



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 152
Ημερομηνία 23-10-2006

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ &
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πτυχιακή Διατριβή:

**"Μελέτη της επίδρασης τριών πλαστικών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίου
στην εισερχόμενη στο θερμοκήπιο ακτινοβολία"**

Κρυονερίτη Μαρία

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. Κίττας Κ., Καθηγητής, Επιβλέπων
2. Γέμος Θ., Καθηγητής, Μέλος
3. Νάνος Γ., Επίκουρος Καθηγητής, Μέλος

ΒΟΛΟΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2006



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

Αριθ. Εισ.: 5757/1
Ημερ. Εισ.: 29-08-2007
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2006
ΚΡΥ

Στους γονείς μου,
Γιώργο και Ελευθερία που
με στηρίζουν και με βοηθούν
σε κάθε βήμα αλλά και λάθος μου

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου και επιβλέποντα αυτής της εργασίας Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κίττα, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την επιστημονική καθοδήγηση και ηθική υποστήριξη του στην εκτέλεση του πειράματος και τη συγγραφή της εργασίας. Επίσης ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Θεοφάνη Γέμτο και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Νάνο, που μαζί με τον ανωτέρω καθηγητή συγκρότησαν την τριμελή συμβουλευτική επιτροπή της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Νικόλαο Κατσούλα, Λέκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τόσο για την επιστημονική καθοδήγηση και τις χρήσιμες υποδείξεις του κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος, όσο και για τις διορθώσεις αυτής της πτυχιακής εργασίας .

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αγάπη, την ηθική συμπαράσταση και την υποστήριξη της καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και όλους όσους μου συμπαραστάθηκαν κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Περιεχόμενα

	Σελ.
Περίληψη.....	5
Κεφάλαιο 1.	
Εισαγωγή.....	6
Σκοπός της εργασίας.....	10
Κεφάλαιο 2.	
Θεωρητική ανάλυση-Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	12
1. Μικροκλίμα του θερμοκηπίου.....	12
1.1 Θερμοκρασία.....	12
1.2 Υγρασία.....	13
1.3 Διοξείδιο του άνθρακα.....	14
1.4 Ακτινοβολία.....	15
1.4.1 Φάσμα.....	17
Συνολική ακτινοβολία.....	18
Μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία.....	18
Υπεριώδης ακτινοβολία.....	18
Ορατό φως.....	22
Κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία.....	22
Μεγάλου μήκους ακτινοβολία.....	23
1.4.2 Η ηλιακή ακτινοβολία και τα φυτά.....	24
1.4.3 Παράγοντες που ευνοούν το φυσικό φωτισμό.....	25
2 Τα υλικά κάλυψης.....	26
2.1 Φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης, γενικά.....	27
2.2 Υλικά απορροφητικά της UV.....	28
2.3 Υλικά κάλυψης με αντισταγονικές ιδιότητες.....	29
2.4 Υλικά κάλυψης με ιδιότητες δροσισμού.....	31
2.5 Υαλοπίνακας.....	35
2.6 Διάφορα πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως στην κάλυψη των θερμοκηπίων.....	36
2.6.1 Εύκαμπτα πλαστικά φύλλα.....	36
Σελλουλόζη.....	36
Πολυαιθυλένιο.....	37
Eva.....	41
Πολυβινυλοχλωρίδιο.....	42
Πολυεστερικά φύλλα.....	43
Φθοριούχα.....	44
2.6.2 Επιφάνειες σκληρού πλαστικού.....	44
Πολυκαρβονικές επιφάνειες.....	45
Ενισχυμένος πολυεστέρας.....	46
Σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο.....	46
Ακρυλικές επιφάνειες.....	47
Κεφάλαιο 3.	
Υλικά και μέθοδοι.....	48

1. Τοποθεσία του πειράματος.....	48
2. Περιγραφή θερμοκηπίων.....	48
3. Τα υλικά κάλυψης.....	49
4. Αερισμός.....	50
5. Θέρμανση.....	50
6. Η καλλιέργεια.....	50
7. Περιγραφή οργάνου- μετρήσεων- επεξεργασίας.....	51
Κεφάλαιο 4.	
Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	53
1. Επίδραση του χρόνου χρήσης των υλικών κάλυψης στις φασματικές τους ιδιότητες.....	53
2. Επίδραση της υγροποίησης στη φασματική διαπερατότητα των υλικών.....	61
3. Επίδραση των συνθηκών ακτινοβολίας στη φασματική διαπερατότητα.....	63
4. Επίδραση του ανοίγματος του παραθύρου στην εισερχόμενη ακτινοβολία.....	65
5. Η επίδραση της καλλιέργειας στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας.....	66
Κεφάλαιο 5.	
Συμπεράσματα.....	70
Βιβλιογραφία.....	72

Περίληψη

Τελευταία αποτελεί γεγονός η εφαρμογή νέων τάσεων στα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων. Αυτές οι νέες τάσεις αφορούν στην ενσωμάτωση προσθέτων, τα οποία βελτιώνουν τις φασματικές ιδιότητες των υλικών κάλυψης.

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή μελετήθηκαν τρία διαφορετικά υλικά κάλυψης σε τρία διαφορετικά θερμοκήπια. Το πρώτο υλικό κάλυψης ήταν απορροφητικό στην υπεριώδη ακτινοβολία, με αντισταγονικές ιδιότητες. Η πρώτη ιδιότητα συμβάλλει στη μείωση των ασθενειών και των εντόμων που προσβάλλουν την καλλιέργεια μέσα στο θερμοκήπιο, ενώ η δεύτερη συμβάλλει επίσης στη μείωση των ασθενειών αλλά και στην εξάλειψη του κινδύνου πτώσης των σταγόνων πάνω στα φυτά της καλλιέργειας. Το δεύτερο υλικό κάλυψης ήταν και αυτό απορροφητικό στην υπεριώδη ακτινοβολία, με αντισταγονικές ιδιότητες και συνέβαλλε στο δροσισμό του θερμοκηπίου (cooling film), ιδιαίτερα χρήσιμη ιδιότητα κατά την περίοδο του καλοκαιριού με τις υψηλές θερμοκρασίες. Το τρίτο υλικό κάλυψης, ήταν ο μάρτυρας, δεν ήταν απορροφητικό στην υπεριώδη ακτινοβολία και δεν παρουσίαζε αντισταγονικές ιδιότητες, ώστε η συμπύκνωση του νερού να εμφανίζεται με τη μορφή σταγόνων.

Η μελέτη αφορούσε την επίδραση απ' αυτά τα υλικά κάλυψης της γήρανσης των υλικών, της συμπύκνωσης του νερού, της ύπαρξης ή όχι ηλιοφάνειας, του ανοίγματος των παραθύρων και της ίδιας της καλλιέργειας στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτά τα υλικά κάλυψης ήταν κατάλληλα για χρήση σε θερμοκήπιο, ενώ δεν επιδρούσαν αρνητικά στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Κεφάλαιο 1.

Εισαγωγή

Οι θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα ξεκίνησαν το 1955 και αποτελούνταν από γυάλινα θερμοκήπια για παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Η κύρια εξάπλωσή τους όμως άρχισε μετά το 1961, οπότε έγινε χρήση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων. Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου υλικού είναι η εύκολη προσαρμογή σε κάθε σχήμα σκελετού και η χαμηλή τιμή του.

Σύμφωνα με στοιχεία του υπουργείου Γεωργίας για το έτος 1999, στα θερμοκήπια στη χώρα μας καλλιεργούνται κηπευτικά και ανθοκομικά είδη με μεγαλύτερα ποσοστά στην περιοχή της Κρήτης, ενώ ακολουθούν η Πελοπόννησος και η Κεντρική Μακεδονία. Όσον αφορά στα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων, 41751 θερμοκήπια καλύπτονται με πλαστικό υλικό, ενώ μόλις τα 1813 είναι υαλόφρακτα, σε σύνολο 43564 θερμοκηπίων, σύμφωνα πάντα με την ίδια έρευνα.

Η γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων και καλλιεργειών στη χώρα μας παρουσιάζεται στον πίνακα 1:

Πίνακας 1: Γεωγραφική κατανομή των εγκατεστημένων στη χώρα μας θερμοκηπίων και καλλιεργειών.

