητα, η κατεύθυνση και η περιοδικότητα είναι χαρακτηριστικά που μπορούν να γίνουν αντιληπτά από τα φυτά (Hart, 1988).

Στη φωτοσύνθεση η σημαντικότερη παράμετρος του φωτός είναι η ένταση του. Οι χρωστικές που απορροφούν το φως είναι διάφορες χλωροφύλλες και καροτενοειδή. Στόχος είναι η απορρόφηση φωτός από όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος φάσματος. Για τη φωτοσύνθεση είναι απαραίτητη ηλιακή ενέργεια μερικών δεκάδων έως λίγων εκατοντάδων $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Συνήθως στα 200-300 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ έχουμε κορεσμό (Hart, 1988).

Η ανάπτυξη των φυτών συνεχώς σε υψηλά επίπεδα έντασης φωτισμού οδηγεί στην αύξηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων, καθώς έχει παρατηρηθεί αύξηση των συστημάτων συλλογής του φωτός και μεταφοράς ηλεκτρονίων, καθώς και αύξηση ενζύμων του κύκλου του Calvin. Αυτό αντικατοπτρίζεται και με την αύξηση της αναπνοής διατήρησης (dark respiration), που σημαίνει αυξημένες δαπάνες ενέργειας για τη σύνθεση και συντήρηση του φωτοσυνθετικού μηχανισμού (Besford, 1993).

Πίνακας 2. Συνοπτική παρουσίαση των φασματικών περιοχών με ενδιαφέρον στη γεωργία, την επίδραση που έχουν, το φωτοσύστημα όπου δρουν και την ανάκλαση, διαπερατότητα και σκέδαση στα φύλλα.

Περιοχή	Μήκος κύματος (nm)	Φωτοσύστημα	Δράση	Ανάκλαση	Διαπερατότητα	Σκέδαση
UV	-400					
UV-C	<280					
UV-B	280-320	φωτοϋποδοχείς UV-B	βιοσύνθεση φλαβονοειδών	0,06		0,06
UV-A	320-400	κρυπτόχρωμα, φωτοτροπίνη	φωτομορφογένεση, φωτοτροπισμός	0,06		0,06
PAR, Ορατό	400-700					
Μπλε	400-480	κρυπτόχρωμα, φωτοτροπίνη, ζεαξανθίνη	φωτομορφογένεση, φωτοτροπισμός, κίνηση στομάτων	0,08	0,01	0,08
Πράσινο	480-550	κρυπτόχρωμα	φωτομορφογένεση	0,17	0,1	0,2
Κίτρινο	550-590					
Πορτοκαλί	590-650					

Κόκκινο	650-700			0,11	0,06	0,13
	655-665	φυτόχρωμα	φωτομορφογένεση	0,09	0,04	0,1
Μακρύ ερυθρό	700-800			0,39	0,55	0,67
	725-735	φυτόχρωμα	φωτομορφογένεση	0,41	0,55	0,68
Εγγύς υπέρυθρο	700- 1100					

Ως προς το ακριβές εύρος της PAR και το εύρος στο οποίο αντιστοιχούν οι διάφορες υπάρχουν διυσταμένες απόψεις. Ο Grant (1997) ακολουθεί την κάτωθι κατάταξη. UVB 280-320, UVA 320-400, Μπλε 400-500, Πράσινο 500-600, Κόκκινο 600-700, PAR 400-700, μακρύ-ερυθρό 700-800 και εγγύς υπέρυθρο 700-1100. Ο Ross (1981) ακολουθεί την παρακάτω UV 290-380, PAR 380-710, εγγύς υπέρυθρο 710-4000

Πηγή: Grant (1991), Ross (1981), Kendick and Weller (2003)

Επίδραση του φωτισμού

Η ένταση του φωτός μπορεί να επηρεάσει τη μορφή της αύξησης. Φυτά που μεγαλώνουν στο σκοτάδι σχηματίζουν μακρύ και λεπτό βλαστό με ασυνήθιστα επιμήκη μεσογονάτια διαστήματα ενώ τα φύλλα παραμένουν εμβρυώδη χωρίς να αναπτύσσουν χλωροφύλλη και έχοντας ένα λευκοκίτρινο χρώμα. Τα φυτά που αναπτύσσονται στο φως έχουν κοντότερο βλαστό με μικρότερα μεσογονάτια διαστήματα και καλά ανεπτυγμένα φύλλα με πράσινο χρώμα και περισσότερο διαφοροποιημένους ιστούς (Καραταγλής, 1994). Αύξηση της έντασης του φωτισμού έχει ως αποτέλεσμα παχύτερα φύλλα. Όμοια επιδρά και το CO₂. Η αντίδραση αυτή είναι γραμμικής φύσης (Dayan, 1993c).

Ο Uzun (2006) μελέτησε την επίδραση του φωτισμού (1,9 – 8,1 MJ·m⁻²·d⁻¹) και της θερμοκρασίας (7,4 – 24,2°C) στον αριθμό των φύλλων πριν την εμφάνιση του πρώτου καρπού στην τομάτα. Βρήκε ότι σε υψηλές τιμές φωτισμού το φως επηρέαζε περισσότερο τον αριθμό των φύλλων πριν την εμφάνιση της ταξιανθίας, ενώ όταν ο φωτισμός ήταν χαμηλός η θερμοκρασία έπαιξε σημαντικότερο ρόλο. Μειώνοντας την

θερμοκρασία μειώνονταν ο αριθμός των φύλλων πριν την πρώτη ταξιανθία και επίσης μειώνονταν με την αύξηση του φωτισμού.

Ο McCall (1992) ωστόσο δεν παρατήρησε καμία επίδραση του φωτισμού στον αριθμό των φύλλων πριν την πρώτη ταξιανθία. Παρατήρησε ωστόσο διαφορές στο ύψος των φυτών, στη φυλλική επιφάνεια και στο ξηρό βάρος. Οι συνθήκες που επικρατούσαν ήταν: πρόσθετος φωτισμός 30, 60 και 90 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD², θερμοκρασία 21°C και συγκέντρωση CO₂ 1000 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$. Το πείραμα διεξήχθη Δεκέμβριο μήνα στη Δανία. Ενδεχομένως η διαφοροποίηση της ταξιανθίας να συνέβη πριν την έναρξη της εφαρμογής των διαφόρων επιπέδων φωτισμού, καθώς αυτές δεν εφαρμόστηκαν αμέσως μετά το φύτευμα και για αυτό να μην παρατηρήθηκαν διαφορές.

Για νεαρά φυτά τομάτας, αγγουριού και γλυκιάς πιπεριάς (sweet pepper) βρέθηκε ότι ο μέγιστος ρυθμός καθαρής αφομοίωσης (net assimilation rate - NAR) επετεύχθη όταν η ημερήσια ενέργεια του φωτός (daily light integral) ήταν περίπου 4 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ και ο μέγιστος σχετικός ρυθμός αύξησης (relative growth rate - RGR) όταν η ημερήσια ποσότητα φωτός ήταν περίπου 3 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$. Αύξηση μέσης ημερήσιας ποσότητας φωτός είχε ως αποτέλεσμα μείωση του λόγου φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Ratio - LAR), για αυτό και ο μέγιστος ρυθμός αύξησης επιτυγχάνεται με μικρότερα ποσά φωτισμού (Bruggink and Heuvelink, 1987).

Η διάρκεια της φωτοπεριόδου παίζει επίσης ρόλο στην ανάπτυξη του φυτού. Ο φωτοπεριοδισμός επιτρέπει στα φυτά να αποφύγουν δυσμενείς συνθήκες και παίζει σημαντικό ρόλο στην άνθιση. Ορισμένα φυτά απαιτούν ώρες σκότους από ένα όριο και πάνω ή κάτω προκειμένου να ανθίσουν. Σε άλλα φυτά με φωτοπεριοδισμό το όριο αυτό δεν είναι τόσο καθοριστικό και σε μη ευνοϊκή φωτοπερίοδο απλά καθυστερεί η άνθιση (Goudriaan and van Laar, 1994). Το καρπούζι είναι φυτό ουδέτερο στον φωτοπεριοδισμό. Η ένταση του φωτισμού έχει βρεθεί ότι επιδρά στον αριθμό των φύλλων.

Πίνακας 3. Επίδραση διάρκειας ημέρας και έντασης φωτισμού στον αριθμό φύλλων

² PPFD – Photosynthetic Photon Flux Density

πριν την εμφάνιση της 1^{ης} ταξιανθίας (αφορά σπορόφυτα τομάτας)

Μήκος ημέρας (ώρες)	Ένταση φωτισμού (fc)		
	750	1500	3000
9	8	7	5
12	8	7	6
18	9	8	6

1fc = 10,76 lux

Πηγή: Ολύμπιος, 2001

Η διάρκεια του φωτισμού δεν επιδρά μόνο στην ανάπτυξη αλλά και στην αύξηση, παρόλο που οι μηχανισμοί δεν είναι ίδιοι. Συνεχής φωτισμός σε γλυκοπιπεριές (sweet peppers) (24ωρος φωτισμός) προκάλεσε πτώση φύλλων (Hanan, 1998). Σε καλλιέργεια τομάτας με φωτοπερίοδο 24 ωρών (συνεχής φωτισμός) παρατηρήθηκε χλώρωση των φύλλων μετά από 7 εβδομάδες. Η χλώρωση αυτή δεν οφειλόταν στην θρέψη ενώ επίσης παρατηρήθηκε αύξηση στη συγκέντρωση σακχάρων και αμύλου. Αν και αρχικά η ανάπτυξη και η παραγωγή ήταν υψηλότερη στα φυτά που ήταν εκτεθειμένα σε φωτοπερίοδο 24 ωρών έναντι αυτών που ήταν εκτεθειμένα σε φωτοπερίοδο 14 ωρών, τελικά η ανάπτυξη και η παραγωγή ήταν υψηλότερη στα φυτά που ήταν εκτεθειμένα σε φωτοπερίοδο 14 ωρών. Έτσι η αύξηση της φωτοπεριόδου είχε ως αποτέλεσμα αύξηση της παραγωγής, ωστόσο αύξηση της φωτοπεριόδου άνω των 14 ωρών δεν επέφερε περαιτέρω αύξηση (Demers et al., 1998).

Σε νεαρά φυτά τομάτας και σε άλλες καλλιέργειες, έχει παρατηρηθεί ότι η ανάπτυξη του βλαστού ευνοείται έναντι του ριζικού συστήματος σε μικρές φωτοπεριόδους (Πίνακας 4). Ανάλογη αντίδραση υπάρχει και στο λόγο φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Ratio - LAR) (Πίνακας 4). Αντίθετα ο σχετικός ρυθμός αύξησης (Relative Growth Rate - RGR) αυξάνεται με αύξηση της φωτοπεριόδου (Πίνακας 4). Οι διαφορές αυτές ωστόσο δεν είναι γνωστό κατά πόσο οφείλονται στην αύξηση της διάρκειας του φωτισμού ή στην αύξηση των σχηματιζόμενων υδρογονανθράκων (carbonhydrates) (Logendra et al., 1990).

Ανεξαρτήτως της διάρκειας της φωτοπεριόδου έχει παρατηρηθεί ότι η ποσότητα υδατανθράκων που παραμένει στα φύλλα είναι σταθερή ενώ η υπόλοιπη ποσότητα μεταφέρεται σε άλλα μέρη του φυτού ή εφόσον δεν υπάρχει ανάλογη ζήτηση αποθηκεύεται σε μορφή αμύλου στα φύλλα. Όταν η φωτοπερίοδος είναι μεγάλη (20-24 ώρες) έχει παρατηρηθεί αύξηση της συγκέντρωσης αμύλου (starch) στα φύλλα μέχρι ενό ορίου αφού θα πρέπει να υπάρχει μία μέγιστη ποσότητα αμύλου που μπορεί να αποθηκευθεί (περί τα $4,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) (Logendra et al., 1990).

Πίνακας 4. Τιμές NAR, RGR, LAR και λόγος βλαστού:ρίζας για τρεις διαφορετικές φωτοπεριόδους

Διάρκεια φωτοπεριόδου	NAR ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$)	RGR ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$)	LAR ($\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	λόγος βλαστός:ρίζα
8	3,36	0,111	0,033	9,45
16	6,94	0,201	0,028	4,71
20	8,74	0,228	0,026	4,28

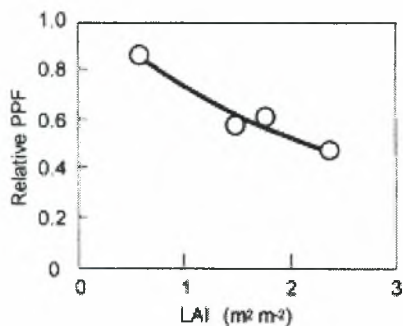
Οι τιμές στις ίδιες στήλες που έχουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν μεταξύ τους για επίπεδο σημαντικότητας $P\leq 0,05$ (Πηγή: Logendra et al., 1990)

Η περίσσεια αμύλου στα φύλλα έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να αποδιοργανώσει τους χλωροπλάστες, εξηγώντας έτσι την χλόρωση που παρατηρείται στα φύλλα τομάτας που εκτίθενται σε μεγάλη φωτοπερίοδο. Ο χρόνος ωστόσο στον οποίο θα παρουσιαστούν αυτά τα συμπτώματα δεν είναι σταθερός και ποικίλει από 5-7 ημέρες έως 7 εβδομάδες (Logendra et al., 1990, Demers et al., 1998).

Η αύξηση και ανάπτυξη των σπορόφυτων επηρεάζεται και από την ποιότητα του φωτισμού. Ο Andersen (1986) συνέκρινε 12 λάμπες φθορισμού ως πηγές φωτός για την παραγωγή σπορόφυτων. Βρήκε ότι υψηλότερες τιμές χλωρής μάζας, ξηρής μάζας και φυλλικής επιφάνειας είχαν τα φυτά που αναπτύχθηκαν κάτω από τον τύπο της λάμπας που προσέφερε την υψηλότερη ένταση ακτινοβολίας. Τα φυτά αυτά επίσης

είχαν υψηλότερο λόγο ξηράς ουσίας/ μονάδα ύψους. Ωστόσο ούτε το χλωρό ούτε το ξηρό βάρος σχετίζονταν θετικά με την ένταση της φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας, όπως επίσης και η αποδοτικότητα χρήσης του φωτός. Επίσης παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στο χλωρό και ξηρό βάρος μεταξύ λαμπτήρων που εκπέμπανε σχεδόν ίδιες ποσότητες φωτός. Τα παραπάνω υποδεικνύουν ότι η ποιότητα του φωτός είναι σημαντικός παράγοντας στην αύξηση του φυτού και η αποδοτικότητα μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτεινή ακτινοβολία δεν μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστο κριτήριο στην επιλογή λαμπτήρων. Μάλιστα η αυξημένη επιμήκυνση του βλαστού που παρατηρήθηκε σε δύο λαμπτήρες αποδόθηκε στον υψηλότερο λόγο FR/R που είχαν σε σχέση με τους υπόλοιπους λαμπτήρες.

Αν και τα σπορόφυτα έχουν μικρό αριθμό φύλλων, τα οποία κατά κανόνα δεν αλληλοεπικαλύπτονται (για φύλλα του ίδιου ατόμου), η μεγάλη πυκνότητα καλλιέργειας έχει ως αποτέλεσμα από ένα σημείο και ύστερα την αλληλοεπικάλυψη γειτονικών φύλλων. Έτσι η ένταση του φωτισμού εντός της φυλλοστοιβάδας μειώνεται. Στην **Εικόνα 4** βλέπουμε το λόγο της ροής των φωτοσυνθετικών φωτονίων (PPF) εντός της φυλλοστοιβάδας προς την PPF πάνω από τη φυλλοστοιβάδα σε σχέση με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index - LAI) (Kitaya et al., 2004).



Εικόνα 4. Επίδραση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις σχετικές τιμές PPF εντός της φυλλοστοιβάδας σπορόφυτων τομάτας. Κάθε σημείο είναι ο μέσος όρος της PPF στα $\frac{3}{4}$ και το $\frac{1}{2}$ του ύψους της φυλλοστοιβάδας προς τη PPF πάνω από τη φυλλοστοιβάδα (Πηγή: Kitaya et al., 2004)

Πρόσθετος φωτισμός

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο φυσικός φωτισμός είναι επαρκής υπό τις συνθήκες της Ελλάδας για την ανάπτυξη σπορόφυτων. Στις βορειότερες όμως χώρες κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι απαιτήσεις σε φωτισμό πολλών καλλιεργειών δεν καλύπτονται από το φυσικό φως και το ίδιο μπορεί να συμβεί σε ορισμένες περιπτώσεις, σε μικρότερο βαθμό και στην Ελλάδα. Στις περιπτώσεις αυτές και

εφόσον είναι οικονομικά συμφέρον χρησιμοποιούνται τεχνητές πηγές φωτισμού. Στις βόρειες χώρες αυτό συναντάται κυρίως σε καλλιέργειες ανθοκομικών και καλλωπιστικών αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και σε λαχανοκομικές καλλιέργειες.

Στις περιπτώσεις που είναι απαραίτητος ο συμπληρωματικός φωτισμός συνήθως συστήνεται η χρήση λαμπτήρων φθορισμού (μήκος 1,2m., ισχύς 40W) ή προκειμένου να επιτευχθεί φωτισμός παραπλήσιος του φυσικού, συνδυασμός 2 λαμπτήρων πυρακτώσεως ανά 4 λαμπτήρες φθορισμού. Η τοποθέτηση των λαμπτήρων γίνεται 15-20cm. πάνω από τα φυτά και συνολικά ο φωτισμός (φυσικός και τεχνητός) διαρκεί περίπου 12 ώρες (Ολύμπιος, 1996). Η διάρκεια και η ένταση του φωτός επηρεάζουν τον αριθμό των φύλλων πριν την εμφάνιση της πρώτης ταξιανθίας (Ολύμπιος, 2001).

Το πλησιέστερο στο φυσικό φάσμα φωτός παρέχουν οι λάμπες από ξένο. Ωστόσο οι πρώτες λάμπες που ήταν αρκετά αποτελεσματικές ώστε να είναι οικονομική η χρήση τους ήταν υδραργύρου (mercury) και αλογόνου (metal halide). Ευρεία είναι και η χρήση λαμπών HPS (High Pressure Sodium) οι οποίες παρουσιάζουν υψηλή απόδοση ισχύος, οι οποίες επιτρέπουν την κάλυψη μεγαλύτερης επιφάνειας και μείωση της παρεμπόδισης του φυσικού φωτισμού. Στον **Πίνακα 5** φαίνονται διάφορα χαρακτηριστικά διάφορων λαμπτήρων. Οι πηγές που συχνότερα χρησιμοποιούνται είναι λάμπες πυρακτώσεως, φθορισμού και οι HID (High Intensity Discharge) (Hanan, 1998).

