



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

“ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΙΣ ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ, ΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ ΤΗΣ  
ΓΕΩΡΓΙΑΣ”

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Κωσταρέλου Μαρία

*“Επίδραση απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας υλικών κάλυψης θερμοκηπίων  
στο μικροκλίμα και την παραγωγικότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας “*



Επιβλέπων καθηγητής

Κίττας Κωνσταντίνος

Βόλος, 2015

### **Τριμελής Συμβουλευτική επιτροπή**

A) Κωνσταντίνος Κίττας , Επιβλέπων Καθηγητής, Διευθυντής Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

B) Νικόλαος Κατσούλας, Επίκουρος Καθηγητής, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Γ) Θωμάς Μπαρτζάνας, Ερευνητής Β' , Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

|   |    |
|---|----|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....   | 6  |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....   | 7  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....   | 8  |
| 1.1. Γενικά για τα θερμοκήπια.....  | 8  |
| 1.2. Προβλήματα των θερμοκηπιακών καλλιέργειών στην Ελλάδα.....                                   | 9  |
| 1.3. Αποτίμηση της θερμοκηπιακής κάλυψης του Ελλαδικού χώρου.....                                 | 10 |
| 1.4. Υδροπονία.....   | 13 |
| 1.4.1. Γενικά για την υδροπονική καλλιέργεια.....   | 13 |
| 1.4.2. Πλεονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας.....  | 15 |
| 1.4.3. Μειονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας.....  | 16 |
| 1.5. Υπεριώδης ακτινοβολία.....   | 16 |
| 1.5.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την υπεριώδη ακτινοβολία.....                                    | 17 |
| 1.5.2. Επίδρασεις της υπεριώδους ακτινοβολίας στα φυτά.....                                       | 18 |
| 1.5.3. Επίδρασεις της υπεριώδους ακτινοβολίας στους εχθρούς και τις ασθένειες των φυτών.....      | 22 |
| 1.6. Σκοπός της εργασίας.....   | 24 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....   | 25 |
| 2.1. Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων.....   | 25 |
| 2.2. Πλαστικά υλικά κάλυψης θερμοκηπίων.....  | 26 |
| 2.3. Νέα υλικά κάλυψης.....   | 26 |
| 2.4. Καλύμματα απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας.....                                      | 28 |
| 2.5. Επίδραση διαφορετικών υλικών κάλυψης στο μικροκλίμα και την καλλιέργεια του θερμοκηπίου..... | 29 |
| 2.6. Επίδραση των ιδιοτήτων του καλύμματος στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου.....                    | 33 |
| 2.6.1. Επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στον καρπό.....                                       | 37 |

|  |    |
|--|----|
| 2.6.2. Επίδραση των απορροφητικών υλικών κάλυψης στην υπεριώδη ακτινοβολία στην καλλιέργεια.....                     | 39 |
| 2.6.3. Επίδραση των υλικών κάλυψης απορροφητικών στην υπεριώδη καλλιέργεια στο περιβάλλον του θερμοκηπίου.....       | 41 |
| 2.6.4. Επίδραση της συμπύκνωσης των υδρατμών του καλύμματος στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην καλλιέργεια..... | 42 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....   | 44 |
| 3.1. Τοποθεσία του πειράματος.....   | 44 |
| 3.2. Περιγραφή πειραματικών θερμοκηπίων.....   | 44 |
| 3.3. Αερισμός.....   | 46 |
| 3.4. Θέρμανση.....   | 47 |
| 3.5. Η καλλιέργεια.....  | 49 |
| 3.5.1. Η καλλιέργεια και το υπόστρωμα.....   | 49 |
| 3.5.2. Άρδευση –Λίπανση.....   | 51 |
| 3.5.3. Διάταξη των φυτών.....  | 52 |
| 3.6. Καλλιεργητικές τεχνικές.....  | 53 |
| 3.6.1. Στήριξη των φυτών.....  | 53 |
| 3.6.2. Βλαστολόγημα.....   | 53 |
| 3.6.3. Επεμβάσεις με χημικά.....   | 53 |
| 3.6.4. Αποφύλλωση- Κορυφολόγημα.....   | 53 |
| 3.7. Τα υλικά κάλυψης.....   | 54 |
| 3.8. Περιγραφή των μετρήσεων.....  | 54 |
| 3.8.1. Μετρήσεις κλιματικών παραμέτρων.....  | 54 |
| 3.8.2. Αγρονομικές μετρήσεις.....  | 55 |
| 3.8.3. Μετρήσεις παραγωγής της καλλιέργειας.....   | 56 |
| 3.9. Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων.....   | 59 |

|  |    |
|--|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....                                   | 60 |
| 4.1. Κλιματικά δεδομένα από τον εξωτερικό μετεωρολογικό σταθμό.....        | 60 |
| 4.2. Κλιματικά δεδομένα από τους εσωτερικούς μετεωρολογικούς σταθμούς..... | 61 |
| 4.3. Αγρονομικές μετρήσεις φυτών χειμερινής περιόδου.....                  | 63 |
| 4.3.1. Ύψος φυτών.....   | 64 |
| 4.3.2. Αριθμός φύλλων.....   | 65 |
| 4.3.3. Χλωρό βάρος βλαστού.....  | 66 |
| 4.3.4. Χλωρό βάρος φύλλων.....   | 67 |
| 4.3.5. Ξηρό βάρος βλαστού.....   | 68 |
| 4.3.6. Ξηρό βάρος φύλλων.....  | 69 |
| 4.4. Αγρονομικές μετρήσεις φυτών εαρινής περιόδου.....                     | 70 |
| 4.4.1. Ύψος φυτών.....   | 70 |
| 4.4.2. Αριθμός φύλλων.....   | 71 |
| 4.4.3. Χλωρό βάρος βλαστού.....  | 72 |
| 4.4.4. Χλωρό βάρος φύλλων.....   | 73 |
| 4.4.5. Ξηρό βάρος βλαστού.....   | 74 |
| 4.4.6. Ξηρό βάρος φύλλων.....  | 75 |
| 4.4.7. Αριθμός καρπών ανά φυτό.....  | 76 |
| 4.4.8. Χλωρό βάρος καρπών ανά φυτό.....                                    | 77 |
| 4.4.9. Ξηρό βάρος καρπών ανά φυτό.....                                     | 78 |
| 4.4.10. Φυλλική επιφάνεια (LA) και Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI).....  | 79 |
| 4.5. Μετρήσεις παραγωγής φυτών εαρινής περιόδου.....                       | 81 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....  | 85 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....  | 87 |

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής , θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κωνσταντίνο Κίττα , Επιβλέποντα Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στο παραπάνω Εργαστήριο , και για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε στην αρτιότερη οργάνωση του πειράματος , τη συνεχή επιστημονική καθοδήγηση και στη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κατσούλα Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε στην επιστημονική καθοδήγηση , στη διόρθωση και στην συγγραφή της παρούσας εργασίας .

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μπαρτζάνα Θωμά, Ερευνητή Β' του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) για τη συμμετοχή του ως μέλος στην Τριμελή Συμβουλευτική Επιτροπή και τη διόρθωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Ευχαριστώ πολύ και τους κ. Γιαννακό Ηλία και Περικλή Σιαμέτη , γεωπόνους οι οποίοι εργάζονται στο πλαίσιο ερευνητικών έργων του ΕΚΕΤΑ στα θερμοκήπια του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο , για την βοήθεια τους και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχαν για τη διεξαγωγή του πειράματος.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες κ. Ελβανίδα Αγγελική, κ. Ριγάκη Νικόλαο και κ. Αντώνη Τζούνη από το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας καθώς και τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια κ. Αυγουστάκη Δάφνη , για την πολύτιμη βοήθεια τους .

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ ιδιαιτέρως την οικογένεια μου αλλά και όλους όσους ήταν δίπλα μου και με στήριζαν κατά τη διάρκεια του πειράματος αλλά και κατά τη συγγραφή της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη της επίδρασης τριών διαφορετικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων, από τα οποία το ένα υλικό κάλυψης απορροφά όλη την υπεριώδη UV-A & UV-B ακτινοβολία (UV-block), το άλλο υλικό κάλυψης επιτρέπει όλη την υπεριώδη UV-A & UV-B ακτινοβολία να εισέλθει στο θερμοκήπιο (UV-open) και το τρίτο υλικό κάλυψης αποτελείται από ένα νέο καινοτόμο διπλό φύλλο, στην παραγωγικότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας καθώς και στο μικροκλίμα.

Για το σκοπό αυτό έγιναν μετρήσεις σε φυτά χειμερινής περιόδου (13/11/2014 έως 22/12/2014) και σε φυτά εαρινής περιόδου (17/3/2015 έως 9/6/2015). Πιο συγκεκριμένα, μετρήθηκε το ύψος των φυτών, ο αριθμός των φύλλων, το χλωρό βάρος βλαστού, το χλωρό βάρος φύλλων, το ξηρό βάρος βλαστού, το ξηρό βάρος φύλλων, ο αριθμός καρπών, το χλωρό βάρος καρπών, το ξηρό βάρος καρπών και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας. Επίσης έγιναν μετρήσεις παραγωγής και πιο συγκεκριμένα μετρήθηκε το συνολικό βάρος εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), το συνολικό μέσο βάρος εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{g}/\text{fruit}$ ), το συνολικό βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) και το συνολικό μέσο βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{g}/\text{fruit}$ ).

Όσο αφορά το δείκτη φυλλικής επιφάνειας παρατηρήθηκε ότι είναι μεγαλύτερος στο θερμοκήπιο GR2. Το συνολικό βάρος εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) είναι μεγαλύτερο στο θερμοκήπιο GR3. Το συνολικό μέσο βάρος εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{g}/\text{fruit}$ ) είναι μεγαλύτερο στο θερμοκήπιο GR2. Για τη μη εμπορεύσιμη παραγωγή, παρατηρήθηκε ότι το συνολικό βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) είναι μεγαλύτερο στο θερμοκήπιο GR2 και το συνολικό μέσο βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{g}/\text{fruit}$ ) είναι επίσης μεγαλύτερο στο θερμοκήπιο GR2.

Συμπερασματικά, μελετήθηκαν τα τρία διαφορετικά υλικά κάλυψης θερμοκηπίων και γενικά δεν αναμένονταν στατιστικά σημαντικές διαφορές, και αυτό επιβεβαιώθηκε από τα αποτελέσματα για τα φυτά εαρινής περιόδου. Όσο αφορά κάποιες μικρές στατιστικά διαφορές στα αποτελέσματα των φυτών χειμερινής περιόδου, αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι έπαιξαν σημαντικό ρόλο οι διαφορετικές καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν εκείνη την περίοδο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1 Γενικά για τα θερμοκήπια**

Τα θερμοκήπια είναι κλειστές, διαφανείς κατασκευές που ο σκελετός τους αποτελείται από σιδερένια ή ξύλινα δοκάρια, καλύπτεται από πλαστικά φύλλα ή γυαλί που έχουν σκοπό τη δημιουργία όσο το δυνατόν πιο ευνοϊκών συνθηκών περιβάλλοντος για την καλλιέργεια των φυτών, ιδιαίτερα σε εποχές που στην ύπαιθρο αυτό δε συμβαίνει και σε περιοχές που δεν είναι ενδεδειγμένες για την καλλιέργεια κάποιου είδους στις επικρατούσες φυσικές οικολογικές συνθήκες. Σκοπός της χρησιμοποίησης των θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων είναι η τροποποίηση ή η ρύθμιση πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Με το θερμοκήπιο γενικά:

- Αποφεύγονται ζημιές από αέρα, βροχή, χιόνι και χαλάζι.
- Ανάλογα τον εξοπλισμό του, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης των φυτών όπως: της ακτινοβολίας, της θερμότητας, της υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα με αρκετή ακρίβεια.
- Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών όπως: της υγρασίας, του οξυγόνου, της θερμότητας, των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων και του pH, που με τη χρήση κατάλληλων εδαφικών υποστρωμάτων ή υδροπονικών καλλιεργειών, μπορούν να φθάσουν με ακρίβεια τις απαιτήσεις των φυτών.
- Παρέχεται η δυνατότητα αποτελεσματικότερης φυτοπροστασίας από ασθένειες και έντομα, λόγω περιορισμένου χώρου και εξειδικευμένου εξοπλισμού. Επιπλέον σε ένα θερμοκήπιο που παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης των συνθηκών του περιβάλλοντος έτσι ώστε να ευνοεί την ανάπτυξη ασθενειών των φυτών είναι πολύ σπανιότερη απ' ότι σε συνθήκες που δεν παρέχεται τέτοια δυνατότητα.



Στα θερμοκήπια όπου γίνεται ακριβής ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος των φυτών, μπορεί να επιτευχθεί:

- Χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες του εξωτερικού χώρου
- Αύξηση της παραγωγής και βελτίωση ποιότητας λόγω της βελτίωσης των συνθηκών που επικρατούν μέσα στο θερμοκήπιο
- Παραγωγή προϊόντων με χαμηλό κόστος (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

### **1.2. Προβλήματα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών στην Ελλάδα**

Σήμερα, η παραγωγή προϊόντων υπό κάλυψη είναι ιδιαίτερα ενεργειοβόρα με την ταυτόχρονη επιβάρυνση από τη χρήση χημικών προστατευτικών, λιπασμάτων και απολυμαντικών εδάφους. Για να γίνει η παραγωγή θερμοκηπιακών καλλιεργειών πιο φιλική στο περιβάλλον και πιο ανταγωνιστική, θα πρέπει :

- ❖ Να εφαρμοστούν τεχνικές όπως ο ορθολογικός σχεδιασμός της κατασκευής, η βελτίωση της χρήσης των συστημάτων θέρμανσης, η χρήση ήπιων μορφών ενέργειας και συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας οι οποίες θα βελτιώσουν την ενεργειακή συμπεριφορά του θερμοκηπίου και θα περιορίσουν την κατανάλωση ενέργειας.
- ❖ Να εφαρμοστούν τεχνολογίες όπως σωστός φυσικός αερισμός , συστήματα δυναμικού αερισμού , δροσισμού και σκίασης οι οποίες θα παρατείνουν τη λειτουργία του θερμοκηπίου κατά τη θερμή περίοδο του καλοκαιριού και θα καταστήσουν έτσι τα θερμοκήπια πιο ανταγωνιστικά.

Το σημαντικότερο πρόβλημα των θερμοκηπίων, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, είναι η διαχείριση της υγρασίας και κυρίως η μείωση της υψηλής σχετικής υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα, σε θερμοκήπια τα οποία είναι καλυμμένα με συμβατικά υλικά κάλυψης, δημιουργούνται υγροποιήσεις με μορφή σταγόνων στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος, λόγω της διαπνοής της καλλιέργειας και της εξάτμισης από το έδαφος. Οι παραγόμενοι υδρατμοί που υγροποιούνται στο κάλυμμα με μορφή σταγόνων έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της διέλευσης της ακτινοβολίας από τα υλικά κάλυψης εξαιτίας της

εσωτερικής ανάκλασης και την πτώση των σταγόνων, που δημιουργούνται στο εσωτερικό του καλύμματος από τις υγροποιήσεις, πάνω στα φυτά, με συνέπεια την ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών.

Προκειμένου να μειωθούν τα υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας συνιστάται η αφύγρανση των θερμοκηπίων με μια ή συνδυασμό των παρακάτω μεθόδων:

A) τη χρήση υγροσκοπικών υλικών

B) τη συμπύκνωση πάνω σε μια κρύα επιφάνεια, με τη χρήση συνήθως μιας αντλίας θερμότητας

Γ) με εξαναγκασμένη εναλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου, με τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας

Δ) με συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού

Οι μέθοδοι Β,Γ και Δ είναι ενεργειοβόρες, ενώ η αφύγρανση με τη χρήση υγροσκοπικών υλικών είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία, λόγω της χρήσης υψηλών συγκεντρώσεων χλωριδίων και βρομιδίων που περιέχονται στα υγροσκοπικά υλικά. Η απαίτηση όμως των καταναλωτών για προϊόντα απαλλαγμένα από χημικά υπολείμματα, η οποία γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη, σε συνδυασμό με την αύξηση των τιμών των καυσίμων, οδήγησε στην αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων για τη ρύθμιση των υψηλών επιπέδων υγρασίας. Μια τέτοια μέθοδος είναι η χρήση αντισταγονικών φύλλων κάλυψης των θερμοκηπίων.

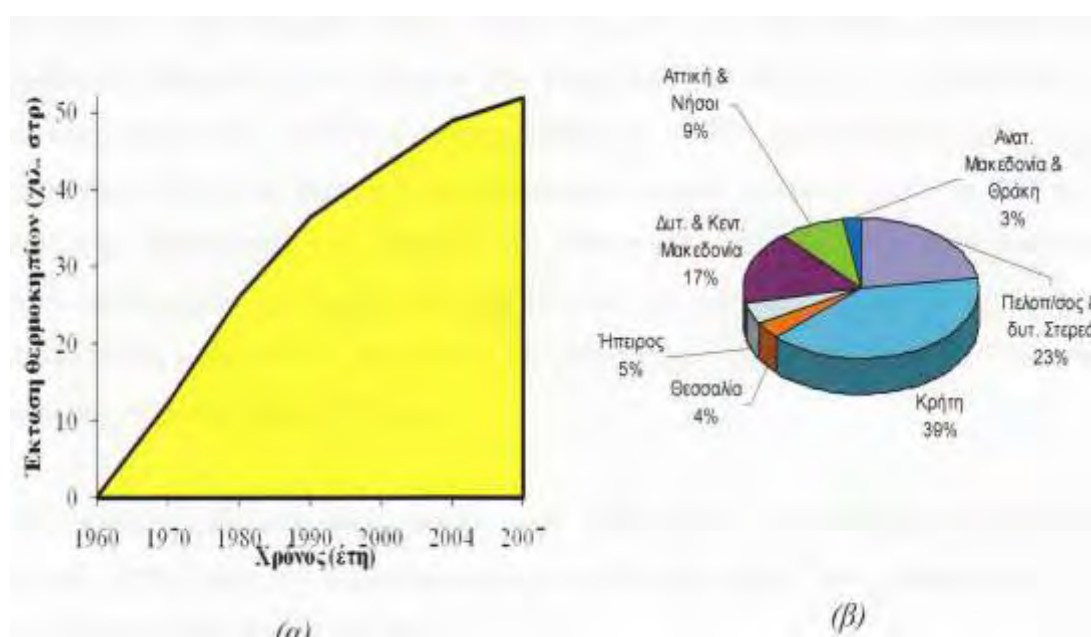
### **1.3. Αποτίμηση της θερμοκηπιακής κάλυψης του Ελλαδικού χώρου**

Στη χώρα μας οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και αποτελούνταν από υαλόφρακτα θερμοκήπια για παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Η σημαντική όμως εξάπλωση τους αρχίζει μετά το 1961, με τη χρησιμοποίηση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων. Η ευκολία προσαρμογής του υλικού αυτού σε οποιοδήποτε σχήμα σκελετού και η χαμηλή του τιμή επέτρεψαν στους προοδευτικούς καλλιεργητές (σε περιοχές με πρώιμες καλλιέργειες) να κατασκευάσουν μόνοι τους θερμοκήπια για παραγωγή πρώιμων κηπευτικών, χωρίς να χρειάζονται μεγάλα κεφάλαια. Αργότερα δημιουργήθηκαν και αρκετές βιοτεχνίες κατασκευής θερμοκηπίων, οι

οποίες βελτίωσαν σημαντικά τις κατασκευές. Έτσι παρατηρήθηκε μια σημαντική ανάπτυξη των θερμοκηπίων, τα οποία έφθασαν στα 46.441 στρέμματα το 2003.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας του έτους 2007, η έκταση των θερμοκηπίων ανέρχεται στα 44.731 στρέμματα για την καλλιέργεια των λαχανικών, ενώ για την καλλιέργεια ανθοκομικών φυτών ανέρχεται στα 3.857 στρέμματα (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, 2007).

Στην Ελλάδα η Κρήτη κατέχει το μεγαλύτερο τμήμα της καλυμμένης έκτασης σε θερμοκήπια με ποσοστό περίπου 39% (σχήμα 1.1 β).



Σχήμα 1.1: (α) Έκταση θερμοκηπιακών εκτάσεων από το 1960 έως το 2007 (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας). (β) Γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα σε ποσοστό της συνολικής έκτασης (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).

Τα κυριότερα είδη που καλλιεργούνται στην Ελλάδα στο θερμοκήπιο είναι η τομάτα (50%) και το αγγούρι (25%) από τα λαχανοκομικά, τα γλαστρικά φυτά, τα γαρύφαλλα και τα τριαντάφυλλα από τα ανθοκομικά.

Η γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων και καλλιεργειών στη χώρα μας παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Γεωγραφική κατανομή των εγκατεστημένων στη χώρα μας θερμοκηπίων και καλλιέργειών σε στρέμματα (Υπουργείο Γεωργίας, 2003)

| Περιοχές Χώρας      | Κηπευτικά    |            |              |             |
|---------------------|--------------|------------|--------------|-------------|
|                     | Πλαστικά     | Υαλόφρακτα | Σύνολο       | Ποσοστό (%) |
| Κρήτη               | 19623        | 177        | 19800        | 46,4        |
| Πελοπόννησος        | 6298         | 49         | 6347         | 14,9        |
| Κεντρική Μακεδονία  | 6424         | 8          | 6432         | 15,1        |
| Λοιπές περιοχές     | 9975         | 104        | 10079        | 23,6        |
| <b>Σύνολο χώρας</b> | <b>42320</b> | <b>338</b> | <b>42658</b> | <b>100</b>  |
| <b>Ποσοστό (%)</b>  | <b>99,2</b>  | <b>0,8</b> | <b>100</b>   |             |

| Περιοχές χώρας      | Σύνολο       |             |              |             |
|---------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|                     | Πλαστικά     | Υαλόφρακτα  | Σύνολο       | Ποσοστό (%) |
| Κρήτη               | 20032        | 589         | 20621        | 44,4        |
| Πελοπόννησος        | 6385         | 251         | 6636         | 14,3        |
| Κεντρική Μακεδονία  | 6498         | 305         | 6803         | 14,6        |
| Λοιπές περιοχές     | 10067        | 1714        | 12381        | 26,7        |
| <b>Σύνολο χώρας</b> | <b>43582</b> | <b>2859</b> | <b>46441</b> | <b>100</b>  |
| <b>Ποσοστό (%)</b>  | <b>93,8</b>  | <b>6,2</b>  | <b>100</b>   |             |

Η μέση στρεμματική απόδοση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών είναι σαφώς μεγαλύτερη από την απόδοση της υπαίθριας παραγωγής. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η απόδοση της τομάτας φτάνει τους δέκα τόνους ανά στρέμμα, απόδοση που είναι διπλάσια της υπαίθριας παραγωγής. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ολλανδία η απόδοση της τομάτας φτάνει τους 60 τόνους ανά στρέμμα.

