

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου
Περιβάλλοντος**

**« Επίδραση φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίου στην
αύξηση θερμοκηπιακής καλλιέργειας τομάτας »**

Πτυχιακή Διατριβή

Αποστολάκης Στυλιανός

Επιβλέπων

Καθηγητής Κωνσταντίνος Κίττας

Νέα Ιωνία, 2007

**« Επίδραση φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίου
στην αύξηση θερμοκηπιακής καλλιέργειας τομάτας »**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

1. Κίττας Κωνσταντίνος, Καθηγητής

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

2. Μαυρομάτης Αθανάσιος, Λέκτορας

Εργαστήριο Γενετικής

3. Χα Ιμπραχίμ-Αβραάμ, Αναπληρωτής Καθηγητής

Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών



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

Αριθ. Εισ.: 5706/1
Ημερ. Εισ.: 22-08-2007
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2007
ΑΠΟ

Ευχαριστίες

Πρώτο από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του τμήματος Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών κ. Κωνσταντίνο Κίττα ο οποίος μου έδειξε εμπιστοσύνη από την αρχή μέχρι το τέλος της συνεργασίας μας.

Στους Αναπληρωτές Καθηγητές κ Α. Μαυρομάτη και κ. Α. Χα θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή και τη διόρθωση αυτής της πτυχιακής διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Καθηγήτρια του ΤΕΙ Λάρισας και υποψήφια διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος κ. Παπαϊωάννου Χρυσούλα για τις χρήσιμες υποδείξεις, τις συμβουλές και την άμεση επίβλεψη της τόσο κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή και ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής διατριβής, καθώς και για την υπομονή που έδειξε όλο αυτό το διάστημα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Dany el-Obeid για την βοήθεια του και το ευχάριστο κλίμα που δημιουργούσε κατά την διάρκεια του πειραματικού σταδίου της πτυχιακής διατριβής μου.

Θέλω επίσης να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την υποστήριξη, την αγάπη και την συμπαράσταση όπως επίσης και για την εμπιστοσύνη που μου δείχνανε όλο αυτό τον καιρό που είμαι μακριά τους. Ελπίζω να τους κάνω πάντα χαρούμενους.

Τέλος, να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου και όσους πρόσφεραν την βοήθεια τους στην ολοκλήρωση της πτυχιακής διατριβής μου και ιδιαίτερα τον συμφοιτητή και φίλο μου Κατσαντώνη Γιώργο για την βοήθεια και την καλή παρέα. Να 'στε πάντα καλά.

Περιεγόμενα

	Σελ.
Περίληψη.....	6
I. Εισαγωγή	8
Σκοπός της εργασίας.....	9
II. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	11
1. Η ηλιακή ακτινοβολία	11
1.1 Χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας	11
1.2 Ηλιακή ακτινοβολία και φυτά	12
1.3 Υπεριώδης ακτινοβολία	14
1.3.1 Επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας	15
1.3.1.1 Επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας στα φυτά	16
1.3.1.2 Επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας στους εχθρούς και τις ασθένειες των φυτών	20
2. Το περιβάλλον του θερμοκηπίου	21
3. Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων	22
3.1 Τύποι υλικών κάλυψης και οι ιδιότητές τους	23
3.2 Νέα υλικά κάλυψης	31
3.3 Επιδράσεις του τροποποιημένου φάσματος	33
4. Φωτοσύνθεση	34
4.1 Γενικά.....	34
4.2 Φωτοσύνθεση και ηλιακή ακτινοβολία.....	35
4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την φωτοσύνθεση.....	36
5. Αύξηση φυτών.....	37
5.1 Ορισμός αύξησης.....	37
5.2 Θέσεις της αύξησης στο φυτό.....	38
5.3 Μέτρηση της αύξησης.....	39
6. Η Καλλιέργεια της Τομάτας.....	39
6.1 Γενικά..	39
6.2 Καταγωγή – Ιστορικό.....	40
6.3 Έκταση και παραγωγή καλλιέργειας.....	41
6.4 Γεωγραφική κατανομή θερμοκηπίων στην Ελλάδα.....	42
6.5 Κλιματικές απαιτήσεις.....	44
6.6 Εχθροί και ασθένειες της τομάτας	45
III. Υλικά και Μέθοδοι	46
1. Η τοποθεσία	46
2. Τα θερμοκήπια	46

3. Τα υλικά κάλυψης	47
4. Αερισμός	48
5. Θέρμανση	48
6. Υπόστρωμα της καλλιέργειας	48
7. Άρδευση – Λίπανση	48
8. Η καλλιέργεια	49
8.1 Ποικιλία - Εγκατάσταση της καλλιέργειας	49
8.2 Διάταξη των φυτών	49
9 Καλλιεργητικές τεχνικές	50
9.1 Στήριξη των φυτών	50
9.2 Βλαστολόγημα	50
9.3 Αποφύλλωση – Κορυφολόγημα	51
9.4 Επεμβάσεις με χημικά	51
9.5 Επικονίαση των φυτών	51
9.6 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών	51
10. Μετρήσεις	52
10.1 Μέτρηση του ύψους	52
10.2 Μέτρηση του μήκους (L) και πλάτους (W) των φύλλων	53
10.3 Υπολογισμός ξηρής ουσίας.....	53
10.4 Μέτρηση των κόμβων	53
10.5 Υπολογισμός της φυλλικής επιφάνειας	53
10.6 Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων	53
IV. Αποτελέσματα	55
1. Ύψος φυτών	55
2. Αριθμός κόμβων... ..	57
3. Μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας	58
4. Συνολική ξηρή ουσία.....	62
V. Συζήτηση - Συμπεράσματα	63
Βιβλιογραφία	65

Περίληψη

Η καλλιέργεια κηπευτικών σε θερμοκήπια είναι πλέον ευρύτατα διαδεδομένη. Ανάμεσα στους άλλους προβληματισμούς που ανακύπτουν σχετικά με τη θερμοκηπιακή καλλιέργεια είναι και αυτός της επιλογής του κατάλληλου υλικού κάλυψης. Στις μέρες μας κατασκευάζονται πλαστικά υλικά κάλυψης με ιδιότητες τέτοιες ώστε να επηρεάζουν διάφορες παραμέτρους σχετικά με το κλίμα του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση την αύξηση και την ανάπτυξη του φυτού.

Οι νέες τάσεις στην κατασκευή των υλικών κάλυψης προτείνουν υλικά φωτοεκλεκτικά σε διάφορα μήκη κύματος και υλικά τα οποία δημιουργούν μέσα στο θερμοκήπιο δυσμενείς συνθήκες για την ανάπτυξη ορισμένων εχθρών και ασθενειών. Οδηγούν έτσι σε μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων και συντελούν σε καλλιέργεια φιλική προς το περιβάλλον.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία μελετήθηκε η επίδραση τριών υλικών κάλυψης με διαφορετική διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, τα οποία κατασκευάστηκαν από τη βιομηχανία «Πλαστικά Κρήτης», στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας σε τρία διαφορετικά θερμοκήπια τα οποία βρίσκονταν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή του Βελεστίνου. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν τρία διαφορετικά υλικά κάλυψης σε τρία διαφορετικά θερμοκήπια, στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή του Βελεστίνου. Τα υλικά αυτά ήταν απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας σε διαφορετικά ποσοστά. Την πρώτη χρονιά διεξαγωγής του πειράματος στο πρώτο θερμοκήπιο (GH 1) το υλικό κάλυψης ήταν διαπερατό στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV) σε ποσοστό 5%, στο δεύτερο θερμοκήπιο (GH 2) το υλικό κάλυψης ήταν διαπερατό στην υπεριώδη ακτινοβολία σε ποσοστό 3% και στο τρίτο θερμοκήπιο (GH 3) το υλικό κάλυψης ήταν αδιαπέρατο στην υπεριώδη ακτινοβολία. Η συγκεκριμένη ερευνητική εργασία αναφέρεται στο τρίτο συνεχόμενο έτος χρήσης των πλαστικών κατά το οποίο το ποσοστό της διαπερατότητας τους είναι ελαφρώς τροποποιημένο λόγω παλαίωσης των υλικών.

Η καλλιέργεια των φυτών πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας τις συνήθειες καλλιεργητικές πρακτικές.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν το ύψος των φυτών, το μήκος και το πλάτος των φύλλων, τον αριθμό των κόμβων και την συνολική ξηρή ουσία των διαφόρων οργάνων του φυτού.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα φυτά επηρεάζονται θετικά από την έλλειψη της υπεριώδους ακτινοβολίας, καθώς τα φυτά στο GH 3 ήταν στατιστικά σημαντικά ψηλότερα από τα φυτά στα άλλα δύο θερμοκήπια. Τα διαφορετικά υλικά κάλυψης δεν είχαν σημαντική επίδραση στη φυλλική επιφάνεια, στον αριθμό των κόμβων και στην συνολική ξηρή ουσία των διαφόρων οργάνων του φυτού και δεν προκάλεσαν κάποια γενικότερη εμφανή μακροσκοπικά διαφοροποίηση στη μορφολογία των φυτών.

I. Εισαγωγή

Η επιλογή του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου έχει άμεση σχέση με το σύστημα παραγωγής του, καθώς οι ιδιότητες του υλικού, όσον αφορά την ακτινοβολία, παίζουν κυρίαρχο ρόλο τόσο σε σχέση με το ισοζύγιο της ενέργειας όσο και με τη συμπεριφορά της καλλιέργειας. Από ποιοτικής άποψης το φάσμα της εξωτερικής ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να τροποποιηθεί σημαντικά από τις οπτικές ιδιότητες του υλικού κάλυψης (Kittas and Baille, 1998).

Οι αλλαγές στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου έχουν σημαντικές επιδράσεις στην αύξηση, την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των καλλιεργειών (Papadopoulos and Hao, 1997). Τα διάφορα μήκη κύματος του φωτός ανακλώνται, απορροφώνται ή διέρχονται μέσω των διαφόρων υλικών κατά διαφορετικό τρόπο. Το γεγονός αυτό επιδρά στην ποιότητα του φωτισμού που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Γενικά θα πρέπει όλα τα μήκη κύματος του φωτός, τα αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών, να μην ανακλώνται ή απορροφώνται, αλλά να διέρχονται μέσω του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου στο μέγιστο βαθμό (http1).

Σε όλο τον κόσμο τα θερμοκήπια είναι καλυμμένα κατά κύριο λόγο με πλαστικό παρά με γυαλί (Baytorun et al., 1994). Εντούτοις το υψηλό κόστος της θέρμανσης κατά τη δεκαετία του '70 ήταν αυτό που αύξησε το ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα σε υλικά κάλυψης θερμοκηπίου τα οποία θα έκαναν πιο αποτελεσματική χρήση της ενέργειας στα θερμοκήπια από ότι ήταν μέχρι τότε το γυαλί. Σε αυτό οδήγησε και το ενδιαφέρον της κοινής γνώμης για το περιβάλλον, το οποίο και υπαγορεύει τη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων καθώς και την ελάττωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (Papadopoulos and Hao, 1997).

Η επίδραση στην αύξηση ενός φυτού μέσω της τροποποίησης του διερχόμενου μέσα στο θερμοκήπιο ηλιακού φάσματος και η χρήση αυτής της επίδρασης ως εναλλακτική λύση στους χημικούς ρυθμιστές αύξησης αποτελεί για πολύ καιρό αίτημα των γεωπόνων (Goto et al., 1997).

Τα τελευταία χρόνια ερευνάται η χρήση υλικών κάλυψης θερμοκηπίων τα οποία είναι αδιαπέρατα στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV) ως εναλλακτική οικολογική λύση ενάντια σε κάποιους συγκεκριμένους εχθρούς και παθογόνα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών (Gonzalez et al., 2004).

Υπάρχουν αρκετές αναφορές οι οποίες αποδεικνύουν ότι η UV-B επιβραδύνει τη φωτοσύνθεση και την αύξηση των φυτών. Ως εκ τούτου, η καλλιέργεια σε θερμοκήπια καλυμμένα με φωτοεκλεκτικά πλαστικά υλικά κάλυψης χρησιμοποιείται εκτενώς (Tezuka et al., 1993).

Στο Κεφάλαιο II με τίτλο «Βιβλιογραφική Ανασκόπηση» γίνεται μια αναφορά στα χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας γενικά αλλά και για την υπεριώδη ακτινοβολία ειδικότερα και για το πως επηρεάζει τα φυτά και το περιβάλλον γύρω από αυτά. Επίσης θα αναφερθούν οι τύποι των χρησιμοποιούμενων υλικών κάλυψης, οι ιδιότητες τους και οι νέες τεχνολογίες σε σχέση με αυτά. Τέλος θα αναφερθεί η έννοια της αύξησης και της φωτοσύνθεσης και θα πραγματοποιηθεί αναφορά στο υπό μελέτη φυτό που είναι η τομάτα.

Στο Κεφάλαιο III με τίτλο «Υλικά και Μέθοδοι» θα περιγραφούν οι λεπτομέρειες του πειράματος όσον αφορά το μέρος και τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιήθηκε, τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και τις μεθόδους που ακολουθήθηκαν για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο IV με τίτλο «Αποτελέσματα» θα γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια σχεδιαγραμμάτων και πινάκων.

Τέλος στο Κεφάλαιο V με τίτλο «Συζήτηση-Συμπεράσματα» θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που διεξάχθηκαν μετά το τέλος του πειράματος και θα συζητηθούν οι σχέσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων.

Σκοπός της εργασίας

Παρόλα αυτά, δεν έχει διερευνηθεί πλήρως η επίδραση της χρήσης UV-απορροφητικών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων στην ανάπτυξη καλλιέργειας τομάτας. Έτσι, σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της υπεριώδους ακτινοβολίας στην καλλιέργεια φυτών τομάτας. Πιο συγκεκριμένα θα ερευνηθεί η επίδραση τριών διαφορετικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίου, τα οποία είναι απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας σε διαφορετικό βαθμό το καθένα, στην αύξηση των φυτών, ούτως ώστε να αξιολογηθούν αυτά τα υλικά από

οικονομικής απόψεως, αλλά και κατά πόσο η επίδραση τους στην καλλιέργεια της τομάτας είναι ουσιαστική. Για το λόγο αυτό θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε επίπεδο της καλλιέργειας που περιλαμβάνουν:

- ✓ τις διαστάσεις των φύλλων (μήκος, πλάτος),
- ✓ το ύψος των φυτών,
- ✓ τον αριθμό των κόμβων του φυτού και
- ✓ την συνολική ξηρή ουσία των διαφόρων οργάνων του φυτού.

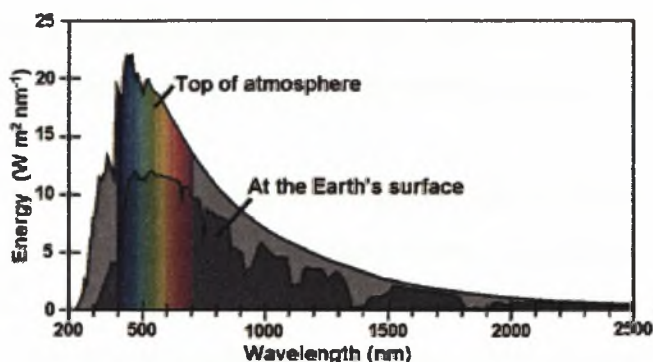
II. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

1. Η ηλιακή ακτινοβολία

1.1 Χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι το αποτέλεσμα της τήξης των ατόμων στο εσωτερικό του Ήλιου. Ένα τμήμα της ενέργειας που προέρχεται από αυτή τη διαδικασία της τήξεως θερμαίνει τη χρωμόσφαιρα. Η χρωμόσφαιρα είναι το εξωτερικό στρώμα του Ήλιου, είναι αρκετά πιο δροσερό από το εσωτερικό του και η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη χρωμόσφαιρα είναι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει και στη Γη. Η ακτινοβολία που προέρχεται από τον Ήλιο αναπτύσσει ένα μεγάλο εύρος μηκών κύματος από 200 nm έως και περισσότερα από 50000 nm με μέγιστο γύρω στα 500 nm. Κατά προσέγγιση το 47 % της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται σε μήκη κύματος του ορατού φωτός (από 380 nm έως 780 nm), το 46 % σε μήκη κύματος του υπέρυθρου φωτός (από 780 nm και πάνω) και το 7 % της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας σε μήκη κύματος του υπεριώδους (από 380 nm και κάτω) ([http2](#)).

Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά την ατμόσφαιρα ένα μεγάλο μέρος της υπεριώδους απορροφάται και διασκορπίζεται. Τα μόρια του αέρα διαλύουν με μεγαλύτερη ευκολία τα μικρότερα μήκη κύματος από ότι τα μεγαλύτερα. Οι υδρατμοί και τα στερεά σωματίδια της ατμόσφαιρας μειώνουν ακόμη περισσότερο το ποσό του άμεσου ηλιακού φωτός που διαπερνά την ατμόσφαιρα. Σε μια όχι νεφελώδη ημέρα περίπου το 75 % της άμεσης φυσιολογικής εξωγήινης ακτινοβολίας διαπερνά την ατμόσφαιρα χωρίς να απορροφηθεί ή να διαλυθεί. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται το φάσμα εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας όπως λαμβάνεται στο εξωτερικό της ατμόσφαιρας αλλά και στην επιφάνεια της Γης ([http2](#)).



Εικόνα 1. Το φάσμα εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας

Κατά τη διάρκεια της ημέρας η κύρια πηγή ενέργειας του θερμοκηπίου είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών καθώς και τη φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου. Επηρεάζει δε σημαντικά τη διάρκεια ζωής των διαφανών πλαστικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πολλών θερμοκηπίων (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

1.2 Ηλιακή ακτινοβολία και φυτά

Το φως είναι τόσο πηγή ενέργειας όσο και πηγή πληροφοριών για τα πράσινα φυτά. Είναι πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση και πηγή πληροφοριών για το φωτοπεριοδισμό, το φωτοτροπισμό και τη φωτομορφογένεση (Aphalo, 2001).

Φωτομορφογένεση είναι κάθε επίδραση του φωτός στη μορφολογία και τη φυσιολογία του φυτού με τελικό αποτέλεσμα τον καθορισμό της αύξησης-ανάπτυξης κυττάρου, ιστού, οργάνου ή ολόκληρου του φυτού (Λόλας, 2000).

Η ζωή πάνω στη γη εξαρτάται άμεσα από την ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο. Η φωτοσύνθεση είναι η μοναδική διεργασία βιολογικής σημασίας που μπορεί να αντλήσει αυτήν την ενέργεια. Με τον όρο φωτοσύνθεση χαρακτηρίζεται η μεταβολή της ακτινοβόλου ενέργειας σε ελεύθερη χημική ενέργεια (Τσέκος, 2003). Η μετατροπή της φωτεινής ενέργειας σε χημική συνδέεται στενά με τη μετατροπή του CO₂ σε οργανικά συστατικά. Για την πραγματοποίηση αυτής της μετατροπής είναι απαραίτητη η παρουσία χρωστικών. Χρωστική είναι κάθε ουσία που απορροφάει ορατό φως και δεν μπορεί να κάνει καμία φωτοχημική αντίδραση χωρίς να απορροφήσει φως (Καράταγλης, 1999). Ο πλέον ενεργός φωτοσυνθετικός ιστός στα

ανώτερα φυτά είναι το μεσόφυλλο. Τα κύτταρα του έχουν πολλούς χλωροπλάστες, οι οποίοι περιέχουν τις εξειδικευμένες φωτο-απορροφητικές πράσινες χρωστικές, τις χλωροφύλλες.

Περίπου 1.3 kW m^{-2} της ακτινοβόλου ενέργειας από τον ήλιο φτάνουν στην επιφάνεια της Γης, αλλά μόνο το 5% περίπου αυτής της ενέργειας μπορεί να μετατραπεί σε υδατάνθρακες από το φύλλο που φωτοσυνθέτει. Το ποσοστό αυτό είναι τόσο μικρό εξαιτίας του γεγονότος ότι ένα μεγάλο κλάσμα του φωτός έχει μήκη κύματος είτε πολύ βραχέα ή πολύ μακρά για να απορροφηθούν από τις φωτοσυνθετικές χρωστικές. Επιπλέον μεγάλο μέρος από την απορροφούμενη φωτεινή ενέργεια χάνεται ως θερμότητα και μια αρκετά μικρότερη ποσότητα ως φθορισμός (Τσέκος, 2003).

Τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στη φωτοσύνθεση είναι από 400 έως 700nm και το φως αυτό καλείται ενεργός φωτοσυνθετική ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation, PAR). Περίπου 85 με 90 % της PAR απορροφάται από το φύλλο. Η υπόλοιπη είτε ανακλάται στην επιφάνεια του φύλλου ή διέρχεται διαμέσου του φύλλου (Εικόνα 2) (Τσέκος, 2003). Από το μέρος που απορροφάται ένα πολύ μικρό μέρος χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση ($\approx 3 \%$), ενώ το άλλο μετατρέπεται σε θερμότητα που αποβάλλεται κυρίως με τη διαπνοή, αλλά και με επαγωγή και ακτινοβολία (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).