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά ορισμένων λαμπτήρων

Irradiance source	Wattage	Ballast (Watts)	Total Watts	Average life (hr)	Initial lumens	Lumens
						per Watt
Incandescent	40			750	46	12
	100			έως	1740	17
	200			1000	3940	20
Fluorescent CW	40	8	48	20000	3150	66

CW (cool white)	75	16	91	12000	6300	69
CW-HO (high output)	110	16	126	12000	9000	74
Metal halide	400	25	425	15000	40000	94
	1000	60	1060	10000	125000	118
High-pressure sodium	400	25	425	24000	50000	117
	1000	60	1060	24000	140000	132

Πηγή: Hanan, 1998

Εναλλακτική πηγή φωτισμού θα μπορούσαν να αποτελέσουν τα LEDs (Light Emitting Diodes). Μέσα στα επόμενα 15-20 χρόνια αναμένεται η τεχνολογία τους να έχει εξελιχθεί σε βαθμό ώστε να ανταγωνίζεται όλες τις υπάρχουσες πηγές φωτισμού για κάθε εφαρμογή. Ως κύριο πλεονέκτημα τους προβάλλει το χαμηλό κόστος συντήρησης και η αναμενόμενη αύξηση της απόδοσης τους εντός των επόμενων ετών (Haitz, 2003). Ήδη έχει εξεταστεί από ορισμένους η πιθανή χρήση τους στην γεωργική πρακτική. Χαρακτηριστικά των LED είναι το στενό εύρος του φάσματος όπου εκπέμπουν, το χαμηλό βάρος τους, ο μικρός τους όγκος και τα χαμηλά επίπεδα εκπεμπόμενης θερμότητας. Επίσης δεν παρουσιάζεται μετατόπιση του φάσματος εκπομπής με το χρόνο, αν και με την άνοδο της θερμοκρασίας των LED παρατηρήθηκε μετατόπιση του φάσματος κατά 9nm (Tennessen et al., 1994).

Το στενό εύρος εκπομπής των LED θεωρητικά επηρεάζει την φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτού καθώς α) τα στόματα των φύλλων είναι πιο ευαίσθητα στο μπλε, παρά στο κόκκινο (τα κόκκινα LED (μέγιστο εκπομπής 660nm) είναι 1000 φωτεινότερα από τα μπλε (μέγιστο εκπομπής 460nm)) και β) ενδεχομένως να επηρεαζόταν η λειτουργία των Φωτοσυστημάτων I (P700) και II (P680) επηρεάζοντας έτσι την αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων. Ωστόσο συγκρινόμενα με λάμπες ξένον (xenon arc lamps) έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά την φωτοσύνθεση, τη στοματική αγωγιμότητα (stomatal conductance) και την εκπομπή ισοπρενίου (isoprene) σε φυτά του είδους *Pueraria lobata* (Willd) (kudzu). Η

εκπομπή ισοπρενίου σχετίζεται άμεσα με την παραγωγή ATP (Tennessen et al., 1994).

Υπάρχουν δύο διαφορετικές διεργασίες που απαιτούν φως και είναι η φωτοσύνθεση και η φωτομορφογένεση. Σε ότι αφορά τη φωτοσύνθεση, η πλήρης υποκατάσταση του φυσικού φωτισμού με τεχνητό αν και τεχνικά είναι εφικτή, δεν είναι οικονομικά βιώσιμη. Στην περίπτωση που ο τεχνητός φωτισμός χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετος στον φυσικό, τότε αυτό που ενδιαφέρει δεν είναι τόσο η φασματική κατανομή του φωτός που παρέχει η τεχνητή πηγή, όσο η ένταση του (fluence rate). Οι υψηλής πίεσης λάμπες νατρίου επαρκούν για το σκοπό αυτό αν και οι αλογόνου υδραργύρου (metal-halide Hg) προσφέρουν ευρύτερο φάσμα (Hart, 1988).

Αντίθετα αν ο πρόσθετος φωτισμός χρησιμοποιείται για τη διέγερση κάποιας μορφογενετικής διεργασίας (signal input) η φασματική κατανομή του παρεχόμενου φωτισμού είναι πιο σημαντική από την ένταση του (Hart, 1988).

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Υψηλότερη θερμοκρασία μειώνει τη διάρκεια ενός σταδίου ανάπτυξης. Στο νεανικό στάδιο η αντίδραση του ρυθμού ανάπτυξης και του σχετικού ρυθμού αύξησης στη θερμοκρασία δε διαφέρει σημαντικά για τις διάφορες θερμοκρασίες όταν αυτές είναι κάτω από τους 20°C (Goudriaan and van Laar, 1994).

Αντίθετα με την ηλιακή ακτινοβολία και το CO₂, αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε λεπτότερα φύλλα. Η αντίδραση αυτή είναι εκθετική (Dayan, 1993c).

Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας επηρεάζει σχεδόν σε όλα τα φυτά την επιμήκυνση του βλαστού, μεταξύ αυτών και η τομάτα. Φυσικά ο βαθμός και ο τρόπος που η θερμοκρασιακή διαφορά ημέρας-νύχτας επηρεάζει την επιμήκυνση του βλαστού εξαρτάται από το είδος, ενώ διαφορές παρατηρούνται και εντός των ειδών, μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών (Berghage, 1998).

Η μέση τιμή της θερμοκρασίας βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα επηρεάζει τον ρυθμό σχηματισμού νέων γονάτων. Ένας δείκτης που σχετίζεται με το σχηματισμό των γονάτων είναι ο ρυθμός εμφάνισης νέων φύλλων (leaf unfolding rate). Έχει καμπυλόγραμμη (curvilinear) σχέση με τη θερμοκρασία και αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας έως ενός ορίου μετά το οποίο μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας.

Ο ρυθμός εμφάνισης νέων φύλλων δεν επηρεάζεται από το ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος (HME), ωστόσο ο αριθμός των γονάτων φαίνεται ότι επηρεάζεται σε αρκετές περιπτώσεις, κυρίως σε φυτά καθορισμένης αύξησης (determinant species), όπου ο σχηματισμός ανθέων επηρεάζεται από τη θερμοκρασία νύχτας ή τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Ο ρυθμός εμφάνισης νέων φύλλων μπορεί να επηρεαστεί από την ακτινοβολία και τη διάρκεια της φωτοπεριόδου (θετική συσχέτιση) (Berghage, 1998).

Το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων επηρεάζεται σημαντικά από την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας. Τέτοια επίδραση έχει διαπιστωθεί και για την τομάτα, μεταξύ πλήθος άλλων φυτών και μάλιστα έντονη. Η αντίδραση του φυτού είναι άμεση σε αλλαγή της θερμοκρασιακής διαφοράς ημέρας νύχτας (24h). Η επίδραση της θερμοκρασιακής διαφοράς ημέρας-νύχτας (HME) επηρεάζεται από το φως (ποιότητα και ποσότητα του φωτός) και την φωτοπερίοδο. Η επίδραση της HME και του υδατικού στρες στο μήκος του βλαστού είναι αθροιστικές (Myster and Moe, 1995). Γενικά η επίδραση του HME φαίνεται να μειώνεται με αύξηση της φωτοπεριόδου και της έντασης του φωτός. Στην πατάτα (*Solanum tuberosum*) τα μικρότερα μεσογονάτια διαστήματα παρατηρήθηκαν κάτω από υψηλή ένταση ακτινοβολίας, μακρύτερη φωτοπερίοδο και αρνητικό HME (η θερμοκρασία της νύχτας υψηλότερη της ημέρας). Σε σπορόφυτα τομάτας η αλατότητα του θρεπτικού διαλύματος, επίσης επηρεάζει την επίδραση του HME στην επιμήκυνση των μεσογονάτιων διαστημάτων (Berghage, 1998).

Σε σπορόφυτα τομάτας χαμηλές θερμοκρασίες κατά τις πρώτες δύο ώρες της ημέρας είχε ως αποτέλεσμα μείωση του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων. Συγκεκριμένα εφαρμογή παλμού χαμηλής θερμοκρασίας (Low Temperature Pulse - LTP) 9°C στην αρχή της ημέρας και για όλο το διάστημα της ανάπτυξης από το στάδιο των κοτυληδόνων έως τη μεταφύτευση, είχε ως αποτέλεσμα μείωση του ύψους κατά 36%. Η μείωση αυτή του ύψους κατά 80% οφειλόταν σε μείωση του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων και κατά 20% σε μείωση του αριθμού των μεσογονάτιων διαστημάτων. Μείωση του ύψους κατά 20% παρατηρήθηκε όταν ο ίδιος παλμός χαμηλής θερμοκρασίας εφαρμόστηκε μόνο κατά την τελευταία εβδομάδα της καλλιέργειας. Η μέση θερμοκρασία των διάφορων μεταχειρίσεων παρέμενε ίδια με κατάλληλη διαχείριση της θερμοκρασίας το υπόλοιπο της ημέρας. Στον **Πίνακα 6** φαίνεται η επίδραση διαφόρων επιπέδων LTP και αριθμού ημερών εφαρμογής του LTP σε διάφορα χαρακτηριστικά της ανάπτυξης σπορόφυτων

τομάτας. Παρόμοια επέδρασε η εφαρμογή του παλμού και στο μήκος του μίσχου των φύλλων (Grimstad, 1993).

Σε ορισμένα φυτά παρατηρήθηκε ότι ο ρυθμός επιμήκυνσης του βλαστού είναι υψηλότερος προς το τέλος της νύχτας και την αρχή της ημέρας, μειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και αυξάνεται πάλι κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η πρώτη καρποφορία (early fruiting) στην τομάτα μπορεί να καθυστερήσει με εφαρμογή διαστημάτων χαμηλών θερμοκρασιών για 4-7 εβδομάδες και εφόσον η θερμοκρασιακή διαφορά είναι μεγάλη (6-9°C) (Berghage, 1998).

Θερμοκρασίες υψηλότερες από την άριστη έχουν ως αποτέλεσμα επιμήκυνση των φυτών κάνοντας τα πιο αδύνατα, ιδιαίτερα αν παράλληλα ο φωτισμός είναι φτωχός. Χαμηλότερες θερμοκρασίες από την άριστη καθυστερούν την ανάπτυξη των φυτών. Για την τομάτα η άριστη θερμοκρασία είναι 18°C την ημέρα και 15°C τη νύχτα στις νεφοσκεπής ημέρες και 24°C την ημέρα και 18°C τη νύχτα τις ημέρες με κανονικό φωτισμό (Ολύμπιος, 1996). Για την βλάστηση η άριστη θερμοκρασία είναι μεταξύ 24-27°C. Στη θερμοκρασία αυτή απαιτούνται 5 ημέρες για την εμφάνιση των νεαρών φυτών στην επιφάνεια (Ολύμπιος, 2001).

Πίνακας 6. Επίδραση παλμού χαμηλών θερμοκρασιών (LTP) κατά τις πρώτες δύο ώρες της ημέρας και διάρκειας εφαρμογής του LTP (σε ημέρες) στο ύψος, των αριθμό των φύλλων, το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων, το ξηρό βάρος του βλαστού, το μήκος του μίσχου, τον αριθμό των ανθέων στην πρώτη ταξιανθία και το αριθμό των ημερών μέχρι την εμφάνιση της πρώτης ταξιανθίας

LTP (°C)	Duration of LTP (days)	Plant height (cm)	No. of leaves ≥ 1 cm	Internal length (cm)	Dry weight shoot (g)	Petiole length (cm)	No. of flowers	Days to flowering
0 (control)		62.6	13.8	4.5	6.7	5.7	8.2	47.6
3	35	52.0	13.0	4.0	5.3	4.1	8.3	48.7
3	28	55.8	13.3	4.2	5.4	4.6	7.8	48.5
3	21	58.2	13.5	4.3	5.5	5.0	7.7	48.0
3	14	61.0	13.7	4.5	6.1	5.7	7.7	47.3
3	7	61.7	13.7	4.5	6.7	5.7	7.5	47.3
6	35	46.9	12.7	3.7	5.0	3.6	9.0	50.5
6	28	52.3	13.0	4.0	4.9	4.0	8.0	49.3
6	21	55.6	13.3	4.2	5.4	4.3	8.2	49.0
6	14	59.6	13.5	4.4	6.0	4.8	8.2	48.7
6	7	60.1	13.7	4.5	6.5	5.5	8.0	47.8
9	35	39.8	12.3	3.2	4.2	3.3	9.3	51.7
9	28	42.5	12.5	3.4	4.4	3.4	8.0	50.7
9	21	44.2	12.7	3.5	4.5	3.8	8.0	49.3
9	14	46.5	12.7	3.7	5.1	4.1	8.0	49.0
9	7	50.1	13.2	3.8	5.3	4.4	8.0	48.7
<i>Significance</i> ¹								
LTP linear		***	***	***	***	***	ns	***
LTP quadratic		*	ns	**	ns	ns	ns	ns
Duration linear		***	**	***	***	***	***	***
Duration quadratic		ns	ns	ns	*	ns	**	ns
LTP \times Duration		***	***	***	***	***	***	***

¹ *, **, ***, ns= Linear and quadratic models significant at $P \leq 0.05$, 0.01, or 0.001 or non-significant, respectively, based on *F* values.

Θερμοκρασίες νύχτας υψηλότερες από τις θερμοκρασίες ημέρας έχει παρατηρηθεί ότι επηρεάζουν αρνητικά την αύξηση και ανάπτυξη των σπορόφυτων τομάτας (Heuvelink, 1989).

Σε ανεπτυγμένα φυτά τομάτας και αγγουριάς σε ατμόσφαιρα εμπλουτισμένου CO₂ (άνω των 1000 ppm) έχει αναφερθεί ότι μέχρι και τους 31°C τα φυτά αναπτύσσονταν και απορροφούσαν CO₂ κανονικά (Βαφειάδης κ.α., 2003).

Όταν το έδαφος δεν είναι ακόμη καλυμμένο είναι σημαντικός ο σχετικός ρυθμός αύξησης (relative growth rate). Στο στάδιο αυτό οι υψηλές θερμοκρασίες συμβάλλουν στην ταχεία αύξηση. Όταν κλείσει η φυλλοστοιβάδα παύει να είναι

σημαντικός ο σχετικός ρυθμός αύξησης και γίνεται σημαντικός ο απόλυτος ρυθμός αύξησης (absolute growth rate) ο οποίος επηρεάζεται περισσότερο από την ακτινοβολία παρά από τη θερμοκρασία (Goudriaan and van Laar, 1994).

Εκτός από τη θερμοκρασία του αέρα, σημαντικός είναι και ο ρόλος της θερμοκρασίας του νερού άρδευσης. Χρήση κρύου νερού (5°C) για άρδευση σπορόφυτων τομάτας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση παραγωγής αιθυλενίου και κατά συνέπεια τη μείωση του ύψους των σπορόφυτων στο 80% του μάρτυρα (άρδευση με νερό στους 25°C) (Jing-Yueh et al., 2003).

Σε παραγωγικές καλλιέργειες η ανάπτυξη της καλλιέργειας δεν επηρεάζεται από τις διαφορές θερμοκρασίας ημέρας – νύχτας, εφόσον η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι ίδια. Το μήκος του βλαστού όμως ήταν μικρότερο όταν η θερμοκρασία ημέρας ήταν μικρότερη από τη θερμοκρασία νύχτας. Τέλος η παραγωγή ήταν υψηλότερη όταν η θερμοκρασία ημέρας ήταν υψηλότερη της θερμοκρασίας νύχτας (De Koning, 1988).

Υπό συνθήκες χαμηλού φωτισμού (2,3 MJ·day⁻¹) παρατηρήθηκε ότι όταν η θερμοκρασία παρουσίαζε ημερήσια διακύμανση η παραγωγή ήταν ελαφρώς υψηλότερη από ότι όταν η θερμοκρασία παρέμενε σταθερή όλο το εικοσιτετράωρο (Gent, 1984).

Με αύξηση της θερμοκρασίας νύχτας αυξάνεται η κατανομή ξηράς ουσίας από τα φύλλα προς τα άλλα όργανα (καταναλωτές). Ωστόσο η ποσότητα που μετατρέπεται σε δομική ξηρά ουσία στα όργανα αυτά είναι σχεδόν η ίδια ανεξάρτητα της θερμοκρασίας. Η υπόλοιπη ποσότητα των μεταβολιτών που μετακινείται προς τους καταναλωτές καταναλώνεται με την αναπνοή διατήρησης, καθώς αύξηση της θερμοκρασίας νύχτας σημαίνει και αύξηση της αναπνοής διατήρησης. Με αύξηση της θερμοκρασίας επίσης παρατηρήθηκε μείωση των μεταβολιτών (assimilates) που κατανέμονται στα χαμηλότερα τμήματα με παράλληλη αύξηση της κατανομής στα υψηλότερα τμήματα (Shishido et al., 1989).

CO₂

Τα απαραίτητα στοιχεία για την αύξηση των φυτών είναι τα μακροθρεπτικά : άνθρακας (C), το υδρογόνο (H), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το θείο (S), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca) και το μαγνήσιο (Mg), και τα ιχνοστοιχεία: σίδηρος (Fe),

μαγγάνιο (Mn), χαλκός (Cu), ψευδάργυρος (Zn), μολυβδαίνιο (Mo), βόριο (B) και χλώριο (Cl).

Όλα τα παραπάνω θρεπτικά στοιχεία, εκτός του άνθρακα που παραλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα με τη μορφή CO₂, προσλαμβάνονται από το φυτό αποκλειστικά μέσω του ριζικού του συστήματος. Σε περιορισμένους χώρους, όπως είναι τα θερμοκήπια η συγκέντρωση του CO₂ αποκλίνει από τη φυσική συγκέντρωση στο εξωτερικό περιβάλλον, που είναι περίπου 350 ppm. Την ημέρα, υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και με κλειστά τα παράθυρα του θερμοκηπίου η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών ρίχνει τη συγκέντρωση στα επίπεδα των 250 ppm, ενώ στη διάρκεια της νύχτας, οπότε τα φυτά μόνο αναπνέουν, η συγκέντρωση μπορεί να φτάσει στα 600 ppm.

