

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Αριθμ. Πρωτοκ. 393  
Ημερομηνία 5-7-12

# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## Πτυχιακή διατριβή

**Θέμα:** «Επίδραση ενός ανακλαστικού της θερμικής ακτινοβολίας  
υλικού κάλυψης θερμοκηπίων στην ανάπτυξη και παραγωγή  
καλλιέργειας τομάτας»

**Όνοματεπώνυμο:** Κανάρη Αντωνία

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Κατσούλας Νικόλας

**Βόλος 2012**



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

Αριθ. Εισ.: 10931/1  
Ημερ. Εισ.: 06-09-2012  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ  
2012  
KAN

Τριμελής επιτροπή:

Ν. Κατσούλας, (επιβλέπων), Επίκουρος Καθηγητής του ΠΘ,

Σ. Φουντάς (μέλος), Επίκουρος Καθηγητής του ΠΘ,

Θ. Μπαρτζάνας (μέλος), Ερευνητής του ΚΕΤΕΑΘ

### Ευχαριστίες:

Για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής διατριβής θεωρώ πως πρέπει να ευχαριστήσω πρώτα από όλους τον επιβλέπον καθηγητή μου κύριο Νικόλαο Κατσούλα, επίκουρο καθηγητή στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, για την τεράστια βοήθεια και καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της εργασίας και γενικότερα καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κυρίους Φουντά Σπυρίδων και Μπαρτζάνα Θωμά για την συμμετοχή τους στην τριμελής επιτροπή.

Δεν μπορώ να παραλείψω να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή και καλό φίλο κύριο Αναγνωστόπουλο Δημήτρη για την βοήθεια του κατά το πρακτικό μέρος της πτυχιακής και την επεξεργασία των δεδομένων μας, καθώς επίσης και την πολύ καλή φίλη και εξαίρετη Γεωπόνο Δερμάτη Κανέλλη της οποίας η βοήθεια ήταν σημαντική σε όλη την πορεία των φοιτητικών μου χρόνων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω φυσικά τους γονείς μου και τους φίλους μου για την στήριξη και την κατανόηση τους.

*Στην Έλενα και Μαρία*

## Περιεχόμενα:

Κεφάλαιο 1.....σελ. 8	
1.1. Γενικά.....σελ. 8	
1.1.1. Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα.....σελ. 8	
1.1.2. Προβλήματα του κλάδου των θερμοκηπίων στην Ελλάδα.....σελ. 8	
1.2. Σημασία και μέθοδοι ρύθμισης της διαπνοής στο θερμοκήπιο.....σελ.11	
1.3. Νέες τάσεις στα υλικά κάλυψης.....σελ. 13	
1.3.1. Θερμικό υλικό κάλυψης.....σελ. 15	
1.3.2. Αντί – σταγονικό υλικό κάλυψης (anti – drip).....σελ. 16	
1.3.3. Αντί – ομιχλητικό υλικό κάλυψης (anti – mist).....σελ. 17	
1.3.4. Υλικό κάλυψης για δροσισμό.....σελ. 17	
1.3.5. Ειδικά Ασημί φύλλα.....σελ. 18	
1.3.6. Υλικό κάλυψης ελέγχου των ασθενειών.....σελ.19	
1.3.7. Ειδικά φύλλα με φυσαλίδες.....σελ. 20	
1.3.8. Κόκκινα φύλλα.....σελ. 20	
1.3.9. Μπλε φύλλα νανισμού.....σελ. 21	
1.3.10. Υλικό κάλυψης “UV – OPEN”.....σελ. 21	
1.3.11. Υλικό κάλυψης παρεμπόδισης συγκεκριμένου μήκους κύματος ακτινοβολία.....σελ. 21	
1.4. Σκοπός και Δομή εργασίας.....σελ. 22	
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....σελ.23	
2.1. Περιορίζοντας την NIR.....σελ. 24	
2.2. Εσωτερικά καλύμματα.....σελ. 25	
2.3. Εξωτερικά καλύμματα.....σελ. 25	
2.4. Εξωτερικά καλύμματα.....σελ. 26	
2.5. Επίδραση της NIR ακτινοβολίας στο μικροκλίμα.....σελ. 29	
2.5.1. Επίδραση της NIR ακτινοβολίας στα φυτά .....σελ. 30	
2.5.2. Επίδραση της NIR στην απόδοση.....σελ. 31	
2.6. NIR ακτινοβολία και ηλιακή ακτινοβολία.....σελ. 31	
2.7. Άλλα υλικά κάλυψης και επιδράσεις.....σελ.32	

Κεφάλαιο 3.....σελ.	33
3.1. Εισαγωγή.....σελ.	33
3.2. Το υλικό κάλυψης.....σελ.	33
3.3. Τα ο θερμοκήπιο.....σελ.	34
3.4. Τα πειραματικά φυτά.....σελ.	35
3.5. Ψύξη του θερμοκηπίου.....σελ.	36
3.6. Εγκαταστάσεις της καλλιέργειας.....σελ.	36
3.7. Καλλιεργητικές τεχνικές.....σελ.	36
3.7.1. Υποστήλωση.....σελ.	37
3.7.2. Γονιμοποίηση.....σελ.	37
3.7.3. Κλάδεμα.....σελ.	37
3.8. Περιγραφή μετρήσεων.....σελ.	39
3.9. Άρδευση – λίπανση.....σελ.	40
3.10. Θέρμανση.....σελ.	41
3.11. Οπτικές ιδιότητες των θερμικών φύλλων.....σελ.	41
3.12. Κλιματικές μζηρήσεις.....σελ.	41
3.12.1. Μικρού μήκους ακτινοβολία.....σελ.	41
3.12.2. Η θέρμανση και η υγρασία.....σελ.	41
3.12.3. Κατανάλωση ενέργειας.....σελ.	42
3.12.4. Καταγραφή μετρήσεων.....σελ.	42
Κεφάλαιο 4: Αγρονομικές Μετρήσεις.....σελ.	43
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα.....σελ.	52
Βιβλιογραφία.....σελ.	53

### **Περίληψη:**

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα κλιματισμού των θερμοκηπίων είναι η ψύξη τους καλοκαιρινούς μήνες. Προς την κατεύθυνση αυτή τα Πλαστικά Κρήτης Α.Β.Ε.Ε δημιούργησαν ένα καινούργιο υλικό κάλυψης με ανακλαστικές ικανότητες. Ποιο συγκεκριμένα η εταιρεία αυτή δημιούργησε το super thermic + NIR υλικό κάλυψης που παρουσιάζει μικρότερη περατότητα στη θερμική ακτινοβολία και υψηλότερη ανάκλαση της ακτινοβολίας στο κοντινό υπέρυθρο. Σκοπός της διατριβής είναι να μελετηθούν οι επιδράσεις του super thermic + NIR υλικού στο μικροκλίμα και την παραγωγή τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς και η ανάκλαση του ιδιαίτερα συγκριτικά με το πολυαιθυλένιο υλικό κάλυψης.



# **Κεφάλαιο 1. Γενική Εισαγωγή**

## **1.1.Γενικά**

### **1.1.1. Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα**

Η ιστορία των θερμοκηπίων δεν είναι υπόθεση των τελευταίων χρόνων. Το πρώτο θερμοκήπιο στην Ευρώπη έκανε την εμφάνιση του το 1680 στην Βοημία. Στο θερμοκήπιο αυτό παράχθηκαν οι πρώτες ορχιδέες στην Ευρώπη. Αργότερα, περίπου το 1750, ο πρίγκιπας του Λιχτενστάιν έφτιαξε το πρώτο μεγάλο και θερμαινόμενο θερμοκήπιο στην Ευρώπη στην πόλη Λέντνιτσε (Lednice) στη νότια Τσεχία.

Στο χώρο των θερμοκηπίων ευδοκιμούν φυτά κατά την διάρκεια του χειμώνα των οποίων η ανάπτυξη υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες θα ήταν αδύνατη. Η σημαντική ανάπτυξη των τεχνικών καλλιέργειας στα θερμοκήπια οδήγησε στη συνεχή παραγωγή προϊόντων στην χώρα μας. Η καθιέρωση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών οδήγησε στην παραγωγή προϊόντων που καλύπτει τις ανάγκες της Ελληνικής αγοράς, ενώ ένα μεγάλο μέρος προορίζεται για εξαγωγές. Στα θερμοκήπια καλλιεργούνται επίσης λουλούδια τα οποία απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες για την ανάπτυξη τους, οπότε ευδοκιμούν μόνο το καλοκαίρι πράγμα που καθιστά την ανάπτυξη τους αδύνατη υπό διαφορετικές συνθήκες. Τέτοια λουλούδια είναι για παράδειγμα οι ορχιδέες που απαιτούν θερμοκρασία πάνω από 28 C και μεγάλη υγρασία, πράγμα που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί έξω από τα θερμοκήπια.

Τα τελευταία χρόνια σε πολλές περιοχές του κόσμου άρχισε να εφαρμόζεται εκτεταμένα η υδροπονική καλλιέργεια ή ανέδαφος καλλιέργεια φυτών. Στην υδροπονική καλλιέργεια εκτός από τη ρύθμιση του περιβάλλοντος της κόμης, γίνεται ρύθμιση και του περιβάλλοντος της ρίζας. Η υδροπονία ουσιαστικά είναι μια μέθοδος ανάπτυξης φυτών σε νερό κι όχι σε χώμα.

Κάποιοι από τους λόγους που η υδροπονία έχει υιοθετηθεί στον κόσμο για την παραγωγή προϊόντων είναι οι εξής:

- Εντυπωσιακά μεγαλύτερη παραγωγικότητα σε σχέση με το έδαφος

- Εξαιρετική ποιότητα
- Περιβαλλοντικά φιλική καλλιέργεια
- Μικρότερο κόστος ανά κιλό προϊόντος

Πλεονεκτήματα της υδροπονίας είναι επίσης:

- Ιδανική αναλογία θρεπτικών στοιχείων η οποία αναπροσαρμόζεται στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών

- Ιδανική θρέψη των φυτών με αποτέλεσμα πολύ υψηλή παραγωγικότητα και εξαιρετική ποιότητα

- Απομόνωση από επικίνδυνα παθογόνα του εδάφους με τη χρήση πλαστικών φύλλων.

- Χωρίς βλαβερές και πολυέξοδες χημικές επεμβάσεις. Η καλλιέργεια των φυτών σε σάκους απαλλάσσει από τις εργασίες προετοιμασίας του εδάφους όταν το νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, η υδροπονία είναι ίσως ο μόνος τρόπος επιτυχημένης αντιμετώπισης του προβλήματος.

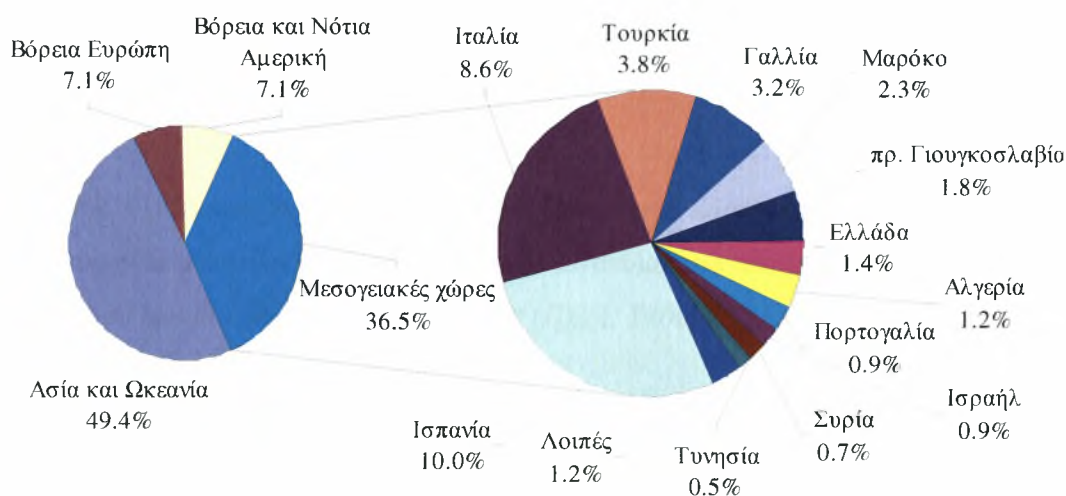
- Η απάντηση στα μεγάλα προβλήματα της σύγχρονης γεωργίας με την έλλειψη νερού είναι βέβαια τα κλειστά υδροπονικά συστήματα. Με την άρδην επερχόμενη περιβαλλοντική κρίση, ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού και πλέον επιβλαβής για το υδατικό σύστημα του πλανήτη, η γεωργία, πρέπει να μεταλλαχθεί. Η υδροπονία με την ανακύκλωση και άρτια αξιοποίηση του διαθέσιμου υδατικού ισοζυγίου που μπορεί να επιτύχει, αποτελεί μάλλον την απάντηση στο διατροφικό πρόβλημα του πλανήτη.

- Το κόστος θέρμανσης είναι μειωμένο. Η εξάτμιση νερού συνοδεύεται πάντοτε από κατανάλωση ενέργειας. Στην υδροπονία η εξάτμιση νερού από την επιφάνεια του εδάφους είναι αμελητέα, διότι είναι απομονωμένο και οι ανάγκες για θέρμανση του αέρα μειώνονται

- Καλύτερο φυσικοχημικό περιβάλλον για το ριζικό σύστημα των φυτών. Η καλλιέργεια σε υποστρώματα παρέχει πλεονεκτήματα όπως καλύτερη θερμοκρασία και αερισμός για το ριζικό περιβάλλον.

Οι απαιτήσεις για παραγωγή φρέσκων λαχανικών και ανθέων κατά τη διάρκεια όλου του έτους έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ενδιαφέροντος για καλλιέργειες υπό κάλυψη. Τα θερμοκήπια, τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα καλλιέργειας υπό κάλυψη, έχουν αναπτυχθεί και βελτιωθεί σημαντικά εδώ και αρκετό καιρό. Ειδικά τα τελευταία

χρόνια, οι προσπάθειες για περαιτέρω βελτίωση οδήγησαν στην εισαγωγή νέων υλικών κάλυψης, νέων μεθόδων κλιματισμού καθώς επίσης και στη χρήση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών στο χώρο των θερμοκηπίων. Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν η κατασκευή θερμοκηπίων με χαρακτηριστικά που μπορούν να ανταποκριθούν στις ιδιαίτερες απαιτήσεις της κάθε περιοχής και καλλιέργειας. Σε μερικές χώρες, όπως η Ολλανδία και η Ιαπωνία, η παραγωγή θερμοκηπιακών ειδών παίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομία της χώρας ενώ σε άλλες χώρες, όπως η Ελλάδα, η παραγωγή θερμοκηπιακών ειδών αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς. Η καλυμμένη έκταση με θερμοκήπια σε παγκόσμια κλίμακα ανέρχεται στα 2 800 000 στρέμματα (εκτός της Κίνας η οποία έχει περίπου 6 000 000 στρέμματα καλυμμένα με απλές κατασκευές και για τα οποία δεν υπάρχουν επαρκή στατιστικά στοιχεία) εκ των οποίων το 50% περίπου βρίσκεται στην Ασία (Σχήμα 1). Οι Μεσογειακές χώρες κατέχουν το 36.5% της παγκόσμιας καλυμμένης έκτασης.