Εικόνα 2. Η τύχη της ηλιακής ακτινοβολίας από τη στιγμή που θα φτάσει στο φύλλο ενός φυτού

1.3 Υπεριώδης ακτινοβολία

Η υπεριώδης ακτινοβολία κατατάσσεται σε 3 ζώνες με βάση τα διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός: την υπεριώδη ακτινοβολία C (UV-C) (200-280 nm), η οποία είναι εξαιρετικά επιβλαβής για τους οργανισμούς αλλά αυτό δε συμβαίνει υπό φυσιολογικές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας, την υπεριώδη ακτινοβολία B (UV-B) (280-320 nm), η οποία έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον γιατί ενώ αυτό το μήκος κύματος αντιπροσωπεύει περίπου μόνο το 1,5% του ολικού φάσματος, μπορεί να προκαλέσει πλήθος βλαβερών συνεπειών στα φυτά, και την υπεριώδη ακτινοβολία A (UV-A) (320-400 nm), που αντιπροσωπεύει περίπου το 6,3% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και είναι το λιγότερο βλαβερό τμήμα της υπεριώδους (Holllosy, 2002). Το στρώμα του όζοντος απορροφά 97 με 99% της υπεριώδους ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο. Το όζον που βρίσκεται στη στρατόσφαιρα απορροφά τελείως τη UV- C, ένα μέρος της UV-B και πολύ μικρό ποσό της UV-A ([http5](http://5)).

Η ποιότητα και η ποσότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης εξαρτάται από την εκροή ενέργειας από τον Ήλιο και από την περατότητα της ατμόσφαιρας. Από βιολογικής άποψης η UV-B ακτινοβολία είναι το πιο σημαντικό κομμάτι του γήινου υπεριώδους φάσματος και τα επίπεδα της ακτινοβολίας σε αυτό το μήκος κύματος που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης ελέγχονται κατά μεγάλο μέρος από το όζον (Diffey, 1991). Μείωση του στρώματος του όζοντος στην στρατόσφαιρα, συνεπεία ανθρωπογενών επεμβάσεων, έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη ροή υπεριώδους ακτινοβολίας B στην επιφάνεια της Γης. Η υπεριώδης ακτινοβολία B είναι ιδιαίτερος επιβλαβής για την αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών και προκαλεί ποικιλία μορφολογικών και φυσιολογικών αντιδράσεων (Bornman and Vogelmann, 1990).

Τα φωτόνια της υπεριώδους ακτινοβολίας έχουν αρκετή ενέργεια για να καταστρέψουν τους χημικούς δεσμούς που προκαλούν τις φωτοχημικές αντιδράσεις. Οι βιολογικές της επιδράσεις οφείλονται σε αυτές τις διεργασίες (Kovacs and Keresztes, 2002). Το ποσό της UV που φθάνει στην επιφάνεια της Γης επηρεάζεται από το ύψος του ήλιου και από τη νέφωση (Moran et al., 2004).

1.3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την υπεριώδη ακτινοβολία

- **Το όζον:** Η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται ισχυρά από το όζον που βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα). Η ελάττωση της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε όζον, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας στο έδαφος και αντίστροφα.
- **Τα σύννεφα:** Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι εντονότερη όταν δεν υπάρχουν σύννεφα. Τα σύννεφα γενικά εξασθενίζουν την ηλιακή ακτινοβολία, αλλά το πόσο αποτελεσματικά συμβαίνει αυτό εξαρτάται από το πάχος και τον τύπο των νεφών. Αραιά ή διασκορπισμένα σύννεφα έχουν πολύ μικρή επίπτωση (περίπου 10%), ενώ τα χαμηλά και μαύρα σύννεφα προκαλούν σημαντική εξασθένηση (μέχρι και 80%). Υπό ορισμένες συνθήκες και για πολύ μικρές περιόδους, μεμονωμένα και λαμπερά σύννεφα μπορούν να οδηγήσουν σε μικρή αύξηση της ακτινοβολίας. Όταν ο ηλιακός δίσκος είναι ορατός, τότε η εξασθένηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από τα σύννεφα είναι σχεδόν αμελητέα.
- **Το υψόμετρο:** Η υπεριώδης ακτινοβολία αυξάνεται με την κατακόρυφη απομάκρυνση από την θάλασσα, επειδή η ποσότητα των συστατικών της ατμόσφαιρας που την απορροφούν, ελαττώνεται με το ύψος. Μετρήσεις έδειξαν ότι η υπεριώδης ακτινοβολία αυξάνεται κατά περίπου 10% κάθε 1000 μέτρα απόσταση από την επιφάνεια της θάλασσας.
- **Ανακλάσεις:** Ένα αντικείμενο ή ένα άτομο δέχεται ακτινοβολία απευθείας από τον ήλιο και από τον ουρανό, αλλά και από ανακλάσεις της ακτινοβολίας. Το ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας του εδάφους. Τα δένδρα, το γρασίδι, το χώμα και το νερό ανακλούν λιγότερο από το 10% της υπεριώδους ακτινοβολίας, σε αντίθεση με το φρέσκο χιόνι το οποίο ανακλά μέχρι και το 80%, η τη στεγνή άμμο που ανακλά περίπου το 20% της ηλιακής ακτινοβολίας. Εξαιτίας των ανακλάσεων, άτομα που βρίσκονται σε χιονισμένες περιοχές, ή σε αμμώδεις παραλίες, δέχονται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία.

- **Το νερό:** Περίπου το 95% της υπεριώδους ακτινοβολίας, διαπερνά την επιφάνεια του νερού (π.χ. στη θάλασσα) ενώ το 50% μπορεί να διεισδύει σε βάθος περίπου 3 μέτρων.
- **Η κλίση των ηλιακών ακτινών:** Σε μία ανέφελη ημέρα, η υπεριώδης ακτινοβολία είναι ισχυρότερη κατά τις μεσημεριανές από ότι κατά τις πρωινές ή απογευματινές ώρες. Όσο πιο ψηλά βρίσκεται ο ήλιος στον ουρανό, τόσο πιο έντονη είναι η ακτινοβολία (μικρότερη κλίση των ηλιακών ακτινών). Για αυτό τον λόγο το καλοκαίρι η ακτινοβολία είναι εντονότερη από ότι τον χειμώνα (Nigel et al., 2003).

1.3.2 Επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας

1.3.2.1 Επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας στα φυτά

Η υπεριώδης ακτινοβολία θεωρείται όλο και περισσότερο ως ένας σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την αύξηση του φυτού (Bornman and Vogelmann, 1990).

Έχει αποδειχθεί ότι η αυξημένη υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να μειώσει την παραγωγικότητα κάποιων καλλιεργειών. Εντούτοις υπάρχει η πιθανότητα η ακτινοβολία αυτή να δρα ευεργετικά στην παραγωγή λαχανικών. Η γονιμοποίηση μπορεί να αυξηθεί καθώς κάποια ωφέλιμα έντομα, όπως οι μέλισσες, δελεάζονται από την υπεριώδη ακτινοβολία που αντανακλάται από τα φυτά στον αγρό (http5). Η αλλαγές που επιφέρει η UV και οι ρυθμιστές ανάπτυξης είναι οι πιθανοί λόγοι σε μοριακό επίπεδο για αλλαγές στην αύξηση, την ανάπτυξη και την άνθηση (Hollosoy, 2002).

Οι επιδράσεις της αυξημένης υπεριώδους ακτινοβολίας στα φυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Επιδράσεις της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας στα φυτά (Teramura, 1983)

Χαρακτηριστικό του φυτού	Αυξημένη ακτινοβολία UV
Φωτοσύνθεση	Ελάττωση σε αρκετά φυτά
Συμπεριφορά των φύλλων	Καμία επίδραση σε αρκετά φυτά
Αποδοτικότητα της χρήσης του νερού	Ελάττωση στα περισσότερα φυτά
Παραγωγή ξηράς ουσίας και σοδειά	Ελάττωση σε αρκετά φυτά
Φυλλική επιφάνεια	Ελάττωση σε αρκετά φυτά
Ειδικό βάρος φύλλου	Αύξηση σε αρκετά φυτά
Ωρίμανση της καλλιέργειας	Καμία επίδραση
Άνθηση	Μπορεί να αναχαιτιστεί ή να ενισχυθεί σε κάποια φυτά
Διαφορές μεταξύ των ειδών	Κάθε είδος συμπεριφέρεται διαφορετικά
Διαφορές μεταξύ των ατόμων του ίδιου είδους	Η αντίδραση ποικίλει ανάλογα με την ποικιλία
Καταπόνηση λόγω ξηρασίας	Τα φυτά γίνονται λιγότερο ευαίσθητα στη UV αλλά όχι ανεκτικά στην ξηρασία

Η επίδραση της UV-B ακτινοβολίας στα φυτά έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνητικών εργασιών. Μετά από έρευνες σε περισσότερα από 200 είδη φυτών φαίνεται ότι σχεδόν το 20% είναι ευαίσθητα σε αυτήν την ακτινοβολία, το 50% είναι μετρίως ευαίσθητα ή ανεκτικά και 30% δεν έχουν καμία ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία B (Yuan et al., 1999). Σε περιπτώσεις που η UV-B ακτινοβολία έχει δοθεί στα ευαίσθητα φυτά, με τεχνητό ή φυσικό τρόπο, έχει παρατηρηθεί ότι αλλάζει τα χαρακτηριστικά της αύξησης. Έχει παρατηρηθεί λοιπόν σε είδη τα οποία είναι ευαίσθητα (π.χ. το σιτάρι, το ρύζι, το καλαμπόκι, ο ηλιάνθος και το αγγούρι) μειωμένη φυλλική επιφάνεια και μειωμένη αύξηση του βλαστού (Hollosy, 2002) και σε άλλα είδη όπως το σιτάρι, το κριθάρι, η τομάτα, το αγγούρι και το μαρούλι μείωση της βιομάζας των φυτών αυτών (Nedunchezian and Kulandaivelu, 1997).

Ο βαθμός της ευαισθησίας που παρουσιάζει το κάθε είδος εξηγείται μερικώς από την ιδιότητα τους να αντιδρούν στην UV-B αυξάνοντας το επίπεδο των προστατευτικών χρωστικών ή το πάχος των φύλλων τους. Διαφορές σε επίπεδο DNA ή στη δομή του φυτού είναι επίσης σημαντικές για τον καθορισμό της ευαισθησίας ενός φυτού στη UV-B ακτινοβολία (Deckmyn and Impens, 1999).

Παρότι η ακτινοβολία UV-B αποτελεί μόνο ένα μικρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος έχει μεγάλη φωτοβιολογική επίδραση τόσο στα φυτά όσο και στα ζώα λόγω της απορρόφησης της από σημαντικά βιολογικά μόρια όπως οι πρωτεΐνες, τα νουκλεϊκά οξέα (Kakani et al., 2003), τα αμινοξέα και οι χρωστικές (Reddy et al., 2003)

Εργαστηριακοί έλεγχοι αποδεικνύουν ότι η υπεριώδης ακτινοβολία B μπορεί να προκαλέσει βλάβες λόγω οξειδωσης στα λιπίδια αλλά και σε άλλα συστατικά του κυττάρου και να ενεργοποιήσει αντιοξειδωτικούς μηχανισμούς άμυνας (Mazza et al., 1999).

Οι επιδράσεις της UV-B δεν κατανέμονται ισομερώς ανάμεσα στα δύο φωτοσυστήματα. Με βάση πληθώρα πειραμάτων προκύπτει ότι η υπεριώδης ακτινοβολία B έχει μικρή ή καθόλου επίδραση στο φωτοσύστημα I σε σχέση με το φωτοσύστημα II (Hollosoy, 2002).

Οι χρωστικές του φωτοσυνθετικού μηχανισμού μπορούν να καταστραφούν από την υπεριώδη ακτινοβολία, έχοντας ως επακόλουθο την απώλεια της φωτοσυνθετικής ικανότητας. Η χλωροφύλλη και τα καροτενοειδή μπορούν να επηρεαστούν δυσμενώς από σχετικά μεγάλες ποσότητες υπεριώδους ακτινοβολίας B, με τα καροτενοειδή να επηρεάζονται λιγότερο από ότι οι χλωροφύλλες. Έχει αναφερθεί ότι η αυξημένη UV-B επέδρασε περισσότερο στη μείωση του ποσού της χλωροφύλλης-α σε σχέση με τη χλωροφύλλη-β. Όμως και σε αυτήν την περίπτωση υπάρχουν διαφορές ανάλογα με τις συνθήκες ανάπτυξης και τα είδη των φυτών (Hollosoy, 2002).

Εκτός από τις αλλαγές που προκαλεί στις φυσιολογικές και βιοχημικές διεργασίες η υπεριώδης ακτινοβολία προκαλεί μεταβολές και στη μορφολογία των φυτών. Τα φυτά που εκτίθενται στην UV συνηθέστερα αντιδρούν μειώνοντας τη διαπερατότητα τους στην ακτινοβολία (Hollosoy, 2002).

Μορφολογικές μεταβολές στην ανατομία του φύλλου έχουν καταγραφεί για πλήθος φυτών. Αυτές οι μεταβολές περιλαμβάνουν αύξηση του πάχους των φύλλων, η οποία συνοδεύεται από μείωση της φυλλικής επιφάνειας και μείωση της συχνότητας ανοιγοκλεισίματος των στοματίων. Η αύξηση στο πάχος του φύλλου έχει

μεταφραστεί ως προστατευτικός μηχανισμός ενάντια στη βλάβη που προκαλείται από τη UV-B. Τα παραπάνω ισχύουν σε όλα τα είδη φυτών που έχουν εξεταστεί εκτός από το καλαμπόκι του οποίου το πάχος στα φύλλα μειώθηκε (Hollosy, 2002).

Οι αλλαγές όμως στη μορφολογία του φυτού έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένη αύξηση λόγω του ανταγωνισμού μεταξύ των ειδών (Deckmyn and Impens, 1999).

Πιο συγκεκριμένα για την υπεριώδη ακτινοβολία B υπάρχουν αναφορές σε σχέση με κάποια συμπτώματα που προκαλεί στα φυτά. Σε αρκετά είδη αναφέρθηκαν αλλαγές στον χρωματισμό του φύλλου αλλά και στο σχήμα. Μετά από συνεχόμενη έκθεση στη UV-B ακτινοβολία τα φύλλα περιτυλίγονται ή παίρνουν κυπελλοειδή μορφή και ξηραίνονται. Επίσης λόγω αυξημένης UV-B έχει παρατηρηθεί μείωση στη χλωροφύλλη. Σε σχέση με την αύξηση και την ανάπτυξη του φυτού έχει αναφερθεί ότι αυξημένη UV-B ακτινοβολία καθυστέρησε τόσο το φύτεμα των σπόρων όσο και την άνθηση κάποιων καλλιεργειών οι οποίες μελετήθηκαν σε θαλάμους ανάπτυξης αλλά και στον αγρό. Επίσης υπάρχουν αναφορές για κοντύτερα φυτά, το ύψος των οποίων οφείλεται περισσότερο σε κοντύτερα μεσογονάτια διαστήματα παρά σε μικρότερο αριθμό κόμβων (Kakani et al., 2003).

Έτσι αναφέρεται ότι η UV-B επιδρά στα φυτά με αλλαγές στο πάχος του φύλλου, αύξηση της σύνθεσης των κηρών της επιδερμίδας, δημιουργία βλαβών στα επιδερμικά κύτταρα, μείωση του περιεχομένου της χλωροφύλλης και μειωμένη δράση του φωτοσυστήματος II (Bornman and Vogelmann, 1990).

Συγκεκριμένα έχει αναφερθεί ότι φυτά μαρουλιού ποικιλίας με κόκκινα φύλλα (New red fire lettuce), τα οποία μεγάλωναν απουσία υπεριώδους ακτινοβολίας B παρουσίασαν αυξημένο νωπό και ξηρό βάρος σε σχέση με φυτά τα οποία μεγάλωναν σε περιβάλλον στο οποίο υπήρχε η UV-B ακτινοβολία. Ομοίως συνέβη και σε φυτά τα οποία αναπτύσσονταν προστατευμένα από την υπεριώδη ακτινοβολία A. Η μείωση της ακτινοβολίας UV-B είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της απορρόφησης της από τα φλαβονοειδή και την ελάττωση της συγκεντρώσεως των ανθοκυανών στα φύλλα, πράγμα το οποίο έγινε ορατό με απώλεια του ερυθρού χρωματος (Krizek et al., 1998).

Σε ποικιλίες ζαχαρότευτλων οι οποίες μεγάλωναν κάτω από αυξημένα επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας B και ήταν μολυσμένα με τον μύκητα *Cercospora beticola* αναφέρθηκε ότι οι δυο αυτοί παράγοντες καταπόνησης δρούσαν αθροιστικά και επιβλαβώς για τα φυτά (Kakani et al., 2003).

Διαφορετικά είδη φυτών και διαφορετικές ποικιλίες του ίδιου είδους διαφέρουν ως προς την αντοχή τους στην υπεριώδη ακτινοβολία Β και φαίνεται ότι αντιδρούν διαφορετικά σε αυτού του είδους την καταπόνηση (Bornman and Vogelmann, 1990).

1.3.2.2 Επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας στους εχθρούς και τις ασθένειες των φυτών

Από τότε που ανακαλύφθηκε ότι η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) προξενεί την σποριοποίηση κάποιων μυκήτων και επιφέρει τη διάδοση ορισμένων ασθενειών οι ερευνητές άρχισαν να ασχολούνται με τη μη ύπαρξη ασθενειών και εντόμων κάτω από υλικά κάλυψης τα οποία εμποδίζουν την υπεριώδη ακτινοβολία. Τα υλικά αυτά έδειξαν να εμποδίζουν την ανάπτυξη ασθενειών και μείωσαν τους πληθυσμούς των εντόμων στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η μείωση των εντόμων συνεπάγεται και μείωση των ασθενειών καθώς μειώνονται τα έντομα φορείς (π.χ. Αλευρώδης).

Πιο συγκεκριμένα ορισμένα φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης μειώνουν την ανάπτυξη του μύκητα *Botrytis cinerea* σε φυτά αγγουριάς και τομάτας. Μειώθηκε με τη βοήθεια αυτών των υλικών επίσης και η εμφάνιση της *Sclerotinia sclerotiorum* στο αγγούρι και η *Fulvii fulva* στην τομάτα (Elad, 1997).

Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις κατά τις οποίες πληθυσμοί θρίπα (*Frankliniella occidentalis*) και πληθυσμοί αλευρώδη (*Bemisia argentifolii*) έδειξαν σαφή προτίμηση σε θερμοκήπια στα οποία η υπεριώδης ακτινοβολία εισερχόταν σε υψηλότερα επίπεδα (Costa and Robb, 1999).

Παρόμοια αναφορά υπάρχει και από τους Costa et al. (2002), σύμφωνα με τους οποίους ο τύπος του πλαστικού καλύμματος του θερμοκηπίου μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα των πληθυσμών κάποιων ειδών εντόμων και αυτό το γεγονός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία προγραμμαμάτων ολοκληρωμένης καταπολέμησης.

Έχει καταγραφεί επίσης μεγάλη μείωση στους ιούς οι οποίοι μεταδίδονται με τον αλευρώδη σε φυτά τομάτας και πεπονιού, τα οποία αναπτύσσονταν σε θερμοκήπια καλυμμένα με υλικά απορροφητικά της UV ακτινοβολίας. Η εμφάνιση του TYLCV σε τομάτα αναπτυσσόμενη κάτω από τα ανωτέρω υλικά ήταν 1% σε σύγκριση με τον μάρτυρα όπου το ποσοστό εμφάνισης κυμάνθηκε περίπου στο 80%. Αντίστοιχα η εμφάνιση του ιού *cucurbit yellow stunting disorder virus* στο πεπόνι ήταν 70% λιγότερη στα φυτά που βρίσκονταν κάτω από τα απορροφητικά της UV

ακτινοβολίας υλικά. Αυτά τα υλικά κάλυψης φαίνεται επίσης ότι είναι αποτελεσματικά εναντίον του ιού *Zucchini yellow mosaic virus* (Antignus, 2000).

Οι βομβύνοι (*Bombus terrestris*) είναι έντομα πολύ σημαντικά για τη γονιμοποίηση των αγγειοσπέρμων και χρησιμοποιούν την όραση τους τόσο για τον εντοπισμό των ανθέων όσο και για να επιλέξουν το καταλληλότερο μεταξύ αυτών. Τα Υμενόπτερα, στα οποία ανήκουν και οι βομβύνοι, διακρίνουν την υπεριώδη ακτινοβολία τη στιγμή που κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό στον άνθρωπο λόγω της απορρόφησης των μηκών κύματος κάτω από 400 nm από φίλτρα των οφθαλμών. Η ευαισθησία των βομβύνων στην υπεριώδη ακτινοβολία είχε προσωρινά δημιουργήσει ερωτηματικά για το αν επηρεάζεται η αποτελεσματικότητά τους στη γονιμοποίηση των ανθέων σε συνθήκες στις οποίες η ακτινοβολία αυτή έχει αποκλειστεί. Όπως αποδείχθηκε σε έρευνες που διεξήχθησαν οι βομβύνοι όντως διακρίνουν τη διαφορά στο χρώμα λόγω έλλειψης της υπεριώδους ή λόγω περίσσιας της όμως αυτό δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά τους κατά τη διαδικασία της γονιμοποίησης (Dyer and Chittka, 2004).