Έχει αποδειχθεί ότι τα φυτά, ιδιαίτερα τα C₃, μπορούν να εκμεταλλευθούν υψηλότερες συγκεντρώσεις CO₂. Τα φυτά παρουσιάζουν εντονότερη τάση για ανάπτυξη πλάγιων βλαστών, τα μεσογονάτια διαστήματα γίνονται μεγαλύτερα και ο βλαστός παχύτερος. Τα φύλλα παρουσιάζουν εντονότερο χρωματισμό και το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται καλύτερα. Τα φύλλα παρατηρήθηκε ότι γηράσκουν ταχύτερα. Κυρίως το CO₂ επιδρά στον αριθμό και το μέγεθος των καρπών και δευτερευόντως στην ανάπτυξη του φυτού (Ολύμπιος, 2001).

Η αντίδραση των φυτών στο CO₂ είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του, εφόσον όλοι οι άλλοι παράγοντες δεν είναι περιοριστικοί. Γενικά τα νεαρά φυτά ανταποκρίνονται καλύτερα. Μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών η αντίδραση είναι διαφορετική, λόγω γενετικών παραγόντων (Ολύμπιος, 2001).

Σε σπορεία τομάτας συγκεντρώσεις της τάξης των 1000-1200 ppm έχουν ως αποτέλεσμα αύξηση μέχρι και 50% στο ρυθμό ανάπτυξης των φυτών, πλουσιότερο ριζικό σύστημα και πρωιμότερη άνθηση και καρποφορία κατά 7-10 ημέρες, πλεονέκτημα που επεκτείνεται και στην παραγωγική ζωή του φυτού (Ολύμπιος, 2001).

Σε θάλαμο ανάπτυξης δοκιμάστηκε η επίδραση υψηλής συγκέντρωσης CO₂ (720 ppm) σε σπορόφυτα τομάτας καθώς και η πρόσληψη N, P και K. Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ είχε ως αποτέλεσμα αύξηση του ύψους, του πάχους του βλαστού, του χλωρού και ξηρού βάρους φύλλων, βλαστού και ρίζας, της τιμής G, και

της ζωηρότητας (vigor index). Επίσης αύξηση υπήρξε και στην πρόσληψη των τριών εξεταζόμενων στοιχείων (Li et al., 2007).

Βρέθηκε ότι 24 ημέρες μετά τη σπορά, φυτά τομάτας που αναπτύχθηκαν σε ατμόσφαιρα εμπλουτισμένη με CO₂ (1000νppm) είχαν λόγο χλωρού βάρους ανά φυλλική επιφάνεια αυξημένο κατά 16% σε σύγκριση με φυτά που αναπτύχθηκαν σε ατμόσφαιρα με φυσιολογικά επίπεδα CO₂. Ο αριθμός φύλλων, η φυλλική επιφάνεια και ο ρυθμός αύξησης των φύλλων (expansion rate) ήταν σχεδόν ίδια (Besford, 1993).

Ο εμπλουτισμός των θερμοκηπίων με CO₂ για αύξηση της απόδοσης έχει ως αποτέλεσμα και το μερικό κλείσιμο των στομάτων. Αυτό μπορεί να μειώσει τη διαπνοή και ίσως να έχει ως επιπτώσεις αύξηση της θερμοκρασίας των φύλλων και έλλειψη θρεπτικών στοιχείων που μεταφέρονται με την ανοδική κίνηση του νερού στο φυτό.

Το άνοιγμα των στομάτων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η υγρασία, η συγκέντρωση του CO₂, η θερμοκρασία του φύλλου και έμμεσα η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία του φυτού, η ηλικία του φύλλου, και η περιεκτικότητα του φύλλου σε αμπισικό οξύ (abscisic acid - ABA) (Nederhoff and de Graaf, 1993). Τα στόματα ανταποκρίνονται στη συγκέντρωση του CO₂ στο μεσοκυττάριο χώρο (CO_{2inc}), ανοίγοντας όταν η συγκέντρωση μειώνεται. Ο βαθμός ευαισθησίας στην αντίδραση αυτή διαφέρει μεταξύ των ειδών και αυξάνεται για συγκεντρώσεις CO₂ στον αέρα κάτω από τα 300νppm. Η αντίδραση στη CO_{2inc} παρατηρείται τόσο την ημέρα, όσο και το βράδυ. Έχει παρατηθεί ότι η CO_{2inc} διατηρείται σταθερή, περί τα 200-230 νppm στα C3 φυτά και στα 100-130νppm στα C4 φυτά. Αυτό υποδεικνύει ότι η στοματική αγωγιμότητα εξαρτάται από το ρυθμό αφομοίωσης του CO₂ (Jones, 1992).

Η διαπνοή έχει βρεθεί ότι μειώνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂. Η ύπαρξη του καλύμματος του θερμοκηπίου μειώνει την ευαισθησία της διαπνοής σε μεταβολές της στοματικής αγωγιμότητας, λόγω ύπαρξης μηχανισμών ανάδρασης που ελέγχουν το μικροκλίμα (Nederhoff and de Graaf, 1993).

Βρέθηκε ότι εντός του εύρους συγκέντρωσης CO₂ από 300 έως 1200ppm υπήρξε μείωση της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων (leaf conductance) κατά 3% για κάθε 100ppm αύξησης του CO₂ (Nederhoff and de Graaf, 1993).

Οι Nederhoff and de Graaf (1993) βαθμονόμησαν μία σχέση συσχέτισης της φυλλικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας (g) με τη PAR (I_c) στο επίπεδο της καλλιέργειας, τη συγκέντρωση του CO₂ (C), τη θερμοκρασία των φύλλων (T_l) και το έλλειμμα πίεσης υδρατμών φύλλου-αέρα (VPD-leaf-air) (D_{l-a}) για νεαρά, σχεδόν πλήρως ανεπτυγμένα, φύλλα τομάτας.

$$g = c_1 \cdot (1 - c_2 \cdot e^{-c_3 I_c}) \cdot e^{-c_4 \cdot C} \quad [3]$$

όπου οι τιμές των c₁ έως c₄ είναι: c₁ = 20.3, c₂ = 0.44, c₃ = 2.5·10⁻³, c₄ = 3.1·10⁻⁴.

Ο εμπλουτισμός με CO₂ μειώνει την ανασταλτική επίδραση του οξυγόνου στη φωτοσύνθεση (το οξυγόνο ανταγωνίζεται το CO₂ στη δέσμευση της Rubisco), μειώνοντας την φωτοαναπνοή και αυξάνοντας την καθαρή φωτοσύνθεση. Αυτός είναι ο λόγος που ο εμπλουτισμός με CO₂ αυξάνει το ρυθμό αύξησης τόσο σε συνθήκες υψηλού φωτισμού όσο και συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Η προτεινόμενη συγκέντρωση CO₂ κυμαίνεται μεταξύ 700-900ppm. Συγκεντρώσεις πάνω από 1000ppm ενδεχομένως να προκαλέσουν μείωση της αύξησης και να ζημιώσει τα φύλλα. Η ζημία μπορεί να οφείλεται στη μείωση της διαπνοής με επακόλουθο την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στο φύλλο και μείωση της πρόσληψης κάποιων θρεπτικών. Επίσης ζημιά μπορεί να προκαλέσει η αύξηση της συγκέντρωσης αμύλου, λόγω αύξησης της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, το οποίο διασπά τη χλωροφύλλη. Για την τομάτα επίπεδα CO₂ περί τα 1000-1500ppm προκαλούν κατσάρωμα των φύλλων, χλώρωση και νέκρωση τους (Mortensen, 1987).

Σε καλλιέργεια τομάτας το βάρος αυξάνεται κατά 30-50% ή και περισσότερο σε κάποιες περιπτώσεις. Η αύξηση της παραγωγής είναι μεταξύ 5-15%, η άνθηση προωμίζει κατά μία εβδομάδα, ο αριθμός των καρπών είναι μεγαλύτερος και οι καρποί βαρύτεροι, ενώ μειώνεται και η ανθόπτωση σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού (Mortensen, 1987).

ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Νερό

Οι παραγωγοί σπορόφυτων ρυθμίζουν την άρδευση, ώστε να περιορίσουν την ανάπτυξη των φυτών με βάση την εμπειρία που διαθέτουν για να τα σκληραγωγήσουν, ώστε να εγκατασταθούν και να αναπτυχθούν ευκολότερα όταν θα μεταφυτευθούν στο χωράφι. Μέτρια επίπεδα έλλειψης νερού έχουν ως αποτέλεσμα μείωση της φυλλικής επιφάνειας και της αύξησης. Η μείωση αυτή της φυλλικής επιφάνειας μπορεί να συνδέεται με μείωση της ροής των διαλυμένων ουσιών (solute) ή σε μειωμένη πρόσληψη Κ. Η φωτοσύνθεση και η αναπνοή δεν επηρεάζονται παρά μόνο σε μεγάλη έλλειψη νερού, έτσι παρατηρείται μεγαλύτερος λόγος βάρους/επιφάνεια, αυξάνοντας και τη συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών (solute). Ο περιορισμός της αύξησης συνδέεται με μείωση της στοματικής αγωγιμότητας. Σε χαμηλό υδατικό δυναμικό, τέτοιο ώστε να σταματάει η βλαστική αύξηση, η κύρια ρίζα (primary root) συνεχίζει να αναπτύσσεται, αν και με χαμηλούς ρυθμούς και σχηματίζοντας λεπτότερη ρίζα. Στα σκληραγωγημένα φυτά παρατηρήθηκε ότι τα στόματα ήταν μικρότερα, είχαν διαφορετικό σχήμα και για να ανοίξουν απαιτούν χαμηλότερη πίεση σπαργής. Επίσης τα σκληραγωγημένα φυτά έχουν ισχυρότερο βλαστό με αντοχή στο λύγισμα όση και στα μη σκληραγωγημένα φυτά (Liptay et al., 1998).

Άρδευση μετά από υδατικό στρες δεν επαναφέρει το ρυθμό αύξησης της φυλλικής επιφάνειας ή γενικότερα της καλλιέργειας, στα επίπεδα πριν το υδατικό στρες. Στο φυτό portucala³ μετρήθηκε ο χρόνος επαναφοράς διαφόρων φυσιολογικών διαδικασιών σε φυσιολογικά επίπεδα μετά από παρατεταμένη ξηρασία. Το υδατικό δυναμικό και η πρόσληψη CO₂ επανήλθε σε 24 ώρες, η συγκέντρωση της Rubisco μετά από 3 ημέρες, τα επίπεδα χλωροφύλλης ήταν υψηλότερα από τα φυσιολογικά μετά από 5 ημέρες, ενώ ο λόγος χλωροφύλλης α/χλωροφύλλη β επανήλθε μετά από 27 ημέρες (Liptay et al., 1998).

³ portucala : φυτό του γένους *Portucala*. Στο γένος αυτό ανήκει η γλιστρίδα (*Portucala oleraceae*). Το φυτό που αναφέρεται εδώ πρέπει να καλλωπιστικό. Πρόκειται για CAM φυτό.

Διαπνοή

Η διαπνοή επιδρά και αυτή στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στην αύξηση της καλλιέργειας. Μέσω του μηχανισμού της διαπνοής είναι δυνατό να επηρεαστεί η φωτοσύνθεση από παράγοντες οι οποίοι δεν έχουν άμεση επίδραση σε αυτή, όπως το έλλειμμα πίεσης υδρατμών και η ταχύτητα του αέρα.

Ο ρυθμός διαπνοής σχετίζεται γραμμικά με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, το έλλειμμα κορεσμού πίεσης των υδρατμών (Vapor Pressure Deficit - VPD) και την ταχύτητα του αέρα. Η θερμοκρασία του αέρα, η συγκέντρωση του CO₂ και η θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης δεν έχουν σημαντική επίδραση (Jolliet and Bailey, 1992).

Επίσης ο ρυθμός διαπνοής εξαρτάται από την ηλικία της καλλιέργειας. Για νεαρά φυτά τομάτας αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά 1 MJ·m⁻²·day⁻¹ έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της διαπνοής κατά 0,09 mm·day⁻¹. Αύξηση του ελλείμματος πίεσης υδρατμών κατά 0,1 kPa (αντιστοιχεί σε μείωση της σχετικής υγρασίας κατά 4% στους 20°C) αύξησε τη διαπνοή κατά 0,13 mm·day⁻¹ και αύξηση της ταχύτητας του αέρα σε 1 m·s⁻¹ αύξησε τη διαπνοή κατά 0,13 mm·day⁻¹ (αύξηση ίση με αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά 1,44 MJ·m⁻²·day⁻¹). Για μια ανεπτυγμένη καλλιέργεια, οι ίδιες μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία και στο έλλειμμα πίεσης υδρατμών, προκαλούν αύξηση της διαπνοής κατά 0,14 mm·day⁻¹ και 0,24 mm·day⁻¹ αντίστοιχα (Jolliet and Bailey, 1992).

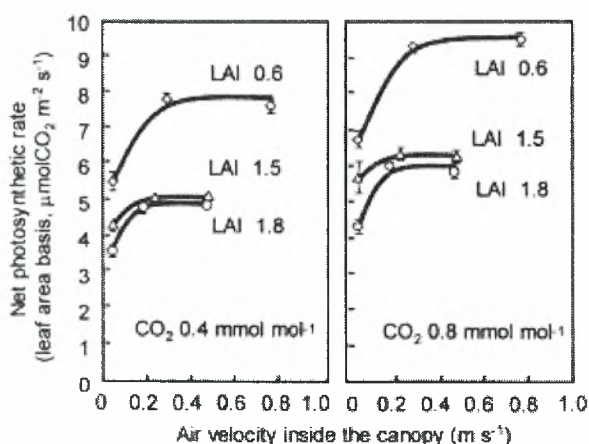
Η διαφορετική αντίδραση στη μεταβολή του ελλείμματος πίεσης υδρατμών μεταξύ βλαστικού και παραγωγικού σταδίου αποδίδεται στη διαφορά στη φυλλική επιφάνεια. Δεδομένου ότι η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται κυρίως στην κορυφή της φυλλοστοιβάδας, η επίδραση της στη διαπνοή δεν αλλάζει σημαντικά για LAI > 1 (Jolliet and Bailey, 1992).

Στατιστικά προσομοιώματα που έχουν κατά καιρούς βαθμονομηθεί δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο εύρος κλιματικών συνθηκών. Μεταξύ πέντε προσομοιωμάτων για την πρόβλεψη της διαπνοής αυτά που είχαν την καλύτερη απόδοση (μικρή απόκλιση μετρημένων – υπολογισμένων τιμών και χαμηλή διακύμανση) ήταν τα προτεινόμενα από τους Stanghellini (1987) και Jolliet and Bailey (1992b). Τα δύο αυτά προσομοιώματα λάμβαναν υπόψη τους το έλλειμμα

πίεσης υδρατμών. Όσα δεν λάμβαναν υπόψη το έλλειμμα πίεσης υδρατμών αποδείχθηκαν λιγότερο ακριβή (Jolliet and Bailey, 1992).

Η ταχύτητα του αέρα επηρεάζει την αεροδυναμική αγωγιμότητα (aerodynamic conductivity) της επιφάνειας του φύλλου. Η επίδραση της ταχύτητας του αέρα είναι σχεδόν γραμμική για ταχύτητες από $0,05 \text{ ms}^{-1}$ έως $0,5 \text{ ms}^{-1}$ και από εκεί και πάνω η επίδραση μειώνεται, εφόσον το έλλειμμα πίεσης υδρατμών παραμένει σταθερό. Στην πράξη αύξηση της διαπνοής έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της υγρασίας. Έτσι αναμένεται η επίδραση της ταχύτητας του αέρα να είναι μειωμένη κατά 5-20% σε νεαρής ηλικίας καλλιέργεια και κατά 25-45% σε ώριμη καλλιέργεια (Jolliet and Bailey, 1992).

Πέρα των παραπάνω παραγόντων, υπάρχουν και άλλοι οι οποίοι επιδρούν έμμεσα στην ανάπτυξη των φυτών. Η ταχύτητα του ανέμου είναι ένας από αυτούς τους παράγοντες καθώς επηρεάζει το άνοιγμα των στομάτων των φύλλων και κατά συνέπεια το ρυθμό ανταλλαγής αερίων μεταξύ του περιβάλλοντος και του φύλλου. Τόσο σε φυσιολογικές συγκεντρώσεις CO_2 , όσο και σε ατμόσφαιρα εμπλουτισμένη σε CO_2 , βρέθηκε ότι η ταχύτητα του αέρα εντός της φυλλοστοιβάδας για την οποία μεγιστοποιείται η φωτοσύνθεση είναι $0,2 \text{ m s}^{-1}$. Στην **Εικόνα 5** φαίνεται η επίδραση της ταχύτητας του αέρα εντός της φυλλοστοιβάδας στην ένταση της φωτοσύνθεσης (Kitaya et al., 2004).



Εικόνα 5. Επίδραση της ταχύτητας του αέρα εντός της φυλλοστοιβάδας στην ένταση της φωτοσύνθεσης για διάφορες τιμές LAI και συγκέντρωσης CO_2 . Με τις κάθετες γραμμές φαίνεται η τυπική απόκλιση

Πηγή: Kitaya et al., 2004

Το στάδιο ανάπτυξης του φύλλου επίσης επηρεάζει την φωτοσυνθετική του ικανότητα. Ο Besford (1993) μετρώντας την φωτοσύνθεση στο 5^ο φύλλο φυτών τομάτας κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του προσδιόρισε ότι η φωτοσύνθεση P_{max} (όταν το φύλλο ήταν κορεσμένο σε φως) μεγιστοποιήθηκε όταν είχε αποκτήσει το 25% της τελικής του επιφάνειας. Μετά το σημείο εκείνο μειώνονταν σταδιακά φτάνοντας, όταν απέκτησε την τελική του επιφάνεια, στο ήμισυ της μέγιστης τιμής. Αυτό ισχύει τόσο για φυτά που αναπτύχθηκαν σε φυσιολογική συγκέντρωση CO_2 , όσο και για φυτά που αναπτύχθηκαν σε ατμόσφαιρα συνεχούς εμπλουτισμού με CO_2 (1000 vpm). Το φύλλο μέχρι περίπου το 25% της αύξησης του δεν παρουσίαζε ιδιαίτερη αντίδραση στη συγκέντρωση του CO_2 (ανεξάρτητα της συγκέντρωσης CO_2 στην οποία αναπτύσσονταν). Από το σημείο αυτό και ύστερα η ικανότητα του να αξιοποιεί υψηλότερες συγκεντρώσεις CO_2 αυξάνονταν με την αύξηση της επιφάνειας του φτάνοντας η P_{max} σε συγκέντρωση CO_2 στα 1000 vpm να είναι 2,2 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τη P_{max} όταν η συγκέντρωση CO_2 ήταν στα 300 vpm. Η ίδια περίπου διαφορά παρατηρήθηκε και σε φυτά που είχαν αναπτυχθεί σε συνθήκες διαρκούς εμπλουτισμού με CO_2 (1000 vpm).