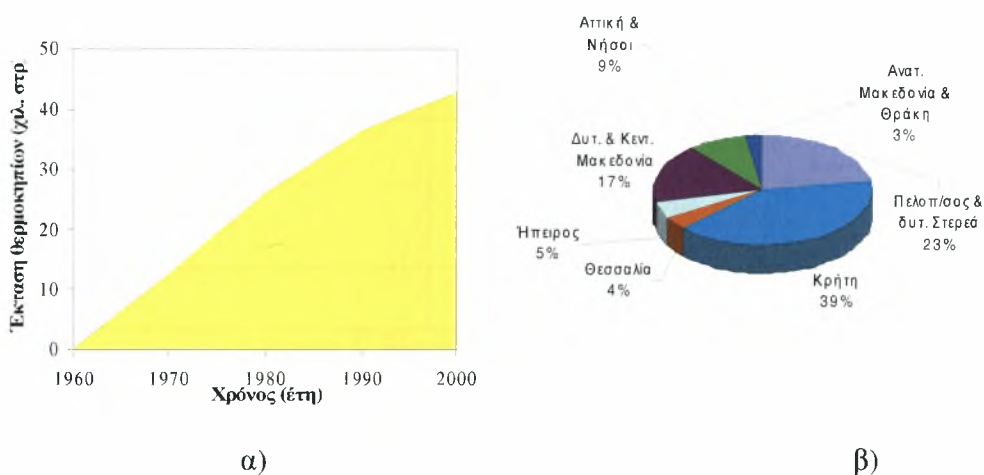


**Σχήμα 1.:** Καλυμμένη έκταση με θερμοκήπια σε παγκόσμια κλίμακα (Συνολική έκταση 2 800 000 στρέμματα εκτός της Κίνας, Πηγή: ICAP).

Στην Ελλάδα, η οποία καλύπτει το 1.4% της παγκόσμιας έκτασης σε θερμοκήπια, η αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακή την εικοσαετία 1960-1980 (Σχήμα 1.2.α). Κατά τη δεκαετία του '80 η αύξηση συνεχίστηκε αλλά με

χαμηλότερους ρυθμούς, ενώ κατά την τελευταία δεκαετία οι ρυθμοί ήταν ακόμη χαμηλότεροι. Εν τούτοις, σε απόλυτα μεγέθη, οι θερμοκηπιακές εκτάσεις στην Ελλάδα δεν έχουν γνωρίσει την ανάπτυξη εκείνη που θα δικαιολογούσαν οι ευνοϊκοί παράγοντες που επικρατούν στη χώρα μας για τις καλλιέργειες αυτές. Κατά συνέπεια, η χώρα μας υστερεί σημαντικά στον τομέα αυτό έναντι άλλων χωρών με παρόμοιες κλιματολογικές συνθήκες, όπως είναι η Ισπανία και η Ιταλία.

Στην Ελλάδα, η Κρήτη κατέχει το μεγαλύτερο τμήμα της καλυμμένης έκτασης σε θερμοκήπια με ποσοστό περίπου 39% (Σχήμα 1.2.β.)



**Σχήμα 1.2.** (α) Έκταση θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα από το 1960 έως το 2000 (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας). (β) Γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα σε ποσοστό της συνολικής έκτασης (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).

### 1.1.2. Προβλήματα του κλάδου των θερμοκηπίων στην Ελλάδα

Η Ελλάδα ως Μεσογειακή χώρα ενδείκνυται για την παραγωγή φυτών με το ελάχιστο απαιτούμενο κόστος κατασκευής θερμοκηπίων. Το «άριστο» κλίμα που επικρατεί στην χώρα, δίνει την δυνατότητα παραγωγής φυτών που αναπτύσσονται σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις που απαιτούν χαμηλότερο κεφάλαιο κατασκευής σε σχέση με τις αναπτυγμένες χώρες του βορρά. Επιπλέον, απαιτείται ελάχιστη κατανάλωση καυσίμων, με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος.

Παρά τα σημαντικά οφέλη που προσφέρει το κλίμα στην Ελλάδα στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, οι απασχολούμενοι στο χώρο έρχονται αντιμέτωποι με κάποια σημαντικά

προβλήματα. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά τα προβλήματα του κλάδου των θερμοκηπίων στην Ελλάδα με βάση το πίνακα 1.

	<b>Ελλάδα</b>	<b>Τουρκία</b>
Υπόστρωμα, φυτικό υλ. & άλλα	3%	18.2%
<b>Καύσιμα</b>	<b>52%</b>	<b>32.2%</b>
Φυτοφάρμακα	3.1%	7.8%
<b>Λιπάσματα</b>	<b>15%</b>	<b>22.7%</b>
Νερό	1%	0.4%
Ηλεκτρική Ενέργεια	5.2%	7.4%
Εργατικά	25%	15.9%

*Πίνακας 1. Εισροές ενέργειας (www.statistics.gr)*

Η θέρμανση είναι μια σημαντική ανησυχία για τους παραγωγούς θερμοκηπίων. Αυτό οφείλεται πρωτίστως στις δαπάνες που περιλαμβάνονται στην αγορά και τη λειτουργία του εξοπλισμού θέρμανσης καθώς επίσης και τα ενδεχομένως καταστρεπτικά αποτελέσματα ενός κακοσχεδιασμένου συστήματος. Αν και η ηλιακή ενέργεια αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό παράγοντα στη θέρμανση ενός θερμοκηπίου, τα συμπληρωματικά συστήματα θέρμανσης αποτελούν αναγκαστικό παράγοντα για μια ολοκληρωμένη ετήσια παραγωγική απόδοση.

Ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο είναι οι πιο κοινές μορφές ενέργειας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου, η επιλογή των οποίων βασίζεται κατά κανόνα στην οικονομία που αποφέρει ανά στρέμμα. Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα οι ανάγκες εισροής καυσίμων κατά τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου φθάνουν το 53% στον Ελληνικό χώρο.

Σημαντικό πρόβλημα σε μια θερμοκηπιακή καλλιέργεια αποτελεί και η ανάγκη εισροής μεγάλων ποσοτήτων φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Για την ποιοτική αλλά και γρήγορη παραγωγή απαιτείται η χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων τόσο για την προστασία

των φυτών από τυχόν προσβολή τους από ασθένειες, όσο και για την επιτάχυνση της ανάπτυξης τους,

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που παρατηρούνται στο χώρο ενός θερμοκηπίου είναι ο αερισμός. Γενικά, ο αερισμός στα θερμοκήπια μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους:

1. την ανάδευση του εσωτερικού αέρα ενός θερμοκηπίου
2. τον εξαερισμό, δηλαδή την ανταλλαγή του θερμού αέρα του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό.

Με την ανάδευση του εσωτερικού αέρα σκοπός είναι η δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών περιβάλλοντος στο χώρο του θερμοκηπίου. Ενώ με την ανταλλαγή του θερμού αέρα με τον εξωτερικό επιδιώκεται η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας σε επιτρεπόμενα όρια για την εποχή ή την καλλιέργεια με την εμπόδιση της αύξησης της. Με τον εξαερισμό επίσης, παρατηρείται η διόρθωση της αναλογίας των διαφόρων συστατικών του αέρα, όπως η συγκέντρωση υδρατμών, του υδροξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων.

Στην Ελλάδα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών από νωρίς την άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο η απαιτήσεις αερισμού είναι πολύ μεγάλες και σημαντικές για την μέγιστη απόδοση της καλλιέργειας. Ο αερισμός του θερμοκηπίου μπορεί να είναι φυσικός ή δυναμικός. Επιπλέον σημαντικές μέθοδοι δροσισμού είναι η υγρή παρειά, η υδρονέφωση και η σκίαση.

## **1.2. Νέες τάσεις στα υλικά κάλυψης**

Η διάρκεια ζωής ενός υλικού κάλυψης εξαρτάται από την ποιότητα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υλικού (σταθεροποίηση, πάχος υλικού) και από εξωτερικούς παράγοντες, την περιοχή, τον τύπο του θερμοκηπίου, την εγκατάσταση και τη χρήση των αγροχημικών. Το διπλό κάλυμμα πολυαιθυλένιο αυξάνει την ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία κατά 2 – 3 C, σε σχέση με το μονό κάλυμμα. Σε ένα θερμαινόμενο θερμοκήπιο αυξάνει η θερμομόνωση και εξοικονομείται θερμότητα της τάξεως του 30 – 40 %. Τέλος μειώνεται το πρόβλημα της έντονης συμπύκνωσης των υδρατμών, με την παρεμβολή του στρώματος του αέρος ανάμεσα στο εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου και στο περιβάλλον. Το φιλμ πολυαιθυλενίου είναι θερμικό μακράς διάρκειας,

κατασκευασμένο με την μέθοδο των τριών στρώσεων, όπου επιτυγχάνεται καλύτερη θερμομόνωση και καλύτερη διάχυση του φωτός (Internet 1).

Η τεχνολογία των τριών στρώσεων επιτρέπει την παραγωγή εξαιρετικά περίτεχνων συνδυασμών. Το φύλλο μπορεί να έχει την ακόλουθη δομή. (Κυρκιλής 2009):

- Τρία διαφορετικά πολυμερή
- Τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς σταθεροποίησης
- Παράγοντες IR (θερμομόνωση)
- Παράγοντες για διάχυση φωτός
- Παράγοντες για μη δημιουργία σταγόνων και αποφυγή ομίχλης

Μια νέα γενιά πολύ σκληρών υλικών κάλυψης (super – tough films) έχει εισαχθεί χρησιμοποιώντας τα τελευταία χρόνια ειδικά υψηλής αντοχής πολυμερή σώματα. Αυτές οι ταινίες προσφέρουν επιπρόσθετη ασφάλεια σε περιοχές με πολύ ισχυρούς ανέμους. Το φως από τον ήλιο που περνά μέσω ενός υλικού κάλυψης στο θερμοκήπιο είναι χωρισμένο σε άμεσο και διασκορπισμένο. Η PAR (φωτοσυνθετική ενεργός ακτινοβολία) που παραλαμβάνεται από τα φυτά είναι η ίδια. Τώρα γενικά γίνεται αποδεκτό ότι το διασκορπισμένο φως έχει μια θετική επίδραση στην αύξηση των φυτών, ειδικά για τις ανοιξιάτικες και καλοκαιρινές καλλιέργειες και στις περιοχές με ισχυρό ηλιακό φως.

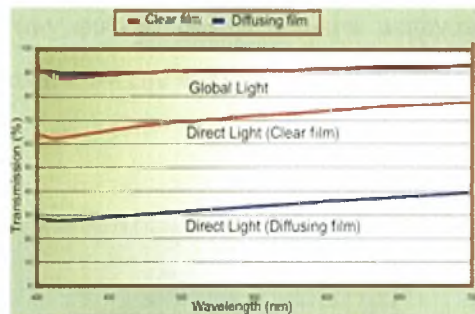


Εικόνα 1: Σχηματική παράσταση της πορείας της ακτινοβολίας, σε θερμοκήπιο με ή χωρίς υλικό κάλυψη που διαχερεί την ακτινοβολία

Η ελαφρά διάχυση μειώνει τη σκιά, εξασφαλίζει πιο ομοιόμορφη διανομή του φωτός στο θερμοκήπιο έτσι ώστε φθάνει ακόμη και στα χαμηλότερα μέρη των φυτών, αποτρέπει τα καψίματα και προσφέρει έναν μέτριο δροσισμό. Η επιλογή του υλικού με το πιο

κατάλληλο επίπεδο διάχυσης εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής, τη καλλιέργεια και την εποχή. Έχουν δημιουργηθεί τα ακόλουθα υλικά:

- Crystal clear υλικά κάλυψης με την πού χαμηλή διάχυση (μέγιστο άμεσο φως)
- Υλικά κάλυψης με μέση διάχυση
- Υλικά κάλυψης με πολύ υψηλή διάχυση
- 

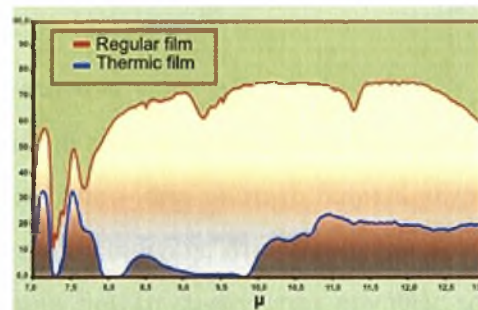


### 1.2.1. Θερμικό υλικό κάλυψης

Έχουν δημιουργηθεί θερμικά φύλλα πολυαιθυλενίου, που περιέχουν έναν συνδυασμό EVA και υπέρυθρων πρόσθετων ουσιών που διαμορφώνονται σε 3 στρώματα, τα οποία απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία και μειώνουν τις απώλειες θερμότητας καθ' όλη τη διάρκεια της νύκτας (Internet 6).

Τα πλεονεκτήματα των θερμικών ταινιών είναι:

- Προστασία από τον παγετό και τη χαμηλή θερμοκρασία
- Ομαλότερη πτώση της θερμοκρασίας και υψηλότερες θερμοκρασίες νύχτα
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση
- Υψηλότερη παραγωγή
- Προώμιση της συγκομιδής





Εικόνα 2: Σχηματική παράσταση της πορείας της ακτινοβολίας, σε θερμοκήπιο με ή χωρίς υλικό κάλυψης που μειώνει τις απωλείες θερμότητας

### 1.2.2. Αντι – σταγονικό υλικό κάλυψης (*anti – drip*)

Τα σταγονίδια που διαμορφώνονται στην εσωτερική επιφάνεια των υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου λόγω της συμπύκνωσης των υδρατμών, έχουν αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα και την αύξηση των φυτών, δεδομένου ότι μειώνουν τη διαπερατότητα του φωτός κατά 15 – 30 % και αυξάνουν την πιθανότητα ορισμένων ασθενειών.



Εικόνα 3: Σχηματική παράσταση της πορείας της ακτινοβολίας, σε θερμοκήπιο με ή χωρίς αντι – σταγονικό υλικό κάλυψης.

Οι *anti – drip* ταινίες, όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλα, προσφέρουν τα ακόλουθα οφέλη (Κυρκιλής 2009) και (Internet 6).

- Περισσότερο φως στο θερμοκήπιο
- Υψηλότερη παραγωγή
- Πρωίμηση της συγκομιδής
- Καλύτερη ποιότητα της συγκομιδής, υψηλότερη εμπορική αξία
- Λιγότερες ασθένειες
- Μειωμένη ανάγκη για φυτοφάρμακα
- Αποφυγή εγκαυμάτων που προξενούν από τη σταγόνα

Τα *anti – drip* υλικά κάλυψης συστήνονται κυρίως για τα αεριζόμενα ή/και θερμάμενα θερμοκήπια, με επαρκή κλίση της στέγης. Η επίδραση *Anti – drip* ιδιότητα διαρκεί μέχρι και 2 έτη. Υπό ορισμένες συνθήκες υπάρχει σχηματισμός ομίχλης στα θερμοκήπια που καλύπτονται με τα *Anti – drip* υλικά κάλυψης. Τέτοια ομίχλη εμφανίζεται συνήθως το

ηλιοβασίλεμα και την αυγή και είναι ανεπιθύμητη, δεδομένου ότι μπορεί να προκαλέσει ζημιές στα φυτά. Είναι απαραίτητος ο αερισμός ή η θέρμανση αμέσως μόλις εμφανιστεί ομίχλη για να την αφαιρέσει. Οι Katsoulas, N. et al (2007) σε πείραμα που πραγματοποιήθηκαν διαπίστωσαν ότι τα επίπεδα σχετικής υγρασίας ήταν πολύ πιο υψηλά σε θερμοκήπιο καλυμμένο με anti – drip, καθώς και οι τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ήταν ελαφρώς υψηλότερες, εν συγκρίσει με θερμοκήπιο που ήταν καλυμμένο με anti – drip + anti – fog + PE υλικό κάλυψης. Η ανάπτυξη και η παραγωγή όμως της καλλιέργειας ήταν παρόμοιες.

