



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Αριθμ. Πρωτοκ. 485  
Ημερομηνία 26-2-2015

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

**Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος**

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΙΠΛΟΥ ΦΥΛΛΟΥ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ  
ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ»**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ  
ΤΟΥΝΑ ΑΝΔΡΙΑΝΝΑ Α.Μ.1303**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Κατσούλας  
Βόλος 2015**



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

Αριθ. Εισ.: 13870/1  
Ημερ. Εισ.: 13/3/2015  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ  
2015  
ΤΟΥ

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος**

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΙΠΛΟΥ ΦΥΛΛΟΥ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ  
ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ»**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ  
ΤΟΥΝΑ ΑΝΔΡΙΑΝΝΑ Α.Μ.1303**

Εγκρίθηκε από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή τον Φεβρουάριο του 2015:

(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)
.....	.....	.....
N. Κατσούλας Επικ. Καθηγητής ΠΘ	K. Κίττας Καθηγητής ΠΘ	Θ. Μπαρτζάνας Εευνητής Β ΕΚΕΤΑ

ΒΟΛΟΣ 2015

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Κίττα Κωνσταντίνο, Καθηγητή Π.Θ. που ως Διευθυντής του Εργαστηρίου των Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, δέχτηκε την ένταξή μου στο δυναμικό του εργαστηρίου.

Έπειτα, τις μεγαλύτερες ευχαριστίες μου τις οφείλω στον Δρ. Κατσούλα Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή Π.Θ., που ως Επιβλέπων Καθηγητής με στήριξε υπομονετικά σε όλη αυτή την προσπάθειά μου, με καθοδήγησε και με δίδαξε μέχρι να μπορέσω να ολοκληρώσω την παρούσα διατριβή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Θ. Μπαρτζάνα Εευνητή Β ΕΚΕΤΑ για την συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή και το χρόνο που αφιέρωσε για την διόρθωση αυτής της πτυχιακής διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Πλαστικά Κρήτης ΑΒΕΕ για την βοήθειά τους, καθώς παραχώρησαν τα απαραίτητα υλικά κάλυψης για την διεξαγωγή του πειράματος της διατριβής.

Ευχαριστώ τους συναδέλφους κ. Μερκούρη Οδυσσέα και κ. Καμηλαράκη Βασιλική για την πολύτιμη βοήθειά τους στο πειραματικό μέρος της διατριβής.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την στήριξη και την κατανόησή της.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σελ.

Σχήμα 1.1 Παγκόσμια έκταση καλλιεργούμενων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων.....	5
Σχήμα 1.2 Έκταση καλλιεργούμενων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στην Ευρώπη.....	5
Σχήμα 1.3 Έκταση καλλιεργούμενων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα.....	6
Σχήμα 1.4 Διαχωρισμός καλλιεργειών στην Ελλάδα.....	7
Σχήμα 1.5 Διαχωρισμός θερμοκηπιακών κηπευτικών στην Ελλάδα.....	7
Σχήμα 1.6 Διάχυση φωτός.....	17
Σχήμα 1.7 Αντισταγονική προστασία.....	18
Σχήμα 1.8 Απομάκρυνση της υπέρυθρης ακτινοβολίας.....	18
Σχήμα 3.1 Διαπερατότητα υλικών κάλυψης.....	32
Σχήμα 3.2 Σύσταση θρεπτικού διαλύματος της καλλιέργειας.....	38
Σχήμα 4.1 Εξέλιξη του ύψους βλαστών των φυτών.....	43
Σχήμα 4.2 Μέσοι όροι του αριθμού των ταξιανθιών ανα φυτό.....	44
Σχήμα 4.3 Πορεία φυλλικής επιφάνειας.....	45
Σχήμα 4.4 Πορεία του δείκτη φυλλικής επιφάνειας.....	45
Σχήμα 4.5 Εξέλιξη του μέσου νωπού βάρους των βλαστών.....	46
Σχήμα 4.6 Εξέλιξη του μέσου ξηρού βάρους των βλαστών.....	47
Σχήμα 4.7 Εξέλιξη του μέσου νωπού βάρους των φύλλων.....	47
Σχήμα 4.8 Εξέλιξη του μέσου ξηρού βάρους των φύλλων.....	48
Σχήμα 4.9 Αριθμός εμπορεύσιμων καρπών.....	49
Σχήμα 4.10 Βάρος εμπορεύσιμων καρπών.....	49

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Σελ.

<u>Πίνακας 1.1</u>	Περατότητα ακτινοβολίας υλικών κάλυψης.....	14
<u>Πίνακας 1.2</u>	Διάρκεια ωφέλιμης χρήσης πολυαιθυλενίου.....	16
<u>Πίνακας 2.1</u>	Υπεριώδης ακτινοβολία.....	25
<u>Πίνακας 2.2</u>	Υπέρυθρη ακτινοβολία.....	27
<u>Πίνακας 3.1</u>	Χαρακτηριστικά υλικών κάλυψης πειράματος.....	31
<u>Πίνακας 3.2</u>	Ημερομηνίες μετρήσεων.....	40
<u>Πίνακας 4.1</u>	Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις ύψους βλαστών.....	43

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένας από τους παράγοντες που λειτουργούν καταλυτικά στην αποδοτικότητα του θερμοκηπίου είναι η κατανομή και η ποιότητα του φωτός που χρησιμοποιεί η καλλιέργεια. Οι διαφορετικοί τύποι υλικών κάλυψης καθώς και ο συνδυασμός αυτών αποτελεί βασικό συστατικό στην δημιουργία ενός πιο αποδοτικού θερμοκηπίου.

Στην παρούσα διατριβή έγινε διερεύνηση της επίδρασης διαφορετικών υλικών κάλυψης στην ανάπτυξη και στην παραγωγικότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας.

Με τη χορήγηση της εταιρίας Πλαστικά Κρήτης ABEE, χρησιμοποιήθηκαν ένα διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου (Double), ένα φύλλο με μεγάλη ικανότητα διάχυσης του φωτός (Diffuse), και ένα απλό φύλλο πολυαιθυλενίου ως μάρτυρας (Clear) σε 3 θερμοκήπια στην περιοχή του Βελεσίνου.

Η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας και η μεγάλη ικανότητα διάχυσης του φωτός, είχε θετική επίδραση στην απόδοση και στη δημιουργία ευνοϊκότερου μικροκλίματος στο θερμοκήπιο Diffuse θερμοκήπιο κατά την διάρκεια της εαρινής περιόδου.

Στο Clear θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι ακραίες τιμές θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας οδήγησαν σε δραματική πτώση της απόδοσης.

Το Double θερμοκήπιο είχε υψηλότερη απόδοση από το Clear κατά τη διάρκεια της εαρινής καλλιέργειας.

## Abstract

One of the factors that catalytic efficiency of the greenhouse is the distribution and quality of light used by the crop. Different types of cover materials and the combination of these is a key component in creating a more efficient greenhouse.

The aim of this study was to investigate the effects of different greenhouse covering materials on the growth and the yield of a hydroponic tomato crop.

With administration of Crete Plastics Company SA, used a double sheet of polyethylene (Double), a sheet with high diffusivity of light (Diffuse), and a single sheet of polyethylene as a control (Clear) in 3 greenhouses of area Velestino.

The reduction of solar radiation and the high capacity of diffusion, had a positive impact on performance and creating a more favorable microclimate in the greenhouse Diffuse, during the spring season.

The Clear during the summer extremes of temperature and solar radiation values led to a dramatic drop in performance.

The Double had outperformed the Clear during the spring crop.



<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>Σελ.</b>
<b>Εισαγωγή</b> .....	1
<b>Σκοπός και Δομή</b> .....	2
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Εισαγωγή στα Θερμοκήπια</b> .....	3
1.1 Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις.....	4
1.2. Προβλήματα ελληνικών θερμοκηπιακών κατασκευών.....	8
1.2.1 Προβλήματα κατά τη διάρκεια τουκαλοκαιριού.....	9
1.3 Υλικά κάλυψης.....	13
1.3.1 Πολυαιθυλένιο (PE).....	15
1.3.2 Σύγχρονα πλαστικά πολυαιθυλενίου.....	17
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Βιβλιογραφική Ανασκόπηση</b> .....	21
2.1 Το περιβάλλον του θερμοκηπίου.....	22
2.1.1 Θερμοκρασία.....	22
2.1.2 Υγρασία.....	22
2.1.3 Επίδραση υλικών κάλυψης στο περιβάλλον του θερμοκηπίου και την καλλιέργεια....	24
2.1.4 Ακτινοβολία.....	24
2.1.4.1 Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία.....	27
2.1.4.2 Σχέση υλικού κάλυψης και διάχυσης.....	27
2.1.4.3 Επίδραση διάχυσης στο περιβάλλον του θερμοκηπίου και την καλλιέργεια.....	28
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Υλικά και Μέθοδοι</b> .....	29
3.1 Πειραματικός αγρός.....	30
3.2 Τα θερμοκήπια.....	30
3.3 Υλικά κάλυψης.....	31
3.4 Επιλογή φυτών.....	32

3.5 Εγκατάσταση καλλιέργειας.....	33
3.6 Καλλιεργητικές τεχνικές.....	37
3.7 Άρδευση και Λίπανση.....	38
3.8 Θέρμανση.....	39
3.9 Αερισμός.....	39
3.10 Μετρήσεις.....	40
3.10.1 Μη καταστροφικές μετρήσεις.....	40
3.10.2 Φυλλική επιφάνεια.....	41
3.10.3 Καταστροφικές μετρήσεις.....	41
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Αποτελέσματα.....</b>	<b>42</b>
4.1 Αγρονομικές μετρήσεις (μη καταστροφικές).....	43
4.1.1 Ύψος βλαστών.....	43
4.1.2 Αριθμός ταξιανθιών.....	44
4.1.3 Φυλλική επιφάνεια.....	45
4.2 Αγρονομικές μετρήσεις (καταστροφικές).....	45
4.2.1 Μετρήσεις βλαστών.....	45
4.2.2 Μετρήσεις φύλλων.....	47
4.3 Απόδοση καλλιέργειας.....	49
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Συζήτηση και Συμπεράσματα.....</b>	<b>52</b>
5.1 Αγρονομικά στοιχεία και αποδόσεις.....	53
5.2 Συμπεράσματα.....	54
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>56</b>
<b>Παράρτημα.....</b>	<b>58</b>

## Εισαγωγή

Τα θερμοκήπια αποτελούν ένα σύγχρονο τρόπο καλλιέργειας και έχουν αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία 30 χρόνια, λόγω των αυξημένων αναγκών για λαχανικά και καλλωπιστικά φυτά κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου. Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες είναι απαλλαγμένες από ακραίες κλιματολογικές συνθήκες ενώ παράλληλα προστατεύονται ως ένα βαθμό από φυσικούς εχθρούς (έντομα, παράσιτα). Τα θερμοκήπια παρέχουν την δυνατότητα να δημιουργηθεί το κατάλληλο μικροκλίμα για οποιαδήποτε καλλιέργεια σε περιοχές ανεξάρτητα από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν. Αυτού του είδους η καλλιέργεια απαιτεί την εισαγωγή νέων τεχνολογιών, νέων μεθόδων κλιματισμού καθώς και νέων υλικών κάλυψης. Έτσι κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, βελτιώθηκε το μικροκλίμα του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής.

Η ορθολογική ρύθμιση του περιβάλλοντος μέσα στο θερμοκήπιο εξαρτάται από την δυνατότητα που έχει ο παραγωγός να συνδυάσει κατάλληλα τα εργαλεία και τις γνώσεις που έχει, με σκοπό να ελεγχθούν επαρκώς οι βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν το μικροκλίμα (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, CO<sub>2</sub>).

Συνοψίζοντας, ένας παράγοντας ο οποίος λειτουργεί καταλυτικά στην αποδοτικότητα του θερμοκηπίου είναι η κατανομή και η ποιότητα του φωτός που χρησιμοποιεί η καλλιέργεια. Οι διαφορετικοί τύποι υλικών κάλυψης καθώς και ο συνδυασμός αυτών αποτελεί βασικό συστατικό στην δημιουργία ενός πιο αποδοτικού θερμοκηπίου.

## Σκοπός και Δομή

Στην παρούσα διατριβή γίνεται δοκιμή πλαστικών υλικών κάλυψης με διαφορετικές οπτικές ιδιότητες, με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση τους στη διάχυση του φωτός, στο μικροκλίμα και τέλος στην καλλιέργεια.

Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν ένα διπλό φουσκωτό κάλυμμα το οποίο έχει την ιδιότητα μόνωσης του θερμοκηπίου, έπειτα ένα φύλλο με ιδιότητες διάχυσης του φωτός και τέλος ένα απλό φύλλο πολυαιθυλενίου το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα σαν μάρτυρας.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μία εισαγωγή για την εξάπλωση των θερμοκηπίων παγκόσμια και στην Ελλάδα, για τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι παραγωγοί όσον αφορά την ανάγκη για θέρμανση των θερμοκηπίων τον χειμώνα και για δροσισμό το καλοκαίρι, καθώς και για τα σύγχρονα υλικά κάλυψης, στην προσπάθεια επίλυσης αυτών των προβλημάτων.

Στο κεφάλαιο 2 της εργασίας γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνών προηγούμενων ετών σχετικά με την επίδραση της διάχυσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας, καθώς και την επίδραση διαφορετικών υλικών κάλυψης τόσο στο μικροκλίμα όσο και στην συμπεριφορά των φυτών.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα υλικά και η μεθοδολογία του πειράματος.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων που έγιναν κατά την διάρκεια του πειράματος.

Στο κεφάλαιο 5 αναλύονται και συζητούνται οι οπτικές ιδιότητες των καλυμμάτων, η ανάπτυξη και η παραγωγή της καλλιέργειας για κάθε μεταχείριση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

## **Υδροπονία**

Η υδροπονία είναι μια τεχνολογικά εξελιγμένη μέθοδος γεωργικής παραγωγής στην οποία δε χρησιμοποιείται το φυσικό έδαφος για την ανάπτυξη της ρίζας του φυτού. Διεθνώς η χρήση της μεθόδου αυτής επεκτείνεται συνεχώς. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται πολύ περιορισμένα καθώς η έλλειψη τεχνογνωσίας περιορίζει τη χρήση της και όπου εφαρμόζεται είναι αμφίβολο κατά πόσο εφαρμόζεται ορθολογικά, ώστε να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που προσφέρει.

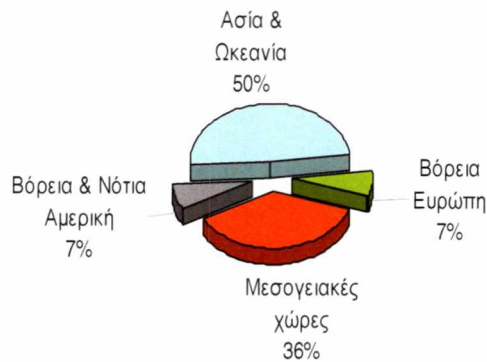
Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται είτε πάνω σε πορώδη αδρανή υποστρώματα στα οποία προστίθεται θρεπτικό διάλυμα ή σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα. Διεθνώς η υδροπονική καλλιέργεια επεκτείνεται συνεχώς, διότι με τη βελτίωση του περιβάλλοντος της ρίζας που επιτυγχάνει αυξάνονται οι αποδόσεις 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.

Συνήθως, η υδροπονική καλλιέργεια τομάτας πραγματοποιείται σε υποστρώματα όπως ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, η ελαφρόπετρα.