## **1.4. Υδροπονία**

### **1.4.1. Γενικά για την υδροπονική καλλιέργεια**

Η καλλιέργεια των κηπευτικών φυτών και των δρεπτών ανθέων στην Ελλάδα, στην συντριπτική πλειονότητα των θερμοκηπίων, γίνεται στο φυσικό έδαφος ή σε βελτιωμένο με προσθήκη οργανικής ουσίας. Σε πολλές περιοχές του κόσμου εφαρμόζεται εκτεταμένα και η ανέδαφος καλλιέργεια ή υδροπονική καλλιέργεια φυτών στην οποία, εκτός από τη ρύθμιση του περιβάλλοντος της κόμης, γίνεται ρύθμιση και του περιβάλλοντος της ρίζας.

Άρα λοιπόν η υδροπονία θα μπορούσε να οριστεί η οποιαδήποτε μέθοδος καλλιέργειας φυτών που δεν έχει σχέση με το φυσικό έδαφος ή με ειδικά μείγματα εδάφους. Αναφέρεται μερικές φορές και ως τεχνητή καλλιέργεια και ανέδαφος γεωργία. Ο τελευταίος όρος χρησιμοποιείται ιδιαίτερα , όταν χρησιμοποιούνται οργανικά ή άλλα μη αδρανή υποστρώματα.

Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται είτε πάνω σε πορώδη αδρανή υποστρώματα στα οποία προστίθενται θρεπτικό διάλυμα ή σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα. Το θρεπτικό διάλυμα είναι ένα αραιό υδατικό διάλυμα όλων των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τα φυτά. Τα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονται διαλυμένα στο νερό κατά κανόνα ως ιόντα ανόργανων αλάτων, με εξαίρεση το βόριο, το οποίο παρέχεται ως ευδιάλυτη ανόργανη χημική ένωση (βορικό οξύ), και τον σίδηρο, ο οποίος παρέχεται με μορφή ευδιάλυτων οργανικών χημικών ενώσεων (διάφοροι τύποι χηλικού σιδήρου).

Η υδροπονική καλλιέργεια είναι μια διαρκώς επεκτεινόμενη δραστηριότητα, διότι με τη βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος της ρίζας που επιτυγχάνει, αυξάνονται οι αποδόσεις των φυτών και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Εκτός αυτών όμως παρέχει

τη δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές με πολύ κακής ποιότητας εδάφη (πολύ αλατούχα, πολύ συνεκτικά κλπ) ή σε θέσεις χωρίς καθόλου φυσικό έδαφος.

Γενικά για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών είναι απαραίτητο στη ρίζα τους να υπάρχει άφθονο οξυγόνο και ταυτόχρονα άφθονο νερό που να έχει διαλυμένα τα απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στη σωστή τους αναλογία. Στη συμβατική καλλιέργεια εδάφους όμως, αυτός ο συνδυασμός δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί διότι στις περισσότερες περιπτώσεις, όσο περισσότερο νερό υπάρχει, τόσο λιγότερο οξυγόνο μένει, και αντίθετα, με αποτέλεσμα τότε το ένα και τότε το άλλο να βρίσκεται σε έλλειψη. Στο έδαφος προκύπτει και το πρόβλημα της διαθεσιμότητας των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα του φυτού. Παρόλο που εμείς μπορεί να προσθέτουμε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος, αυτά δεν είναι πάντα αμέσως διαθέσιμα στη ρίζα, γιατί δεσμεύονται στα συστατικά του εδάφους ή δύσκολα μετακινούνται στην περιοχή της ρίζας. Με τις υδροπονικές καλλιέργειες τα προβλήματα αυτά λύνονται με τη ρύθμιση της τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος και τη χρησιμοποίηση (σε όσες περιπτώσεις χρησιμοποιείται στερεό υπόστρωμα) υλικών με πολύ υψηλό πορώδες και χημικά αδρανών.

### **1.4.2. Πλεονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας**

Η υδροπονική καλλιέργεια φυτών παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων.

- 1) Παρέχει τη δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές όπου τα εδάφη τους δεν είναι κατάλληλα για καλλιέργεια, λόγω κακής ποιότητας του εδάφους (πολύ συνεκτικά ή αλατούχα κλπ), ή σε περιοχές με σοβαρές εδαφογενείς ασθένειες.
- 2) Τα φυτά απαλλάσσονται από τις ασθένειες και επιπλέον δεν υφίστανται η ανάγκη για απολύμανση, το κόστος της οποίας είναι σημαντικό.
- 3) Δεν υφίστανται η ανάγκη για καταπολέμηση ζιζανίων και διαφόρων άλλων παρασίτων κάτι που συμβάλλει στη μείωση του κόστους παραγωγής.
- 4) Συμβάλλει στην απλοποίηση του προγράμματος των διαφόρων εργασιών και στον περιορισμό των χειρωνακτικών εργασιών που απαιτούνται κατά την καλλιέργεια όπως η άρδευση, η καλλιέργεια του εδάφους κ.α., καθώς αυτές μειώνονται σε σημαντικό αριθμό.
- 5) Δύναται να επιτευχθούν μεγαλύτερες αποδόσεις και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.
- 6) Η καλλιέργεια των φυτών πραγματοποιείται σε ένα περισσότερο ελεγχόμενο περιβάλλον (πχ ελέγχεται το περιβάλλον της ρίζας, ο χρόνος άρδευσης και λίπανσης κλπ). Ειδικά όταν η καλλιέργεια λαμβάνει χώρα σε θερμοκήπιο ελέγχονται επιπλέον ο φωτισμός, η θερμοκρασία, η υγρασία και η σύσταση του αέρα.
- 7) Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών στοιχείων, γιατί περιορίζονται οι απώλειες από επιφανειακές διαρροές και βαθιά διείσδυση του νερού στο έδαφος.
- 8) Αποφεύγεται η ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα από τα υπολείμματα λιπασμάτων, ιδιαίτερα στα κλειστά συστήματα.
- 9) Η θρέψη των φυτών είναι ακριβής και τα θρεπτικά συστατικά βρίσκονται σε εύκολα προσλήψιμες για τα φυτά μορφές.

### **1.4.3. Μειονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας**

Κατά την εφαρμογή της όμως η υδροπονία παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα.

- 1) Το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό και επιπλέον απαιτούνται αυξημένες τεχνικές ικανότητες για την εγκατάσταση.
- 2) Απαιτείται προηγμένη τεχνολογία.
- 3) Αν τα φυτά προσβληθούν από κάποια ασθένεια των ριζών ή νηματώδεις τότε η εξάπλωση πραγματοποιείται γρήγορα ιδίως στα κλειστά συστήματα.
- 4) Είναι σχετικά ευαίσθητα συστήματα, χωρίς μεγάλες ανοχές λαθών.
- 5) Για ένα καλό αποτέλεσμα απαιτούνται περισσότερες από τις συνήθεις γνώσεις του καλλιεργητή.
- 6) Η προσαρμογή για κάποιες ποικιλίες φυτών στις συνθήκες της υδροπονίας απαιτούν έρευνα.
- 7) Τα φυτά αντιδρούν γρήγορα όταν υπάρχει διακύμανση στη θρέψη, συνεπώς ο παραγωγός θα πρέπει να παρακολουθεί τα φυτά κάθε μέρα και επιπλέον θα πρέπει να ελέγχεται ανά τακτικά διαστήματα η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος.

### **1.5. Υπεριώδης ακτινοβολία**

Η υπεριώδης ακτινοβολία κατατάσσεται σε 3 ζώνες με βάση τα διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός: την υπεριώδη ακτινοβολία C (UV-C) (200-280nm) , η οποία είναι εξαιρετικά επιβλαβής για τους οργανισμούς αλλά αυτό δε συμβαίνει υπό φυσιολογικές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας, την υπεριώδη ακτινοβολία B (UV-B) (280-320nm), η οποία έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον γιατί ενώ αυτό το μήκος κύματος αντιπροσωπεύει περίπου το 1,5% του ολικού φάσματος, μπορεί να προκαλέσει πλήθος βλαβερών συνεπειών στα φυτά , και την υπεριώδη ακτινοβολία A (UV-A) (320-400nm), που αντιπροσωπεύει περίπου το 6,3% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και είναι το λιγότερο βλαβερό τμήμα της υπεριώδους (Hollosy,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.



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, συνέπεια ανθρωπογενών επεμβάσεων, έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη ροή υπεριώδους ακτινοβολίας Β στην επιφάνεια της Γης. Η υπεριώδης ακτινοβολία Β είναι ιδιαιτέρως επιβλαβής για την αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών και προκαλεί ποικιλία μορφογενετικών 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 ηλίου και από τη νέφωση (Moran et al., 2004).

#### **1.5.1. 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 τη 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 κι 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 80% , ή 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 (πχ 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 το λόγο το καλοκαίρι η ακτινοβολία είναι εντονότερη από ότι το χειμώνα (Nigel et al.,2003).

### **1.5.2. 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. Οι 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 (Hollosy,2002).

Οι επιδράσεις της αυξημένης υπεριώδους ακτινοβολίας στα φυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2: Επιδράσεις της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας στα φυτά (Teramura,1983)

| <u>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΥΤΟΥ</u>             | <u>ΑΥΞΗΜΕΝΗ ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ</u>  |
|---|--|
| Φωτοσύνθεση                             | Ελάττωση σε μερικά φυτά  |
| Συμπεριφορά φύλλων                      | Καμία επίδραση σε αρκετά φυτά  |
| Αποδοτικότητα χρήσης 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 καλλιέργειας                   | Καμία επίδραση   |
| Άνθηση                                  | Μπορεί να αναχαιτιστεί ή να ενισχυθεί σε κάποια φυτά                             |
| Διαφορές μεταξύ των ειδών               | Κάθε είδος συμπεριφέρεται διαφορετικά  |
| Διαφορές μεταξύ ατόμων του ίδιου είδους | Η αντίδραση ποικίλλει ανάλογα με την ποικιλία                                    |
| Καταπόνηση λόγω ξηρασίας                | Τα φυτά γίνονται λιγότερο ευαίσθητα στην υπεριώδη 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 αυτή την ακτινοβολία, το 50% είναι μετρίως ευαίσθητα ή ανεκτικά και 30% δεν έχουν καμία ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία B (Yuan et al.,2000). 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 (πχ το σιτάρι, το ρύζι, το καλαμπόκι, ο ηλίανθος 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 Kulandavelu,1997).

Ο βαθμός της ευαισθησίας που παρουσιάζει το κάθε είδος εξηγείται μερικώς από την ιδιότητα τους να αντιδρούν στη 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 στην 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 οξείδωσης 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 δυο 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 (Hollosy,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 αυτή την περίπτωση υπάρχουν διαφορές ανάλογα με τις συνθήκες ανάπτυξης και τα είδη των φυτών (Hollosy,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 στη UV συνηθέστερα αντιδρούν μειώνοντας τη διαπερατότητα τους στην ακτινοβολία (Hollosy,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 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 στην 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 φύτευμα 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 τα 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 Α. 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 χρώματος (Krizek et al.,1998).

Σε ποικιλίες ζαχαρότευτλων οι οποίες μεγάλωναν κάτω από αυξημένα επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας Β και ήταν μολυσμένα με το 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).

### **1.5.3. 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 (πχ 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 *Fulvium 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 εισέρχονταν 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 προγραμμάτων ολοκληρωμένης καταπολέμησης.

Έχουν 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 ανώτερα 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 αγγειόσπερμων 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 400nm από φίλτρα των οφθαλμών. Η ευαισθησία των βομβύνων στην υπεριώδη ακτινοβολία είχε προσωρινά δημιουργήσει ερωτηματικά για το αν επηρεάζεται η αποτελεσματικότητα 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 περίσσειας της όμως αυτό δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά τους κατά την 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).

### **1.6. Σκοπός της εργασίας**

Ο σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη της επίδρασης τριών διαφορετικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων, από τα οποία το ένα υλικό κάλυψης απορροφά όλη την υπεριώδη UV-A & UV-B ακτινοβολία (UV-block), το άλλο υλικό κάλυψης επιτρέπει όλη την υπεριώδη UV-A & UV-B ακτινοβολία να εισέλθει στο θερμοκήπιο (UV-open) και το τρίτο υλικό κάλυψης αποτελείται από ένα νέο καινοτόμο διπλό φύλλο, στην παραγωγικότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας καθώς και στο μικροκλίμα.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

### **2.1.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 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 ηλίου 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 μικρότερο 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 πολυβινυλοχλωρίδιου (PVC) και οι ακρυλικές επιφάνειες.

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

## **2.2. Πλαστικά υλικά κάλυψης θερμοκηπίων**

Το συνηθέστερο υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων σε Ευρώπη και Ηνωμένες Πολιτείες είναι το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας, γνωστό και ως *LDPE (Low Density PolyEthylene)* (*Giacomelli and Roberts 1993*).

Το ιδανικό κάλυμμα σύμφωνα με τον *Gilby (1990)*, έχει τις εξής ιδιότητες:

- ❖ μεγάλη διάρκεια ζωής.
- ❖ ικανοποιητική διαπερατότητα στην φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (400-700 nm).
- ❖ καλή διαπερατότητα στην κοντινή υπέρυθη (θερμική) ακτινοβολία (700– 2.100 nm).
- ❖ μικρή διαπερατότητα στη θερμική ακτινοβολία (3.000 – 50.000 nm).

Τα πλαστικά φύλλα κάλυψης πρέπει να έχουν τις εξής ιδιότητες:

- ❖ οπτικές
- ❖ θερμομονωτικές
- ❖ μηχανικές
- ❖ διάρκεια ζωής (συστήματα σταθεροποίησης, οδηγίες χρήσης)
  - κίνδυνος φυτοφαρμάκων
- ❖ αντισταγονικές/ αντιομιχλικές
- ❖ δροσισμός
- ❖ έλεγχος ασθενειών
- ❖ φωτοεπιλεκτικά φύλλα (*Κυκρικής, 2008*)

## **2.3. 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 τη διέλευση 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 περιορίσαν την ανάπτυξη πληθυσμών εντόμων καθυστερώντας 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 φυλλόρυκτων (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 (Paradakis et al,2000).

Τέλος έχουν κατασκευαστεί νέα 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.,2003). Τα σύγχρονα υλικά κάλυψης περιέχουν πρόσθετα τα οποία συντελούν στη δημιουργία του συμπυκνώματος 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).

#### **2.4. Καλύμματα απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας**

Στα πλαίσια της φιλικότερης στο περιβάλλον γεωργίας, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές. Μια από αυτές τις τεχνικές είναι η χρήση πλαστικών καλυμμάτων θερμοκηπίων απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας. Έχει βρεθεί ότι η χρήση αυτών των υλικών, μειώνει τους πληθυσμούς βλαβερών εντόμων και των ιογενών μεταδιδόμενων ασθενειών των καλλιεργειών και οδηγεί στην μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων και συνεπώς των υπολειμμάτων τους στα παραγόμενα προϊόντα καθώς και στην προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα.

Η κατασκευή των υλικών κάλυψης θερμοκηπίου τα οποία περιείχαν πρόσθετα σταθεροποίησης για αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία, δεν άργησε να συνδυαστεί με το γεγονός ότι η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία, ευνοούσε το μαύρισμα των πετάλων καθώς παρατηρήθηκε σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια τριαντάφυλλου, σε συνδυασμό με χαμηλές

θερμοκρασίες στο περιβάλλον του θερμοκηπίου και έτσι νέα τάση στην κατασκευή των καλυμμάτων πολυαιθυλενίου αποτέλεσε η κατασκευή καλυμμάτων απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Στη συνέχεια τα υλικά αυτά, βρέθηκε ότι περιόρισαν την ανάπτυξη των πληθυσμών των εντόμων καθυστερώντας και τις επιβλαβείς επιδράσεις των εντομομεταδιδόμενων ιών, λόγω της συγκεκριμένης τροποποίησης του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας από τις οπτικές ιδιότητες του υλικού κάλυψης.

Επίσης, αυτές οι ποιοτικές αλλαγές στη μεταδιδόμενη ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου συνδυάστηκαν με επιμέρους μορφογενετικές επιδράσεις στα φυτά και θεωρήθηκαν υπεύθυνες για τροποποιήσεις στην αρχιτεκτονική και στο σχήμα των φυτών με συγκεκριμένες επιπτώσεις στην αξία της καλλιέργειας, ειδικότερα στα καλλωπιστικά φυτά (Παπαϊωάννου, 2007).

## **2.5. Επίδραση διαφορετικών υλικών κάλυψης στο μικροκλίμα και την καλλιέργεια του θερμοκηπίου**

Οι αλλαγές του μικροκλίματος μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη και στην παραγωγικότητα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης μπορεί να μειωθεί σε περίπτωση χαμηλού PAR (Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία) ενώ είναι γενικά αποδεκτό ότι η μείωση του φωτός οδηγεί αναλογικά σε μειωμένη παραγωγή (Challa and Scharnedock, 1984). Επίσης ο ρυθμός φωτοσύνθεσης μπορεί να αυξηθεί σε περιπτώσεις υψηλής υγρασίας (Acock et al., 1976, Bunce, 1984). Πιο συγκεκριμένα, στο αγγούρι η βλαστική ανάπτυξη του φυτού ενισχύθηκε από τα υψηλά ποσοστά υγρασίας είτε την μέρα είτε τη νύχτα, ενώ η τελική απόδοση σε καρπούς συνδέθηκε με την υψηλή υγρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας (Bakker et al., 1987). Το πιο ανησυχητικό όσο αφορά την υψηλή υγρασία είναι ο κίνδυνος ανάπτυξης μυκητολογικών ασθενειών καθώς και φυσιολογικές διαταραχές, όπως η έλλειψη ασβεστίου (Hand, 1988).

Οι Papadopoulos and Hao (1997) βρήκαν πως η μέση θερμοκρασία σε θερμοκήπια με διπλό πλαστικό ή ακρυλικό κάλυμμα είναι υψηλότερη σε σχέση με ένα γυάλινο θερμοκήπιο. Οι μεγαλύτερες διαφορές βρέθηκαν την περίοδο μεταξύ Δεκεμβρίου και Μαρτίου ενώ μετά τον Μάρτιο οι διαφορές στην θερμοκρασία ήταν αμελητέες. Η μέση θερμοκρασία στα

θερμοκήπια με ακρυλικό κάλυμμα και διπλό πλαστικό ήταν ίδια. Η υψηλότερη σχετική υγρασία παρατηρήθηκε στο διπλό πλαστικό και η χαμηλότερη στο γυάλινο ενώ η σημαντικότερη διαφορά συνέβη μεταξύ Ιανουαρίου και Μαρτίου. Αναφέρουν ακόμη ότι τα φυτά κάτω από το διπλό πλαστικό και το ακρυλικό κάλυμμα αναπτύχθηκαν ταχύτερα σε σχέση με αυτά στο γυάλινο θερμοκήπιο. Το ύψος, ο αριθμός των φύλλων και των ταξιανθιών ανά φυτό ήταν μεγαλύτερος στο διπλό πλαστικό και το ακρυλικό κάλυμμα. Στο σύνολο της εμπορεύσιμης παραγωγής τα θερμοκήπια με το διπλό πλαστικό και το ακρυλικό κάλυμμα είχαν ίση ή μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με το γυάλινο θερμοκήπιο.

Οι Paradoroulos and Hao (1997) επεσήμαναν πως το γυάλινο θερμοκήπιο είχε την υψηλότερη περατότητα στο φάσμα PAR ενώ το διπλό πλαστικό την χαμηλότερη. Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των φυτών στο ακρυλικό και στο γυάλινο θερμοκήπιο ήταν παρόμοιος και υψηλότερος από αυτόν στο διπλό πλαστικό. Βρήκαν ακόμη πως τα φυτά που αναπτύχθηκαν κάτω από το διπλό πλαστικό κάλυμμα προσαρμόστηκαν καλύτερα στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα τα φυτά κάτω από το διπλό πλαστικό κάλυμμα είχαν το ίδιο μέγεθος με αυτά του γυάλινου θερμοκηπίου αλλά ήταν περισσότερα, με αποτέλεσμα να έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια για φωτοσύνθεση, πράγμα που αντιστάθμισε το γεγονός του χαμηλότερου φωτισμού κάτω από το διπλό πλαστικό. Η αποδοτικότητα της φωτοσύνθεσης ανά μονάδα φωτοσυνθετικής φυλλικής επιφάνειας στο διπλό πλαστικό καθώς και στο γυάλινο θερμοκήπιο ήταν παρόμοια.

Η υψηλότερη θερμοκρασία αέρα μπορεί να ενισχύσει την αύξηση και ανάπτυξη του φυτού σε θερμοκήπια με διπλό κάλυμμα. Αυτή η αύξηση στην θερμοκρασία του αέρα μπορεί να αντισταθμίσει την απώλεια σε φως, καθώς η υψηλή θερμοκρασία στα νεαρά φυτά προωθεί την φωτοσύνθεση (Challa et al., 1995).