Περιοχές	Κηπευτικά				Ανθοκομικά				Σύνολο			
	Πλαστικά (στρ.)	Υαλό φρακτα (στρ.)	Σύνολο (στρ.)	Ποσοστό (%)	Πλα- στικά (στρ.)	Υαλό φρακτα (στρ.)	Σύνολο (στρ.)	Ποσοστό (%)	Πλα- στικά (στρ.)	Υαλό φρακτα (στρ.)	Σύνολο (στρ.)	Ποσοστό (%)
Κρήτη	16589	121	16710	41,78	696	94	790	22,14	17285	215	17500	40,17
Πελ/νησος	7608	27	7635	19,09	186	244	430	12,05	7794	271	8065	18,51
Κεντρική Μακεδονία	7034	0	7034	17,59	191	150	341	9,56	7225	150	7375	16,93
Λοιπές περιοχές	8452	165	8617	21,54	995	1012	2007	56,25	9447	1177	10624	24,39
Σύνολο χώρας	39683	313	39996	100,00	2068	1500	3568	100,00	41751	1813	43564	100,00
Ποσοστό(%)	99,2	0,8	100		57,9	42,1	100		95,58	4,2	100	

Να σημειωθεί σ' αυτό το σημείο ότι η συνολική έκταση των θερμοκηπίων στη χώρα μας σύμφωνα με στοιχεία του υπουργείου Γεωργίας για το έτος 2004, ήταν 49000 στρέμματα από τα οποία στα 45000 στρέμματα καλλιεργούνταν λαχανοκομικά και στα υπόλοιπα 4000 στρέμματα καλλιεργούνταν ανθοκομικά είδη.

Τα παραγόμενα θερμοκηπιακά προϊόντα, τόσο κηπευτικά όσο και ανθοκομικά, έχουν για την αγροτική οικονομία της χώρας μας ιδιαίτερη σημασία, συμμετέχοντας στο σύνολο της ακαθάριστης αξίας της φυτικής παραγωγής κατά 6,6% περίπου, ενώ η έκταση στην οποία καλλιεργούνται αποτελεί το 0,1% του γεωργικού εδάφους.

Να μη παραληφθεί το γεγονός ότι η αξία των παραγόμενων κηπευτικών προϊόντων σε θερμοκήπια αντιπροσώπευε το 18,5% της συνολικής αξίας των κηπευτικών, ενώ η καλλιεργούμενη έκταση αποτελούσε μόνο το 3% της καλλιεργούμενης έκτασης με κηπευτικά, σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας για το 1998.

Στις μέρες μας επιχειρείται η περαιτέρω ανάπτυξη των θερμοκηπιακών επιχειρήσεων για τους εξής λόγους:

1. Παρέχει τη δυνατότητα συγκράτησης πληθυσμού, που έχει στην κατοχή του μικρής έκτασης έδαφος στη γεωργία.
2. Αυξάνει την απασχόληση, διότι ασχολείται με εντατικές καλλιέργειες που αξιοποιούν πολλά εργατικά χέρια.
3. Μπορεί να συντελέσει στην αύξηση των ελληνικών εξαγωγών γεωργικών προϊόντων.
4. Δίνει διέξοδο στον εκσυγχρονισμό της ελληνικής γεωργίας (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Στις μέρες μας αυξάνεται η απαίτηση σε προϊόντα θερμοκηπίου απαλλαγμένα από ανεπιθύμητες ασθένειες, έντομα και χημικά, ώστε να πληρούν άριστες προδιαγραφές. Επιπλέον ένα κύριο θέμα είναι αυτό της εξοικονόμησης ενέργειας. Έτσι, αυξάνεται η τάση στη χρησιμοποίηση υλικών κάλυψης απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία, αντισταγονικών αλλά και υλικών που επιτρέπουν το δροσισμό των θερμοκηπίων (cooling films).

Τα φωτοεκλεκτικά είναι υλικά τα οποία περιέχουν πρόσθετα ή σταθεροποιητές που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία, απουσία της οποίας μειώνεται η σποριοποίηση μυκήτων και η ύπαρξη εντόμων. Επίσης υπάρχουν και φωτοεκλεκτικά υλικά με αντισταγονικές ιδιότητες που αποτρέπουν τη συμπύκνωση των υδρατμών πάνω σ' αυτά υπό μορφή σταγόνων και επιτρέπουν τη συμπύκνωση των υδρατμών υπό μορφή μεμβράνης ώστε το νερό να ρέει προς την περιφέρεια, χωρίς να πέφτει πάνω στα φυτά. Κατ' αυτό τον τρόπο εμποδίζεται η ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Τα cooling films είναι συνήθως έγχρωμα πλαστικά υλικά τα οποία εμποδίζουν τη διέλευση της θερμικής ακτινοβολίας (NIR) ώστε να δημιουργούνται συνθήκες δροσισμού, απαραίτητες κατά τις θερμές ημέρες του καλοκαιριού. Έτσι γίνεται και εξοικονόμηση ενέργειας.

Η επιλογή των διαφόρων υλικών κάλυψης πρέπει να βασίζεται στις παρακάτω ιδιότητες (Μαυρογιαννόπουλος, 2001):

1. Περαιτότητα στο φως
2. Μηχανική αντοχή
3. Θερμοπεραιτότητα
4. Περαιτότητα στη μεγάλη μήκος κύματος ακτινοβολία
5. Ευαισθησία στη γήρανση
6. Αντίσταση στα χτυπήματα από χαλάζι
7. Μέγεθος της διαφανούς επιφάνειας που μπορεί να κατασκευαστεί
8. Αντίσταση στο σκίσιμο
9. Ευαισθησία στη συγκράτηση σκόνης
10. Τρόπος συμπύκνωσης υγρασίας (σε σταγόνες ή σε μεμβράνη)
11. Περαιτότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία
12. Ευαισθησία στις διάφορες χημικές ουσίες

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπέσει σε μία επιφάνεια, αυτή ανακλάται, απορροφάται, ή διαπερνά την επιφάνεια αυτή. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί την έννοια της διαπεραιτότητας ή περαιτότητας στο φως. Η διαπεραιτότητα ορίζεται απ' το λόγο της ακτινοβολίας που διαπερνά μία επιφάνεια προς την ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σ' αυτή την επιφάνεια. Συγκεκριμένα η διαπεραιτότητα ή αλλιώς συντελεστής της διαπεραιτότητας εκφράζεται ως:

$$\tau \% = (I \cdot 100) / I_0 \%$$

Είναι εξαιρετικά κρίσιμο να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή διαπερατότητα των μηκών κύματος που είναι απαραίτητα για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών, μέσω των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων, που εξηγείται αναλυτικότερα παρακάτω:

Κατ' αρχάς, από ποσοτικής άποψης, καθώς η ποσότητα της ενέργειας της ακτινοβολίας φτάνει στην καλλιέργεια του θερμοκηπίου, είναι μεγάλης σημασίας ως προς την άποψη της ενεργειακής ισορροπίας, της διαπνοής, της φωτοσύνθεσης και της ολικής παραγωγικότητας της καλλιέργειας (Giacomelli, 1998).

Δεύτερον, είναι εξίσου προφανές ότι η ποιότητα του φωτός μπορεί σημαντικά να τροποποιηθεί από τις οπτικές ιδιότητες του καλύμματος του θερμοκηπίου.

Επισημαίνεται η ανάγκη καλύτερης μελέτης της κατανομής της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στα μήκη κύματος ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, όπως η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (PAR), η κόκκινη (red), η υπέρυθρη ακτινοβολία (infra-red), η υπεριώδης (UV), καθώς και η αντίδραση της καλλιέργειας σε τέτοιες αλλαγές (Baille and Tchatmichian, 1991). Είναι γνωστό ότι ο λόγος της κόκκινης προς την μακρινή κόκκινη ακτινοβολία επηρεάζει την άνθιση και την μορφογένεση των φυτών, ή ότι η σχετική ποσότητα της UV ακτινοβολίας παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη ορισμένων μυκήτων (Giacomelli, 1998).