### **1.1. Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις**

Η μορφή και ο τύπος των θερμοκηπίων σε μια χώρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Για παράδειγμα, οι κλιματολογικές συνθήκες της κάθε χώρας, τα προϊόντα που παράγει, η ανάπτυξη της στην τεχνολογία καθώς και η οικονομία της, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, στις βόρειες χώρες (Ολλανδία) επικρατούν τα υαλόφρακτα θερμοκήπια και στις πιο νότιες (Μεσογειακές χώρες) τα θερμοκήπια με πλαστική κάλυψη. Σύμφωνα με την Eurostat, η έκταση των θερμοκηπίων σε παγκόσμιο επίπεδο, υπολογίζεται γύρω στα 3.000.000 στρέμματα (Σχήμα 1.1.) , χωρίς να περιλαμβάνονται οι κατασκευές της Κίνας οι οποίες είναι γύρω στις 13.000.000 .

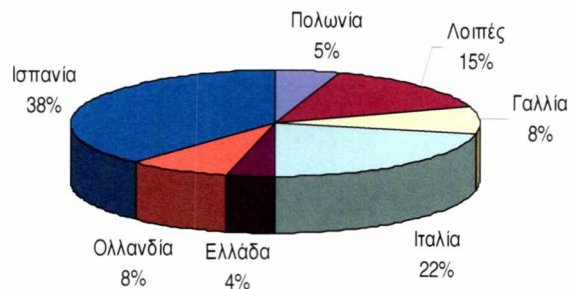
Παγκόσμια έκταση καλλιεργούμενων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων



Σχήμα 1.1

Το 2005 στην Ευρώπη ο αριθμός των θερμοκηπίων έφτασε τα 1.260.000 στρέμματα (Σχήμα 1.2) . Η Ισπανία κατέχει το 38% του συνόλου των εκτάσεων, η Ιταλία το 22% και η Ελλάδα μόλις το 4%. Οι άνθρωποι του συγκεκριμένου κλάδου πιστεύουν πως αν υπάρξει η βούληση, πολύ εύκολα ο αριθμός των 50.000 στρεμμάτων μπορεί να διπλασιαστεί.

Έκταση καλλιεργούμενων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2005 (Πηγή: EuroStat)

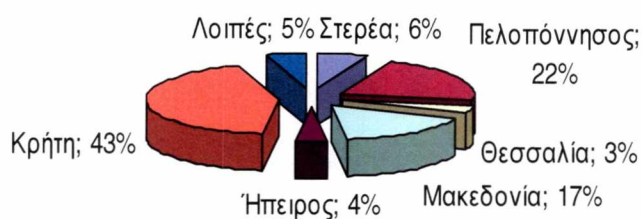


Σχήμα 1.2

Αυτή τη στιγμή στη χώρα μας υπάρχουν περίπου 50.000 στρέμματα με θερμοκήπια, στα οποία κυριαρχούν τα κηπευτικά. Ο μεγαλύτερος αριθμός με μεγάλη διαφορά βρίσκεται στην Κρήτη, και συγκεκριμένα στην Ιεράπετρα. Άλλες περιοχές με σημαντικό αριθμό θερμοκηπιακών καλλιεργειών είναι η Τριφυλία και η Πρέβεζα. (Κίττας, 2011)

Έκταση καλλιεργούμενων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων  
στην Ελλάδα το 2006.

(Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων)



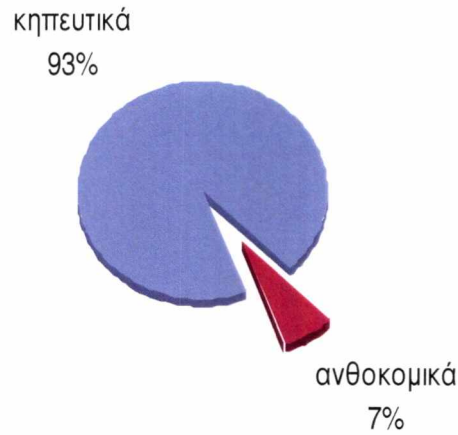
Σ

Σχήμα 1.3

Η Κρήτη και η Πελοπόννησος συγκεντρώνουν το 65% των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων της Ελλάδας, λόγω του κλίματος που επικρατεί σε αυτές τις περιοχές, με σχετικά ήπιους χειμώνες και υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να επιτρέπεται η παραγωγή γεωργικών προϊόντων σε μη θερμενόμενα θερμοκήπια στη νότια Ελλάδα σε αντίθεση με τη βόρεια (Σχήμα 1.3) .



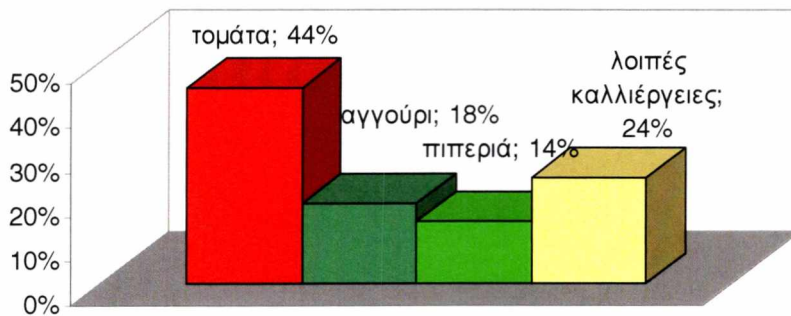
### Διαχωρισμός θερμοκηπιακών καλλιεργειών στην Ελλάδα το 2006 (Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων)



Σχήμα 1.4

Τα είδη των κηπευτικών (Σχήμα 1.4) που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια της Ελλάδας είναι κατά πλειοψηφία η τομάτα και το αγγούρι με ποσοστό 62% (Σχήμα 1.5) .

### Διαχωρισμός θερμοκηπιακών κηπευτικών καλλιεργειών στην Ελλάδα το 2006 (Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων)



Σχήμα 1.5

## **Καλλιέργεια και αποδόσεις τομάτας**

Σήμερα, η ντομάτα καλλιεργείται σε όλες τις ηπείρους και αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή και εμπορικά κηπευτικά στον κόσμο. Στην Ελλάδα ήρθε στις πρώτες δεκαετίες του 1800 και πλέον καλλιεργείται σχεδόν σε όλη τη χώρα. Ο τομέας παραγωγής τομάτας για μεταποίηση κατείχε περίοπτη θέση μεταξύ των κλάδων της αγροτικής οικονομίας της χώρας, για μια μεγάλη σειρά ετών έως και το έτος 2004, χρονιά που αποτέλεσε αφετηρία συνεχούς πτωτικής πορείας. Έτσι ενώ το 2004 καλλιεργήθηκαν 183.000 στρέμματα με παραγωγή 1.187.000 τόνους πρώτης ύλης και 237.000 τόνους τελικών προϊόντων, το 2011 κατέληξε να καλλιεργηθεί έκταση μόλις 40.000 στρεμμάτων με παραγωγή 330.000 τόνους σε πρώτη ύλη και 84.000 τόνους σε τελικά προϊόντα. ([www.minagric.gr](http://www.minagric.gr))

## **1.2. Προβλήματα ελληνικών θερμοκηπιακών κατασκευών**

Η αποδοτικότερη ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια της έρευνας, όσον αφορά στο περιβάλλον που αναπτύσσεται το φυτό. Συγκεκριμένα σε θερμοκήπιο με εξειδικευμένο εξοπλισμό μπορεί να επιτευχθεί χρονικός προγραμματισμός παραγωγής καθώς και αύξηση της παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας. (Μαυρογιαννόπουλος 2005)

Οι κατασκευές στην χώρα μας αλλά και σε πολλές Μεσογειακές χώρες αντιμετωπίζουν αρκετά προβλήματα. Αρχικά η έλλειψη τεχνογνωσίας των παραγωγών και οι συνθήκες που επικρατούν στον ελλαδικό χώρο έχουν σαν αποτέλεσμα τα εξελιγμένα θερμοκήπια να είναι λιγότερα λόγω του υψηλού κόστους τους, καθώς οι παραγωγοί επιλέγουν τα απλά. Έτσι, παρόλο που η χώρα μας έχει ευνοϊκό κλίμα δεν ισχύει το ίδιο και για το περιβάλλον των θερμοκηπίων στο οποίο αναπτύσσονται τα φυτά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μια σειρά προβλημάτων που επικρατούν στο κλίμα των θερμοκηπίων.

Αρχικά, το κυριότερο πρόβλημα είναι η δυσκολία ρύθμισης της θερμοκρασίας και της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες. Τα περισσότερα θερμοκήπια δεν διαθέτουν συστήματα θέρμανσης με αποτέλεσμα να εμφανίζεται

το θερμικό και υδατικό στρεσάρισμα των φυτών καθώς και η μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας.

### **1.2.1. Προβλήματα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού**

Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα θερμοκήπια τους καλοκαιρινούς μήνες είναι η υπερβολική άνοδος της θερμοκρασίας του αέρα των θερμοκηπίων. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η θερμοκρασία στα θερμοκήπια συχνά ανεβαίνει ακόμη και πάνω από τους 40 °C τόσο εξαιτίας της υψηλής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, όσο και εξαιτίας του ανεπαρκούς αερισμού σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες των μεσογειακών χωρών. Συνεπώς, αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο εξαερισμό και δροσισμό, ώστε να υπάρχει ο συνδυασμός της σωστής θερμοκρασίας και υγρασίας μέσα στο χώρο στον οποίο αναπτύσσονται τα φυτά.

Προς το τέλος της άνοιξης, όταν οι θερμοκρασίες ημέρας γίνονται πάρα πολύ υψηλές, μπορεί να χρειαστεί κάποια σκίαση στο θερμοκήπιο. Τα υλικά σκίασης πρέπει να αφαιρούνται στα μέσα του φθινοπώρου (κουρτίνα, εξωτερικά σκίαστρα, υλικά κάλυψης με ικανότητα διάχυσης του φωτός). Για το φυσικό εξαερισμό του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται παράθυρα οροφής και πλευρικά παράθυρα. Για να υπάρχει ικανοποιητικός εξαερισμός στη Νότια Ελλάδα, απαιτείται η επιφάνεια του ανοίγματος των παραθύρων να αποτελεί το 25% της καλυμμένης, από το θερμοκήπιο, επιφάνειας. Ο κατάλληλος εξαερισμός είναι σημαντικός όχι μόνο για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, αλλά και για τον έλεγχο της σχετικής υγρασίας του χώρου και να αναπληρωθεί το διοξείδιο του άνθρακα. Η ψύξη με εξάτμιση νερού (δροσισμός) είναι ένας αποδοτικός και οικονομικός τρόπος να μειωθούν σημαντικά οι υψηλές θερμοκρασίες του θερμοκηπίου το καλοκαίρι (υγρή παρειά, fog system) . Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα υπάρχουν οι παρακάτω τρόποι:

Αρχικά, με την ανάδευση δημιουργούνται ομοιόμορφες συνθήκες περιβάλλοντος σε όλο το χώρο του θερμοκηπίου. Έπειτα, με τον εξαερισμό περιορίζεται η αύξηση της θερμοκρασίας καθώς και η συγκέντρωση των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα.

Ο εξαερισμός του θερμοκηπίου μπορεί να είναι:

α) φυσικός, όπου η κίνηση του αέρα οφείλεται στις διαφορές πίεσης που δημιουργούνται λόγω στιγμιαίων φυσικών συνθηκών και πραγματοποιείται με ανοίγματα στα πλάγια και στην οροφή των θερμοκηπίων (Εικόνα 1.1.) .



Εικόνα 1.1 Φυσικός εξαερισμός με πλευρικά παράθυρα

β) δυναμικός, όπου η κίνηση του αέρα οφείλεται στις διαφορές πίεσης από ειδικές τεχνητές συνθήκες. Η τεχνητή διαφορά πίεσης επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτροκίνητων ανεμιστήρων ή εξαεριστήρων (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2 Εξαεριστήρες θερμοκηπίων

- Δροσισμός με εξάτμιση νερού

Με τον όρο δροσισμό των θερμοκηπίων εννοούμε την μείωση της θερμοκρασίας των χώρων τους με εξάτμιση νερού. Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι τα εξής: ποτίσματα, εκτόξευση νερού σε μορφή λεπτών σταγόνων (Εικόνα 1.4) διαβροχή φυτών, διαβροχή εδάφους, βίαιη ροή αέρα μέσα από υγρά διαπερατά πετάσματα (Εικόνα 1.3).



**Εικόνα 1.3** Πανελ δροσισμού



**Εικόνα 1.4** Πολύ λεπτές σταγόνες που δημιουργεί το σύστημα ομίχλης μειώνουν την θερμοκρασία

Έπειτα ακολουθούν και άλλα προβλήματα όπως:

- Συνήθως ανεπαρκής είναι η μηχανική αντοχή των θερμοκηπίων σε φορτία από τον άνεμο, το χιόνι
- Οι διαστάσεις και το μέγεθος των θερμοκηπίων είναι ακατάλληλα και πολλές φορές είναι αδύνατη η είσοδος μηχανημάτων και η μετακίνηση τους για την εκτέλεση διαφόρων εργασιών
- Η κλίση της οροφής σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η απομάκρυνση των σταγόνων νερού και η κίνηση του αέρα. Η κλίση πρέπει να είναι τουλάχιστον 28°
- Ο φωτισμός στα μεσογειακά θερμοκήπια είναι γενικά μικρός εξαιτίας των οροφών που έχουν μικρές κλίσεις, αλλά και της συσσωρευμένης σκόνης στα υλικά κάλυψης και στην ύπαρξη υγρασίας.
- Η ποιότητα των φύλλων πλαστικού που χρησιμοποιούνται πολλές φορές αλλά και ο τρόπος τοποθέτησής τους, δεν είναι ικανοποιητικοί. (Μαυρογιαννόπουλος 2005)

### **1.3. Υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων**

Καθοριστικό ρόλο στην ποσότητα και την ποιότητα του φωτός που εισέρχεται στον χώρο φυτών παίζει το διαφανές υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων. Ένα υλικό κάλυψης μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιδανικό, εφόσον επιτρέπει να διέρχεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα φωτισμού και ευνοεί τη διάχυση του ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στον χώρο. Η ακτίνα φωτός που πέφτει πάνω σε ένα διαφανές υλικό κάλυψης μπορεί: να ανακλαστεί πάνω στο υλικό, να απορροφηθεί από αυτό και να διέλθει μέσα από αυτό. Στην προκειμένη περίπτωση των θερμοκηπίων, όλα τα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών μήκη κύματος του φωτός, θα πρέπει να διέρχονται μέσα από αυτό και όχι να ανακλώνται ή να απορροφούνται.