Οι Zhang et al. (1995) καταλήγουν στο συμπέρασμα πως σε θερμοκήπια με διπλό πλαστικό κάλυμμα το έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών (VPD) είναι κατά 0.2 kPa χαμηλότερο την ημέρα και κατά 0.1 kPa χαμηλότερο τη νύχτα σε σχέση με το μονό γυάλινο θερμοκήπιο. Παρόμοιες έρευνες δείχνουν 10% υψηλότερη υγρασία σε μονωμένα θερμοκήπια (διπλό γυαλί) κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων ημερών το χειμώνα, αλλά χωρίς διαφορές τους θερινούς μήνες (van Wilden and van Uffelen 1984, Steinbuch and de Vooren, 1984). Ο Hand (1988) παρατηρήθηκε πως δεν υπάρχει καμία επίδραση πάνω στη φυσιολογία

ή την ανάπτυξη των λαχανικών και των καλλωπιστικών φυτών που καλλιεργούνται μέσα σε θερμοκήπια όταν το VPD είναι μεταξύ 0.3 και 1kPa. Αντιθέτως, αρκετές καλλιέργειες επηρεάζονται αρνητικά όταν το VPD παίρνει τιμές άνω του 1kPa (Hoffman ,1979, Bakker, 1990).

Οι Cemek et al., (2006) βρήκαν ότι η μέση μηνιαία θερμοκρασία στα θερμοκήπια με το διπλό πλαστικό και το IR+PE (Infrared+polyethylene) κάλυμμα ήταν υψηλότερη σε σχέση με τα UV+PE (Ultraviolet+polyethylene) και το απλό πλαστικό. Η υψηλότερη μέση θερμοκρασία βρέθηκε στο θερμοκήπιο με το διπλό πλαστικό ενώ ακολουθεί το IR+PE , το UV+PE και το απλό πλαστικό. Η υψηλότερη και η χαμηλότερη μέση θερμοκρασία παρατηρήθηκε τον μήνα Ιούλιο και Νοέμβριο αντίστοιχα. Η υψηλότερη σχετική υγρασία βρέθηκε στο θερμοκήπιο με το διπλό πλαστικό ενώ ακολουθεί το IR+PE , το PE (Polyethylene) και το UV+PE. Η υψηλότερη μέση μηνιαία σχετική υγρασία καταγράφηκε το μήνα Οκτώβριο και η χαμηλότερη το μήνα Αύγουστο. Διαπίστωσαν επίσης πως η θερμοκρασία αέρα ήταν χαμηλότερη το μήνα Αύγουστο. Διαπιστώθηκαν επίσης ότι η θερμοκρασία αέρα ήταν 2-3 βαθμούς υψηλότερη στο D-poly (double layers of polyethylene) θερμοκήπιο σε σχέση με τα υπόλοιπα, ενώ η μεγαλύτερη διαφορά βρέθηκε το πιο κρύο μήνα. Αυτή η διαφορά στη θερμοκρασία αντιστάθμισε το γεγονός ότι στο D-poly επικρατούσε χαμηλότερη ένταση του φωτός, αφού στα νεαρά φυτά η υψηλή θερμοκρασία προωθεί την ανάπτυξη των φύλλων και την αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου φωτός. Το θερμοκήπιο με το απλό πλαστικό κάλυμμα είχε την μεγαλύτερη περατότητα στο φως με τη μέγιστη τιμή να καταγράφεται το μήνα Ιούλιο, ενώ ακολούθησαν τα θερμοκήπια UV+PE, IR+PE και τέλος το διπλό πλαστικό.

Οι Cemek et al., (2006) διαπιστώθηκαν πως το ύψος των φυτών καθώς και ο αριθμός των καρπών στο θερμοκήπιο με το διπλό πλαστικό ήταν σημαντικά μεγαλύτερος από τα υπόλοιπα θερμοκήπια. Επίσης η ξηρή ουσία των φυτών στα θερμοκήπια UV+PE και PE ήταν υψηλότερη ενώ η φυλλική επιφάνεια τους ήταν χαμηλότερη σε σχέση με το IR+PE και το D-poly. Η υψηλότερη απόδοση βρέθηκε στο D-poly ενώ ακολούθησαν το IR+PE , το UV+PE και τέλος το απλό πλαστικό.

Ο Cemek (2002) υπέδειξε πως τα θερμοκήπια με διπλό πλαστικό κάλυμμα είχαν υψηλότερη θερμοκρασία ενώ τα φυτά ήταν ψηλότερα. Οι Cemek et al. (2006) βρήκαν παρόμοια αποτελέσματα για την καλλιέργεια της μελιτζάνας κάτω από το διπλό πλαστικό

κάλυμμα. Ανέφεραν ακόμα πως η μελιτζάνα ανέπτυξε την μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια κάτω από το διπλό πλαστικό. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στο D-poly επικρατούσε υψηλότερη θερμοκρασία και λιγότερο διαθέσιμο φως για τα φυτά. Αν και η φωτοσύνθεση αποτελεί την πιο καθοριστική παράμετρο για την ανάπτυξη του φυτικού ιστού, η απόδοση σε καρπούς είναι περισσότερο συνδεδεμένη με τη συνολική έκταση της φυλλικής επιφάνειας (Lawlor, 1995).

Μια απώλεια της τάξης του 5-20% στο ορατό φως ή στο φάσμα της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR), στα θερμοκήπια με διπλό πλαστικό, έχει βρεθεί από αρκετούς ερευνητές (Blom and Ingratta, 1985, Bauerle, 1981). Η θερμοκρασία αέρα, η υγρασία και η θερμοκρασία καλλιέργειας επηρεάζονται από την διαπερατότητα στο φως που έχουν τα διάφορα πλαστικά καλύμματα. Επίσης η βελτίωση που έχει επιτευχθεί στη μόνωση του θερμοκηπίου με τα διπλά πλαστικά και ακρυλικά καλύμματα οδήγησε στην αύξηση της υγρασίας στο εσωτερικό του (Blom and Ingratta, 1985, Boulard et al., 1989). Άλλοι ερευνητές αναφέρουν πως στις Βόρειες χώρες η απώλεια σε φως κατά 1% προκαλεί μείωση της παραγωγής κατά 1% (Briassoulis et al., 1997).

Ο van den Kieboom (1981) μελέτησε τη διαπερατότητα του διπλού πλαστικού φύλλου PE, στο φάσμα της PAR και βρήκε τιμές της τάξης του 0,50 και 0,55 σε σχέση με το 0,65 ενός μονού γυάλινου.

Γενικότερα ένα θερμοκήπιο με γυάλινη οροφή είναι περισσότερο διαπερατό στο φάσμα PAR σε σχέση με ένα διπλό πλαστικό. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι διαπερατότητες 4 υλικών, γυαλί, διπλό πλαστικό anti-fog (1 έτους), διπλό πλαστικό anti-fog (3 ετών) και διπλό πλαστικό anti-fog με θερμικό φύλλο ήταν 0.68, 0.62, 0.65 και 0.60 αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών οι διαπερατότητες των υλικών ήταν 0.80, 0.69, 0.71 και 0.66 (Zhang et al., 1996). Οι διαφορές εξηγούνται από τις διαφορετικές κλίσεις του ηλίου (Magnani, 1987), καθώς και από την παρουσία πάγου και συμπύκνωσης στην επιφάνεια των υλικών.



## **2.6. Επίδραση των ιδιοτήτων του καλύμματος στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου**

Αν εξαιρέσουμε όλες τις τεχνικές επεμβάσεις (πχ 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).

Η επιλογή του υλικού κάλυψης θερμοκηπίου έχει άμεση σχέση με το σύστημα παραγωγής του, καθώς οι ιδιότητες του υλικού, όσο αφορά στην ακτινοβολία, παίζουν κυρίαρχο ρόλο τόσο σε σχέση με το ισοζύγιο της ενέργειας όσο και με την 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 Baillie,1998). Επιπρόσθετα, παράμετροι του μικροκλίματος όπως η σχετική υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα επηρεάζονται έμμεσα από το είδος του υλικού κάλυψης (Giacomelli and Roberts,1993).

### *➤ Ποσότητα και ποιότητα της εισερχόμενης ακτινοβολίας*

Όλα τα υλικά κάλυψης συμπεριφέρονται σαν φίλτρα μεταδίδοντας συγκεκριμένα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανάλογα με τη χημική τους σύνθεση. Η διαπερατότητα του καλύμματος στην ηλιακή ακτινοβολία ανάλογα με το μήκος κύματος παίζει κυρίαρχο ρόλο τόσο στην εισροή της ενέργειας στο θερμοκήπιο (5000-50.000nm) όσο και στη συμπεριφορά της καλλιέργειας (300-3000nm). (Πίνακας 2.1)

Πίνακας 2.1: Επιρροή των επιμέρους περιοχών του ορατού φάσματος της ακτινοβολίας στα φυτά (Winic,2000).

|                         |            |   |
|-------------------------|------------|---|
| <b><u>Ϊώδες</u></b>     | 380-436nm  | Πιθανόν ενισχύει τη δράση του μπλε φάσματος   |
| <b><u>Μπλε</u></b>      | 436-495 nm | Επιδρά στη φωτοσύνθεση και τον φωτοτροπισμό. Απαραίτητο για αποφυγή ψηλών και αδύναμων φυτών.                                     |
| <b><u>Πράσινο</u></b>   | 495-566 nm | Μικρή επιρροή στα φυτά  |
| <b><u>Κίτρινο</u></b>   | 566-589 nm | Σχεδόν καμία επιρροή στα φυτά   |
| <b><u>Πορτοκαλί</u></b> | 589-627 nm | Μικρή επιρροή στη φωτοσύνθεση και τον φωτοπεριοδισμό.   |
| <b><u>Κόκκινο</u></b>   | 627-770 nm | Ισχυρή επίδραση στη φωτοσύνθεση και την φωτομορφογένεση (προάγει την άνθηση, την επιμήκυνση των βλαστών, σημαντικός ο λόγος R/FR) |

Γενικά η διαπερατότητα ( $\tau$ ) είναι μια φυσική ιδιότητα του καλύμματος. Ορίζεται με το λόγο της μετρούμενης έντασης της ακτινοβολίας κάτω από το κάλυμα ( $I$ ) , προς εκείνη που μετρείται ταυτόχρονα πάνω από το κάλυμμα, ίδιου μήκους κύματος ( $I_0$ ) :

$$\tau = (I)/(I_0)$$

Η περιοχή του φάσματος που μετρείται μπορεί να είναι ορατή ή PAR ακτινοβολία καθώς και μη ορατή ακτινοβολία όπως υπεριώδης (UV: 290-400nm), υπέρυθρη (IR: 700-850nm) ή κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία (NIR: 850-2800nm).

Το είδος του καλύμματος καθώς και ο σκελετός του θερμοκηπίου επηρεάζουν άμεσα το απόλυτο ποσό της ακτινοβολίας που περνάει τελικά μέσα από το κάλυμμα όπως επίσης επηρεάζει και τον λόγο της άμεσης προς την διαχεόμενη ακτινοβολία που τελικά είναι εκείνο το ποσό που δέχεται η κόμη του φυτού (Giacomelli and Roberts,1993).

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να αποτελέσει τον πλέον περιοριστικό και μη ελεγχόμενο παράγοντα όσο αφορά στην αύξηση των φυτών, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιορισμένα επίπεδα ηλιοφάνειας. Οι Briassoulis et al. (1997) αναφέρουν πως ένας γενικός κανόνας είναι ότι η απώλεια σε φως κατά 1% ισοδυναμεί με 1% απώλεια στην παραγωγή, κανόνας ο οποίος έχει επιβεβαιωθεί στις βρειότερες χώρες. Η ικανότητα του καλύμματος να επιτρέπει

τη διέλευση του φωτός στα μήκη κύματος ,τα απαραίτητα για τα φυτά, είναι υψίστης σημασίας. Ο Hanan (1990) αναφέρει ότι μέση ημερήσια ακτινοβολία της τάξης των 200W/m<sup>2</sup> είναι το κατώτερο όριο για την αύξηση και ανάπτυξη των καλλιεργειών σε θερμοκήπιο με συντελεστή περατότητας περίπου 0,7.

Η ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται ένα θερμοκήπιο σχετίζεται με την εξατμισοδιαπνοή και τη φωτοσύνθεση της καλλιέργειας που βρίσκεται στο εσωτερικό του, ενώ η ποιότητα της ακτινοβολίας όταν τροποποιείται από τις οπτικές ιδιότητες του καλύμματος προκαλεί μορφογενετικές αλλαγές και τροποποίηση της αρχιτεκτονικής και του σχήματος των φυτών και πολλές φορές (κυρίως στα ανθοκομικά είδη) επιδρά στην εμπορική αξία της καλλιέργειας (Kittas and Baille, 1998). Όταν για παράδειγμα υπάρχει περίσσεια του μπλε και πολύ λίγο κόκκινο φως τότε τα φυτά γίνονται κοντά, σκληρά και σκούρα στο χρώμα. Αντίθετα όταν το κόκκινο είναι σε περίσσεια και το μπλε είναι ελάχιστο, τότε τα φυτά έχουν τρυφερά βλαστικά μέρη και μεγαλύτερα μεσογονάτια διαστήματα, δηλαδή γίνονται ψηλόλιγνα (Benton Jones,1999).

#### ➤ *Θερμοκρασία*

Η εσωτερική θερμοκρασία εξαρτάται από εισροές και εκροές ενέργειας του θερμοκηπίου. Το κάλυμμα επηρεάζει αυτή τη ροή ενέργειας μέσω της διαπερατότητας, της ανακλαστικότητας και της απορροφητικότητας του στα διάφορα μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Από το ποσό της ακτινοβολίας που διαπερνά το κάλυμμα μόνο ένα ποσοστό 1-5% χρησιμοποιείται από τα φυτά. Το υπόλοιπο απορροφάται και επανεκπέμπεται σαν θερμική ακτινοβολία η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τη φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου. Άρα και η θερμοπερατότητα του συστήματος κάλυψης αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο κατά το σχεδιασμό της θερμοκηπιακής εγκατάστασης. Η κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία θα πρέπει να απορροφηθεί προκειμένου να αποφευχθούν οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας και η μακρινή υπέρυθρη θα πρέπει να αποθηκευτεί προκειμένου να αποφευχθούν οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Η θερμοκρασία διαδραματίζει αποφασιστικό ρόλο στη συμπεριφορά του φυτού της τομάτας η οποία χρησιμοποιήθηκε ως πειραματικό φυτό στην παρούσα εργασία. Επηρεάζει

το ρυθμό της φωτοσύνθεσης και αναπνοής επομένως της αύξησης , το ρυθμό διαπνοής αλλά και το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων, το πάχος του βλαστού, τη σχέση βλαστού-ρίζας, το μέγεθος των φύλλων, το σχηματισμό των ταξιανθιών, τον αριθμό των ανθέων, την παραγωγή και βιωσιμότητα της γύρης, την καρπόδεση, την ανάπτυξη και ποιότητα του καρπού. Οι δύο παράμετροι που καθορίζουν το ύψος των φυτών , ο αριθμός των κόμβων και το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων, επηρεάζονται ισχυρά από τη θερμοκρασία. Ο ρυθμός σχηματισμού κόμβων είναι κυρίως λειτουργία της μέσης θερμοκρασίας του θερμοκηπίου και αυξάνει με την αύξηση αυτής. Η εμφάνιση των κόμβων (κόμβοι/ημέρα) είναι σημαντική παράμετρος για το φυτό της τομάτας καθώς εμφάνιση κόμβων σημαίνει εμφάνιση ταξιανθιών, σχηματισμός καρπών και παραγωγή. Το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων επηρεάζεται έντονα από την διαφορά θερμοκρασίας ημέρας-νύχτας και αυξάνει με την αύξηση αυτής στα περισσότερα είδη φυτών, μεταξύ των οποίων είναι και η τομάτα (Berghage,1998).

Εκτός από τη σημασία της θερμοκρασίας στις κύριες μεταβολικές λειτουργίες των φυτών, σημαντική είναι και η διαφορά θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας. Στη χώρα μας κατά τους χειμερινούς μήνες συνιστάται θερμοκρασία ημέρας περίπου 21°C και θερμοκρασία νύχτας γύρω στους 15 °C, δηλαδή μια διαφορά θερμοκρασίας ημέρας-νύχτας που δεν πρέπει να ξεπερνά τους 5-7 °C. Καθώς όμως το επίπεδο της θερμοκρασίας είναι στενά συνδεδεμένο με την ένταση του φωτισμού, η τάση είναι το επίπεδο της θερμοκρασίας της νύχτας να ακολουθεί την ολική ηλιακή ενέργεια που σημειώθηκε την προηγούμενη ημέρα (Ολύμπιος,2001).

#### ➤ *Υγρασία*

Η συμπύκνωση μπορεί να φαίνεται ότι είναι ένα ανεπιθύμητο γεγονός στο θερμοκήπιο, ωστόσο είναι το αποτέλεσμα του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου που ανταποκρίνεται στη διαπνοή των φυτών. Όταν ο αέρας του θερμοκηπίου είναι κορεσμένος σε υδρατμούς αρχίζει η συμπύκνωση από το θερμό, υγρό αέρα στις επιφάνειες με τη χαμηλότερη θερμοκρασία όπως είναι το κάλυμμα ή η κόμη των φυτών και αυτός είναι ένας αρχικός τρόπος μείωσης της υγρασίας των θερμοκηπίων όταν δεν υπάρχει εξαερισμός. Οι μεταβολές της υγρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου επηρεάζουν σημαντικά τη μεταφορά ενέργειας.

Η συμπύκνωση των υδρατμών έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση ενέργειας και στην περίπτωση που συμβαίνει στο κάλυμμα αποτελεί μια έμμεση απώλεια θερμότητας με συναγωγή μέσω του καλύμματος. Βέβαια στην περίπτωση του πολυαιθυλενίου η συμπύκνωση μειώνει την περατότητα στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία μειώνοντας έτσι τις απώλειες ενέργειας του θερμοκηπίου, γεγονός σημαντικό κατά τη διάρκεια της νύχτας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η επιφανειακή συμπύκνωση προκαλεί μια σχετική μείωση της περατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία. Εκτός από τα χαρακτηριστικά του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου, σημαντικό ρόλο έχουν και τα χαρακτηριστικά θερμοπερατότητας των υλικών κατασκευής. Όταν ελαττωθεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υλικού κάλυψης (πχ διπλή επιφάνεια πολυαιθυλενίου), αυξάνει η θερμομονωτικότητα και η θερμοκρασία της εσωτερικής πλευράς, με αποτέλεσμα λιγότερες φορές η θερμοκρασία στην επιφάνεια της να φθάσει στο σημείο δρόσου.

Οι ιδιότητες του υλικού κάλυψης καθορίζουν και τη μορφή της συμπύκνωσης. Στο γυάλινο κάλυμμα η συμπύκνωση γίνεται υπό μορφή μεμβράνης, ενώ στο πολυαιθυλένιο και τον πολυεστέρα υπό μορφή σταγόνων που πέφτουν πάνω στα φυτά δημιουργώντας ανθυγιεινό περιβάλλον με αποτέλεσμα να ευνοείται η βλάστηση σπορίων μυκήτων και η ανάπτυξη βακτηρίων. Τα σύγχρονα πλαστικά καλύμματα έχουν πρόσθετα προκειμένου η συμπύκνωση να έχει τη μορφή μεμβράνης.

### **2.6.1. Επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στον καρπό**

Η ακτινοβολία UV-B έχει μεγάλη φωτοβιολογική επίδραση λόγω της απορρόφησης της από σημαντικά βιολογικά μόρια όπως τα αμινοξέα και οι χρωστικές (Reddy et al.,2003).

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. 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 χρώματος (Krizek et al.,1998).

Τα καροτενοειδή είναι οι κυριότερες χρωστικές στον καρπό της τομάτας. Είναι λιποδιαλυτές χρωστικές, με χρώμα ερυθρό, πορτοκαλί ή κίτρινο. Διακρίνονται σε δυο κυρίως μεγάλες ομάδες, τα καροτένια και τις ξανθοφύλλες. Τα καροτένια είναι υδατάνθρακες με 40 άτομα άνθρακα. Οι ξανθοφύλλες είναι οξυγονούχα παράγωγα των αντίστοιχων καροτένιων. Κατά τη βιοσύνθεση των καροτενοειδών, από το φυτοένιο σχηματίζεται το λυκοπένιο, η ουσία που δίνει το κόκκινο χρώμα στον καρπό της τομάτας.

Εξαιτίας της σημαντικότητας των φλαβονοειδών (*flavus* = κίτρινο) στην έρευνα της υπερϊώδους ακτινοβολίας θα γίνει αναφορά σε αυτές τις χρωστικές παρά τη μικρότερη σημασία τους στην ποιότητα της τομάτας, συγκριτικά με τα καροτενοειδή. Τρεις ομάδες φλαβονοειδών παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη φυσιολογία των φυτών. Οι ομάδες αυτές είναι οι ανθοκυανίνες, οι φλαβόνες και οι φλαβονόλες (*Καράταγλης 1999*).

Ο σχηματισμός των χρωστικών ουσιών στο στρώμα των επιδερμικών κυτταρικών τοιχωμάτων, επιδρά στην εμφάνιση του χρώματος των καρπών της τομάτας. Ερευνητές, οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση του ελεγχόμενου φωτισμού στην παραγωγή των κίτρινων χρωστικών στην επιδερμίδα των καρπών της τομάτας, βρήκαν ότι αυτή φαίνεται να είναι μία φλαβόνη. Επίσης άλλοι ερευνητές οι οποίοι απομόνωσαν τις φλαβόνες ναριγκίνη (*naringenin*), και κουερσεγκίνη από την επιδερμίδα τριών ποικιλιών τομάτας, δεν μπόρεσαν να επισημάνουν φλαβόνες στη σάρκα των καρπών (*Καραουλάνης 2003*). Η σύνθεση των φλαβονοειδών ελέγχθηκε από την ποιότητα του φάσματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, το κόκκινο διευκόλυε τον σχηματισμό της χαλκοναριγκίνης (*Hunt et al. 1980*).