Ο πρωτεύων σκοπός ενός υλικού θερμοκηπίου είναι να παρέχει ένα ημιδιαφανές φράγμα μεταξύ δύο περιβαλλόντων. Το ένα απ' αυτά είναι πρόσφορο για την αύξηση των φυτών και το άλλο δεν είναι. Η ηλιακή ακτινοβολία διαμέσου του καλύμματος του θερμοκηπίου παρέχει ενέργεια για την φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών, μετατρέποντας το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το νερό (H₂O) σε μία μορφή υδατάνθρακα (C₆H₁₂O₆) και οξυγόνο (O₂). Η γωνία της οροφής του θερμοκηπίου όπως προβάλλεται στον ήλιο

καθορίζει την ποσότητα της ενέργειας που ανακλάται καθώς και την ποσότητα που διαπερνά το κάλυμμα.

Άμεση είναι η ευθεία ακτινοβολία ακτίνων που φθάνει κατ' ευθείαν από τον ήλιο στον αισθητήρα ή στα φυτά, ενώ διάχυτη είναι η ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από την ατμόσφαιρα ή απ' τη δομή του θερμοκηπίου πριν φτάσει στον αισθητήρα ή στο φυτό.

Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα υλικά κάλυψης, η περισσότερη απ' την ακτινοβολία που διαπερνά το κάλυμμα είναι διάχυτη, εξ' αιτίας της ημιδιαφανούς φύσης των υλικών (Giacomelli, 1998).

Σκοπός της εργασίας:

Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια να μελετηθεί η επίδραση τριών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων στη διαπερατότητα αλλά και στις υπόλοιπες οπτικές ιδιότητες (ανακλαστικότητα και απορροφητικότητα). Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρία διαφορετικά θερμοκήπια ως εξής: Το υλικό κάλυψης του πρώτου θερμοκηπίου με κωδικό αριθμό 3999 ήταν χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE), μη περατό στην υπεριώδη ακτινοβολία, με αντισταγονικές ιδιότητες, δηλαδή η συμπύκνωση των υδρατμών γινόταν με μορφή μεμβράνης. Το υλικό κάλυψης του δεύτερου θερμοκηπίου με κωδικό αριθμό 3975, ήταν χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE), μη περατό στην υπεριώδη ακτινοβολία. Παρουσίαζε αντισταγονικές ιδιότητες και είχε ελαφρύ γκριζό χρωματισμό εξ' αιτίας του οποίου υπήρχε μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στην PAR και στη NIR, επομένως και μικρότερη διαπερατότητα σ' αυτές τις ακτινοβολίες ώστε να εξασφαλίζει και το ρόλο του δροσισμού του θερμοκηπίου (cooling film). Τέλος, το υλικό κάλυψης του τρίτου θερμοκηπίου με κωδικό αριθμό 3945 χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας, ήταν και αυτό χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE), περατό στην υπεριώδη ακτινοβολία (28%) και η συμπύκνωση των υδρατμών γινόταν με μορφή σταγόνων και όχι με τη μορφή μεμβράνης. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με:

- 1.Την επίδραση του τρόπου υγροποίησης του νερού στη φασματική διαπερατότητα των υλικών για την οποία δεν έχουν υπάρξει μέχρι σήμερα παρόμοιες μελέτες.
- 2.Την επίδραση των συνθηκών ακτινοβολίας (συννεφιά-ηλιοφάνεια) στη φασματική διαπερατότητα των υλικών.
- 3.Την επίδραση του ανοίγματος του παραθύρου στην εισερχόμενη ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.
- 4.Την επίδραση της καλλιέργειας στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.
- 5.Την επίδραση της γήρανσης των υλικών στη διαπερατότητά τους στα διάφορα μήκη κύματος.

Για τις πρώτες τέσσερις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο, ενώ για την πέμπτη μεταχείριση, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές μετρήσεις.

Κεφάλαιο 2.

Θεωρητική ανάλυση-Βιβλιογραφική ανασκόπηση

1.Μικροκλίμα του θερμοκηπίου

Το μικροκλίμα στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου είναι η συνισταμένη των διαφόρων ανταλλαγών ενέργειας (με ακτινοβολία, μεταφορά και αγωγιμότητα) και μάζας (υδρατμοί, CO₂) που λαμβάνουν χώρα μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος.

Το μικροκλίμα είναι βασική συνιστώσα της βιολογικής δραστηριότητας. Το θερμοκήπιο επεμβαίνει σε όλες τις ανταλλαγές ενέργειας. Οι οπτικές ιδιότητες του τοιχώματος τροποποιούν το ισοζύγιο ακτινοβολίας, ενώ τα άλλα φυσικά χαρακτηριστικά του, διαταράσσουν τις ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας. Το μικροκλίμα του θερμοκηπίου, είναι η συνισταμένη αυτών των ανταλλαγών (Κίττας, 2001).

1.1 Θερμοκρασία

Η αύξηση των φυτών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσονται, δεδομένου ότι σημαντικές φυσιολογικές τους λειτουργίες (φωτοσύνθεση, αναπνοή, διαπνοή κ.λ.π.) επηρεάζονται από αυτή.

Εκτός από τη σημασία της θερμοκρασίας στις κύριες μεταβολικές λειτουργίες των φυτών, σημαντική είναι και η διαφορά θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας. Όταν η θερμοκρασία της νύχτας διατηρείται σχετικά χαμηλή περιορίζεται η κατανάλωση υδατανθράκων μέσω της αναπνοής με συνέπεια το ισοζύγιο της καθαρής φωτοσύνθεσης να αυξάνεται με αποτέλεσμα τη γρηγορότερη και πλουσιότερη αύξηση των φυτών. Στην καλλιεργητική πρακτική το δεδομένο αυτό λαμβάνεται υπόψη κυρίως στις καλλιέργειες θερμοκηπίου στις οποίες, κατά την διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους και εφόσον ο χώρος θερμαίνεται, η νυκτερινή θερμοκρασία διατηρείται κατά 5-6 °C χαμηλότερα από τη θερμοκρασία της ημέρας. (www.wcrl.ars.usda.gov/programs/physbiochem/pbresearch.html)

1.2 Υγρασία

Ένας από τους βασικούς παράγοντες του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου είναι η υγρασία που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Μπορεί να χαρακτηριστεί από διάφορες παραμέτρους όπως η απόλυτη υγρασία, η κατάσταση κορεσμού, η θερμοκρασία του σημείου δρόσου και η σχετική υγρασία. Όταν ο αέρας είναι κορεσμένος σε υδρατμούς αρχίζει η συμπύκνωση τους πάνω στις επιφάνειες με τη χαμηλότερη θερμοκρασία όπως είναι το κάλυμμα του ή τα φυτά. Για να αποφευχθεί η συμπύκνωση θα πρέπει η θερμοκρασία του σημείου δρόσου να είναι χαμηλότερα από αυτή του αέρα και των σωμάτων στα οποία γίνεται η συμπύκνωση.

Το σημαντικότερο πρόβλημα στο θερμοκήπιο δημιουργείται με τη συμπύκνωση των υδρατμών πάνω στα φυτά, η οποία ευνοεί την βλάστηση σπορίων μυκήτων και την ανάπτυξη βακτηρίων.

Στην περίπτωση της συμπύκνωσης στο κάλυμμα, εκτός από τα χαρακτηριστικά του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου, σημαντικό ρόλο έχουν και τα χαρακτηριστικά θερμοπερατότητας των υλικών κατασκευής. Όταν ελαττωθεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υλικού κάλυψης, (π.χ. διπλή επιφάνεια πολυαιθυλενίου), αυξάνει η θερμομονωτικότητα και η θερμοκρασία της εσωτερικής πλευράς, με αποτέλεσμα λιγότερες φορές η θερμοκρασία στην επιφάνεια της να φθάσει το σημείο δρόσου.

Οι ιδιότητες του υλικού κάλυψης καθορίζουν και τη μορφή της συμπύκνωσης. Στο γυάλινο κάλυμμα η συμπύκνωση γίνεται υπό μορφή μεμβράνης, ενώ στο πολυαιθυλένιο και τον πολυεστέρα υπό μορφή σταγόνων που πέφτουν πάνω στα φυτά. Τα σύγχρονα πλαστικά καλύμματα έχουν πρόσθετα προκειμένου η συμπύκνωση να έχει τη μορφή μεμβράνης.