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Για τη μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας και της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας εγκαταστάθηκαν πειραματικές καλλιέργειες σπορόφυτων καρπουζιού. Τα πειράματα διεξήχθησαν σε θερμοκήπια του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους. Σε κάθε περίοδο εφαρμόζονταν τρία επίπεδα φωτισμού (σκίαση, φυσικός, πρόσθετος με εμπλουτισμό ατμόσφαιρας CO₂).

Σε προηγούμενα πειράματα είχε μετρηθεί η ταχύτητα του αέρα εντός του θερμοκηπίου όταν η υγρή παρειά ήταν σε λειτουργία και η μέγιστη ταχύτητα που είχε καταγραφεί ήταν 0,8 m/s. Στις δύο άλλες περιόδους τα πειράματα έγιναν σε απλό τροποποιημένο τοξωτό πλαστικό θερμοκήπιο (περατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία 60%) με πλαϊνά παράθυρα.

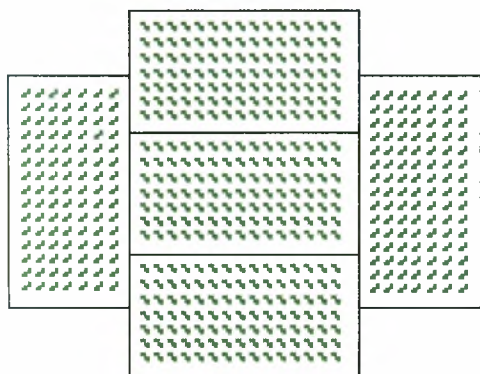
Η πρώτη πειραματική περίοδος ξεκίνησε στις 10 Νοεμβρίου και ολοκληρώθηκε στις 15 Δεκεμβρίου 2007 και η δεύτερη ξεκίνησε στις 21 Δεκεμβρίου 2007 και ολοκληρώθηκε στις 30 Ιανουαρίου 2008. Ως έναρξη της κάθε πειραματικής περιόδου θεωρείται το φύτευμα σε ποσοστό 80%.

Σε όλες τις πειραματικές περιόδους οι σπορές έγιναν σε δίσκους 128 θέσεων και η βλάστηση έγινε από την Agriplant.

ΜΕΘΟΔΟΙ

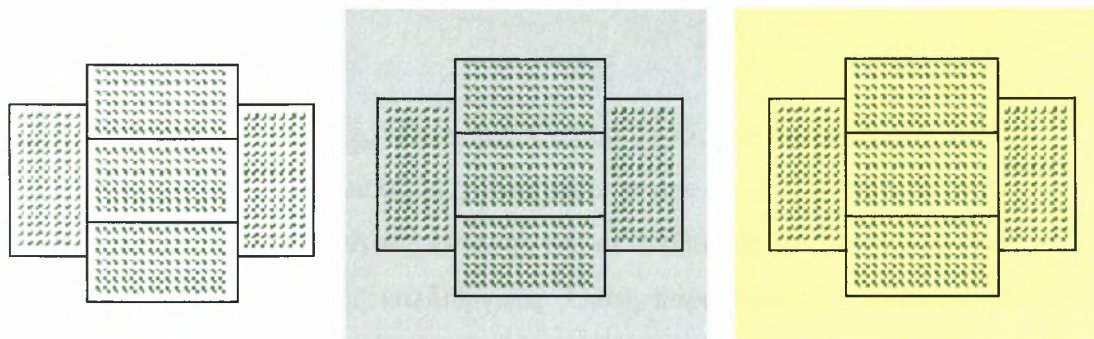
Σε κάθε μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν πέντε δίσκοι, ένας στο κέντρο και τέσσερις περιμετρικά (**Εικόνα 6**). Μετρήσεις λαμβάνονταν μόνο από τον κεντρικό.

Οι άλλοι τέσσερις δημιουργούσαν περιβάλλον για τον κεντρικό δίσκο ανάλογο με αυτό ενός εμπορικού φυτώριου αφαιρώντας την επίδραση του περιθωρίου από τον κεντρικό δίσκο.



Εικόνα 6. Διάταξη των πέντε δίσκων με τα σπορόφυτα σε κάθε μεταχείριση

Για τη μελέτη της επίδραση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας τα φυτά της πειραματικής καλλιέργειας αναπτύχθηκαν κάτω από τρία διαφορετικά επίπεδα φωτισμού. Για την επίτευξη των διαφορετικών επιπέδων φωτισμού χρησιμοποιήθηκαν λάμπες για την παροχή πρόσθετου φωτισμού και δίχτυ σκίασης για μείωση των επιπέδων του φωτισμού. Οι λάμπες που επιλέχθηκαν ήταν HPS (High Pressure Sodium – Υψηλής Πίεσης Νατρίου), καθώς είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες σε θερμοκηπιακές μονάδες στο εξωτερικό για παροχή πρόσθετου φωτισμού. Τα φυτά και των τριών μεταχειρίσεων βρίσκονταν στον ίδιο χώρο και δέχονταν τις ίδιες καλλιεργητικές φροντίδες. Η διάταξη τους και η μεταξύ τους απόσταση ήταν τέτοια που ο φωτισμός της κάθε μεταχείρισης να μην επηρεάζεται από τις άλλες δύο μεταχειρίσεις. Έτσι η μεταχείριση της σκίασης ήταν πάντα στη μέση και η απόσταση της από τις άλλες δύο ήταν τέτοια που το σκίαστρο να μη σκιάζει τις άλλες δύο μεταχειρίσεις (**Εικόνα 7**).



Εικόνα 7. Διάταξη των θέσεων των τριών μεταχειρίσεων φωτισμού εντός του θερμοκηπίου. Από αριστερά στα δεξιά, φυσικός φωτισμός, σκίαση και πρόσθετος φωτισμός.

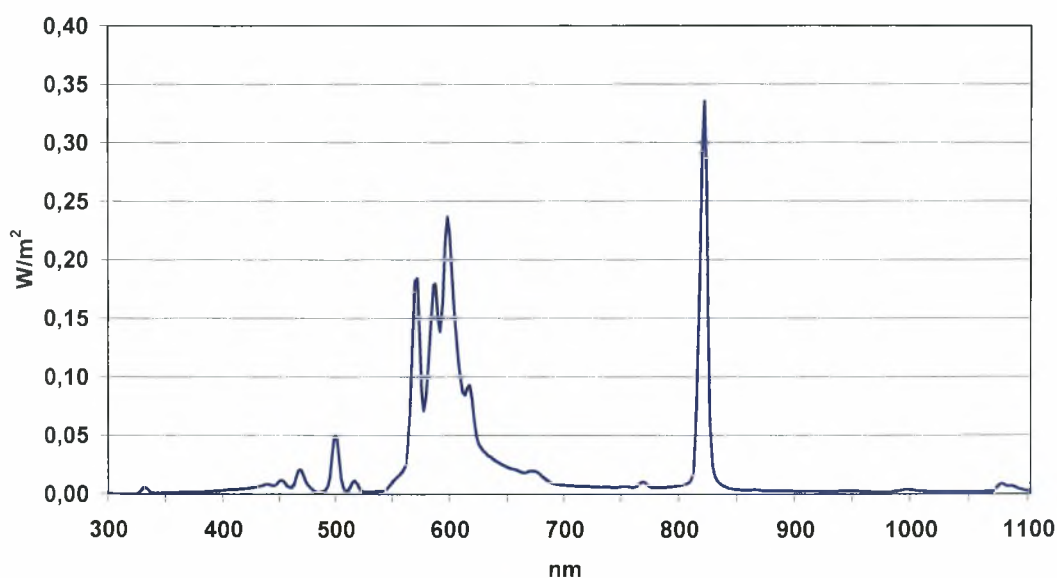
Για τη μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας το πείραμα επαναλήφθηκε σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους με διατήρηση διαφορετικών επιπέδων θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου. Έτσι η μέση θερμοκρασία ημέρας διαμορφώθηκε στους 28 °C με μέση μέγιστη θερμοκρασία 33,5 °C. Στην πρώτη περίοδο η μέγιστη θερμοκρασία τέθηκε στους 23°C και η ελάχιστη θερμοκρασία 18°C. Για την δεύτερη περίοδο η μέγιστη θερμοκρασία τέθηκε στους 20°C και η ελάχιστη στους 15°C. Λόγω χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών κάποιες νύχτες η θερμοκρασία δεν μπόρεσε να κρατηθεί στο προαναφερθέν επίπεδο.

Οι λάμπες κατά την πρώτη περίοδο άναβαν για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (6:00-24:00) και η πρόσθετη ακτινοβολία που προσέφεραν ήταν σταθερή και γνωστή ($20,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$). Έτσι ο υπολογισμός της έντασης του φωτισμού στη μεταχείριση με τον πρόσθετο φωτισμό έγινε προσθέτοντας στον φυσικό φωτισμό τον πρόσθετο φωτισμό που προσέφεραν οι λάμπες κατά τις ώρες λειτουργίας τους.

Κατά τις επόμενες δύο περιόδους οι λαμπτήρες ελέγχονταν από το σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων (DL-3000, Delta Devices, Cambridge UK) και άναβαν όταν η ένταση της ακτινοβολίας στο φυσικό φωτισμό ήταν κάτω των $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ και εφόσον ο λόγος του ημερήσιου αθροίσματος της έντασης της ακτινοβολίας στον πρόσθετο φωτισμό προς το ημερήσιο άθροισμα της έντασης της ακτινοβολίας κάτω από το φυσικό φωτισμό, ήταν κάτω από 1,21. Με τον τρόπο αυτό προσφέρονταν ημερησίως 20% περισσότερο φως στον πρόσθετο φωτισμό από ότι στον φυσικό φωτισμό.

Στις δύο πρώτες μεταχειρίσεις, λόγω μικρότερου ύψους του θερμοκηπίου, από το σκελετό του οποίου κρεμόταν οι λάμπες, στο επίπεδο των φυτών έφταναν $31 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Παρακάτω φαίνεται η κατανομή της έντασης της ακτινοβολίας τους στο φάσμα από 300-1000 nm, στο επίπεδο της καλλιέργειας. Όπως παρατηρείται η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τους λαμπτήρες δεν έχει φωτομορφολογικές επιδράσεις στην καλλιέργεια καθώς δεν επηρεάζει το λόγο R/FR, ούτε παρουσιάζεται εκπομπή στα 370 nm, μήκος κύματος στο οποίο είναι ευαίσθητο το κρυπτόχρωμα.

Φάσμα εκπομπής λαμπτήρων HPS



Διάγραμμα 1. Φασματική κατανομή της ακτινοβολίας των λαμπτήρων στο επίπεδο της καλλιέργειας

Για την καταγραφή των κλιματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το καταγραφικό (DL-3000, Delta-T Devices), το οποίο κατέγραφε τη θερμοκρασία (σε κάθε μεταχείριση ξεχωριστά), το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα (κατά την πρώτη μεταχείριση) και τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν θερμοζεύγη χαλκού-κωνσταντάνης, ενώ για τη μέτρηση της ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν δύο πυρανόμετρα (CM-6B, Kipp and Zonen), τα οποία κατέγραφαν την προσπίπτουσα ακτινοβολία στο ύψος της

καλλιέργειας από τα 300-3000nm. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν καταγραφικά Hobo για την καταγραφή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στον αέρα του θερμοκηπίου. Η ακρίβεια των καταγραφικών Hobo στη καταγραφή της θερμοκρασίας ήταν 0,4°C και για την υγρασία 3%. Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ χρησιμοποιήθηκε αναλυτής CO₂ υπερύθρων. Τέλος χρησιμοποιήθηκε το όργανο Sunscan (Delta-T Devices) για τη μέτρηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας εντός της φυλλοστοιβάδας και ακριβώς πάνω από αυτή.

Μετρήσεις

Κάθε μία εβδομάδα λαμβάνονταν τυχαίο δείγμα 25 φυτών από κάθε μεταχείριση και μετρούνταν το ύψος του φυτού, το πλάτος, το μήκος και το πάχος του βλαστού, το μήκος του υποκοτύλιου και των μεσογονάτιων διαστημάτων, ο αριθμός των πραγματικών φύλλων, η φυλλική επιφάνεια και το χλωρό και ξηρό βάρος του ριζικού συστήματος, του βλαστού και των φύλλων. Τα φυτά λαμβάνονταν από τον μεσαίο δίσκο. Προκειμένου να μην επηρεαστεί το μικροκλίμα όπου αναπτύσσονταν τα φυτά που μεσαίου δίσκου, τα φυτά που αφαιρούνταν αντικαθιστούνταν από φυτά που προέρχονταν από τους περιμετρικούς δίσκους της ίδιας μεταχείρισης. Προσοχή δίνονταν ώστε τα φυτά που μεταφέρονταν προς τον μεσαίο δίσκο να είχαν παρόμοια ανάπτυξη με αυτά που αφαιρέθηκαν. Οι θέσεις από όπου είχαν ληφθεί φυτά σημαίνονταν και τα φυτά αντικαταστάτες δεν λαμβάνονταν ποτέ πραγματοποίηση καταστροφικών μετρήσεων.

Ως ύψος θεωρήθηκε η απόσταση από το έδαφος έως το κορυφαίο σημείο του φυτού. Ως πλάτος θεωρήθηκε ως η απόσταση των δύο πιο ακραίων σημείων της κόμης, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με μία ευθεία παράλληλη στο επίπεδο του εδάφους. Το ύψος του υποκοτύλιου μετρήθηκε από το έδαφος μέχρι το ύψος των κοτυληδόνων. Για την μέτρηση του μήκους και του πλάτους του φύλλου, το φύλλο αναπύχθηκε πλήρως και μετρήθηκαν το μήκος του φύλλου, συμπεριλαμβανομένου του μίσχου, ενώ πλάτος του φύλλου θεωρήθηκε η μέγιστη απόσταση δύο σημείων του φύλλου που ενώνονται με μία ευθεία κάθετη στον άξονα του μήκους. Το μήκος του κάθε μεσογονάτιου διαστήματος ισούταν με την απόσταση μεταξύ δύο διασδοχικών κόμβων. Για το πρώτο μεσογονάτιο διάστημα η μέτρηση ξεκινούσε από το σημείο έκπτυξης των κοτυληδόνων. Το πάχος του βλαστού μετρήθηκε με

παχύμετρο στο ύψος του εδάφους. Το χλωρό βάρος ζυγίστηκε αμέσως μετά την πραγματοποίηση των μορφολογικών μετρήσεων, ώστε οι φυτικοί ιστοί να μη χάσουν υγρασία, χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακριβείας χιλιοστού του γραμμαρίου. Για τη μέτρηση του ξηρού βάρους τα φυτά τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο σε θερμοκρασία 80°C για 48 ώρες. Η μέτρηση του βάρους έγινε χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακριβείας χιλιοστού του γραμμαρίου. Για τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας τα φύλλα σαρώθηκαν και η φυλλική επιφάνεια μετρήθηκε με χρήση του προγράμματος DTScan.

Επίσης κατά τη δεύτερη και τρίτη πειραματική περίοδο, δύο φορές την εβδομάδα λαμβάνονταν στιγμιαίες μετρήσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας εντός της φυλλοστοιβάδας και ακριβώς πάνω από αυτή με το όργανο Sunscan για τον προσδιορισμό του συντλεστή μείωσης φωτός εντός της φυλλοστοιβάδας. Οι μετρήσεις ξεκινούσαν την 3^η εβδομάδα μετά τη φύτευση και η μία εκ των δύο εβδομαδιαίων μετρήσεων γίνονταν την ημέρα λήψης των φυτών που χρησιμοποιούνταν στις καταστροφικές μετρήσεις.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κατά τη 1^η πειραματική περίοδο οι μέσες θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας για τις τρεις μεταχειρίσεις ήταν 21,6°C/17,7°C για το φυσικό, 22,7°C/17,7°C για τη σκίαση και 21,6°C/18,6°C για το πρόσθετο. Το άθροισμα της ακτινοβολίας κατά την περίοδο εκείνη ήταν 146,0 MJ στον πρόσθετο φωτισμό, 128,2 MJ στο φυσικό φωτισμό και 117,4 MJ στη σκίαση. Δηλαδή τα φυτά στη σκίαση δέχθηκαν το 91,5% του φυσικού φωτισμού, ενώ το ποσοστό του πρόσθετου φωτισμού που προσφέρθηκε ήταν το 13,8% του φυσικού. Το άθροισμα ωροβαθμών ήταν 7957 στον πρόσθετο, 7301 στον φυσικό και 7364 στη σκίαση.