Η UV-A ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε σύνθεση φλαβονοειδών, αν και σε πολλά είδη, η σύνθεσή τους συνδέεται αποκλειστικά με τη UV-B (*Cockell et al. 2000*).

Οι κυριότερες χρωστικές στον καρπό της τομάτας είναι τα καροτενοειδή. Έχει διαπιστωθεί ότι η παρουσία της UV-B, φαίνεται να διεγείρει εκτός από τη βιοσύνθεση συστατικών απορροφητικών της UV-B. Τα καροτενοειδή εμπλέκονται στην άμεση προστασία των φωτοσυστημάτων από τη UV-B, καθώς η UV-B είναι ένας δυναμικός οξειδωτικός παράγοντας (*Fillela et al. 1999*).

Όμως, η αύξηση της συγκέντρωσης των καροτενοειδών σε συνθήκες αυξημένης υπερϊώδους ακτινοβολίας, δεν οδηγεί σε κάποιο συμπέρασμα για την επίδραση της μείωσης

της υπεριώδους σ' αυτές τις χρωστικές, αφού η αυξημένη συγκέντρωση, είναι αντίδραση των φυτών στην κακουχία που τους προκαλεί η αύξηση τη υπεριώδους ακτινοβολίας.

### **2.6.2. Επίδραση των απορροφητικών υλικών κάλυψης στην υπεριώδη ακτινοβολία στην καλλιέργεια**

Όπως αναφέρθηκε η χρήση των πλαστικών απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία σαν υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων έχει αρχίσει να εξαπλώνεται στις καλλιέργειες υπό κάλυψη. Παρόλο που τα αποτελέσματα της χρήσης τους στη διαχείριση των εντόμων και ασθενειών έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον, λίγες μελέτες επικεντρώνονται στην επίδραση τους στα καλλιεργούμενα φυτά (Kittas et al., 2006).

Οι Kittas et al. (2004) μελέτησαν την επίδραση των υλικών κάλυψης απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία στην αύξηση και ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Χρησιμοποιήθηκαν τρία όμοια θερμοκήπια τα οποία ήταν καλυμμένα με υλικά με διαφορετικό συντελεστή διαπερατότητας (μάρτυρας 5%, 3% και 0%). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας προκάλεσε αύξηση του ύψους των φυτών καθώς τα φυτά στο θερμοκήπιο με 0% περατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία ήταν 19% υψηλότερα σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα και 7% υψηλότερα σε σχέση με τα φυτά του θερμοκηπίου με 3% περατότητα στην υπεριώδη. Επιπλέον, η μείωση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας προκάλεσε σημαντική αύξηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) η οποία αποδόθηκε σε αυξημένο αριθμό φύλλων στο θερμοκήπιο με 0% περατότητα. Ο υψηλός δείκτης φυλλικής επιφάνειας συμβάλλει στη βελτίωση της διαδικασίας του φυσικού δροσισμού του θερμοκηπίου, διαμέσου του αυξημένου ρυθμού διαπνοής των φυτών ο οποίος επηρεάζει θετικά το μικροκλίμα του θερμοκηπίου και τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών. Επιπλέον, παρατηρήθηκε πως η έλλειψη της υπεριώδους ακτινοβολίας δεν επηρέασε τη δραστηριότητα των βομβίνων οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την επικονίαση των φυτών ενώ παράλληλα στο θερμοκήπιο με 0% περατότητα σημειώθηκε ο μεγαλύτερος αριθμός καρπών ανά φυτό, το μεγαλύτερο βάρος ανά καρπό, συνεπώς και η υψηλότερη συνολική παραγωγή.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως από την πλευρά του παραγωγού δεν είναι επιθυμητή η δημιουργία ψηλών φυτών. Προτιμότερα είναι φυτά με κοντά φύλλα και μεσογονάτια, φυτά δηλαδή που διευκολύνουν τη συγκομιδή και ανθίστανται στο βάρος των

ταξικαρπιών. Βέβαια στη χώρα μας η κοινή πρακτική είναι τα φυτά να υποστυλώνονται και να κορυφολογούνται.

Οι Gonzales et al. (2004) μελετώντας την επίδραση διαφορετικής κατασκευής μονοστρωματικών και τριστρωματικών υλικών κάλυψης απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία σε πραγματικές συνθήκες σε καλλιέργεια πεπονιού και τομάτας, παρατήρησαν γενικά ότι και στις δυο δοκιμές στα θερμοκήπια απορροφητικά στην υπεριώδη ακτινοβολία η συνολική παραγωγή ήταν κατά 14-19% σημαντικά αυξημένη σε σχέση με το μάρτυρα. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε τόσο στο μεγαλύτερο αριθμό καρπών ανά θερμοκήπιο όσο και στο μεγαλύτερο βάρος ανά καρπό. Ωστόσο, κατά το τέλος της πρώτης δοκιμής, παρατήρησαν ότι ενώ οι βομβίνοι διατήρησαν τον αρχικό τους πληθυσμό στο θερμοκήπιο του μάρτυρα, στα θερμοκήπια τα οποία ήταν καλυμμένα με υλικά απορροφητικά στην υπεριώδη ακτινοβολία ο αριθμός τους μειώθηκε στο μισό ή ακόμη και στο 25%.

Σε πειράματα τα οποία έχουν διεξαχθεί στην Ιαπωνία, δεν εντοπίστηκε σημαντική διαφορά στην αύξηση, στην παραγωγή, στο χρόνο ωρίμανσης αλλά και στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους, σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια (Ravin, 2004).

Μελετήθηκε η επίδραση υλικών κάλυψης απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία στη διαχείριση εχθρών οργανικών θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Καλλιεργήθηκαν σε θερμοκήπια τύπου tunnel ραδίκι, αντίδι, παντζάρι, σπανάκι, μαρούλι και άλλα είδη *Brassica*. Παρόλο που οι ερευνητές δεν πραγματοποίησαν μετρήσεις στην καλλιέργεια, αναφέρουν ότι τα φυτά στο θερμοκήπιο το οποίο ήταν απορροφητικό στην υπεριώδη ακτινοβολία εγκαταστάθηκαν και αναπτύχθηκαν γρηγορότερα και είχαν μεγαλύτερο τελικό μέγεθος σε σχέση με τα φυτά στο μη απορροφητικό της υπεριώδους θερμοκήπιο. Η διαφορά στο τελικό μέγεθος των φυτών ήταν ιδιαίτερα έντονη στην καλλιέργεια του μαρουλιού (Morris, 2004).

Οι Kittas et al. (2006) μελέτησαν την επίδραση δυο διαφορετικών υλικών κάλυψης απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία (0% και 3% περατότητα) στην αύξηση και ανάπτυξη υδροπονικά καλλιεργούμενης μελιτζάνας. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με 0% περατότητα στην υπεριώδη ήταν περίπου 21% υψηλότερα σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα (5% περατότητα στην υπεριώδη



ακτινοβολία). Παράλληλα, το γινόμενο μήκος x πλάτος φύλλου ήταν κατά 17% αυξημένο σε σχέση με εκείνο των φυτών του μάρτυρα. Δεδομένου ότι η παραγωγή ήταν λίγο αυξημένη σε ποσότητα (20%) και ποιότητα (μεγαλύτεροι καρποί) στο θερμοκήπιο με 0% περατότητα στην υπεριώδη, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η υδροπονική καλλιέργεια μελιτζάνας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί κάτω από συνθήκες έλλειψης υπεριώδους ακτινοβολίας με τα ίδια ή καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με ένα συμβατικό θερμοκήπιο. Επιπρόσθετα, η έλλειψη της υπεριώδους ακτινοβολίας θα μειώσει τις προσβολές από έντομα και ασθένειες αλλά και το κόστος από τη μείωση της χρήσης φυτοπροστατευτικών ουσιών, πάντοτε προς το όφελος του παραγωγού.

### **2.6.3. Επίδραση των υλικών κάλυψης απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία στο περιβάλλον του θερμοκηπίου**

Οι Baytorun et al. (1994) μελέτησαν την επίδραση στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου διαφορετικών ποσοτήτων σε πρόσθετα στα υλικά κάλυψης, πρόσθετα υπεύθυνα για αλλαγές της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η θερμοκρασία θερμοκηπίου καλυμμένο με υλικά τα οποία περιείχαν UV και IR πρόσθετα ήταν 0,5 και 1,5°C υψηλότερη σε σχέση με εκείνα τα οποία περιείχαν UV και καθόλου πρόσθετα αντίστοιχα.

Οι Rapisarda et al. (2006) επίσης υποστήριξαν ότι τα φωτοεκλεκτικά υλικά δημιούργησαν κατάλληλες τιμές των κλιματικών παραμέτρων εντός των θερμοκηπίων επαληθεύοντας την αξιοπιστία τους ως υλικά κατάλληλα για χρήση σε εμπορικά θερμοκήπια. Η μέση θερμοκρασία εντός των θερμοκηπίων των απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία, όπως υπολογίστηκε για τρεις ημέρες αντιπροσωπευτικές των πιο κρίσιμων κλιματικών συνθηκών του πειράματος ήταν 32°C έναντι 27 °C που ήταν η μέση εξωτερική θερμοκρασία. Παράλληλα η διαπερατότητα των υλικών στο φάσμα του ορατού μειώθηκε λιγότερο από 1,5% στα δυο έτη χρησιμοποίησής τους για τις ανάγκες του πειράματος.

Οι Kittas et al. (2006) δεν παρατήρησαν διαφορές στις κλιματικές παραμέτρους μεταξύ τριών θερμοκηπίων με 5% (μάρτυρας), 3% και 0% περατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στη θερμοκρασία, παρόλο που στο UV3% ο ρυθμός αερισμού ήταν μειωμένος λόγω της θέσης του, αλλά ούτε και στο έλλειμμα κορεσμού υδρατμών τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας εξαιτίας του αερισμού όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας παρόλο που τα ανοίγματα αερισμού ήταν κλειστά. Παράλληλα, η εισερχόμενη ακτινοβολία ήταν παρόμοια μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων, καθώς οι διαφορές στη διαπερατότητα των θερμοκηπίων δεν ξεπέρασαν το 2%.

#### **2.6.4. Επίδραση της συμπύκνωσης των υδρατμών του καλύμματος στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην καλλιέργεια**

Στα περισσότερα μη επεξεργασμένα πλαστικά υλικά κάλυψης, η συμπύκνωση των υδρατμών πάνω στο κάλυμμα εμφανίζεται υπό μορφή σταγόνων οι οποίες προκαλούν τη μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας λόγω των πολλαπλών ανακλάσεων του φωτός πάνω στις σταγόνες (Von Elsner et al., 2000).

Το φαινόμενο της συμπύκνωσης των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος μπορεί να προκαλέσει αρκετά προβλήματα όπως η μείωση του εισερχόμενου φωτός λόγω ανακλάσεων, το κάψιμο στα φύλλα (φαινόμενο του φακού), το στάξιμο σταγόνων πάνω στην καλλιέργεια, με αποτέλεσμα την αύξηση της υγρασίας και την ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών (Geoola and Peiper, 1994, Geoola and Kashti, 2004).

Οι Cemek and Demir (2005) συμφωνούν με τα αποτελέσματα των Jaffrin and Makhlof (1990) πως τα πλαστικά καλύμματα σε υγρή φάση έχουν χαμηλότερη διαπερατότητα στο φως σε σχέση με όταν είναι στεγνά.

Οι Geoola et al., (1994) ερεύνησαν τις οπτικές ιδιότητες διάφορων πλαστικών καλυμμάτων. Σύγκριναν τη διαπερατότητα του φωτός και βρήκαν πως σε στεγνό κάλυμμα το εισερχόμενο φως ήταν περισσότερο σε σχέση με την υγρή φάση. Η μείωση της περατότητας του φωτός εξαιτίας της σκόνης πάνω στο κάλυμμα ήταν περίπου 10%. Επίσης επεσήμαναν πως καλύμματα με αντισταγονικές ιδιότητες (anti-drop layer) είχαν υψηλότερη περατότητα στο φως σε υγρή φάση από ότι όταν ήταν στεγνά. Οι Jaffrin and Urban (1990) συμφωνούν πως ένα υγρό πλαστικό φύλλο το οποίο καλύπτεται συνεχώς από ένα λεπτό στρώμα νερού έχει παρόμοια ή ακόμα και ίση διαπερατότητα στο φως σε σχέση με ένα στεγνό φύλλο.

Σύμφωνα με το Gilby (1989), η συμπύκνωση των υδρατμών υπό μορφή σταγονιδίων πάνω στο κάλυμμα οροφής προκαλεί 15% μείωση στο εισερχόμενο φως.

Η υγροποίηση πάνω στο κάλυμμα του θερμοκηπίου μπορεί να επηρεαστεί από τη χημική δομή που χρησιμοποιείται για την επικάλυψη του υλικού. Ομοίως οι Jaffrin and Marisot (1994) ανέφεραν μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ποσοστό 40% από συνδυασμό σκόνης και συμπύκνωσης πάνω στο κάλυμμα.

Λόγω της ιδιαίτερης σημασίας του φαινομένου της συμπύκνωσης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου , αρκετοί ερευνητές (Walker and Walton, 1971, Halleux et al.,1995) μελέτησαν την αλληλεπίδραση της συμπύκνωσης με τη μεταφορά θερμότητας στο θερμοκήπιο.

Όσο αφορά τις ανταλλαγές θερμότητας σε θερμοκήπια με κάλυμμα από πολυαιθυλένιο, συμφωνούν για τις ώρες όπου υπάρχει συμπύκνωση στο κάλυμμα οι απώλειες θερμότητας είναι χαμηλότερες , ενώ για το γυαλί τα αποτελέσματα είναι αντίστροφα. Οι Pieters et al., (1995) βρήκαν πως ένα κάλυμμα πολυαιθυλενίου σε υγρή φάση έχει χαμηλότερη περατότητα στη θερμική ακτινοβολία σε σχέση με τη στεγνή φάση. Επίσης , οι Pieters and Deltour (1997) αναφέρουν πως η συμπύκνωση πάνω στο κάλυμμα πολυαιθυλενίου οδήγησε σε μείωση των αναγκών για θέρμανση κατά 20% σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας, αντίθετα αύξησε τις ανάγκες θέρμανσης κατά 15% στην περίπτωση του γυαλιού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 3.1. Τοποθεσία του πειράματος

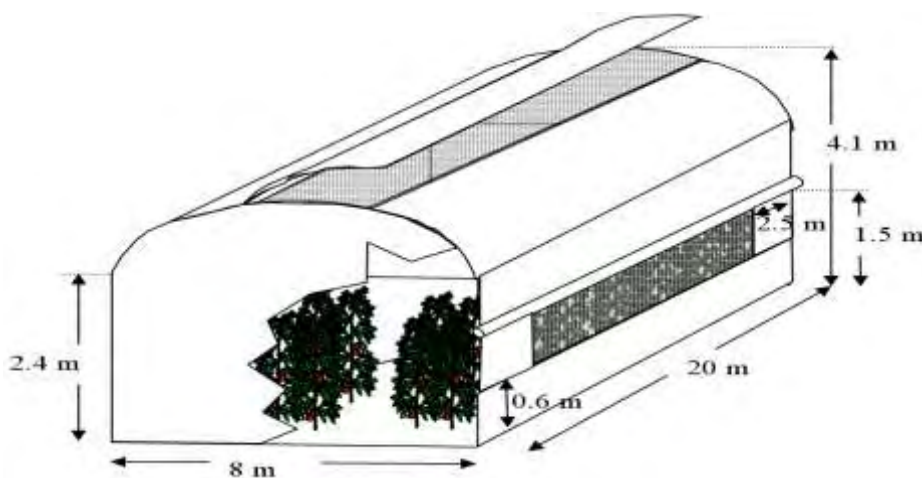
Τα πειράματα έγιναν σε θερμοκήπια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα του Βελεστίνου. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος  $39^{\circ} 44'$  και γεωγραφικό μήκος  $22^{\circ} 79'$ , το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m, και απέχει 17km από τον Βόλο.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, με μέση μέγιστη θερμοκρασία κατά τον θερμότερο μήνα περίπου  $37^{\circ}\text{C}$  και από ήπιους χειμώνες με μέση ελάχιστη θερμοκρασία κατά τον ψυχρότερο μήνα  $4^{\circ}\text{C}$ .

Οι επικρατούντες άνεμοι της περιοχής έχουν κατεύθυνση είτε από Νοτιοανατολικά προς Βορειοδυτικά (συνήθως τις πρωινές ώρες), είτε από Βορειοδυτικά προς Νοτιοανατολικά (συνήθως τις απογευματινές ώρες).

### 3.2. Περιγραφή πειραματικών θερμοκηπίων

Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τρία πανομοιότυπα θερμοκήπια, τα οποία βρισκόταν σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους τροποποιημένα τοξωτά, επιφάνειας  $160\text{m}^2$ , (20 μέτρα μήκος και 8 μέτρα πλάτος) το καθένα και μέγιστου ύψους 4.1 m στον κορφιά και ύψος ορθοστάτη 2.4 m. Τα θερμοκήπια ήταν προσανατολισμένα  $36^{\circ}$  δεξιόστροφα από τη διεύθυνση Βορράς-Νότος, με σκελετό από γαλβανισμένο χάλυβα και κάλυψη από πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου (PE). Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό.

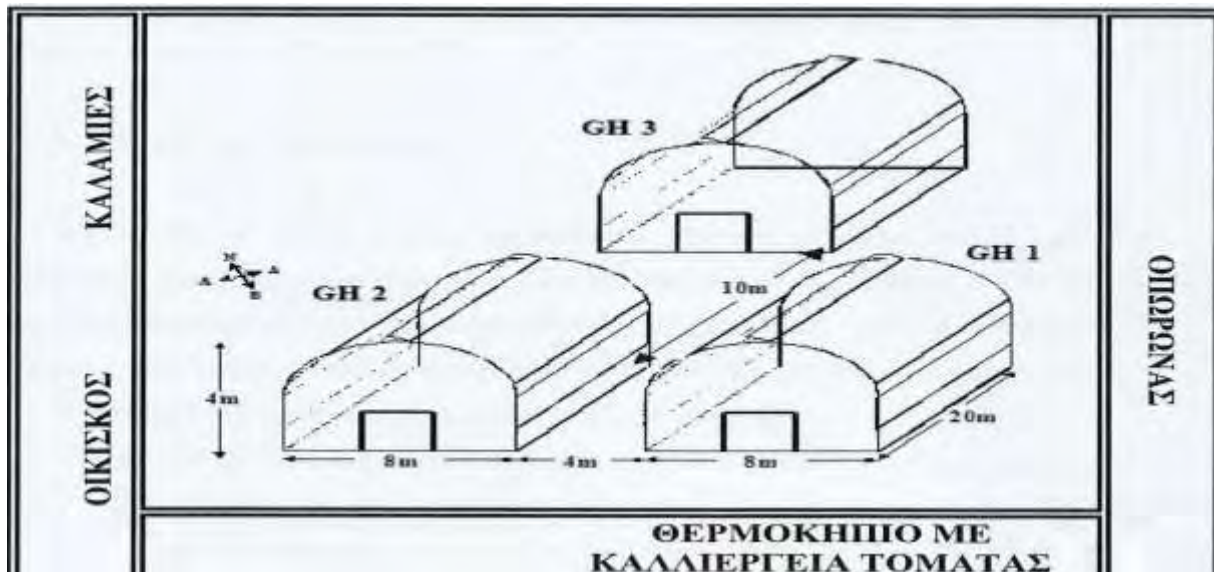


Σχήμα 3.1: Πειραματικό θερμοκήπιο



Εικόνα 3.1: Πλάγια άποψη των δυο εκ των τριών πειραματικών θερμοκηπίων (GR2 και GR3)

Τα κοντινότερα εμπόδια προς αυτά ήταν (όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2) στην ανατολική πλευρά δέντρα ύψους 4 μέτρων, που λειτουργούσαν ως ανεμοθραύστες, και καλαμιές, τα οποία όμως δεν σκίαζαν καθόλου τα θερμοκήπια καθώς βρίσκονται σε απόσταση 15 μέτρων από αυτά. Αριστερά του GR2 υπάρχει ένας οικίσκος στον οποίο βρίσκονται οι δεξαμενές του υδροπονικού συστήματος καθώς και ο υπολογιστής με τον οποίο γινόταν η διαχείριση του συστήματος αυτού. Δεξιά του θερμοκηπίου GR1 υπάρχει ένας οπωρώνας, ενώ στη μπροστινή του πλευρά, βρίσκεται ένα άλλο θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας. Το θερμοκήπιο GR3 απέιχε από τον οπωρώνα διπλάσια απόσταση από ότι το GR2.

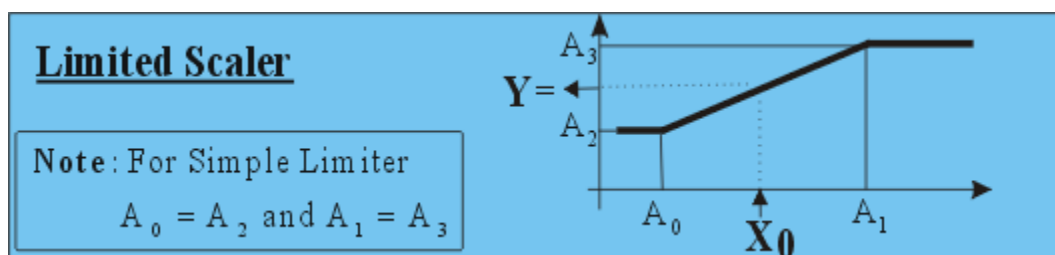


Σχήμα 3.2: Σχηματική διάταξη των 3 πειραματικών θερμοκηπίων

### 3.3. Αερισμός

Στα θερμοκήπια υπήρχαν συνεχή πλαϊνά ανοίγματα αερισμού, κατά μήκος των δυο μεγάλων πλευρών, διαστάσεων 0.9m x 15m ή 13.5m<sup>2</sup> το καθένα. Καθώς το πλάτος των θερμοκηπίων ήταν 8m, τα πλαϊνά ανοίγματα επαρκούσαν για φυσικό αερισμό.