Τέλος σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την ανάπτυξη των φυτοφάγων εντόμων αποδεικνύεται ότι η επίδραση της UV-B σε αυτά είναι έμμεση, καθώς προκαλεί αλλαγές στους φυτικούς ιστούς και ως εκ τούτου και στις διατροφικές συνήθειες των εντόμων και την εξέλιξη τους (Izaguirre et al., 2003). Παρόλα αυτά τα φυτά που έχουν εκτεθεί στην υπεριώδη ακτινοβολία Β αντέχουν περισσότερο στην καταπόνηση από τις επιθέσεις των φυτοφάγων εντόμων από ότι τα φυτά που έχουν μεγαλώσει κάτω από φίλτρα που αποκλείουν την UV-B ακτινοβολία (Stratmann, 2003).

2. Το περιβάλλον του θερμοκηπίου

Η ανάπτυξη και η παραγωγή ενός φυτού εξαρτώνται από το κληρονομικό δυναμικό του, δηλαδή το είδος και την ποικιλία ή το υβρίδιο, καθώς και από το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα αναπτυχθεί.

Οι παράγοντες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν καθοριστικά την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών στο θερμοκήπιο μπορεί να χωριστούν σε δυο ομάδες:

- Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού, που επιτελούνται στο υπέργειο μέρος του και είναι κυρίως η ακτινοβολία, η θερμότητα, η υγρασία, και το διοξείδιο του άνθρακος.
- Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού που επιτελούνται στη ρίζα και είναι κυρίως η θερμότητα, το νερό, το οξυγόνο, τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία και το pH (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Το μικροκλίμα στο εσωτερικό ενός καλύμματος είναι η συνισταμένη των διαφόρων ανταλλαγών ενέργειας (με ακτινοβολία, μεταφορά και αγωγιμότητα) και μάζας (υδρατμοί, CO₂) που λαμβάνουν χώρα μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος. Το μικροκλίμα είναι βασική συνιστώσα της βιολογικής δραστηριότητας (Κίττας, 2002).

Αν εξαιρέσουμε όλες τις άλλες τεχνητές επεμβάσεις, (π.χ. ανοίγματα αερισμού, δομικό σχέδιο και προσανατολισμό), οι παράμετροι του εξωτερικού κλίματος και οι ραδιομετρικές και θερμικές ιδιότητες του υλικού κάλυψης ευθύνονται αποκλειστικά για τον καθορισμό του μικροκλίματος του θερμοκηπίου (Paradakis et al., 2000).

3. Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων

Τα τελευταία χρόνια έχουν συμβεί πολύ μεγάλες εξελίξεις στον τομέα παραγωγής πλαστικών φύλλων για την κάλυψη των θερμοκηπίων. Σήμερα το πλαστικό φύλλο έχει εξελιχθεί σε ενεργητικό παράγοντα που συμβάλλει στην καλύτερη ανάπτυξη, προστασία και απόδοση των καλλιεργειών και δεν θεωρείται ως ένα απλό μέσο κάλυψης, για την προστασία από τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Τα πλαστικά φύλλα είναι το μέσο (ή το φίλτρο) εκείνο που παρεμβάλλεται μεταξύ του ήλιου και της καλλιέργειας και επομένως καθίστανται μια σοβαρή παράμετρος διαμόρφωσης του βέλτιστου μικροκλίματος, που προάγει την ανάπτυξη, παραγωγή και πρωιμότητα των καλλιεργειών. Διαθέτοντας την κατάλληλη τεχνογνωσία και τεχνολογία, μπορούμε να επιτύχουμε αποτελέσματα που μέχρι χθες φάνταζαν ακατόρθωτα.

Τα διαφανή πλαστικά, με τα οποία καλύπτουμε τα θερμοκήπια ολοένα και σε μεγαλύτερο ποσοστό, διακρίνονται στα εύκαμπτα φύλλα και τις σκληρές επιφάνειες:

Στα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα περιλαμβάνονται το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το πολυβινυλοφθορίδιο (PVF) και οι εύκαμπτοι πολυεστέρες. Το φύλλο πολυαιθυλενίου είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σήμερα, διεθνώς.

Οι δε συνηθέστερες επιφάνειες σκληρού πλαστικού που χρησιμοποιούνται, είναι οι πολυεστερικές σε διάφορες παραλλαγές, οι πολυκαρβονικές, οι επιφάνειες σκληρού πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) και οι ακρυλικές επιφάνειες.

Γενικά, τα εύκαμπτα φύλλα πλεονεκτούν των άλλων υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων, λόγω του μικρότερου βάρους τους, της χαμηλότερης τιμής τους, της ευκολίας προσαρμογής σε διάφορα σχήματα του σκελετού, της δυνατότητας που δίνουν για χρησιμοποίηση φθηνότερου σκελετού και γενικά λόγω του χαμηλότερου κόστους αρχικής επένδυσης, που επιτυγχάνεται στο σύνολο του θερμοκηπίου (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

3.1 Τύποι υλικών κάλυψης και οι ιδιότητές τους

Ο κύριος στόχος ενός υλικού κάλυψης είναι να δημιουργήσει ένα εσωτερικό περιβάλλον το οποίο θα συμβάλλει στην ανάπτυξη των φυτών άσχετα από τις εξωτερικές συνθήκες (Giacomelli and Roberts, 1993)

Η ποσότητα και η ποιότητα του φωτός που περνάει στο χώρο των φυτών επηρεάζεται από τις ιδιότητες του διαφανούς υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου. Ένα καλής ποιότητας υλικό κάλυψης πρέπει να επιτρέπει να διέλθει μέσα από το υλικό όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα από τον προσπίπτοντα σε αυτό φωτισμό και να ευνοεί τη διάχυση του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ώστε να υπάρχει ομοιογένεια φωτισμού σε όλο τον καλυπτόμενο χώρο. Επιπλέον να επιτρέπει από το φυσικό φως να διέρχονται όλα τα μήκη κύματος τα οποία είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Η διέλευση του φωτός μέσω ενός υλικού μπορεί να γίνει απ' ευθείας ή με διάχυση. Όταν το φως διέρχεται απευθείας, έχει σχεδόν την ίδια διεύθυνση με εκείνη του προσπίπτοντος φωτισμού. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι σκιές από τα αντικείμενα που εμποδίζουν την πορεία του (σκελετικά στοιχεία) θα είναι πολύ έντονες. Αντίθετα, όταν με τη διέλευση του φωτός στο θερμοκήπιο γίνεται και διάχυσή του, τότε

κατευθύνεται σε ποικίλες κατευθύνσεις με αποτέλεσμα την έλλειψη έντονων σκιάσεων (http1).

Η περατότητα ή μη στη θερμική ακτινοβολία είναι άλλη σημαντική ιδιότητα των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων. Η θερμική ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος), όπως είναι γνωστό, εκπέμπεται από όλα τα σώματα που έχουν συνήθεις θερμοκρασίες. Ορισμένα υλικά κάλυψης είναι περατά στη θερμική ακτινοβολία, ενώ άλλα είναι λιγότερο ή καθόλου περατά. Τα υλικά κάλυψης που δεν είναι περατά στη θερμική ακτινοβολία προκαλούν το καλούμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Δηλαδή ενώ επιτρέπουν την είσοδο μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα στο θερμοκήπιο, δεν επιτρέπουν την έξοδο της μεγάλου μήκους κύματος θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος. Το αποτέλεσμα είναι να παγιδεύεται η θερμότητα μέσα στο θερμοκήπιο. Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται το 30% περίπου της αύξησης της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο σε σύγκριση με το εξωτερικό περιβάλλον (http1).

Το κοινό μειονέκτημα των περισσότερων υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων είναι η μικρή αντοχή στο χρόνο. Πολλά από τα υλικά αυτά, όπως τα πλαστικά, είναι ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (αποπολυμερισμός), το γυαλί παρουσιάζει μικρή αντοχή στο χαλάζι, ενώ άλλα υλικά εμφανίζουν μικρή αντοχή στον άνεμο (http1). Γενικά η επιλογή των διαφόρων υλικών κάλυψης πρέπει να βασίζεται:

- στην περατότητα στο φως
- στη μηχανική αντοχή
- τη θερμοπερατότητα
- την περατότητα στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία
- στην αντίσταση στα χτυπήματα από χαλάζι
- στο μέγεθος της διαφανούς επιφάνειας που μπορεί να κατασκευασθεί
- στην ευαισθησία στη γήρανση
- στην αντίσταση στο σκίσιμο
- στην ευαισθησία στη συγκράτηση σκόνης
- στην περατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία και
- στην ευαισθησία στις διάφορες χημικές ουσίες (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Ως υλικά κάλυψης χρησιμοποιούνται **οι υαλοπίνακες, τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα, και τα φύλλα σκληρού πλαστικού.**

Οι υαλοπίνακες: Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του γυαλιού, σαν υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων, είναι η διατήρηση των ιδιοτήτων του με το πέρασμα του χρόνου. Έτσι ένας υαλοπίνακας θερμοκηπίου έχει την ίδια πρακτικά περατότητα στο φως μετά 43 χρόνια με ένα καινούργιο, πράγμα που δεν συμβαίνει με κανένα άλλο υλικό κάλυψης. Μερικοί τύποι γυαλιού γίνονται πιο εύθραυστοι με την πάροδο του χρόνου (Μαυρογιαννόπουλος, 2001.)

Ο υαλοπίνακας μπορεί να είναι διαφανής, με τις δύο του επιφάνειες επίπεδες και λείες (τοποθετείται στις πλευρές συνήθως του θερμοκηπίου), ή διαφώτιστος, με τη μία επιφάνεια κυματοειδή ή φολιδωτή (τοποθετείται συνήθως στην οροφή του θερμοκηπίου), ώστε να διευκολύνει τη διάχυση του φωτός. Το υαλόφρακτο θερμοκήπιο απαιτεί φέρουσα κατασκευή ιδιαίτερης αντοχής και χωρίς να υφίσταται σημαντικές παραμορφώσεις από το βάρος των διαφόρων φορτίων (το ειδικό βάρος του γυαλιού είναι 25 KN/m^3). Το ποσοστό διέλευσης της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας στους συνηθισμένου πάχους υαλοπίνακες, είναι συγκριτικά από τα μεγαλύτερα, δεδομένου ότι φτάνει περίπου το 90% (<http1>).

Τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα: Στα εύκαμπτα φύλλα πλαστικού περιλαμβάνονται το φύλλο πολυαιθυλενίου (PE), το φύλλο πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) και το φύλλο πολυεστέρα. Το πρώτο είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σήμερα. Τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα πλεονεκτούν των άλλων υλικών κάλυψης λόγω του μικρού βάρους τους, της χαμηλής τιμής τους, της ευκολίας προσαρμογής σε διάφορα σχήματα του σκελετού, της δυνατότητας που δίνουν για χρησιμοποίηση ελαφρότερου και φθηνότερου σκελετού και κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους αρχικής επένδυσης συγκρινόμενο με το σύνολο του κόστους του θερμοκηπίου (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Σε ορισμένα πλαστικά φύλλα έχουν προστεθεί ορισμένες χημικές ενώσεις οι οποίες προκαλούν αλλαγή των οπτικών χαρακτηριστικών τους (π.χ. η μείωση της περατότητας σε ορισμένα μήκη κύματος του ορατού φωτός και η ενίσχυση της περατότητας σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος). Ανάλογα με τις απαιτήσεις των φυτών, είναι δυνατή η χρήση των υλικών αυτών για την επιλεκτική είσοδο ακτινοβολίας ενός καθορισμένου μήκους κύματος στο θερμοκήπιο ώστε να επιτευχθούν συγκεκριμένοι καλλιεργητικοί στόχοι. Η χρήση των υλικών αυτών προϋποθέτει σαφή γνώση των φυσιολογικών απαιτήσεων και αντιδράσεων των φυτών στα διάφορα μήκη κύματος του φωτός. Με τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένου χρωματισμού στο φύλλο πολυαιθυλενίου, παρατηρήθηκε η απουσία εντόμων μέσα

στο χώρο του θερμοκηπίου, η μείωση όμως του φωτοσυνθετικά ενεργού φωτός ήταν σημαντική ([http1](#)).

1.Το φύλλο πολυαιθυλενίου (PE) είναι αδιαπέραστο στο νερό και τους υδρατμούς ενώ είναι σχετικά περατό στα αέρια και ιδιαίτερα στο CO₂ και στο O₂. Έχει καλή μηχανική αντοχή, η οποία είναι συνάρτηση του πάχους του. Φύλλο πάχους 0,10 – 0,15 mm έχει 1-2 φορές μεγαλύτερη αντοχή από αυτήν του γυαλιού, πάχους 3 mm. Επιπλέον, το PE έχει καλή περατότητα στο φως. Φύλλο πάχους 0,15 mm αφήνει να διέλθει το 87% του ορατού φωτισμού. Το PE φέρεται στο εμπόριο σε φύλλα μεγάλου πλάτους, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυνατότητα κατασκευής στεγανών θερμοκηπίων, χωρίς μεγάλες διαρροές αέρα. Συνήθως κατασκευάζεται φύλλο πάχους από 20 έως 200 μικρά, σε διάφορα πλάτη μέχρι 11 m. η χρηματική του αξία υπολογίζεται με το βάρος. Τα φύλλα πολυαιθυλενίου έχουν υδρόφοβη επιφάνεια με αποτέλεσμα τη συμπύκνωση των υδρατμών πάνω σε αυτά σε σταγόνες, οι οποίες με την παραμικρή δόνηση πέφτουν επάνω στα φυτά. Ένα άλλο μειονέκτημα των φύλλων μαλακού πολυαιθυλενίου είναι η λύση της συνέχειάς του από το κάρφωμα, η οποία τα καθιστά ευάλωτα στο σχίσσιμο από τον άνεμο. Η συγκόλληση φύλλων πολυαιθυλενίου επιτυγχάνεται μόνο με θέρμανση και ταυτόχρονη συμπίεση. Γι' αυτό το PE μπορεί να συγκολληθεί μόνο με ειδικούς μηχανισμούς θερμοσυρραφής. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι το πολυαιθυλένιο έχει μικρή διάρκεια ζωής δεδομένου ότι η έντονη ηλιακή ακτινοβολία και η υψηλή θερμοκρασία το καταστρέφουν. Η ιδιότητα αυτή αποτελεί το κυριότερο μειονέκτημά του ([http1](#)).

2.Το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) είναι αδιαπέραστο στο νερό και κατά κάποιον τρόπο περισσότερο περατό στους υδρατμούς από το πολυαιθυλένιο, ενώ παρουσιάζει μικρότερη περατότητα στο O₂ και το CO₂. Έχει μικρότερη θερμοαγωγιμότητα από το πολυαιθυλένιο, ($\lambda = 0,17 \text{ Watt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$), με άμεσο αποτέλεσμα την καλύτερη θερμομόνωση του θερμοκηπίου. Επιπλέον, το PVC είναι λιγότερο περατό στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία από το πολυαιθυλένιο. Η περατότητα είναι περίπου 12%.

Όταν είναι καινούργιο το PVC έχει πολύ καλή περατότητα στο φως, η οποία φθάνει περίπου στο 90%. Το μαλακό PVC έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με το πολυαιθυλένιο. Δίδεται εγγύηση 4 και 5 χρόνων για επιφάνειες πάχους 0,2 mm και 0,3 mm αντίστοιχα, όταν έχουν σύνθεση ανθεκτική στις υπεριώδεις ακτινοβολίες. Το κόστος του όμως είναι περίπου 3-4 φορές μεγαλύτερο από αυτό των φύλλων πολυαιθυλενίου πάχους 0,15 mm. Όταν ενισχυθεί με πλαστικές

ίνες πολυαμιδίου, αποκτά μεγαλύτερη αντοχή. Η προσθήκη των ινών προσδίδει επίσης μεγαλύτερη μονωτική ικανότητα, αλλά το καθιστά ακριβότερο και αφαιρεί την περατότητα στο φως ([http1](#)).

Το μαλακό PVC παράγεται σε φύλλα πλάτους 1,25 m ως 2,5 m και πολύ μεγάλο μήκος. Το μικρό πλάτος αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα γιατί απαιτεί περισσότερη εργασία στην τοποθέτηση και γιατί το θερμοκήπιο παρουσιάζει μικρότερη στεγανότητα. Το πλάτος μπορεί να αυξηθεί με κόλλημα, αλλά επιβαρύνεται με επιπλέον κόστος. Ένα άλλο μειονέκτημα του μαλακού PVC είναι ότι κρατάει ηλεκτροστατικά φορτία με αποτέλεσμα να έλκει και να συγκρατεί τη σκόνη. Αυτό με την πάροδο του χρόνου μειώνει σημαντικά την περατότητα στο φως. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα απαιτείται συχνό πλύσιμο ή ψεκασμός με αντιστατικό υγρό (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

3.Οι πολυεστέρες είναι προϊόντα πολυμερισμού της αιθυλικής αλκοόλης, της προπυλικής γλυκόζης, του μαλεϊκού οξέως και του φουμαρικού οξέως. Τα πολυεστερικά φύλλα έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης διάρκειας ζωής. Για οροφή χρησιμοποιείται φύλλο πάχους 0,127 mm που έχει διάρκεια ζωής τουλάχιστον 4 χρόνια, ενώ για τα κάθετα τοιχώματα, φύλλα 0,076 mm με διάρκεια ζωής 7 χρόνια. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι επίσης η περατότητα στο φως, που πλησιάζει εκείνη του γυαλιού, καθώς και η έλλειψη στατικού ηλεκτρισμού, που έχει ως αποτέλεσμα να μην συγκρατεί μεγάλη ποσότητα σκόνης στην επιφάνεια όπως το P.V.C. (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Τα φύλλα σκληρού πλαστικού: Το υλικό κατασκευής των φύλλων σκληρού πλαστικού μπορεί να είναι είτε ενισχυμένος πολυεστέρας είτε πολυκαρβονικές ενώσεις, είτε ακρυλικές ενώσεις, είτε σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο ([http1](#)).

1.Τα φύλλα ενισχυμένου πολυεστέρα προέρχονται από πολυεστέρα στον οποίο έχουν προστεθεί σε ποσοστό 20-34% ίνες γυαλιού με αποτέλεσμα την αυξημένη μηχανική αντοχή και την καλύτερη διάχυση του φωτός στο θερμοκήπιο. Στο εμπόριο τα προϊόντα αυτά είναι περισσότερο γνωστά με το όνομα «fiberglass». (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Το ειδικό βάρος του ενισχυμένου πολυεστέρα είναι σημαντικά ελαφρότερο του τζαμιού (1,3-1,6 g/cm³). Στην οροφή συνήθως χρησιμοποιούνται για κάλυψη αυλακωτές επιφάνειες και στα πλευρικά τοιχώματα επίπεδες ([http1](#)).

Ο πολυεστέρας είναι ανθεκτικός στο χαλάζι και στην μηχανική καταπόνηση, διαβρώνεται όμως με τον χρόνο με αποτέλεσμα την μείωση της περατότητας του στο

φως. Για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα, γίνεται συντήρηση με ακρυλική βαφή. Βελτιωμένος τύπος ενισχυμένου πολυεστέρα έχει καλυμμένη την εξωτερική του επιφάνεια με λεπτό φύλλο «tedlar». Το μειονέκτημα αυτής της επέμβασης είναι το υψηλό κόστος καθώς και το γεγονός ότι σε περίπτωση που το λεπτό αυτό φύλλο είναι κακής ποιότητας δημιουργεί ακόμη μεγαλύτερα προβλήματα. Τελευταία χρησιμοποιούνται και διάφορα άλλα υλικά προστασίας υπό την μορφή ζελατίνης (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας έχει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα η κατανάλωση ενέργειας το χειμώνα να είναι ίδια ή μικρότερη με αυτήν του γυάλινου θερμοκηπίου. Για καλή στεγανότητα του θερμοκηπίου κατά την τοποθέτηση των ενισχυμένων πολυεστερικών φύλλων πρέπει να τοποθετείται ειδική πλαστική λωρίδα στα σημεία που αυτά αλληλεπικαλύπτονται καθώς και στις γωνίες. Η στερέωση των επιφανειών στο σκελετό γίνεται με αλουμινόβιδες που έχουν μεγάλης διαμέτρου κεφαλή (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Τέλος αναφέρεται ότι η επιφάνειες του ενισχυμένου πολυεστέρα είναι υδρόφοβες με συνέπεια να συγκεντρώνονται μεγάλες σταγόνες νερού. Για την αποφυγή του προβλήματος μπορεί η επιφάνεια να ψεκάσθει με ειδικό υγρό που την καθιστά πιο υδρόφιλη. Ένα μειονέκτημα των πολυεστερικών φύλλων είναι ότι είναι εύφλεκτα με συνέπεια να υπάρχει σοβαρός κίνδυνος από πυρκαγιά ([http1](http://)).