### **1.2.3. Αντι-ομιχλικό υλικό κάλυψης (anti – mist)**

Η υγρασία που συγκρατείται στην οροφή υπό τη μορφή σταγόνων, στα AD (anti – drip) φύλλα, διαχέεται στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου, και εκδηλώνεται ως ομίχλη, όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από το “σημείο δρόσου”. Το φαινόμενο παρατηρείται συνήθως αργά το απόγευμα ή/και λίγο πριν ή μετά την ανατολή του ήλιου. (Κυκρίλης 2009) και (Internet 6).

Με ειδικά πρόσθετα που έχουν σαν βάση το φθόριο, μπορούμε να αποτρέψουμε το σχηματισμό ομίχλης. Το νέο αυτό υλικό ονομάζεται anti – mist.



Εικόνα 4: Σχηματική παράσταση της πορείας της ακτινοβολίας, σε θερμοκήπιο με ή χωρίς αντι – ομιχλικό κάλυψης.

### **1.2.4. Υλικό κάλυψης για δροσισμό (Cooling)**

Η χρονική επέκταση των καλλιεργειών μέσα στον ετήσιο κύκλο, δημιουργεί την ανάγκη για φιλικότερο περιβάλλον στις καλλιέργειες, κατά τη θερμή περίοδο.

*Επομένως στόχος είναι*

- Δημιουργία περιβάλλοντος με τη μικρότερη δυνατή διακύμανση θερμοκρασιών ημέρας / νύχτας
- Μείωση της εξατμισοδιαπνοής των φυτών
- Μείωση της σχετικής υγρασίας, μειώνοντας τις πιθανότητες ανάπτυξης μυκητολογικών ασθενειών



Εικόνα 5: Σχηματική παράσταση της πορείας της ακτινοβολίας σε θερμοκήπιο με ή χωρίς υλικό κάλυψης που απορροφά την κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία (NIR)

Δημιουργήθηκε ένας ειδικός τύπος υλικών κάλυψης, ο οποίος απορροφά την κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία (NIR), που είναι το μέρος του ηλιακού φάσματος που φέρνει το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που εισάγεται σε ένα θερμοκήπιο την ημέρα και που είναι άχρηστο για την αύξηση των φυτών, μειώνοντας κατά συνέπεια τη θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχει καταδειχθεί ότι όσο υψηλότερη είναι η εξωτερική θερμοκρασία, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται μέσα στο θερμοκήπιο με τη χρήση του νέου υλικού. (Κυρκιλής 2009) και (Internet 6).

#### **1.2.5. Ειδικά Ασημί φύλλα (cooling films)**

Φύλλα που περιέχουν ειδικό πρόσθετο με βάση το A1 (Πατέντα πλαστικών Κρήτης), που απομακρύνει την NIR ακτινοβολία. Σαν αποτέλεσμα, παρέχουν δροσισμό το καλοκαίρι (5-7 C) και πρόσθετη θερμομόνωση το χειμώνα, διότι εκτός του EVA και του IR παραγόντων, το ειδικό πρόσθετο προσδίδει επίσης θερμομονωτική ιδιότητα. Παρέχουν γλυκύτερο φωτισμό στο θερμοκήπιο, πιο ομοιόμορφη ανάπτυξη φυτών, καλύτερη παραγωγή, πιο ευχάριστο περιβάλλον εργασίας. Υπάρχουν ενδείξεις ότι πιθανόν να

αποφεύγεται το στοκάρισμα σε σχέση με τα φύλλα με φυσαλίδες, λόγω ομοιογένειας του πλαστικού (Internet 3).

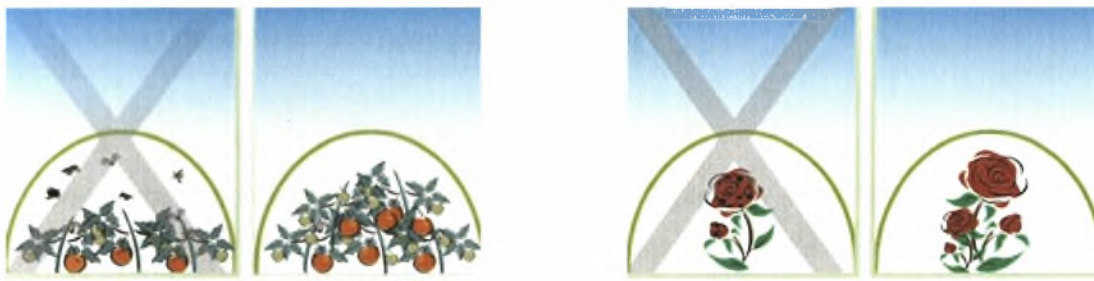
*Οι τύποι των cooling υλικών κάλυψης περιλαμβάνει:*

- Υλικό κάλυψης υψηλής διάχυσης
- Υλικό κάλυψης διπλής – επίδρασης, “ασημένιο” υλικό κάλυψης (που δροσίζει κατά τη διάρκεια της ημέρας και το κάνει πιο θερμό κατά τη διάρκεια της νύχτας).
- Υλικό κάλυψης “εκλεκτικής παρέμβασης”

Μετά από τις κρύες χειμερινές νύχτες, η άνοδος θερμοκρασίας στο πρωί μπορεί να είναι λίγο πιο αργή κάτω από τα cooling υλικά κάλυψης απ' ό,τι κάτω από τις συμβατικές ταινίες PE.

#### **1.2.6. Υλικό κάλυψης ελέγχου των ασθενειών (UV – BLOCKING)**

Μια νέα σειρά των ειδικών κάλυψης ελέγχου των ασθενειών, οι οποίες συμβάλλουν αποτελεσματικά στη ολοκληρωμένη διαχείριση των παρασίτων και βοηθούν στη μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων.



Εικόνα 6: Σχηματική παράσταση της πορείας της ακτινοβολίας, σε θερμοκήπιο με ή χωρίς υλικό κάλυψης ελέγχου των ασθενειών

Ένας σημαντικός τύπος ειδικών υλικών κάλυψης ελέγχου των ασθενειών και εντόμων είναι “UV – BLOCKING” ταινίες, οι οποίες απορροφούν την UV ακτινοβολία μέχρι 390 nm, επιτυγχάνοντας κατά συνέπεια (Κυρκιλής 2009) και (Internet 6):

- Μείωση του πληθυσμού των αλευροειδών, των θριπών, των αφίδων και άλλων εντόμων στα θερμοκήπια, με αυτόν το τρόπο μειώνονται επίσης οι ιοί που μεταφέρονται από αυτά τα έντομα.
- Έλεγχος της εξάπλωσης ορισμένων ασθενειών (όπως βοτρυτής), με τη μείωση των σποριών των σχετικών παθογόνων μυκήτων.
- Μείωση “της ανθράκωσης” των κόκκινων ροδαλών πετάλων, με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η εμπορική αξία τους.

### ***1.2.7. Ειδικά φύλλα με φυσαλίδες (bubbles)***

Οι φυσαλίδες CO<sub>2</sub> λειτουργούν σαν θερμικό εμπόδιο, με δυο τρόπους: Αφ' ενός εμποδίζουν τη διαφυγή της απώ υπέρυθρης ακτινοβολίας (7 – 13 μ) που ακτινοβολεί το “μαύρο σώμα” κατά τη διάρκεια της νύχτας, αφ' ετέρου εμποδίζουν την είσοδο της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (700 – 250 nm) που φθάνει στη γη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζει το εγκλωβισμένο CO<sub>2</sub> στην παρεμπόδιση της μεταφοράς θερμότητας, εξ αιτίας της αέριας φάσης του (Internet 3).

- Οι ιδιότητες του φύλλου P. A. R. (400 – 700): 88 – 90%
- F. I. R. (7 – 13 μ): 90%
- Μείωση θερμοκρασίας περιβάλλοντος 5 – 10 C
- Μείωση αρδευτικών αναγκών κατά 20 – 30 %

### ***1.2.8. Κόκκινα φύλλα (LUMINESCENE)***

Πλαστικά φύλλα που περιέχουν ειδικές χρωστικές μπορούν να μετράψουν μέρος της απορροφούμενης UV ακτινοβολίας σε ερυθρά ακτινοβολία, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό της χρήσιμης ακτινοβολίας για τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Έχουν όμως πολύ υψηλό κόστος ( 2 – 3 φορές περισσότερο από τα συμβατικά φύλλα). Οι επιδράσεις είναι οι ακόλουθες:

- Ο λόγος R/FR αυξάνεται σημαντικά
- Συνιστώνται κυρίως για δρεπτά άνθη
- Αύξηση της παραγωγής

Οι κατασκευαστές τέτοιων PIGMENTS αναφέρουν ότι σε σχετικά πειράματα σε Ευρώπη, Αμερική, Αφρική, Ασία παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής κόκκινων τριαντάφυλλων 25 – 5 -% (Κυκριλής 2009)

#### ***1.2.9. Μπλε φύλλα νανισμού***

Τα μπλε φύλλα με υψηλό λόγο BLUE / RED και χαμηλό R / FR προκαλούν αύξηση του νωπού βάρους και της φυλλικής επιφάνειας στο αγγούρι (λιγότερο όμως στην τομάτα). Γενικά τα φυτά ανταποκρίνονται στην ένταση του μπλε φωτός. Μειώνοντας το μπλε, βοηθάμε την επιμήκυνση των φυτών. Επομένως η απόλυτη παρουσία του μπλε φωτός επηρεάζει το ύψος και την ποιότητα των φυτών (Internet 3).

#### ***1.2.10. Υλικά κάλυψης “UV – OPEN”***

Είναι υλικά κάλυψης που επιτρέπουν όλη τη UV – A & UV – B ακτινοβολία να εισέλθει στο θερμοκήπιο. Χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του χρωματισμού, τη ακλήρυνση και τη μικρότερη επιμήκυνση των στελεχών. Μερικές καλλιέργειες παράγουν το χαρακτηριστικό τους χρώμα, μόνο κάτω από “UV – OPEN” υλικά κάλυψης ( π.χ. Κόκκινη σαλάτα, μερικές ποικιλίες τριαντάφυλλων). Τα “UV – OPEN” φύλλα είναι απολύτως φιλικά στους βομβίνους, μειώνουν δραματικά τη χρήση αγροχημικών και τη δημιουργία μαύρων στιγμάτων στα κόκκινα τριαντάφυλλα (Κυκριλής 2009) και (Internet 6).

#### ***1.2.11. Υλικά κάλυψης παρεμπόδισης συγκεκριμένου μήκους ακτινοβολίας***

Ειδικές χρωστικές βασισμένες στη Mica (είδος πέρλας) μπορούν να προκαλέσουν αντανάκλαση του πράσινου και NIR φωτός, προσφέροντας έτσι αξιοσημείωτο δροσισμό και διάχυση του φωτός. Παρά το υψηλό κόστος (λόγω πατέντας) των χρωστικών αυτών ( Mica ), αυτή η κατηγορία υλικών κάλυψης μειώνει το στρες της καλλιέργειας από τις υψηλές θερμοκρασίες και ταυτόχρονα επιτρέπει την είσοδο περισσότερου μπλε και ερυθρού φωτός (Κυκριλής 2009).

Σύμφωνα με τους E. Espi et al (2006), τα antidrip, UV - blocking, NIR – blocking, fluorescent και ultrathermic υλικά κάλυψης, έχουν αυξημένη ζήτηση στην Κίνα και σιγά σιγά σε όλο τον κόσμο. Οι βασικές ιδιότητες για αυτές τις εφαρμογές είναι η διάρκεια και

οι οπτικές ιδιότητες αυτών (υπεριώδης ακτινοβολία, ορατή, κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία και μέση υπέρυθρη ακτινοβολία).

### *1.3. Σκοπός και Δομή εργασίας*

Με βάση τα όσα προηγήθηκαν γίνεται αντιληπτή η απαραίτητη αναβάθμιση καθώς και εξέλιξη στα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων με τη χρήση νέων τεχνολογιών, για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών μέσα σε αυτά, καθώς και για την ανάπτυξη της παραγωγής. Σκοπός του πειράματος αυτού είναι η μείωση των αναγκών ψύξης σε καλλιέργειες περιοχών με ψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού χρησιμοποιήθηκε κατά το πείραμα ένα νέο υλικό κάλυψης με υψηλή ανακλαστική ικανότητα της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIR) και χαμηλή περατότητα στη θερμική ακτινοβολία. Μελετήθηκε η επίδραση του καλύμματος αυτού στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου καθώς και στη παραγωγή τομάτας σε υδροπονική καλλιέργεια.

Στη συνέχεια της εργασίας αυτής γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση (Κεφάλαιο 2) που αφορά τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων, κυρίως όσο αφορά στις ιδιότητες τους που σχετίζονται με τη κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία (NIR). Αναφερόμαστε και αναλύουμε τις παραμέτρους του μικροκλίματος του θερμοκηπίου που επηρεάζουν την αύξηση και ανάπτυξη των καλλιεργειών. Επίσης, γίνεται εκτενής αναφορά στην επίδραση της ηλιακής και θερμικής ακτινοβολίας.

Στο Κεφάλαιο 3 (Υλικά και Μέθοδοι) παρουσιάζονται η μεθοδολογία η οποία επιλέχθηκε να χρησιμοποιήθηκαν για την πειραματική διερεύνηση του θέματος.

Τα αποτελέσματα της εργασίας παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4 ενώ στο Κεφάλαιο 5 (Συζήτηση) και Κεφάλαιο 6 ( Συμπεράσματα) αναλύονται και συζητούνται οι οπτικές ιδιότητες των υλικών κάλυψης, η ανάπτυξη της καλλιέργειας, η παραγωγή και η ποιότητα των προϊόντων.

## **Κεφάλαιο 2**

### **2.1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση:**

Σε θερμές περιοχές οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού περιορίζουν την παραγωγικότητα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Για την μείωση των ζημιών που προκαλούνται σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να μειωθεί το ποσοστό της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Η μείωση όμως της Φωτοσυνθετικά Ενεργής Ακτινοβολίας (PAR) χαμηλώνει τα επίπεδα της φωτοσύνθεσης καθώς επίσης και της ανάπτυξης της καλλιέργειας. Παρόλα αυτά, μόνο περίπου η μισή ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται στο PAR βεληνεκές των 400 – 700 nm, με την κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία ( NIR 700 – 2500 nm) να θεωρείται σχεδόν όλη η υπόλοιπη. Η απομάκρυνση της NIR ακτινοβολίας επομένως, θα μείωνε τον ενεργειακό φορτίο που εισέρχεται στο θερμοκήπιο στο 50% χωρίς να επηρεάζει τη φωτοσύνθεση της καλλιέργειας, κάτι που είναι μεγάλο όφελος για τους παραγωγούς των θερμών περιοχών.