Η λειτουργία των ανοιγμάτων αερισμού ρυθμιζόταν μέσω μικροελεγκτή του κεντρικού συστήματος ρύθμισης του μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Σχήμα 3.3). Όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 23°C (εκτός κάποιων ακραίων καταστάσεων κατά τις οποίες η ταχύτητα του αέρα εξωτερικά των θερμοκηπίων ήταν ιδιαίτερα υψηλή), δίνονταν εντολή στους αντίστοιχους μονοφασικούς ηλεκτροκινητήρες ισχυροδότησης του μηχανισμού διάνοιξης κάθε παραθύρου.



Σχήμα 3.3: Ο τύπος της μεταβλητής του συστήματος ελέγχου του αερισμού των πειραματικών θερμοκηπίων, όπου  $A_0=23$  °C, η θερμοκρασία κατά την οποία αρχίζει η διάνοιξη (αντίστοιχα  $A_2=0$  όταν το άνοιγμα είναι κλειστό) και  $A_1=27$  °C η θερμοκρασία κατά την οποία αυτή έχει ολοκληρωθεί (αντίστοιχα  $A_3=1$  δηλαδή το άνοιγμα θα έχει φθάσει στη θέση πλήρως ανοικτό) .



Εικόνα 3.2: Πλαϊνή άποψη του ενός πειραματικού θερμοκηπίου- Άνοιγμα παραθύρων αερισμού

### **3.4. Θέρμανση**

Η θέρμανση των θερμοκηπίων ήταν επιδαπέδια (ζεστό νερό κυκλοφορούσε μέσα σε σωλήνες από σκληρό PVC, διαμέτρου 28 mm μαιανδρικής διαμόρφωσης για την επίτευξη της αύξησης της επιφάνειας απαγωγής), ενώ υπήρχαν και αξονικής ροής αερόθερμα οροφής, ένα σε κάθε θερμοκήπιο, τα οποία ενεργοποιούνταν σε ακραίες περιπτώσεις, κατά τις οποίες το ποσό θερμότητας που προσέδιδε στον χώρο η επιδαπέδια θέρμανση, δεν ήταν επαρκές.



(α)



(β)

Εικόνα 3.3: Συστήματα θέρμανσης στο εσωτερικό του πειραματικού θερμοκηπίου: (α) Σύστημα επιδαπέδων σωληνώσεων και (β) Αερόθερμο



Το δίκτυο των σωλήνων ήταν τοποθετημένο σε απόσταση 10cm από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελούνταν από μια γραμμή προσαγωγής ζεστού νερού και μια γραμμή επιστροφής για κάθε σειρά της καλλιέργειας. Τόσο το αερόθερμο όσο και το σύστημα των επιδαπέδιων σωληνώσεων τροφοδοτούνταν με ζεστό νερό από τον ίδιο λεβητοκαυστήρα που ήταν τοποθετημένος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο λεβητοκαυστήρας, παραγωγής ζεστού νερού ισχύος 175 W, χρησιμοποιούσε ως καύσιμο το πετρέλαιο.

Στο εσωτερικό του καυστήρα υπήρχε ένας κυκλοφορητής που έλεγχε τη ροή του ζεστού νερού στο σύστημα θέρμανσης. Στην αρχή του συστήματος των επιδαπέδιων σωληνώσεων υπήρχε και ένας δεύτερος κυκλοφορητής ο οποίος επιτάχυνε τη ροή του ζεστού νερού στις επιδαπέδιες σωληνώσεις, έτσι ώστε από το σύστημα μέσω της αύξησης της παροχής να αυξηθεί η αποδιδόμενη ενέργεια στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Οι δύο κυκλοφορητές ήταν συνδεδεμένοι σε σειρά μεταξύ τους ενώ υπήρχε η δυνατότητα απενεργοποίησης του δεύτερου κυκλοφορητή μέσω ενός διακόπτη που παρεμβαλλόταν ανάμεσα τους. Τόσο η λειτουργία των δύο κυκλοφορητών όσο και το αερόθερμο ελεγχόταν μέσω του κεντρικού ελεγκτή του κλίματος με βάση ένα αισθητήριο θερμοκρασίας- υγρασίας το οποίο ήταν τοποθετημένο στο μέσο του θερμοκηπίου και σε απόσταση 1.5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Η μέση θερμοκρασία του νερού προσαγωγής στους σωλήνες της επιδαπέδιας θέρμανσης, δεν μπορούσε να ξεπεράσει τους 50 °C γιατί εκτός των άλλων, οι σωλήνες βρίσκονται κοντά στα φυτά. Το απαιτούμενο μήκος των σωληνώσεων και ο τρόπος διάταξής τους στο δάπεδο του θερμοκηπίου, καθορίζονταν από κλιματικές και φυσιολογικές παραμέτρους. Οι κλιματικές παράμετροι ήταν η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα εξωτερικά του θερμοκηπίου καθώς και η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικά. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της επιδαπέδιας θέρμανσης ήταν 1,7 m. σωληνώσεως ανά m<sup>2</sup> (εδάφους) θερμοκηπίου. Ο συγκεκριμένος σωλήνας που χρησιμοποιήθηκε είχε ενεργειακή απόδοση 73.7 Kcal m<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

Η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό των θερμοκηπίων ήταν 19 °C και 14 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας αντίστοιχα. Η θερμοκρασία αυτή παρέμενε σταθερή σε όλες τις καλλιεργητικές περιόδους, κατά την οποία η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν ως επί το πλείστον σταθερή.



### **3.5. Η καλλιέργεια**

#### **3.5.1. Η καλλιέργεια και το υπόστρωμα**

Η καλλιέργεια που εγκαταστάθηκε ήταν υδροπονική καλλιέργεια τομάτας (*Lycopersicum esculentum*), ποικιλία *Rally* (υβρίδιο). Τα φυτά μεταφυτεύθηκαν στα θερμοκήπια στις 6 Νοεμβρίου 2014. Λόγω κακοκαιρίας, η καλλιέργεια καταστράφηκε ολοσχερώς και στα τρία θερμοκήπια οπότε εγκαταστάθηκαν νέα φυτά. Τα νέα φυτά (ποικιλίας *Rally*) μεταφυτεύθηκαν στα θερμοκήπια στις 17 Φεβρουαρίου 2015. Όμως στο μισό θερμοκήπιο GR1 (στις σειρές 5,6,7) η μεταφύτευση έγινε στις 5 Μαρτίου 2015 και τα φυτά ήταν ποικιλίας *Ελπίδα*. Τέλος στη σειρά 8 του ίδιου θερμοκηπίου (GR1) η μεταφύτευση έγινε στις 10 Μαρτίου 2015 και τα φυτά ήταν ποικιλίας *Δέσποινα*.

Η καλλιέργεια γινόταν σε υδροπονικό σύστημα για να επιτευχθεί ομοιομορφία συνθηκών στη ρίζα, κάτι που δεν επιτυγχάνεται στο έδαφος και για την αποφυγή ασθενειών του εδάφους.

Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν πετροβάμβακας σε σάκους μήκους 1m. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 112 σάκοι υποστρώματος στο θερμοκήπιο. Οι πάγκοι είχαν κλίση 1-2% για την υποβοήθηση της στράγγισης.



Εικόνα 3.4: Άποψη της καλλιέργειας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου GR1 (13 Μαΐου 2015)



Εικόνα 3.5: Άποψη της καλλιέργειας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου GR2 (13 Μαΐου 2015)



Εικόνα 3.6: Άποψη της καλλιέργειας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου GR3 (13 Μαΐου 2015)

### **3.5.2. Άρδευση-Λίπανση**

Η δόση άρδευσης, ο χρόνος και η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος, ελέγχονταν και πραγματοποιούνταν αυτόματα με το σύστημα *MACQU (MAnagement and Control for QQuality in Greenhouse)*. Από την υδροπονική κεφαλή ξεκινούν οι κύριες γραμμές του συστήματος άρδευσης- λίπανσης, διαμέτρου 32 mm, οι οποίες στη συνέχεια διακλαδίζονται στα θερμοκήπια, αποτελώντας τις δευτερεύουσες γραμμές του συστήματος, διαμέτρου 16 mm. Οι δευτερεύουσες γραμμές βρίσκονται κατά μήκος των φυτών και φέρουν τους σταλλάκτες. Το υλικό των σωληνώσεων ήταν *PVC*. Για τις απαραίτητες διακλαδώσεις και συνδέσεις, υπήρχαν ειδικά εξαρτήματα κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό. Οι σταλλάκτες ήταν τύπου στενής οπής και είχαν παροχή  $1 \text{ L h}^{-1}$ . Στην κεντρική εγκατάσταση άρδευσης, στην αρχή κάθε κύριας γραμμής υπήρχε ηλεκτροβάνα, η οποία τροφοδοτούνταν με τάση 24 V, εφοδιασμένη

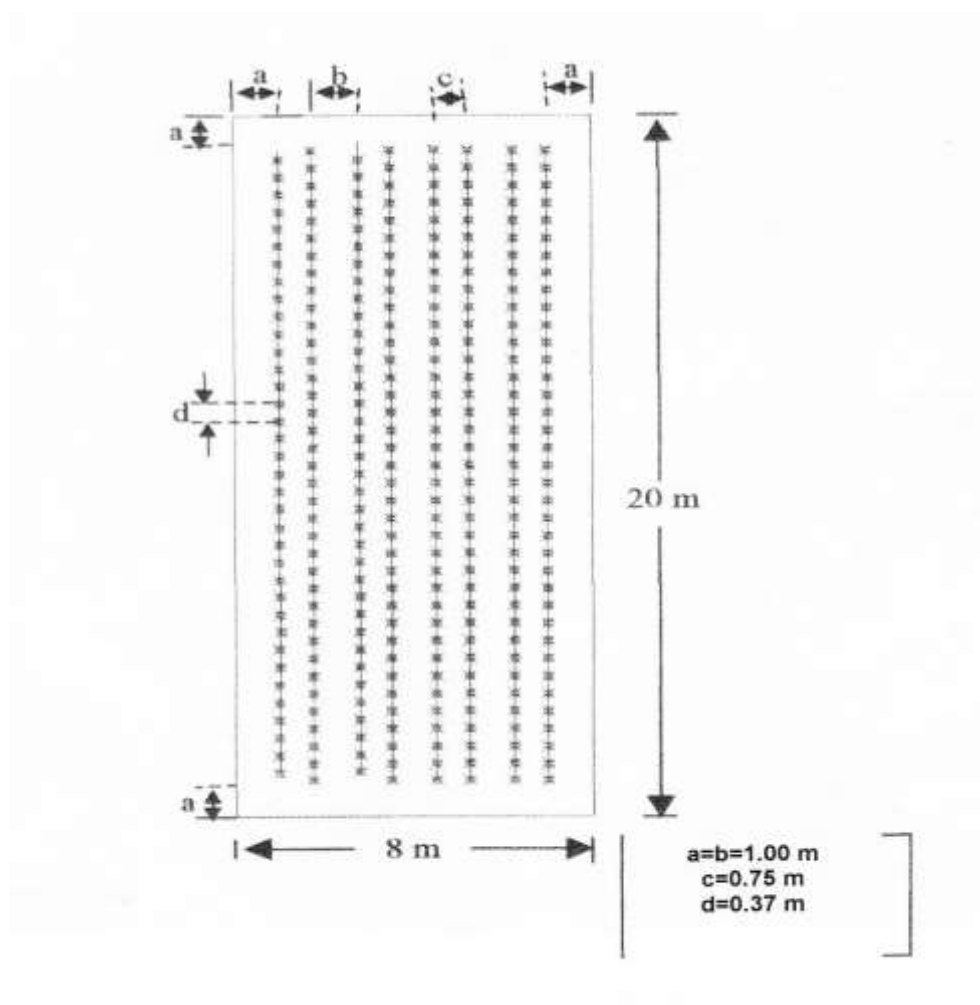


με ηθμό για τη συγκράτηση των ανεπιθύμητων υλικών και προστασία του συστήματος από αποφράξεις των σωληνώσεων. Η ηλεκτροβάννα ενεργοποιούνταν αυτόματα από το *MACQU*.

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια, ήταν  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και το pH ήταν 5.6 με μικρές τροποποιήσεις, ανάλογα με τις συνθήκες και το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Η άρδευση γινόταν κάθε 45 λεπτά και είχε διάρκεια 4-5 λεπτά.

### 3.5.3. Διάταξη των φυτών

Η καλλιέργεια ήταν εγκατεστημένη σε τέσσερις διπλές σειρές σε κάθε θερμοκήπιο, με αποστάσεις φύτευσης επί της γραμμής 0.37 m, ενώ η απόσταση μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς ήταν 0.75 m. Αυτό οδήγησε σε μια τιμή της πυκνότητας φύτευσης ίση με  $2.4 \text{ φυτά m}^{-2}$ . Ανάμεσα στις διπλές γραμμές υπήρχε διάδρομος πλάτους 1 m.



Σχήμα 3.4: Διάταξη και αποστάσεις φυτών τομάτας σε κάθε θερμοκήπιο (όπου  $a=b=1m$ ,  $c=0,75m$  και  $d=0,37m$ )

### **3.6. Καλλιεργητικές τεχνικές**

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

#### **3.6.1 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.

#### **3.6.2 Βλαστολόγημα**

Οι πλάγιοι βλαστοί αφαιρούνταν χειρωνακτικά σε τακτά χρονικά διαστήματα (τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα). Μετά τη συγκομιδή των καρπών κάθε ταξικαρπίας αφαιρούνταν τα υποκείμενα φύλλα, ώστε να δημιουργηθούν καλύτερες συνθήκες σχετικής υγρασίας στο μικροπεριβάλλον του φυτού (αερισμός). Οι κορυφές των φυτών αποκόπτονταν πριν την όγδοη ταξικαρπία.

#### **3.6.3. Επεμβάσεις με χημικά**

Εξαιτίας της προσβολής που υπήρχε από το έντομο *Tuta absoluta* πραγματοποιήθηκαν επεμβάσεις με χημικά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Πιο συγκεκριμένα, έγινε ψεκασμός και στα τρία θερμοκήπια με το βιολογικό εντομοκτόνο LASER (δραστική ουσία spinosad) και εφαρμόστηκε σε δόση 5ml στα 10 λίτρα νερό.

#### **3.6.4 Αποφύλλωση - Κορυφολόγημα**

Μετά τη συγκομιδή των καρπών της πρώτης ταξικαρπίας αφαιρέθηκαν τα υποκείμενα φύλλα, ώστε να δημιουργηθούν καλύτερες συνθήκες αερισμού στο μικροπεριβάλλον του φυτού. Το ίδιο επαναλήφθηκε στη δεύτερη ταξικαρπία.

### **3.7. Τα υλικά κάλυψης**

Κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου 2014 έγινε απομάκρυνση των παλαιών φύλλων κάλυψης και τοποθέτηση των νέων φύλλων κάλυψης που παράχθηκαν από την εταιρία «Πλαστικά Κρήτης» στο πλαίσιο του πειράματος. Στα πειραματικά θερμοκήπια GR1 και GR2 τοποθετήθηκε ένα κοινό και καινοτόμο φύλλο που παράχθηκε για το πλαίσιο του πειράματος ενώ στο θερμοκήπιο GR3 τοποθετήθηκε ένα νέο καινοτόμο διπλό φύλλο το οποίο παράχθηκε για το πλαίσιο του πειράματος.

Στο θερμοκήπιο GR1 τοποθετήθηκε στην οροφή, τις ποδιές, τα παράθυρα και τα πλαϊνά ένα φύλλο με ιδιότητες υπερθερμικές (Superthermic), αντισταγονικές (Antidrip), απορροφά όλη τη UV-A & UV-B ακτινοβολία, τουλάχιστον έως τα 370/380 nm (UV-block) και με διάχυση περίπου 30%.

Στο θερμοκήπιο GR2 τοποθετήθηκε στην οροφή, τις ποδιές, τα παράθυρα και τα πλαϊνά ένα φύλλο με ιδιότητες υπερθερμικές (Superthermic), αντισταγονικές (Antidrip), επιτρέπει όλη τη UV-A & UV-B ακτινοβολία να εισέλθουν στο θερμοκήπιο (UV-open), με διάχυση περίπου 30%.

Στο θερμοκήπιο GR3 τοποθετήθηκε εξωτερικό φύλλο για το διπλό φουσκωτό με ιδιότητες μη θερμικές (non thermic) , με κρυστάλλινη διαυγή κανονική μετάδοση φωτός (crystal clear normal transmission) . Στο εσωτερικό φύλλο, στις ποδιές, στα παράθυρα και στα πλαϊνά τοποθετήθηκε για το διπλό φουσκωτό ένα φύλλο με ιδιότητες θερμικές (thermic), αντισταγονικές (antidrip) , διαυγή κανονική μετάδοση της υπεριώδους ακτινοβολίας (clear normal UV-transmission).

### **3.8. Περιγραφή των μετρήσεων**

#### **3.8.1. Μετρήσεις κλιματικών παραμέτρων**

Γινόταν η μέτρηση ορισμένων κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασία και σχετική υγρασία) στο τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον των θερμοκηπίων και μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας (UV-A, UV-B και ολική).

Στο εσωτερικό των θερμοκηπίων οι αισθητήρες ήταν τοποθετημένοι στο κέντρο κάθε θερμοκηπίου, σε ύψος 2m από το δάπεδο, ώστε να βρίσκονται πάντα πάνω από την καλλιέργεια ενώ εξωτερικά των θερμοκηπίων οι αισθητήρες είχαν τοποθετηθεί σε ιστό ύψους 5m.

Για τα πυρανόμετρα και τους αισθητήρες της UV-A και UV-B ακτινοβολίας, ήταν απαραίτητη η οριζοντίωση και ο τακτικός καθαρισμός.

Οι αισθητήρες μέτρησης της υπεριώδους ακτινοβολίας περιείχαν υψηλής απόδοσης ηλιακά κύτταρα και οπτικά φίλτρα που καθόριζαν το αποδεκτό φάσμα του ηλιακού φωτός. Τα ηλιακά κύτταρα παρήγαγαν ρεύμα ανάλογο της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Από το πηλίκο της εσωτερικής προς την εξωτερική τιμή της ακτινοβολίας, προέκυπτε η περατότητα του υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων στο αντίστοιχο φάσμα της ακτινοβολίας. Οι τιμές των αισθητηρίων που περιγράφηκαν παραπάνω, συλλέγονταν και καταγράφονταν από σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων ( data logger τύπου *DL3000, Delta-T Devices, Cambridge, UK*). Οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε τριάντα δευτερόλεπτα και καταγράφονταν ο μέσος όρος κάθε δέκα λεπτά.

### **3.8.2. Αγρονομικές μετρήσεις**

Κάθε 15 ημέρες περίπου γινόταν τυχαία επιλογή 4 φυτών από κάθε θερμοκήπιο και στα φυτά αυτά μετρήθηκε ο αριθμός των φύλλων, το ύψος των φυτών, το μήκος και πλάτος των φύλλων, το χλωρό και ξηρό βάρος των φύλλων, το χλωρό και ξηρό βάρος των βλαστών, ο αριθμός καρπών ανά φυτό, το χλωρό βάρος καρπών, το ξηρό βάρος καρπών και η φυλλική επιφάνεια. Στα φυτά αυτά έγινε ειδική σήμανση με έγχρωμες κορδέλες οι οποίες δέθηκαν πάνω στο σπάγκο υποστήριξης του κάθε επιλεγμένου φυτού.

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 10cm.

Ως μήκος (L) του φύλλου είχε οριστεί η απόσταση από τη βάση του μίσχου έως την άκρη του ελάσματος και ως πλάτος (W) του φύλλου η μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στις άκρες του ελάσματος, η κάθετη στο μήκος του φύλλου.

Όσο αφορά το χλωρό βάρος των φύλλων και του βλαστού μετρήθηκε με ηλεκτρονικό ζυγό. Στη συνέχεια τοποθετούνταν σε φούρνο ξήρανσης και μετά από 48 ώρες μετρήθηκε το ξηρό βάρος των φύλλων και των βλαστών αυτών.

Για τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας, χρησιμοποιήθηκε ένα scanner όπου τοποθετούσαμε τα φύλλα και στη συνέχεια με ένα ειδικό πρόγραμμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μας έδινε τιμές για τη φυλλική επιφάνεια σε mm.