2. Τα φύλλα από πολυκαρβονικές ενώσεις (PC) είναι διαθέσιμα στην αγορά με τα ονόματα Thermoclear, Molanex, Qualex, Polygal, Makrolon, Akyver, Gasalith. Κυκλοφορούν στο εμπόριο υπό μορφή απλών αυλακωτών επιφανειών και υπό μορφή διπλών τοιχωμάτων για μείωση των απωλειών θερμότητας. Κατά τη στερέωση θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ο μεγάλος συντελεστής συστολής-διαστολής του υλικού. Μειονέκτημα αποτελεί η μείωση της περατότητας στο φως με την πάροδο του χρόνου. Για να μειωθεί ο ρυθμός υποβάθμισής του, οι επιφάνειες μπορεί να βαφτούν με ακρυλικό διαφανές υλικό (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

3. Τα φύλλα από ακρυλικές ενώσεις διατίθενται στο εμπόριο με τα ονόματα Plexiglas, Vedril και Mouch. Έχουν καλό συντελεστή περατότητας στο φως και η ιδιότητα αυτή διαρκεί πολύ. Παρουσιάζουν υψηλή μηχανική αντοχή, πολύ μεγαλύτερη του γυαλιού, ενώ έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Η διάρκεια αντοχής στο χρόνο είναι συγκρίσιμη με εκείνη του υαλοπίνακα, το κόστος όμως είναι υψηλότερο από αυτό του υαλοπίνακα. Όσο αφορά την δημιουργία

σταγόνων στην επιφάνειά τους, κυκλοφορούν στο εμπόριο φύλλα των οποίων οι εσωτερικές επιφάνειες είναι καλυμμένες με υδρόφιλη μεμβράνη. Η χρήση σιλικόνης που περιέχει οργανικό οξύ ή άλλων οργανικών διαλυτών πρέπει να αποφεύγεται σ' αυτό το υλικό

Το ακρυλικό είναι ένα θαυμάσιο υλικό από πλευράς οπτικών ιδιοτήτων και θερμομόνωσης. Το κόστος του όμως είναι υψηλό, με συνέπεια η χρήση του στα θερμοκήπια να μην έχει διαδοθεί πολύ (http1).

4.Το σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) αποδομείται σχετικά γρήγορα από την υπεριώδη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα αρχικά να σκουραίνει και να μειώνεται η περατότητα του φωτός, ενώ αργότερα γίνεται πιο εύθραυστο. Στα σημεία που έρχονται σε επαφή με το σκελετό του θερμοκηπίου τα φύλλα PVC υποβαθμίζονται γρηγορότερα και η μηχανική τους αντοχή ελαττώνεται. Η ποιότητα των φύλλων PVC ποικίλει ανάλογα με τον τρόπο της παρασκευής τους και ιδιαίτερα την προσθήκη των υλικών κατά την κατασκευή τους και την μέθοδο της σύνθεσης τους. Μερικοί τύποι φύλλων PVC έχουν 5ετή ή και μεγαλύτερης διάρκειας εγγύηση όσον αφορά την διάρκεια ζωής τους και την περατότητα στο φως (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα κυριότερα υλικά κάλυψης θερμοκηπίου καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών.

Πίνακας 2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κυριότερων υλικών κάλυψης (Hanan, 1998).

Υλικό κάλυψης	Τύπος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
A. Γυαλί	Νατράσβεστος (soda lime)	Υψηλή διαπερατότητα, αντοχή σε καιρικά φαινόμενα, μικρή διαστολή λόγω θερμοκρασίας, αντοχή στη ζέστη, στην UV και στις εκδορές	Χαμηλή μηχανική αντοχή, υψηλό κόστος, μεγάλο βάρος, απαιτεί ειδικά πλαίσια για την εγκατάσταση

	Tempered low iron	Ανθεκτικότητα στις ζημιές από το χαλάζι, πιθανή χρήση μεγαλύτερων υαλοπινάκων	
	Πρότυπο (patterned)	Υψηλότερη ακτινοβολία λόγω διάχυσης	
	Διπλό	30 με 40% μειωμένη μεταφορά ενέργειας	Πάρα πολύ υψηλό κόστος
Β. Ακρυλικά Πλαστικά (PMMA)	Άκαμπτο, δύο στρώσεων, με δομή (structured)	Υψηλή διαπερατότητα, ύψιστη αντοχή στην UV και στον καιρό, όχι κιτρίνισμα, ανάλαφρο βάρος, εύκολη κατασκευή	Δημιουργούνται εύκολα αμυχές, υψηλή διαστολή, υψηλό κόστος, εύφλεκτο, σχετικά εύθραυστο λόγω γήρανσης
Γ. Πολυκαρβονικά Πλαστικά (PC)	Άκαμπτο ή ημιεύκαμπτο, με δομή, δύο στρώσεων	Υψηλή μηχανική αντοχή	Μικρή αντοχή στην UV και στον καιρό, υψηλή διαστολή, γδέρνεται εύκολα
Δ. Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	Μεμβράνη, αυλακωτή, άκαμπτη	Υψηλή διαπερατότητα αρχικά, διατίθεται σε πολλές μορφές	Σκουραίνει σχετικά γρήγορα, χαμηλή μηχανική αντοχή, εύθραυστο

Ε. Πολυαιθυλένιο (PE)	Μεμβράνη με ή χωρίς παρεμποδιστές της υπέρυθρης και αντοχή στη UV	Πολύ χαμηλό κόστος, εύκολο στην εφαρμογή, φύλλα μεγάλου μεγέθους, υψηλή μηχανική αντοχή	Μικρή διάρκεια ζωής, χαμηλή θερμική αγωγιμότητα
ΣΤ. Πολυεστέρας	Μεμβράνη, κατασκευή σε πολλές στρώσεις	Υψηλή διαπερατότητα, αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία και στις καιρικές συνθήκες, high service temperatures	Χαμηλή μηχανική αντοχή, στενά φύλλα, αποδομείται με την επίδραση της υπεριώδους

3.2 Νέα υλικά κάλυψης

Η τεχνολογία, όσον αφορά στα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων έχει σημειώσει σε σχέση με την προηγούμενη δεκαετία αρκετά σημαντική πρόοδο, δίνοντας έτσι στους παραγωγούς πρόσβαση σε υλικά, τα οποία αντέχουν χρονικά δύο φορές περισσότερο, βελτιώνουν την διέλευση του φωτός και έχουν υποστεί μηχανικές τροποποιήσεις ώστε να βοηθούν στην αύξηση της παραγωγής (Carruthers, 2004).

Έχουν δημιουργηθεί επίσης νέα υλικά κάλυψης στα οποία βρίσκονται ενσωματωμένες κάποιες χρωστικές έτσι ώστε να μεταβάλλουν το φάσμα του φωτός που εισέρχεται μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτά τα φωτοεκλεκτικά υλικά κάνουν εφικτή την προώθηση ή την επιβράδυνση της ανάπτυξης των φυτών, προκαλώντας επιμήκυνση ή νανισμό των βλαστών. Χρησιμοποιούνται κυρίως από παραγωγούς ανθέων για τη βελτίωση του χρώματος και για την προώθηση ειδικών χαρακτηριστικών, τα οποία απαιτεί η αγορά όπως για παράδειγμα τα τριαντάφυλλα

με μακριούς βλαστούς. Κάποιες φορές χρησιμοποιούνται και από τους παραγωγούς τομάτας και πιπεριάς για την ενίσχυση του χρώματος και της ποιότητας (Carruthers, 2004).

“Τα υλικά κάλυψης θερμοκηπίου τα οποία είναι φωτοεκλεκτικά (απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας) έχει βρεθεί ότι είναι χρήσιμα όχι μόνο στην ανάπτυξη των φυτών αλλά και στην καταπολέμηση μυκητολογικών ασθενειών. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι αυτά τα υλικά κάλυψης μπορούν να είναι αποτελεσματικά αποκλείοντας τα επιβλαβή έντομα και έμμεσα τις ιολογικές ασθένειες (Antignus, 2000).

Σε πειράματα που έχουν διεξαχθεί στο Ισραήλ τα φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης λειτούργησαν ως αποτελεσματικά φίλτρα εξαλείφοντας το φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας και ως εκ τούτου περιόρισαν την ανάπτυξη πληθυσμών εντόμων καθυστερώντας έτσι τις επιδημίες ιών. Παρατηρώντας και συγκρίνοντας την είσοδο των επιβλαβών εντόμων σε θερμοκήπια καλυμμένα με διαφορετικά πλαστικά, αποδείχθηκε ότι οι προσβολές μειώθηκαν δραματικά κάτω από τα απορροφητικά στην υπεριώδη ακτινοβολία υλικά σε σύγκριση με το συνηθισμένο πολυαιθυλένιο. Καταγράφηκαν μειωμένοι πληθυσμοί για μεγάλο εύρος εντόμων συμπεριλαμβανομένων του αλευρώδη, του θρίπα, των αφίδων και των φυλλορουκτών (Antignus, 2000).

Ακόμη υπάρχουν νέα υλικά τα οποία επιδρούν στο κλίμα του θερμοκηπίου παρεμποδίζοντας την υπεριώδη ακτινοβολία. Δημιουργούν έτσι συνθήκες δροσιάς κατά τη διάρκεια της ημέρας και επιβραδύνουν την πτώση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης κάποια υλικά κάλυψης βελτιώνουν τη διάχυση του φωτός καθώς το φως που τελικά διέρχεται μέσα στο θερμοκήπιο “λούζει” τα φυτά και είναι έντονο χωρίς όμως να είναι άμεσο. Με τη χρήση αυτού του υλικού αντί να αποδίδεται το 90% του διαθέσιμου φωτός στο 20% της επιφάνειας της καλλιέργειας, το φαινόμενο της διάχυσης αποδίδει 85% του διαθέσιμου φωτός στο 80% της καλλιέργειας. Έτσι μειώνεται και το φαινόμενο του φωτοτροπισμού (Carruthers, 2004).

Οι ιδιότητες του υλικού κάλυψης μπορούν να επηρεάσουν την επέκταση κάποιων ασθενειών στην καλλιέργεια εμποδίζοντας την είσοδο της υπεριώδους ακτινοβολίας την οποία απορροφούν. Είναι γνωστό ότι η ακτινοβολία αυτή είναι απαραίτητη για την παραγωγή σπορίων σε ορισμένους μύκητες (Papadakis et al., 2000).

Τέλος, έχουν κατασκευαστεί υλικά κάλυψης τα οποία παρεμποδίζουν την πτώση των σταγόνων του νερού που δημιουργούνται στο εσωτερικό της οροφής του θερμοκηπίου πάνω στα φυτά αυξάνοντας τον κίνδυνο ασθενειών. Τα σταγονίδια αυτά είναι επίσης ανεπιθύμητα καθώς προκαλούν μια μείωση στη διαπερατότητα του φωτός της τάξεως του 15-30% (Carruthers, 2004) αλλά και για το λόγο ότι δρουν ως φακοί, συγκεντρώνοντας το ηλιακό φως και προκαλώντας εγκαύματα στα φυτά (Geoola et al., 2002). Τα σύγχρονα υλικά κάλυψης περιέχουν πρόσθετα τα οποία συντελούν στη δημιουργία του συμπακνώματος στην οροφή του θερμοκηπίου με τη μορφή λεπτού στρώματος νερού (film) και όχι σταγόνων, το οποίο τελικά απορρέει στα πλαϊνά του θερμοκηπίου (Geoola et al., 2003).

3.3 Επιδράσεις του τροποποιημένου φάσματος

Από ποιοτικής απόψεως το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από το θερμοκήπιο μπορεί να τροποποιηθεί σημαντικά από τις οπτικές ιδιότητες του υλικού κάλυψης. Αυτές οι ποιοτικές αλλαγές στη μεταδιδόμενη ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου επιφέρουν μορφογενετικές επιδράσεις και μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα τροποποιήσεις στην αρχιτεκτονική και στο σχήμα των φυτών με συγκεκριμένες επιπτώσεις, σε κάποιες περιπτώσεις στην αξία της καλλιέργειας και ειδικότερα στα καλλωπιστικά φυτά (Kittas and Baille, 1998).

Αλλαγές στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου μπορούν να έχουν συγκεκριμένες επιδράσεις στην εξέλιξη της ανάπτυξης και στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Τα ποσά της φωτοσύνθεσης μειώνονται σε χαμηλή PAR και γενικά απώλεια φωτός οδηγεί σε ανάλογη απώλεια της παραγωγής (Papadopoulos and Hao, 1997).

Είναι γνωστό ότι μικρές διαφορές στην διαπερατότητα των υλικών στην ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Για παράδειγμα έχει αποδειχθεί ότι αύξηση της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (PAR) κατά 1% αύξησε την παραγωγή τομάτας μεγάλης καλλιέργειας περίπου σε ποσοστό 1% (Pearson et al., 1995).

Πειράματα στην Ολλανδία καταδεικνύουν 10-15% και 4-13% μείωση της παραγωγής για τομάτες οι οποίες μεγάλωναν κάτω από διπλό υαλόφρακτο θερμοκήπιο, σε σύγκριση με θερμοκήπια τα οποία είχαν απλό υαλοπίνακα. Στη Νορβηγία το επίπεδο του φωτός σε ακρυλικά και υάλινα θερμοκήπια ήταν 52% και 61%, αντιστοίχως, του επιπέδου του φωτός έξω από το θερμοκήπιο. Σε αυτήν την περίπτωση το ακρυλικό κάλυμμα είχε αρνητική επίδραση στην παραγωγή αγγουριού σε σχέση με το γυάλινο. Από την άλλη όμως η παραγωγικότητα της τομάτας βρέθηκε να είναι παρόμοια στις δύο περιπτώσεις (Papadopoulos and Hao, 1997).

Είναι ακόμη γνωστό ότι η παροχή συμπληρωματικού φωτός αυξάνει το ποσοστό της φωτοσύνθεσης, της ανάπτυξης και της αύξησης των φυτών καθώς επίσης και την ποιότητα των παραγομένων καρπών (Hao and Papadopoulos, 1999).

4. Φωτοσύνθεση

4.1 Γενικά

Η φωτοσύνθεση θεωρείται από τη βιολογία σαν το σημαντικότερο βιολογικό φαινόμενο της φύσης. Η μεγάλη σπουδαιότητα της από πρακτική άποψη είναι ότι αποτελεί την παραγωγή όλης της βιομάζας, των τροφών καθώς και του οξυγόνου που υπάρχει στη φύση. Με άλλα λόγια η φωτοσύνθεση είναι η σύνθεση από τα πράσινα φυτά (απαραίτητη η χλωροφύλλη), οργανικών ουσιών από ανόργανα στοιχεία με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας, του διοξειδίου του άνθρακα, του αέρα και του νερού.

Η φωτοσύνθεση στα φυτά γίνεται στους χλωροπλάστες, από 40 έως 200 σε αριθμό οι περισσότεροι από τους οποίους βρίσκονται μέσα στο κύτταρο, δηλαδή κέντρο της φωτοσύνθεσης είναι οι χλωροπλάστες των κύτταρων και το όργανο της φωτοσύνθεσης είναι τα φύλλα (Λόλας 2000).

4.2 Φωτοσύνθεση και ηλιακή ακτινοβολία

Η υπέρυθη ακτινοβολία δεν είναι επιβλαβής για τους ζώντες οργανισμούς, δεδομένου ότι έχει μεγάλο μήκος κύματος και συνεπώς δεν είναι διεισδυτική. Αντίθετα, ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας (780-880 nm) ασκεί θετική επίδραση στην ανάπτυξη της ζωής, δεδομένου ότι επηρεάζει τη φωτομορφογένεση των φυτών (π.χ. φύτρωμα σπόρων, φωτοτροπισμός, έλεγχος ανθίσεως κ.λ.π.).

Με εξαίρεση τη φωτομορφογένεση, η υπέρυθη ακτινοβολία από βιολογική άποψη έχει σημασία κυρίως ως θερμική ενέργεια που προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, του εδάφους, των φυτών και γενικά του γήινου περιβάλλοντος.

Από το ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας (380-780 nm), χρήσιμο για τη φωτοσύνθεση των φυτών είναι το τμήμα μεταξύ 400-720 nm, το οποίο για το λόγο αυτό ονομάζεται "φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία" (PAR = photosynthetic active radiation), με μέγιστη απορρόφηση από τη χλωροφύλλη (τύπου a και b) στα 400-480 nm, (κυανού φως) και 630-680nm (ερυθρό φως) (Giacomelli, 1998). Το τμήμα αυτό του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αντιστοιχεί στο 50% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης. Ειδικά μέσα στα θερμοκήπια, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζεται και από τα υλικά κάλυψης τα οποία απορροφούν ή αντανακλούν μέρος αυτής (περίπου το 30-50% αυτής). Μέχρι κάποιο όριο, όταν αυξάνει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, αυξάνεται και ο ρυθμός φωτοσύνθεσης.

Το ύψος της έντασης, πάνω από το οποίο η φωτοσύνθεση των φυτών δεν αυξάνεται καλείται ένταση κορεσμού. Όταν όμως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι υπερβολικά μεγάλη η παραγωγή βιομάζας μέσω της φωτοσύνθεσης μειώνεται, πρώτον γιατί ανυψώνεται υπερβολικά η θερμοκρασία οπότε αυξάνεται η φωτοαναπνοή και δεύτερον επειδή αυξάνονται οι απώλειες νερού μέσω της διαπνοής, με συνέπεια να κλείνουν τα στομάτια και να εμποδίζεται η είσοδος του CO₂ ([http 2](#)).

Όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται, ελαττώνεται ανάλογα και η φωτοσύνθεση. Όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειωθεί τόσο ώστε να αγγίξει ένα συγκεκριμένο κατώτατο επίπεδο, η βιομάζα που παράγεται με την φωτοσύνθεση ισούται με τη βιομάζα που καταναλώνεται μέσω της αναπνοής, για τη διατήρηση του φυτού στη ζωή. Στο σημείο αυτό, το φυτό δεν παράγει περαιτέρω φυτική μάζα και επομένως εμφανίζει μηδενική αύξηση ([http5](#)).

Για να μειωθεί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που μπαίνει στο θερμοκήπιο κατά τους θερινούς μήνες και συνεπώς και η θερμοκρασία του χώρου, λαμβάνονται μέτρα σκίασης. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος εποχιακής σκίασης των θερμοκηπίων στην Ελλάδα είναι το βάψιμο του υλικού καλύψεως (γυαλί ή πλαστικό) με ασβέστη, στόκο ή άλλο ανοιχτόχρωμο μη τοξικό για τα φυτά υλικό με υψηλό δείκτη ανάκλασης (<http5>).

4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη φωτοσύνθεση

Η φωτοσύνθεση λαμβάνει χώρα στα πράσινα φύλλα και όχι σε άλλα πράσινα όργανα του φυτού όπως στους βλαστούς ή τις ταξιανθίες. Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης επηρεάζεται από τους εξής κλιματικούς παράγοντες :

- Τη θερμοκρασία του αέρα (υψηλή ή χαμηλή)
- Την ένταση και την ποιότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο φυτό
- Το επίπεδο CO₂ στον αέρα που περιβάλλει το φυτό

Το ύψος της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη φυλλική επιφάνεια του φυτού είναι ο παράγοντας εκείνος που επηρεάζει την αύξηση του. Ο έλεγχος του συνολικού ποσού ενέργειας που προσλαμβάνεται από ένα φυτό, κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος και το ύψος αυτής σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, καθορίζει την επίδοση του (Mpelkas, 1989, Legg, 1988).

Υψηλής έντασης ακτινοβολία είναι πιθανότατα περιοριστικός παράγοντας για την παραγωγή τομάτας, όπως και η χαμηλής έντασης ακτινοβολία.

5. Αύξηση φυτών

5.1 Ορισμός αύξησης

Αύξηση είναι η μη αναστρέψιμη μεγέθυνση ή διόγκωση, που συνοδεύεται από βιοσύνθεση νέων πρωτοπλασματικών συστατικών. Διακρίνεται α) στην κυτταρική διαίρεση και β) στην κυτταρική επιμήκυνση. Η κυτταρική διαίρεση καταλήγει σε δυο θυγατρικά κύτταρα, που προέρχονται από ένα μητρικό, αυξάνοντας έτσι τον αριθμό των κυττάρων. Θεωρείται ότι ολοκληρώνεται αυτή η διαδικασία, όταν τα κύτταρα φτάσουν το μέγεθος του αρχικού μητρικού κυττάρου. Η κυτταρική επιμήκυνση καταλήγει σε αύξηση του μεγέθους των νεοσχηματισθέντων κυττάρων, που ξεπερνά εκείνη του μητρικού (Καράταγλης, 1999).