Οποιοδήποτε υλικό κάλυψης δουλεύει είτε μέσω της απορρόφησης είτε μέσω της ανάκλασης. Προφανώς, η απορρόφηση θα θέρμαινε το υλικό και μεγάλο τμήμα της απορροφημένης ενέργειας θα κατέληγε στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου, ως θερμική ακτινοβολία. Η ανάκλαση θα ήταν πολύ πιο αποδοτική αλλά είναι πιο δύσκολο να επιτευχθεί η εξασφάλιση του επιθυμητού βεληνεκές ακτινοβολίας που τελικά θα κατέληγε στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Μαζί με την PAR ακτινοβολία, η UV και η NIR ακτινοβολία, διεισδύουν επίσης μέσα στο θερμοκήπιο. Τους μήνες με κρύο καιρό βοηθά στην θέρμανση του θερμοκηπίου. Παρόλα αυτά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι επιπτώσεις της NIR ακτινοβολίας οδηγούν σε μεγαλύτερες απαιτήσεις αερισμού ή δροσισμού. Υπάρχουν πάρα πολλοί τρόποι απομάκρυνσης της NIR κατά το καλοκαίρι. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από φως ποικίλων μήκων κυμάτων., όπως την υπεριώδες UV (300 – 400nm), την Φωτοσυνθετικά Ενεργή ακτινοβολία PAR (400 – 700nm) και την κοντινή υπέρυθη NIR (700 – 2500nm).

Όσο το μήκος κύματος αυξάνεται, η ακτινοβολία χάνει ενέργεια και στην πράξη όλη η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από την ατμόσφαιρα της γης, κι έτσι περίπου η μισή



από την ενέργεια που περιέχεται στην ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στο PAR βεληνεκές και η άλλη μισή στο NIR. Τα ποικίλα μήκη κύματος έχουν διαφορετικές επιπτώσεις σε τη μεταγενέστερα συμβαίνει μέσα στο θερμοκήπιο.

Μεγάλη προσοχή έχει δοθεί πρόσφατα στην κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία (NIR). Η NIR δεν είναι κατά ανάγκη απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών, αλλά η ενέργεια που δημιουργείται από αυτή τη μορφή ακτινοβολίας συνεισφέρει στην θέρμανση του θερμοκηπίου και κατά προέκταση και στα φυτά.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται από την NIR είναι ανεπιθύμητη. Χωρίς επαρκή ικανότητα αερισμού ή δροσισμού, η υψηλή θερμοκρασία γρήγορα προκαλεί συμπτώματα θερμικού στρες στην καλλιέργεια. Σε αντίθεση, ο επιπλέον αερισμός προσδίδει πολύ CO<sub>2</sub>. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του επιπέδου φωτοσύνθεσης με όλα τα αρνητικά αποτελέσματα που μπορεί να έχει κάτι τέτοιο στην ανάπτυξη των φυτών.

Για τον λόγο αυτό οι παραγωγοί προσπαθούν να διατηρήσουν τις εξόδους του αέρα κλειστές όσο το δυνατόν περισσότερο. Με τον περιορισμό της μετάδοσης της NIR ακτινοβολίας το καλοκαίρι, τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> αυξηθούν. Το χειμώνα, ο ήλιος αποτελεί τη φθηνότερη πηγή ενέργειας. Ανακλώντας την NIR ακτινοβολία τελείως καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, η κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί περισσότερο από 10%.

## **2.2. Περιορίζοντας την NIR ακτινοβολία:**

Πολλά φυτά τα οποία απαιτούν πολύ φως για την ανάπτυξη τους, όπως είναι οι τομάτες και τα τριαντάφυλλα, πρέπει να προστατεύονται από την περίσσεια θερμότητα (κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία). Περίσσεια PAR ακτινοβολία δεν αποτελεί πρόβλημα για τα περισσότερα φυτά, με εξαίρεση αυτά που δεν έχουν μεγάλες ανάγκες φωτός. Για την πλειοψηφία των φυτικών καλλιεργειών που αναπτύσσονται σε θερμοκήπια, η υψηλή PAR και χαμηλή NIR μετάδοση (κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού), αποτελεί ως εκ τούτου την βέλτιστη κατάσταση.

Το ποσοστό της NIR που διαπερνά ένα υλικό εξαρτάται από τις ιδιότητες του εν λόγω υλικού. Αντιθέτως, με βάση την δομή του υλικού, υπάρχει μια επιλογή για το κατά πόσον το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή όχι. Ποικίλοι τρόποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάκλαση του NIR φωτός:

- Η κάλυψη (ανασυρόμενη ή άσπρισμα) εντός ή εκτός του θερμοκηπίου
- Μια οροφή θερμοκηπίου φτιαγμένη από ένα υλικό με μικρότερη NIR μετάδοση, για παράδειγμα ειδικά επικαλυμμένο υλικό.

### **2.3. Εσωτερικά καλύμματα:**

Τα εσωτερικά καλύμματα που έχουν την δυνατότητα να ανοιγοκλείνουν αποτελούν ένα καλό και ευέλικτο τρόπο απομάκρυνσης της ανεπιθύμητης ακτινοβολίας της NIR και προστασίας των φυτών από υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες. Παρόλα αυτά, τα καλύμματα όχι μόνο περιορίζουν το ποσοστό της ακτινοβολούμενης ενέργειας, αλλά επίσης και το ποσοστό της PAR ακτινοβολίας το οποίο φτάνει στα φυτά μέσα στο θερμοκήπιο. τα καλύμματα μπορούν να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη των φυτών. Ανάλογα με τη δομή τους, τα καλύμματα μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ικανότητα αερισμού.

### **2.4. Εξωτερικά καλύμματα:**

Για την καλύτερη ανανέωση του αέρα, τα εξωτερικά καλύμματα είναι πιο αποδοτικά από τα εσωτερικά. Αλλά αυτός ο τύπος καλυμμάτων έχει τρία αρνητικά. Καταρχήν, είναι τεχνικά πιο περίπλοκα. Δευτερευόντως, μειώνουν τη συνολική μετάδοση στο θερμοκήπιο, μέσω της βαριάς μόνιμης κατασκευής. Και τέλος, αυτά τα καλύμματα είναι περισσότερο ευπαθή σε ζημιές που προκαλούνται από τις καιρικές συνθήκες.

Το άσπρισμα του θερμοκηπίου αποτελεί και αυτό μια μέθοδο εξωτερικού καλύμματος. Το συνήθες άσπρισμα αποκόπτει πολύ φως. Το άσπρισμα επίσης είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί σωστά σε σχέση με το κλίμα (είτε γίνεται πολύ γρήγορα ή πολύ αργά). Ένα στρώμα ασπρίσματος επίσης αποκόπτει φως κατά τη διάρκεια μιας συνεφιασμένης μέρας του καλοκαιριού και κατά τη διάρκεια άλλων στιγμών της μέρας κατά τις οποίες βασικά το φυσικό ηλιακό φως χρειάζεται. Ένα εκλεκτικό άσπρισμα το οποίο κυρίως ανακλά το NIR τμήμα του φάσματος του φωτός αποτελεί ήδη σημαντική βελτίωση.

Υλικά κάλυψης τα οποία επιτρέπουν όσο το δυνατόν περισσότερο PAR φως, αλλά περιορίζουν την NIR για να αποτρέψουν την υπερθέρμανση του θερμοκηπίου, θα αποτελούσαν ένα βήμα προς την σωστή κατεύθυνση.

Σε πείραμα που έγινε από το Wageningen πανεπιστήμιο στην Ολλανδία τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση του ενεργειακού φορτίου του θερμοκηπίου κατά 8%. Επίσης μειώθηκαν οι ανάγκες αερισμού του θερμοκηπίου και ο ρυθμός διαπνοής του θερμοκηπίου. Μόνιμα υλικά κάλυψης με ανακλαστική ιδιότητα στην κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία μειώνουν της ανάγκες αερισμού κατά τη διάρκεια καλοκαιριού, επιτρέποντας τον εμπλουτισμό με CO<sub>2</sub> και βελτιώνοντας τη παραγωγή. Παρόλα αυτά παρατηρήθηκε ότι η κατανάλωση ενέργειας για όλη τη διάρκεια του χρόνου αυξήθηκε κατά 10% λόγω της μειωμένης εισροής ηλιακής ακτινοβολίας κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η χρήση κινούμενων υλικών ανάκλασης θα ήταν ωφέλιμη μόνο στη περίπτωση όπου ο αερισμός του θερμοκηπίου δεν εμποδιζόταν με οποιοδήποτε τρόπο.

### **2.5. Επίδραση της NIR ακτινοβολίας στο μικροκλίμα**

Στις βόρειες χώρες, με τους πιο κρύους χειμώνες, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Επιπλέον κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού απαιτείται ψύξη εκτός από τον φυσικό εξαερισμό που αφαιρεί την επιπλέον ενέργεια. Στις νότιες χώρες με υψηλότερη ολική ακτινοβολία και υψηλότερη υπαίθρια θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η ψύξη των θερμοκηπίων είναι ένα ακόμα πιο σημαντικό ζήτημα. (Stanghellini 1987).

Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους García-Alonso et al. (2005) σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο Almeria και το ίδρυμα αγροτικής και διατροφικής ανάπτυξης (IMIDA), στη νότια Ισπανία, έγινε σε καλλιέργεια πιπεριών, έχει δείξει ότι κατά τη σύγκριση του νέου υλικού κάλυψης (NIR), με ένα κοινό υλικό κάλυψης, η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη κάτω από το νέο υλικό κάλυψης απ' ότι στο κοινό υλικό, κατά τη διάρκεια όλης της ελεγχόμενης περιόδου.

Σύμφωνα με τους Hemming et al. (2003) ενώ πίστευαν ότι η καλλιέργεια πρέπει να διατηρήσει σε υψηλό επίπεδο το ποσοστό διαπνοής κατά τη διάρκεια της ζεστής περιόδου για να δροσιστεί, το ποσοστό διαπνοής μπορεί να κυμαίνεται περίπου στο 30% έως 10-15%. Εντούτοις, σε αντίθεση με την κάλυψη με ένα υλικό που ανακλά την NIR ακτινοβολία, σε ασπρίσματα που πραγματοποιήθηκαν στον οροφή διαπιστώθηκε ότι μπορούν να μειώσουν το ποσό της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας στο

θερμοκήπιο, το οποίο άμεσα μειώνει τη φωτοσύνθεση των περισσότερων φυτών και ως αποτέλεσμα μειώνει σημαντικά την παραγωγή, σε καλλιέργεια τομάτας, αγγουριού και γλυκιάς πιπεριάς. Ένα υλικό κάλυψης που ανακλά την NIR ακτινοβολία είναι αποδοτικότερο από ένα υλικό κάλυψης που απορροφά την NIR ακτινοβολία. Τα υλικά που ανακλούν την NIR ακτινοβολία δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκήπια κατά τη διάρκεια του χειμώνα, δεδομένου ότι προκαλούν μια ανεπιθύμητη πτώση θερμοκρασίας.

Αυτά τα υλικά κάλυψης οδηγούν σε μια σημαντική μείωση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο, ειδικά κατά τη διάρκεια των περιόδων με υψηλή ακτινοβολία.

Παρόμοια μελέτη για τις επιδράσεις της τεχνολογίας ενός φίλτρου NIR, στο κλίμα του θερμοκηπίου (θερμοκρασία αέρα, υγρασία, κατανάλωση ενέργειας, συγκέντρωση CO<sub>2</sub>), σε καλλιέργεια τομάτας ποσολογήθηκαν και από τους (Hemming et al 2008).

Ένα νέο σχέδιο θερμοκηπίων που ενσωματώνει και ένα φίλτρο για την απόρριψη κοντά στην υπέρυθη ακτινοβολία (NIR) και ένα ηλιακό σύστημα ψύξης μελετήθηκε από τους Sonneveld et al. (2006). Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι είναι ομοιογενές και παρέχει υψηλού επιπέδου φωτισμό στο θερμοκήπιο. Ο δροσισμός του θερμοκηπίου είναι ένα σημαντικό ζήτημα για το συνδυασμό υψηλής ολικής ακτινοβολίας και υψηλών υπαίθριων θερμοκρασιών.

Οι Kempkes et al. (2008) ισχυρίζονται ότι μόνο περίπου η μισή από την ενέργεια που εισέρχεται σ' ένα θερμοκήπιο με τη μορφή μικρού μήκους ηλιακής ακτινοβολίας είναι χρήσιμη για τη φωτοσύνθεση (PAR, φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία). Σχεδόν όλο το υπόλοιπο ενεργειακό μέρος είναι στην κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία; (NIR) και θερμαίνει το θερμοκήπιο και την καλλιέργεια συμβάλλοντας στην διαπνοή, η οποία δεν είναι απαραίτητος πάντα επιθυμητή. Εκτός από τη μείωση της θερμοκρασίας των θερμοκηπίων (που είναι ο αρχικός στόχος), ένα NIR κάλυμμα έχει αρκετές παρενέργειες, οι οποίες μπορούν να γίνουν ιδανικές στα παθητικά ή στα ημιπαθητικά θερμοκήπια που είναι χαρακτηριστικά σε υψηλά ενεργειακές συνθήκες. Με τη μείωση της απαίτησης εξαερισμού, μια τέτοια κάλυψη μπορεί να εμποδίσει την εισροή του διοξειδίου του άνθρακα, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο το ποσοστό της φωτοσύνθεσης.

Οι Vanthoor et al. (2007) προσπάθησαν να εφαρμόσουν μια πολλαπλή προσέγγιση των παραμέτρων σχεδίασης ενός θερμοκηπίου. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε καλλιέργεια τομάτας σε ένα παθητικό θερμοκήπιο, (δηλαδή ένα θερμοκήπιο με μόνο φυσικό εξαερισμό

και εποχιακό άσπρισμα της οροφής, για τη διαχείριση του κλίματος στο εσωτερικό του. Οι παράμετροι που ερευνήθηκαν σε αυτήν την έρευνα, ήταν η περατότητα του υλικού κάλυψης στη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία (PAR) και της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIR), ο συντελεστής εκπομπής για τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία στο υλικό κάλυψης και ο εξαερισμός. Η παραγωγή σε ένα θερμοκήπιο με υψηλή ικανότητα εξαερισμού, ήταν η πιο ευαίσθητη στη μετάδοση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας (PAR) (0,45% περισσότερη παραγωγή, για κάθε αύξηση 1% της περατότητας της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας) ενώ σε ένα θερμοκήπιο με χαμηλή ικανότητα εξαερισμού, η παραγωγή της καλλιέργειας ήταν πιο ευαίσθητη στην περιοχή εξαερισμού (0,63 %) και στην μετάδοση της NIR ακτινοβολίας (-0,56 %). Επιπλέον, η ευαισθησία της καλλιέργειας στις παραμέτρους του σχεδίου ποίκιλε μέσα στο χρόνο λόγω των μεταβαλλόμενων εξωτερικών συνθηκών.

Οι αγρότες που καλλιεργούν πιπεριές στη νότια Ισπανία, έχουν σοβαρά προβλήματα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επιτυγχάνονται μέσα στο θερμοκήπιο. Οι López-Marín et al. (2007) μελέτησαν σε σύγχρονα θερμοκήπια *multitunnel*, αυτά τα προβλήματα και υποστηρίζουν ότι η σκιαζόμενη οροφή, ο εξαερισμός στην οροφή και το άσπρισμα της οροφής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μειωθεί αυτό το πρόβλημα, αν και δεν είναι αρκετά για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του. Στα παραδοσιακά "parral" θερμοκήπια, μόνο το άσπρισμα και ο πλευρικός εξαερισμός μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ένα εναλλακτικό σύστημα για χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι η χρήση ενός καλύμματος που αντανακλά στο κοντινό υπέρυθρο (NIR). Το υλικό που μελετήθηκε και το άσπρισμα, μείωσαν τη θερμοκρασία.