Ως ποσοστό διέλευσης της ακτινοβολίας ορίζεται:

$$\% \text{ ποσοστό διέλευσης} = \frac{\text{διερχόμενος φωτισμός}}{\text{προσβάλλων φωτισμός}} \times 100$$

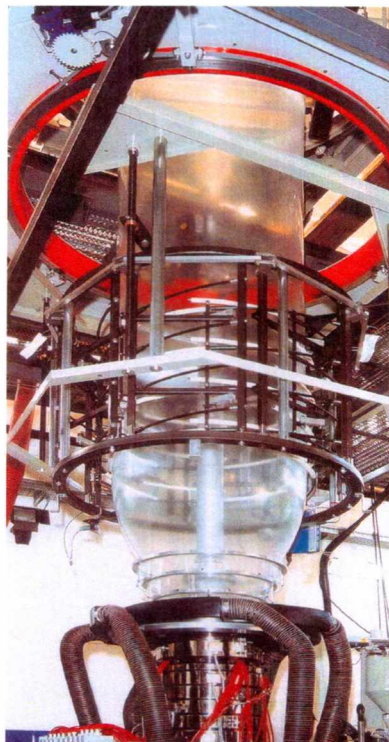
Σημαντική ιδιότητα των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων είναι η περατότητα ή μη στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία. (Πίνακας 1.1). Ορισμένα υλικά κάλυψης είναι περατά στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία, ενώ άλλα είναι λιγότερο ή καθόλου περατά. Αυτά τα οποία δεν είναι περατά εμφανίζουν το λεγόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Έτσι, ενώ επιτρέπουν την είσοδο της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της μέρας μέσα στο θερμοκήπιο, ταυτόχρονα δεν επιτρέπουν την έξοδο της μεγάλης μήκους κύματος ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα φυτά και το έδαφος, με αποτέλεσμα να παγιδεύεται θερμότητα στην οποία οφείλεται το 30% της αύξησης της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου. (Μαυρογιαννόπουλος 2005)

Υλικά	Ποσοστό % διέλευσης ακτινοβολίας			Διάρκεια ωφέλιμης χρήσης σε έτη
	Φωτεινή ακτινοβολία		Θερμική ακτινοβολία	
	Απευθείας φως	Διάχυτο φως		
Πολυαιθυλένιο φύλλο με U.V.	89-91	81	40-60	1-5
Πολυαιθυλένιο φύλλο καλής ποιότητας	87-90	81	20-40	3-5
Διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου με απόσταση 100mm	77	62		3-5
EVA φύλλο	90-91	82	20-40	4-5
Πολυαιστέρας φύλλο	86-90	82	16	7-10
ETFE φύλλο	93-94	88	15-20	15-20
Tedlar PVF φύλλο	91-94	84	33	10-15
PCV διαφανές φύλλο	85-91	80	17	4-6
Υαλοπίνακας 4mm	89-91	82	0	25
Υαλοπίνακας με αντιανακλαστική επίστρωση	95-96	92	0	25

**Πίνακας 1.1** Περαιτότητα στη μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία των υλικών



### 1.3.1. Πολυαιθυλένιο PE



**Εικόνα 1.5** Παραγωγή φύλλου Πολυαιθυλενίου στο εργοστάσιο

Το πολυαιθυλένιο παράγεται με πολυμερισμό από το αέριο αιθυλένιο (Εικόνα 1.5). Συνήθως τα πολυμερή είναι κλασματικά προϊόντα της νάφθας, που υποβάλλονται σε πολυμερισμό. Έχει καταλάβει την πρώτη θέση μεταξύ αυτών, λόγω ιδιοτήτων και κόστους του.

Στο πολυαιθυλένιο που προορίζεται για την κάλυψη των θερμοκηπίων, προστίθενται αντιοξειδωτικές ουσίες και διάφορες ενώσεις για την απορρόφηση των υπεριωδών ακτινών αλλά και ελαστικές ενώσεις που καθιστούν το πλαστικό πιο εύκαμπτο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα πλαστικά αυτά να μην είναι πολύ περατά στη θερμική ακτινοβολία και να κρατούν τη δομή τους για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Πίνακας 1.2). Στα θερμοκήπια σήμερα είναι απαραίτητη η προσθήκη παραγόντων που τα καθιστούν ανθεκτικά στη υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία με το πέρασμα του χρόνου τα κάνει πιο σκούρα, εύθραυστο και τέλος το καταστρέφει.

Ιδιότητες πλαστικών φύλλων

- Οπτικές
  - Θερμομονωτικές και δροσιστικές
  - Μηχανικές
  - Αντισταγονικές / αντιομιχλικές
  - Έλεγχος ασθενειών
- Φωτοεπιλεκτικά φύλλα (Μ.Β. Κυκριλής 2008)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του πολυαιθυλενίου, από τη στιγμή που τοποθετείται σε θερμοκήπιο.

ΜΕΣΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		
Πάχος φύλλου	Κανονικό Πολυαιθυλένιο	Πολυαιθυλένιο με πρόσθετα, ανθεκτικό στην UV
0,10mm	6-9 μήνες	12-22 μήνες
0,15mm	10-11 μήνες	18-28 μήνες
0,20mm	12-18 μήνες	

**Πίνακας 1.2**

Το πολυαιθυλένιο επί πλέον:

- Επιτρέπει τη μεγαλύτερη δυνατή διαπερατότητα φωτός στο θερμοκήπιο (88-92%).
- Έχει μεγάλη ευελιξία συνδυασμού με άλλα πολυμερή και πρόσθετα.
- Διαθέτει πολύ ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες.
- Είναι το οικονομικότερο υλικό κάλυψης.

Η κυριότερη αιτία καταστροφής του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου είναι η υπεριώδης ακτινοβολία (UVA, UVB). Για την προστασία του φύλλου από την ακτινοβολία αυτή κατά την παραγωγή του σταθεροποιείται, αυξάνοντας έτσι το χρόνο ζωής του. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό σταθεροποίησης τόσο μεγαλύτερος είναι και ο χρόνος ζωής του

πλαστικού φύλλου. Πλαστικά φύλλα που δεν είναι σταθεροποιημένα ως προς την υπεριώδη ακτινοβολία είναι ακατάλληλα για την κάλυψη θερμοκηπίου.

### **1.3.2.Σύγχρονα φύλλα πολυαιθυλενίου**

Η έρευνα για βελτίωση των θερμοκηπίων υπό κάλυψη και των συνθηκών που επικρατούν μέσα σε αυτά, οδήγησαν τα τελευταία χρόνια στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών όπως τα νέα υλικά κάλυψης. Με τη βοήθεια αυτή λοιπόν, παράγονται «πολυστρωματικά» φύλλα (από 3 στρώσεις και πάνω), ώστε να μπορούν να προστίθενται όσο το δυνατό περισσότερο υλικά, χωρίς τον κίνδυνο ασυμβατότητας ή αδρανοποίησης κάποιου.

Ορισμένες ιδιότητες των νέων υλικών είναι:

- Αυξημένη αντοχή (super-tough)

Μετά τη ρήση πολυμερών μεγάλης αντοχής, δημιουργήθηκαν φιλμ που αντέχουν σε δυνατούς ανέμους ή χαλάζι.

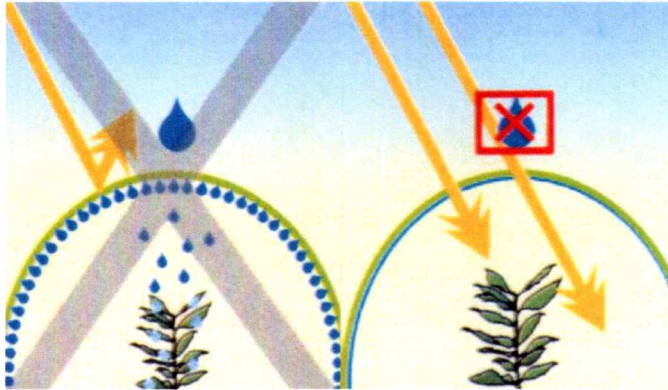
- Διάχυση του φωτός (light diffusion)



**Σχήμα 1.6** Διάχυση του φωτός (Plastika Kritis S.A.)

Διάχυση ονομάζεται το φαινόμενο, όπου η προσπίπτουσα ακτινοβολία συναντώντας το υλικό κάλυψης διασπάται σε μικρότερες ακτίνες (Σχήμα 1.6). Είναι ευρέως αποδεκτό ότι το διαχέον φως είναι πολύ πιο χρήσιμο στις καλλιέργειες από το απευθείας προσπίπτον, διότι δημιουργεί μεγαλύτερη ομοιομορφία φωτός και σχεδόν εκμηδενίζει τη σκίαση στα κατώτερα μέρη του φυτού. Επίσης μειώνει το σοκ στα φυτά και τα εγκαύματα που προξενούνται από την απευθείας προσπίπτουσα δυνατή ηλιακή ακτινοβολία. Τα πλαστικά φύλλα με μεγάλο ποσοστό διάχυσης (> 60%) αντανακλούν την NIR ακτινοβολία, προσφέροντας ήπιες συνθήκες δροσισμού, με τη μείωση της εισερχόμενης θερμότητας.

- Υψηλή φωτοδιαπερατότητα (High light transmission)
- Αντισταγονικές (Anti-dropping)



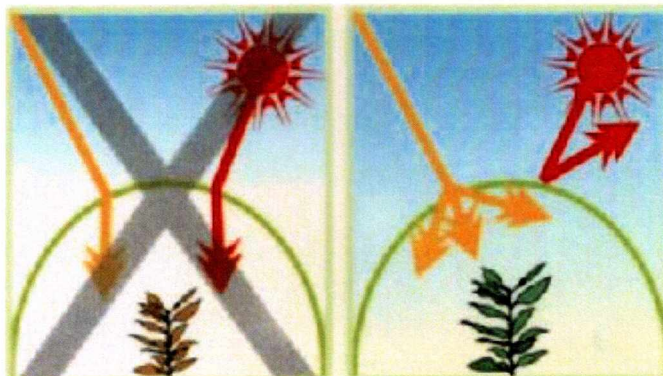
**Σχήμα 1.7** Αντισταγονική προστασία (Plastika Kritis S.A.)

Η υγρασία που συγκρατείται στην οροφή υπό τη μορφή σταγόνων, στην εσωτερική επιφάνεια του φύλλου, διαχέεται στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου, και εκδηλώνεται ως ομίχλη (Σχήμα 1.7). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται η μετάδοση του φωτός κατά 15-30%, καθώς και την εμφάνιση ασθενειών.

- Αντιομιχλικές (Anti-mist)

Το φαινόμενο της ομίχλης μέσα στο θερμοκήπιο, παρατηρείται συνήθως αργά το απόγευμα ή/και λίγο πριν ή μετά την ανατολή του ήλιου. Για να αποτρέψουμε το σχηματισμό ομίχλης, εφαρμόζονται ειδικά πρόσθετα που έχουν σαν βάση το φθόριο.

- Ψύξη (cooling films)



**Σχήμα 1.8** Απομάκρυνση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (Plastika Kritis S.A.)

Σε περιοχές όπου η ηλιοφάνεια είναι έντονη και γενικά ο καιρός είναι ζεστός, ολόένα και περισσότερες είναι οι απαιτήσεις σε φύλλα κάλυψης τα οποία θα μειώνουν την

υπερβολική θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό γίνεται εφικτό με φύλλα που περιέχουν ειδικό πρόσθετο με βάση το AI (πατέντα Πλαστικών Κρήτης), που απομακρύνει την NIR (υπέρυθρη) ακτινοβολία (Σχήμα 1.8),(Εικόνα 1.6).



**Εικόνα 1.6** αριστερά διάφανο φύλλο, δεξιά ασημί φύλλο (cooling film)

- Έλεγχος εχθρών (Disease control)

Έχουν αναπτυχθεί ορισμένα φύλλα κάλυψης τα οποία συμβάλλουν στην μείωση προσβολών από έντομα, τα οποία απουσία της UV ακτινοβολίας (όπως αλευρώδης, αφίδες, θρίπας) μειώνονται δραστικά. Αυτό έχει σαν συνέπεια τη μείωση και πολλών ιολογικών ασθενειών, καθώς τα έντομα αυτά είναι ξενιστές πολλών ιών.

- Φωτοεκλεκτικές (Photoselective)

Τα πλαστικά τρίτης γενεάς έχουν τις ιδιότητες των υλικών κάλυψης. Αυτές οι προσπάθειες γίνονται με σκοπό: α) την αύξηση της περατότητας στην περιοχή του φάσματος μεταξύ 400-700 nm (φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία PAR) που στοχεύει στον έλεγχο της παραγωγής και β) τη μείωση της υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας που στοχεύει στον έλεγχο των εχθρών και ασθενειών των καλλιεργειών. Τα απορροφητικά υλικά της UV-B (290-315 nm) και UV-A (315- 380 nm) ακτινοβολίας διαδόθηκαν τελευταία στο Ισραήλ και πολλοί ερευνητές αναφέρουν ότι τα UV-απορροφητικά υλικά επιδρούν θετικά στη μείωση των προσβολών των καλλιεργειών από έντομα. Τα πλαστικά είναι συνθετικά πολυμερή υλικά που στην σύνθεση των μορίων τους συμμετέχουν χιλιάδες άτομα. Οι σπουδαιότερες ομάδες φυσικών πολυμερών είναι οι πολυσακχαρίτες, τα νουκλεϊκά οξέα και οι πρωτεΐνες.( Χ. Παπαϊωάννου, D. G. Obeid, N. Κατσούλας, Κ. Κίπας 2003)

Τα φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης παρέχουν σημαντικές δυνατότητες τροποποίησης του φάσματος του φωτός. Ανάλογα με το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφούν διακρίνονται κυρίως σε:



Φωτοεκλεκτικά πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων, που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία (UV-A: 320-380nm, UV-B: 280-320nm) σε διαφορετικά επίπεδα και σχετίζονται με τη δραστηριότητα των εντόμων και την ανάπτυξη ασθενειών και ιώσεων.



Φωτοεκλεκτικά πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων που απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία στο εύρος των 680-780 nm και σχετίζονται με την αύξηση της φωτεινότητας του χρώματος των φυτών, τη βελτίωση της ποιότητας και αύξηση της παραγωγής.



Φωτοεκλεκτικά πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων που αντανακλούν την κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία (Near InfaRed: 780-3000nm) και σχετίζονται με το δροσισμό του θερμοκηπίου



Φωτοεκλεκτικά πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων που εγκλωβίζουν τη μακρινή υπέρυθρη ακτινοβολία (Far InfaRed: 3000- 50000nm) και σχετίζονται με τη μείωση των απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου (έως 15-35%).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

## **2.1. Το περιβάλλον του θερμοκηπίου**

Σύμφωνα με τον Μαυρογιαννόπουλο (2014), οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθιστούν προτιμότερη και καλύτερη την θερμοκηπιακή καλλιέργεια από την υπαίθρια είναι δύο. Αρχικά, η προστασία που παρέχεται από τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τέλος, η τεχνολογική ρύθμιση του περιβάλλοντος και των παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών. Έπειτα οι παράγοντες αυτοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Από τη μια είναι αυτοί που αφορούν το ριζικό περιβάλλον του φυτού, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία, η υγρασία του εδάφους, τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, το οξυγόνο στη ρίζα του φυτού, το pH. Από την άλλη είναι οι παράγοντες που αφορούν την κόμη των φυτών και είναι η υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα, ο φωτισμός, η συγκέντρωση του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα.

### **2.1.1.Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία είναι ο παράγοντας που επηρεάζει περισσότερο την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών γιατί επηρεάζει σχεδόν όλες τις λειτουργίες των φυτών. Η φωτοσύνθεση, η αναπνοή, η διαπνοή και άλλες λειτουργίες των φυτών επηρεάζονται άμεσα από τα επίπεδα της θερμοκρασίας. Κάθε φυτό ανάλογα με το είδος του, έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε θερμοκρασία. Στα θερμοκήπια που καλύπτονται με φύλλα πλαστικού η θερμοκρασία του αέρα τους θερμούς μήνες παίρνει μέγιστες τιμές υψηλότερες από τις άριστες ενώ τους χειμερινούς μήνες οι τιμές πέφτουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα κάτω από τις απαιτούμενες τιμές για τα φυτά.