Με τον όρο αύξηση εννοούμε αποκλειστικά την ποσοτική μεταβολή μη αναστρέψιμη, η οποία συντελείται με την αύξηση της φυτικής ουσίας ή τη μεγέθυνση των ζωντανών μερών. Όταν ένας κλάδος μεγθύνεται με τον πολλαπλασιασμό και την αύξηση των κυττάρων του, στην πραγματικότητα επιτελείται ένα φαινόμενο αυξήσεως.(Τσέκος, 2003).

Με την αύξηση το κύτταρο, ο ιστός ή ένα όργανο του φυτού γίνεται μεγαλύτερο σε μέγεθος (μήκος ή όγκο) και / ή σε βάρος (χλωρό ή ξηρό). Η ανάπτυξη δε συνοδεύεται απαραίτητα πάντα από μεγαλύτερο μέγεθος ή βάρος όπως συμβαίνει με την αύξηση. Μπορεί να έχουμε αύξηση ενός φυτού χωρίς ανάπτυξη ή ανάπτυξη του φυτού χωρίς αύξηση. Όμως τις περισσότερες φορές συμβαίνουν ταυτόχρονα και δύσκολα διαχωρίζονται (Λόλας, 2000).

5.2 Θέσεις της αύξησης στο φυτό

Στα αρχικά (εμβρυακά) αναπτυξιακά στάδια η παραγωγή νέων κυττάρων γίνεται σε όλη την έκταση του νεαρού φυτικού οργανισμού. Καθώς, όμως αυτός μεγαλώνει και διαφοροποιείται σε ένα ώριμο και ανεξάρτητο άτομο, η προσθήκη νέων κυττάρων περιορίζεται σταδιακά μόνο σε ορισμένα μέρη του φυτικού σώματος, τα οποία είναι επιφορτισμένα με τη διαδικασία της αύξησης. Έτσι σε συγκεκριμένες θέσεις του φυτού παραμένουν εφ' όρου ζωής του τμήματα εμβρυακού ιστού. Κατά συνέπεια το ώριμο άτομο συγκροτείται από ώριμους και από νεαρούς ιστούς. Αυτοί

οι παραμένοντες διαρκώς νεαροί ιστοί που ασχολούνται βασικά με το σχηματισμό νέων κυττάρων είναι τα μεριστώματα (Δεληβόπουλος, 1994).

Τα μεριστώματα ξεχωρίζουν καταφανώς τους φυτικούς από τους ζωικούς οργανισμούς. Στους πρώτους η αύξηση γίνεται από συγκεκριμένες περιοχές τους, δηλαδή από τα μεριστώματα και είναι ανοιχτή ή αόριστη, δηλαδή μπορεί να συνεχίζεται δια βίου. Αυτό σημαίνει ότι τα φυτά δεν έχουν προκαθορισμένο μέγεθος και εφόσον οι συνθήκες είναι ευνοϊκές μπορούν να συνεχίσουν να αυξάνονται συνεχώς. Πράγματι το συγκεκριμένο μέγεθος πολλών φυτών οφείλεται κυρίως σε περιοριστικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες (Δεληβόπουλος, 1994).

Η αύξηση των ιστών δεν είναι ούτε ομοιόμορφη ούτε τυχαία. Τα παράγωγα των κορυφαίων μεριστωμάτων επεκτείνονται κατά προκαθορισμένους και τοποειδικούς τρόπους και τα πρότυπα μεγέθυνσης (επέκτασης) σε αυτές τις υποκόρυφες περιοχές σε μεγάλο βαθμό καθορίζουν το μέγεθος και την μορφή του πρωτογενούς φυτικού σώματος. Η συνολική αύξηση του φυτού μπορεί να θεωρηθεί ως το άθροισμα των τοπικών προτύπων της κυτταρικής μεγέθυνσεως, ενώ η μορφογένεση (η απόκτηση του σχήματος ή της μορφής) είναι το άθροισμα των προτύπων της κυτταρικής διαίρεσης και της κυτταρικής μεγέθυνσης. (Τσέκος, 2003)

5.3 Μέτρηση της αύξησης

Η αύξηση μπορεί να μετρηθεί κατά πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Μπορεί να μετρηθεί σαν ύψος φυτού, σαν μέγεθος φύλλων (μήκος, πλάτος, επιφάνεια), σαν βάρος (χλωρό, ξηρό) όλου του φυτού ή μερών του φυτού (ρίζα, βλαστό, φύλλα, ανθοταξία, καρποί), σαν όγκος, σαν διάμετρος (π.χ. κορμοί), σαν αριθμός κυττάρων, σαν περιεκτικότητα χημικών συστατικών του φυτού όπως σάκχαρα, πρωτεΐνες, ένζυμα κτλ. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να παρασταθούν γραφικά με καμπύλες (Λόλας, 2000).

6. Η Καλλιέργεια της Τομάτας

6.1 Γενικά

Η τομάτα είναι κατά κανόνα ετήσιο λαχανικό αρκετά διαδεδομένο και πολύ δημοφιλές. Η δημοτικότητα της τομάτας ποικίλει στις διάφορες χώρες, αλλά είναι πολύ λίγες οι περιοχές της γης όπου η τομάτα δεν καλλιεργείται. Καλλιεργείται για τον καρπό της ο οποίος καταναλώνεται ώριμος, νωπός, αποξηραμένος, σε άλμη, ακέραιος ή σε πολτό (Ολύμπιος, 2001).

Η τομάτα είναι μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες ανά τον κόσμο, με ετήσια παραγωγή 29,6 εκατομμύρια τόνους το 1999. Στις Ηνωμένες Πολιτείες η τομάτα είναι η δεύτερη πιο σημαντική καλλιέργεια σε οικονομική αξία, και αν συμπεριλάβουμε τις τομάτες που υφίστανται επεξεργασία, είναι δεύτερο πιο δημοφιλές λαχανικό σε κατά κεφαλή χρήση (Moraru et al., 2004).

Παράλληλα εμπεδώνεται η μεγάλη διατητική αξία της τομάτας καθώς αποδεικνύεται ότι αποτελεί για τον άνθρωπο μια από τις κύριες πηγές κάλυψης των αναγκών του σε βιταμίνες και ιχνοστοιχεία. Σήμερα θεωρείται ότι με τον τρόπο που καταναλώνεται στις δυτικές χώρες αποτελεί το πιο σημαντικό λαχανικό από την άποψη αυτή. Το ενδιαφέρον για την τομάτα αυξάνει ακόμη περισσότερο τα τελευταία χρόνια χάρη στο λυκοπένιο που περιέχει. Το λυκοπένιο είναι μια καροτενοειδής χρωστική που υπάρχει άφθονη στον καρπό της τομάτας ο οποίος οφείλει ακριβώς σε αυτήν το χαρακτηριστικό του κόκκινο χρώμα. Εκτός από τις χρωστικές του ιδιότητες το λυκοπένιο είναι και ισχυρή αντιοξειδωτική ουσία. Πολλά πρόσφατα πειράματα έχουν δείξει ότι άνθρωποι που καταναλώνουν αυξημένες ποσότητες τομάτας και προϊόντων από τομάτα έχουν σημαντικά μικρότερο κίνδυνο για καρδιοπάθειες και ορισμένες μορφές καρκίνου (Ανώνυμος, 2002).

Σήμερα η καλλιέργεια της τομάτας εκτείνεται από τις τροπικές περιοχές μέχρι και τις περιοχές που απέχουν μερικές μοίρες από τον αρκτικό κύκλο και στις μεν περιοχές όπου η διάρκεια της θερμής περιόδου το επιτρέπει, η τομάτα καλλιεργείται στο ύπαιθρο, ενώ σε άλλες περιοχές και σε περιόδους «εκτός εποχής», καλλιεργείται σε θερμοκήπια και σε άλλες κατασκευές υπό προστασία (Ολύμπιος, 2001).

6.2 Καταγωγή – Ιστορικό

Η τομάτα (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ανήκει στην οικογένεια Solanaceae. (Ολύμπιος, 2001).

Ο τόπος καταγωγής της πιστεύεται ότι είναι η Ν. Αμερική, ιδιαίτερα το Περού, όπου και σήμερα αυτοφύονται διάφορες παραλλαγές της άγριας τομάτας. Σύμφωνα με όλα τα στοιχεία, από το Περού η άγρια τομάτα μεταφέρθηκε μάλλον ως ζιζάνιο με σπόρους καλαμποκιού, στην Κεντρική Αμερική, ιδιαίτερα στο Μεξικό, όπου άρχισε η καλλιέργεια και η χρήση της από τους Ινδιάνους και τους Αζτέκους πριν από πάρα πολλά χρόνια. Από το Μεξικό μέσω των Ισπανών εξερευνητών η τομάτα ήρθε στην Ευρώπη το 16^ο αιώνα. Για δύο περίπου αιώνες θεωρείται περίεργο και επικίνδυνο είδος και την χρησιμοποιούν μόνο στην Ισπανία, Ιταλία και Γαλλία. Οι Βορειοευρωπαίοι αντιμετωπίζουν την τομάτα με πολύ σκεπτικισμό μέχρι το 18^ο αιώνα, οπότε υπάρχουν και οι πρώτες αναφορές για εμπορία τομάτας από μεσογειακές χώρες. Παρόμοια στάση και επιφυλακτικότητα υπήρχε και στη Βόρεια Αμερική όπου η τομάτα έφτασε με τους Ευρωπαίους εποίκους στα μέσα του 17^{ου} αιώνα αλλά η καλλιέργεια και η ευρεία χρήση της αρχίζει μόλις μετά τα μέσα του 18^{ου} αιώνα (Ανώνυμος, 2002).

Στην Ελλάδα η εισαγωγή της έγινε αρχικά στην Αθήνα περίπου το 1818 (Ολύμπιος, 2001).

Η τομάτα στον τόπο καταγωγής της είναι πολυετές φυτό, αλλά στις εύκρατες ζώνες καλλιεργείται σαν ετήσιο, γιατί νεκρώνεται το χειμώνα.

Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες, από άποψη βλαστικής ανάπτυξης:

1. *Αναρριχώμενες*, στις οποίες ο κεντρικός βλαστός μεγαλώνει συνεχώς και σχηματίζεται διαδοχικά μεγάλος αριθμός ταξιανθιών. Από μασχαλιαίους οφθαλμούς αναπτύσσονται βλαστοί 2^{ης}, 3^{ης} τάξης κλπ. που σχηματίζουν και αυτοί ταξιανθίες. Οι ποικιλίες αυτές συνήθως καλλιεργούνται για παραγωγή τομάτας νωπής κατανάλωσης.

2. *Αυτοκλαδεύμενες*, στις οποίες μετά από το σχηματισμό ορισμένου αριθμού ταξιανθιών (ανάλογα με την ποικιλία) σταματά η ανάπτυξη του κεντρικού βλαστού. Οι νάνες ποικιλίες έχουν μικρή βλαστική ανάπτυξη, μεγαλύτερο αριθμό καρπών ανά μονάδα φυλλικής επιφάνειας, η ανθοφορία τους συνήθως ολοκληρώνεται σε λίγες εβδομάδες καθώς και η καρπόδεση, με αποτέλεσμα η ωρίμανση να γίνεται συγκεντρωμένα, δηλ. μέσα σε μικρή σχετικά χρονική περίοδο, και για αυτό είναι κατάλληλες για μηχανική συγκομιδή. Οι ποικιλίες αυτές χρησιμοποιούνται κατά κανόνα για την παραγωγή πρώτης ύλης για τη βιομηχανία κονσερβοποίησης τομάτας (<http3>).

6.3 Έκταση και παραγωγή καλλιέργειας

Στατιστικά στοιχεία που αναφέρονται στην έκταση και παραγωγή καλλιέργειας τομάτας στην Ελλάδα παρουσιάζονται στον πίνακα 3. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συνολική έκταση που καλλιεργείται με τομάτες έρχεται δεύτερη μετά την πατάτα, ότι ένα μεγάλο μέρος της έκτασης (62,5%) καλλιεργείται με τομάτες που προορίζονται για μεταποίηση, ότι το 34,3% είναι υπαίθρια καλλιέργεια για νωπή κατανάλωση και ότι το 3,2% της έκτασης είναι καλλιέργεια σε θερμοκήπια και σκέπαστρα.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των θερμοκηπίων που καλλιεργούνται με τομάτα βρίσκεται στην Κρήτη (43,3%), ακολουθεί η Πελοπόννησος και η Δ. Στερεά (23,3%) και τέλος η Κ. & Δ. Μακεδονία (15,85%).

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ (τον.)	ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ (τον./στρ.)
Α. Μακεδονίας - Θράκη	582	4.754	8,2
Δ. κ' Κ. Μακεδονίας	4.951	40.146	8,1
Ηπείρου	1.579	16.955	10,7
Θεσσαλίας	1.282	11.625	9,1
Πελοποννήσου - Δ. Στερεάς	4.107	40.063	9,8
Αττικής - Νήσων	1.905	20.190	10,6
Κρήτης	7.897	113.450	14,4
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	22.303	247.183	

Πίνακας 3: Στοιχεία έκτασης και μέσης απόδοσης κατά στρέμμα καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου κατά γεωγραφικό διαμέρισμα για το έτος 1997 (Ολύμπιος, 2001).

6.4 Γεωγραφική κατανομή θερμοκηπίων στην Ελλάδα

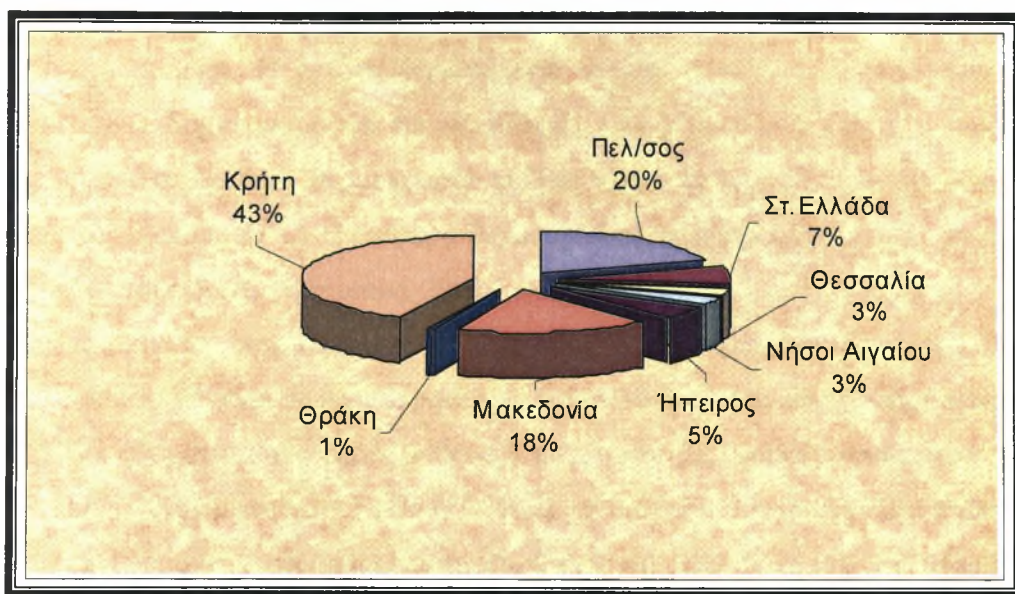
Τα θερμοκήπια έκαναν την εμφάνιση τους στην Ελλάδα στα μέσα της δεκαετίας του 1950. Η σημαντική όμως εξάπλωσή τους αρχίζει μετά το 1960 με τη χρήση των πλαστικών φύλλων ως υλικού κάλυψης και έκτοτε παρατηρείται μια συνεχής αύξηση της έκτασης των θερμοκηπίων που σήμερα φτάνει τα 50000 στρέμματα περίπου. Οι κλιματολογικές συνθήκες αποτελούν τον καθοριστικό παράγοντα εξάπλωσης και ανάπτυξης των θερμοκηπίων.

Τα περισσότερα θερμοκήπια είναι συγκεντρωμένα στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από ήπιο χωρίς παγετούς χειμώνα επειδή μειώνονται σημαντικά οι ανάγκες για θέρμανση. Το 79% της συνολικής έκτασης θερμοκηπίων χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια λαχανοκομικών και το 10% για ανθοκομικά προϊόντα.

Τα κυριότερα είδη που καλλιεργούνται είναι η τομάτα και το αγγούρι από τα λαχανοκομικά ενώ από τα ανθοκομικά γλαστρικά φυτά, τα γαρύφαλλα και τα τριαντάφυλλα. Όσο αφορά τη μέση παραγωγή ενδεικτικά αναφέρεται ότι φτάνει τους 10 τόνους ανά στρέμμα για την τομάτα (διπλάσια της παραγωγής στην ύπαιθρο). Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι η αντίστοιχη απόδοση για την τομάτα στην Ολλανδία φτάνει τους 60 τόνους ανά στρέμμα. Σχετικά με την προσφορά θερμοκηπιακών προϊόντων στις χώρες της Ε. Ε, σημειώνεται ότι γενικά τον χειμώνα υπάρχει έλλειψη θερμοκηπιακών προϊόντων και γίνονται σημαντικές εισαγωγές από άλλες χώρες

(κυρίως μεσογειακές), ενώ το καλοκαίρι υπάρχει πλεόνασμα, το οποίο εξάγεται (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Η κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα όπως φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί, κατά κανόνα δείχνει την κλιματική διαφοροποίηση των επί μέρους περιοχών. Περισσότερες εκτάσεις θερμοκηπίων συναντώνται στις πλέον ευνοϊκές από πλευράς κλίματος περιοχές με ήπιους χειμώνες και απουσία παγετών κ.τ.λ.



Γράφημα 1: Κατανομή της έκτασης των θερμοκηπίων στην Ελλάδα, στα γεωγραφικό διαμερίσματα (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας 1998)

6.5 Κλιματικές απαιτήσεις

Η τομάτα είναι φυτό που καλλιεργείται κατά τη θερμή περίοδο του έτους και απαιτεί χρονική περίοδο διάρκειας τουλάχιστο 3-4 μηνών, από τη σπορά μέχρι την έναρξη της συγκομιδής. Κάτω των 12°C το φυτό παθαίνει ζημιές σε όλα τα στάδια αναπτύξεώς του (φύτρωμα - ανάπτυξη - καρποφορία). Το άριστο της βλαστικής ανάπτυξης παρατηρείται στους 20-25°C. Η βλαστική ανάπτυξη είναι ταχύτερη όταν παρατηρείται διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε ημέρα και νύχτα 4-5°C (θερμοπεριοδισμός). Η άριστη θερμοκρασία νύχτας ποικίλλει με την ηλικία του φυτού ([http4](#)). Συμπερασματικά για την Ελλάδα, τους χειμερινούς μήνες θα μπορούσε χονδρικά να συνιστάται θερμοκρασία νύκτας γύρω στους 15°C και θερμοκρασία ημέρας γύρω στους 21°C. Η διαφορά θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας δε θα πρέπει να ξεπερνά τους 5-7°C (Ολύμπιος, 2001).

Η καρπόδεση, στις περισσότερες ποικιλίες, γίνεται καλύτερα στους 16-22°C, ενώ δεν μπορεί να γίνει σε θερμοκρασίες άνω των 30-35°C και επίσης κάτω των 10-15°C λόγω σχηματισμού ατελούς άνθους ή γιατί η χαμηλή θερμοκρασία επιδρά δυσμενώς στη γονιμοποίηση. Εφόσον δε γίνει γονιμοποίηση, παρατηρείται πτώση του άνθους (ανθόρροια). Ανθόρροια επίσης συμβαίνει και όταν η υγρασία του αέρα και η ένταση του φωτός είναι μικρή. Η τομάτα παρουσιάζει ποσοτική, φωτοπεριοδική αντίδραση. Αυτό σημαίνει ότι ανθίζει σε οποιαδήποτε φωτοπερίοδο, αλλά όταν η φωτοπερίοδος είναι μικρή (κάτω από 12 ώρες) τότε ανθίζει νωρίτερα. Το optimum της ανάπτυξης και καρπόδεσης της τομάτας συμβαίνει σε σχετικά μεγάλες εντάσεις φωτός (50.000 lux) ([http4](#)).

6.6 Εχθροί και ασθένειες της τομάτας

Οι κυριότερες ασθένειες που προσβάλλουν την τομάτα είναι:

- η κλαδοσπορίαση (*Cladosporium fulvum*),
- το ωίδιο (*Leveillula taurica*),
- η σκληρωτινίαση (*Sclerotinia sclerotum*),
- η φαιά σήψη (*Botrytis cinerea*), και
- κάποιοι περονόσποροι (*Phytophthora infestans*, *Alternaria solani*).