Γενικά η επιφανειακή συμπύκνωση στα υλικά του σκελετού έχει σαν αποτέλεσμα την διάβρωση τους, ενώ στα υλικά κάλυψης τη μείωση της περατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης στο κάλυμμα πολυαιθυλενίου αυξάνει την περατότητα στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία αυξάνοντας τις απώλειες θερμότητας, γεγονός που στα σύγχρονα πλαστικά καλύμματα

ξεπερνιέται με την χρησιμοποίηση IR προσθέτων (www.wcrl.ars.usda.gov/programs/physbiochem/pbresearch.html).

1.3 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Στον αέρα η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα φθάνει στο ποσοστό του 0,03%. Όμως στην περίπτωση του θερμοκηπίου, όταν αυτό είναι κλειστό και δέχεται μεγάλη ένταση ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα την αύξηση της φωτοσύνθεσης η συγκέντρωση παρουσιάζει σημαντικές αλλαγές. Κατά τη διάρκεια μιας ηλιόλουστης μέρας, όταν το θερμοκήπιο παραμένει κλειστό για δύο ώρες, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να πέσει στο 0,01% (www.wcrl.ars.usda.gov/programs/physbiochem/pbresearch.html). Σε φυσικές συνθήκες, η ασθενής περιεκτικότητα του αέρα σε CO₂, μπορεί να γίνει περιοριστικός παράγοντας της φωτοσύνθεσης, κυρίως εάν οι αντιστάσεις στη διάχυση είναι σημαντικές. Τα μέσα επέμβασης περιορίζονται τότε στην αναζήτηση της διατήρησης των στοματικών ανοιγμάτων, με μια σωστή τροφοδοσία σε νερό.

Σε κλειστό χώρο αντίθετα, η περιορισμένη αύξηση της περιεκτικότητας του αέρα σε CO₂, μπορεί να έχει θετικά και διαρκή αποτελέσματα. Πρόκειται στην περίπτωση αυτή, για την τεχνική της «ανθρακολίπανσης», η οποία δεν μπορεί να εφαρμοστεί, παρά μόνο αν οι απώλειες λόγω μη στεγανότητας προς το εξωτερικό είναι αμελητέες (Κίττας, 2001).

Έχει αποδειχτεί ότι για σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος, το διοξείδιο του άνθρακα επιδρά άμεσα στην ένταση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, και ότι η ιδανική συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα μέσα σε ένα θερμοκήπιο εξαρτάται άμεσα από την ένταση του φωτός (www.wcrl.ars.usda.gov/programs/physbiochem/pbresearch.html).

1.4 Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι απαραίτητη στη ζώσα ύλη και αποτελεί μια αδιάκοπη πηγή φυσικής ενέργειας η οποία, παράλληλα με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, έχει μεγάλη δυνατότητα για πολλές εφαρμογές διότι είναι άφθονη και προσβάσιμη. Απ' την άλλη κερδίζει έδαφος σαν ένα συμπλήρωμα στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες έχουν ένα «πεπερασμένο» απόθεμα.

Η σημαντική μείωση του στρώματος του όζοντος που βρίσκεται στην στρατόσφαιρα, το οποίο προστατεύει την γη από την βιολογικά επιβλαβή ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία (UV), είναι προφανής εξ' αιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι αρνητικές βιολογικές επιπτώσεις της UV στον άνθρωπο περιλαμβάνουν συν τοις άλλοις εγκαύματα, επιπεφυκίτιδες και καρκίνο του δέρματος. Χρησιμοποιώντας το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα μέσω της φωτοσύνθεσης, τα φυτά παράγουν την τροφή τους (φωτοσυνθάσες) απαραίτητες για την αύξηση και την επιβίωσή τους. Το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα καταναλώνεται, το οξυγόνο αποδίδεται, το νερό απαιτείται και η ενέργεια αποθηκεύεται. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι η ηλιακή ακτινοβολία έχει έναν κύριο οικολογικό ρόλο (Giacomelli, 1998).

Οι περισσότερες φωτοβιολογικές έρευνες έχουν περιοριστεί σε εργαστηριακή δουλειά που βασίζεται στη χρήση μονοχρωματικής υπεριώδους ακτινοβολίας που παράγεται τεχνητά. Επειδή αυτές οι μελέτες δεν αντιπροσωπεύουν ολοκληρωτικά τη φυσική κατάσταση, η πρόσφατη τάση είναι να συμπληρώνονται με πειράματα χρησιμοποιώντας το ηλιακό φως σαν μία φυσική πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας, πράγμα το οποίο δίνει αποτελέσματα με περισσότερο ρεαλιστικές και πρακτικές τιμές. Ωστόσο, η πολυχρωματική φύση της ηλιακής ακτινοβολίας, η μεταβλητή της ένταση και η περιορισμένη γνώση της κατανομής της σε τοπικό επίπεδο τείνουν να παρεμποδίζουν τέτοιες προσπάθειες και να περιπλέκουν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Με την ακτινοβολία μεταφέρεται ενέργεια μέσω των φωτονίων, που είναι διακεκριμένες δέσμες ενέργειας. Τα φωτόνια ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός ($c=3 \cdot 10^8$ m/s) και έχουν ιδιότητες όμοιες με αυτές των σωματιδίων και των μικροκυμάτων. Εκπέμπονται ή απορροφώνται από την ύλη λόγω μετακίνησης των ηλεκτρονίων από το ένα επίπεδο ενέργειας σε άλλο ή αλλαγών στην ενέργεια δόνησης και περιστροφής των μορίων (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Γενικά η ακτινοβολία μπορεί να θεωρηθεί και ως ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Κάθε φυσική επιφάνεια λόγω της θερμοκρασίας της εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ένα μήκος κύματος που κυμαίνεται μεταξύ 200 και 100000 nm και έχει σταθερή ταχύτητα. Στο διάστημα αυτό περιλαμβάνεται η ηλιακή ακτινοβολία και η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία.

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

Με τη φωτοσύνθεση δεσμεύεται η φωτεινή ακτινοβολία στους υδατάνθρακες, οι οποίοι με τη σειρά τους αποτελούν το καύσιμο που δίνει ενέργεια σε κάθε ζωντανό οργανισμό.

Όταν όλοι οι παράγοντες που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση, όπως η φωτεινή ακτινοβολία, το διοξείδιο του άνθρακα, η θερμοκρασία, το νερό κ.ά. βρίσκονται στο άριστο επίπεδο, τότε και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (άρα και η ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών) βρίσκεται στο ανώτερο δυνατό επίπεδο. Αν ένας απ' αυτούς τους παράγοντες μειωθεί, όπως π.χ. η ένταση του φωτισμού, τότε η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (και ανάπτυξη των φυτών) μειώνεται. Αν ένας απ' αυτούς τους παράγοντες αυξηθεί πάνω από το άριστο, επομένως και η ένταση του φωτισμού, πάλι μειώνεται η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (στην περίπτωση της υψηλής έντασης φωτισμού, επειδή βλάπτονται οι χλωροπλάστες).

Για την ανάπτυξη των φυτών μάς ενδιαφέρει κυρίως το φάσμα της ακτινοβολίας, η ένταση, και διάρκειά της (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

1.4.1 Φάσμα

Το μήκος κύματος της διασκορπιζόμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια ενός σώματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία της επιφάνειάς του. Η ακτινοβολία μιας πηγής εκπέμπεται συνήθως όχι μόνο σε ένα μήκος κύματος αλλά σε περισσότερα. Η μέγιστη ακτινοβολία εκπέμπεται στο μήκος κύματος :

$\lambda_m = 2897 / T$, όπου:

λ_m = το μήκος κύματος που εκπέμπεται το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας [μm]

2897= σταθερά [μm K]

T= θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin

Η κατανομή του φάσματος απ' τις δύο πλευρές του λ_m δεν είναι κατ' ανάγκη ομοιόμορφη. Για μια επιφανειακή θερμοκρασία του ήλιου 6000 °C το λ_m συμβαίνει στα 450 nm, όπου μόνο το 25% της ηλιακής ενέργειας συμβαίνει σε μικρότερο μήκος κύματος απ' το λ_m .