#### **Θερμότητα**

Τα φυτά τα οποία αναπτύσσονται στο χώρο του θερμοκηπίου ανταλλάσσουν θερμότητα και αυτό συμβαίνει λόγω των διαφορών θερμοκρασιών. Αυτή η θερμοκρασία με τη σειρά της επηρεάζεται κυρίως από την από την θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο, από την ακτινοβολία που δέχονται και εκπέμπουν τα φυτά, από τη θερμοχωρητικότητά τους και από την λανθάνουσα θερμότητα που δέχονται ή χάνουν λόγω διαπνοής ή συμπύκνωσης των υδρατμών πάνω τους.

Για κάθε φυσιολογική διαδικασία στην ανάπτυξη του φυτού χρειάζεται και διαφορετική θερμοκρασία. Αρχικά για την διακοπή λήθαργου, διαφοροποίηση οφθαλμών και καρποφορία χρειάζονται χαμηλές θερμοκρασίες. Έπειτα για την βλάστηση και το φύτρωμα των σπόρων



απαιτούνται εδαφικές θερμοκρασίες και τέλος, για την βλαστική και αναπαραγωγική φάση απαιτούνται θερμοκρασίες αέρα και εδάφους.

Γενικά οι απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα μπορούν να δοθούν από τη σχέση:

$$q_c = K_c \cdot A_c / A_f \cdot (T_i - T_e)$$

$K_c$  : ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το κάλυμμα ( $W m^{-2} K^{-1}$ )

$A_c$  : η επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου ( $m^2$ )

$A_f$  : η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου ( $m^2$ )

$T_i - T_e$  : η διαφορά εσωτερικού και εξωτερικού αέρα (K)

### 2.1.2. Υγρασία

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν το περιβάλλον των φυτών είναι η υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα.

**Απόλυτη υγρασία:** η ποσότητα των υδρατμών που περιέχεται σε 1 kg αέρα για συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία (g/kg αέρα).

**Σχετική υγρασία:** ο λόγος της ποσότητας υδρατμών του αέρα σε συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία προς την ποσότητα που θα είχε αν ήταν κορεσμένος (%).

Η υγρασία μειώνεται όταν αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία του αέρα. Είναι γνωστό ότι η εξατμισοδιαπνοή των φυτών είναι μεγαλύτερη την ημέρα από ότι την νύχτα και έτσι η πυκνότητα των υδρατμών στον χώρο του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερη κατά την διάρκεια της ημέρας. Γενικά ο ρυθμός διαπνοής των φυτών εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας, την θερμοκρασία του φύλλου, την σχετική υγρασία και την ταχύτητα του αέρα μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου. Όταν επικρατεί ισορροπία, η απόλυτη υγρασία στον χώρο του θερμοκηπίου είναι ομοιόμορφη σε όλο τον χώρο. Αυτή που ποικίλει είναι η θερμοκρασία με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές διαφορές σε σχετική υγρασία στα διάφορα σημεία του θερμοκηπίου. Έτσι δημιουργείται διαφορετική συχνότητα συμπύκνωσης υδρατμών πάνω στα φυτά, που ευνοεί την βλάστηση σπορίων των μυκήτων και την ανάπτυξη των βακτηρίων.

Για την αποφυγή της επιφανειακής συμπύκνωσης, συμβάλλει η μείωση της ποσότητας των υδρατμών του αέρα και η αύξηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του. Για την αύξηση της θερμοκρασίας των φυτών χρησιμοποιούνται αερόθερμα ή σωλήνες θέρμανσης ψηλά. Όσον αφορά στην συμπύκνωση υδρατμών σημαντικό ρόλο έχουν τα χαρακτηριστικά θερμοπερατότητας των υλικών κατασκευής. Ελάττωση της θερμοπερατότητας των υλικών

κατασκευής σημαίνει αύξηση της θερμοκρασίας της εσωτερικής πλευράς του υλικού κάλυψης (λόγω άμεσης επαφής με τον ψυχρότερο εξωτερικό αέρα) (Μαυρογιαννόπουλος 2005).

Ένα μονό πολυαιθυλένιο δημιουργεί σταγόνες οι οποίες πέφτουν πάνω στο φύλλωμα ευνοώντας μυκητολογικές ασθένειες. Η γυάλινη οροφή αντιθέτως δεν δημιουργεί σταγόνες αλλά ένα στρώμα νερού το οποίο κυλάει στις άκρες. Επίσης υπάρχουν νέα πλαστικά καλύμματα με πρόσθετες ουσίες (anti-drip) τα οποία δημιουργούν μια μορφή μεμβράνης στην εσωτερική πλευρά τους αντί για σταγόνες. Ακόμη, τεχνικές όπως η χρήση διπλού πολυαιθυλενίου μειώνει κατά πολύ την δημιουργία συμπυκνώσεων λόγω του θερμότερου εσωτερικού καλύμματος.

### **2.1.3 Επίδραση υλικών κάλυψης στο περιβάλλον και την καλλιέργεια του θερμοκηπίου**

Το είδος του υλικού κάλυψης καθώς και οι αλλαγές του μικροκλίματος, μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη και στην παραγωγικότητα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών.

Έχουν γίνει αρκετά πειράματα πάνω σ'αυτή την επίδραση. Πιο συγκεκριμένα, οι Παπαδόπουλος και Hao (1997) βρήκαν πώς η μέση θερμοκρασία σε θερμοκήπια με διπλό πλαστικό κάλυμμα είναι υψηλότερη σε σχέση με ένα γυάλινο θερμοκήπιο. Η υψηλότερη σχετική υγρασία παρατηρήθηκε στο διπλό πλαστικό και η χαμηλότερη στο γυάλινο ενώ η σημαντικότερη διαφορά συνέβη μεταξύ Ιανουαρίου και Μαρτίου. Συμπληρώνουν ακόμη πώς τα φυτά κάτω από το διπλό πλαστικό κάλυμμα αναπτύχθηκαν ταχύτερα σε σχέση με αυτά στο γυάλινο θερμοκήπιο και πως το ύψος, ο αριθμός των φύλλων και των ταξιανθιών ανά φυτό ήταν μεγαλύτερος.

Η θερμοκρασία αέρα, η υγρασία και η θερμοκρασία καλλιέργειας επηρεάζονται από την διαπερατότητα στο φως που έχουν τα διάφορα πλαστικά καλύμματα με ποσοστό απώλειας περίπου 5-20%. (Blom και Ingratta, 1985; Bauerle, 1981).

Συμπερασματικά, ένα θερμοκήπιο με γυάλινη οροφή είναι περισσότερο διαπερατό στο φάσμα PAR σε σχέση με ένα διπλό πλαστικό.

### **2.1.4.Ακτινοβολία**

Η κύρια πηγή ενέργειας του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί εκτός από την φυσική πηγή θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο και την πηγή ενέργειας των φυτών για τη φωτοσύνθεσή τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να συνδέεται άμεσα η διάρκεια ζωής των πλαστικών υλικών κάλυψης που υπάρχουν σε πολλά θερμοκήπια.

Οι παράγοντες που ευνοούν την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι:

- Ένας σκελετός του οποίου τα στοιχεία θα έχουν όσο γίνεται μικρότερη επιφάνεια, χωρίς να δημιουργείται κάποιο πρόβλημα στην σταθερότητα του θερμοκηπίου.
- Ο καθαρισμός του καλύμματος του θερμοκηπίου από σκόνη και διάφορες μεθόδους σκίασης.
- Οι εναέριες σωληνώσεις είναι προτιμότερο να βρίσκονται υπόγεια
- Η πυκνότητα των φύλλων της καλλιέργειας επηρεάζει αρνητικά τον φυσικό φωτισμό. Έτσι με πιο πλατύτερους διαδρόμους ανάμεσα στις γραμμές θα αποφεύγεται.

Η περατότητα του καλύμματος του θερμοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από τη χημική του σύσταση, το πάχος του, το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας και από τη γωνία πρόσπτωσης της. (Μαυρογιαννόπουλος 2005)

Το φως είναι μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει ο ήλιος διαιρείται σε 3 μέρη:

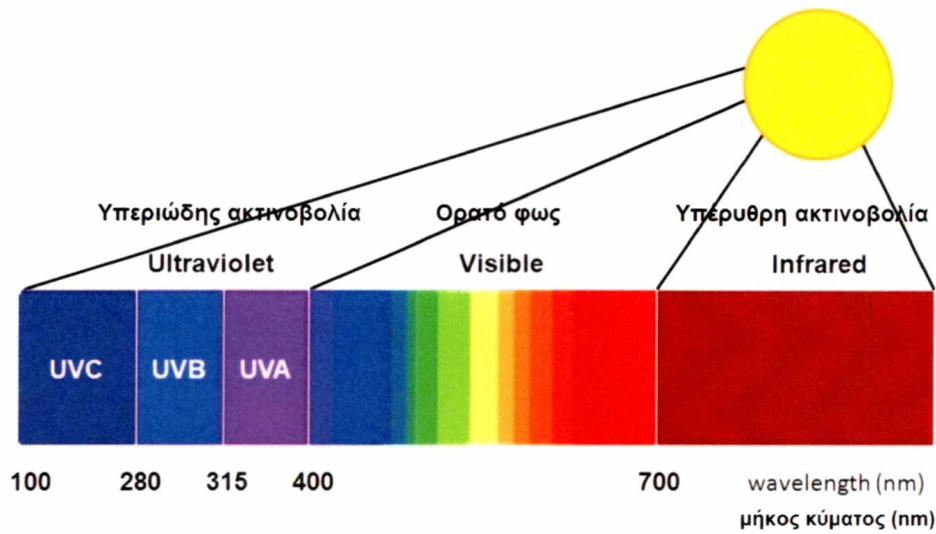
- ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ (UV) - ΜΕΧΡΙ ΤΑ 400 NM (Πίνακας 2.1)
- ΟΡΑΤΗ 400-700 NM (Εικόνα 2.1)
- ΥΠΕΡΥΘΡΗ (IR) – ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΑ 700 NM (Πίνακας 2.2)

#### Η υπεριώδης ακτινοβολία αποτελείται:

<b>UV-C 200-280 nm</b>	<b>UV-B 280-320 nm</b>	<b>UV-A 320-400 nm</b>
Θεωρητικά απορροφάται κατά 100% από τη στρατόσφαιρα	Φθάνει στη γη, επηρεάζοντας το χρωματισμό και το ύψος των φυτών. Προξενεί παλαίωση στα πλαστικά φύλλα κάλυψης.	Ευνοεί την σποριοποίηση μυκήτων. Τα έντομα τη χρησιμοποιούν για τον προσανατολισμό τους Προξενεί παλαίωση στα πλαστικά φύλλα κάλυψης

**Πίνακας 2.1** Υπεριώδης ακτινοβολία

Η ορατή ακτινοβολία αποτελείται:



Εικόνα 2.1 Ορατή ακτινοβολία

- **VIOLET ~ 400 nm - 430 nm**  
Επηρεάζει τη φωτοσύνθεση
- **INDIGO ~ 430nm - 450 nm**  
Επηρεάζει τη φωτοσύνθεση
- **BLUE ~ 450nm - 520 nm**  
Επηρεάζει πολύ σοβαρά τη φωτοσύνθεση (θετικός φωτοτροπισμός, αποφυγή εκχλοίωσης φυταρίων, άνοιγμα στοματίων, συμβολή στη δημιουργία κυτοπλάσματος)
- **GREEN ~ 520nm - 565 nm**  
Επηρεάζει ελάχιστα τη φωτοσύνθεση
- **YELLOW ~ 565nm - 590 nm**  
Δεν επηρεάζει πρακτικά καμία λειτουργία των φυτών
- **ORANGE ~ 590nm - 625 nm** Επηρεάζει ελάχιστα τη φωτοσύνθεση και τον φωτοπεριοδισμό
- **RED ~ 625nm - 700 nm** Επηρεάζει πολύ σημαντικά τη φωτοσύνθεση και τη φωτομορφογένεση (βλαστικότητα σπόρων, άνθηση, ωρίμανση-γηρασμός, κοίμισμα)

### **Η υπέρυθρη ακτινοβολία αποτελείται:**

<b>FAR RED</b> 700-800 nm	<b>NEAR INFRA- RED</b> 800-1300 nm	<b>FAR INFRA- RED</b> > 1300 nm
Επηρεάζει τη φωτομορφογένεση, επομένως επιδρά στην ανάπτυξη των φυτών	Άχρηστη για τα φυτά. Μεταφέρει όμως θερμότητα μέσα στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας	Μεταφέρει θερμότητα. Η ακτινοβολία από 7-14 μic και πάνω είναι υπεύθυνη για τις απώλειες θερμότητας κατά τις νυκτερινές ώρες

**Πίνακας 2.2** Υπέρυθρη ακτινοβολία

#### **2.1.4.1. Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία**

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία θεωρείται η ακτινοβολία που έρχεται απευθείας από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί κάποιο βαθμό σκέδασης λόγω της ατμόσφαιρας. Λόγω των νεφών και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει στην γη υπό την μορφή διάχυτης ακτινοβολίας.

Διάχυτη ακτινοβολία θεωρείται η ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση λόγω της ατμόσφαιρας.

Πέραν από την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία υπάρχει και η ανακλώμενη ακτινοβολία που προέρχεται από τις γειτονικές επιφάνειες καθώς και η γήινη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια του εδάφους λόγω της θέρμανσης της γης.

Όλες οι ακτινοβολίες εκπέμπουν σε διαφορετικό φάσμα, με την άμεση και την διάχυτη να εκπέμπουν στα μικρά μήκη κύματος ενώ η γήινη στα μεγαλύτερα μήκη κύματος. Συνεπώς, οι διαφορετικοί τύποι ακτινοβολιών μεταφέρουν και διαφορετικά ποσά ενέργειας σε μία επιφάνεια.

#### **2.1.4.2. Σχέση υλικού κάλυψης και διάχυσης**

Η διάχυση του φωτός συμβαίνει όταν η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία συναντά το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου και διασπάται σε περισσότερες ακτίνες με διαφορετικές κατευθύνσεις (Goudriaan και van Laar, 1994). Σε μια καλλιέργεια είναι προτιμότερο το φως που διέρχεται από περισσότερες γωνίες σε σχέση με το άμεσο φως, καθώς το διάχυτο φως προσφέρει ομοιομορφία στην καλλιέργεια.

Συνεπώς, τα πλαστικά φύλλα με υψηλή ικανότητα διάχυσης του φωτός, έχουν την ιδιότητα να αντανακλούν ένα μεγάλο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος,

με αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου επικρατεί υψηλή νέφωση διότι το φως έχει ήδη υποστεί σκέδαση από τα σύννεφα. Σε θερμοκήπια με διπλό φουσκωτό κάλυμμα αποφεύγεται η χρήση φύλλων διάχυσης λόγω μειωμένου φωτισμού. Τα πλαστικά φύλλα με μεγάλο ποσοστό διάχυσης (> 60%) αντανακλούν την NIR ακτινοβολία, προσφέροντας ήπιες συνθήκες δροσισμού, με τη μείωση της εισερχόμενης θερμότητας.