Οι κυριότεροι ζωικοί εχθροί είναι:

- οι νηματώδεις (*Meloidogyne spp.*, *Heterodera rostochiensis*)
- διάφορα είδη αφίδων
- οι θρίπες (*Thrips tabaci*)
- ο φυλλορρύκτης της τομάτας (*Liriomyza solani*)
- ο αλευρώδης (*Trialeurodes vaporariorum*) και
- ο τετράνυχος (*Tetranychus urticae*)

Οι κυριότερες ιολογικές ασθένειες που προσβάλλουν την τομάτα είναι:

- το μωσαϊκό του καπνού (TMV)
- το κίτρινο καρούλιασμα των φύλλων (TYLCV) (Ολύμπιος, 2001).

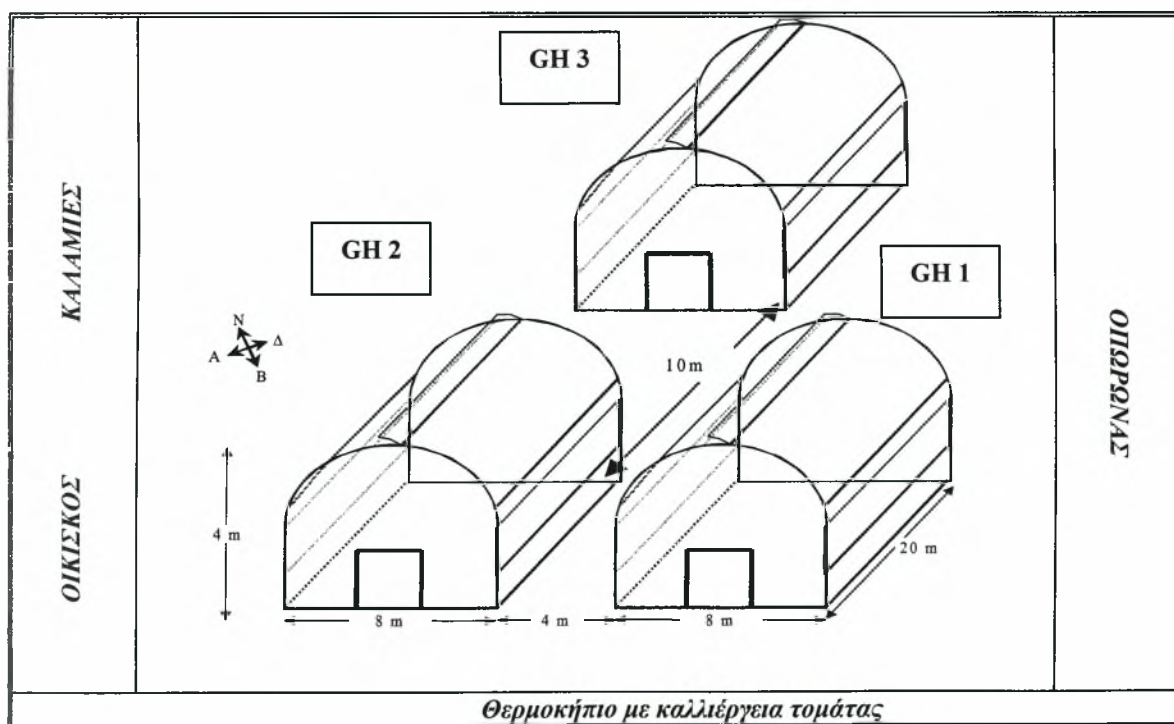
III. Υλικά και Μέθοδοι

1. Η τοποθεσία

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, οι οποίες βρίσκονται στην περιοχή του Βελεστίνου, σε απόσταση 18 χιλιομέτρων από την πόλη του Βόλου και νοτιοδυτικά στο Νομό Μαγνησίας.

2. Τα θερμοκήπια

Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τρία πανομοιότυπα θερμοκήπια, τροποποιημένα τοξωτά, επιφανείας 160m^2 (20 μέτρα μήκος και 8 μέτρα πλάτος) το καθένα και μεγίστου ύψους 4,1m στον κορφιά, ενώ το ύψος του ορθοστάτη έφτανε τα 2,4 μέτρα. Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφάνες, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό. Η διάταξη των θερμοκηπίων παρουσιάζεται ενδεικτικά στην Εικόνα 2.1



Εικόνα 2.1 Τα τρία θερμοκήπια στα οποία πραγματοποιήθηκε το πείραμα

Τα κοντινότερα εμπόδια προς αυτά ήταν, όπως φαίνεται στο Σχήμα , στην ανατολική πλευρά δέντρα ύψους 4 μέτρων, που λειτουργούσαν ως ανεμοθραύστες,

και καλαμιές, τα οποία όμως δεν σκίαζαν καθόλου τα θερμοκήπια καθώς βρίσκονταν σε απόσταση 15 μέτρων από αυτά. Αριστερά του GH2 υπήρχε ένας οικίσκος στον οποίο βρίσκονταν οι δεξαμενές του υδροπονικού συστήματος καθώς και ο υπολογιστής με τον οποίο γινόταν η διαχείριση του συστήματος αυτού. Δεξιά του θερμοκηπίου GH1, υπήρχε οπωρώνας, ενώ στην μπροστινή του πλευρά, βρισκόταν άλλο θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας. Το θερμοκήπιο GH3 απείχε από τον οπωρώνα διπλάσια απόσταση από ότι το GH1.

Επίσης ο προσανατολισμός των θερμοκηπίων ήταν ανατολή-δύση και δεν προκαλούσαν σκίαση το ένα στο άλλο ή άλλες ανεπιθύμητες αντιδράσεις. Το υλικό του σκελετού τους ήταν γαλβανισμένος χάλυβας.

3. Τα υλικά κάλυψης

Το κάλυμμα των θερμοκηπίων ήταν πολυαιθυλένιο με πρόσθετα βελτίωσης των ιδιοτήτων του, στο τρίτο χρόνο χρησιμοποίησής τους και τελευταίο χρόνο χρησιμοποίησής τους. Και τα προηγούμενα χρόνια τα θερμοκήπια είχαν χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια τομάτας. Η διαφορά μεταξύ των τριών καλυμμάτων εντοπιζόνταν κυρίως στο ότι ένα από αυτά είχε πρόσθετα, απορροφητικά της υπεριάδους ακτινοβολίας, (UV-blockers). Μ' αυτό το υλικό ήταν καλυμμένο το GH3, του προηγούμενου σχήματος.

Όταν κατασκευάστηκαν τα υλικά κάλυψης το 2001, μετρήθηκε η διαπερατότητα τους στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και βρέθηκε το επίπεδο της υπεριάδους ακτινοβολίας στο εσωτερικό του μάρτυρα, (θερμοκήπιο GH1), να είναι 5% της εξωτερικής προσπίπτουσας υπεριάδους ακτινοβολίας. Αντίστοιχα στο δεύτερο θερμοκήπιο, GH2, ήταν 3% ενώ στο τρίτο θερμοκήπιο, GH3, 0%.

Με την πάροδο του χρόνου, τα καλύμματα υπέστησαν γήρανση λόγω της έκθεσής τους στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα οι παραπάνω διαπερατότητες να αυξηθούν όπως ήταν αναμενόμενο. Κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης του συγκεκριμένου πειράματος, οι τιμές της διαπερατότητας στα τρία θερμοκήπια ήταν οι εξής:

Πίνακας 3.1 Διαπερατότητα των τριών υλικών κάλυψης στην UV ακτινοβολία

Διαπερατότητα των τριών υλικών κάλυψης στην UV ακτινοβολία						
	UV-A			UV-B		
	GH1	GH2	GH3	GH1	GH2	GH3
Απρίλιος	18,8	17,1	0,4	12,1	11,0	1,1
Μάιος	19,8	18,2	0,4	12,3	11,1	1,1
Ιούνιος	20,6	20,2	0,4	12,5	11,2	1,2
Ιούλιος	21,4	20,4	0,4	12,7	11,3	1,2

Τα υλικά κάλυψης είχαν πάχος 0,18 mm και κατασκευάστηκαν από τη βιομηχανία «Πλαστικά Κρήτης».

4. Αερισμός

Στα θερμοκήπια υπήρχαν ανοίγματα πλαϊνά, κατά μήκος των δύο μεγάλων πλευρών, διαστάσεων 1m×15m. Ο αερισμός ελεγχόταν αυτόματα στα θερμοκήπια, όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 23°C.

5. Θέρμανση

Η θέρμανση των θερμοκηπίων ήταν επιδαπέδια. Η θερμοκρασία θερμοστάτη ορίστηκε στους 15 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας και 21 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι θερμοστάτες και στα τρία θερμοκήπια τοποθετήθηκαν στο κέντρο των θερμοκηπίων, 2 m πάνω από το έδαφος. Ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιήθηκε πετρέλαιο.

6. Υπόστρωμα της καλλιέργειας

Για την θρέψη των φυτών χρησιμοποιήθηκε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα έτσι ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μολύνσεων από ασθένειες εδάφους και να περιοριστούν γενικότερα οι επιρροές του παράγοντα έδαφος στα φυτά. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν Περγλίτης[®], σε σάκους μήκους 1 μέτρου. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 136 σάκοι σε κάθε θερμοκήπιο, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε πάγκους σε ύψος 0,5m πάνω από το έδαφος. Οι πάγκοι είχαν κλίση 1-2% για την υποβοήθηση της στράγγισης.

7. Άρδευση- Λίπανση

Η δόση άρδευσης, ο χρόνος και η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος, γίνονταν αυτόματα με το πρόγραμμα MACQU (Management and Control for

Quality in Greenhouse). Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια ήταν $2,1 \text{ mScm}^{-1}$ και το pH ήταν 5,6. Η άρδευση γινόταν αρχικά 4 φορές την ημέρα και είχε διάρκεια 4 λεπτά. Βαθμιαία γινόταν πιο συχνά κι έτσι στα τέλη Απριλίου έφτασε τις 8 φορές ημερησίως με διάρκεια 10 λεπτά κάθε φορά. Η σύσταση του αρχικού θρεπτικού διαλύματος φαίνεται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 7.1 Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος

K^+	280 ppm
Ca^{2+}	164 ppm
Mg^{2+}	46 ppm
SO_4^{2-}	40 ppm
PO_4^{2-}	40 ppm
NO_3^-	233 ppm

8. Η καλλιέργεια

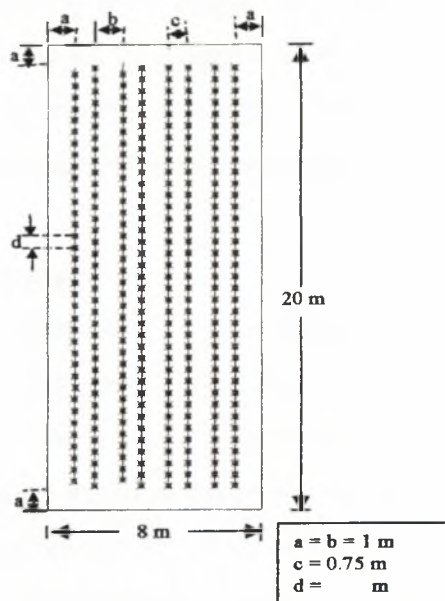
8.1 Ποικιλία-Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας, ποικιλίας Belladonna, η οποία είναι ποικιλία αυτογονιμοποιούμενη, με χαρακτηριστικό τη μεγάλη διάρκεια ζωής στον καρπό. Η μεταφύτευση των φυτών πραγματοποιήθηκε στις 23/2/04 και η καλλιέργεια ολοκληρώθηκε στις 10/7/04.

Τα φυτά μεταφυτεύθηκαν όταν βρίσκονταν στο στάδιο των οκτώ πραγματικών φύλλων. Η παραγωγή τους και η ανάπτυξη τους μέχρι αυτό το στάδιο είχε πραγματοποιηθεί σε επαγγελματικό φυτώριο.

8.2 Διάταξη των φυτών

Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε τέσσερις διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης $0,37 \text{ m}$ επί της γραμμής και $0,75 \text{ m}$ μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς, με πυκνότητα $2,4 \text{ φυτά/m}^2$. Ανάμεσα στις διπλές γραμμές υπήρχε διάδρομος πλάτους 1 m (Εικόνα 7). Η τελική πυκνότητα των φυτών ήταν $2,4 \text{ φυτά/m}^2$.



Εικόνα 8.2.1 Διάταξη και αποστάσεις των φυτών τομάτας στα θερμοκήπια

9. Καλλιεργητικές τεχνικές

Η καλλιέργεια της ποικιλίας πραγματοποιήθηκε με τις συνηθισμένες καλλιεργητικές τεχνικές που ακολουθούν οι παραγωγοί.

9.1 Στήριξη των φυτών

Τα φυτά υποστηρίχθηκαν με πλαστικό σπάγκο, ο οποίος ήταν δεμένος στα οριζόντια σύρματα του θερμοκηπίου με ειδικό εξάρτημα και το σύστημα διαμόρφωσης που ακολουθήθηκε ήταν το μονοστέλεχο.

9.2 Βλαστολόγημα

Οι πλάγιοι βλαστοί αφαιρούνταν με το χέρι σε τακτά χρονικά διαστήματα (τουλάχιστον μια φορά την εβδομάδα).

9.3 Αποφύλλωση- Κορυφολόγημα

Μετά τη συγκομιδή των καρπών της πρώτης ταξικαρπίας αφαιρέθηκαν τα υποκείμενα φύλλα, ώστε να δημιουργηθούν καλύτερες συνθήκες σχετικής υγρασίας στο μικρο-περιβάλλον του φυτού. Το ίδιο επαναλήφθηκε στην δεύτερη ταξικαρπία. Οι κορυφές των φυτών αφαιρέθηκαν την πρώτη Ιουλίου.

9.4 Επεμβάσεις με χημικά

Εξαιτίας της προσβολής που υπήρχε από οίδιο και κλαδοσπόριο πραγματοποιήθηκαν δύο φορές επεμβάσεις με χημικά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ο πρώτος ψεκασμός πραγματοποιήθηκε στις 22/5 και εφαρμόστηκαν τα μυκητοκτόνα με εμπορικές ονομασίες Daconil και SaproI.

Το Daconil (clorothalonil 75%) χρησιμοποιήθηκε για την καταπολέμηση του κλαδοσπορίου και εφαρμόστηκε σε δόση 37g σε 15 λίτρα νερό και το SaproI (triflorine) για την καταπολέμηση του οιδίου και η δόση που εφαρμόστηκε ήταν 22cc σε 15 λίτρα νερό. Λόγω της εκτεταμένης προσβολής της καλλιέργειας ο ψεκασμός κρίθηκε αναγκαίο να εφαρμοστεί με τις ίδιες αναλογίες και στις 30/5.

9.5 Επικονίαση των φυτών

Για την υποβοήθηση της επικονίασης και της γονιμοποίησης χρησιμοποιήθηκαν εμπορικές κυψέλες με βομβύνους (*Bombus terrestris*).

9.6 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών

Στα θερμοκήπια γινόταν συστηματικός έλεγχος των εντόμων και των ασθενειών. Τοποθετήθηκαν μπλε και κίτρινες παγίδες για τον έλεγχο του θρίπα και του αλευρώδη αντίστοιχα. Επίσης σε επιλεγμένες θέσεις μέσα αλλά και έξω από τα πλαϊνά ανοίγματα των θερμοκηπίων υπήρχαν εντομολογικές παγίδες για την αντιμετώπιση των αφίδων.

10. Μετρήσεις

Για τη μελέτη της αύξησης των φυτών επιλέχθηκαν από κάθε θερμοκήπιο με τη βοήθεια πλήρως τυχαιοποιημένου σχεδίου 24 φυτά. Στα φυτά αυτά έγινε ειδική σήμανση με έγχρωμες κορδέλες οι οποίες δέθηκαν πάνω στο σπάγκο υποστήριξης του κάθε επιλεγμένου φυτού. Τα φυτά που επιλέχθηκαν δεν βρίσκονταν σε καμία από τις δύο σειρές οι οποίες έρχονταν σε άμεση επαφή με τα πλαϊνά ανοίγματα αερισμού. Από τις έξι υπολειπόμενες σειρές επιλέχθηκαν πέντε φυτά σε κάθε σειρά τα οποία βρίσκονταν σε τυχαία θέση πάνω στη σειρά αυτή.

Η λήψη των μετρήσεων ξεκίνησε στις 11/4/2004 (48^η ημέρα από τη μεταφύτευση και συνεχίστηκε μέχρι τις 2/7/2004 (130^η ημέρα από τη μεταφύτευση).

Για τη μελέτη της ξηρής ουσίας των φυτών επιλέχθηκαν από κάθε θερμοκήπιο 3 τυχαία φυτά, συνολικά εννέα φυτά και από τα τρία θερμοκήπια. Η λήψη των μετρήσεων γινότανε σχεδόν κάθε δεκαπέντε ημέρες. Επιλέχθηκαν φυτά μη καχεκτικά, όχι προσβεβλημένα από ασθένειες και έντομα, με κορυφή και γενικά σε φυσιολογικό επίπεδο ανάπτυξης.

Τα συγκεκριμένα φυτά πάρθηκαν περίπου από την ίδια σειρά και ίδια θέση από το κάθε θερμοκήπιο. Κοπή φυτών από τις δυο πλάγιες σειρές δεν γινόταν. Η κοπή των συγκεκριμένων φυτών έγινε με μαχαίρι πολύ νωρίς το πρωί για τη μείωση απωλειών του νερού με τη διαπνοή, και το κάθε ένα φυτό αποθηκεύτηκε ανεξάρτητα σε πλαστική σακούλα για τη μεταφορά τους στο εργαστήριο του πανεπιστημίου.

Η λήψη των μετρήσεων ξεκίνησε στις 21/4/2004 (44^η ημέρα από τη μεταφύτευση) και συνεχίστηκε μέχρι τις 18/6/2004 (102^η ημέρα από τη μεταφύτευση).

Συνολικά μετρήθηκαν

- ❖ το ύψος των φυτών,
- ❖ ο αριθμός των κόμβων
- ❖ το μήκος (L) και πλάτος (W) των φύλλων
- ❖ η φυλλική επιφάνεια
- ❖ η συνολική ξηρή ουσία των διαφόρων οργάνων του φυτού

10.1 Μέτρηση του ύψους

Το ύψος μετρήθηκε κατά την 48^η, 59^η, 73^η, 82^η, 88^η, 95^η, 103^η, 111^η, 116^η και 130^η μέρα μετά τη μεταφύτευση. Η μέτρηση του μήκους πραγματοποιήθηκε με τη

βοήθεια απλού μέτρου και η ακρίβεια της μέτρησης ήταν της τάξεως του 0,5 cm. Ως ύψος του φυτού είχε οριστεί το μήκος του κεντρικού βλαστού από το λαιμό του φυτού μέχρι το σημείο εμφάνισης του φύλλου στην κορυφή με μήκος μικρότερο από 10 cm.

10.2 Μέτρηση του μήκους (L) και πλάτους (W) των φύλλων

Το μήκος (M) και το πλάτος (Π) των φύλλων μετρήθηκαν κατά την 44^η, 59^η, 72^η, 86^η, 102^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση. Η μέτρηση γινόταν ανά δεκαπέντε ημέρες.

Ως μήκος (M) του φύλλου είχε οριστεί η απόσταση από τη βάση του μίσχου έως την άκρη του ελάσματος και ως πλάτος (Π) του φύλλου η μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στις άκρες του ελάσματος, κάθετη στο μήκος του φύλλου. Μετρήθηκαν όλα τα φύλλα κάθε φυτού.

10.3 Υπολογισμός ξηρής ουσίας

Τα όργανα των εννέα φυτών μεταφέρονταν μέσα στα κουτιά από αλουμίνιο στον ξηραντήρα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, πίεση και χρόνο (24 ώρες στους 105°C). Μετρούνταν η ξηρή ουσία κάθε στελέχους με τον ίδιο ζυγό.

10.4 Μέτρηση των κόμβων

Ο αριθμός των κόμβων μετρήθηκε κατά την 44^η, 59^η, 72^η, 86^η, και 102^η ημέρα από τη μεταφύτευση, ταυτόχρονα με τη μέτρηση του μήκους και του πλάτους των φύλλων.