Τα διάφορα μήκη κύματος περιέχουν διαφορετική ενέργεια, η ενέργεια αυξάνει όσο το μήκος κύματος γίνεται μικρότερο (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που μεταδίδεται απ' τον ήλιο δείχνει μία μεγάλη ποικιλία μηκών κυμάτων. Μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κύριες περιοχές: 1. Την ιονιζόμενη ακτινοβολία (ακτίνες X και γ) και 2. Τη μη ιονιζόμενη ακτινοβολία (υπεριώδης, ορατό φως, υπέρυθρη ακτινοβολία). Ευτυχώς, η υψηλά επιβλαβής ιονιζόμενη ακτινοβολία δεν διαπερνά την ατμόσφαιρα της γης (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Σχετικά με το εύρος του φάσματος, την ακτινοβολία τη ξεχωρίζουμε σε:

A. Συνολική ακτινοβολία 200-100000nm

Η συνολική αυτή ακτινοβολία είναι σημαντική για τις μελέτες του ενεργειακού ισοζυγίου του θερμοκηπίου και την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Η ενέργεια αυτή μπορεί να μετρηθεί με ακτινόμετρο.

B. Μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία 200-3000nm

Λόγω της υψηλής επιφανειακής θερμοκρασίας του ήλιου, το 98% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρού μήκους κύματος. Η ακτινοβολία αυτή διαχωρίζεται σε άμεση και διάχυτη. Η άμεση ακτινοβολία είναι αυτή που μεταδίδεται σε ευθεία γραμμή, η διαχεόμενη ακτινοβολία περιλαμβάνει την ανακλώμενη ακτινοβολία από τα σύννεφα, σωματίδια, μόρια της ατμόσφαιρας και άλλες επιφάνειες.

Η ανάκλαση της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας εξαρτάται κατά μεγάλο μέρος από το χρώμα της επιφάνειας, καθώς και απ' τη γωνία πρόσπτωσης στην επιφάνεια.

Η διαπερατότητα της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας μέσω των διαφανών υλικών είναι περίπου 90% για τον υαλοπίνακα, πολυεστέρα, P.V.C. και πολυαιθυλένιο. Μετρήσεις στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία, γίνονται συνήθως με πυρανόμετρα-ηλιόμετρα. Η μονάδα μέτρησης είναι W/m^2 . Μετρώντας την ηλιακή ακτινοβολία κάθε δευτερόλεπτο και αθροίζοντας βρίσκουμε την ακτινοβολούμενη ενέργεια για μια περίοδο χρόνου, π.χ. μια ημέρα, σε $Joule/m^2$ (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

‡ Υπεριώδης ακτινοβολία 190-380nm.

Περίπου το 7% της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει έξω απ' την ατμόσφαιρα είναι ακτινοβολία αυτού του μήκους κύματος. Λόγω όμως του στρώματος του όζοντος που υπάρχει στην ατμόσφαιρα φθάνει πολύ μικρότερη

ποσότητα στην επιφάνεια της γης (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Συγκεκριμένα, υπάρχει ένα λεπτό στρώμα όζοντος στο υψηλότερο τμήμα της ατμόσφαιρας που καλείται στρατόσφαιρα και εκεί συμβαίνει απορροφητικότητα, ανακλαστικότητα και διασκορπισμός της ηλιακής ακτινοβολίας. Το όζον έχει την ικανότητα απορροφητικότητας της υπεριώδους ακτινοβολίας και ιδιαίτερα των μικρών μηκών κυμάτων της, τα οποία είναι και περισσότερο επιβλαβή (Klayman, 1999).

Περίπου όλη η ακτινοβολία με μήκος κύματος μικρότερο από 300nm απορροφάται στην ατμόσφαιρα. Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) είναι το μέρος του ηλιακού φάσματος με την υψηλότερη ενέργεια. Χαρακτηρίζεται ως UV-c (190-280nm), η οποία όμως απορροφάται στο σύνολό της από την ατμόσφαιρα, UV-b (280-315nm) και UV-a (315-380nm). Η ακτινοβολία αυτή έχει τη δυνατότητα να καταστρέφει τους δεσμούς των οργανικών ενώσεων στις οποίες προσπίπτει. Εκτός του ότι είναι επικίνδυνη για το ανθρώπινο δέρμα, καταστρέφει με την πάροδο του χρόνου τα πλαστικά καλύμματα του θερμοκηπίου και συγκεκριμένα τις οργανικές ενώσεις. (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Η μείωση του προστατευτικού στρώματος του όζοντος από ατμοσφαιρικούς ρύπους όπως χλωροφθοράνθρακες και οξείδια του αζώτου που αντιδρούν φωτοχημικά με το όζον, θα προάγουν τη διαπερατότητα της υψηλά επιβλαβούς υπεριώδους ακτινοβολίας. (Klayman, 1999)

Για την επιβράδυνση της καταστροφής των πλαστικών, κατά την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται πρόσθετα που χαρακτηρίζονται ως σταθεροποιητές στην υπεριώδη ακτινοβολία. Τα πιο πολλά πλαστικά που χρησιμοποιούνται στο θερμοκήπιο, καθώς και οι υαλοπίνακες δεν είναι περατά στη UV-b ακτινοβολία. Ο υαλοπίνακας μόνο σε ένα μέρος της UV-a ακτινοβολίας είναι περατός. Εξαιρεση αποτελεί ένας ειδικός υαλοπίνακας που καλείται Planilux diamand ή Optiwhite, ο οποίος, λόγω τροποποιημένης πρώτης ύλης, είναι περατός στην UV-a και ένα μέρος της UV-b ακτινοβολίας. (www.yumasun.com/artman/publish/articles/story_11213.shtml).

Έχει αποδειχθεί ότι η αυξημένη υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να μειώσει την παραγωγικότητα κάποιων καλλιεργειών. Απ' τη μία, ευνοείται η ανάπτυξη άρα και η γονιμοποίηση των εντόμων, όπως μελισσών, αφού η υπεριώδης ακτινοβολία και ειδικά η UV-b διευκολύνει τον προσανατολισμό των εντόμων. Απ' την άλλη,

η παραγωγή σπορίων μερικών μυκήτων ευνοείται απ' τη UV-b ακτινοβολία όπως ο βωτρίτης που αναπτύσσεται σε ακτινοβολία με μήκος κύματος μικρότερο των 380 nm (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Η επίδραση της UV-b ακτινοβολίας στα φυτά έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνητικών εργασιών. Έχει βρεθεί ότι τα φυτά μπιζελιού είναι πολύ επιρρεπή στη μεγάλη μήκους κύματος υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία (305-320 nm) σε σύγκριση με φυτά τριτικάλε τα οποία δεν είναι τόσο επιρρεπή (Skorska, 2000)

Η παρουσία υψηλών επιπέδων ακτινοβολίας UV-b μειώνει τον εμπλουτισμό σε CO₂. Αυτό είτε πηγάζει από φωτοσυνθετικούς περιορισμούς στο περιβάλλον του CO₂ ή από άμεσα αποτελέσματα της UV-b ακτινοβολίας στην αύξηση ή από άλλους μηχανισμούς που δεν έχουν βρεθεί μέχρι τώρα. Κατά συνέπεια, ακόμα κι αν αυξήσεις στη UV-b ακτινοβολία δεν μειώσουν την παραγωγικότητα οικοσυστήματος, τέτοιες αυξήσεις μπορεί να θέσουν περιορισμούς στις αυξήσεις παραγωγικότητας λόγω της μείωσης του εμπλουτισμού του CO₂ (Sullivan, 1997).