#### **2.1.4.3.Επίδραση της διάχυσης στο περιβάλλον του θερμοκηπίου και την καλλιέργεια**

Το φύλλο πολυαιθυλενίου είναι το μέσον (ή το φίλτρο) που παρεμβάλλεται μεταξύ του ήλιου και της καλλιέργειας. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί το κύριο συστατικό της φωτοσύνθεσης μέσω της οποίας αναπτύσσονται τα φυτά. Λόγο της μεγάλης σπουδαιότητας του φωτός, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι με σκοπό:

- ✓ την μεγιστοποίηση της διαθέσιμης PAR ακτινοβολίας (φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία) μέσα στο θερμοκήπιο
- ✓ την αύξηση του κλάσματος της προσπίπτουσας PAR ακτινοβολίας
- ✓ τον βαθμό απόδοσής της με σκοπό την αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης από τα φυτά

Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν κατασκευές θερμοκηπίων με υψηλή περατότητα στο φως, με υλικά όπως το γυαλί ή το καθαρό πολυαιθυλένιο καθώς και την χρήση συμπληρωματικού φωτισμού (λάμπες) για την αύξηση της διαθέσιμης PAR, την αύξηση του διάχυτου φωτός από τα υλικά κάλυψης καθώς και την αύξηση της φυλλικής επιφάνειας για την μεγιστοποίηση του κλάσματος της προσπίπτουσας PAR (Elings et al., 2012).

Το άμεσο και διάχυτο φως της PAR ακτινοβολίας, η ανάκλαση και η απορρόφηση του φωτός από τα φύλλα και το έδαφος είναι τα κυριότερα συστατικά τα οποία επηρεάζουν τον ρυθμό της στιγμιαίας καθαρής φωτοσύνθεσης για ένα συγκεκριμένο επίπεδο μιας καλλιέργειας. Το ηλιόλουστο μέρος της καλλιέργειας δέχεται μαζί το άμεσο και το διάχυτο φως σε αντίθεση με το σκιασμένο μέρος το οποίο δέχεται μόνο το διάχυτο.

Οι Dueck et al., (2012) απέδειξαν πως η αύξηση της διάχυτης ακτινοβολίας οδήγησε σε αύξηση κατά 10% την παραγωγή τομάτας στο θερμοκήπιο, ενώ οι Markvar et al., (2010) βρήκαν αύξηση στην παραγωγή των χρυσάνθεμων κατά 9%.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 3.1. Πειραματικός αγρός

Το πείραμα που πραγματοποιήσε το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, διεξήχθη στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου. Συγκεκριμένα έλαβε χώρα σε απόσταση 17 km από τον Βόλο, με γεωγραφικό πλάτος 39° 22', γεωγραφικό μήκος 22° 44' και υψόμετρο 85 m. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια της περιόδου Φεβρουάριος - Ιούλιος 2013.

### 3.2. Τα θερμοκήπια

Στο συγκεκριμένο πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν τρία παρόμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια έκτασης 160 m<sup>2</sup> το καθένα (Εικόνα 3.1).



**Εικόνα 3.1:** Τα θερμοκήπια του πειράματος

Τα 3 θερμοκήπια είχαν τα εξής χαρακτηριστικά:

- ☞ Μήκος 20 m
- ☞ Πλάτος 8 m,
- ☞ Ύψος ορθοστάτη 2.4 m,
- ☞ Ύψος κορφιάς 4.1 m.



### 3.3. Υλικά κάλυψης

Όλα τα θερμοκήπια είναι κατασκευασμένα από γαλβανισμένο χάλυβα και είναι καλυμμένα με λευκό πλαστικό εδάφους και εφοδιασμένα με τον ίδιο εξοπλισμό (σύστημα λίπανσης, αερισμού και θέρμανσης). Η διαφορά τους βρίσκεται στο υλικό κάλυψης με διαφορετικά φύλλα πολυαιθυλενίου το καθένα. Όλα τα πλαστικά καλύμματα που χρησιμοποιήθηκαν και μελετήθηκαν ήταν κατασκευασμένα από την Πλαστικά Κρήτης ΑΕΒΕ και η εγκατάστασή τους έγινε από 24 έως 28 Ιανουαρίου 2013.

Αρχικά, στο πρώτο θερμοκήπιο που επιλέχθηκε ως μάρτυρας εγκαταστάθηκε ένα απλό πλαστικό κάλυμμα πολυαιθυλενίου PE, στο δεύτερο ένα κάλυμμα με μεγάλη ικανότητα διάχυσης του φωτός, ενώ το τρίτο θερμοκήπιο καλύφθηκε με το διπλό φουσκωτό κάλυμμα (δύο απλά φύλλα σε απόσταση 10 εκατοστών) (Πίνακας 3.1).

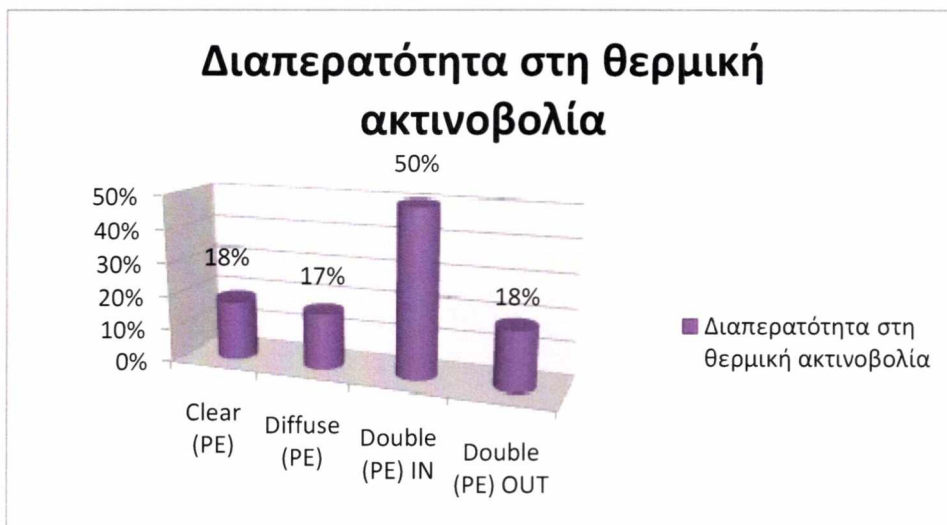
Τέλος σημαντικό για να αναφερθεί είναι η διαφορά των πλαστικών στη διαπερατότητα της θερμικής ακτινοβολίας των υλικών κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν σύμφωνα με την Πλαστικά Κρήτης ΑΒΕΕ (Σχήμα 3.1).

Οι τύποι καλύμματος που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε μεταχείριση ήταν εξής:

- **Greenhouse 1 (Gr1)** (Μάρτυρας-Clear)
- **Greenhouse 2 (Gr 2)** (Διάχυσης-Diffuse)
- **Greenhouse 3 (Gr 3)** (Διπλό Φουσκωτό-Double)

Θερμοκήπιο	Κωδικός υλικού	Διάχυση	Anti-drip
Clear (PE)	TUV 3992	Μικρή	Ναι
Diffuse (PE)	TUV 3942	Μέση	Όχι
Double (PE) IN	TUV 2996	Μικρή	Όχι
Double (PE) OUT	TUV 3992	Μικρή	Ναι

**Πίνακας 3.1** Τα χαρακτηριστικά των υλικών κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν σύμφωνα με την Πλαστικά Κρήτης ΑΒΕΕ.



Σχήμα 3.1: Διαπερατότητα στη θερμική ακτινοβολία των υλικών κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν σύμφωνα με την Πλαστικά Κρήτης ΑΒΕΕ.

### 3.4. Επιλογή φυτών

Για την διεξαγωγή του πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας *Lycopersicon esculentum* της ποικιλίας zizel (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2: Σπορόφυτα τομάτας (*Lycopersicon esculentum* zizel)

### 3.5. Εγκατάσταση καλλιέργειας

Το υπόστρωμα της καλλιέργειας ήταν πετροβάμβακας τύπου Grodan, ενώ όλα τα φυτά είχαν παρόμοια λίπανση και δέχονταν τις ίδιες καλλιεργητικές φροντίδες (Εικόνα 3.3). Κάθε θερμοκήπιο είχε 8 σειρές με 40 φυτά ανά σειρά και σε αποστάσεις 0.3 m επί της γραμμής και 0.7 m μεταξύ των σειρών. Σε κάθε σάκο πετροβάμβακα υπήρχαν 3 φυτά, σε αποστάσεις 15x50x85 (Εικόνα 3.4).



**Εικόνα 3.3** Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε και το φυτό μετά την μεταφύτευση



**Εικόνα 3.4:** σειρές με υπόστρωμα πετροβάμβακα

Η μεταφύτευση των φυτών έγινε στις 15 Φεβρουαρίου 2013 όταν το φυτό είχε 4 πραγματικά φύλλα (Εικόνες 3.5 & 3.6).



**Εικόνα 3.5:** Η μεταφύτευση στις 15/2/2013



**Εικόνα 3.6:** Η μεταφύτευση στις 15/2/2013

Η ανάπτυξη της καλλιέργειας με την πάροδο του χρόνου (Εικόνες 3.7 – 3.10)



**Εικόνα 3.7** Η καλλιέργεια στο θερμοκήπιο της διάχυσης στις 20/3/2013.



**Εικόνα 3.8** Η καλλιέργεια στο θερμοκήπιο με το διπλό φουσκωτό κάλυμμα στις 11/4/2013.



**Εικόνα 3.9** Η καλλιέργεια σε πλήρη ανάπτυξη στις 14/5/2013.



**Εικόνα 3.10** Η καλλιέργεια σε πλήρη ανάπτυξη στις 14/5/2013.

### 3.6. Καλλιεργητικές Τεχνικές

#### 3.6.1. Κλάδεμα

Κάθε εβδομάδα αφαιρούνταν οι πλάγιοι βλαστοί των φυτών, ενώ μετά την συγκομιδή των πρώτων καρπών άρχισε να καθαρίζεται η καλλιέργεια από τα χαμηλότερα φύλλα με σκοπό τον καλύτερο αερισμό και την αποφυγή εμφάνισης μυκητολογικών ασθενειών. Επίσης σε κάθε ανθοταξία αφήνονταν να μεγαλώσουν 5 καρποί ενώ σε αρκετές περιπτώσεις όπου οι καρποί είχαν προσβληθεί από ξηρή σήψη κορυφής (τάπα) (Εικόνα 3.11), αφήνονταν μόνο 2 με 3.



**Εικόνα 3.11** Ξηρή σήψη κορυφής σε καρπό τομάτας στο θερμοκήπιο Clear στις 30/4/2013.

#### 3.6.2. Υποσύλωση

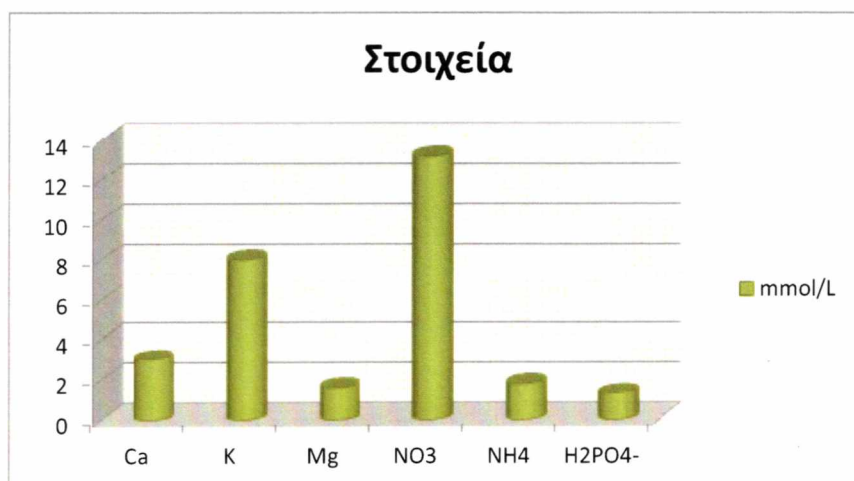
Οι καλλιεργητικές φροντίδες της καλλιέργειας ήταν ίδιες και στα τρία θερμοκήπια. Για την υποσύλωση των φυτών χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικοί γάντζοι, οι οποίοι συγκρατούνταν πάνω στα σύρματα που διέτρεχαν όλο το μήκος του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, τα φυτά αναπτύχθηκαν μονοστέλεχα και υποστηριζόμενα από σπάγκο, ο οποίος ξετυλιγόταν καθώς τα φυτά έπαιρναν ύψος, για να χαμηλώνουν και να γίνονται πιο εύκολα οι καλλιεργητικές τεχνικές (Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12 Η καλλιέργεια σε πλήρη ανάπτυξη στις 14/5/2013.

### 3.7. Άρδευση-Λίπανση

Η υδροπονική καλλιέργεια αρδεύεται με σύστημα στάγδην άρδευσης με την βοήθεια σταλακτών παροχής 1L/h<sup>-1</sup>. Εφαρμόστηκε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα, στο οποίο το θρεπτικό διάλυμα δεν επαναχρησιμοποιείται. Το θρεπτικό διάλυμα παρασκευάζονταν βάση ενός λογισμικού το οποίο ρύθμιζε τις αναλογίες των θρεπτικών καθώς και τις τιμές της αγωγιμότητας και του pH του διαλύματος. Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος δίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Σύσταση του θρεπτικού μας διαλύματος που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια



### 3.8. Θέρμανση

Για τη θέρμανση, κάθε θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με έναν καυστήρα πετρελαίου 48.8 KW και συγχρόνως με έναν λέβητα ο οποίος ζεσταίνει το νερό στους 50°C, το οποίο το διοχέτευε στο επιδαπέδιο δίκτυο σωληνώσεων σε όλο το μήκος του θερμοκηπίου. Παράλληλα, υπήρχε ένα αερόθερμο οροφής τοποθετημένο στο βόρειο άκρο του θερμοκηπίου σε ύψος 3.5 m πάνω από το έδαφος. Οι σωλήνες ήταν τοποθετημένοι κάτω από τους πάγκους φύτευσης και για κάθε σειρά καλλιέργειας αντιστοιχούσε ένας σωλήνας στον οποίο κυλούσε το ζεστό νερό και ένας σωλήνας επιστροφής. Έτσι, το νερό κυκλοφορούσε στους σωλήνες και η μετάδοση της θερμότητάς του γινόταν με αγωγιμότητα προς το έδαφος και το υπέργειο τμήμα του φυτού και με συναγωγή προς το περιβάλλον. Το αερόθερμο λειτουργούσε την ημέρα στους 18°C και την νύχτα στους 12°C.

### 3.9. Αερισμός

Και τα τρία θερμοκήπια του πειράματος ήταν εξοπλισμένα και από τις δύο πλευρές με πλαϊνά παράθυρα διαστάσεων 15 m πλάτος και 0.9 m ύψος (Εικόνα 3.13), καθώς και με ένα ενιαίο παράθυρο οροφής μήκους 20 m. Τα παράθυρα ελέγχονταν αυτόματα από τον κεντρικό υπολογιστή και άρχιζαν να ανοίγουν μετά τους 23 °C.



**Εικόνα 3.13:** Τα παράθυρα των θερμοκηπίων του πειράματος

### 3.10. Μετρήσεις

Οι μετρήσεις που έγιναν για την αξιολόγηση των υλικών κάλυψης, ήταν αγρονομικές μετρήσεις, έτσι ώστε να μελετηθεί η επίδρασή τους στην ανάπτυξη και στην παραγωγή της καλλιέργειας.