10.5 Υπολογισμός της φυλλικής επιφάνειας

Για τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας χρησιμοποιήθηκαν τυχαία 60 φύλλα από κάθε θερμοκήπιο. Σε αυτά τα φύλλα μετρήθηκε το μήκος, το πλάτος, και το εμβαδόν (m²) με τη βοήθεια scanner και ειδικού προγράμματος DT Scan σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

10.6 Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων

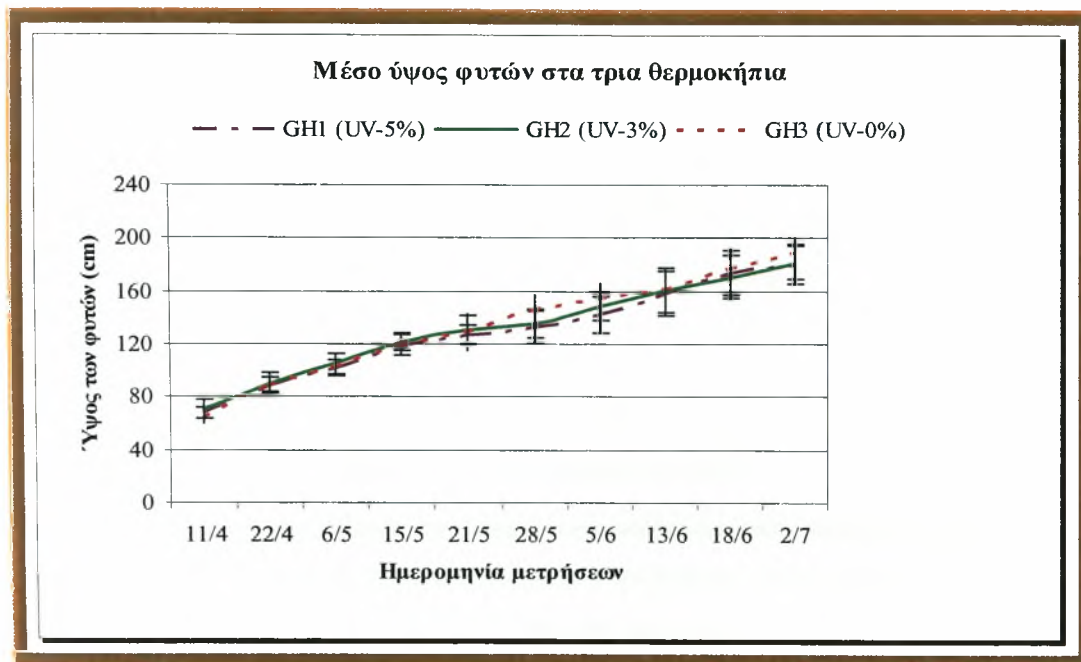
Για τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων και την αποκομιδή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα SPSS 12.0 for Windows. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με τη μέθοδο ανάλυσης παραλλακτικότητας (Two Way ANOVA). Σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων

όρων των μεταχειρίσεων καθορίστηκαν με το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$.

IV. Αποτελέσματα

1. Ύψος φυτών

Το ύψος των φυτών μετρήθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της ερευνητικής εργασίας συνολικά δέκα φορές.

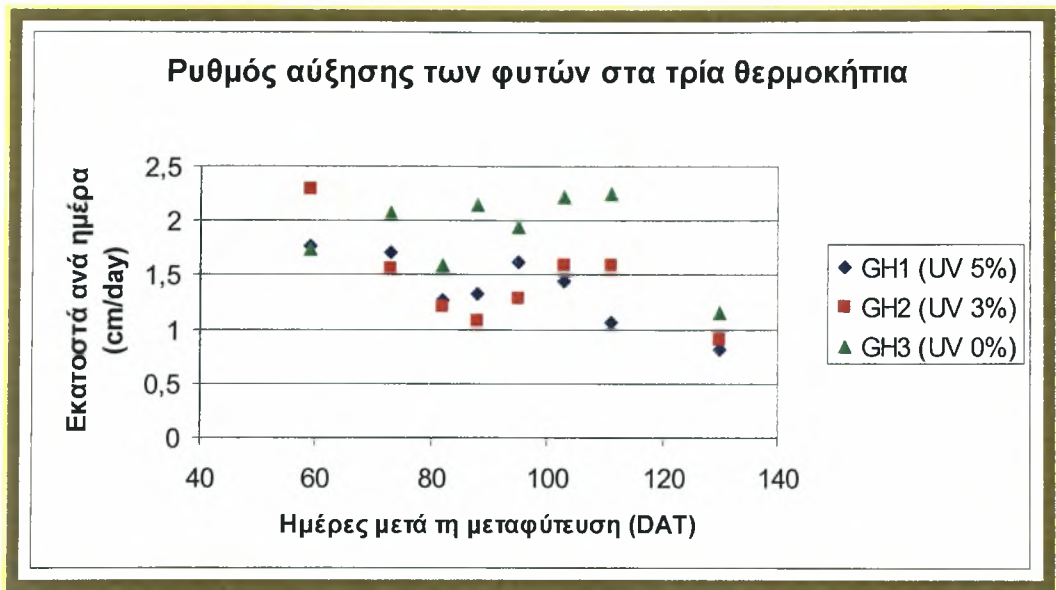


Σχήμα 1.1 Η εξέλιξη στο ύψος των φυτών και στα τρία θερμοκήπια.

Από το Σχήμα 1.1 φαίνεται ότι το ύψος και στα τρία θερμοκήπια αυξάνεται σταδιακά. Από της 11/4/2004 ως και της 2/7/2004, που λήφθηκε η τελευταία μέτρηση, το ύψος των φυτών στο GH1 κυμάνθηκε από 68 cm, με τυπική απόκλιση 4,27 cm, μέχρι 180,33 cm με τυπική απόκλιση 14,89 cm. Στο GH2 κυμάνθηκε από 70,93 cm με τυπική απόκλιση 6,97 cm μέχρι 181,79 cm με τυπική απόκλιση 12,5 cm, και στο GH3 τα φυτά είχαν αρχικό μέσο ύψος 65,36 cm με τυπική απόκλιση 4,92 cm και τελικό μέσο ύψος 190,07 cm με τυπική απόκλιση 10,6 cm. Προκύπτει ότι τα φυτά στο GH3 με 0% διαπερατότητα στην UV ήταν ψηλότερα από ότι τα φυτά στα άλλα δύο θερμοκήπια.

Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές στο ύψος ανάμεσα στα τρία θερμοκήπια εντοπίζονται κυρίως από την DAT 95 (28/5/04) και έπειτα, ανάμεσα στο θερμοκήπιο που η είσοδος της υπεριώδους ακτινοβολίας εμποδίζεται και τα άλλα δύο θερμοκήπια.

Ο ρυθμός αύξησης των φυτών στα τρία θερμοκήπια παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.2



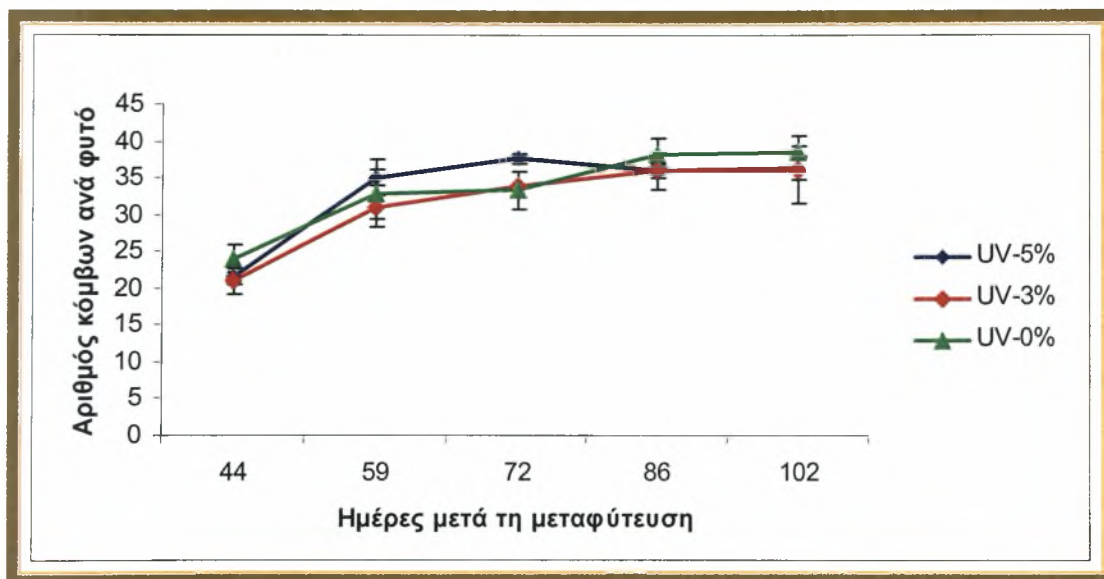
Σχήμα 1.2 Ρυθμός αύξησης των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Το GH3 είχε μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης από τα άλλα δυο καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου εκτός από το διάστημα από την 48^η έως την 59^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση όπου μόνο το GH 2 παρουσιάζει μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης. Παρατηρούμε δηλαδή ότι η έλλειψη της υπεριώδους ακτινοβολίας επέδρασε θετικά στο ύψος των φυτών και στην αύξηση του ρυθμού αύξησης τους.

Από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι τα θερμοκήπια με περατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία 3% και 0% διαφέρουν στατιστικά σημαντικά καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Όπως είναι αναμενόμενο υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές και ανάμεσα στα θερμοκήπια με περατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία 5% (μάρτυρας) και 0% εκτός από το διάστημα από την DAT 48 έως την DAT 59 και το διάστημα από την DAT 88 έως τη DAT 95. Τα GH 1 και GH 2 δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά εκτός από δύο περιπτώσεις, στο διάστημα από DAT 48 έως DAT 59 και στο διάστημα από DAT 103 έως DAT 111.

2. Αριθμός κόμβων

Ο μέσος αριθμός των κόμβων μετρήθηκε συνολικά πέντε φορές.



Σχήμα 2.1 : Μέσος αριθμός κόμβων φυτών τομάτας στα τρία θερμοκήπια

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέσου αριθμού των κόμβων στα τρία θερμοκήπια, όπου φαίνεται να υπάρχουν μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των θερμοκηπίων. Στην πρώτη μέτρηση ο αριθμός των κόμβων βρέθηκε στο UV-5% θερμοκήπιο 33,3 κόμβους ανά φυτό με τυπική απόκλιση 6,6 κόμβους ανά φυτό, στο θερμοκήπιο UV-3% 31,6 κόμβους ανά φυτό με τυπική απόκλιση 6,3 κόμβους ανά φυτό και τέλος στο θερμοκήπιο UV-0% 33,5 κόμβους ανά φυτό με τυπική απόκλιση 5,2 κόμβους ανά φυτό.

Από την τρίτη μέτρηση και μετά υπάρχουν μικρές διακυμάνσεις του αριθμού των κόμβων ανά φυτό και στην τελευταία μέτρηση έχουμε στο θερμοκήπιο UV-5% 36,33 κόμβους ανά φυτό με τυπική απόκλιση 1,52 κόμβους ανά φυτό στο θερμοκήπιο UV-3% 36 κόμβους ανά φυτό με τυπική απόκλιση 4,58 κόμβους ανά φυτό και στο θερμοκήπιο UV-0% 38,66 κόμβους ανά φυτό με τυπική απόκλιση 0,57 κόμβους ανά φυτό.

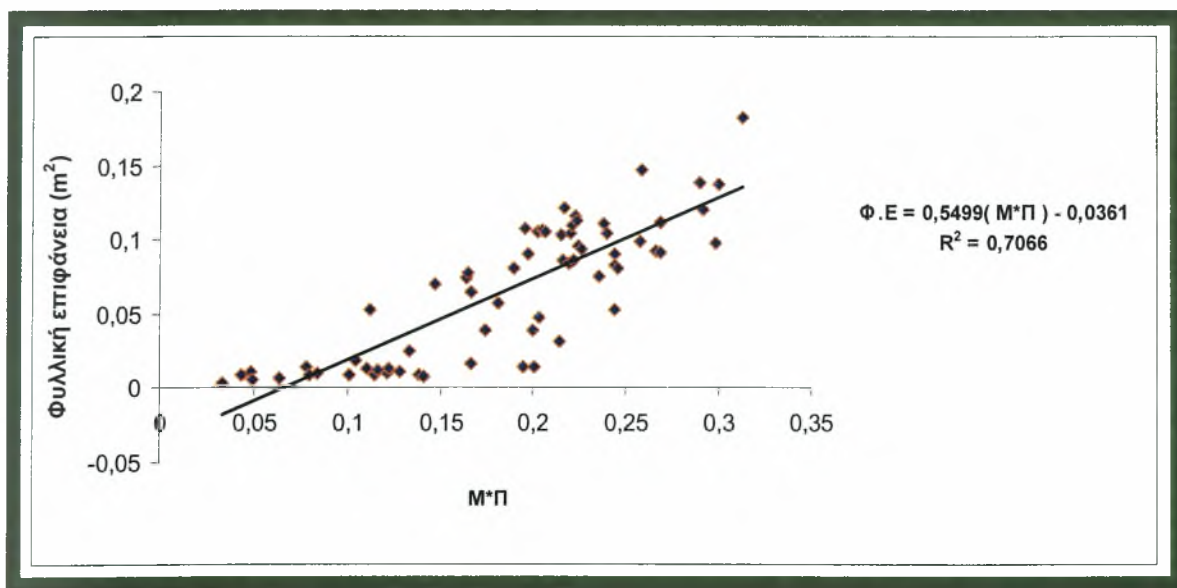
Στατιστικά σημαντικές διαφορές στον αριθμό των κόμβων των φυτών μεταξύ των τριών θερμοκηπίων δεν εντοπίζονται σε καμία μέτρηση.

3. Φυλλική επιφάνεια

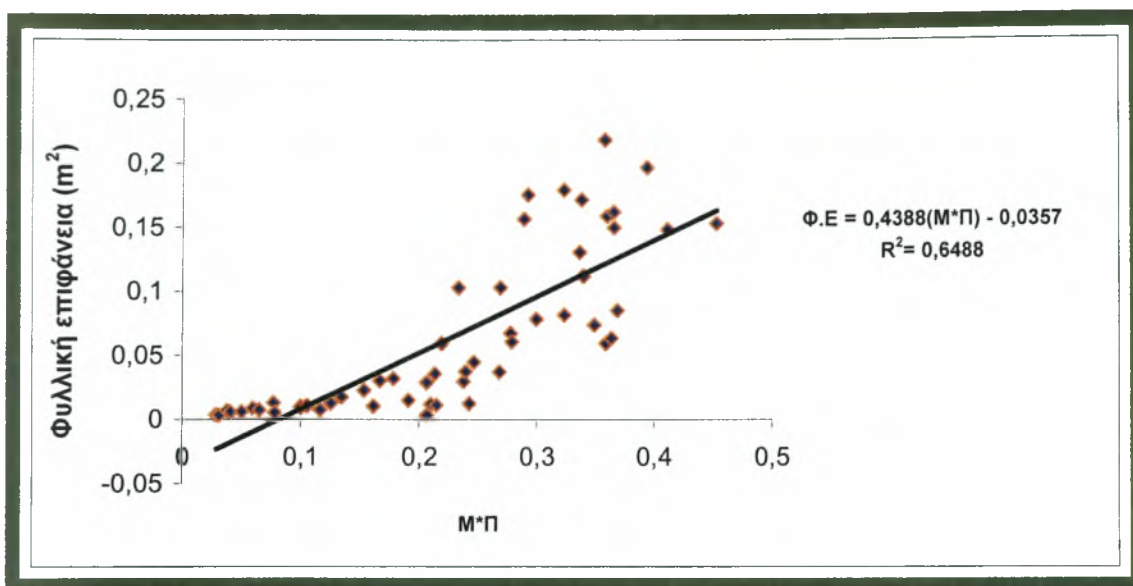
Το φύλλο είναι σημαντικό όργανο για το φυτό και σχετίζεται με τη φωτοσύνθεση και την εξατμισοδιαπνοή. Ως εκ τούτου η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας είναι απαραίτητη στα περισσότερα αγρονομικά πειράματα που έχουν σχέση με την ανάπτυξη του φυτού (Blanco and Folegatti, 2003).

Χρησιμοποιήθηκαν περίπου 60 φύλλα από κάθε θερμοκήπιο και μετρήθηκε η πραγματική επιφάνεια τους με τη βοήθεια σαρωτή ειδώλου (scanner).

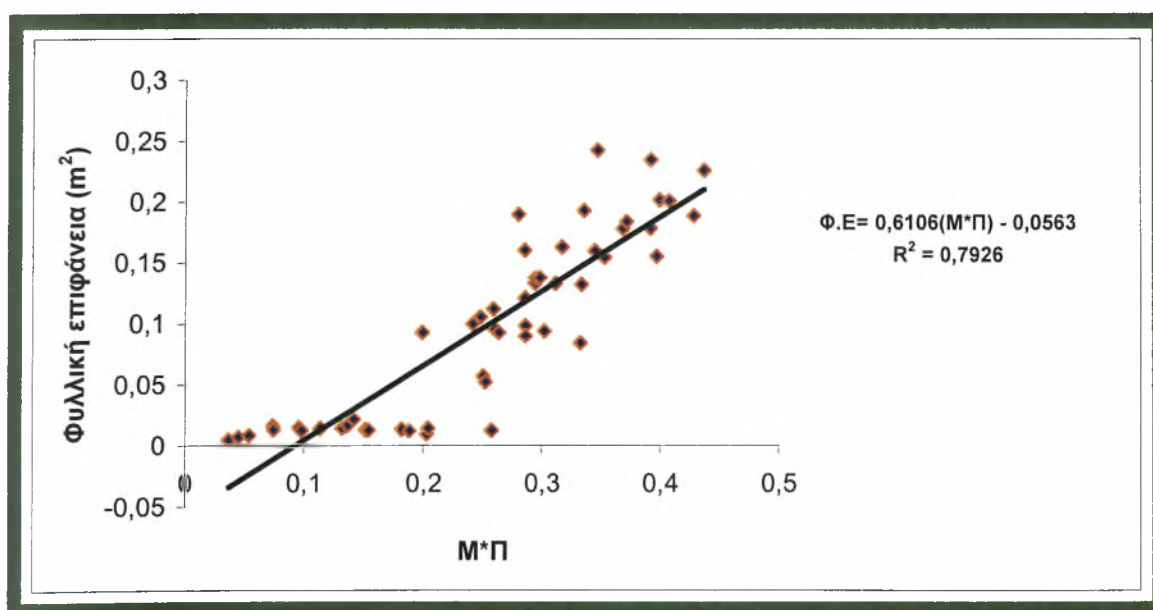
Προέκυψε γραμμική συσχέτιση της φυλλικής επιφάνειας (Φ.Ε) με το γινόμενο μήκους (Μ) επί πλάτους (Π) του φύλλου (Μ*Π), και η τιμή της για κάθε θερμοκήπιο φαίνεται στα παρακάτω σχήματα



Σχήμα 3.1: Φυλλική επιφάνεια στο θερμοκήπιο UV-5%



Σχήμα 3.2: Φυλλική επιφάνεια στο θερμοκήπιο UV-3%



Σχήμα 3.3: Φυλλική επιφάνεια στο θερμοκήπιο UV-0%

Αναλυτικότερα η σχέση αυτή είναι:

- Θερμοκήπιο UV-5% $\Phi.Ε (m^2) = 0,5499 (M*\Pi) - 0,0361 (R^2=0,7066)$
- Θερμοκήπιο UV-3% $\Phi.Ε (m^2) = 0,4388 (M*\Pi) - 0,0357 (R^2=0,6488)$
- Θερμοκήπιο UV-0% $\Phi.Ε (m^2) = 0,6106 (M*\Pi) - 0,0563 (R^2 = 0,7926)$

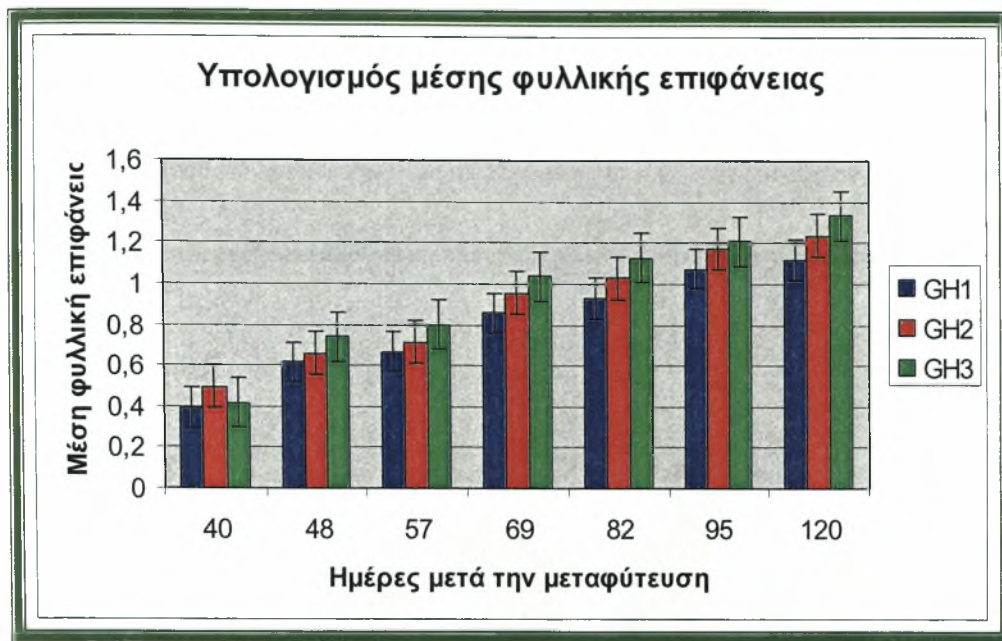
Προκειμένου να διαπιστωθεί αν οι παράμετροι των εκάστοτε δυο ευθειών (της σχέσης που συνδέει τη Φ.Ε με το Μ*Π του κάθε θερμοκηπίου) διέφεραν σημαντικά, γινόταν έλεγχος με τη βοήθεια του t-κριτηρίου, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$t = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{(st.er.P_1)^2 + (st.er.P_2)^2}}$$

όπου: P οι τιμές των συντελεστών (α ή β) και st.erP οι τιμές του τυπικού σφάλματος των συντελεστών (α ή β).