Πειράματα πραγματοποιήθηκαν σχετικά με τα συμπτώματα της UV-b πάνω στα φυτά. Τα οπτικά συμπτώματα που αποτελούνται από τις χλωρωτικές ή νεκρωτικές κηλίδες στα φύλλα που εκτέθηκαν στη UV-b δεν ήταν μοναδικά. Τόσο η φυτική όσο και αναπαραγωγική μορφολογία άλλαξε από την UV-b ακτινοβολία. Η ανατομία φύλλων άλλαξε λόγω των τροποποιήσεων στο πάχος των στρωμάτων της επιδερμίδας, του περιφράγματος, και των μεσοφύλλων. Η ενισχυμένη UV-b μείωσε γενικά την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (10–70%), ενώ αύξησε τις απορροφούμενες ενώσεις απ' την υπεριώδη ακτινοβολία (10–300%) σε πολλές καλλιέργειες. Η μείωση στη φωτοσύνθεση (3–90%), ιδιαίτερα στις υψηλότερες δόσεις UV-b, ήταν εξ' αιτίας άμεσων (επίδραση στο φωτοσύστημα) και έμμεσων (μείωση στις χρωστικές ουσίες και την περιοχή φύλλων) αποτελεσμάτων. Οι μειώσεις στην χλωροφύλλη και τη φωτοσύνθεση οδήγησαν στη χαμηλότερη βιομάζα και απόδοση των περισσότερων φυτών συγκομιδών. (Kakani et al, 2003)

Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει χρησιμοποιηθεί με τεχνητό τρόπο σε διάφορα μοσχεύματα (Bertram and Lercari, 2002). Προτείνεται ότι προκειμένου να ελεγχθεί η επιμήκυνση μίσχων τομάτας υπό χαμηλές ακτινοβολίες PAR, πρέπει να εφαρμοστεί UV στο πρώτο μισό της διάρκειας της νύχτας ή της ημέρας, ενώ για τον ίδιο έλεγχο

υπό υψηλότερες ακτινοβολίες PAR, μπορεί να εφαρμοστούν διάφορες μεταχειρίσεις σε UV οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας.

Επιπλέον, μεταχειρίσεις της UV που πραγματοποιούνται τα μεσάνυχτα σε μοσχεύματα των φυτών σαλβία, τομάτας, καρπουζιού, κατηφέ και πετούνιας, έδειξαν ότι μπορούν να ελέγξουν αποτελεσματικά την αύξηση μίσχων στην σαλβία, ντομάτα και στο καρπούζι, ενώ είναι σχεδόν αναποτελεσματικές στον κατηφέ και στην πετούνια. (Lercari et al., 2002)

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

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

Μορφολογικές μεταβολές στην ανατομία του φύλλου που οφείλονται στην επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, έχουν καταγραφεί για πλήθος φυτών. Αυτές οι μεταβολές περιλαμβάνουν αύξηση του πάχους των φύλλων, η οποία συνοδεύεται από μείωση της φυλλικής επιφάνειας και μείωση της συχνότητας ανοιγοκλεισίματος των στοματίων. Η αύξηση στο πάχος του φύλλου έχει μεταφραστεί ως προστατευτικός μηχανισμός ενάντια στη βλάβη που προκαλείται από τη UV-b. Τα παραπάνω ισχύουν σε όλα τα είδη φυτών που έχουν εξεταστεί εκτός από το καλαμπόκι του οποίου το πάχος στα φύλλα μειώθηκε (Hollosy, 2002).

Έρευνες έδειξαν ότι η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) προξενεί την σποριοποίηση κάποιων μυκήτων και επιφέρει τη διάδοση ορισμένων ασθενειών (φυτοπαθολογικών). Έτσι, οι ερευνητές άρχισαν να ασχολούνται με υλικά κάλυψης τα οποία εμποδίζουν τη διέλευση της υπεριώδους ακτινοβολίας, ώστε να εμποδίζεται η ανάπτυξη αυτών των ασθενειών. Έρευνες έδειξαν ότι τα

φωτοεκλεκτικά αυτά υλικά μείωσαν τους πληθυσμούς των εντόμων στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η μείωση των εντόμων συνεπάγεται και μείωση των ασθενειών καθώς μειώνονται τα έντομα φορείς (π.χ. Αλευρώδης).

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

Επίσης έχει παρατηρηθεί μεγάλη μείωση στους ιούς οι οποίοι μεταδίδονται με τον αλευρώδη σε φυτά τομάτας και πεπονιού, τα οποία αναπτύσσονταν σε θερμοκήπια καλυμμένα με υλικά απορροφητικά της UV ακτινοβολίας (Antignus, 2000). Η εμφάνιση του TYLCV σε τομάτα αναπτυσσόμενη κάτω από τα ίδια υλικά μειώθηκε σε ποσοστό 1%, ενώ στον μάρτυρα (υλικό κάλυψης μη απορροφητικό της UV) το ποσοστό εμφάνισης του TYLCV κυμάνθηκε περίπου στο 80%.

↓ Ορατό φως 400-700nm.

Είναι η περιοχή της ακτινοβολίας που γίνεται αντιληπτή απ' το ανθρώπινο μάτι. Περίπου το 47% της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ορατό φως. Η απορρόφηση της χλωροφύλλης, που είναι συλλέκτης ενέργειας για τα φυτά, δείχνει ένα μέγιστο στην περιοχή του κόκκινου (600-700nm) και στην περιοχή του μπλε (400-500nm). Η ακτινοβολία της περιοχής αυτής, που παρέχει την ενέργεια για τη φωτοσύνθεση, αναφέρεται και ως φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία ή PAR (400-700nm). Η αναλογία της μπλε ακτινοβολίας προς την κόκκινη (blue/red) είναι ιδιαίτερα σημαντική και σχετίζεται με το κρυπτόχρωμα, το οποίο είναι ένας απ' τους δύο δείκτες ποιότητας του φωτός. (Kittas et al., 1999)

Μετρήσεις της ορατής ακτινοβολίας γίνονται κυρίως με το φωτόμετρο το οποίο μετρά το φως με βάση την ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού. Το ανθρώπινο μάτι έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στην περιοχή του κίτρινου.

↓ Κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία (NIR) 700-3000nm.

Η περιοχή κοντά στο ερυθρό 700-780nm (far red) είναι σημαντική για την επιμήκυνση και τις άλλες μορφοποιητικές διαδικασίες των φυτών. Η αναλογία κόκκινη/μακρινή κόκκινη ακτινοβολία (red/far red) είναι πολύ σημαντική και

σχετίζεται με το φυτόχρωμα, το οποίο είναι ο δεύτερος απ' τους δύο δείκτες της ποιότητας του φωτός. Ο λόγος μπλε προς μακρινό κόκκινο(blue/far red) σχετίζεται και αυτός με το κρυπτόχρωμα.(Kittas et al, 1999). Ο φωτοπεριοδισμός του φυτού εξαρτάται άμεσα απ' αυτή την περιοχή του φάσματος.

Το μέρος του ηλιακού φάσματος 700-3000nm συμμετέχει σημαντικά στη θέρμανση των φυτών. Στην παρούσα εργασία, με το μηχάνημα που χρησιμοποιείται, το LI-COR 1800, μετράται η κοντινή υπέρυθρη μέχρι και τα 1100 nm.

Γ. Μεγάλου μήκους ακτινοβολία ή μακρινή υπέρυθρη ακτινοβολία 3000-100000nm.

Μόνο το 2% της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στο μήκος κύματος της περιοχής αυτής. Κάθε επιφάνεια όμως πάνω στη γη που έχει τη συνήθη θερμοκρασία, εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, στις πιο πολλές περιπτώσεις με km γύρω στα 10000 nm. (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Ορισμένα υλικά κάλυψης είναι περατά στη θερμική ακτινοβολία, ενώ άλλα είναι λιγότερο ή καθόλου περατά. Τα υλικά κάλυψης που δεν είναι περατά στη θερμική ακτινοβολία εκδηλώνουν την καλούμενη «ιδιότητα θερμοκηπίου» ή το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Δηλαδή, ενώ επιτρέπουν την είσοδο της μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα στο θερμοκήπιο, δεν επιτρέπουν την έξοδο της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος και έτσι δημιουργείται μια παγίδα θερμότητας στην οποία οφείλεται κατά 30% περίπου η αύξηση θερμοκρασίας ενός υαλόφρακτου θερμοκηπίου. Το ποσοστό διέλευσης της θερμικής ακτινοβολίας μέσω του πολυαιθυλενίου είναι μεγαλύτερο από εκείνο μέσω του γυαλιού. Στο γεγονός αυτό οφείλεται η γρηγορότερη ψύξη κατά τις βραδινές και νυχτερινές ώρες των θερμοκηπίων που είναι καλυμμένα με πολυαιθυλένιο (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Το ιδανικό υλικό κάλυψης ενός θερμοκηπίου θα πρέπει να έχει 100% περατότητα για όλα τα μήκη της φωτεινής ακτινοβολίας σε γωνία πρόσπτωσης από 0 έως 90° και 0% περατότητα για όλη τη θερμική ακτινοβολία. Ατυχώς δεν έχει βρεθεί τέτοιο υλικό και γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτά που πλησιάζουν περισσότερο το ιδεώδες. Η περατότητα του διαφανούς καλύμματος στην ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται απ' το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, τη χημική σύσταση του υλικού, το πάχος του υλικού και απ' τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Το μέγεθος της μεγάλης μήκους κύματος ακτινοβολίας βρίσκεται κυρίως από τη διαφορά της ολικής ακτινοβολίας μείον τη μικρού μήκους κύματος.