Σύμφωνα με τους Heuvelink και González-Real (2007), τα ημίκλειστα θερμοκήπια επιτρέπουν τον καλύτερο έλεγχο των κλιματικών παραγόντων έναντι των συμβατικών θερμοκηπίων. Όχι ένα υλικό κάλυψης με υψηλή μετάδοση του φωτός, αλλά ένα υλικό με χαμηλή μετάδοση (NIR), οδηγεί σε ένα καλύτερο κλίμα κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου (μειωμένες θερμοκρασίες, λιγότερη διαπνοή της καλλιέργειας, υψηλότερη συγκέντρωση CO<sub>2</sub>, πιθανό λόγω της μειωμένης απαίτησης εξαερισμού). Η αύξηση της διάχυτης δύναμης του υλικού κάλυψης θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια καλύτερη διανομή της ακτινοβολίας, επομένως στην ουσιαστική αύξηση της απορροφημένης

ακτινοβολίας (μέχρι 20% για το υψηλό ανακλαστικό κάλυμμα) και στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της παραγωγής της χρησιμοποιούμενης ακτινοβολίας.

Οι υψηλές θερμοκρασίες και η υγρασία μέσα στα θερμοκήπια που βρίσκονται στους τροπικούς κύκλους είναι ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς για διάφορες καλλιέργειες σε περιοχές όπως η κεντρική Ταϊλάνδη. Μελέτες για αυτό το πρόβλημα πραγματοποιήθηκαν από τους Mutwiwa et al. (2008) σε δύο φυσικά αεριζόμενα θερμοκήπια καλυμμένα με δίχτυα αντοχής στα έντομα και εξαερισμό οροφής, Σκοπός ήταν να ερευνήσουν την επίδραση στο κοντινό υπέρυθρο (NIR), στο μικροκλίμα των θερμοκηπίων και την αύξηση των φυτών. Από το πείραμα διαπιστώθηκε μείωση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου μέχρι 4°C και στη μείωση κατά 18% της μετάδοσης της ολικής ακτινοβολίας. Η σκίαση που πραγματοποιήθηκε, μείωσε την απαίτηση σε νερό των φυτών και την κατανάλωση της ισχύος των ανεμιστήρων. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι ο συνδυασμός φυσικού εξαερισμού και ανακλαστικού-NIR υλικού κάλυψης μπορεί να αποτελεί μια λύση για τον δροσισμό των θερμοκηπίων στις περιοχές με υψηλή περιβαλλοντική υγρασία και υψηλά ηλιακά επίπεδα ακτινοβολίας.

Οι Improng et al. (2007) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα υλικά κάλυψης με υψηλή ανακλαστική ικανότητα συνέβαλλαν στο δροσισμό του θερμοκηπίου σε αντίθεση με δύο τρόπους αερισμού του θερμοκηπίου, που πραγματοποιήθηκαν με διαφορετικό ποσοστό ανοίγματος μεταξύ τους, τα οποία δεν επηρέασαν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

### ***2.5.1. Επίδραση της NIR ακτινοβολίας στα φυτά***

Οι García et al. (2005), στη νότια Ισπανία σε μια καλλιέργεια πιπεριών απέδειξαν ότι κατά τη σύγκριση του νέου υλικού κάλυψης (NIR), με ένα κοινό υλικό κάλυψης, το ύψος των φυτών και η φυτική ανάπτυξή τους ήταν υψηλότερα στο νέο υλικό. Επίσης ο αριθμός των χαλασμένων καρπών ήταν χαμηλότερος.

Είναι ευδιάκριτο ότι το απλό φύλλο PE επιτρέπει ακόμη περισσότερο την είσοδο στο θερμοκήπιο, της ακτινοβολίας στο κοντινό υπέρυθρο (NIR), απ' ότι το απλό γυαλί, βάση της έρευνας των Hemming et al. (2003). Αυτό μπορεί να έχει μια θετική επίδραση στην

επιμήκυνση των μίσχων διάφορων διακοσμητικών φυτών και είναι επίσης δυνατό να επηρεαστεί το άνθισμα και άλλες παράμετροι αύξησης των φυτών.

Οι Imprón et al. (2007) δεν βρήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τιμές της φυλλικής επιφάνειας των φυτών του μάρτυρα (φύλλο PE) και του θερμοκηπίου που ήταν καλυμμένο με το φωτοεκλεκτικό υλικό κάλυψης.

### ***2.5.2. Επίδραση της NIR ακτινοβολίας στην απόδοση***

Οι García et al. (2005) σε συγκριτική μελέτη που πραγματοποίησαν σε καλλιέργεια τομάτας μεταξύ του νέου υλικού κάλυψης (NIR) και ενός κοινού υλικού κάλυψης διαπίστωσαν ότι κατά τη διάρκεια των κρύων μηνών, η συγκομιδή καθυστέρησε κάτω από το νέο υλικό, όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας. Την άνοιξη όμως η συγκομιδή ανάκτησε την καθυστέρηση και στο τέλος είχε τη μέγιστη εμπορική παραγωγή, με μια σημαντική αύξηση της τάξης του 26% σε καρπό ανά φυτό.

Οι López-Marín et al. (2007) σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην Ισπανία σε καλλιέργεια πιπεριάς, διαπίστωσε πως ένα εναλλακτικό σύστημα για την αντιμετώπιση των χαμηλών θερμοκρασιών, είναι η χρήση ενός καλύμματος που αντανακλά στο κοντινό υπέρυθρο (NIR). Αυτό το υλικό κάλυψης και το άσπρισμα της οριφής, αύξησαν την παραγωγή. Επίσης η ποιότητα των καρπών που λήφθηκαν ήταν καλύτερη.

Οι Mutwiwa et al. (2007) σε ένα πείραμα που πραγματοποίησαν για το πρόβλημα ψύξης των θερμοκηπίων, χρησιμοποίησαν δύο θερμοκήπια που το ένα ήταν καλυμμένο με φωτοεκλεκτικό υλικό κάλυψης με υψηλή ικανότητα ανάκλασης της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας και το άλλο θερμοκήπιο ήταν καλυμμένο με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου το οποίο ήταν εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς. Διαπίστωσαν ότι στο δεύτερο θερμοκήπιο υπήρξε μια μικρή μείωση της εμπορεύσιμης παραγωγής και μια υποβάθμιση της ποιότητας των καρπών, λόγω του σχισίματος. Το ποσοστό του σχισίματος ήταν πολύ χαμηλότερο στο πρώτο θερμοκήπιο.

## **2.6. NIR ακτινοβολία και ηλιακή ενέργεια**

Σύμφωνα με τους Hemming et al. (2003) εάν συγκρίνουμε τη δυνατότητα να δεσμεύσουμε την ηλιακή ενέργεια από το θερμοκήπιο, η χαμηλότερη μετάδοση ηλιακής ενέργειας παρουσιάζεται στα θερμοκήπια από γυαλί + NIR και όχι στα θερμοκήπια από πλαστικό + NIR.

Το πλαστικό υλικό κάλυψης + NIR είναι σε θέση να μειώσει το ποσοστό της ενέργειας στο κοντινό υπέρυθρο (NIR) μέχρι 25%, ενώ το υλικό κάλυψης από γυαλί + NIR είναι σε θέση να μειώσει το ποσοστό της ενέργειας στο κοντινό υπέρυθρο (NIR) μέχρι 50 - 70%. Είναι ευδιάκριτο ότι το απλό φύλλο PE επιτρέπει ακόμη περισσότερο την είσοδο στο θερμοκήπιο της ακτινοβολίας στο κοντινό υπέρυθρο (NIR), απ' ότι το απλό γυαλί.

Έρευνα πραγματοποιήθηκε από τους Sonneveld et al. (2008) και Sonneveld et al. (2006), για την ανάπτυξη ενός νέου τύπου θερμοκηπίου με ένα ενσωματωμένο φίλτρο για την απόρριψη στην κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία (NIR) και ένα σύστημα απελευθέρωσης της ηλιακής ενέργειας. Οι ιδιότητες αυτών των υλικών μπορούν να εμποδίσουν μέχρι 50% της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας στο θερμοκήπιο, το οποίο θα μειώσει με τη σειρά του, την αναγκαία ικανότητα ψύξης. Όταν το ανακλαστικό - NIR υλικό κάλυψης ενσωματώνεται στο θερμοκήπιο ως παραβολικός ή κυκλικός διαμορφωμένος ανακλαστήρας, τότε η ανακλώμενη ηλιακή ενέργεια συγκεντρώνεται σε ένα σημείο εστίασης με τη χρήση ενός κυττάρου PV και απελευθερώνει ηλεκτρική ενέργεια σε ένα σύστημα ψύξης ανεμιστήρων και μαξιλαριών. Η περίσσεια της παραγόμενης ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφαλάτωση ή/και τον ενεργειακό ανεφοδιασμό του θερμοκηπίου.

Από τα αποτελέσματα των Arcediacocono et al (1997) προέκυψε ότι ο μάρτυρας (φύλλο PE) είχε μεγαλύτερη περατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Την καλοκαιρινή περίοδο το θερμοκήπιο με το φωτοεκλεκτικό υλικό, δεν βελτίωσε σημαντικά τις συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας.

## **2.7. Άλλα υλικά κάλυψης και επιδράσεις**

Έρευνα στον Καναδά έχει δείξει ότι το αντιχαλαζιακό υλικό κάλυψης είναι σημαντικό για τη διατήρηση της θερμότητας στα θερμοκήπια Zhang et al. (1995).



Σε άλλο πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους Öztürk, και Başçetinçelik (2003) διαπιστώθηκε ότι η θερμική αποτελεσματικότητα του PE υλικού κάλυψης ήταν 16% ενώ του καλύμματος από πολυεστέρα 19,8%

Έρευνα του Al-Amri (2000) έδειξε ότι σε καλλιέργεια αγγουριού, το σύστημα ψύξης με εξάτμιση μέσα σε θερμοκήπιο από φίμπεργκλας ήταν αποδοτικότερο απ' ό τι στο θερμοκήπιο που ήταν καλυμμένο από πολυαιθυλένιο. Αυτό οφείλεται στην διαφορά στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στα δύο θερμοκήπια. Το θερμοκήπιο από φίμπεργκλας ενίσχυσε το ρυθμό ανάπτυξης και αύξησε τη παραγωγή των αγγουριών κατά 32,87% έναντι του θερμοκηπίου που ήταν καλυμμένο από πολυαιθυλένιο.

Θερμοκήπιο με υλικό κάλυψης διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου είναι καλύτερο σε σύγκριση με άλλα παρόμοια υλικά κάλυψης πολυαιθυλενίου, επειδή παρουσιάζεται υψηλότερη παραγωγικότητα και χαμηλότερη απαίτηση σε θέρμανση το θερμοκήπιο, σύμφωνα με τον ισχυρισμό των Cemek et al. (2006).

Έρευνα απέδειξε ότι θερμοκήπιο με διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου και θερμοκήπιο με ακρυλικό υλικό κάλυψης, εξοικονομούν 30% θερμική ενέργεια έναντι θερμοκηπίου που χρησιμοποιεί γυαλί ως υλικό κάλυψης. Papadopoulos and Hao (1997).

## **Κεφάλαιο 3. Υλικά και Μέθοδοι**

### **3.1 Εισαγωγή**

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κατά τη διάρκεια της χειμερινής καλλιεργητικής περιόδου του 2009. Το αγρόκτημα του πανεπιστημίου είναι εγκατεστημένο στην περιοχή του Βελεστίνου. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 39° 44' και γεωγραφικό μήκος 22° 79', το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m, και απέχει 17 km από το Βόλο. Το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου διέθεσε για την εκτέλεση του προγράμματος αυτού δύο παρόμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια.

Τα δύο υλικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν και μελετήθηκαν ήταν κατασκευασμένα από πολυαιθυλένιο και παρήχθησαν από την εταιρία Πλαστικά Κρήτης ABEE. Τα φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα:

- Απλό φύλλο πολυαιθυλενίου, ως μάρτυρας
- High NIR reflection, το οποίο παρουσιάζει μικρότερη περατότητα στη θερμική ακτινοβολία και υψηλότερη ανάκλαση της ακτινοβολίας στο κοντινό υπέρυθρο.

### **3. 2. Το Υλικό κάλυψης**

Τα 2 υλικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν και μελετήθηκαν ήταν κατασκευασμένα από πολυαιθυλένιο και παρήχθησαν από την Πλαστικά Κρήτης ABEE. Τα φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα:

1. Πολυαιθυλένιο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας για την σύγκριση των μετρήσεων που πάρθηκαν σε σχέση με το δεύτερο υλικό κάλυψης.
2. Super thermic + high NIR reflection (χρώματος ασημί) υλικό που παρουσιάζει μικρότερη περατότητα στη θερμική ακτινοβολία και υψηλότερη ανάκλαση της ακτινοβολίας στο κοντινό υπέρυθρο.

Οι κλιματικές και αγρονομικές μετρήσεις του NIR υλικού κάλυψης συγκρίθηκαν με αυτές του πολυαιθυλενίου, για να διερευνηθεί η επίδραση της ανάκλασης της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας από το πρώτο υλικό, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και την παραγωγή.

### **3.3. Το θερμοκήπιο**

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπια που διαθέτει το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα της σχολής, στο Βελεστίνο Νομού Μαγνησίας. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 39° 44' και γεωγραφικό μήκος 22° 79', το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m, και απέχει 17 km από το Βόλο. Τα δύο θερμοκήπια ήταν τροποποιημένα τοξωτά έκτασης 160 m<sup>2</sup> το καθένα με μήκος 20 m, πλάτος 8 m ύψος κορφιά 4.1 m και ύψος ορθοστάτη 2.10 m. Ο σκελετός των θερμοκηπίων ήταν από γαλβανισμένο χάλυβα (Νικολάου,2010). Στο έδαφος του θερμοκηπίου είχε τοποθετηθεί αδιαφανές διπλής όψεως ασπρόμαυρο υλικό για την ανάκλαση την ακτινοβολία από το έδαφος στα φυτά αλλά και την μη ανάπτυξη ασθενειών και εχθρών. Τα υλικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής: α) για το ένα θερμοκήπιο φύλλο πολυαιθυλενίου με ιδιότητα Super thermic + high NIR reflection υλικό κάλυψης και β) για το άλλο θερμοκήπιο απλό φύλλο πολυαιθυλενίου καθώς χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας.



**Εικόνα 7:** Άποψη των πειραματικών θερμοκηπίων του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. gr1= Super thermic + high NIR, gr3= θερμοκήπιο μάρτυρας

### **3.4. Ψύξη του θερμοκηπίου**

#### **Αερισμός**

Για την ψύξη του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε σύστημα φυσικού αερισμού με άνοιγμα των πλαϊνών και της οροφής παραθύρων. Η λειτουργία γινόταν αυτόματα μέσω Data loggers που είχαν ρυθμιστεί με βάση θερμοκρασίες-στόχους που θέλαμε να υπάρχουν στο θερμοκήπιο σε κάθε περίοδο ως εξής:

- Το παράθυρο οροφής αρχίζει να ανοίγει στους 18 °C και είναι τελείως ανοιχτό στους 26 °C.
  - Τα πλαϊνά παράθυρα αρχίζουν να ανοίγουν στους 22 °C και είναι τελείως ανοιχτά στους 28 °C

### **3.6. Εγκατάσταση της καλλιέργειας**

Η τελική μεταφύτευση στα θερμοκήπια έγινε 02/02/2009 και η καλλιέργεια είχε διάρκεια έως τις 8/01/2010. Τα φυτά προμηθεύτηκαν από την εταιρία AGRIPLANT και ήταν φυτρωμένα σε κύβους πετροβάμβακα GRODAN. Για τη θρέψη των φυτών επιλέχθηκε το υδροπονικό σύστημα για την αποφυγή μολύνσεων από ασθένειες εδάφους

και γενικότερα να περιοριστούν οι επιδράσεις του παράγοντα έδαφος στα φυτά. Το υλικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα της καλλιέργειας ήταν πετροβάμβακας.