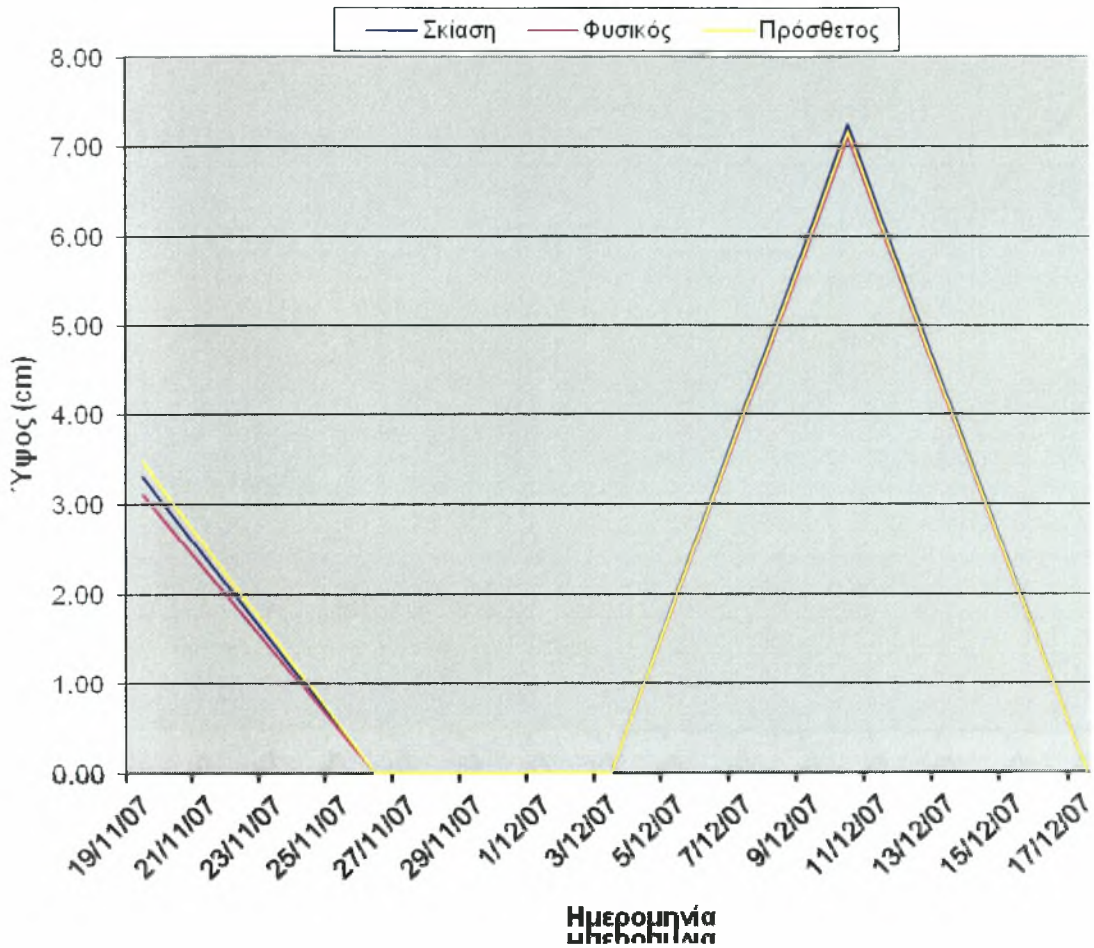
Κατά τη 2^η πειραματική περίοδο οι μέσες θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας για τις τρεις μεταχειρίσεις ήταν 18,7°C/13,5°C για το φυσικό, 18,9°C/13,1°C για τη σκίαση και 18,1°C/14,5°C για το πρόσθετο. Το άθροισμα της ακτινοβολίας κατά την περίοδο

εκείνη ήταν 158,4 MJ στον πρόσθετο φωτισμό, 141,5 MJ στο φυσικό φωτισμό και 135,9 στη σκίαση. Δηλαδή τα φυτά στη σκίαση δέχθηκαν το 96% του φυσικού φωτισμού, ενώ το ποσοστό του πρόσθετου φωτισμού που προσφέρθηκε ήταν το 11,9% του φυσικού. Το άθροισμα ωροβαθμών ήταν 6585 στον πρόσθετο, 6328 στον φυσικό και 6566 στη σκίαση.

ΥΨΟΣ

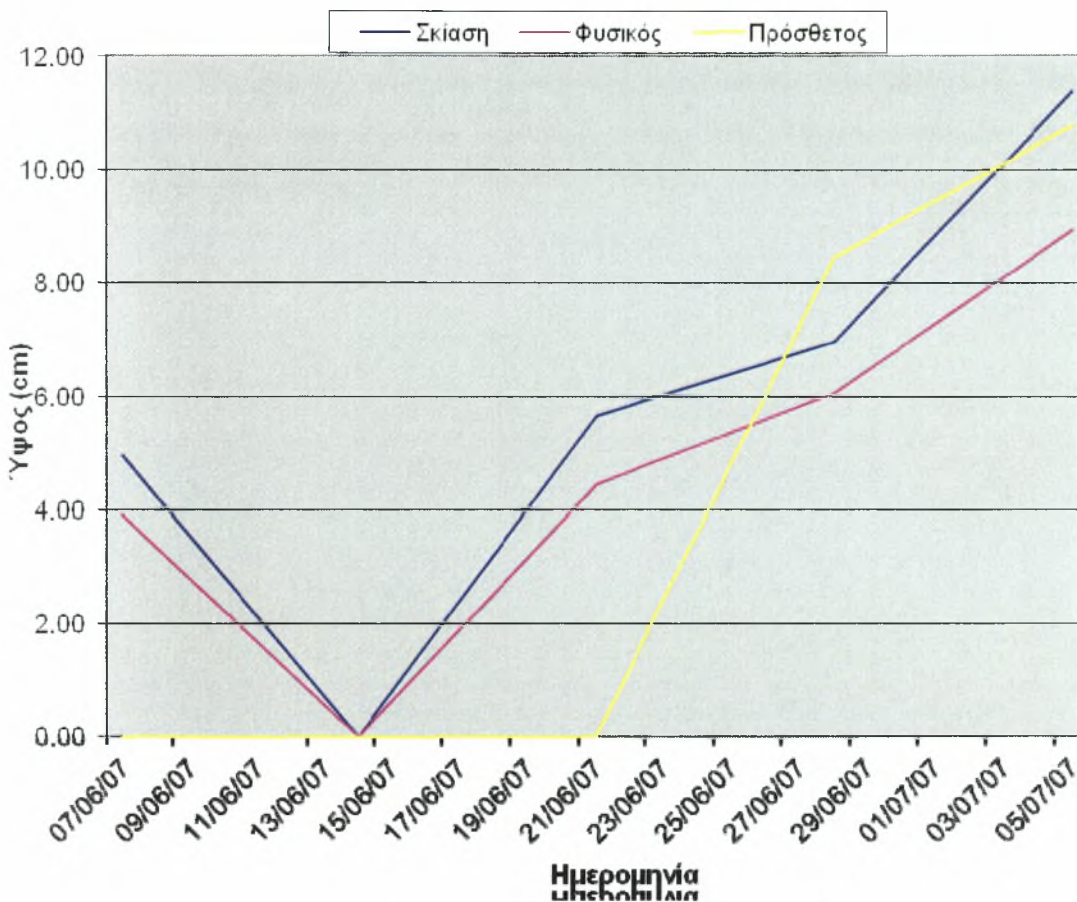
Παρατηρούμε στο παρακάτω διάγραμμα που αφορά την πρώτη πειραματική περίοδο του πειράματος ότι το πρώτο διάστημα των δέκα ημερών υπάρχει μια μείωση του ύψους των φυτών και στους τρεις τρόπους διαχείρισης σχεδόν με τον ίδιο ρυθμό. Στη συνέχεια δεν παρατηρείται καμία αλλαγή του ύψους των φυτών σε καμία από τις τρεις διαχειρίσεις για διάστημα πέντε έως έξι ημερών . Στις αρχές όμως του μήνα Δεκεμβρίου και συγκεκριμένα από τις 3-12-2007 και για διάστημα οχτώ ημερών παρατηρείται αύξηση του ύψους των φυτών . Παρατηρώντας το σχετικό σχεδιάγραμμα βλέπουμε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στο ύψος των φυτών και στις τρεις διαχειρίσεις. Τα δείγματα που είχαν να κάνουν αποκλειστικά με φυσικό φωτισμό έχουν μικρότερο ύψος από τα δείγματα που ήταν σε σκίαση , αλλά χωρίς να υπάρχει ουσιαστικά μεγάλη διαφορά. Συνεπώς για αυτή την περίοδο δεν μπορούμε να πούμε ότι έπαιξε σημαντικό ρόλο ο φωτισμός στο ύψος του φυτού. Στη συνέχεια αφού το ύψος των φυτών φτάσει σε ένα ανώτατο σημείο παρατηρείται για διάστημα σχεδόν μιας εβδομάδας μείωση του ύψους των φυτών και στις τρεις περιπτώσεις με σχεδόν ίδιο ρυθμό.

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



Στη δεύτερη πειραματική περίοδο παρατηρούμε ότι τα φυτά που είχαν να κάνουν με πρόσθετο φωτισμό και προσθήκη CO₂ στην ατμόσφαιρα δεν παρατήρησαν καμία αύξηση στο ύψος τους. Αντίθετα παρατήρησαν μία σημαντική καθυστέρηση στην ανάπτυξή τους σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις. Παρά την καθυστέρηση αυτή παρατηρείται εκρηκτικά ραγδαία αύξηση τους ύψους των φυτών. Από την άλλη τα δείγματα που ήταν υπό σκίαση παρουσίασαν στην αρχή μεγαλύτερη μείωση ύψους εν συγκρίση με τα φυτά που δέχονταν φυσικό φωτισμό, ενώ από την άλλη παρατηρείται μεγαλύτερη αργότερη ανάπτυξη τους υπό σκίαση με αρκετά μεγάλη διαφορά.

2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



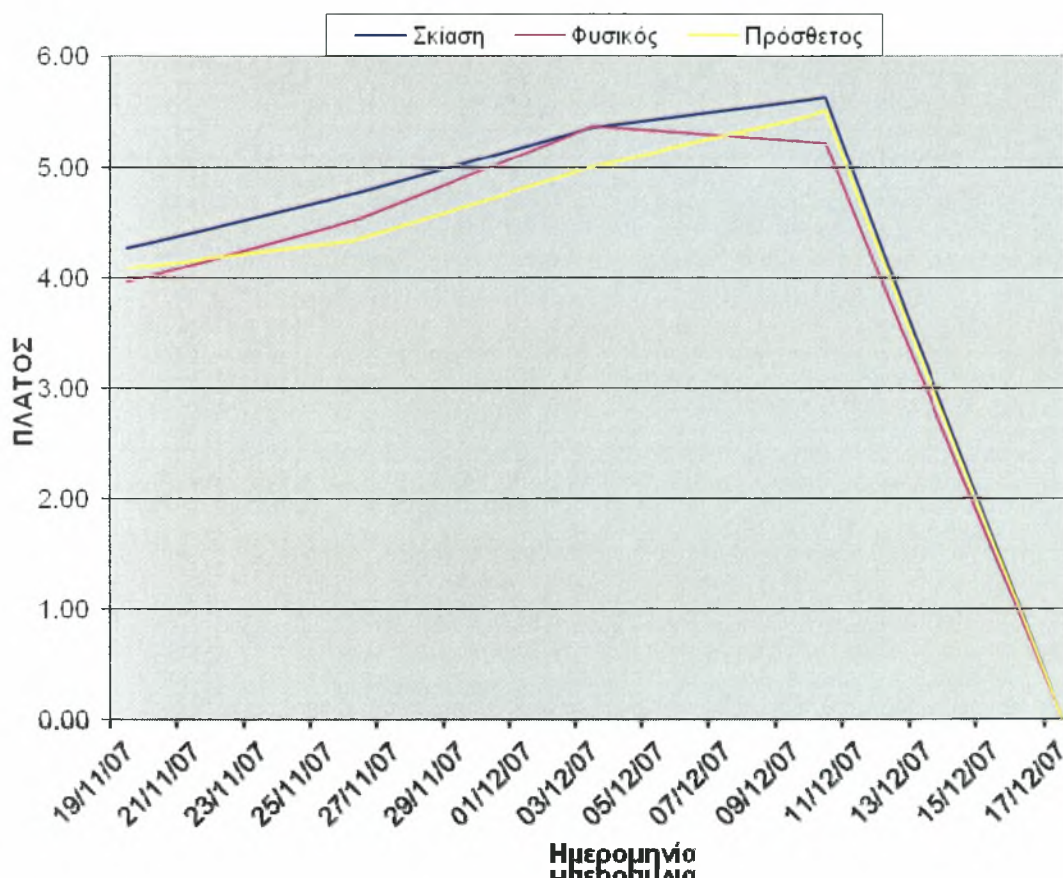
Διάγραμμα 2. Ύψος φυτών. Τα σημεία αντιστοιχούν στις καταστροφικές μετρήσεις και οι γραμμές που τα ενώνουν δείχνουν την τάση εξέλιξης του ύψους.

ΠΛΑΤΟΣ

Το πλάτος κατά την πρώτη πειραματική περίοδο δεν ακολουθεί την ίδια πορεία με αυτή του ύψους σε καμία από τις μεταχειρίσεις. Παρατηρούμε ότι το πλάτος των φυτών που βρίσκονταν υπό σκίαση αυξάνεται με αργό ρυθμό αλλά σταθερό, ενώ τα δείγματα σε αυτή τη μεταχείριση έχουν μεγαλύτερο πλάτος σε σχέση με τα δείγματα των άλλων δύο περιπτώσεων. Τα φυτά τα οποία φωτίζονταν φυσικά δεν έχουν σημαντικές διαφορές στο πλάτος με τα δείγματα που βρίσκονταν υπό σκίαση αλλά η ανάπτυξή τους σταματάει πιο γρήγορα καθώς τα σκιαζόμενα φυτά συνεχίζουν να αναπτύσσονται για λίγες ημέρες ακόμη. Τα φυτά τα οποία βρίσκονταν κάτω από

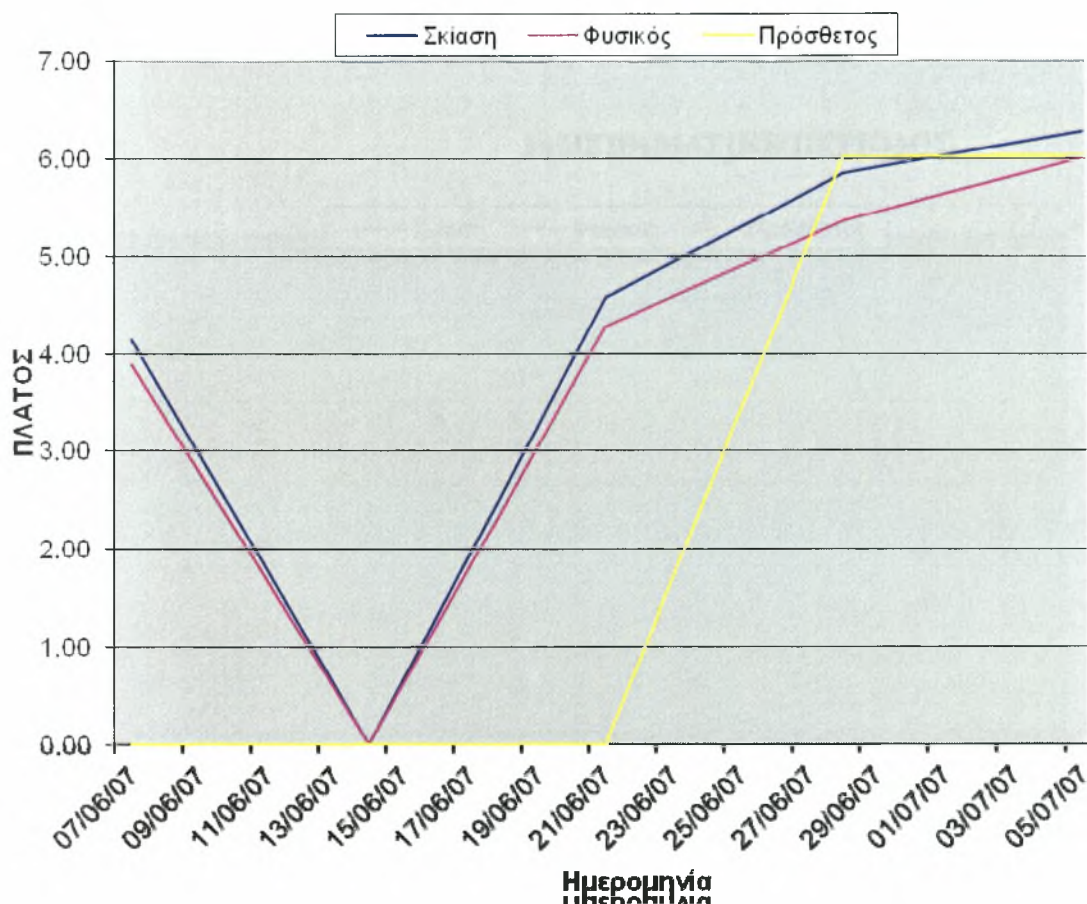
τεχνητό φωτισμό και εμπλουτισμένη ατμόσφαιρα με CO₂ παρουσιάζουν μικρότερο σχετικά πλάτος με τις άλλες δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις αλλά η ανάπτυξη τους συνεχίζει για όσο συνεχίζει και η ανάπτυξη των φυτών που βρισκόταν υπό σκίαση. Στη συνέχεια παρατηρούμε απότομη πτώση του ρυθμού ανάπτυξης του πλάτους μέχρι να μηδενιστεί.

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



Στη δεύτερη πειραματική περίοδο θα παρατηρήσουμε ότι σε όλες τις μεταχειρίσεις τα φυτά ακολουθούσαν σχεδόν την ίδια διαδρομή που ακολουθούσαν για το ύψος. Στην αρχή τα φυτά παρουσιάζουν μειωμένη ταχύτητα ανάπτυξης του πλάτους μέχρι και στάση και στις τρεις περιπτώσεις. Τα φυτά που βρίσκονταν σε συνθήκες εμπλουτισμένης ατμόσφαιρας με διοξείδιο του άνθρακα και με πρόσθετο φωτισμό παρουσιάζουν σημαντική καθυστέρηση στην ανάπτυξη του πλάτους των φυτών ενώ γίνεται ξαφνικά η ανάπτυξή τους από ένα σημείο και μετά. Τα φυτά που βρίσκονταν υπό σκίαση όπως και για το ύψος έτσι και για το πλάτος στην αρχή παρουσιάζουν μειωμένη ανάπτυξη ενώ στη συνέχεια παρατηρείται αύξηση του πλάτους με τα δείγματα που φωτιζόνταν με φυσικό φως να ακολουθούν την ίδια πορεία αλλά με μικρότερο πλάτος.

2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

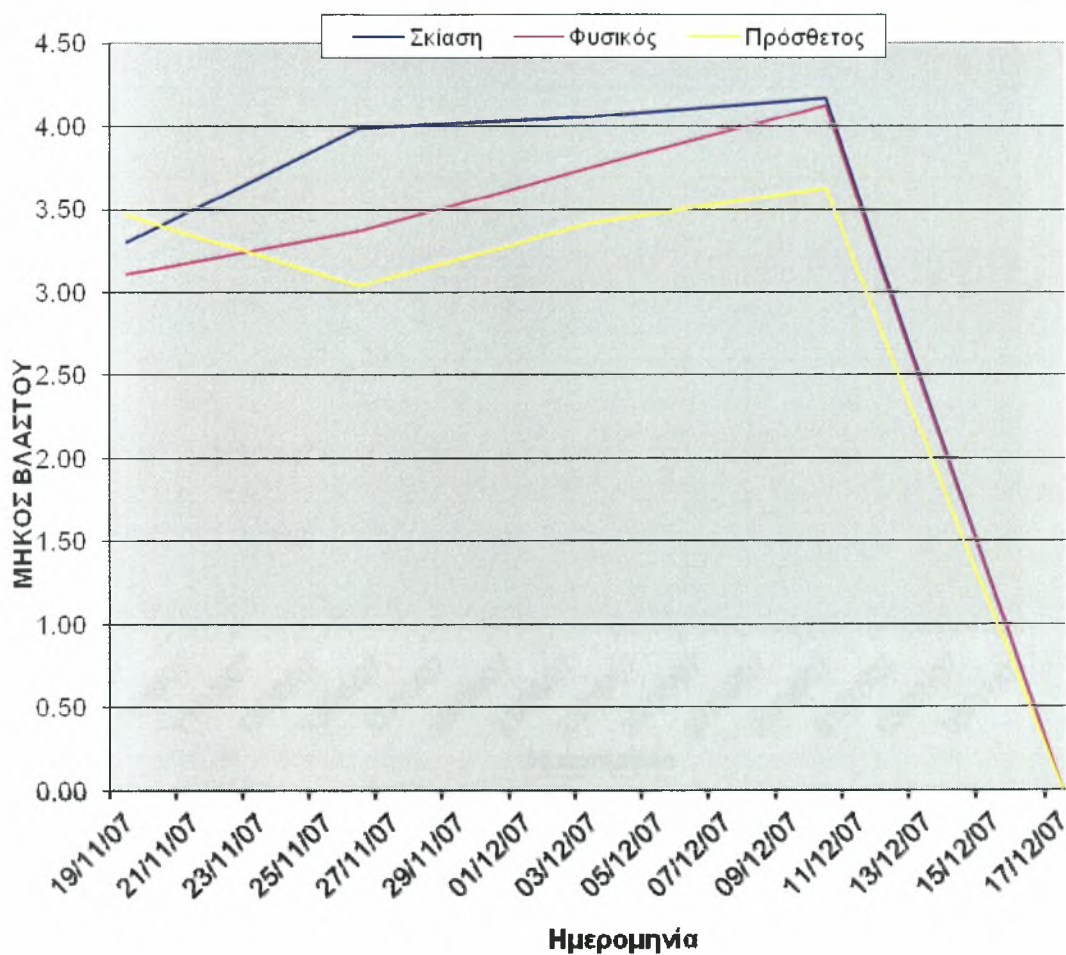


Διάγραμμα 6. Πλάτος βλαστού. Τα σημεία δείχνουν την εξέλιξη του πλάτους του βλαστού.