Οι αγρονομικές μετρήσεις έγιναν τις εξής μέρες:

	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΗΜΕΡΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΥΤΕΥΣΗ
1 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	05/03/13	19
2 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	15/03/13	29
3 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	26/3/13	40
4 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	10/04/13	55
5 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	17/4/13	62
6 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	25/4/13	70
7 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	17/5/13	92
8 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	10/6/13	116
9 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	17/6/13	123
10 <sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ	27/6/13	134

Πίνακας 3.2 Ημερομηνίες μετρήσεων

#### 3.10.1. Μη καταστροφικές μετρήσεις

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων σε κάθε θερμοκήπιο επιλέχθηκαν 8 φυτά, τα 4 από αυτά αποτελούσαν τα σταθερά πειραματικά φυτά κατά τη διάρκεια της περιόδου του πειράματος, ενώ τα υπόλοιπα 4 ήταν κάθε φορά επιλεγμένα τυχαία για κάθε μέτρηση.

Οι μετρήσεις γίνονταν κάθε 10-15 ημέρες και καταγράφονταν τα εξής:

- Ύψος φυτών
- Αριθμός φύλλων
- Μήκος φύλλων
- Αριθμός ταξιανθιών
- Φυλλική επιφάνεια

### 3.10.2. Φυλλική επιφάνεια

Προκειμένου να βρεθεί η φυλλική επιφάνεια των φυτών έγιναν 2 μετρήσεις τριών φυτών και για κάθε μέτρηση χρειάστηκε Scanner, έτσι ώστε να μετρηθεί η επιφάνεια των φύλλων και να συσχετιστεί το μήκος των φύλλων με την φυλλική επιφάνεια.

Οι υπολογισμοί έγιναν ως εξής:

- ❖ Φυλλική επιφάνεια  $L.A. = 2,711 * 10^{-2} + 0,3104 * (\text{μήκος} * \text{πλάτος})$
- ❖ Δείκτης φυλλικής επιφάνειας  $L.A.I = L.A. * 2,1$  (2,1= πυκνότητα φυτών)

### 3.10.3. Καταστροφικές μετρήσεις

Για τις καταστροφικές μετρήσεις συλλέχθηκαν τρία φυτά και μετρήθηκε για κάθε ένα από αυτά το ύψος, η φυλλική τους επιφάνεια, το νωπό και το ξηρό βάρος βλαστών, φύλλων και ταξιανθιών μετά από ξήρανση των φυτών σε φούρνο στους 80 °C για 48 h.

Έγιναν συνολικά 3 καταστροφικές μετρήσεις κατά την διάρκεια του πειράματος και καταγράφονταν ως εξής:

- Βάρος εμπορεύσιμων καρπών σε κάθε θερμοκήπιο
- Αριθμός εμπορεύσιμων καρπών σε κάθε θερμοκήπιο

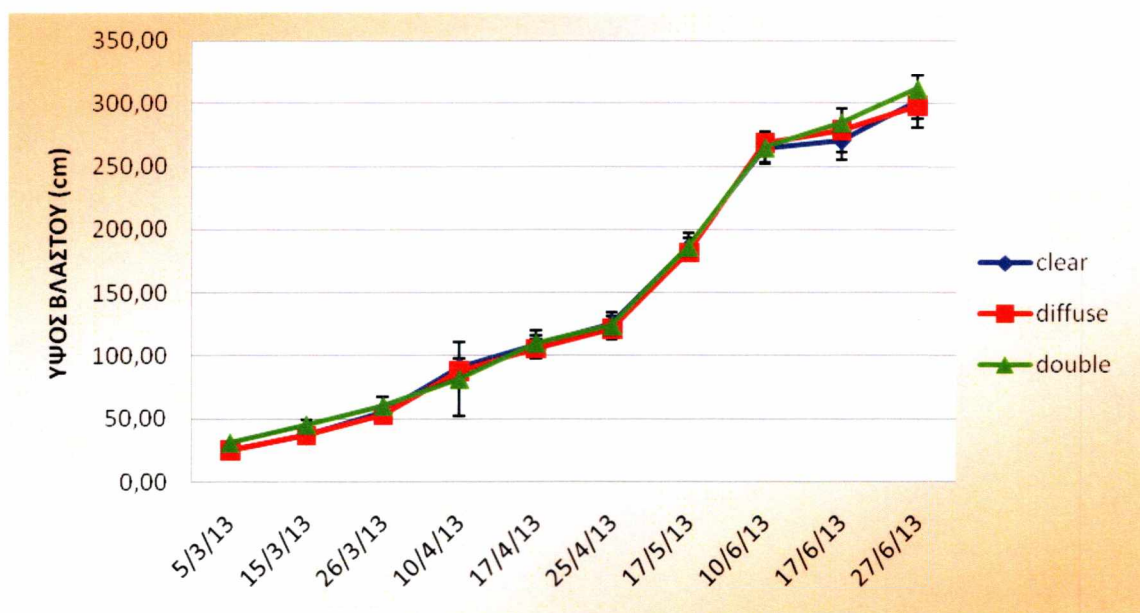
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 4.1. Αγρονομικές μετρήσεις (μη καταστροφικές)

Στα παρακάτω σχήματα καταγράφεται η εξέλιξη των μορφολογικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Το ύψος των φυτών (Διάγραμμα 4.1) ο αριθμός των ανθοταξιών και η φυλλική επιφάνεια είναι τα αγρονομικά στοιχεία που μελετήθηκαν και για τα οποία έγινε στατιστική ανάλυση (Πίνακας 4.1)

##### 4.1.1. Ύψος βλαστών



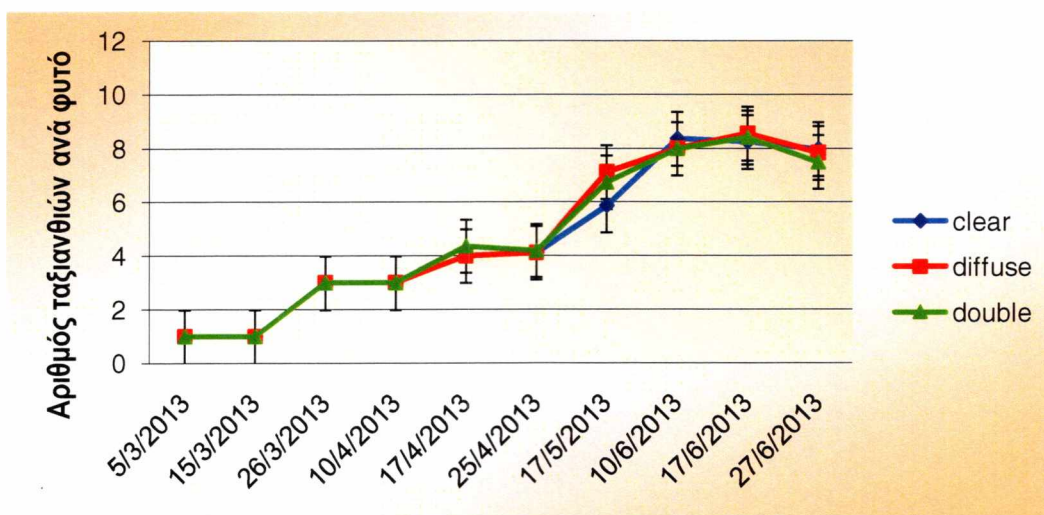
Διάγραμμα 4.1 Εξέλιξη του ύψους του βλαστού των φυτών

Ύψος φυτών (cm)						
Ημερομηνία	Clear		Diffuse		Double	
5/3/13	25,00	±3,06	24,75	±1,70	30,69	±1,53
15/3/13	36,69	±4,08	36,56	±4,44	45,31	±3,79
26/3/13	54,88	±4,32	52,88	±5,62	60,19	±6,99
10/4/13	91,00	±6,74	87,75	±3,81	81,38	±29,28
17/4/13	109,38	±6,44	105,38	±7,91	110,13	±10,29
25/4/13	125,38	±5,55	121,38	±6,09	123,63	±10,20
17/5/13	185,50	±7,11	181,38	±6,89	185,88	±10,78
10/6/13	264,00	±12,32	268,13	±5,06	264,63	±12,22
17/6/13	269,88	±14,88	278,13	±16,92	284,13	±10,84
27/6/13	301,25	±20,66	297,38	±9,93	311,13	±10,75

Πίνακας 4.1 Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις του ύψους των βλαστών των φυτών.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω δεδομένα, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στο ύψος των φυτών μεταξύ των τριών θερμοκηπίων. Παρόλα αυτά παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση του ύψους των φυτών στο Double θερμοκήπιο από τα μέσα Ιουνίου και μετά.

#### 4.1.2. Αριθμός ταξιανθιών

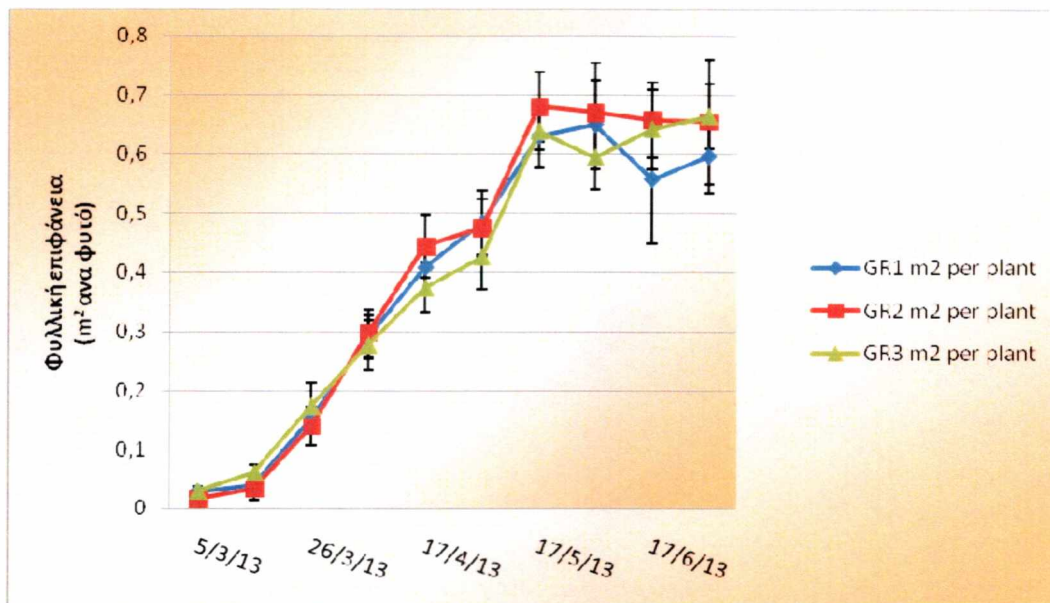


Διάγραμμα 4.2 Μέσοι όροι του αριθμού των ταξιανθιών ανά φυτό για κάθε μεταχείριση.

Στο διάγραμμα 4.2 παρατηρούμε ότι, μέχρι τις αρχές Απριλίου δεν υπήρχαν διαφορές στον αριθμό των ταξιανθιών. Στη συνέχεια, από τα μέσα Μαΐου τα φυτά των Double και Diffuse θερμοκηπίων είχαν περισσότερες ανθοταξίες σε σχέση με το Clear θερμοκήπιο και αυτό λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και των εγκαυμάτων που υπέστησαν τα φυτά.

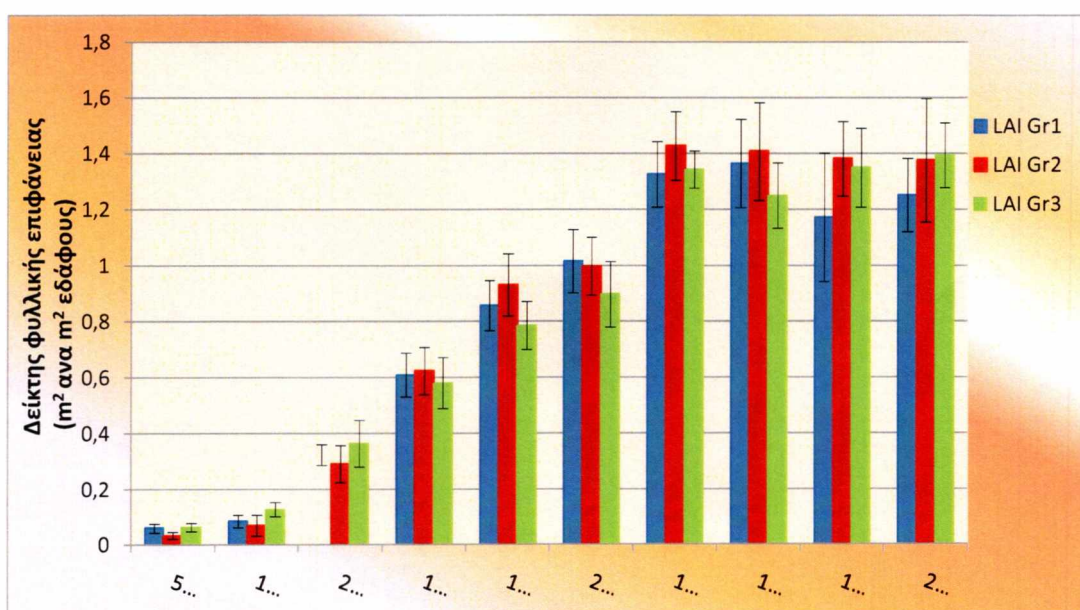
### 4.1.3. Φυλλική επιφάνεια

Στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 4.3) παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της φυλλικής επιφάνειας ανά φυτό για κάθε μεταχείριση ( $m^2/φυτό$ ), καθώς και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας ( $m^2/m^2$  εδάφους) στην εξέλιξή τους στο χρόνο.



Διάγραμμα 4.3 Πορεία της φυλλικής επιφάνειας ( $m^2$  ανά φυτό) για κάθε μεταχείριση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές στην φυλλική επιφάνεια μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων με εξαίρεση μια μικρή υπεροχή του Diffuse από τα μέσα Απριλίου και μετά σε σχέση με τα υπόλοιπα.



Διάγραμμα 4.4 Πορεία του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ( $m^2$  ανά  $m^2$  εδάφους) για κάθε μεταχείριση.