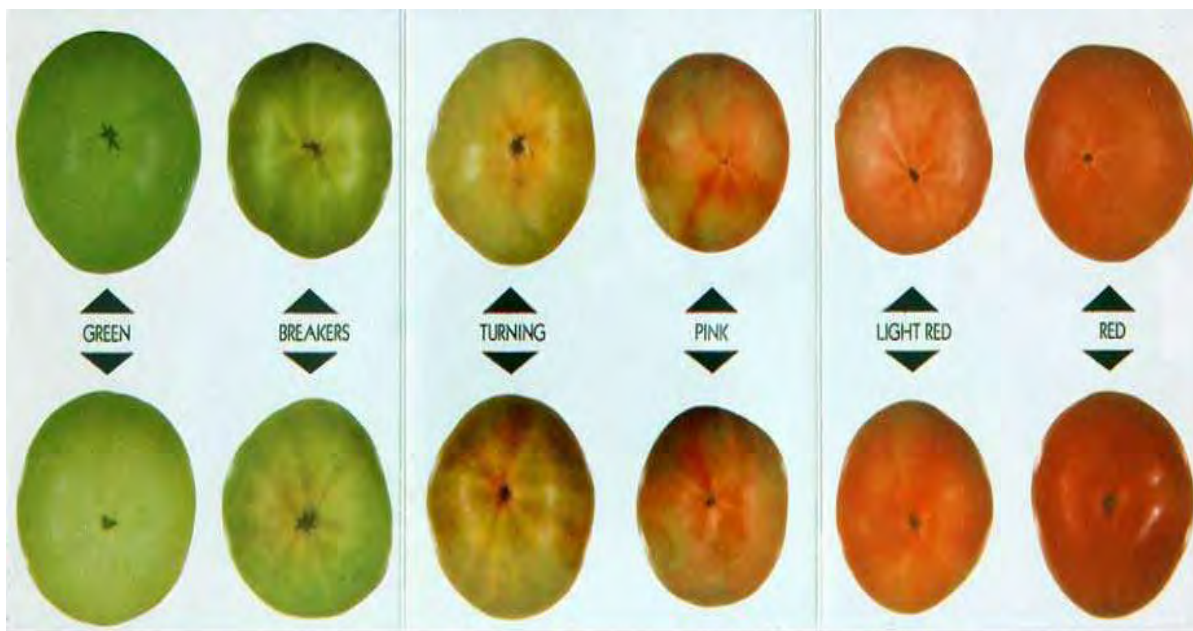
### **3.8.3. Μετρήσεις παραγωγής της καλλιέργειας**

Η συγκομιδή των καρπών πραγματοποιούνταν δύο φορές την εβδομάδα, όταν οι καρποί βρίσκονταν στο ελαφρά κόκκινο στάδιο ωρίμανσης σύμφωνα με την κατάταξη *USDA*. (*USDA 1997*) (Πίνακας 3.1, Εικόνα 3.3).

Πίνακας 3.1: Στάδια ωρίμανσης τομάτας, κατά *USDA*, (*USDA 1997*).

| <b>Διαβάθμιση</b> | <b>Στάδιο</b>                               | <b>Περιγραφή</b>   |
|-------------------|---|--|
| 1                 | Ώριμο πράσινο<br>(Green)                    | Ολόκληρη η επιφάνεια του καρπού παρουσιάζει πλήρως πράσινο χρώμα.  |
| 2                 | Έναρξη αλλαγής<br>χρωματισμού<br>(breakers) | Παρατηρείται μία αλλαγή στο χρώμα από πράσινο σε ανοιχτό κίτρινο, ροζ, κόκκινο ή συνδυασμό αυτών αλλά σε λιγότερο από 10% της επιφάνειας                     |
| 3                 | Αλλαγή<br>χρωματισμού<br>(turning)          | Περισσότερο από 10% αλλά όχι περισσότερο από 30% της επιφάνειας δείχνει μία αλλαγή στο χρώμα από πράσινο σε ανοιχτό κίτρινο, ροζ, κόκκινο ή συνδυασμό αυτών. |
| 4                 | Ρόδινο (pink)                               | Περισσότερο από 30% αλλά όχι περισσότερο από 60% της επιφάνειας είναι ροζ ή κόκκινο.   |
| 5                 | Ελαφρά κόκκινο<br>(light red)               | Περισσότερο από 60% της επιφάνειας είναι ροζ-κόκκινο ή κόκκινο αλλά λιγότερο από 90% κόκκινο.  |
| 6                 | Κόκκινο (red)                               | Περισσότερο από 90% της επιφάνειας είναι κόκκινο.  |





Εικόνα 3.3 και 3.4: Χρωματική κατάταξη των έξι σταδίων ωρίμανσης των καρπών τομάτας (1,2,3,4,5,6)

Αρχικά η μέτρηση γινόταν δύο φορές την εβδομάδα ενώ όταν οι καρποί έφτασαν στο στάδιο της έναρξης αλλαγής χρωματισμού, η μέτρηση επαναλαμβανόταν σχεδόν καθημερινά, εξαιτίας της ραγδαίας αλλαγής του χρώματος.

Συνολικά οι μετρήσεις που έγιναν στα τρία θερμοκήπια αφορούσαν :

- Την παραγωγή ανά φυτό (kg) , δηλαδή τον αριθμό καρπών ανά φυτό
- Το χλωρό βάρος καρπού (kg) ανά φυτό , (εμπορεύσιμου και μη)
- Το ξηρό βάρος καρπού (kg) ανά φυτό , (εμπορεύσιμου και μη)
- Τη συνολική παραγωγή (Kg m<sup>-2</sup>)

Οι μετρήσεις του βάρους της παραγωγής πραγματοποιήθηκαν με ηλεκτρονικό ζυγό (τύπου *Presica 60000 G SCS*), με ακρίβεια της μέτρησης της τάξεως του  $\pm 0.1$  g.

Στους ζημιωμένους καρπούς γινόταν διάγνωση της ζημιάς και προσδιορισμός του μεγέθους της. Δηλαδή γινόταν διάγνωση και μετά μέτρηση της έντασης προσβολής.

Οι ανωμαλίες χωρίστηκαν στις παρακάτω κατηγορίες :

1) ξηρή σήψη κορυφής



2) παραμορφώσεις τύπου catface



3) σχίσσιμο καρπού



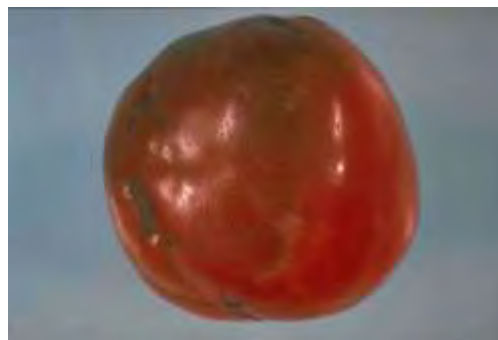
4) παραμορφώσεις τύπου zipper



5) ηλιοκαυμα



6) προσβολές από έντομα (κατά πλειοψηφία από θρίπα και λιγότερο από αλευρώδη, αφίδες ή βρωμούσα)



7) ύπαρξη λιποβαρών καρπών (ζύγισαν λιγότερο από 100 g, γεγονός που θεωρείται μειονέκτημα)

8) παραμορφώσεις σχήματος.

Οι παραπάνω ζημιές χωρίστηκαν στις κατηγορίες Α και Β. Τα αίτια που προκαλούσαν στους καρπούς ζημιές της κατηγορίας Α δεν σχετίζονται με τις ιδιότητες των απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας καλυμμάτων. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι ζημιές 1, 2, 3, 4, 5, 7 και 8. Αντίθετα τα αίτια που προκαλούσαν στους καρπούς ζημιές της κατηγορίας Β, σχετίζονται με τις ιδιότητες των απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας καλυμμάτων, γιατί προκαλούνται από έντομα τα οποία χρησιμοποιούν την υπεριώδη ακτινοβολία για να προσανατολισθούν. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει η ζημιά 6.

Όσον αφορά στην αξιολόγηση του μεγέθους της ζημιάς, χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα 1 έως 5, όπου:

1 = κανένα ελάττωμα,

2 = ελαφρά ελαττώματα,

3 = μέτρια ελαττώματα,

4 = έντονα ελαττώματα,

5 = υπερβολικά ελαττώματα.

Σύμφωνα με την παραπάνω κλίμακα, μη εμπορεύσιμοι θεωρήθηκαν οι καρποί των οποίων το μέγεθος της ζημιάς ήταν 4 και 5.

### **3.9. Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων**

Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έγινε μέσω του MS Excel και του στατιστικού πακέτου SPSS.

Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων στο στατιστικό πακέτο SPSS πραγματοποιήθηκε one-way Analysis of Variance (one-way ANOVA) και χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (repeated measures) προκειμένου να εξετασθεί η επίδραση του υλικού κάλυψης θερμοκηπίων στις παραμέτρους που εξετάστηκαν, για πιθανότητα  $P=0,05$ .

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ –ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

### **4.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ**

Τα παρακάτω δεδομένα προέρχονται από τον εξωτερικό μετεωρολογικό σταθμό που είναι τοποθετημένος στο Αγρόκτημα της Γεωπονικής Σχολής που βρίσκεται στο Βελεστίνο, δίπλα ακριβώς από το πειραματικό θερμοκήπιο GR1.

Στον Πίνακα 4.1 παρατηρούνται οι μέσες μηνιαίες τιμές για την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία για τις δύο περιόδους που έγιναν οι αγρονομικές μετρήσεις και οι μετρήσεις παραγωγής (Χειμερινή περίοδος: Νοεμβριος-Δεκεμβριος 2014 και Εαρινή περίοδος: Μάρτιος-Ιούνιος 2015).

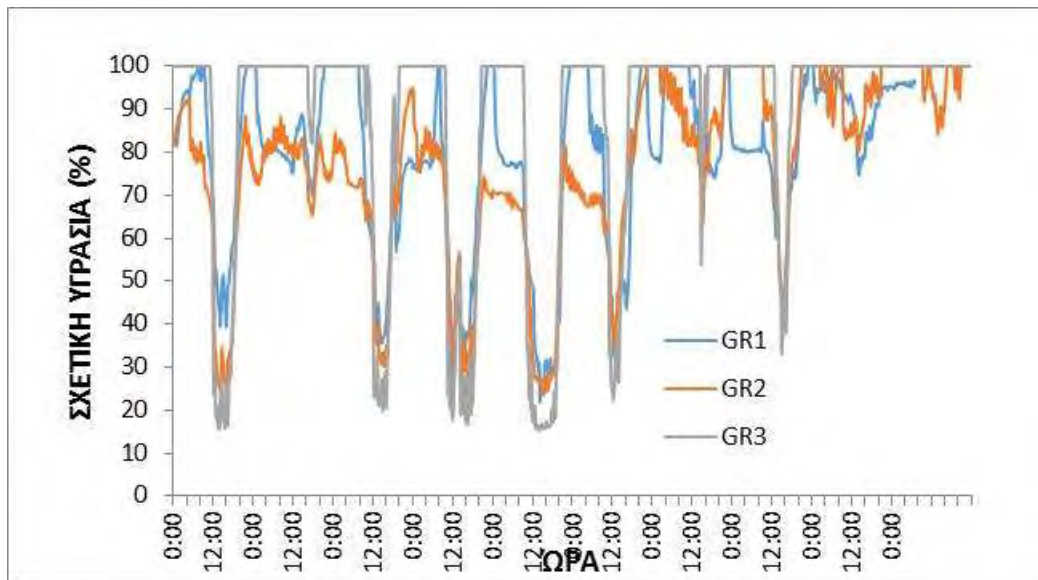
Πίνακας 4.1: Μέσες μηνιαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για τη χειμερινή περίοδο (Νοεμβριος-Δεκεμβριος 2014) και για την εαρινή περίοδο (Μάρτιος-Ιούνιος 2015).

| <b>ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b> |   |  |   |
|-------------------------------------|---|--|---|
| <b>ΜΗΝΑΣ</b>                        | <b>ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ<br/>ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ<br/>(MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)</b> | <b>ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ<br/>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ<br/>(°C)</b> | <b>ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ<br/>ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)</b> |
| <b>ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ</b>                    | 6504  | 11,65  | 87,93                                       |
| <b>ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ</b>                   | 5169  | 9,97   | 93,52                                       |
| <b>ΜΑΡΤΙΟΣ</b>                      | 11455   | 9,89   | 83,61                                       |
| <b>ΑΠΡΙΛΙΟΣ</b>                     | 19893   | 14,19  | 62,93                                       |
| <b>ΜΑΙΟΣ</b>                        | 21919   | 20,51  | 61,17                                       |
| <b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>                      | 22133   | 23,05  | 58,99                                       |

#### 4.2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ

Τα παρακάτω αποτελέσματα προέρχονται από τους εσωτερικούς μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται μέσα σε κάθε θερμοκήπιο.

Στο παρακάτω γράφημα 4.2.1 παρουσιάζεται η σχετική υγρασία (%) σε σχέση με το χρόνο για 10 συνεχόμενες ημέρες (από 17/3/2015 έως 26/3/2015).



Γράφημα 4.2.1: Σχετική υγρασία (%) σε σχέση με το χρόνο.

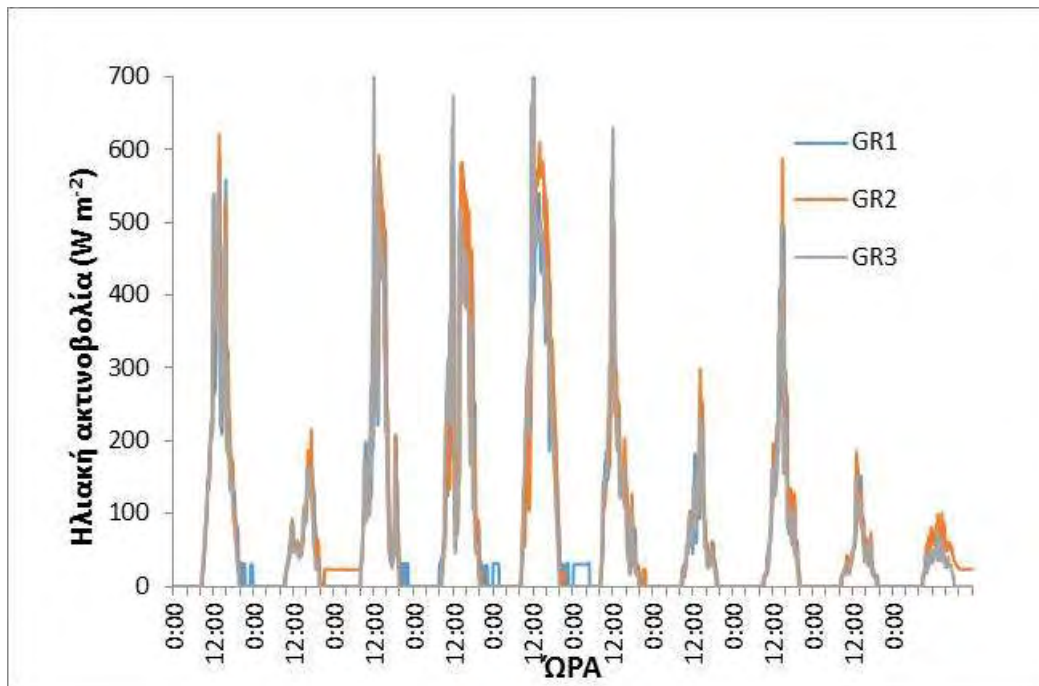
Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-Block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3: Θερμοκήπιο 3 (με το διπλό πλαστικό κάλυμμα).

Παρατηρείται ότι οι τιμές είναι σε παρόμοια επίπεδα και για τα τρία θερμοκήπια.





Στο παρακάτω γράφημα 4.2.3 παρουσιάζεται η ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο για 10 συνεχόμενες ημέρες (από 17/3/2015 έως 26/3/2015).



Γράφημα 4.2.3: Ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με το χρόνο.

Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-Block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3: Θερμοκήπιο 3 (με το διπλό πλαστικό κάλυμμα).

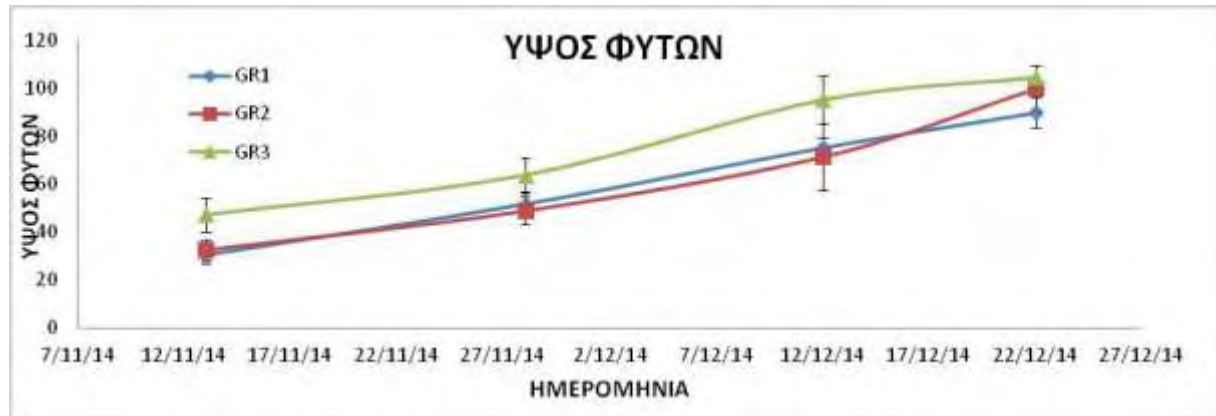
Παρατηρείται ότι οι τιμές είναι σε παρόμοια επίπεδα.

#### **4.3. ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΥΤΩΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ**

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων του πειράματος. Όπως προαναφέρθηκε , λόγω κακοκαιρίας είχαμε ολική καταστροφή της αρχικής καλλιέργειας και χρειάστηκε επανάληψη του πειράματος από την αρχή. Πιο συγκεκριμένα , έχουμε τη αρχική καλλιέργεια , η οποία ήταν τη χειμερινή περίοδο (13/11/2014 έως 22/12/2014) και στη συνέχεια τη καλλιέργεια που φυτεύθηκε την εαρινή περίοδο (17/3/2015 έως 9/6/2015).

#### 4.3.1. Ύψος φυτών

Στο γράφημα 4.3.1 παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Το ύψος των φυτών μετρήθηκε συνολικά 4 φορές.



Γράφημα 4.3.1: Ύψος φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3 : Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό) .

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.3.1) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς sig=0,000.

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην αύξηση σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.



#### 4.3.2. Αριθμός φύλλων

Στο γράφημα 4.3.2 παρατηρείται ο αριθμός φύλλων των φυτών. Ο αριθμός φύλλων μετρήθηκε συνολικά 4 φορές.



Γράφημα 4.3.2: Αριθμός φύλλων των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3 : Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό) .

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.3.2) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,003$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην αύξηση σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

### 4.3.3. Χλωρό βάρος βλαστού

Στο γράφημα 4.3.3 παρουσιάζεται το χλωρό βάρος βλαστού σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Το χλωρό βάρος μετρήθηκε συνολικά 4 φορές.



Γράφημα 4.3.3: Χλωρό βάρος βλαστού σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3 : Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό) .

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.3.3) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς sig=0,148.

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.3.4. Χλωρό βάρος φύλλων

Στο γράφημα 4.3.4 παρουσιάζεται το χλωρό βάρος φύλλων σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Το χλωρό βάρος μετρήθηκε συνολικά 4 φορές.



Γράφημα 4.3.4: Χλωρό βάρος φύλλων σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open), GR3 : Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό) .

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.3.4) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς sig=0,160.

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.3.5. Ξηρό βάρος βλαστού

Στο γράφημα 4.3.5 παρουσιάζεται το ξηρό βάρος βλαστού σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Το ξηρό βάρος μετρήθηκε συνολικά 4 φορές.



Γράφημα 4.3.5: Ξηρό βάρος βλαστού σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3 : Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό) .

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.3.5) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς sig=0,000.

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.3.6. Ξηρό βάρος φύλλων

Στο γράφημα 4.3.6 παρατηρείται το ξηρό βάρος φύλλων των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Το ξηρό βάρος φύλλων μετρήθηκε συνολικά 4 φορές.



Γράφημα 4.3.6: Ξηρό βάρος φύλλων σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3 : Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό) .

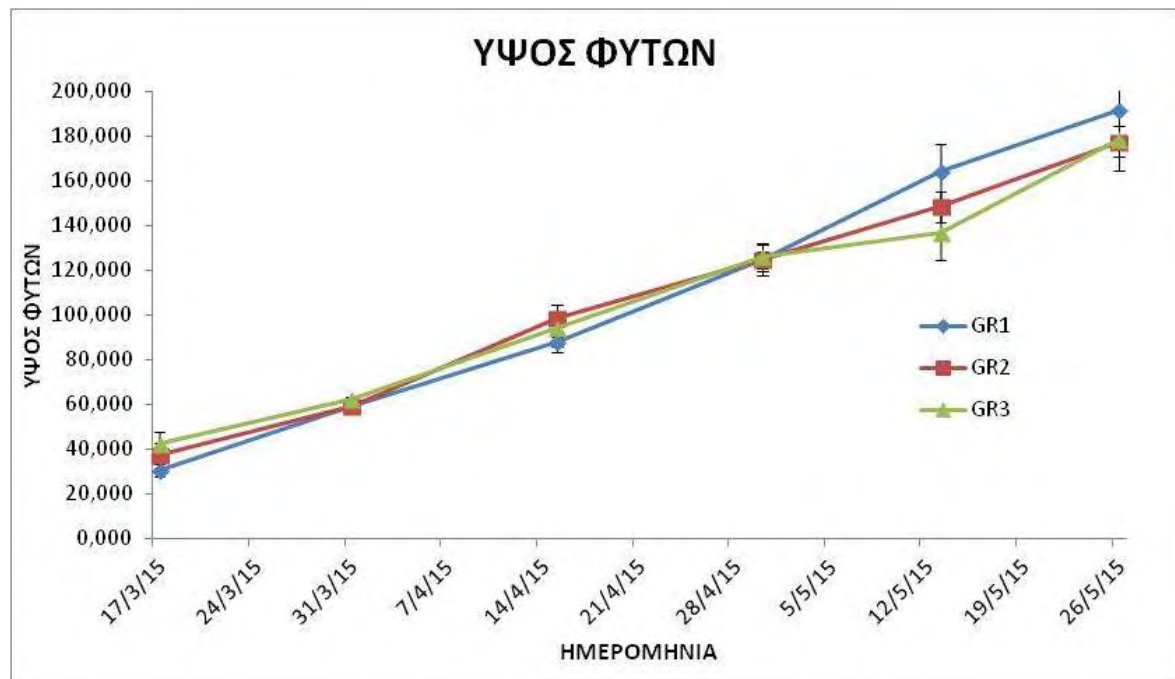
Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.3.6) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς sig=0,001.