1.4.2 Η ηλιακή ακτινοβολία και τα φυτά

Γενικά η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια πάνω στη γη, εξαρτάται απ' την ακτινοβολία που εκπέμπει ο ήλιος, απ' το ύψος του ήλιου(εποχή, ώρα, γεωγραφικό πλάτος), από την κατάσταση της ατμόσφαιρας, απ' την κλίση της επιφάνειας πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

Η ετήσια διακύμανση της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα στις τροπικές περιοχές οπωσδήποτε είναι μικρότερη απ' τις άλλες περιοχές, λόγω της μικρότερης διακύμανσης της συνολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια της γης στις περιοχές αυτές.

Γνωρίζουμε ότι ένα απλό φύλλο φυτού απορροφά 80% απ' την προσπίπτουσα σ' αυτό φωτεινή ακτινοβολία ενώ η υπόλοιπη ανακλάται. Απ' το μέρος που απορροφάται ένα πολύ μικρό μέρος χρησιμοποιείται για την φωτοσύνθεση (~3%), ενώ το άλλο μετατρέπεται σε θερμότητα που αποβάλλεται κυρίως με τη διαπνοή, αλλά και με επαγωγή και ακτινοβολία.

Για να καλυφθούν οι ανάγκες σε φωτεινή ενέργεια για τη φωτοσύνθεση των περισσότερων κηπευτικών και δρεπτών ανθέων, θα πρέπει να υπάρχει ένταση τουλάχιστον 235 Watt/m² στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία(105 Watt/m² στην ενεργό φωτοσυνθετικά ακτινοβολία) μέσα στο θερμοκήπιο. Στην περίπτωση που ένα θερμοκήπιο απ' την κατασκευή του μειώνει την είσοδο του φωτός κατά

50%, υπάρχει η επιθυμητή φωτεινή ένταση μέσα, μόνο όταν έξω προσπίπτουν 470 W/m^2 .

Για την αύξηση του φωτισμού κατά τη διάρκεια του χειμώνα στο χώρο του θερμοκηπίου μπορεί κανείς να επέμβει με δύο τρόπους:

- Μειώνοντας, όσο είναι δυνατό, τα εμπόδια στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο του θερμοκηπίου και
- Με τη χρησιμοποίηση τεχνητού φωτισμού (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

1.4.3 Παράγοντες που ευνοούν το φυσικό φωτισμό στο θερμοκήπιο:

- ⚡ Όσο απλούστερος είναι ο σκελετός, τόσο περισσότερο φως περνάει στον χώρο του θερμοκηπίου. Σκελετοί με χονδρές διατομές ή με πολλά στοιχεία, μειώνουν σημαντικά το φυσικό φωτισμό. Τα σκελετικά στοιχεία γενικά επιδιώκεται να 'χουν όσο το δυνατό μικρότερη διατομή, χωρίς όμως αυτό ν' αποβαίνει σε βάρος της στατικής επάρκειας του θερμοκηπίου. Ας σημειωθεί ότι σ' ένα καλό υαλόφρακτο θερμοκήπιο, τα κύρια σκελετικά στοιχεία μειώνουν κατά 4-12% το φωτισμό και κατά 2-5% τα δευτερεύοντα στοιχεία.
- ⚡ Ο καθαρός υαλοπίνακας μειώνει κατά 10% το φωτισμό που περνάει στο θερμοκήπιο, ενώ ο ακάθαρτος μέχρι και 70%. Το πλύσιμο επομένως του καλύμματος του θερμοκηπίου με ελαφρύ απορρυπαντικό είναι απαραίτητη εργασία, ιδιαίτερα σε περιοχές χωρίς ισχυρές βροχές το φθινόπωρο.
- ⚡ Η μείωση του φωτισμού στο πλαστικό κάλυμμα είναι περίπου ίδια με αυτή του υαλοπίνακα, αλλά το σημαντικό μειονέκτημα του πλαστικού καλύμματος είναι ότι η περατότητά του στο φως μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, από την επίδραση κυρίως της υπερϊώδους ακτινοβολίας.
- ⚡ Ο φωτισμός στο χώρο του θερμοκηπίου μειώνεται σημαντικά και από τις διάφορες εναέριες σωληνώσεις, κουρτίνες και ράγες στήριξης φυτών. Γι' αυτό, όπου είναι δυνατό, οι σωληνώσεις θα πρέπει να τοποθετούνται υπόγεια και όχι εναέρια.

- ⌞ Το απλής γραμμής θερμοκήπιο είναι πιο φωτεινό από το πολλαπλής γραμμής, γιατί ανά μονάδα καλυμμένης επιφάνειας, δέχεται περισσότερο διάχυτο φωτισμό από τα πλευρικά του τοιχώματα. Στις περιπτώσεις που η αύξηση του φωτισμού ενδιαφέρει ιδιαίτερα, κατασκευάζονται απλά θερμοκήπια. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι αυτά τα θερμοκήπια επιβαρύνονται με μεγαλύτερες δαπάνες θέρμανσης και παρουσιάζουν μικρότερη εκμετάλλευση του εδάφους.
- ⌞ Η πυκνότητα των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου θα πρέπει να είναι η καλύτερη δυνατή. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι ο διπλασιασμός ή τριπλασιασμός του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, δεν σημαίνει και διπλασιασμό ή τριπλασιασμό της φωτοσύνθεσης, γιατί η επιφάνεια των φύλλων που βρίσκεται σε πολύ σκιερό χώρο θα αυξηθεί. Για μια συγκεκριμένη πυκνότητα φυτών, σημαντικό ρόλο παίζει και η διεύθετηση των φυτών μεταξύ τους, π.χ. πλατύτεροι διάδρομοι με πυκνότερη φύτευση στις γραμμές, συχνά βελτιώνουν το φωτισμό (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

2. Τα υλικά κάλυψης

Στην εργασία αυτή έγινε μελέτη των νέων τάσεων για τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων που αφορούν σε τρία διαφορετικά υλικά πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE), φωτοεκλεκτικά, δηλαδή υλικά κάλυψης απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας, αντισταγονικά, θερμόφιλα (PE-IR) που έχουν την ιδιότητα δροσισμού των θερμοκηπίων (cooling films). Μάλιστα για τη μελέτη της συμπεριφοράς των αντισταγονικών υλικών σε συνθήκες υγροποίησης του θερμοκηπίου δεν έχουν υπάρξει άλλες αναφορές. Συγκεκριμένα το πρώτο απ' τα τρία υλικά του πειράματος ήταν LDPE, απορροφητικό στη UV ($a=0.91$), αντισταγονικό, το δεύτερο ήταν LDPE, PE-IR, απορροφητικό στη UV ($a=0.90$), αντισταγονικό και cooling, ενώ το τρίτο ήταν ο μάρτυρας, λιγότερο απορροφητικό στη UV ($a=0.64$) και η συμπύκνωση γινόταν με τη μορφή σταγόνας. Παρακάτω αναφέρονται τα φωτοεκλεκτικά αυτά υλικά εκτενέστερα.

2.1 Φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης, γενικά

Τα υλικά αυτά προέρχονται από τα συνήθη πλαστικά φύλλα, με τη διαφορά ότι με διάφορα πρόσθετα (σταθεροποιητές) γίνεται αλλαγή των οπτικών χαρακτηριστικών τους, π.χ. μειώνεται η περατότητα σε ορισμένα μήκη κύματος του ορατού φωτός και ενισχύεται η περατότητα σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις των φυτών, είναι δυνατή η προσαρμογή του θερμοκηπίου ώστε να εισέρχεται περισσότερη ακτινοβολία ενός καθορισμένου μήκους κύματος για την επίτευξη διαφόρων στόχων.