ΜΗΚΟΣ ΒΛΑΣΤΟΥ

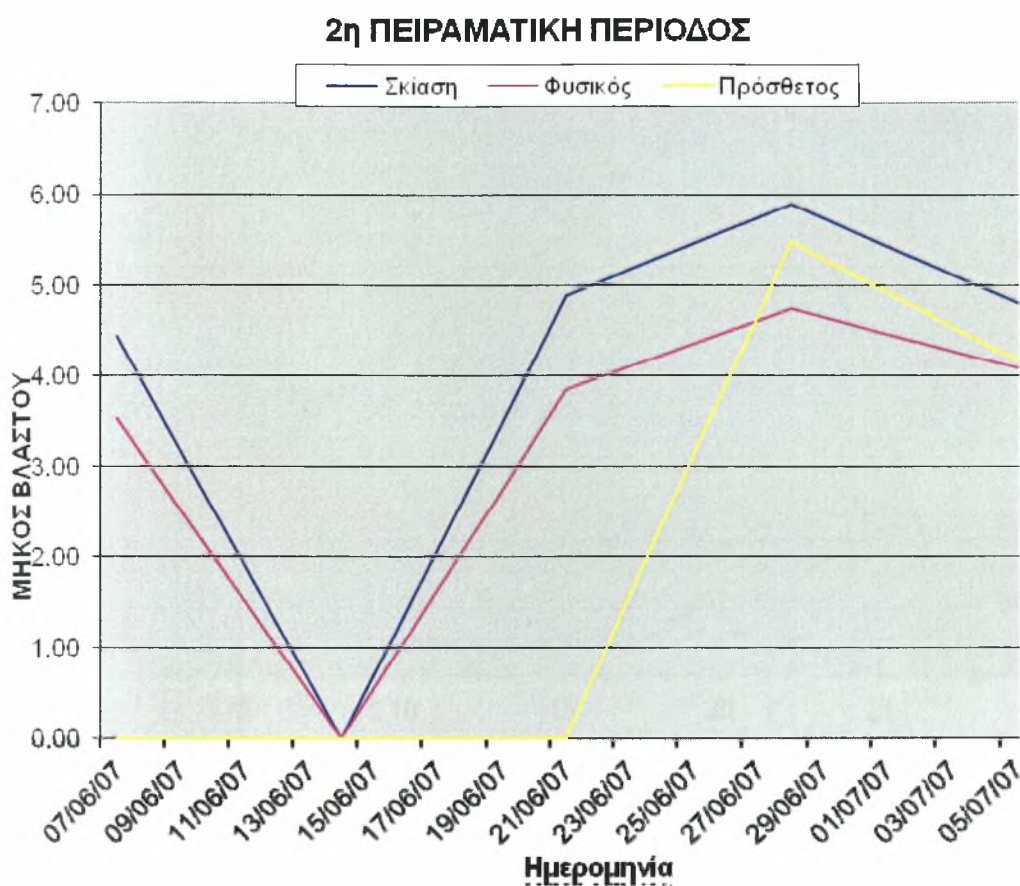
Παρατηρώντας τα κάτωθι διαγράμματα μπορούμε με μία πρώτη ματιά να συμπεράνουμε ότι υπάρχει ένας βαθμός συσχέτισης μεταξύ του μήκους βλαστού και του πλάτους του κατά την πρώτη και δεύτερη πειραματική περίοδο. Το μήκος του βλαστού παρουσιάζει μεγαλύτερη ανάπτυξη και διάρκεια στα φυτά που βρίσκονταν υπό σκίαση. Διαφορά στην αύξηση του μήκους παρουσίασαν τα δείγματα που βρίσκονταν υπό φυσικό φωτισμό ενώ η διάρκειά ανάπτυξης ήταν ίδια με τα φυτά υπό σκίαση. Τέλος μικρότερη ανάπτυξη αλλά και διάρκεια παρουσίασαν τα φυτά που βρίσκονταν σε εμπλουτισμένη ατμόσφαιρα με CO_2 και τεχνητό φωτισμό. Την τελευταία εβδομάδα της πρώτης διαχείρισης παρατηρήθηκε και στις τρεις μεταχειρίσεις μείωση της ανάπτυξης του μήκους του βλαστού με την διαχείριση με τεχνητό φως να παρουσιάζει σχετικά νωρίτερα τη μείωση αυτή.

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



Στη δεύτερη πειραματική περίοδο παρατηρούμε ότι το μήκος του βλαστού παρουσιάζει παρόμοια πορεία με το πλάτος του βλαστού. Έτσι στην αρχή οι μεταχειρίσεις των φυτών που έχουν να κάνουν με σκίαση και με φυσικό φως παρουσιάζουν μείωση της ανάπτυξης του μήκους του βλαστού, ενώ στη συνέχεια τα φυτά που βρίσκονται υπό σκίαση παρουσιάζουν σημαντική αύξηση και σε μικρότερο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις. Καθυστέρηση στην ανάπτυξη όπως και στις δύο άλλες περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν παρουσιάζουν τα φυτά που ήταν εκτεθειμένα σε τεχνητό φως. Σημαντική η χρονική καθυστέρηση στην ανάπτυξη του μήκους του βλαστού αλλά αφού ξεκινήσει παρατηρείται ραγδαία

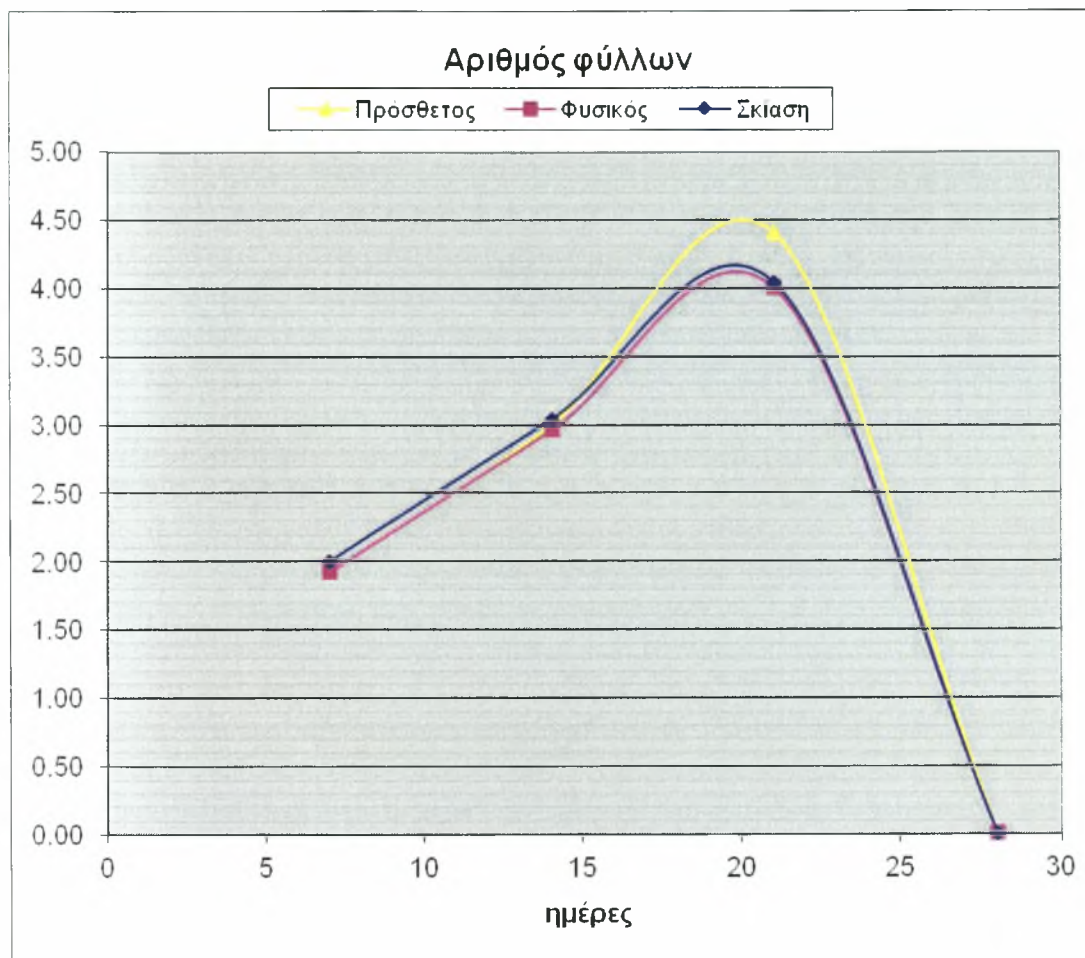
ανάπτυξη σε σημείο μάλιστα που να ξεπερνά την ανάπτυξη των φυτών που βρίσκονταν υπό φυσικό φως.



Διάγραμμα 7. Μήκος βλαστού. Οι γραμμές δείχνουν την τάση εξέλιξης του μήκους του βλαστού.

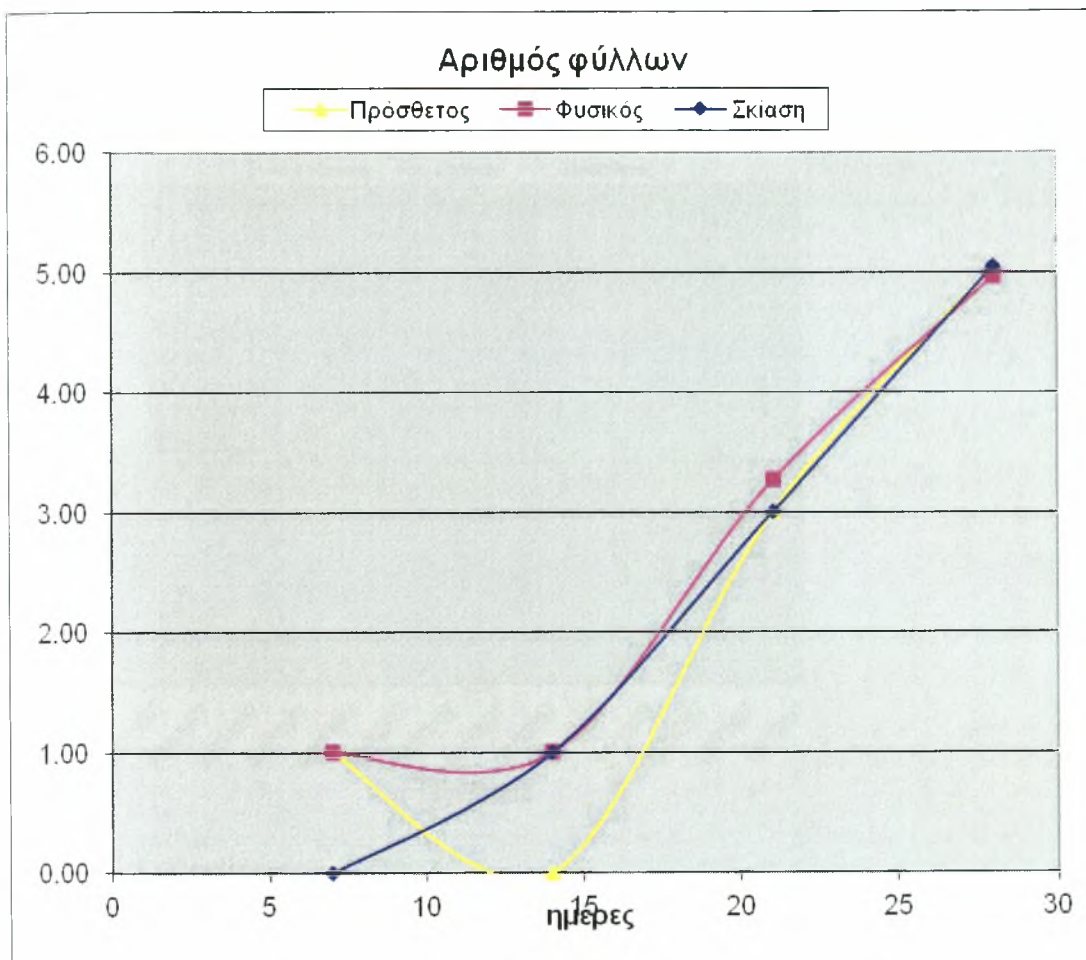
ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΛΛΩΝ

Στην πρώτη πειραματική περίοδο όπως εύκολα μπορούμε να παρατηρήσουμε από το διάγραμμα που δίνεται παρακάτω σε διάστημα πέντε ημερών από τη στιγμή της φύτευσης των δειγμάτων και στις τρεις μεταχειρίσεις ξεκινάει η εμφάνιση φύλλων. Τα δείγματα της μεταχείρισης που περιλάμβανε τεχνητό φωτισμό και εμπλουτισμό της ατμόσφαιρας με διοξείδιο του άνθρακα παρουσιάζουν μεγαλύτερο αριθμό φύλλων και για περισσότερο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις.



Τη δεύτερη πειραματική περίοδο τα φυτά υπό σκίαση παρουσιάζουν μία σχετικά ομαλή αύξηση του αριθμού των φύλλων μέσα στο δεύτερο πενταήμερο της φύτευσής των δειγμάτων. Από την άλλη τα φυτά που βρίσκονταν σε φυσικό φως αρχικά παρουσιάζουν μία μείωση του αριθμού των φύλλων στο δεύτερο πενταήμερο από τη μέρα της φύτευσης για να δείξουν μία ομαλή αύξηση με σχετική μικρή διαφορά από τη προαναφερθείσα μεταχείριση μετά το πρώτο δεκαήμερο την φύτευσης των δειγμάτων. Τα δείγματα που βρίσκονταν σε τεχνητό φωτισμό στην αρχή παρουσιάζουν σημαντική μείωση του αριθμού των φύλλων ενώ έφεραν σημαντική καθυστέρηση στην αύξηση του αριθμού τους η οποία παρατηρείται κοντά στο πρώτο δεκαπενθήμερο από τη μέρα φύτευσης των δειγμάτων.

2¹¹ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

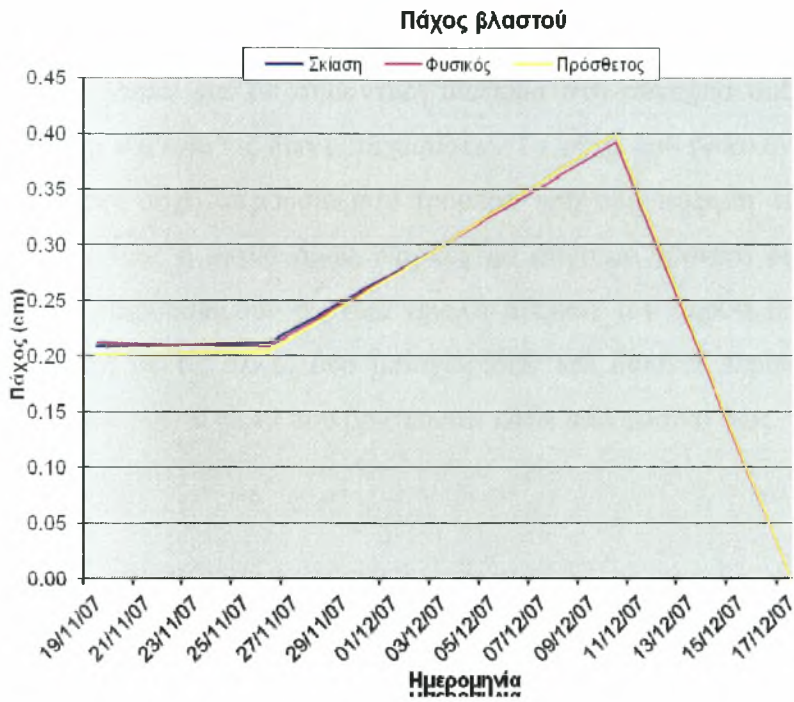


Διάγραμμα 8. Εξέλιξη του αριθμού των φύλλων συνάρτησε των ημερών μετά τη φύτευση.