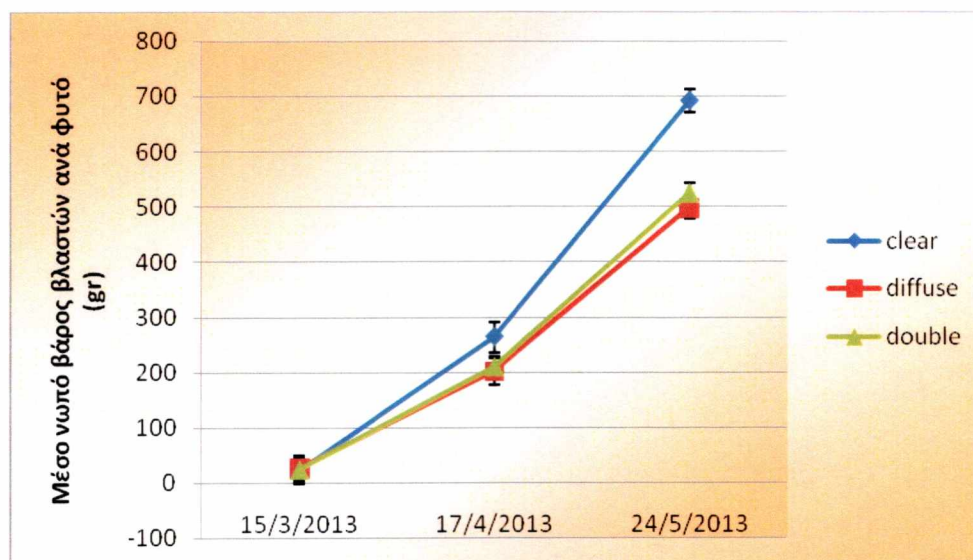
Σύμφωνα με τα παραπάνω δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές στην φυλλική επιφάνεια μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων με εξαίρεση μια μικρή υπεροχή του Diffuse από τα μέσα Απριλίου και μετά σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Σύμφωνα με το κριτήριο LSD αλλά και με την μέθοδο Repeated Measures δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων όσον αφορά το ύψος των φυτών, των αριθμό των ταξιανθιών και την φυλλική επιφάνεια της καλλιέργειας

## 4.2. Αγρονομικές μετρήσεις (καταστροφικές)

### 4.2.1 Μετρήσεις Βλαστών

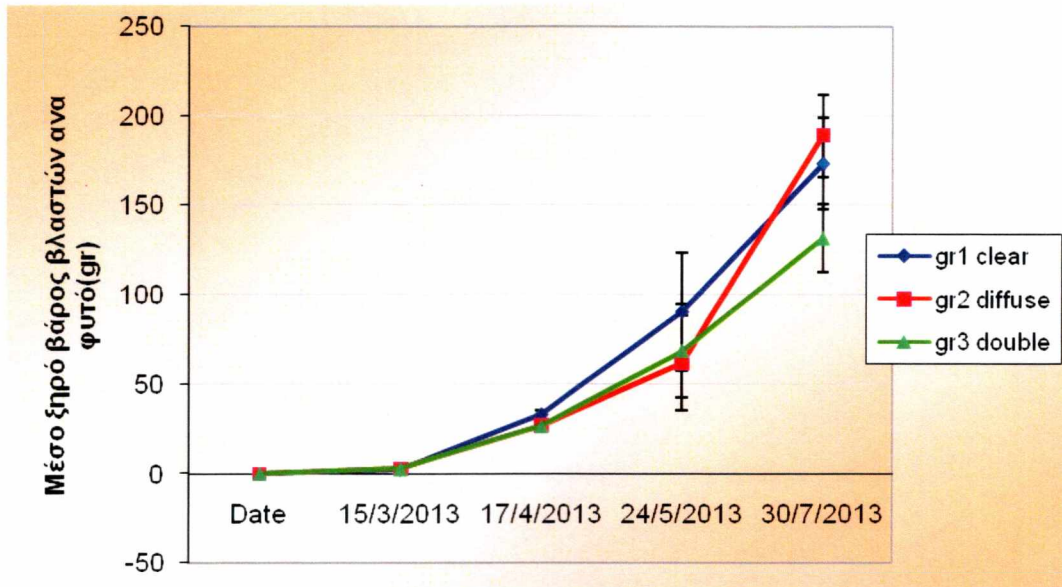
Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 4.5), παρουσιάζεται η πορεία των μέσων τιμών του νωπού βάρους των βλαστών, για τα φυτά στα οποία έγιναν οι καταστροφικές μετρήσεις κατά την διάρκεια του πειράματος.



**Διάγραμμα 4.5** Εξέλιξη του μέσου νωπού βάρους των βλαστών ανά φυτό.

Στο διάγραμμα 4.6 απεικονίζεται η πορεία των μέσων τιμών του ξηρού βάρους των βλαστών, για τα φυτά στα οποία έγιναν οι καταστροφικές μετρήσεις κατά την διάρκεια του πειράματος. Τα φυτά της μέτρησης (30/7/2013) ζυγίστηκαν μόνο για το ξηρό βάρος των βλαστών.

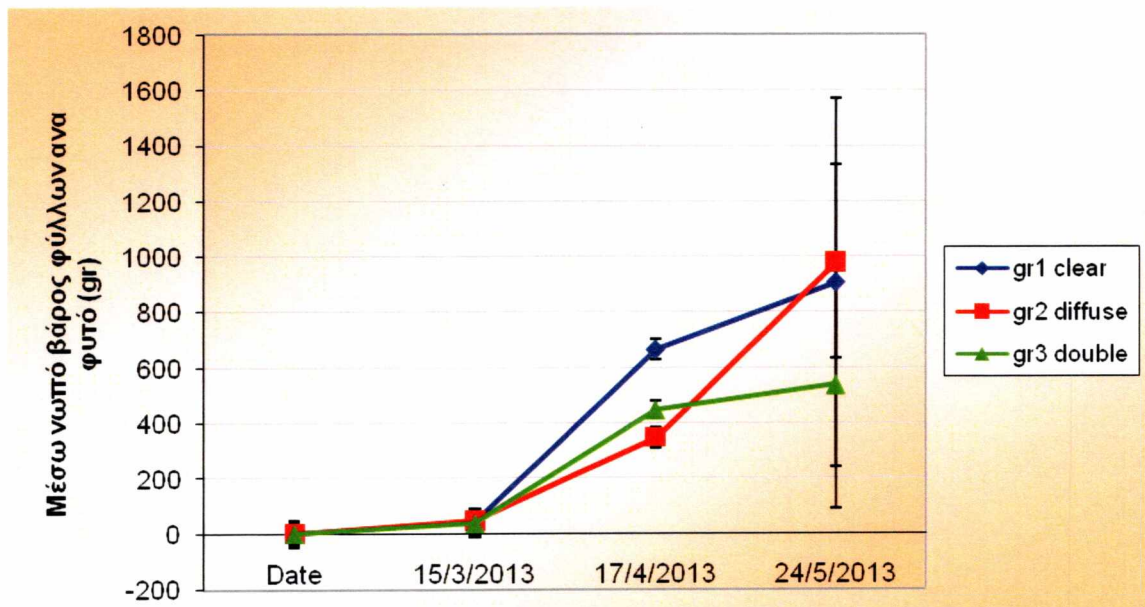




Διάγραμμα 4.6 Εξέλιξη του μέσου ξηρού βάρους των βλαστών ανά φυτό.

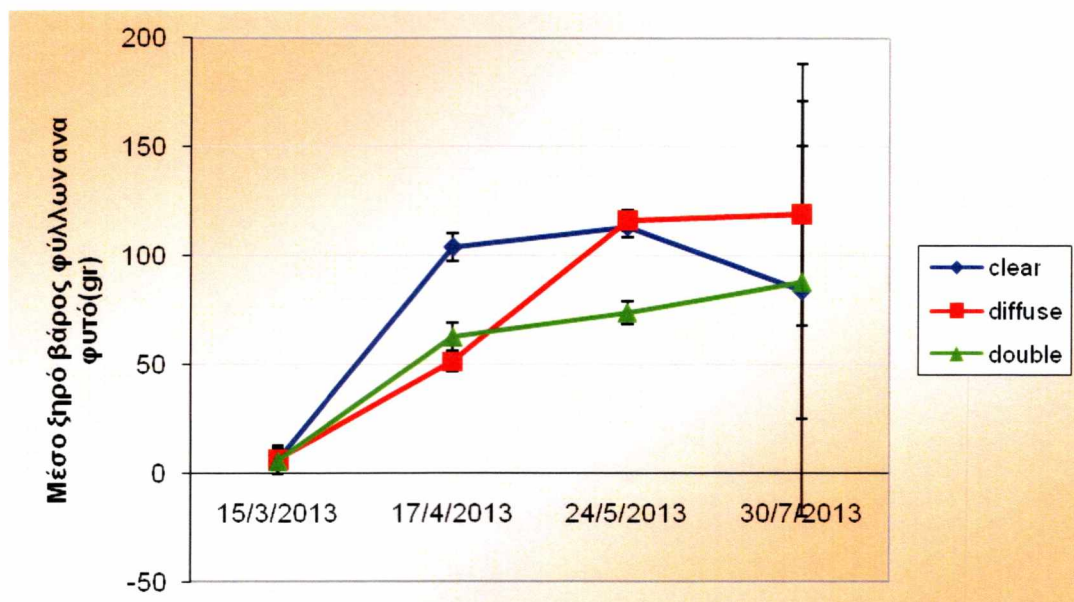
Το μέσο χλωρό και ξηρό βάρος των βλαστών των φυτών των θερμοκηπίων Diffuse και Double δεν υπάρχουν διαφορές όσον αφορά το βάρος των βλαστών, ενώ του θερμοκηπίου Clear φαίνεται να είναι υψηλότερο κατά 20-30% σε σχέση με τα υπόλοιπα από τα μέσα Μαΐου και έπειτα.

#### 4.2.2 Μετρήσεις Φύλλων



Διάγραμμα 4.7 Εξέλιξη του μέσου νωπού βάρους των φύλλων ανά φυτό

Στο παραπάνω διάγραμμα 4.7 παρουσιάζεται η πορεία των μέσων τιμών του νωπού βάρους των φύλλων, για τα φυτά στα οποία έγιναν οι καταστροφικές μετρήσεις κατά την διάρκεια του πειράματος

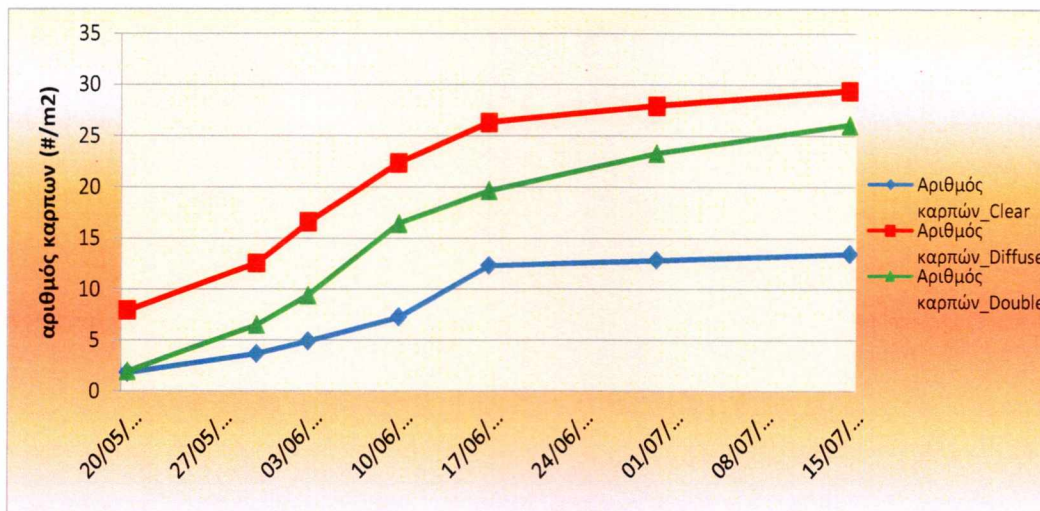


**Διάγραμμα 4.8** Εξέλιξη του μέσου ξηρού βάρους των φύλλων ανά φυτό

Στο διάγραμμα 4.8 απεικονίζεται η πορεία των τιμών του μέσου ξηρού βάρους των φύλλων για τις τρεις μεταχειρίσεις του πειράματος. Όπως και στην περίπτωση του ξηρού βάρους των βλαστών, τα φυτά της μέτρησης (30/7/2013) ζυγίστηκαν μόνο για το ξηρό βάρος των φύλλων.

- ✓ Το μέσο χλωρό βάρος των φύλλων της καλλιέργειας του θερμοκηπίου Clear φαίνεται να είναι υψηλότερο κατά 30-35% σε σύγκριση με τα υπόλοιπα από τα μέσα Απριλίου και μέχρι την τελευταία μέτρηση που έγινε στις 24/5/13.
- ✓ Το μέσο ξηρό βάρος των φύλλων της καλλιέργειας στο Clear είναι επίσης υψηλότερο κατά 30-35% από τα μέσα Απριλίου μέχρι και τα μέσα Ιουνίου.

### 4.3. Απόδοση καλλιέργειας

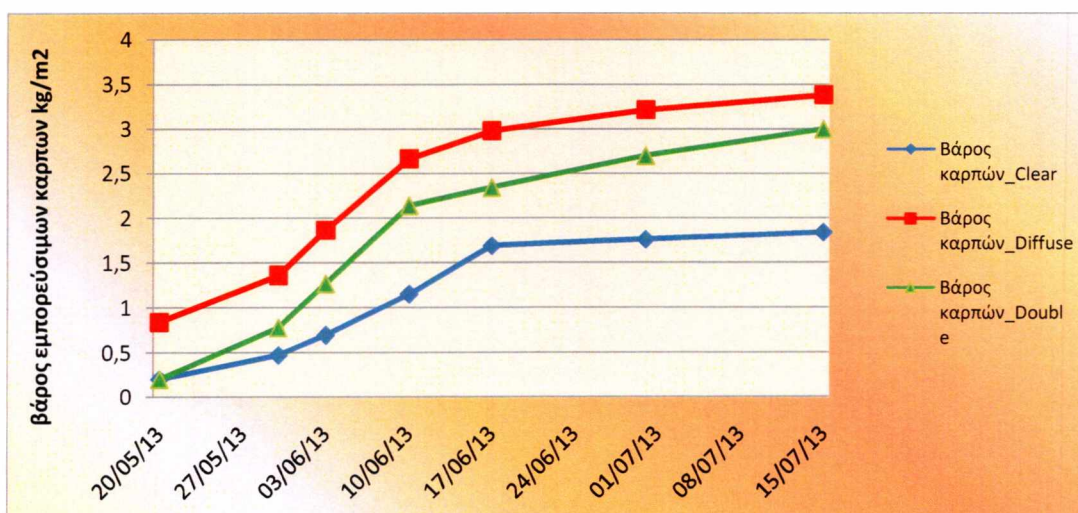


**Διάγραμμα 4.9** Αριθμός των εμπορεύσιμων καρπών για κάθε θερμοκήπιο

Στο διάγραμμα 4.9 παρουσιάζεται η εξέλιξη του αριθμού των εμπορεύσιμων καρπών (καρποί/m<sup>2</sup>) αθροιστικά κατά την διάρκεια της εαρινής καλλιέργειας.

Στο διάγραμμα των εμπορεύσιμων καρπών παρατηρούμε πώς το θερμοκήπιο Clear είχε συνολικά λιγότερους καρπούς σε σχέση με το θερμοκήπιο Diffuse και Double.

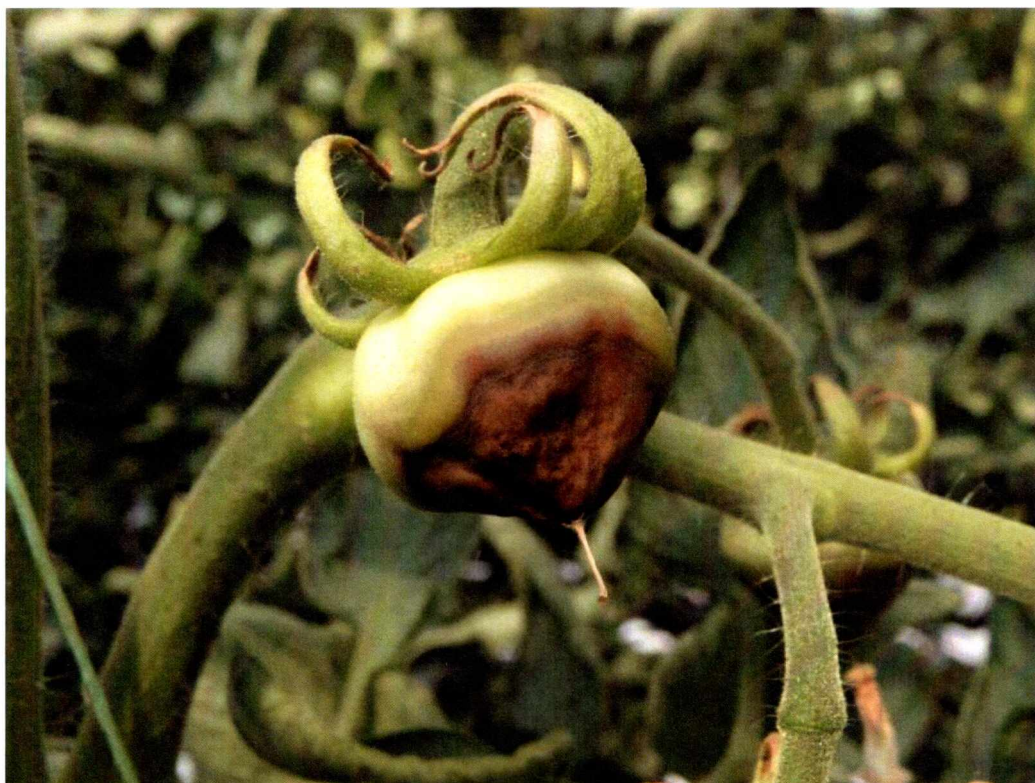
Η μεγαλύτερη διαφορά στον αριθμό των εμπορεύσιμων καρπών μεταξύ του Clear και των υπολοίπων παρατηρείται από τα μέσα Ιουνίου και μέχρι το τέλος της καλλιέργειας. Επίσης, το Diffuse είχε 11% περισσότερους εμπορεύσιμους καρπούς σε σχέση με το Double.