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.4. ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΥΤΩΝ ΕΑΡΙΝΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

##### 4.4.1. Ύψος φυτών

Στο γράφημα 4.4.1 παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Το ύψος των φυτών μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



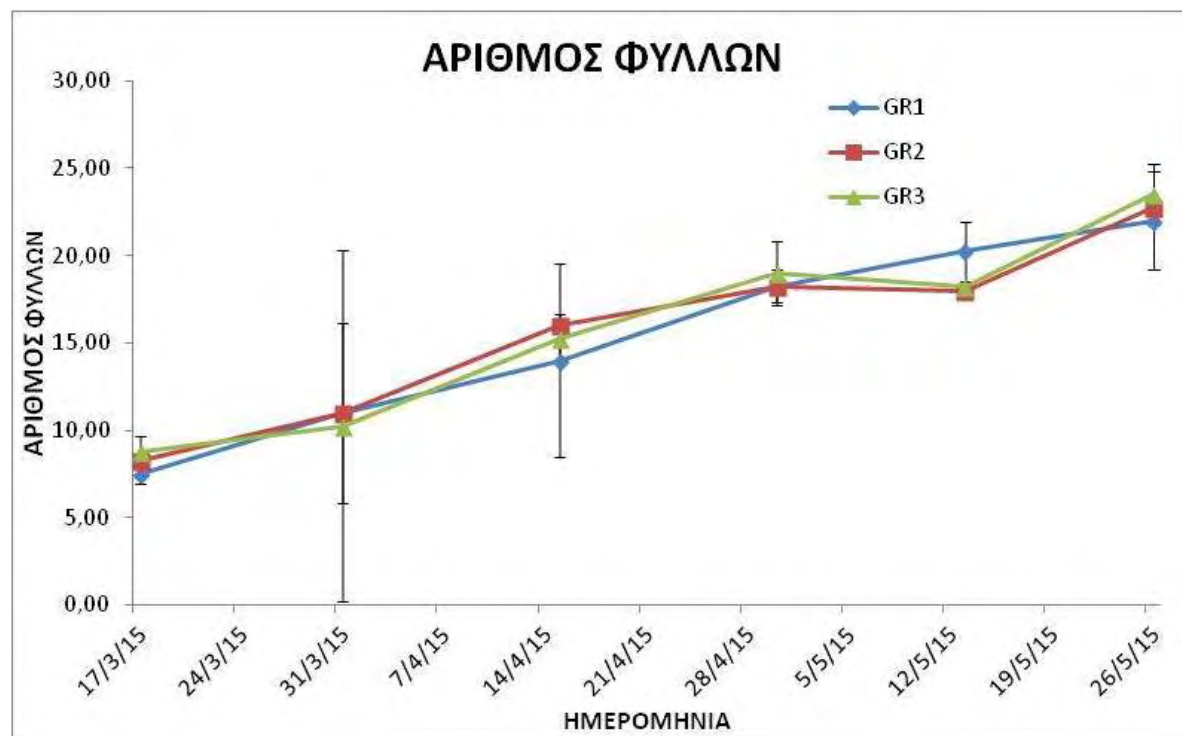
Γράφημα 4.4.1: Ύψος φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3 : Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό) .

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.4.1) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,550$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην αύξηση σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.4.2. Αριθμός φύλλων

Στο γράφημα 4.4.2 παρατηρείται ο αριθμός φύλλων των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Ο αριθμός φύλλων μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



Γράφημα 4.4.2: Αριθμός φύλλων φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3 : Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό) .

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.4.2) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,345$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην αύξηση σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.



#### 4.4.3. Χλωρό βάρος βλαστού

Στο γράφημα 4.4.3 παρουσιάζεται το χλωρό βάρος βλαστού σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Το χλωρό βάρος μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



Γράφημα 4.4.3: Χλωρό βάρος βλαστού σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3: Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό).

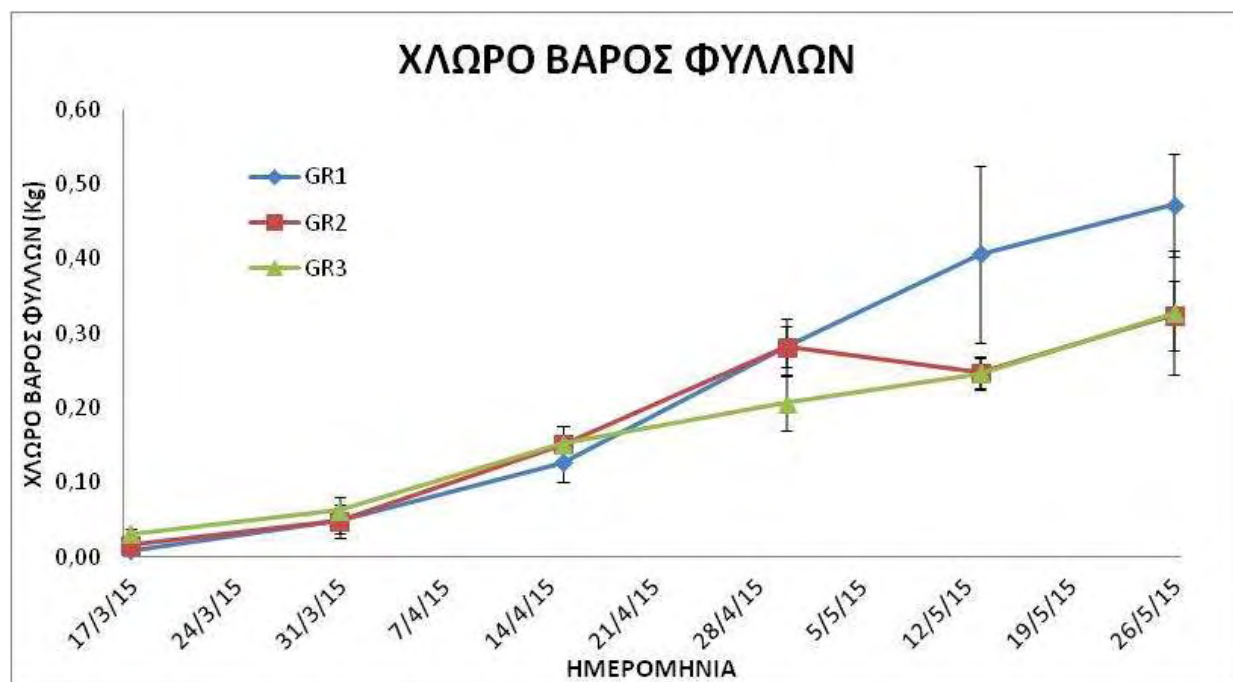
Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.4.3) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,061$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.



#### 4.4.4. Χλωρό βάρος φύλλων

Στο γράφημα 4.4.4 παρατηρείται το χλωρό βάρος φύλλων σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Το χλωρό βάρος φύλλων μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



Γράφημα 4.4.4: Χλωρό βάρος φύλλων σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3: Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό).

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.4.4) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,327$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.4.5. Ξηρό βάρος βλαστού

Στο γράφημα 4.4.5 παρουσιάζεται το ξηρό βάρος βλαστού των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Το ξηρό βάρος βλαστού μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



Γράφημα 4.4.5: Ξηρό βάρος βλαστού σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3: Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό).

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.4.5) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,076$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.4.6 Ξηρό βάρος φύλλων

Στο γράφημα 4.4.6 παρουσιάζεται το ξηρό βάρος φύλλων σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Το ξηρό βάρος φύλλων μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



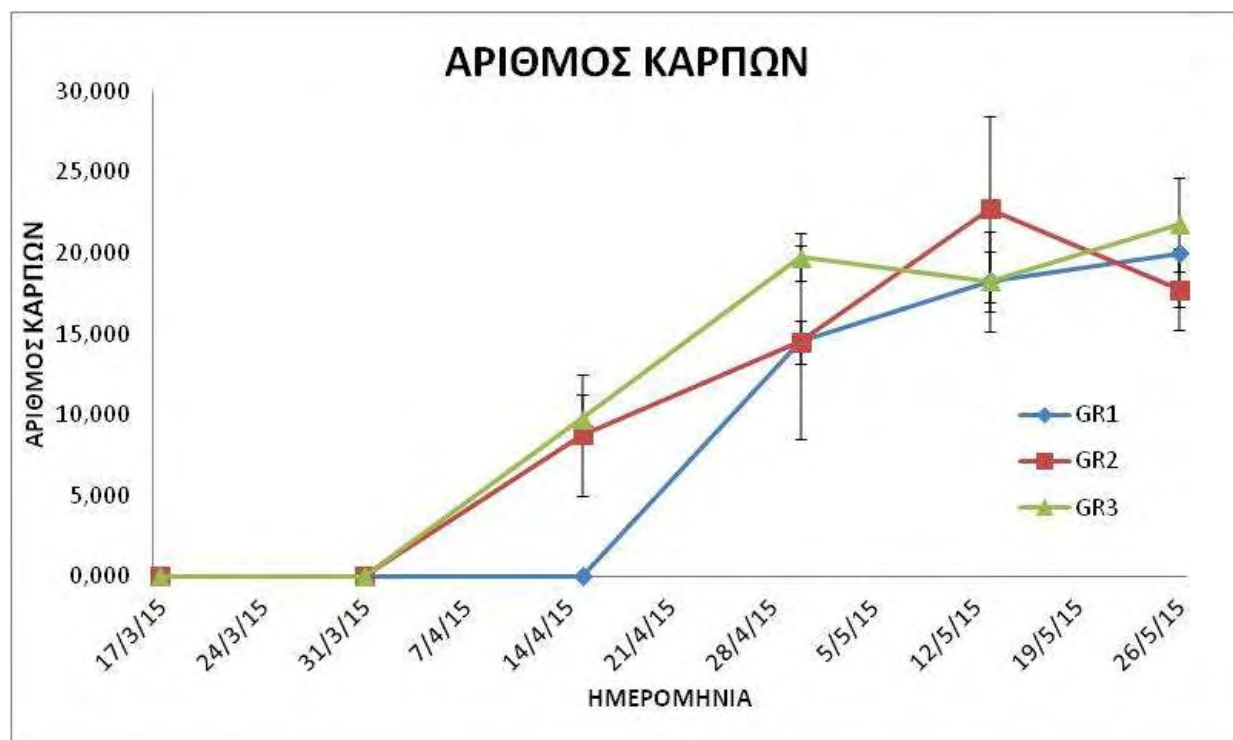
Γράφημα 4.4.6: Ξηρό βάρος φύλλων σε kg των φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3: Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό).

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.4.6) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,019$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.4.7. Αριθμός καρπών ανά φυτό

Στο γράφημα 4.4.7 παρατηρείται ο αριθμός καρπών ανά φυτό υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Ο αριθμός καρπών ανά φυτό μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



Γράφημα 4.4.7: Αριθμός καρπών ανά φυτό υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3: Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό).

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.4.7) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,282$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.4.8. Χλωρό βάρος καρπών ανά φυτό

Στο γράφημα 4.4.8 παρατηρείται το χλωρό βάρος καρπών σε kg ανά φυτό υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Το χλωρό βάρος καρπών ανά φυτό μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



Γράφημα 4.4.8: Χλωρό βάρος καρπών σε kg ανά φυτό υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open), GR3: Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό).

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.4.8) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,386$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

#### 4.4.9. Ξηρό βάρος καρπών ανά φυτό

Στο γράφημα 4.4.9 παρατηρείται το ξηρό βάρος καρπών σε kg ανά φυτό υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Το ξηρό βάρος καρπών ανά φυτό μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



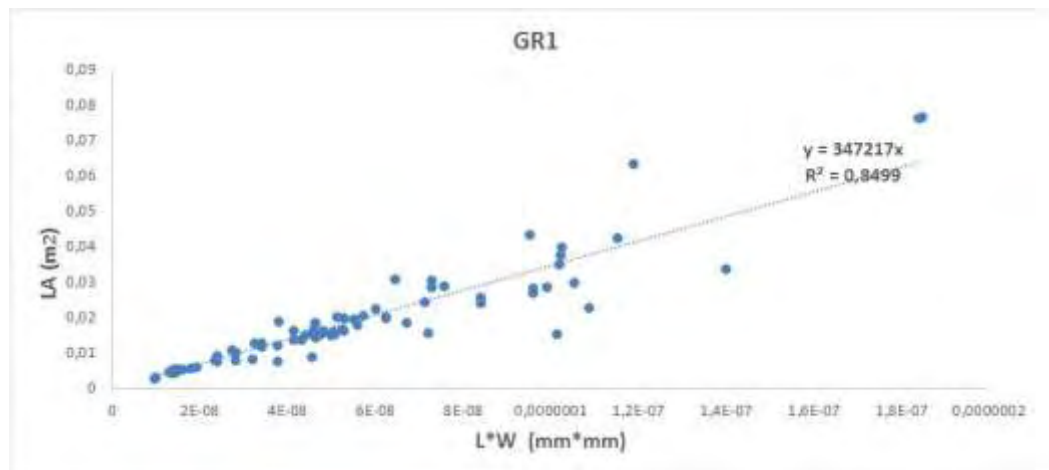
Γράφημα 4.4.9: Ξηρό βάρος καρπών ανά φυτό υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας εαρινής περιόδου. Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open) , GR3: Θερμοκήπιο 3 (διπλό πλαστικό).

Με βάση το παραπάνω γράφημα (4.4.9) και τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3) με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig}=0,150$ .

Ο Ravin (2004) σε πειράματα στην Ιαπωνία, δεν εντόπισε σημαντική διαφορά στην παραγωγή νωπού και ξηρού βάρους σε τομάτες, πιπεριές και αγγούρια τα οποία αναπτύχθηκαν σε συμβατικά ή σε απορροφητικά της υπερϊώδους ακτινοβολίας θερμοκήπια.

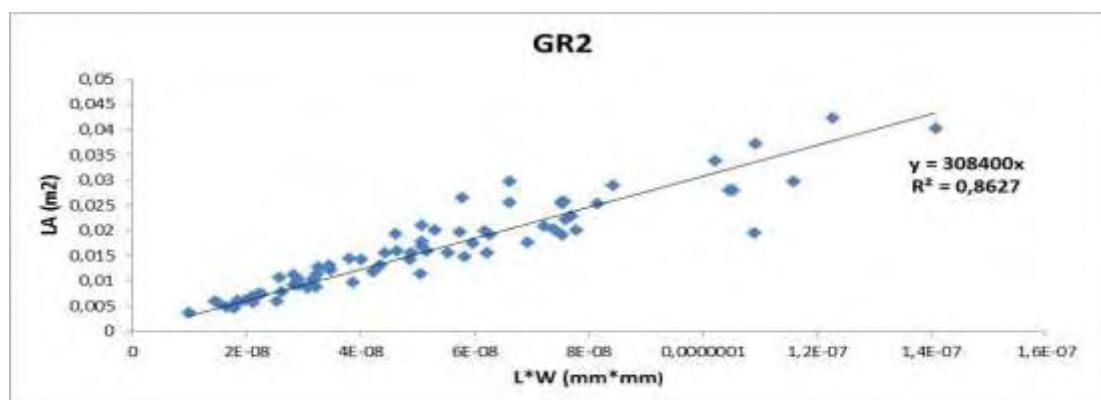
#### 4.4.10. Φυλλική επιφάνεια (LA) και Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3.8.2, για τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας συγκεκριμένων φύλλων από κάθε θερμοκήπιο, χρησιμοποιήθηκε ένα scanner όπου τοποθετούσαμε τα φύλλα και στη συνέχεια με ένα ειδικό πρόγραμμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μας έδινε τιμές για τη φυλλική επιφάνεια σε mm. Στη συνέχεια γνωρίζοντας το μήκος και το πλάτος όλων των φύλλων, η φυλλική επιφάνεια (mm<sup>2</sup>) ισούται με: (μήκος L σε mm)\*(πλάτος W σε mm)\* (συντελεστής). Για την εύρεση του συντελεστή (ο οποίος είναι διαφορετικός σε κάθε θερμοκήπιο, έγιναν τα ακόλουθα γραφήματα:



Γράφημα 4.4.10.1: Φυλλική επιφάνεια (LA) σε σχέση με το μήκος (L) και πλάτος των φύλλων (W) για το θερμοκήπιο GR1.

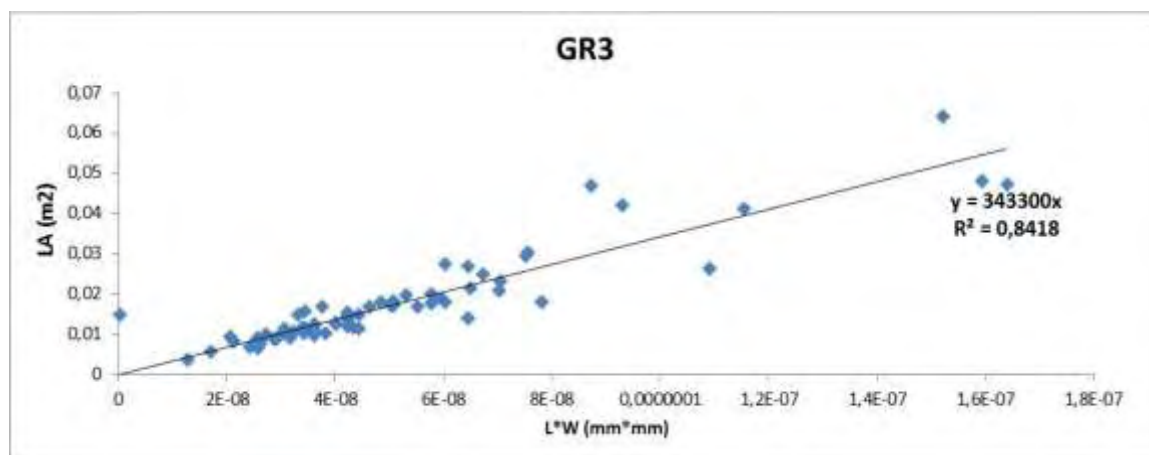
Από το παραπάνω γράφημα (4.4.10.1) παρατηρείται ότι η εξίσωση είναι  $y=347217x$ , επομένως ο συντελεστής για το θερμοκήπιο GR1 είναι ίσος με 347217.



Γράφημα 4.4.10.2: Φυλλική επιφάνεια (LA) σε σχέση με το μήκος (L) και πλάτος των φύλλων (W) για το θερμοκήπιο GR2.



Από το παραπάνω γράφημα (4.4.10.2) παρατηρείται ότι η εξίσωση είναι  $y=308400x$  και επομένως ο συντελεστής για το θερμοκήπιο GR2 είναι ίσος με 308400 .



Γράφημα 4.4.10.3: Φυλλική επιφάνεια (LA) σε σχέση με το μήκος (L) και πλάτος των φύλλων (W) για το θερμοκήπιο GR3.

Από το παραπάνω γράφημα (4.4.10.3) παρατηρείται ότι η εξίσωση είναι  $y=343300x$  και επομένως ο συντελεστής για το θερμοκήπιο GR3 είναι ίσος με 343300.

Όσο αφορά τη στατιστική ανάλυση που έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS για τη Φυλλική επιφάνεια , βρέθηκε ότι υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των 3 θερμοκηπίων (GR1, GR2, GR3), με σημαντικότητα διαφοράς  $\text{sig} = 0,004$ .

Ο Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) ισούται με το (μέσο όρο της φυλλικής επιφάνειας LA σε  $\text{m}^2$ ) \* (Πυκνότητα των φυτών σε φυτά/ $\text{m}^2$ ). Η πυκνότητα των φυτών είναι 3 φυτά/  $\text{m}^2$ .