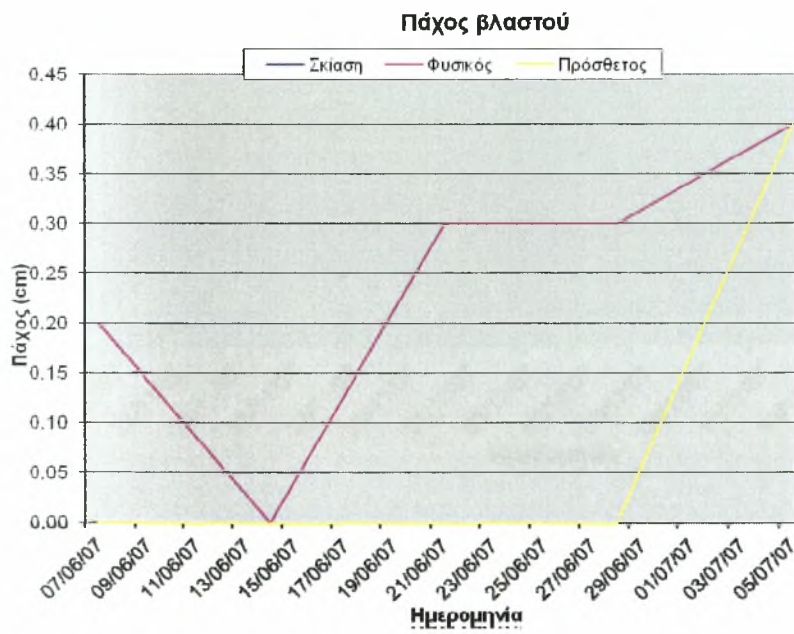
ΠΑΧΟΣ ΒΛΑΣΤΟΥ

Το πάχος του βλαστού είναι από τα κύρια χαρακτηριστικά ποιότητας των σπορόφυτων για τους παραγωγούς. Αντίθετα για τους επιστημονικούς υπεύθυνους των φυτωριακών μονάδων δεν αποτελούσε σημαντικό κριτήριο ποιότητας. Σε μετρήσεις σπορόφυτων από εμπορικά φυτώρια βρέθηκε ότι το πάχος του βλαστού είναι χαρακτηριστικό που διαφέρει ανάμεσα στα υβρίδια, χωρίς να επηρεάζεται από το χρόνο καλλιέργειας.

1^η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



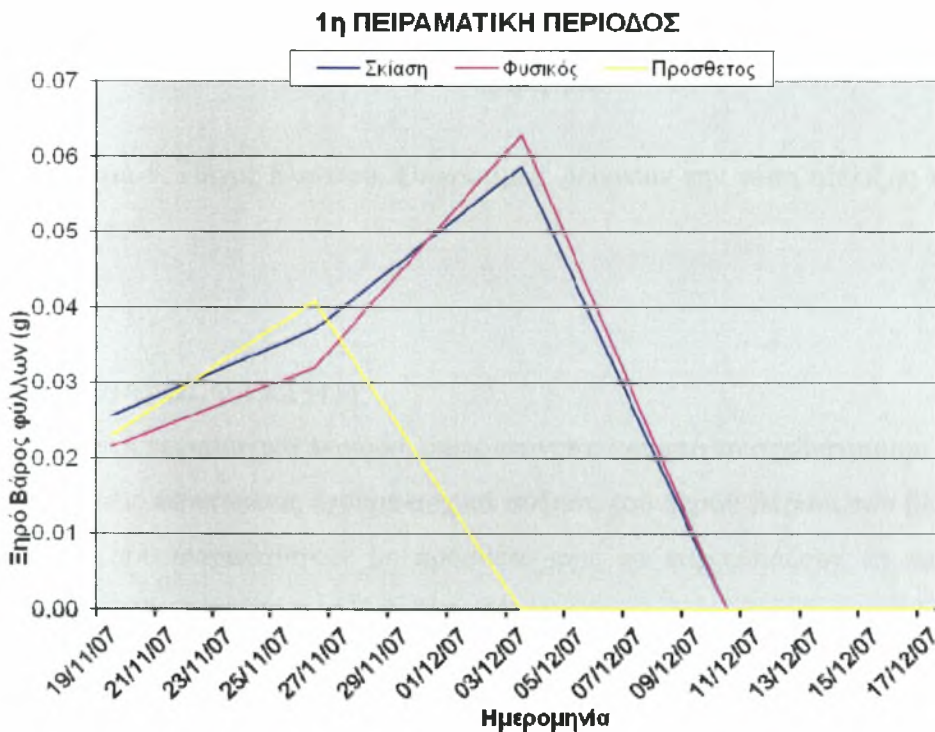
2^η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



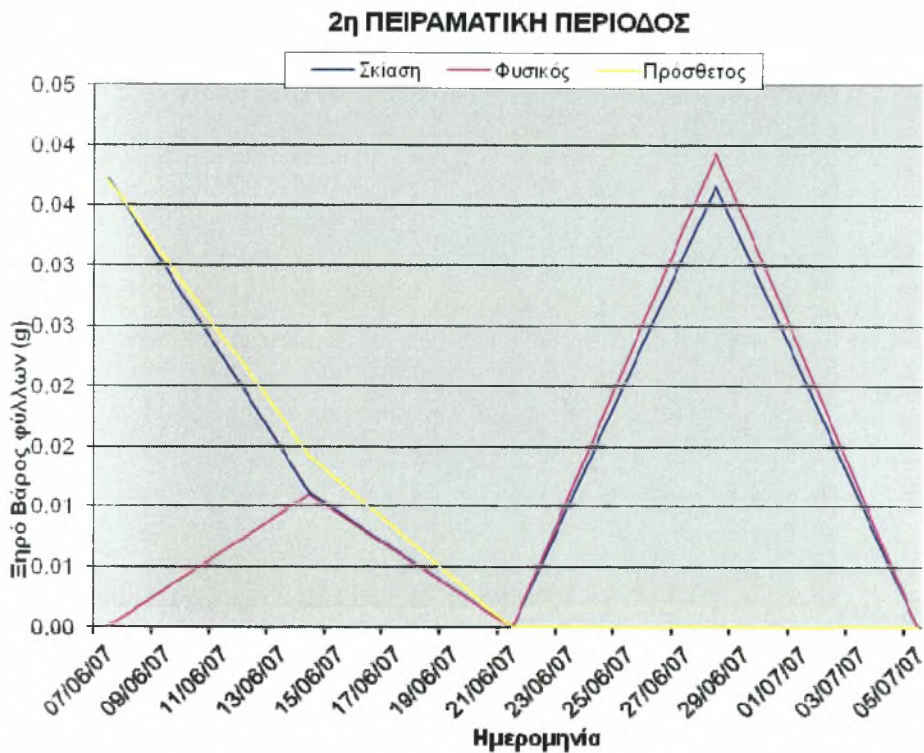
Διάγραμμα 9. Πάχος βλαστού. οι γραμμές δείχνουν την τάση εξέλιξης του πάχους του βλαστού.

ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΛΛΩΝ

Στην πρώτη πειραματική περίοδο το ξηρό βάρος των φύλλων στα φυτά με φυσικό φωτισμό αρχικά είναι σχετικά μικρό σε σύγκριση με το βάρος των άλλων δύο μεταχειρίσεων και με σημαντική διαφορά στη συνέχεια αυξάνεται σημαντικά και διαφέρει και από τις δύο μεταχειρίσεις. Τα φυτά που βρίσκονταν κάτω από τεχνητό φως στην αρχή παρουσιάζουν τρομερά γρήγορη αύξηση του ξηρού βάρους των φύλλων τους η οποία όμως διαρκεί για σύντομο χρονικό διάστημα. Τα φυτά υπό σκίαση παρουσιάζουν σχετικά ομαλή αύξηση του ξηρού βάρους των φύλλων σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις και διαρκεί περίπου και η αύξηση που παρουσιάζουν τα φυτά που βρίσκονται κάτω από φυσικό φως.



Τα φυτά που βρίσκονταν σε σκίαση και κάτω από πρόσθετο φωτισμό, στη δεύτερη πειραματική περίοδο παρουσιάζουν σημαντική μείωση του ξηρού βάρους των φύλλων ενώ στη δεύτερη περίπτωση, αυτή του πρόσθετου φωτισμού δεν παρουσιάζει περαιτέρω αύξηση. Τα φυτά που ήταν υπό σκίαση παρουσιάζουν περαιτέρω αύξηση του ξηρού τους βάρους, όπως και τα φυτά που βρίσκονταν κάτω από φυσικό φως και τα οποία παρουσίαζαν και στην αρχή αύξηση του ξηρού βάρους.

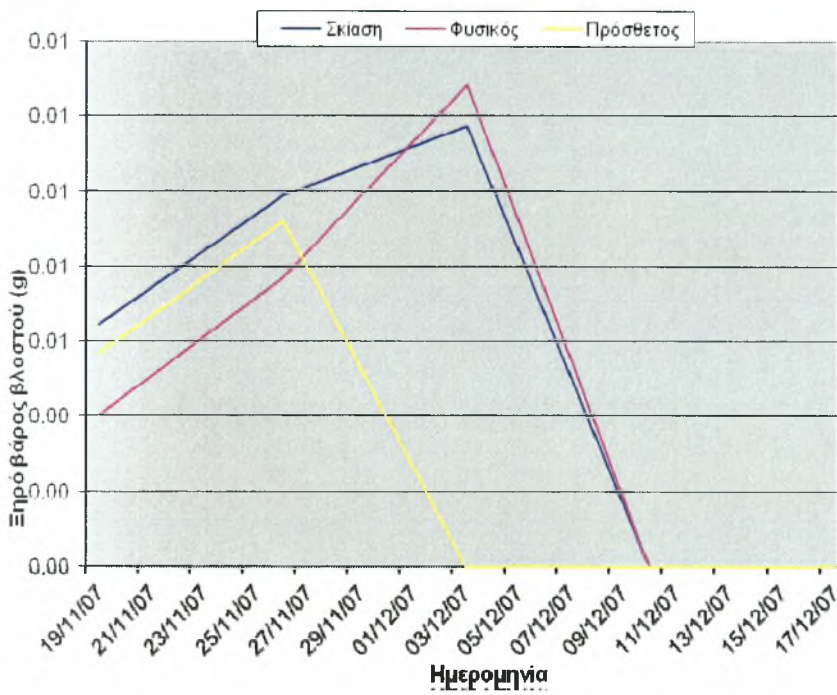


Διάγραμμα 9. Πάχος βλαστού. Οι γραμμές δείχνουν την τάση εξέλιξης του πάχους του βλαστού.

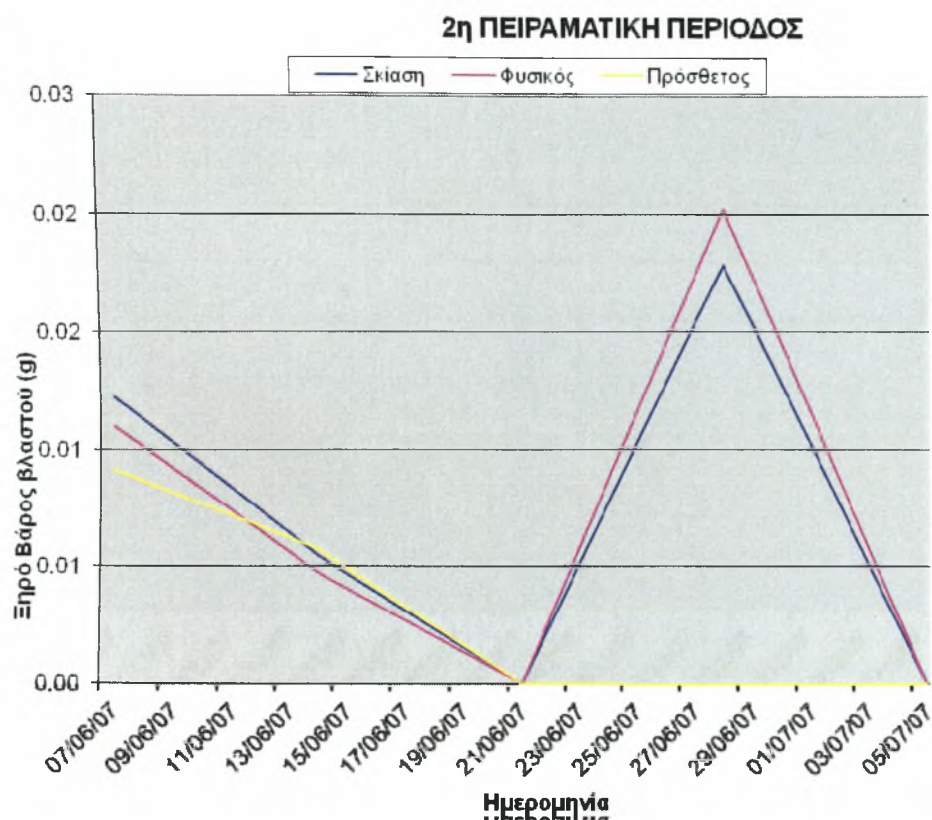
ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΒΛΑΣΤΟΥ

Στην πρώτη πειραματική περίοδο, όπως φαίνεται και από το σχεδιάγραμμα παρακάτω και στις τρεις περιπτώσεις έχουμε αρχικά αύξηση του ξηρού βάρους του βλαστού, με τα φυτά που αναπτύχθηκαν με πρόσθετο φως να παρουσιάζουν τη πιο σύντομη αύξηση σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις.

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



Και στις τρεις περιπτώσεις, αρχικά, όπως παρατηρούμε υπάρχει μείωση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν με τεχνητό φωτισμό να μην παρουσιάζουν καμία περαιτέρω αύξηση, ενώ αντίθετα στις άλλες δύο μεταχειρίσεις παρουσιάζεται αύξηση στο ξηρό βάρος του βλαστού.

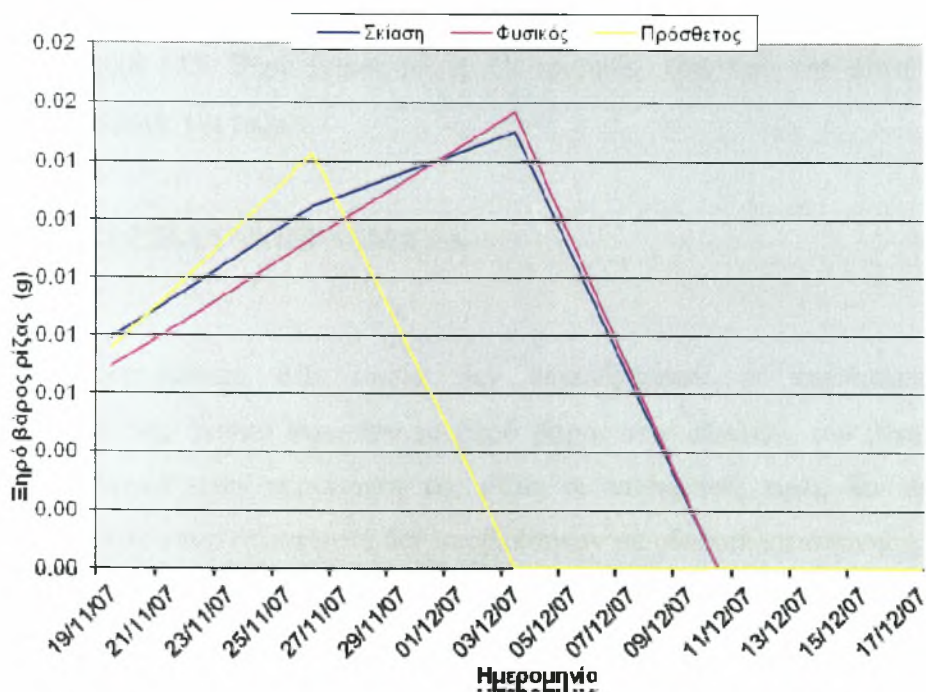


Διάγραμμα 10. Ξηρό βάρος βλαστού. Οι γραμμές δείχνουν την τάση εξέλιξης του ξηρού βάρους του βλαστού.

ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΡΙΖΑΣ

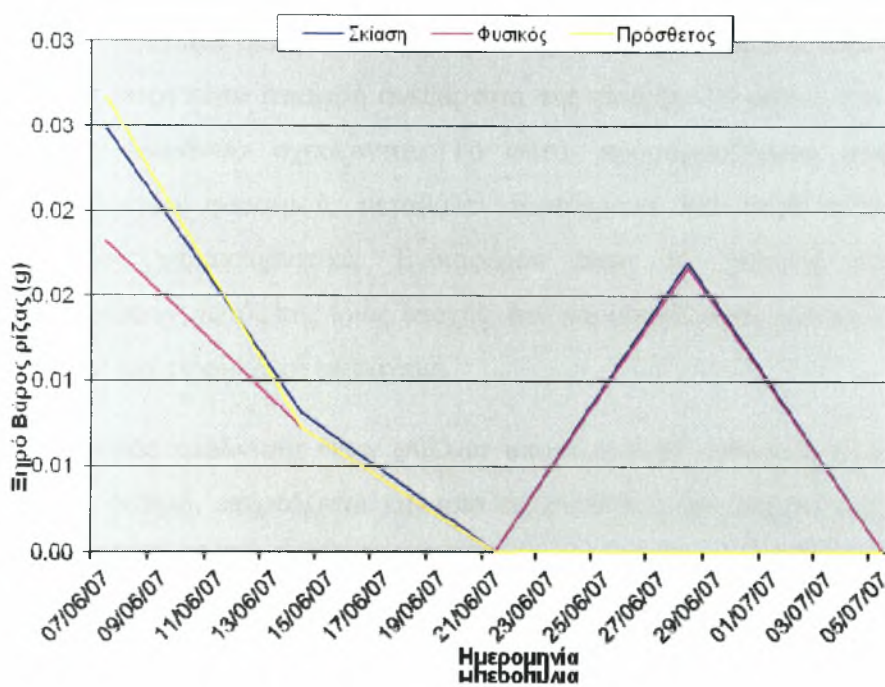
Και στις τρεις μεταχειρίσεις το ξηρό βάρος ρίζας παρουσίασε σημαντική αύξηση με διαφορές μεταξύ των τριών ειδών δειγμάτων. Τα δείγματα τα οποία βρίσκονταν κάτω από πρόσθετο φωτισμό και σε ατμόσφαιρα εμπλουτισμένη με διοξείδιο του άνθρακα παρουσίασαν την γρηγορότερη αλλά και την πιο σύντομη αύξηση ξηρού βάρους ρίζας.

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



Στη δεύτερη πειραματική περίοδο τα δείγματα που βρίσκονταν κάτω από τεχνητό φωτισμό παρουσιάζουν μείωση του ξηρού βάρους της ρίζας ενώ στη συνέχεια δεν παρουσιάζει καμία αύξηση. Ενώ στις άλλες δύο μεταχειρίσεις παρουσιάζεται μείωση του ξηρού βάρους της ρίζας ενώ στη συνέχεια έχουμε ταυτόσημη ανάπτυξη.

2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



Διάγραμμα 113. Ξηρό βάρος ρίζας .Οι γραμμές δείχνουν την τάση εξέλιξης του ξηρού βάρους της ρίζας.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Χαρακτηριστικά στα οποία δεν επετεύχθησαν οι επιθυμητές τιμές σε ικανοποιητικό βαθμό αφορούν το ξηρό βάρος των φύλλων, του βλαστού και της ρίζας. Ειδικά στην περίπτωση της ρίζας οι επιθυμητές τιμές δεν επετεύχθησαν, πιθανόν λόγω του ότι τα φυτά δεν υποβλήθηκαν σε υδατική καταπόνηση.