**Διάγραμμα 4.10** Βάρους των εμπορεύσιμων καρπών για κάθε θερμοκήπιο

Σύμφωνα με τα παραπάνω διάγραμμα 4.10 το θερμοκήπιο Diffuse είχε 45% μεγαλύτερη απόδοση σε εμπορεύσιμους καρπούς από το Clear και 11,5% από το Double. Επίσης, το Double είχε 38,5% μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με το Clear.

Σε κάθε θερμοκήπιο οι συνολικοί καρποί που μαζεύονταν ήταν περισσότεροι σε σχέση με τους καταμετρημένους εμπορεύσιμους καρπούς. Αυτό συνέβαινε λόγω της ξηρής σήψης κορυφής (τάπα) και στα τρία θερμοκήπια και σε αρκετούς καρπούς. Το φαινόμενο αυτό ήταν πολύ πιο έντονο στο θερμοκήπιο Clear όπου και αφήνονταν λιγότεροι καρποί ανά ανθοταξία για να ωριμάσουν (περίπου 3- 4 καρποί ανά ανθοταξία). Στα υπόλοιπα θερμοκήπια αφήνονταν 5-6 καρποί για ωρίμανση ανά ανθοταξία (Εικόνες 4.1 & 4.2).



**Εικόνα 4.1** Ξηρή σήψη κορυφής σε καρπό τομάτας στο θερμοκήπιο Clear στις 30/4/2013.



**Εικόνα 4.2** Καρποί με ξηρή σήψη κορυφής στο θερμοκήπιο Clear στις 30/4/2013.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## 5.1 Αγρονομικά στοιχεία και αποδόσεις

Αρχικά, σύμφωνα με τις αγρονομικές μετρήσεις που πάρθηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος βρέθηκε πως το ύψος των φυτών δεν είχε διαφορά μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων.

Έπειτα, ο αριθμός των ταξιανθιών βρέθηκε να είναι ο ίδιος μέχρι τα τέλη του Μαρτίου και στα 3 θερμοκήπια, ενώ από εκείνο το σημείο και μετά φαίνεται να υπάρχει μια μείωση στον αριθμό των ταξιανθιών στο θερμοκήπιο Clear. Αυτό οφείλεται κυρίως λόγω των εγκαυμάτων των ανθέων από την έντονη άμεση ακτινοβολία.

Επίσης, αν και δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη φυλλικής επιφάνειας μεταξύ των θερμοκηπίων. Ο δείκτης LAI, που αποτελεί μια εκτίμηση του φωτοσυνθετικού δυναμικού μιας καλλιέργειας και της ικανότητας της για αύξηση, βρέθηκε στο Diffuse υψηλότερος σε σχέση με τα υπόλοιπα κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες.

Παράλληλα, από τις καταστροφικές μετρήσεις που έγιναν διαπιστώθηκε πως στο μέσο χλωρό και ξηρό βάρος των βλαστών των φυτών, δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές μεταξύ των 3 μεταχειρίσεων, εκτός από τα μέσα Μαΐου και μετά που παρατηρήθηκε αύξηση 20-30% στο Clear. Το ίδιο συνέβη και με το μέσο χλωρό και ξηρό βάρος των φύλλων από τα μέσα Απριλίου και μέχρι την τελευταία μέτρηση, στο Clear σημειώθηκε αύξηση 30-35% σε σχέση με τα άλλα 2 θερμοκήπια.

Ακόμα, τα τρία θερμοκήπια είχαν σχετικά χαμηλή απόδοση σε εμπορεύσιμους καρπούς λόγω της ξηρής σήψης κορυφής και αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε εντονότερα στο θερμοκήπιο Clear.

Στην απόδοση της καλλιέργειας λειτούργησε ως ανασταλτικός παράγοντας και η θερμική καταπόνηση της καλλιέργειας λόγω των ακραίων τιμών θερμοκρασίας του καλοκαιριού. Οι καρποί που μετρήθηκαν στο πείραμα αφορούν μόνο τους εμπορεύσιμους καρπούς της καλλιέργειας. Πιο συγκεκριμένα το θερμοκήπιο Diffuse είχε την υψηλότερη απόδοση (6,9 kg/m<sup>2</sup>), το Double (6 kg/m<sup>2</sup>), και το Clear (3,7 kg/m<sup>2</sup>). Επίσης το θερμοκήπιο Diffuse είχε και τους περισσότερους καρπούς αλλά με το μικρότερο βάρος/ καρπό (124gr) ενώ το Double είχε μέσο βάρος καρπού 140gr. Αντίθετα το Clear είχε τους λιγότερους καρπούς αλλά με το μεγαλύτερο βάρος ανά καρπό (146gr).

Συμπερασματικά κατά την διάρκεια της καλλιέργειας η μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας από το Diffuse λειτούργησε θετικά στην συνολική απόδοσή της.

## 5.2 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή, μελετήθηκε η επίδραση πού έχει ένα διπλό πλαστικό κάλυμμα πολυαιθυλενίου (Double), ένα κάλυμμα με μεγάλη ικανότητα διάχυσης του φωτός (Diffuse) και ένα απλό κάλυμμα (Clear), στην ανάπτυξη και την παραγωγικότητα της καλλιέργειας της τομάτας. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω:

- Το κάλυμμα Clear λόγω της μεγάλης περατότητας που έχει στην ηλιακή ακτινοβολία είχε μεγαλύτερη ανάγκη για σκίαση και δροσισμό από τον Μάρτιο και μετά σε σχέση με το Diffuse το οποίο μείωνε την ηλιακή ακτινοβολία κατά 15-30% με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ευνοϊκότερες συνθήκες ανάπτυξης για την καλλιέργεια.
- Το φαινόμενο αυτό αποτυπώθηκε και στην απόδοση σε καρπούς της καλλιέργειας, καθώς το Diffuse είχε καλύτερες αποδόσεις.
- Όσον αφορά το δείκτη LAI, βρέθηκε στο Diffuse υψηλότερος σε σχέση με τα υπόλοιπα κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό σημαίνει πως το φωτοσυνθετικό δυναμικό της καλλιέργειας και η ικανότητάς της για αύξηση εμφανίζονταν εντονότερα στο κάλυμμα αυτό της διάχυσης του φωτός.

Έπειτα, λόγω των ακραίων τιμών θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας που επικρατούσαν κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και τα τρία υλικά κάλυψης χρειάστηκαν συμπληρωματική σκίαση για την δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης της καλλιέργειας. Παρόλο που το κάλυμμα της διάχυσης του φωτός (Diffuse) προκαλεί σκίαση και κατ' επέκταση δροσισμό του θερμοκηπίου, δεν είναι αρκετό χωρίς την βοήθεια συμπληρωματικής σκίασης κυρίως κατά τις μεσημεριανές ώρες.

Συμπερασματικά, ένα ιδανικό φύλλο κάλυψης θα πρέπει να συνδυάζει έντονη διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία έτσι ώστε να μεγιστοποιείται ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των φυτών και παράλληλα να μειώνει τις ακραίες τιμές ακτινοβολίας και θερμοκρασίας κατά την διάρκεια των μεσημεριανών ωρών κυρίως για τις εαρινές καλλιέργειες.



Έτσι, μια επιλογή θα μπορούσε να αποτελεί το διπλό φουσκωτό κάλυμμα (Double) για υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου αλλά με την δυνατότητα συμπληρωματικής σκίασης κατά την διάρκεια Άνοιξη-Καλοκαίρι. Μια δεύτερη επιλογή θα μπορούσε να είναι το απλό κάλυμμα πολυαιθυλενίου (Clear), μαζί με την εγκατάσταση μετακινούμενης κουρτίνας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαμε να έχουμε μείωση της θερμικής καταπόνησης των φυτών από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία την άνοιξη, μετακινώντας την κουρτίνα πάνω από την καλλιέργεια τις ώρες με έντονη ηλιοφάνεια.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- ✓ Blom, T.J., Ingratta, F.J., 1985. The use of polyethylene film as greenhouse glazing in North America. *Acta Horticulturae* 170, 69-80.
- ✓ Dueck, T., Janse, J., Li, T., Kempkes, F. Eveleens, B., 2012. Influence of diffuse glass on the growth and production of tomato. *Acta Horticulturae* 956, 75-82.
- ✓ G. Papadakis, A. Frangoudakis, S. Kyritsis (1989) 44, Pages 97-111 Theoretical and Experimental Investigation of Thermal Radiation Transfer in Polyethylene Covered Greenhouses
- ✓ Goudriaan, J., Laar, H.H.Van., 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- ✓ J. Benton Jones Jr. , 1982, Hydroponics: Its history and use in plant nutrition studies 5:8, Pages: 1003-1030
- ✓ K. V. Garzoli, J. Blackwell(1987) 36, 75-85 An Analysis of the Nocturnal Heat Loss from a Double Skin Plastic Greenhouse
- ✓ K. V. Garzoli, J. Blackwell (1981) 26, 203-214 An Analysis of the Nocturnal Heat Loss from a Single Skin Plastic Greenhouse
- ✓ Katsoulas Nikolaos, Bartzanas Thomas, Chrysoula Manolaraki, Kittas Constantinos. Effect of anti-drip greenhouse cover materials on microclimate and production of a hydroponic cucumber crop. (2007)
- ✓ Markvart, J., Rosenqvist, E., Aaslyng, J.M. Ottosen, C.O., 2010. How is canopy photosynthesis and growth of *Chrysanthemums* affected by diffuse and direct light? *European Journal of Horticultural Science* 75, 253-258.
- ✓ Papadopoulos, A.P., Hao, X., 1997. Effects of greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Science Horticulturae* 70, 165–78.
- ✓ Papadopoulos, A.P., Hao, X., 1997. Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae* 70, 165-178.
- ✓ Y. Zhang , L. Gauthier , D. de Halleux , B. Dansereau , A. Gosselin Pages 227-244 Effect of covering materials on energy consumption and greenhouse microclimate

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

- ✓ Καυγά, Α., 2010. Ενεργειακή βελτιστοποίηση θερμοκηπίου με χρήση συστήματος θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία. Διδακτορική διατριβή.
- ✓ Μ.Β. Κυκριλής, 2008, Νέα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων, επίδραση στο κλίμα και στην παραγωγή, ιδιότητες των υλικών κάλυψης
- ✓ Μαυρογιαννόπουλος, Γ.Ν., 2005. Θερμοκήπια, Έκδοση ' Δ, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

### **Διαδικτυακή Βιβλιογραφία**

- ✓ <http://www.hitecfilms.com> 2013 (image)
- ✓ <http://www.venloinc.com> 2013 (image)
- ✓ <http://www.plastikakritis.com>
- ✓ <http://www.agrek.gr/ydroponia-kaliergies.html>

## Παράρτημα

### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	5196160,817	1	5196160,817	22846,843	,000
05/03/13	835,058	2	417,529	1,836	,184
Error	4776,125	21	227,435		

Όπως φαίνεται στα παραπάνω δεδομένα, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στο ύψος των φυτών μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (Sig >0,05)

### Tests of Within-Subjects Contrasts

Measure: height

Source	date	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Date	Linear	2205803,823	1	2205803,823	17144,596	,000
	Quadratic	55693,841	1	55693,841	510,620	,000
	Cubic	14341,306	1	14341,306	171,873	,000
	Order 4	19200,289	1	19200,289	396,600	,000
	Order 5	2724,032	1	2724,032	19,667	,000
	Order 6	8785,935	1	8785,935	128,341	,000
	Order 7	15847,161	1	15847,161	240,806	,000
	Order 8	338,327	1	338,327	2,414	,135
	Order 9	178,471	1	178,471	2,259	,148
date * VAR00001	Linear	83,130	2	41,565	,323	,727
	Quadratic	880,677	2	440,338	4,037	,033
	Cubic	125,826	2	62,913	,754	,483
	Order 4	328,734	2	164,367	3,395	,053
	Order 5	184,258	2	92,129	,665	,525
	Order 6	235,095	2	117,547	1,717	,204
	Order 7	179,333	2	89,667	1,363	,278
	Order 8	70,103	2	35,051	,250	,781
	Order 9	244,037	2	122,018	1,545	,237
Error(date)	Linear	2701,836	21	128,659		
	Quadratic	2290,490	21	109,071		
	Cubic	1752,263	21	83,441		
	Order 4	1016,658	21	48,412		

Order 5	2908,619	21	138,506	
Order 6	1437,608	21	68,458	
Order 7	1381,987	21	65,809	
Order 8	2943,245	21	140,155	
Order 9	1658,920	21	78,996	

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: ΑΝΘΟΤΑΞΙΕΣ

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	5198,704	1	5198,704	16324,903	,000
VAR00013	,908	2	,454	1,426	,263
Error	6,688	21	,318		

#### Tests of Within-Subjects Contrasts

Measure: flowers

Source	date	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
date	Linear	1561,779	1	1561,779	4141,437	,000
	Quadratic	,182	1	,182	1,320	,263
	Cubic	26,229	1	26,229	253,775	,000
	Order 4	22,185	1	22,185	214,257	,000
	Order 5	5,267	1	5,267	40,196	,000
	Order 6	29,020	1	29,020	203,297	,000
	Order 7	,030	1	,030	,284	,600
	Order 8	,680	1	,680	7,883	,011
	Order 9	13,466	1	13,466	192,551	,000
date * VAR00013	Linear	,844	2	,422	1,119	,345
	Quadratic	1,047	2	,524	3,803	,039
	Cubic	2,344	2	1,172	11,341	,000
	Order 4	2,764	2	1,382	13,347	,000
	Order 5	1,925	2	,963	7,346	,004
	Order 6	,115	2	,058	,403	,673
	Order 7	1,649	2	,825	7,687	,003
	Order 8	3,332	2	1,666	19,319	,000
	Order 9	1,404	2	,702	10,039	,001

	Linear	7,919	21	,377	
	Quadratic	2,892	21	,138	
	Cubic	2,170	21	,103	
	Order 4	2,174	21	,104	
Error(date)	Order 5	2,752	21	,131	
	Order 6	2,998	21	,143	
	Order 7	2,253	21	,107	
	Order 8	1,811	21	,086	
	Order 9	1,469	21	,070	



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000123194