Για την εγκατάσταση της καλλιέργειας επιλέχθηκε το σύστημα φύτευσης των διπλών γραμμών, με αποστάσεις 0,33 μ επί της γραμμής και 0,75 μ μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς. Έτσι ο πληθυσμός των φυτών ήταν 2,1 φυτά/ m<sup>2</sup>. Ανάμεσα στις διπλές γραμμές υπήρχε διάδρομος πλάτους 1μ. Από κάθε θερμοκήπιο επιλέχθηκαν τυχαία 8 φυτά, όπου κάθε πειραματικό φυτό έφερε ατομικό καρτελάκι με αύξοντα αριθμό.

### **3.5. Τα πειραματικά φυτά**

Σε κάθε θερμοκήπιο υπήρχαν 4 διπλές γραμμές φύτευσης, οι οποίες απείχαν μεταξύ τους 1,5 m. Τα φυτά μεταφυτεύτηκαν στα θερμοκήπια σε αποστάσεις 0,75 m και 0,33 m επί των απλών γραμμών φύτευσης της κάθε διπλής γραμμής.. Έτσι ο πληθυσμός των φυτών ήταν 2,1 φυτά/ m<sup>2</sup>. Από κάθε θερμοκήπιο επιλέχθηκαν τυχαία 6 φυτά, φυτεμένα σε υπόστρωμα πετροβάμβακα τύπου GRODAN MASTER. Η επίδραση του περιθωρίου εξαλείφθηκε με την επιλογή φυτών από τις 2 εσωτερικές διπλές σειρές και κάθε πειραματικό φυτό έφερε ατομικό καρτελάκι με αύξοντα αριθμό.

### **3.6. Καλλιεργητικές τεχνικές**

Τα φυτά αναπτύχθηκαν σύμφωνα με τις συνηθισμένες καλλιεργητικές πρακτικές που ακολουθούν οι παραγωγοί της περιοχής στα εμπορικά θερμοκήπια, όπως είναι και το μονοστέλεχο σύστημα διαμόρφωσης.

#### **3.6.1 Υποστύλωση**

Για την υποστύλωση των φυτών χρησιμοποιήθηκαν κλιπ, με τα οποία, όταν τα φυτά περάσουν το ύψος των οριζόντιων συρμάτων, τότε ξετυλίγεται ο σπάγκος και τα φυτά χαμηλώνουν σε επίπεδο που να μπορούν να δέχονται πιο εύκολα τις καλλιεργητικές φροντίδες.

### 3.6.2 Γονιμοποίηση

Για τη γονιμοποίηση των φυτών εγκαταστάθηκαν σε κάθε θερμοκήπιο μια κυψέλη του εντόμου *bombus terrestris*.

### 3.6.3.Κλάδεμα

Στα θερμοκήπια αφαίρεση πλάγιων βλαστών γινόταν κάθε βδομάδα προκειμένου να επιτρέψουμε τον καλύτερο φωτισμό του φυτού με την παρουσία τριών φύλλων ανά σταυρό. Ακόμη έγινε και ένα έντονο κλάδεμα στην βδομάδα από 16/12/2009 ως 23/12/2009 διότι η καλλιέργεια της τομάτας είχε προσβληθεί από περονόσπορο και έπρεπε να απομακρυνθούν τα προσβεβλημένα στελέχη.

### 3.7. Περιγραφή μετρήσεων – Αγρονομικές μετρήσεις

Οι αγρονομικές μετρήσεις πραγματοποιούνταν σε εβδομαδιαία βάση και αφορούσαν την αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών. Αύξηση ενός φυτού ορίζεται η αύξηση της βιομάζας του ή των διαστάσεων του. Ανάπτυξη ορίζεται η εξέλιξη ενός φυτού προς μια πιο σύνθετη κατάσταση. Δηλαδή η μετάβαση των φυτών από τη νεότητα στην ωριμότητα καθώς και ο σχηματισμός και η εξέλιξη νέων οργάνων, η ωρίμανση αυτών κτλ.

Κατά τη διάρκεια των αγρονομικών μετρήσεων αύξησης και ανάπτυξης καταγράφονταν τα εξής:

- Μήκος στελέχους (cm)
- Αριθμός κόμβων
- Μήκος και πλάτος φύλλων (cm)
- Στάδιο ανάπτυξης ταξιανθιών
- Αριθμός καρπών
- Αριθμός κόμβων

Η μέτρηση του μήκους του στελέχους δηλαδή του ύψους των φυτών πραγματοποιούνταν με την χρήση εύκαμπτης πλαστικής μετροταινίας. Ως ύψος του φυτού

είχε οριστεί το μήκος του κεντρικού βλαστού από το λαιμό του φυτού μέχρι την κορυφή του.

Η μέτρηση του μήκους και του πλάτους των φύλλων πραγματοποιήθηκε επίσης με τη χρήση της μετροταινίας. Ως μήκος του φύλλου ορίστηκε η απόσταση από τη βάση του μίσχου έως την άκρη του ελάσματος, και ως πλάτος η μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στις άκρες του ελάσματος, η κάθετη στο μήκος του φύλλου.

Ταυτόχρονα γινόταν και η καταμέτρηση του αριθμού των κόμβων. Ο αριθμός των κόμβων προέκυψε από το άθροισμα των φύλλων και των ταξιανθιών του κάθε φυτού.

Τα δεδομένα του ύψους και του αριθμού των κόμβων των φυτών χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να υπολογιστεί και το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων.

Ο υπολογισμός της φυλλικής επιφάνειας του φύλλου έγινε από την εξίσωση:

$$L.A = 2,711 * 10^{-2} + 0,3104 * (\text{μήκος} * \text{πλάτος})$$

Ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας προέκυψε από την εξίσωση:

$$L.A.I = L.A * 2,1$$

Όπου 2,1 = πυκνότητα φυτών / m<sup>2</sup>

Πίνακας 2: Οι αγρονομικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος

Μετρήσεις
10/11/2009
18/11/2009
25/11/2009
2/12/2009
9/12/2009
16/12/2009
23/12/2009
30/12/2009
8/1/2010

### 3. 9. Άρδευση- λίπανση

Η άρδευση και η λίπανση της υδροπονικής καλλιέργειας γινόταν με το σύστημα της στάγδην άρδευσης με παροχή σταλακτών  $1 \text{ L. h}^{-1}$ . Εφαρμόστηκε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα με το οποίο το απορρέον θρεπτικό διάλυμα δεν επαναχρησιμοποιείται. Η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος έγινε με τη χρήση ενός Η/Υ με το κατάλληλο λογισμικό, μιας σειράς δοσομετρικών αντλιών, ενός ρΗμέτρου (θέλαμε 5,5 περίπου ρΗ), ενός αγωγιμομέτρου και τριών δεξαμενών. Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος δίνεται στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 3.** Σύσταση του θρεπτικού διαλύματος που εφαρμόστηκε στην υδροπονική καλλιέργεια.

Στοιχείο	P
$\text{K}^+$	280
Mg	46
$\text{SO}_4=$	40
$\text{PO}_4=$	40
$\text{Ca}^{+2}$	164
$\text{NO}_3^-$	233



### **3. 10. Θέρμανση**

Για τη θέρμανση των θερμοκηπίων χρησιμοποιήθηκε καυστήρας πετρελαίου με ονομαστική ισχύ 48.8 kW για κάθε θερμοκήπιο. Η θέρμανση γινόταν με αερόθερμα και με εύκαμπτους σωλήνες διανομής διαμέτρου 25 mm που είχαν τοποθετηθεί επάνω στο

έδαφος, κοντά στα φυτά. Το νερό που κυκλοφορεί στους σωλήνες είναι χαμηλής θερμοκρασίας, μέχρι 45 °C και η μετάδοση της θερμότητας του γίνεται με αγωγιμότητα προς το έδαφος και τις ρίζες των φυτών, με ακτινοβολία προς το υπέργειο μέρος των φυτών και με συναγωγή προς το περιβάλλον. Στο σύστημα των αγωγών μεταφοράς του νερού από το λέβητα στο αερόθερμο και από το αερόθερμο προς την επιδαπέδια θέρμανση τοποθετήθηκαν 2 ροόμετρα, προκειμένου να υπολογιστεί η ενέργεια που δίνει το σύστημα θέρμανσης.

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται μέσω των Data loggers με βάση τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό κάθε θερμοκηπίου:

- Το αερόθερμο αρχίζει να λειτουργεί στην θερμοκρασία των 14°C και σταματά στους 14.8°C.
- Η επιδαπέδια θέρμανση αρχίζει να λειτουργεί στην θερμοκρασία των 14.8°C και σταματά στους 15.3°C.

Από 7/12/2009 ο έλεγχος τροποποιείται:

- Το αερόθερμο αρχίζει να λειτουργεί στην θερμοκρασία των 14.5°C και σταματά στους 15°C.
- Η επιδαπέδια θέρμανση αρχίζει να λειτουργεί στην θερμοκρασία των 14.5°C και σταματά στους 15°C.

### **3.11. Οπτικές ιδιότητες των θερμικών φύλλων**

Για την μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης, πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις, στην έναρξη της καλλιέργειας και στο τέλος της καλλιέργειας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, με τη χρήση ενός φωτοραδιόμετρου (LICOR 1800) όπου με τη σφαίρα ολοκλήρωσης, μετρήθηκε η ακτινοβολία μιας φωτεινής πηγής, η οποία

διέρχονταν διαμέσω των πλαστικών. Η μέτρηση έγινε για εύρος φάσματος 400 έως 1100 nm και για διαστήματα 2 nm. Η σφαίρα ολοκλήρωσης είχε 5 θύρες, στις 3 από τις 5 ( A , B , C) υπήρχε η δυνατότητα προσαρμογής της λάμπας, στην 4<sup>η</sup> προσαρμοζόταν μόνιμα η μονάδα αναφοράς και στην 5<sup>η</sup> μπορούσε να τοποθετηθεί ο αισθητήρας του οργάνου. Μετρήθηκε για κάθε φύλλο ξεχωριστά η:

- Περαιτότητα
- Αντανάκλαση
- Απορρόφηση

### **3. 12. Κλιματικές μετρήσεις**

#### **3. 12. 1 Μικρού μήκους ακτινοβολία**

Για τη μέτρηση της μικρού μήκους ακτινοβολία τοποθετήθηκαν και στα 2 θερμοκήπια, πυρανόμετρα τύπου KIPP&ZONEN CM6b, πάνω από το ύψος των φυτών.

#### **3. 12. 2 Η θερμοκρασία και η υγρασία**

Για την καταγραφή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας σε κάθε θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε η συσκευή MCQU climate control, της οποίας οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν μέσα στην καλλιέργεια. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν και thermistors πάνω σε ορισμένα φυτά για να μετρηθεί η θερμοκρασία των φύλλων.

#### **3. 12. 3 Κατανάλωση ενέργειας**

Στο σύστημα των αγωγών μεταφοράς του νερού από το λέβητα στο αερόθερμο και από το αερόθερμο προς την επιδαπέδια θέρμανση τοποθετήθηκαν 2 ροόμετρα, προκειμένου να υπολογιστεί η ενέργεια που δίνει το σύστημα θέρμανσης από τον τύπο:

$$Q = m * C_p * DT / (600 * 160) \text{ ανά } 10 \text{ λεπτο και ανά } m^2$$

(160 m<sup>2</sup> είναι η έκταση του κάθε θερμοκηπίου).

#### **3.12.4 Καταγραφή μετρήσεων**

Η καταγραφή και η επεξεργασία των μετρήσεων της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της καθαρής ακτινοβολίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και της ροής του νερού του συστήματος θέρμανσης, γινόταν με το σύστημα (ZENO 3200 data-logger)

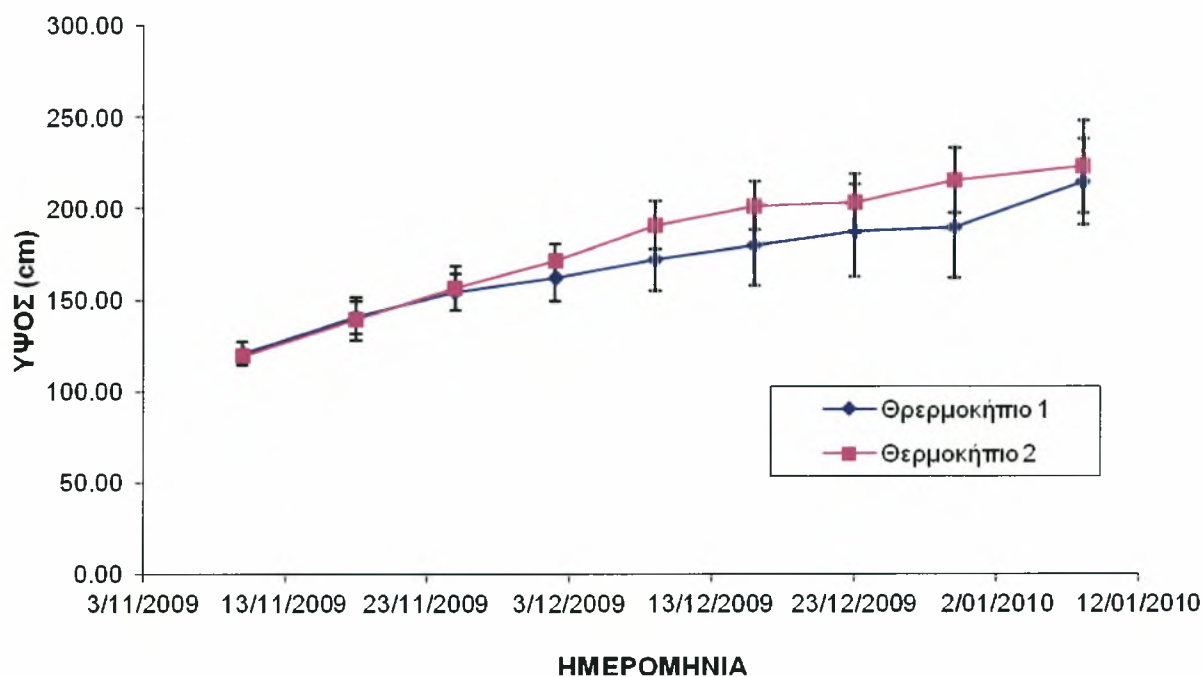
#### **3.12.5. Στατιστική ανάλυση**

Στα δεδομένα που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση, με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η repeated measures. Η σύγκριση των μέσων όρων πραγματοποιήθηκε με ANOVA και το κριτήριο Duncan. Η μέθοδος αυτή επιλέχτηκε επειδή υπήρχαν επαναλαμβανόμενες στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις ημερομηνίες των μετρήσεων.

## Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Στα σχήματα (1,2,3,4,5,6 και7) που ακολουθούν ως Θερμοκήπιο 1 συμβολίζεται το θερμοκήπιο που είναι καλυμμένο με το NIR υλικό ενώ Θερμοκήπιο 2 το θερμοκήπιο που είναι καλυμμένο με το πολυαιθυλένιο.

Το Σχήμα 2 που ακολουθεί δείχνει την εξέλιξη του ύψους των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι τιμές του ύψους στα δύο θερμοκήπια, με βάση το Σχήμα 1, δεν έχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, Αυτό επιβεβαιώνεται από την στατιστική ανάλυση που ακολουθεί στον Πίνακα 10 καθώς η  $significance > 0,05$ , δηλαδή ( $sig = 0,150$ )



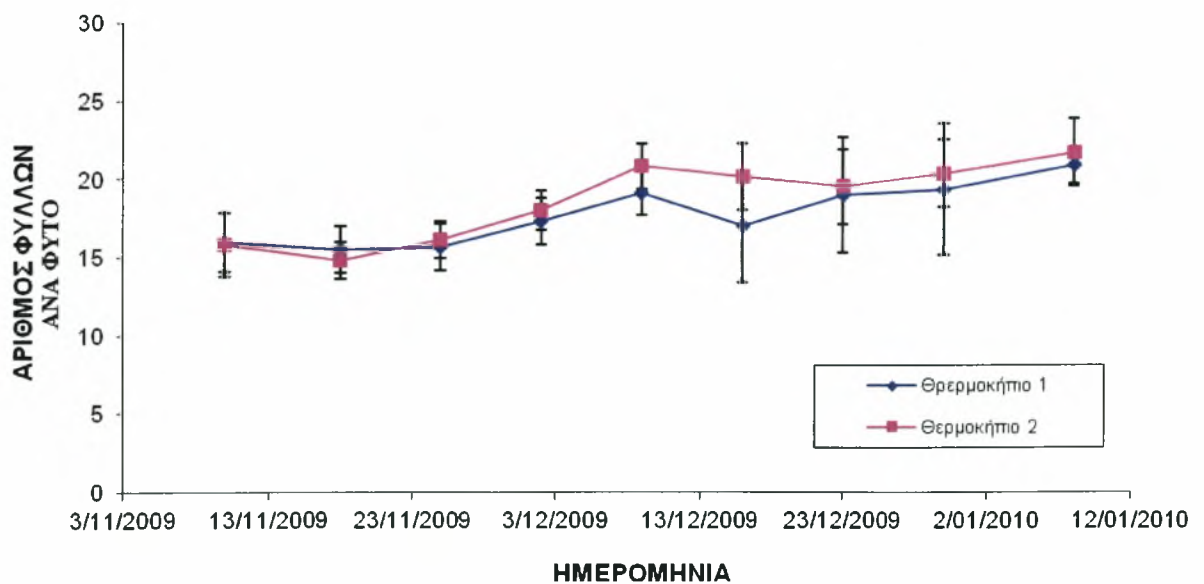
**Σχήμα 2:** Η εξέλιξη των τιμών του ύψους των φυτών στα δύο θερμοκήπια. Οι κατακόρυφες γραμμές υποδηλώνουν τη τυπική απόκλιση των μέσων όρων.

**Πίνακας 4:** Αποτελέσματα ANOVA για την σύγκριση των μέσων όρων του ύψους των φυτών.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	3296309.481	1	3296309.481	2468.461	.000
GR	3245.037	1	3245.037	2.430	.150
Error	13353.704	10	1335.370		

Παρατηρώντας το Σχήμα 2 βλέπουμε ότι το ύψος των φυτών αυξάνεται σε σχέση με το χρόνο. Η μέγιστη τιμή ύψους για το θερμοκήπιο με υλικό κάλυψης πολυαιθυλενίου είναι 223.33 εκατοστά, ενώ η μικρότερη 119.66 εκατοστά. Αντίστοιχα η μέγιστη τιμή για το θερμοκήπιο με υλικό κάλυψης super thermic + NIR είναι εκατοστά, ενώ η μικρότερη 121 εκατοστά. Επίσης βλέπουμε ότι οι διαφορές των παρατηρήσεων στα δύο θερμοκήπια γίνονται όλο και πιο έντονες με το πέρασμα του χρόνου.

Το Σχήμα 3 που ακολουθεί δείχνει την εξέλιξη στον αριθμό των φύλλων των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ο αριθμός των φύλλων στα δύο θερμοκήπια δεν παρουσιάζει διαφορές, παρατηρώντας το Σχήμα 3. Αυτό επιβεβαιώνεται από την στατιστική ανάλυση που ακολουθεί στον Πίνακα 11 καθώς η  $significance > 0,05$ , δηλαδή  $sig = 0,263$



**Σχήμα 3 :** Η εξέλιξη του αριθμού των φύλλων στα δύο θερμοκήπια

**Πίνακας 5:** *Repeated measures* για τον αριθμό των φύλλων

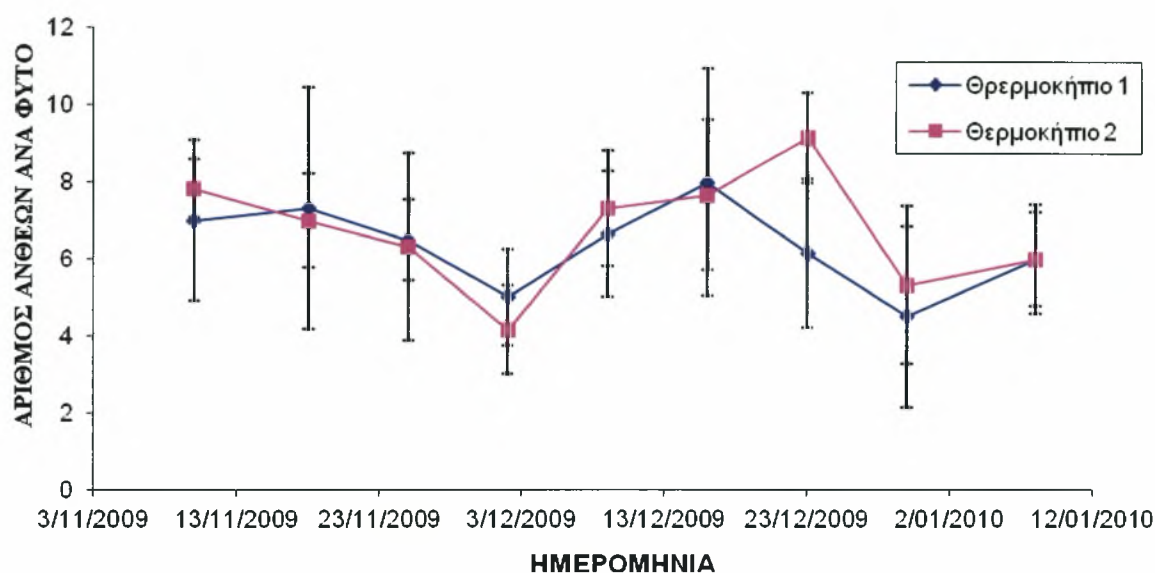
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	35679.343	1	35679.343	2675.579	.000
GR	18.750	1	18.750	1.406	.263
Error	133.352	10	13.335		

Γενικά, ο αριθμός φύλλων παρουσίασε αύξηση και στα δύο θερμοκήπια, η οποία αντιστοιχεί σε 1 με 3 φύλλα περίπου. Μόνο σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο υπήρξε μια έντονη πτώση ιδιαίτερα στο θερμοκήπιο με το super thermic + NIR υλικό κάλυψης. Στην συνέχεια όμως η πορεία των αριθμών φύλλων και στα δύο θερμοκήπια ήταν αυξητική.

Οι διαφορές στον αριθμό των φύλλων μεταξύ των δύο θερμοκηπίων είναι αρχικά πολύ μικρή, ομοίως και στο τελευταίο διάστημα των παρατηρήσεων. Υπήρξε ωστόσο ένα διάστημα από τις 16/12/2009 με 30/12/2009 περίπου όπου η διαφορά των αριθμών μεταξύ των δύο θερμοκηπίων αυξήθηκε έντονα.

Σε σχέση με προηγούμενες αναφορές , Heuvelink και González-Real (2007) παρατήρησαν ότι σε ένα θερμοκήπιο με υλικό που ανακλά την θερμική ακτινοβολία παρατηρείται μεγαλύτερη βλάστηση. Ωστόσο, εμείς βρήκαμε το αντίθετο αλλά δεν είναι οι διαφορές στατιστικά σημαντικές.

Το Σχήμα 4 που ακολουθεί δείχνει την εξέλιξη στον αριθμό των ανθέων των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ο αριθμός των ανθέων στα δύο θερμοκήπια δεν παρουσιάζει διαφορές με βάση το Σχήμα 4. Παρατηρώντας επίσης την στατιστική ανάλυση στον Πίνακα 12 διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων καθώς η σημαντικότητα είναι μεγαλύτερη του 0,05 (sig=0,687)



**Σχήμα 4:** Η εξέλιξη του αριθμού των ανθέων στα δύο θερμοκήπια.

**Πίνακας 6:** Repeated measures για τον αριθμό των ανθέων

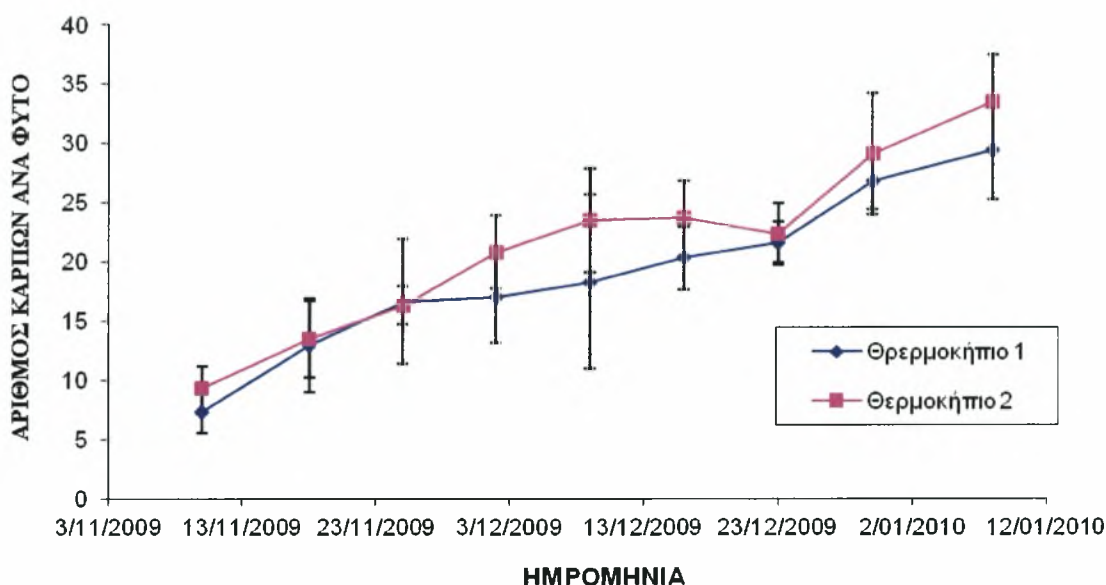
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	4485.333	1	4485.333	834.624	.000
GR	.926	1	.926	.172	.687
Error	53.741	10	5.374		

Γενικά, ο αριθμός των ανθέων δεν παρουσιάζει μια συγκεκριμένη τάση αύξησης ή μείωσης αλλά μεταβάλλεται συνεχώς και στα δύο θερμοκήπια. Ωστόσο, φανερό είναι οι μεγάλες τυπικές αποκλίσεις που παρουσιάζονται στις παρατηρήσεις και ιδιαίτερα στο θερμοκήπιο με το super thermic + NIR υλικό κάλυψης. Επιπλέον, οι επιμέρους διαφορές μεταβάλλονται συνεχώς μεταξύ των δύο θερμοκηπίων όσο αφορά το αριθμό των ανθέων. Η μέγιστη τιμή αριθμού ανθέων για το θερμοκήπιο με το πολυαιθυλένιο υλικό κάλυψης είναι 11 ενώ η μικρότερη 2. Η μέγιστη τιμή αριθμού ανθέων για το θερμοκήπιο με super thermic + NIR υλικό κάλυψης είναι 12 και η μικρότερη 3.

Σε προηγούμενες αναφορές όπως των Sonneveld et al. (2006) παρατηρήθηκε οψιμότητα στην άνθιση όταν χρησιμοποιήθηκαν εφαρμογές που ανακλούν την θερμική

ακτινοβολία. Έτσι, και στην δικιά μας περίπτωση οι διαφορές που καταγράφονται να οφείλονται στο γεγονός αυτό

Το Σχήμα 5 που ακολουθεί δείχνει την εξέλιξη στον αριθμό των καρπών των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ο αριθμός των καρπών στα δύο θερμοκήπια δεν παρουσιάζει διαφορές με βάση το Σχήμα 5. Παρατηρώντας την στατιστική ανάλυση στον Πίνακα 13 διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων καθώς η σημαντικότητα είναι μεγαλύτερη του 0,05 (sig=0,093)



Σχήμα 5: Η εξέλιξη του αριθμού των καρπών στα δύο θερμοκήπια.

Πίνακας 7 : Repeated measures για τον αριθμό των καρπών

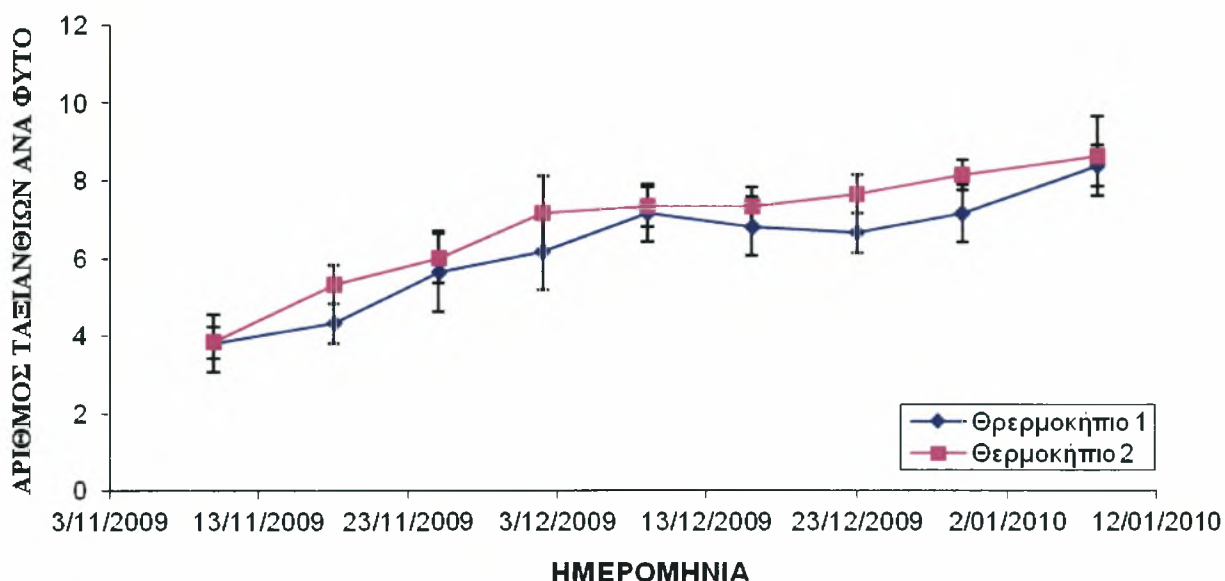
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	43641.120	1	43641.120	893.438	.000
GR	168.750	1	168.750	3.455	.093
Error	488.463	10	48.846		



Γενικά, παρατηρείται αύξηση στον αριθμό των καρπών σε σχέση με τον χρόνο και στα δύο θερμοκήπια. Η διαφορά στον αριθμό των καρπών για τα φυτά των δύο θερμοκηπίων είναι μικρή στην αρχή και στο τέλος των παρατηρήσεων. Παρατηρείται ωστόσο μια έντονη διαφορά κατά την περίοδο από 26/11/2009 έως 24/12/2009, με τα φυτά του θερμοκηπίου με το μάρτυρα να παρουσιάζουν μείωση στον αριθμό των καρπών.