Αρχικά η αύξηση των χαρακτηριστικών των σπορόφυτων είναι αργή, στη συνέχεια όμως η αύξηση είναι ταχεία. Χρονικά, το διάστημα κατά το οποίο η αύξηση είναι αργή μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας. Μεγέθη σχετιζόμενα με την αύξηση εκφράζονται καλύτερα συναρτήσει της προσλαμβανόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς στα σπορόφυτα η αρχική φυλλική επιφάνεια είναι πολύ μικρή και το ποσοστό της διαθέσιμης ακτινοβολίας που εκμεταλλεύονται είναι πολύ μικρό.

Ενδιαφέρουσα είναι η διαπίστωση ότι το ξηρό βάρος του βλαστού ανά μονάδα μήκους αυξάνεται γραμμικά συνάρτησε της προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας και ότι η σχέση αυτή είναι σταθερή ανεξάρτητα της εποχής. Το μήκος του βλαστού και η φυλλική επιφάνεια σχετίζονται. Το φυτό, προσαρμοζόμενο στην ένταση του λαμβανόμενου φωτισμού, μεταβάλει ταυτόχρονα και κατά ανάλογο τρόπο τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι μεταξύ των μεταχειρίσεων, εντός της ίδιας εποχής, δεν παρουσιάζονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές για τη φυλλική επιφάνεια.

Ο ρυθμός εμφάνισης νέων φύλλων αποτελεί έναν ενδογενή ρυθμό ο οποίος, σε μεγάλο βαθμό, επηρεάζεται και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Είδαμε ότι στην πρώτη περίοδο είχαμε 4 με 4,5 φύλλα ενώ στη δεύτερη περίοδο είχαμε 3 φύλλα το πολύ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Al-Delaimy WK, Ferrari P, Slimani N, Pala V, Johansson I, Nilsson S, Mattisson I, Wirfalt E, Galasso R, Palli D, Vineis P, Tumino R, Dorronsoro M, Pera G, Ocke MC, Bueno-de-Mesquita HB, Overvad K, Chirilaque M, Trichopoulou A, Naska A, Tjønneland A, Olsen A, Lund E, Alsaker EH, Barricarte A, Kesse E, Boutron-Ruault MC, Clavel-Chapelon F, Key TJ, Spencer E, Bingham S, Welch AA, Sanchez-Perez MJ, Nagel G, Linseisen J, Quiros JR, Peeters PH, van Gils CH, Boeing H, van Kappel AL, Steghens JP, Riboli E., 2005, Plasma carotenoids as biomarkers of intake of fruits and vegetables: individual-level correlations in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC), *Eur. J. Clin. Nutr.* Dec;59(12):1387-96
2. Andersen Aage, 1986, Comparison of fluorescent lamps as an energy source for production of tomato plants in a controlled environment, *Scientia Horticulturae*, 28 11-18
3. Baille A., 1993, Artificial light sources for crop production, In: *Crop structure and light microclimate – Characterization and applications*, INRA Editions, pp.107-119
4. Berghage Robert, 1998, Controlling Height with Temperature, *HortTechnology* October – December 8(4)
5. Bertin N., C. Gary, 1998, Short and Long Term Fluctuations of the Leaf Mass Per Area of Tomato Plants – Implications for Growth Models, *Annals of Botany* 82: 71-81
6. Bertin N., E. Heuvelink, 1993, Dry-matter production in a tomato crop: comparison of two simulation models, *Journal of Horticultural Science* 68(6) 995-1011
7. Bertin N., Gary C., 1993, Evaluation of TOMGRO, a dynamic model of growth and development of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) at various levels of assimilate supply and demand, *Agronomie* 13, 395-405
8. Besford R. T., 1993, Photosynthetic acclimation in tomato plants grown in high CO₂, *Vegetatio* 104/105: 441-448

9. Bonhomme R., 1993, The solar radiation : characterization and distribution in the canopy, In: Crop structure and light microclimate – Characterization and applications, INRA Editions, pp.17-28
10. Boyhan E. G. and Kelley T. W., Transplant Production In: Commercial Tomato Production Handbook, University of Georgia Cooperative Extension, pp. 52
11. Brisson N., J. Wery and K. Boote, 2006, Fundamental concepts of crop models illustrated by a comparative approach In: Working with Dynamic Crop Models, Eds: Daniel Wallach, David Makowski and James W. Jones, Elsevier B. V, p.257-279
12. Bruggink G.T. and E. Heuvelink, 1987, Influence of Light on the Growth of Young Tomato, Cucumber and Sweet Pepper Plants in the Greenhouse: Effects on Relative Growth Rate, Net Assimilation Rate and Leaf Area Ratio, *Scientia Horticulturae*, 31 161-174
13. Challa H. and E. Heuvelink, 1996, Photosynthesis driven crop growth models for greenhouse cultivation: Advances and bottle-necks, *Acta Horticulturae*, 417, 9-22
14. Daniel J. Tennessen, Eric L. Singsaas & Thomas D. Sharkey, 1994, Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research, *Photosynthesis Research* 39: 85-92, 1994
15. Dayan E., H. van Keulen, J. W. Jones, I. Zipori, D. Shmuel & H. Challa, 1993, Development, Calibration and Validation of a Greenhouse Tomato Growth Model: I. Description of the Model, *Agricultural Systems* 43 145-163
16. Dayan E., H. van Keulen, J. W. Jones, I. Zipori, D. Shmuel and H. Challa, 1993b, Description of the model In: TOMGRO – a greenhouse-tomato simulation model, Editors: H. van Keulen and E. Dayan, pp. 3-14
17. Dayan E., H. van Keulen, J.W. Jones, I. Zipori, D. Shmuel and H. Challa, 1993c, Field calibration and validation of the model In: TOMGRO – a greenhouse-tomato simulation model, Editors: H. van Keulen and E. Dayan, pp. 23-38
18. De Konig A. M. N., 1993, Growth of a tomato crop: measurements for model validation, *Acta Horticulturae* 328: International Workshop on Greenhouse Crop Models, 141-146
19. De Koning A.N.M., 1988. The effect of different day/night temperature regime on growth, development and yield of glasshouse tomatoes, *J. Hortic. Sci.*, 63(3): 465-471

20. Demers D. A., M. Dorais, C. H. Wien, A. Gosselin, 1998, Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields, *Scientia Horticulturae* 74 295-306
21. Dengler N. and J. Kang, 2003, Growth and Development: Leaf Development, pp:567-574
22. Dimokas G., Tchamitchian M., Kittas C., 2008, Validation of a tomato crop simulator for mediterranean greenhouses, *ISHS Acta Horticulturae* 797
23. FAO, 2008, FAOStat Database
24. Farage K. P., I. F. McKee and S. P. Long, 1998, Does a Low Nitrogen Supply Necessarily Lead to Acclimation of Photosynthesis to Elevated CO₂?, *Plant Physiol.* 118: 573–580
25. Farquhar G.D., von Caemmerer S., Berry J.A., 1980, A Biochemical Model of Photosynthetic CO₂ Assimilation in Leaves of C₃ species, *Planta* 149: 78–90
26. Gary C., 1988, A Simple Carbon Balance Model Simulating the Short-Term Responses of Young Vegetative Tomato Plants to Light, CO₂ and Temperature, *Acta Hort.* 229, 245-250
27. Gary C., J. F. Barczy, N. Bertin, M. Tchamitchian, 1995, Simulation of Individual Organ Growth and Development on a Tomato Plant: A Model and a User-Friendly Interface, *Acta Horticulturae* 399, 199-205
28. Gary C., J. L. Bot, , J. S. Frossard and J. L. Andriolo, 1998, Ontogenic changes in the construction cost of leaves, stems, fruits and roots of tomato plants, *Journal of Experimental Botany*, Vol. 49, No. 318, pp. 59-68
29. Gent M.P.N., 1984, Carbonhydrate Level and Growth of Tomato Plants: I. The effect of carbon dioxide enrichment and diurnal fluctuating temperatures, *Plant Physiol.* 76, 694-699
30. Gijzen H., E. Heuvelink, H. Challa, L.F.M. Marcelis, E. Dayan, S. Cohen, M. Fuchs, 1998, HORTISIM: A model for greenhouse crops and greenhouse climate, *ISHS Acta Horticulturae* 456: II Modelling Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation
31. Goudriaan J. and H.H. van Laar, 1994, Modelling Potential Crop Growth Processes: Textbook with Exercises, Kluwer Academic Publishers, pp. 239
32. Grimstad O. Svein, 1993, The effect of a daily low temperature pulse on growth and development of greenhouse cucumber and tomato plants during propagation. *Scientia Hort.* 53:53-62

33. Hanan Joe J., 1998, Greenhouses : advanced technology for protected horticulture, CRC Press, pp.684
34. Hart W. J., 1988, Light and plant growth – Topics in plant physiology: 1, London, Unwin Hyman, pp.204
35. Herrera F., J.E. Castillo, A.F. Chica and L. López Bellido, 2008, Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants, *Bioresource Technology* 99 287–296
36. Heuvelink E., 1989, Influence of Day and Night Temperature on the Growth of Young Tomato Plants, *Scientia Horticulturae* 38 11-22
37. Heuvelink E., 1995a, Dry Matter Production in a Tomato Crop : Measurements and Simulation, *Annals of Botany* 75: 369-379, 1995
38. Heuvelink E., 1995b, Dry matter partitionong in tomato : one common assimilate pool?, *Journal of Experimental Botany* 46 (8) , 1025-1033
39. Heuvelink E., 1996a, Dry Matter Partitioning in Tomato : Validation of a Dynamic Simulation Model, *Annals of Botany* 77: 71-80, 1996
40. Heuvelink E., 1996b, Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis, PhD Thesis, Wageningen, pp.326
41. Heuvelink E., 1999, Evaluation of a Dynamic Simulation Model for Tomato Crop Growth and Development, *Annals of Botany* 83: 413-422
42. Heuvelink E., M.J. Bakker, A. Elings, R.C. Kaarsemaker and L.F.M. Marcelis, 2004, Effect of Leaf Area on Tomato Yield, *Acta Horticulturae* 691, 43-50
43. Hoek H. S. Ingrid, Charlotte H. Hänisch Ten Cate, Christian J. Keijzer, Jan H. Schel and Hans J. M. Dons, 1993, Development of the Fifth Leaf is Indicative for Whole Plant Perfomance at Low Temperature in Tomato, *Annals of Botany* 72: 367-374
44. Ioslovich I., Seginer I., 1995, Neural Networks for Dynamical Crop Growth Model Reduction and Optimization, In: Pearson, D.W., Steele, N.C. and Albrecht, R.F., Editors, 1995. *Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms. Proceedings International Conferance Ales, France, , Springer, Berlin, pp. 352–355.*
45. Jing-Yueh Huang and Chin-Ho Lin, 2003, Cold water treatment promotes ethylene production and dwarfing in tomato seedlings, *Plant Physiology and Biochemistry* 41 (2003) 283-288

46. Jolliet O. and B.J. Bailey, 1992, The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison, *Agricultural and Forest Meteorology*, 58 (1992) 43-62
47. Jolliet, O. and Bailey, B., 1992. The effect of climate on the stomatal conductance of greenhouse tomato plants. *J. Hortic. Sci.*
48. Jones G. Hamlyn, 1992, *Plants and microclimate : a quantitative approach to environmental plant physiology*, 2nd ed., Cambridge University Press, p.428
49. Jones J. W., A. Kenig, C. E. Vallejos, 1999, Reduced State-Variable Tomato Growth Model, *Transactions of the ASAE*, Vol 42(1): 255-265
50. Jones J. W., Dayan E., Allen L. H., Van Keulen H., Challa H., 1991, A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). *Trans ASAE* 34, 663-672
51. Jones W. J., E. Dayan and B. Jacobson, 1993, Calibration of the model under fully controlled conditions In: *TOMGRO – a greenhouse-tomato simulation model*, Editors: H. van Keulen and E. Dayan, pp. 15-21
52. Kano Atsushi and van Bavel H.M. Cornelius, 1988, Design and Test of a Simulation Model of Tomato Growth and Yield in a Greenhouse, *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 56(4), 408-416
53. Kitaya Y., T. Shibuya, M. Yoshida and M. Kiyota, 2004, Effects of air velocity on photosynthesis of plant canopies under elevated CO₂ levels in a plant culture system, *Advances in Space Research* 34 1466–1469
54. Li Juan, Zhou Jian-Min, Duan Zeng-Qiang, Du Chang-Wen and Wang Huo-Yan, 2007, Effect of CO₂ Enrichment on the Growth and Nutrient Uptake of Tomato Seedlings, *Pedosphere* 17(3): 343-351
55. Liptay Albert, Peter Sikkema and William Fonteno, 1998, Transplant Growth Control through Water Deficit Stress – A Review, *HortTechnology*, October – December 1998 8(4)
56. Logendra Sitheswary, Hames F. Putman and Harry W. Janes, 1990, The Influence of Light Period on Carbon Partitioning, Translocation and Growth in Tomato, *Scientia Horticulturae*, 42 75-83
57. Marcelis L.F.M., E. Heuvelink and J. Goudriaan, 1998, Modelling biomass production and yield of horticultural crops : a review, *Scientia Horticulturae* 74 83-111

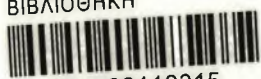
58. Martin D. P., J.V. Ringwood, J. Grant, 1998, Mushroom tunnel climate: Neural networks compared, II Modelling Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation, ISHS Acta Horticulturae 456
59. McCall Douglas, 1992, Effect of supplementary light on tomato transplant growth, and the after-effects on yield, Scientia Horticulturae, 51 65-70
60. Morimoto T. and Y. Hashimoto, 1996, Optimal control of plant growth in hydroponics using neural networks and genetic algorithms, Acta Horticulturae 406, 433-440
61. Mortensen M. Leiv, 1987, Review: CO₂ Enrichment in Greenhouses. Crop Responses, Scientia Horticulturae, 33 1-25
62. Myster Jardar and Roar Moe, 1995, Effect of diurnal temperature alternations on plant morphology in some greenhouse crops – a mini review, Scientia Horticulturae 62 205-215
63. Nederhoff M. E. and R. de Graaf, 1993, Effects of CO₂ on leaf conductance and canopy transpiration of greenhouse grown cucumber and tomato, Journal of Horticultural Science 68 (6) 925-937
64. Pachepsky B. L., J. D. Haskett and B. Acock, 1996, An Adequate Model of Photosynthesis - I Parameterization, Validation and Comparison of Models, Agricultural Systems 50 209-225
65. Pavlovic R., S. Petrovic, D. Stevanovic, 1998, The influence of transplants quality on the yield of tomato grown in plastic house, II Modelling Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation, ISHS Acta Horticulturae 456
66. Peng S., R. C. Laza, R. M. Visperas, G. S. Khush, P. Virk and D. Zhu, 2004, Rice: Progress in Breaking the Yield Ceiling, "New directions for a diverse planet", Proceedings of the 4th International Crop Science Congress
67. Pucheta A. J., C. Schugurensky, R. Fullana, H. Patiño, B. Kuchen, 2006, Optimal greenhouse control of tomato-seedling crops, Computers and Electronics in Agriculture 50 (2006) 70–82
68. Radoglou K. and Y. Raftoyannis, 2002, The impact of storage, desiccation and planting date on seedling quality and survival of woody plant species, Forestry, Vol. 75, No. 2, 179-190,2002
69. Raghanendra S. A., 2003, Photosynthesis and Partitioning In: Encyclopedia of Physical Science and Technology, Ed. Robert A. Meyers, Elsevier Science

70. Ramírez A., F. Rodríguez, M. Berenguel, E. Heuvelink, 2004, Calibration and validation of complex and simplified tomato growth models for control purposes in the southeast of Spain, International Workshop on Models for Plant Growth and Control of Product Quality in Horticultural Production
71. Rigney P. M. and G. A. Kranzler, 1996, Machine vision for conifer seedling quality control, *New Forests* 13: 51–62
72. Roland Haitz, 2003, Another Semiconductor Revolution: This Time It's Lighting! In: *Adv. in Solid State Phys.* 43, B. Kramer (Ed.), pp. 35–50
73. Seginer I. and I. Ioslovich, 1998, A Single State Variable Model to Mimic TOMGRO for Control Applications, *ISHS Acta Horticulturae* 456: II Modelling Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation
74. Seginer I. and M. Raviv, 1984, Optimal Night Temperatures for Greenhouse Seedlings, *Scientia Horticulturae*, 23 203-216
75. Sezgin U., 2006, The quantitative effects of temperature and light on the number of leaves preceding the first fruiting inflorescence on the stem of tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) and aubergine (*Solanum melongena* L.), *Scientia Horticulturae* 109 142–146
76. Shishido Y., N. Seyama, S. Imada and Y. Hori, 1989, Carbon Budget in Tomato Plants as Affected by Night Temperature Evaluated by Steady State Feeding with $^{14}\text{CO}_2$, *Annals of Botany* 63: 357-367
77. Stanghellini, C., 1987. Transpiration of greenhouse crops, an aid to climate management. Ph.D. Dissertation, Agricultural University, Wageningen, 150 pp.
78. Teh Christopher, 2006, Introduction to mathematical modeling of crop growth: How the equations are derived and assembled into a computer model, BrownWalker Press, pp. 256
79. Topçu Sevilay and Baytorun Nafi A., 1998, Evaluation of the Greenhouse Tomato Growth Model TOMGRO Under Cukurova Protected Cultivation Conditions, *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23 Ek Sayı 3, 749-755
80. Trichopoulou A, Benetou V, Lagiou P, Gnardellis Ch, Stacewicz-Sapunzakis M, Papas A., 2003, Plasma carotenoid levels in relation to the Mediterranean diet in Greece, *Int J Vitam Nutr Res.*, 73(3):221-5
81. Βαφειάδης Δ., Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Μαρτζόπουλος Γ., 2003, Εμπλουτισμός θερμοκηπίων με CO_2 σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών για

- εξοικονόμηση ενέργειας, Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 413-420
82. Γιαννοπολίτης Κ.Ν. και Λυμπεροπούλου Μ., Στατιστικά Στοιχεία : Η καλλιέργεια της τομάτας στον κόσμο, την Ευρώπη, στην Ελλάδα, Γεωργία – Κτηνοτροφία, 10/2007, σελ. 8-9
83. Καρατάγλης Στυλιανός, 1994, Φυσιολογία Φυτών, 3^η έκδοση, εκδόσεις Art of Text, σελ.50
84. Λόλας, 2000, Φυσιολογία Φυτού, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας
85. Ολύμπιος, 1996, Στοιχεία Γενικής και Ειδικής Λαχανοκομίας, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας
86. Ολύμπιος, 2001, Η Τεχνική της Καλλιέργειας των Κηπευτικών στα Θερμοκήπια, Εκδόσεις Σταμούλη



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000110315