Η τιμή t από την εξίσωση συγκρινόταν με την τιμή t του πίνακα του t-κριτηρίου για επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 0,05 και για τους εκάστοτε βαθμούς ελευθερίας (B.E). Αν η τιμή της εξίσωσης ήταν μεγαλύτερη από την αναγραφόμενη τιμή του πίνακα, τότε οι δύο παράμετροι που συγκρίνονταν κάθε φορά διέφεραν σημαντικά ,ενώ αν η τιμή της εξίσωσης ήταν μικρότερη από την αναγραφόμενη τιμή του πίνακα, τότε οι δυο παράμετροι που συγκρίνονταν κάθε φορά δε διέφεραν.

Από τη σύγκριση των συντελεστών βρέθηκε ότι οι τιμές t που υπολογίστηκαν ήταν μικρότερες από αυτές του πίνακα και συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι οι τρεις σχέσεις που βρέθηκαν δεν διαφέρουν σημαντικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια από τις τρεις σχέσεις.

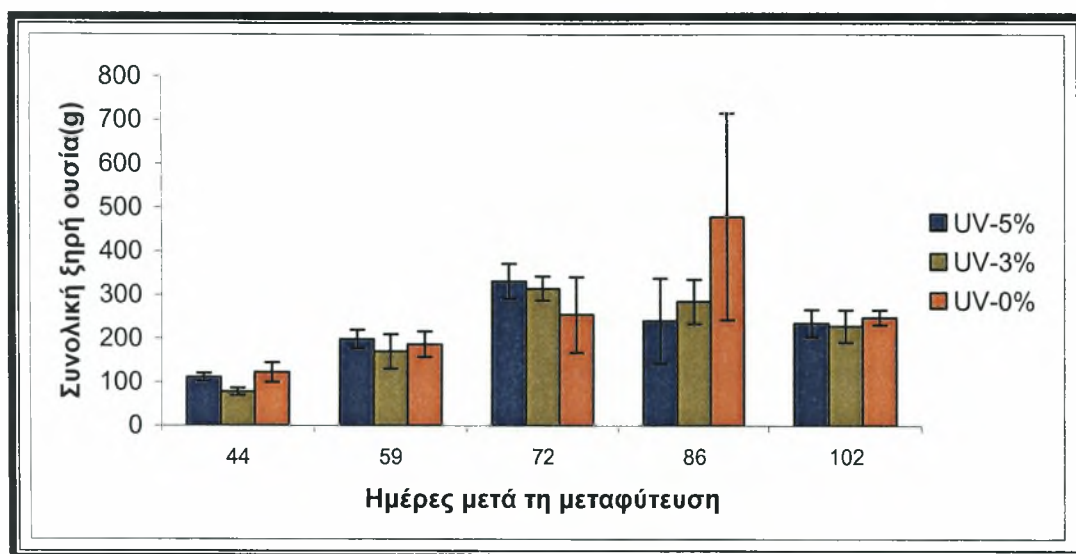


Σχήμα 3.4 Μέση φυλλική επιφάνεια στα τρία θερμοκήπια.

Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα GH1 και GH 2 καθώς και ανάμεσα στα GH2 και GH3. Τα θερμοκήπια με περατότητα 3% και 0% στην υπεριώδη ακτινοβολία διέφεραν καθ' όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, εκτός από την DAT 40, με το θερμοκήπιο του οποίου το υλικό κάλυψης ήταν περατό στην υπεριώδη κατά 5% και αποτελούσε το μάρτυρα του πειράματος.

4. Συνολική ξηρή ουσία

Η ξηρή ουσία του κάθε θερμοκηπίου βρέθηκε μετά από πρόσθεση των διαφόρων οργάνων του φυτού.



Σχήμα 4.1: Συνολική ξηρή ουσία των διαφόρων οργάνων του φυτού στα τρία θερμοκήπια

Στο πιο πάνω Σχήμα φαίνεται ότι η ξηρή ουσία αυξάνεται σταδιακά μέχρι και την 72^η ημέρα σε όλα τα θερμοκήπια, ενώ στην 86^η ημέρα υπάρχει μια σημαντική αύξηση της ξηρής ουσίας στο θερμοκήπιο UV-0% (βέβαια η τυπική απόκλιση είναι μεγάλη) ενώ στην ίδια περίπτωση η ξηρή ουσία στο θερμοκήπιο UV-5% και UV-3% μειώνεται. Στην 102^η ημέρα φαίνεται η μείωση της ξηρής ουσίας και στα τρία θερμοκήπια.

Κατά τους Russel et al 1984 η μεταβολή της ξηρής ουσίας κατά την αύξηση του φυτού, στην αρχή είναι εκθετική και μετά είναι γραμμική. Η μεταβολή αυτή είναι αναμενόμενη σε σταθερές κλιματικές συνθήκες γιατί η έκπτυξη νέας φυτικής μάζας από το φυτό, είναι ανάλογη με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συνολική ξηρή ουσία των φυτών ανάμεσα στα τρία θερμοκήπια δεν εντοπίζονται παρά μόνο την 44^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση (DAT 44), όπου υπάρχουν διαφορές μεταξύ της συνολικής ξηρής ουσίας των φυτών των θερμοκηπίων UV-5% και UV-3%.

V. Συζήτηση-Συμπεράσματα

Στην παρούσα ερευνητική εργασία μελετήθηκε η επίδραση της έλλειψης της υπεριώδους ακτινοβολίας σε περιβάλλον θερμοκηπίου, λόγω εφαρμογής φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης, σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

Μελετήθηκε η αύξηση των φυτών που ορίζεται ως η επέκταση σε μήκος, επιφάνεια ή βάρος ολόκληρου του φυτού ή ανεξάρτητων οργάνων του. Το ύψος του φυτού και η φυλλική επιφάνεια θεωρούνται τα βασικά φαινόμενα μορφογένεσης και αύξησης του βλαστού (Reddy et al., 2003) για αυτό το λόγο οι πειραματικές μετρήσεις επικεντρώθηκαν κυρίως σε αυτά.

Οι μετρήσεις άρχισαν την DAT 48 και προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του ύψους των φυτών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα φυτά που μεγάλωσαν σε περιβάλλον απαλλαγμένο από την υπεριώδη ακτινοβολία διαφέρουν στατιστικά σημαντικά και είναι ψηλότερα από τα φυτά στα άλλα δύο θερμοκήπια με υπεριώδη ακτινοβολία 3% και 5%. Η μείωση της υπεριώδους ακτινοβολίας οδήγησε σε αύξηση του ύψους των φυτών. Αυτό είναι εμφανές και από το μέσο τελικό ύψος στα τρία θερμοκήπια που είναι 180,33 cm, 181,79 cm και 190,07 cm για το GH1, GH2 και GH3 αντίστοιχα. Δηλαδή συγκρινόμενα τα GH2 (3%) και GH3 (0%) με το μάρτυρα GH1 (5%) προκύπτει ότι στο GH2 αναπτύχθηκαν φυτά υψηλότερα κατά 0,8% περίπου και στο GH3 φυτά υψηλότερα κατά 5,4% από ότι στο GH1. Παρόμοια αποτελέσματα δίνονται και από τους Reddy et al. (2003) για φυτά βαμβακιού που καλλιεργήθηκαν σε περιβάλλον με 0% υπεριώδη ακτινοβολία και τα οποία ήταν ψηλότερα από τα φυτά που καλλιεργήθηκαν εκτεθειμένα σε ακτινοβολία UV, σε ποσότητες 4, 8 και 12 kJ m⁻² ημερησίως.

Έχει αναφερθεί στο παρελθόν ότι η υπεριώδης ακτινοβολία Β επιδρά άμεσα στο μεταβολισμό των ρυθμιστών αύξησης του φυτού, όπως η αυξίνη (IAA) και μεταβάλλει την ανάπτυξη του (Reddy et al., 2003). Σύμφωνα με τους Tezuka et al. (1993) η ηλιακή ακτινοβολία κοντά στο φάσμα της υπεριώδους μπορεί να αυξήσει τις μεταβολικές δραστηριότητες που έχουν σχέση με την αύξηση των φυτών, τα οποία βρίσκονται σε μεταγενέστερο στάδιο.

Στην παρούσα εργασία τα φυτά δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά όσον αφορά στον αριθμό των σχηματιζόμενων κόμβων. Ο ρυθμός εμφάνισης των κόμβων είναι μεγαλύτερος στο θερμοκήπιο UV-0% προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου.

Εφόσον το θερμοκήπιο με υλικό κάλυψης αδιαπέρατο στην υπεριώδη ακτινοβολία (θερμοκήπιο UV-0%) έχει μεγαλύτερο μέσο ύψος και μεγαλύτερο μέσο αριθμό κόμβων αυτό σημαίνει ότι η διαφορά του στην αύξηση δεν έχει σχέση με την αύξηση του μέσου μήκους των μεσογονατίων διαστημάτων, αλλά με αύξηση του πλήθους τους.

Η έλλειψη της υπεριώδους ακτινοβολίας δεν είχε επιδράσεις στην αρχιτεκτονική του φυτού καθώς αναπτύχθηκαν και σε αυτά τα φυτά (με UV 0%) 7-9 φύλλα πριν από την πρώτη ταξιανθία και μετά την πρώτη σχηματίζονται τρία φύλλα μέχρι τη δεύτερη ταξιανθία κ.ο.κ. Κάτι που συμφωνεί με τον Ολύμπιο (2001). Η δομή δηλαδή των φύλλων και των ταξιανθιών είναι, στην πλειοψηφία των φυτών, αυτή μιας συνηθισμένης καλλιέργειας τομάτας του συγκεκριμένου υβριδίου.

Τα φυτά ήταν από μορφολογική άποψη καθ' όλα φυσιολογικά καθώς δεν παρουσιάστηκαν αποχρωματισμοί, δυσμορφίες ή άλλα συμπτώματα πέραν εκείνων που οφείλονταν σε φυτοπαθογόνους μύκητες.

Σύμφωνα με τους Reddy et al. (2003) τα βαμβακόφυτα στα οποία παρεχόταν υπεριώδης ακτινοβολία Β είχαν μειωμένη φυλλική επιφάνεια σε σχέση με τα φυτά που μεγάλωναν σε περιβάλλον με 0% ακτινοβολία UV-B. Στο συγκεκριμένο πείραμα παρατηρείται ότι τα θερμοκήπια με περατότητα 3% (GH2) και 0% (GH3) στην υπεριώδη ακτινοβολία παρουσιάζουν μεγαλύτερη μέση φυλλική επιφάνεια καθ' όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, εκτός από την 40^η ημέρα μετά την μεταφύτευση, από το θερμοκήπιο του οποίου το υλικό κάλυψης ήταν περατό στην υπεριώδη κατά 5% (GH1) και αποτελούσε το μάρτυρα του πειράματος. Επίσης το GH3 (0%) διέφερε στατιστικά σημαντικά, εκτός από το GH1 (5%), και από το GH2 (3%).

Στο συνολικό ξηρό βάρος των φυτών στατιστικά σημαντικές διαφορές των φυτών στα τρία θερμοκήπια δεν εντοπίζονται παρά μόνο σε μια μέτρηση (DAT 44), όπου υπάρχουν διαφορές μεταξύ της συνολικής ξηρής ουσίας των φυτών των θερμοκηπίων UV-5% και UV-3%.

Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι στατιστικά σημαντικές διαφορές στην καθαρή ξηρή ουσία των φυτών μεταξύ των τριών θερμοκηπίων δεν υπήρχαν.

Εφόσον η επίδραση των εκλεκτικών στη UV ακτινοβολία υλικών κάλυψης δεν αποδεικνύεται επιβλαβής κατά οποιοδήποτε τρόπο για τα φυτά και δεν επηρεάζει την αύξηση τους αρνητικά, προτείνεται η περαιτέρω χρήση τους σε εμπορικές μονάδες παραγωγής.

VI. Βιβλιογραφία

- Antignus, Y.**, 2000. Manipulation of wavelength-dependent behaviour of insects: an IPM tool to impede insects and restrict epidemics of insect-born viruses. *Virus Research* **71**: 213-220.
- Aphalo, P., J.**, 2001. Light signals and the growth and development of plants- a gentle introduction. *The Plant Photobiology Notes 1*. University of Joensuu. Finland.
- Baytorun, N., Abak, K., Tokgoz, H., Altuntas, O.**, 1994. Effect of different greenhouse covering materials on inside climate and on the development of tomato plants. *Acta Horticulturae* **366**: 125-132.
- Blanco, F. F. and M. V. Folegatti**, 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira* vol 21.
- Bornman J. F. and T.C. Vogelmann**, 1990. Effect of UV-B radiation on leaf optical properties measured with fibre optics. *Journal of Experimental Botany* **42**: 547-554.
- Carruthers, S.**, 2004. Comparing smart films. *Practical Hydroponics and Greenhouses*. Issue 79.
- Costa, H. S. and K. L. Robb**, 1999. Effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on flight behaviour of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) and *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology* **92**: 557-562.
- Costa, H. S., Robb, K. L., Wilen, C. A.**, 2002. Field trials measuring the effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on insect populations. *Journal of Economic Entomology* **95**: 113-120.
- Deckmyn, G. and I. Impens**, 1999. Seasonal responses of six Poaceae to different levels of solar UV-B radiation. *Environmental and Experimental Botany* **41**: 177-184.
- Diffey, B. L.**, 1991. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. *Review in Physics in Medicine and Biology* **36** (3): 299-328.
- Dyer, A. G. and L. Chittka**, 2004. Bumblebee search time without ultraviolet light. *The Journal of Experimental Biology* **207**: 1683-1688.
- Elad, Y.**, 1997. Effect of filtration of solar light on the production of conidia by field isolates of *Botrytis cinerea* and on several diseases of greenhouse-grown vegetables. *Crop Protection* **16**: 635-642.

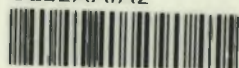
- Geoola, F., Kashti, Y., Levi, A., Brickman, R.,** 2003. Influence of agrochemicals on greenhouse cladding materials. *Polymer Degradation and Stability* **80**: 575–578.
- Giacomelli, G. A. and W. J. Roberts,** 1993. Greenhouse covering systems. *HortTechnology Journal*.
- Giacomelli, G.A., (1998).** Components of Radiation Defined: Definition of Units<measuring Radiation Transmission, Sensors. Greenhouse Glazing and Solar Radiation Transmission Workshop.
- Gonzalez, A., Garcia-Alonso, Y., Espi, E., Fontecha, A., Salmeron, A.,** 2004. Viral diseases control with UV-blocking films in greenhouses of southern Spain. International Symposium on protected culture in a mild-winter climate. Article presented at the “International Symposium on Protected Culture in a Mild-Winter Climate” Kissimmee, Florida, USA.
- Goto, E., Kurata, K., Hayashi, M., Sase, S.,** 1997. Plant production in closed ecosystems. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Hanan, J. J.** 1998. Greenhouses. Advanced technology for protected horticulture. CRC Press. United States of America.
- Hao, X. and A. P. Papadopoulos,** 1999. Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis, biomass partitioning, early yield and quality of greenhouse cucumber. *Scientia Horticulturae* **80**: 1-18.
- Hollosy, F.,** 2002. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron* **33**: 179-197.
http1: <http://daedalus.math.uoi.gr/agrotica/anthokomia/anth/kef/4/424.htm>
http2: <http://solardat.uoregon.edu/SolarRadiationBasics.html>
http3:http://www.teilar.gr/schools/steg/agriculture/lessons/lessons_online/internet%20papadopoulos/28b.htm
http4:http://www.teilar.gr/schools/steg/agriculture/lessons/lessons_online/internet%20papadopoulos/28c.htm
http5: http://vumasun.com/artman/publish/articles/story_11213.shtml
- Izaguirre, M. M., Scopel, A.L., Baldwin, I. T., Ballare, C. L.** 2003. Convergent responses to stress. Solar ultraviolet-B radiation and *Manduca sexta* herbivory elicit overlapping transcriptional responses in field-grown plants of *Nicotiana longiflora*. *Plant Physiology* **132**: 1755–1767.
- Kakani, V. G., Reddy, K.R., Zhao, D., Sailaja, K.,** 2003. Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agricultural and Forest Meteorology* **120**: 191-218.

- Kittas, C. and A. Baille**, 1998. Determination of the Spectral Properties of Several Greenhouse Cover Materials and Evaluation of Specific Parameters Related to Plant Response. *Journal of Agricultural Engineering Research* **71**: 193-202.
- Kovacs, E. and A. Keresztes**, 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron* **33**: 199-210.
- Krizek, D. T., Britz, S. J., Mirecki, R. M.**, 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of “new red fire” lettuce. *Physiologia Plantarum* **103**: 1-7.
- Legg, B. J (1989)**. Micrometeorological conditions in plant canopies under greenhouse field.
- Mazza, C.A., Battista, D., Zima, A.M., Szwarcberg-Bracchitta, M., Giordano, C.V., Acevedo, A., Scopel, A.L., Ballare, C.L.**, 1999. The effects of solar ultraviolet-B radiation on the growth and yield of barley are accompanied by increased DNA damage and antioxidant responses. *Plant, Cell and Environment* **22**: 61-70.
- Moran, D.S., Pandol, K. B., Vitali, A., Heled, Y., Parkerd, R., Gonzalez, R. R.**, 2004. The role of solar and UV radiation in environmental stress assessment. *Journal of Thermal Biology* **29**: 529–533.
- Moraru, C., Logendra, L., Lee, T., Janes, H.**, 2004. Characteristics of 10 processing tomato cultivars grown hydroponically for the NASA Advanced Life Support (ALS) Program. *Journal of Food Composition and Analysis* **17**: 141–154.
- Nedunchezian, N. and G. Kulandaivelu**, 1997. Changes induced by ultraviolet-B (280–320 nm) radiation to vegetative growth and photosynthetic characteristics in field grown *Vigna unguiculata* L.. *Plant Science* **123**: 85-92.
- Nigel P.,-Jones D (2003)**. Ecological roles of solar UV radiation: towards an integrated approach review trends in ecology and evolution.**18**:48-55.
- Papadakis, G., Briassoulis, D., Scarascia Mugnozza, G., Vox, G., Feuilloley, P., Stoffers, J. A.**, 2000. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. *Journal of Agricultural Engineering Research* **77** (1): 7-38.
- Papadopoulos, A. P. and X. Hao**, 1997. Effects of greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae* **68** : 113- 123.
- Papadopoulos, A. P. and X. Hao**, 1997. Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae* **70**: 165-178.

- Pearson, S., Wheldon, A. E., Hadley, P.,** 1995. Radiation transmission and fluorescence of nine greenhouse cladding materials. *Journal of Agricultural Engineering Research* **62**: 61-70.
- Reddy, K.R., Kakani, V.G., Zhao, D., Mohammed, A.R., Gao, W.,** 2003. Cotton responses to ultraviolet-B radiation: experimentation and algorithm development. *Agricultural and Forest Meteorology* **120**: 249-265.
- Stratmann, J.,** 2003. Ultraviolet-B radiation co-opts defense signaling pathways. *Trends in Plant Science* Vol. 8 No 11: 526-533.
- Tezuka, T., Hotta, T., Watanabe, I.,** 1993. Growth promotion of tomato and radish plants by solar UV radiation reaching the Earth's surface. *Photochemistry Photobiology B: Biol.*, **19**: 61-66.
- Yuan, L., Yanqun, Z., Haiyana, C., Jianjuna, C., Jilonga, Y., Zhide, H.,** 2000. Intraspecific responses in crop growth and yield of 20 wheat cultivars to enhanced ultraviolet-B radiation under field conditions. *Field Crops Research* **67**: 25-33. ok
- Ανώνυμος,** 2002. Γεωργία - Κτηνοτροφία.
- Δεληβόπουλος, Σ. Γ.,** 1994. Μορφολογία και ανατομία φυτών. Εκδόσεις Α. Σιμώνη- Σ. Χατζηπάντου Ο.Ε. Θεσσαλονίκη.
- Καράταγλης, Σ. Σ.,** 1999. Φυσιολογία Φυτών. Εκδόσεις Art of Text. Θεσσαλονίκη.
- Κίττας, Κ.,** 2002. Θερμοκήπια. Σημειώσεις. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. Βόλος.
- Λόλας, Π. Χ.,** 2000. Φυσιολογία Φυτού. Σημειώσεις. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. Βόλος.
- Μαυρογιαννόπουλος, Γ. Ν.,** 2001. Θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Ολύμπιος Χ. Μ.,** 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Τσέκος, Ι. Β.,** 2003. Φυσιολογία Φυτών Τόμος Ι. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε. Θεσσαλονίκη.
- Τσέκος, Ι. Β.,** 2003. Φυσιολογία Φυτών Τόμος ΙΙ. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε. Θεσσαλονίκη.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000085696