- Σε σχέση με προηγούμενες αναφορές όπως των Imprun et al. (2007) και Lopez- Marin et al.(2007) το θερμοκήπιο που ανακλά την έγγυς υπέρυθρη ακτινοβολία παρουσίασε μεγαλύτερη παραγωγή σε σχέση με θερμοκήπιο που δεν την ανακλούσε.
- Αντίθετα οι Mutwiwa et al.(2007) βρήκαν χαμηλότερες αποδόσεις σε καρπούς (όπως και στην περίπτωση μας) με την εφαρμογή υλικού με παρόμοιες ιδιότητες με το δικό μας.
- Το γεγονός ότι δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές είναι ενθαρρυντικό για την χρήση του υλικού τον χειμώνα και όλο τον χρόνο.

Το Σχήμα 6 που ακολουθεί δείχνει την εξέλιξη στον αριθμό των σταυρών των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ο αριθμός των σταυρών των φυτών στα δύο θερμοκήπια δεν παρουσιάζει σχεδόν καμία διαφορά. Παρατηρώντας την στατιστική ανάλυση στον Πίνακα 14 διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων καθώς η σημαντικότητα είναι μεγαλύτερη του 0,05 (sig=0,016)



Σχήμα 6: Η εξέλιξη του αριθμού των σταυρών στα δύο θερμοκήπια.

Πίνακας 8 . Repeated measures για τον αριθμό των σταυρών

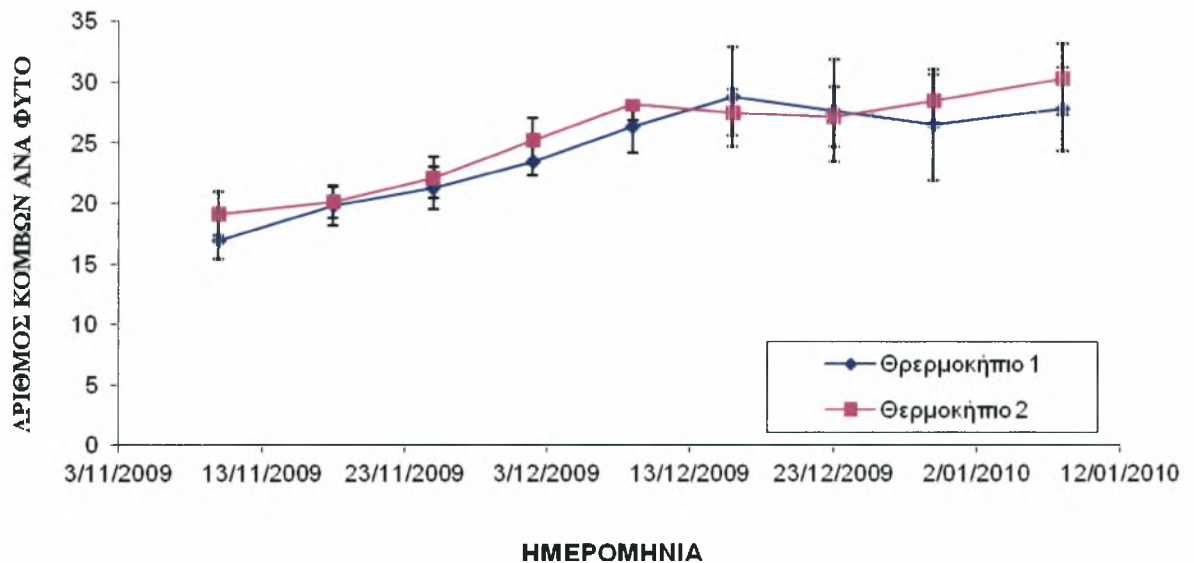
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	4615.148	1	4615.148	4058.925	.000
GR	9.481	1	9.481	8.339	.016
Error	11.370	10	1.137		

Γενικά ,παρατηρούμε αύξηση των σταυρών σε σχέση με τον χρόνο και στα δύο θερμοκήπια. Το θερμοκήπιο του μάρτυρα ωστόσο παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό σταυρών καθ 'όλη την διάρκεια.

Η μέγιστη τιμή αριθμού σταυρών για το θερμοκήπιο με το πολυαιθυλένιο για υλικό κάλυψης είναι 10 ενώ η μικρότερη 3. Η μέγιστη τιμή αριθμού σταυρών για το θερμοκήπιο με super thermic + NIR υλικό κάλυψης είναι 9 και η μικρότερη 3.

Το Σχήμα 7 που ακολουθεί δείχνει την εξέλιξη του αριθμού των κόμβων των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ο αριθμός των κόμβων των φυτών στα δύο θερμοκήπια δεν παρουσιάζει διαφορές. Παρατηρώντας την στατιστική ανάλυση στον

Πίνακα 15 διαπιστώθηκε ότι πράγματι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων καθώς η σημαντικότητα είναι μεγαλύτερη του 0,05 (sig=0,116).



Σχήμα 7: Η εξέλιξη του αριθμού των κόμβων στα δύο θερμοκήπια.

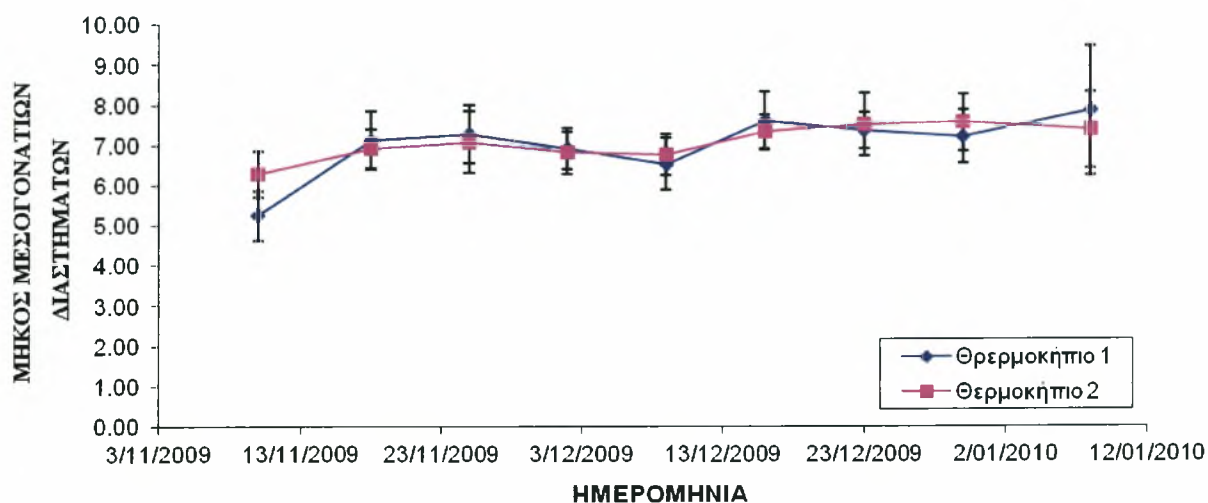
Πίνακας 9. Repeated measures για τον αριθμό των κόμβων

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	65317.926	1	65317.926	2962.015	.000
GR	65.333	1	65.333	2.963	.116
Error	220.519	10	22.052		

Γενικά, παρατηρείται μια αύξηση των κόμβων σε σχέση με τον χρόνο και στα δύο θερμοκήπια ωστόσο είναι ένα διαστημα που στο θερμοκήπιο με το super thermic + NIR υλικό κάλυψης βλέπουμε μια έντονη μείωση των αριθμο των κόμβων αλλά στην συνέχεια ακολουθεί ξανά άυξηση. Ακόμη, καθόλη την διάρκεια των μετρήσεων το θερμοκήπιο του μάρτυρα παρουσιάζει μεγαλύτερ αριθμό κόμβων.

Η αύξηση του αριθμού των κόμβων και στα δύο θερμοκήπια ήταν παρόμοια. Παρατηρούμε μια μείωση του αριθμού αυτού από τις 9/12 έως τις 23/12, ο οποία στο θερμοκήπιο με το μάρτυρα είναι αμελητέα ενώ πιο έντονη είναι στο θερμοκήπιο με το super thermic + NIR υλικό κάλυψης.

Το Σχήμα 8 που ακολουθεί δείχνει την εξέλιξη του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων των φυτών στα δύο θερμοκήπια, παρατηρώντας το Σχήμα 8 φαίνεται να μην παρουσιάζει διαφορές. Παρατηρώντας την στατιστική ανάλυση στον Πίνακα 16 διαπιστώθηκε ότι πράγματι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων καθώς η σημαντικότητα είναι μεγαλύτερη του 0,05 (sig=).



**Σχήμα 8:** Η εξέλιξη των τιμών του μήκους των μεσογονάτιων.

## **Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα:**

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η επίδραση ενός ανακλαστικού της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας υλικού κάλυψης, που ήταν το super thermic + NIR, στην παραγωγή τομάτας, σε σύγκριση με ένα άλλο υλικό κάλυψης το πολυαιθυλένιο, κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Οι μετρήσεις που αναλύθηκαν για την λήψη αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων ήταν οι αγρονομικές μετρήσεις.

Οι αγρονομικές μετρήσεις έδειξαν ότι τα φυτά στο θερμοκήπιο του μάρτυρα υπερέιχαν έναντι του θερμοκηπίου με το super thermic + NIR υλικό κάλυψης. Αρκετές φορές τα αποτελέσματα ταίριαζαν με αντίστοιχα προηγούμενων αναφορών. Ωστόσο, οι διαφορές που προέκυψαν δεν ήταν στατιστικά σημαντικές και έτσι συμπεραίνουμε ότι το υλικό κάλυψης Super thermic + high NIR reflection δεν επιδρά αρνητικά σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη και στην απόδοση της καλλιέργεια μας κατά την διάρκεια του χειμώνα.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω αλλά και με προηγούμενες αναφορές ένα υλικό κάλυψης που ανακλά την θερμική ακτινοβολία όπως το Super thermic + high NIR reflection μπορεί να χρησιμοποιηθεί το καλοκαίρι στο θερμοκήπιο ως ένας οικονομικός τρόπος δροσισμού χωρίς να επηρεάζεται η φωτοσυνθετική δράση αλλά και τον χειμώνα χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά το κλίμα και η ανάπτυξη της καλλιέργειας μας.

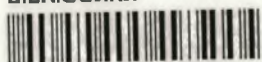
## **Βιβλιογραφία:**

1. Al – Amiri, A.M.S. 2000: Comparative use of greenhouse cover material and their effectiveness in evaporative cooling systems under conditions in Eastern Province of Saudi Arabia. *A.M.A. Agriculture Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 31, I 2 , 61-66
2. Acridiacono, C., D' Emilio. A., Mazzarella, A., Leonardi, A., 1997. Covering materials to improve greenhouse microclimate during summer in hot climates.
3. Cemek, B., Demir, Y., Uzum, S., Ceyhan, V., 2006. The effects of defferent greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine *Energy* 31, 12, 1444 – 1452
4. Garcia A., Gonzalez, A. 2003. New cool plastic films for greenhouse covering in tropical and subtropical areas.
5. Hemming, S. Nico vander Braak, 2003. Greenhouse cooling by NIR reflection
6. Heuvelink, E., Gonzalez – Real, M. M., 2008. Innovation in plant – greenhouses interactions and crop management *Acta Horticulture* 801, 1, 63 – 74.
7. Impron, I., Hemming, S., 2007. Effects of cover properties ventilation rate, and crop management. *Acta Horticultae* 801, 1, 259 – 265.
8. Internet: [www.agrek.gr/thermokipia-agrek-main.html](http://www.agrek.gr/thermokipia-agrek-main.html)
9. Internet: [www.agrek.gr/exoplismoi.html](http://www.agrek.gr/exoplismoi.html)
10. Internet: [www.ekk.aua.gr/seminar/seminar08.pdf](http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar08.pdf)
11. Internet: [el.wikipedia.org/wiki/Θερμοκήπιο](http://el.wikipedia.org/wiki/Θερμοκήπιο)
12. Internet: <http://www.hydroponicfarm.gr/hydroponicsgr.html>
13. Internet: [http://www.hydrogrown.com.cy/greek/about\\_hydroponics.asp](http://www.hydrogrown.com.cy/greek/about_hydroponics.asp)
14. Internet: [www.plastikakritis.com](http://www.plastikakritis.com)
15. Kempkes, F., Stranghellini, C., Hemming, S., Dai, J., 2008. Cover materials ercluding near infrared radiation: Effext on greenhouse climate and plant precesses *Acta Horticulture*, 797, 477 – 482.
16. Lopez – Marin, J., Gonzalez, A., Garcia – Alonso, Y., Espi, E., Salmeron, A., Fontecha , Ab, Real, A.I., 2008. Use of cool plastic films for greenhouse covering in Southern Spain. *Acta Horticulturae*, 801, 1, 181 – 186.

17. Mutwiwa, U. N., Von Elsner, B. Tantan, H. J., Max, J.F.J., 2008. Cooling naturally ventilated greenhouse in the tropics by near – infrared reflection, *Acta Horticulture*, 801, 1, 259 – 265.
18. Ozturk, H.H., Bascetincelik, A. 2003. Effects of thermal screens on the microclimate and overall heat loss coefficient in plastic tunnel greenhouse. *Turkish Journal of Agriculture and forestry* 27, 3, 123 – 134.
19. Papadopoulos, A.P., Hao, X., 1997. Effects of greenhouses cover on seedless cucumber growth, productivity and energy use. *Scientia Horticulturae* 68, 1-4, 3, 113 – 123.
20. Papadopoulos, A.P., Hao, X, 1997. Effects of three greenhouses cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae* 70, 2-3, 165 – 178.
21. Sonneveld, P.J., Holterman, H.J., Swinkels, G.L.A.M., Van Tuijl, B.A.J., Bot, G.P.A., 2008. Solar energy delivering greenhouse with an integrated NIR filter. *Acta Horticulturae* 801, 1, 703 – 710.
22. Runkle, E. S., Heins, R. D., Jaster, P., Thill, C. Plant responses under an experimental near infra – red reflecting greenhouse film, *Acta Horticulturae*
23. Runkle, E. S., Heins, R. D., Jaster, P., Thill, C. Environmental conditions under an experimental near infra – red reflecting greenhouse film.
24. Sonneveld, P.J., Swinkels, G.L.A.M., Kemkes, F., Campen, J.B., Bot, G.P.A, 2006. Greenhouse with an integrated NIR filter and a solar cooling system *Acta Horticulture*, 719, 123 – 130.
25. Vanthoor, B., Stanghellini, C., Van Herten, E., Gazquez Garrido J.C., 2008. The combined effects of cover design parameters on tomato production of a passive greenhouse. *Acta Horticulturae*, 801, 1, 383 – 391.
26. Y. Zhang, L. Gauthier, D. de Halleux, B. Danserean, A. Gosselin, 1995. Effects of covering materials on energy consumption and greenhouse microclimate.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000111655