Ο συνολικός μέσος όρος του LA για το θερμοκήπιο **GR1** είναι ίσος με 0,000014  $\text{m}^2$  και επομένως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι: **LAI= 0,000041.**

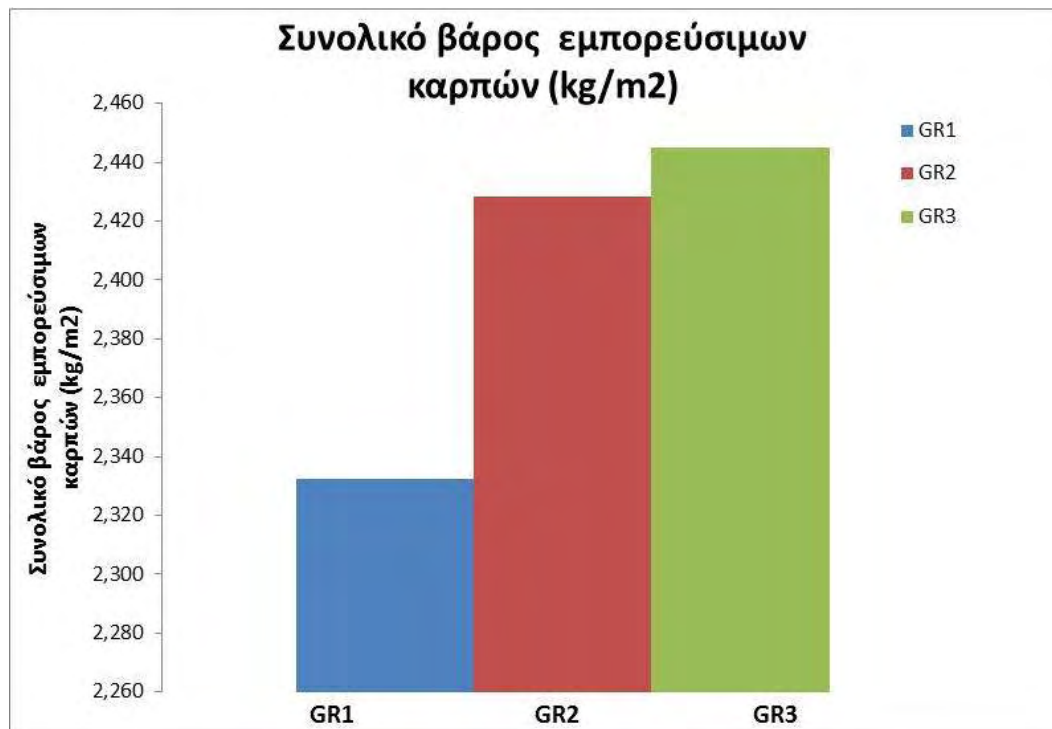
Ο συνολικός μέσος όρος του LA για το θερμοκήπιο **GR2** είναι ίσος με 0,000013  $\text{m}^2$  και επομένως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι: **LAI= 0,000038.**

Ο συνολικός μέσος όρος του LA για το θερμοκήπιο **GR3** είναι ίσος με 0,000013  $\text{m}^2$  και επομένως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι: **LAI= 0,000038.**



#### 4.5. Μετρήσεις παραγωγής φυτών εαρινής περιόδου

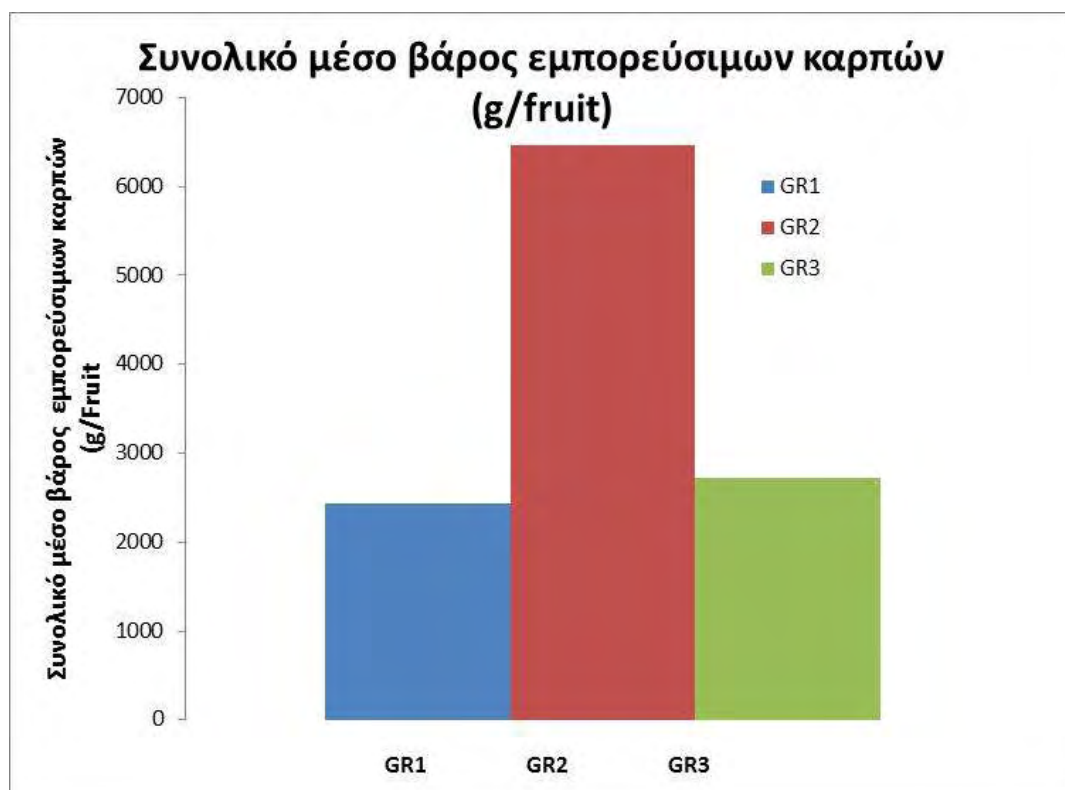
Στο γράφημα 4.5.1 παρουσιάζεται το συνολικό βάρος εμπορεύσιμων καρπών σε kg/m<sup>2</sup>.



Γράφημα 4.5.1: Συνολικό βάρος εμπορεύσιμων καρπών σε kg/m<sup>2</sup>.

Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open), GR3: Θερμοκήπιο 3 (με το διπλό πλαστικό).

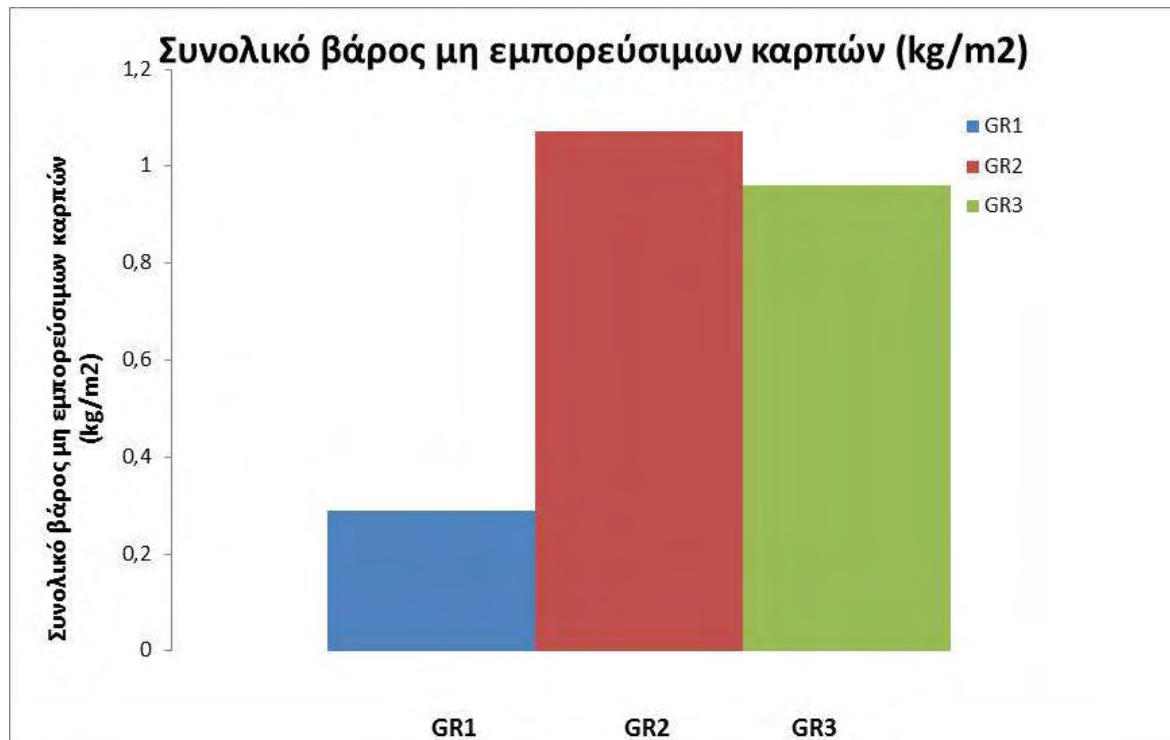
Στο γράφημα 4.5.2. παρουσιάζεται το μέσο βάρος εμπορεύσιμων καρπών σε g/fruit.



Γράφημα 4.5.2: Μέσο βάρος εμπορεύσιμων καρπών σε kg/m<sup>2</sup>.

Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open), GR3: Θερμοκήπιο 3 (με το διπλό πλαστικό).

Στο γράφημα 4.5.3 παρουσιάζεται το συνολικό βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών σε  $\text{kg}/\text{m}^2$ .



Γράφημα 4.5.3: Συνολικό βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών σε  $\text{kg}/\text{m}^2$ .

Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open), GR3: Θερμοκήπιο 3 (με το διπλό πλαστικό).

Στο γράφημα 4.5.4 παρουσιάζεται το μέσο βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών σε g/fruit.



Γράφημα 4.5.4: Συνολικό μέσο βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών σε g/fruit.

Όπου GR1: Θερμοκήπιο 1 (UV-block), GR2: Θερμοκήπιο 2 (UV-open), GR3: Θερμοκήπιο 3 (με το διπλό πλαστικό).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή μελετήθηκε η επίδραση τριών διαφορετικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων, από τα οποία το ένα υλικό κάλυψης απορροφά όλη την υπεριώδη UV-A & UV-B ακτινοβολία (UV-block), το άλλο υλικό κάλυψης επιτρέπει όλη την υπεριώδη UV-A & UV-B ακτινοβολία να εισέλθει στο θερμοκήπιο (UV-open) και το τρίτο υλικό κάλυψης αποτελείται από ένα νέο καινοτόμο διπλό φύλλο, στο μικροκλίμα και στην παραγωγικότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας.

Έγιναν μετρήσεις σε φυτά υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας χειμερινής περιόδου και σε φυτά εαρινής περιόδου.

Παρατηρήθηκε ότι στα φυτά χειμερινής περιόδου, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων όσο αφορά τις μετρήσεις ύψους φυτών, αριθμού φύλλων, ξηρού βάρους βλαστού και ξηρού βάρους φύλλων ενώ δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά όσο αφορά τις μετρήσεις χλωρού βάρους βλαστού και χλωρού βάρους φύλλων.

Στα φυτά εαρινής περιόδου παρατηρήθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων στις μετρήσεις ύψους φυτών, αριθμού φύλλων, χλωρού βάρους φύλλων, χλωρού βάρους βλαστού, ξηρού βάρους βλαστού, αριθμού καρπών, χλωρού βάρους καρπών και ξηρού βάρους καρπών ενώ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις μετρήσεις ξηρού βάρους φύλλων.

Όσο αφορά το δείκτη φυλλικής επιφάνειας παρατηρήθηκε ότι είναι μεγαλύτερος στο θερμοκήπιο GR2.

Το συνολικό βάρος εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) είναι μεγαλύτερο στο θερμοκήπιο GR3. Το συνολικό μέσο βάρος εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{g}/\text{fruit}$ ) είναι μεγαλύτερο στο θερμοκήπιο GR2. Για τη μη εμπορεύσιμη παραγωγή, παρατηρήθηκε ότι το συνολικό βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) είναι μεγαλύτερο στο θερμοκήπιο GR2 και το συνολικό μέσο βάρος μη εμπορεύσιμων καρπών ( $\text{g}/\text{fruit}$ ) είναι επίσης μεγαλύτερο στο θερμοκήπιο GR2.

Συμπερασματικά, μελετήθηκαν τα τρία διαφορετικά υλικά κάλυψης θερμοκηπίων και γενικά δεν αναμένονταν στατιστικά σημαντικές διαφορές, και αυτό επιβεβαιώθηκε από τα αποτελέσματα για τα φυτά εαρινής περιόδου. Όσο αφορά κάποιες μικρές στατιστικά διαφορές στα αποτελέσματα των φυτών χειμερινής περιόδου, αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι έπαιξαν σημαντικό ρόλο οι διαφορετικές καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν εκείνη την περίοδο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- ❖ **Παπαϊωάννου Χ., 2007**, “Προσδιορισμός των οπτικών ιδιοτήτων νέων φωτοεκλεκτικών πλαστικών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων και διερεύνηση της επίδρασης τους στο μικροκλίμα και στην καλλιέργεια”, Διδακτορική διατριβή, επιβλέπων Καθηγητής Κ.Κίττας, Βόλος
- ❖ **Καραουλάνης Γ., 2003**, “ Τεχνολογία επεξεργασίας οπωροκηπευτικών”, Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη.
- ❖ **Καράταγλης Σ. Σ., 1999**, “Φυσιολογία Φυτών”, Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη.
- ❖ **Κατσαντώνης Γ., 2009**, “Επίδραση φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίου στην ανάπτυξη θερμοκηπιακής καλλιέργειας τομάτας”, Πτυχιακή διατριβή, επιβλέπων Καθηγητής Κ.Κίττας, Βόλος
- ❖ **Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2001**, “Θερμοκήπια”, Εκδόσεις Σταμούλη
- ❖ **Ολύμπιος Χ.Μ., 2001**, “Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια”, Εκδόσεις Σταμούλη
- ❖ **Acock B., Charles-Edward D.A., Hand D.W., 1976**, “An analysis of some effects of humidity on photosynthesis by a tomato canopy under winter light conditions and a range of carbon dioxide concentrations”, *Journal of Experimental Botany* 27, 933-941
- ❖ **Antignus Y., 2000**, “Manipulation of wavelength-dependent behavior of insects: an IPM tool to impede insects and restrict epidermis of insect-born viruses”, *Virus Research*, 71: 213-220
- ❖ **Bakker J.C., 1990**, “Effect of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse eggplant (*Solanum melongena L.*)”, *Journal of Horticultural Science* 65, 747-753
- ❖ **Bakker J.C., Welles G.H.W., Uffelen J.A.M. Van, 1987**, “The effects of day and night humidity on yield and quality of greenhouse cucumbers”, *Journal of Horticultural Science* 65, 363-370
- ❖ **Bauerle W.L. 1981**, “Exolite acrylic for glazing greenhouses”, *Proc. Of the National Agric. Plastics Congress* , 225-234
- ❖ **Baytorun, N., K. Abak, H. Tokgoz, and O. Altuntas. 1994**, “Effect of different greenhouse covering materials on climate and on the development of tomato plants”, *Acta Horticulturae*, 366:125–132.

- ❖ **Benton Jones J.Jr.,1999**, “Tomato plant culture”, CRC Press , Boca, Raton, London, New York, Washington, D.C., pp18-19, 41, 43-44
- ❖ **Blom T.J., Ingratta F.J., 1985**, “ The use of polyethylene film as greenhouse glazing in North America”, *Acta Horticulturae* 170, 69-80
- ❖ **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
- ❖ **Boulard T., Baille H., Lagier J., Mermier M., Vanderschmitt E., 1989**, “Water vapour transfer in a plastic house equipped with a dehumidification heat pump”, *Journal of Agricultural Engineering Research* 44, 191-204
- ❖ **Briassoulis D., Waaijenberg D., Gratraud J., B. von Eslner, 1997**, “Mechanical properties of covering materials for greenhouses: Part 1”, *General Overview, J.agric. Engng Res.*,67, 81-96
- ❖ **Bunce J.A., 1984**, “Effects of humidity on photosynthesis”, *Journal of experimental botany* 35, 1245-1251
- ❖ **Carruthers S., 2004**, “Comparing smart films”, *Practical Hydroponics and Greenhouses*, Issue 79
- ❖ **Cemek B., 2002**, “Effects of different covering materials on growth, development and yield of crop and environmental conditions inside greenhouses” , Unpublished Ph.D thesis, Ondokuz Mayıs University , Samsun, Turkey
- ❖ **Cemek B., Demir Y., 2005**, “Testing of the condensation characteristics and light transmissions of different plastic film covering materials” , *Polymer Testing* 24, 284-289
- ❖ **Cemek B., Yusuf D., Uzun S., Ceyhan V., 2006**, “The effects of different greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine” , *Energy* 31, 1780-1788
- ❖ **Challa H., Schapendonk A.H.C.M., 1984**, “ Quantification of effects of light reduction in greenhouses on yield” , *Acta Horticulturae* 148, 501-510
- ❖ **Cockell C., Southern A., Herrera A., 2000**, “Lack of UV radiation in Biosphere 2 – practical and theoretical effects on plants”, *Ecological Engineering*, 16: 293-299.
- ❖ **Costa H.S. and Robb K.L.,1999**, “Effects of ultra-violet-absorbing greenhouse plastic films on flight behavior 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 ultra-violet 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
- ❖ **Dilara P.A., Briassoulis D., 2000**, “Degradation and stabilization of low-density polyethylene films used as greenhouse covering materials” , *Journal of Agricultural Engineering Research* 76, 309-321
- ❖ **Dyer A.G. and L. Chittka, 2004**, “Bumblebee search time without ultraviolet light”, *The Journal of Experimental Biology*, 2007:1683-1688
- ❖ **Elad Y.,1997**, “Effect of filtration on 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
- ❖ **Elsner B.Von., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., Zabeltitz Chr. Von., Gratraud J., Russo G., Suay-Cortes R. , 2000**, “Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part I: design requirements “, *Journal of Agricultural Engineering Research* 75, 1-16
- ❖ **Fillela I., Peñuelas J., 1999**, Altitudinal differences in UV absorbance, UV reflectance and related morphological traits of *Quercus ilex* and *Rhododendron ferrugineum* in the Mediterranean region”, *Plant Ecology*, 145: 157-165.
- ❖ **Geoola F., Peiper U.M., 1994**, “Outdoor testing of condensation characteristics of plastic film covering materials using a model greenhouse”,
- ❖ **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 Roberts W.J., 1993**, “Greenhouse Covering Systems”, *ASHS HortTechnology Journal*. (<http://ag.arizona.edu/ceac/research/archive/HortGlazing.pdf>)
- ❖ **Gilby G.W., 1989**, “ Greenhouse cladding film developments”, *Plastic* 81, 19-28

- ❖ **Gonzales A., Garcia-Alonso Y., Espi E., Fontecha A., Salmeron A., 2004**, “Viral diseases control with UV-blocking films in greenhouse of southern Spain”, International Symposium on Protected Culture in an Mild-Winter Climate Kissimmee, Florida, USA
- ❖ **Halleux D., Nijskens J., Deltour J., Coutisse S., Nisen A., 1995**, “The effect of condensation on heat transfers of greenhouse covering: glass of polyethylene?” , *Plasticulture* 66, 19-26
- ❖ **Hanan J.J., 1990**, “The influence of greenhouses on internal climate with special reference to Mediterranean regions”, *Acta Hortic.*, 287: 23-34
- ❖ **Hand D.W., 1988**, “Effects of atmospheric humidity on greenhouse”, *Acta Horticulturae*, 229, 143-155
- ❖ **Hollosy F., 2002**, “Effects of ultraviolet radiation on plant cells”, *Micron*, 33:179-197
- ❖ **Hoffman G.J., 1979**, “Humidity”, In : T.W. Tibbits and T.T. Kozlowski (editors), *Controlled Environment Guidelines for Plant Research*, Academic Press, London , 413 pp.
- ❖ **Hunt G., Baker E. 1980**, “Phenolic constituents of tomato fruit cuticles”, *Phytochemistry*, 19(7):1415-1419.
- ❖ **Izaguirre M.M., Scopel A.L., Baldwin I.T., Ballare C.L., 2003**, “Convergent responses to stress. Solar ultraviolet-B radiation and *Mandula sexta* herbivory elicit overlapping transcriptional responses in field-grown plants of *Nicotiana longiflora*”, *Plant Physiology*, 132: 1755-1767
- ❖ **Jaffrin A., Makhlof S., 1990**, “ Mechanism of light transmission through wet polymer films”, *Acta Horticulturae*, 281, 25-33
- ❖ **Jaffrin A., Morisot A., 1994**, “Role of structure, dirt and condensation on the light transmission of greenhouse covers”, *Plasticulture* 94 (1), 33-44
- ❖ **Jaffrin A., Urban L., 1990**, “Optimization of light transmission in modern greenhouses”, *Acta Horticulturae* 281, 25-33
- ❖ **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
- ❖ **Kieboom A. Van den., 1981**, “Light transmittance of ‘alternative’ greenhouse”, *Acta Horticulturae* 115, 105-112

- ❖ **Kittas C. and Baille A., 1998**, “Determination of spectral properties of several greenhouse cover materials and evaluation of specific parameters related to plant response”, *J.agric. Eng. Res.* 71: 193-202
- ❖ **Kittas C., Papaioannou Ch., Obeid D., Katsoulas N. and Tchamitchian M., 2004**, “Effect of two new UV-absorbing greenhouse covering-films on growing field of a tomato soilless crop”, *International Symposium of the CIGR 2<sup>nd</sup> Technical Section, New Trends in Farm Buildings*, 2-6 May 2004, Evora, Portugal
- ❖ **Kittas C., Tchamitchian M., Katsoulas N. , Karaskou P. and Papaioannou Ch., 2006**, “Effect of two new UV-absorbing greenhouse covering-films on growth and yield of an eggplant soilless crop” , *Scientia Horticulture* 110 (2006), 30-37
- ❖ **Kovacs E. and A.Keresztes,2002**, “Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells”, *Micron*, 33:190-210
- ❖ **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
- ❖ **Lawlor D.W., 1995**, “Photosynthesis, productivity and environment”, *Journal of experimental botany* 46, 1449-1461
- ❖ **Magnani G. , 1987**, “Performance of different plastic films in double-clad greenhouse and plants growth”, *Plasticulture* 90: 33-44
- ❖ **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
- ❖ **Morris L., 2004**, “Ultraviolet blocking greenhouse polyethylene covers for insect pests control on organic crops”, May 2003-September 2004  
(<http://orgprints.org/10859/1/UVBlockingpolytunnels.pdf>)
- ❖ **Nedunchezian N. and G.Kulandaivelu, 1997**, “Changes induced by ultraviolet-B (280-320nm) radiation to vegetative growth and photosynthetic characteristics in field growth *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., Feuilleley 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 Hao X., 1997**, “Effects of greenhouse materials on tomato growth, productivity and energy use”, Science Horticulturae 70, 165-178
- ❖ **Rapisarda C., Tropea Garzia G., Cascone G., Mazzarella R., Colombo A., and Serges T., 2006**, “UV-absorbing plastic films for the control of Bemisia tabaci (Gennadius) and Tomata Yellow Leaf Curl Disease (TYLCD) on protected cultivations in Sicily (South Italy)”
- ❖ **Raviv M. and Antignus Y., 2004**, “UV radiation effects on pathogens and insect pests of greenhouse-grown crops”, Photochemistry and Photobiology, March 2004
- ❖ **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
- ❖ **Steinbuch F., Vooren V., 1984**, “Production and quality of cut flowers and pot plants in greenhouses covered with energy saving double layer materials”, Acta Horticulturae 148, 555-559
- ❖ **Stratmann J., 2003**, “Ultraviolet-B radiation co-opts defense signaling pathways”, Trends in Plant Science, Vol 8, No 11: 526-533
- ❖ **Yuan L., Yanqun Z., Haiyana C., Jianjuna C., Jilonga Y., Zhinde 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
- ❖ **Winden C.M.M. Van, Uffelen J.A.M. Van, 1984**, “Comparison of the effect of single and double glass greenhouses on environmental factors and production of vegetables”, Acta Horticulturae 148, 567-574
- ❖ **Winic D., 2000**, “Impact of light wavelength on photosynthetic rate in *Arabidopsis thaliana*”
- ❖ **Zhang Y., Gauthier L., de Hallux D., Dansereau B., Gosselin A., 1996**, “Effect of covering materials on greenhouse microclimate”, Agricultural and Forest Meteorology 82, 227-244