Τα διάφορα πρόσθετα που ενσωματώνονται στα πλαστικά υλικά των θερμοκηπίων με σκοπό τόσο να αυξηθεί ο χρόνος διάρκειας του πλαστικού υλικού όσο και να παρέχουν στα υλικά τις ιδιότητες που απαιτεί η συγκεκριμένη καλλιέργεια. Τα κύρια χαρακτηριστικά-ιδιότητες που μπορεί να παρέχουν τα πρόσθετα, παρουσιάζονται παρακάτω:

1.Αντοχή στη φθορά του χρόνου: Τα πρόσθετα στην υπεριώδη ακτινοβολία χρησιμοποιούνται για την διατήρηση των αρχικών ιδιοτήτων του καλύμματος και ειδικά για την προστασία του πλαστικού από την επιζήμια επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας.

2.Μπλοκάρισμα της UV ακτινοβολίας: Οι απαιτήσεις για απορρόφηση της UV ακτινοβολίας εξαρτώνται κυρίως απ' τον τύπο της καλλιέργειας.

3.Μπλοκάρισμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας(IR): Για τη μείωση της περατότητας του πλαστικού στη μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία, καθώς και για την διατήρηση της θερμικής ισορροπίας στο θερμοκήπιο, χρησιμοποιείται το θερμόφιλο υλικό, με προσμίξεις διαφόρων αλάτων.

4.Διάχυτη ακτινοβολία του φωτός: Με την προσθήκη αλάτων είναι δυνατή η δημιουργία διάχυτης ακτινοβολίας και όχι άμεσης, η οποία μπορεί να προξενήσει βλάβες στα φυτά με την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας των φυτικών τους ιστών.

5.Φωτοεκλεκτικότητα στο ορατό φως: Η βελτίωση με τεχνητό τρόπο της μπλε και κόκκινης ακτινοβολίας, εξ' αιτίας της απορρόφησης της υπεριώδους

ακτινοβολίας και της επανεκπομπής του κόκκινου και /ή του μπλε φωτός, βοηθάει στην αύξηση των φυτών.

6. Συμπύκνωση υδρατμών χωρίς τη μορφή σταγόνων πάνω στο πλαστικό: Με την αποφυγή της δημιουργίας μικρών σταγόνων εξαλείφεται ο κίνδυνος μετατροπής τους σε μεγαλύτερες σταγόνες, που πέφτοντας πάνω στα φυτά προξενούν την ανάπτυξη μυκήτων ή μπορεί να λειτουργήσουν σαν φακοί που συγκεντρώνουν την ακτινοβολία και καίνε τα φύλλα των φυτών. Εξάλλου, η συμπύκνωση αυτής της μορφής μπορεί να παρουσιάσει αρνητικά αποτελέσματα στις καλλιέργειες λόγω της μειωμένης μετάδοσης του φωτός, προκαλούμενη από εσωτερική ανάκλαση (πάνω στις σταγόνες) της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Papadakis et al., 2000; Briscoe & Galvin, 1991; Pollet & Pieters, 1999). Η συμπύκνωση συμβαίνει λόγω των διαφορών στη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου και του πλαστικού υλικού. Η ενσωμάτωση προσθέτων με αντισταγονικές ιδιότητες μειώνει τις επιφανειακές τάσεις μεταξύ των σταγόνων και του πλαστικού υλικού και οδηγεί στο σχηματισμό μεμβράνης και βελτιωμένης μετάδοσης του φωτός (Briassoulis et al., 2004).

2.2 Υλικά απορροφητικά της UV

Τα υλικά κάλυψης θερμοκηπίου τα οποία είναι φωτοεκλεκτικά (απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας) έχει βρεθεί ότι είναι χρήσιμα στην ανάπτυξη των φυτών, ενώ απορροφώντας την υπεριώδη ακτινοβολία μπορούν να επηρεάσουν την έκταση κάποιων ασθενειών στην καλλιέργεια. (Papadakis et al., 2000). Είναι γνωστό ότι η ακτινοβολία αυτή είναι απαραίτητη για την παραγωγή σπορίων ορισμένων μυκήτων. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι αυτά τα υλικά κάλυψης μπορούν να είναι αποτελεσματικά αποκλείοντας τα επιβλαβή έντομα και τις ιολογικές ασθένειες (Antignus, 2000).

Σε πειράματα που έχουν διεξαχθεί στο Ισραήλ τα φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης λειτούργησαν ως αποτελεσματικά φίλτρα εξαλείφοντας το φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας και ως εκ τούτου περιόρισαν την ανάπτυξη πληθυσμών εντόμων καθυστερώντας έτσι τις επιδημίες ιών. Παρατηρώντας και συγκρίνοντας την είσοδο των επιβλαβών εντόμων σε θερμοκήπια καλυμμένα με διαφορετικά πλαστικά, αποδείχθηκε ότι οι προσβολές μειώθηκαν δραματικά κάτω από τα

απορροφητικά στην υπεριώδη ακτινοβολία υλικά σε σύγκριση με το συνηθισμένο πολυαιθυλένιο. Καταγράφηκαν μειωμένοι πληθυσμοί για μεγάλο εύρος εντόμων συμπεριλαμβανομένων του αλευρώδη, του θρίπα, των αφίδων και των φυλλορυκτών (Antignus, 2000).

Πλαστικά φύλλα που απαγορεύουν την είσοδο στο θερμοκήπιο ακτινοβολίας με μήκος κύματος μικρότερο των 380nm θεωρούνται ότι εμποδίζουν την ανάπτυξη του βοτρυτή (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Τα φωτοεκλεκτικά υλικά μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της παραγωγής, αμβλύνοντας τις ακραίες καιρικές συνθήκες και μειώνοντας τις ασθένειες των φυτών. Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται η χρήση μυκητοκτόνων, εντομοκτόνων και άλλων επιβλαβών χημικών. Τα έντομα τα οποία μεταφέρουν ιούς φυτών και βακτήρια, χρησιμοποιούν την UV ακτινοβολία για να προσανατολιστούν, έτσι τα φωτοεκλεκτικά υλικά αποπροσανατολίζουν την πορεία των εντόμων αυτών. (<http://www.addcomp.com/features/archive/janfeb05/janfeb05.htm>). Βέβαια, ορισμένα μήκη κύματος της υπεριώδους που είναι απαραίτητα για τον χρωματισμό του άνθους διαπερνούν το πλαστικό κάλυμμα του θερμοκηπίου.

Με τη χρήση των σταθεροποιητών της υπεριώδους ακτινοβολίας αποφεύγεται η πρόωγη γήρανση των υλικών. Σε περιοχές με υψηλή UV ακτινοβολία, η διάρκεια ζωής των πλαστικών κυμαίνεται από 2-3 χρόνια. Με την χρήση πρόσθετων, η διάρκεια ζωής των πλαστικών θα μπορεί να επεκταθεί περισσότερο από 4 χρόνια (www.addcomp.com/features/archive/janfeb05.htm).

2.3 Υλικά κάλυψης με αντισταγονικές ιδιότητες

Η ύπαρξη ξηρού περιβάλλοντος στο θερμοκήπιο είναι ένα είδος άμυνας έναντι των ασθενειών των φυτών. Αυτό το γεγονός καθιστά απαραίτητες τεχνικές με τις οποίες να επιτυγχάνεται μείωση της συμπύκνωσης πάνω στα φυτά και επίσης να παρεμποδίζεται η πτώση των σταγόνων απ' το πλαστικό υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου πάνω στην καλλιέργεια, που έχουν προέλθει από συμπύκνωση. Δηλαδή, ο έλεγχος της υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο είναι απαραίτητος και μάλιστα το πρώτο βήμα για τον περιορισμό των ασθενειών είναι

η μείωση του στάσιμου νερού στις επιφάνειες των φυτών. Μία τέτοια επιφάνεια πάνω στα φυτά παρέχει το ιδανικό περιβάλλον ανάπτυξης και πολλαπλασιασμού των παθογόνων.

Στα πλαίσια της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των ασθενειών και των ζιζανίων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, χρησιμοποιούνται εναλλακτικές μέθοδοι για τον έλεγχο τους, με μειωμένες χημικές εφαρμογές, ενώ η παραγωγή στο θερμοκήπιο διατηρείται ή και βελτιώνεται. Μία μέθοδος ελέγχου της συμπύκνωσης άρα και της υγρασίας στα φυτά, η οποία δεν αντιτίθεται στις αρχές της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης είναι η χρήση υλικών με αντισταγονικές ιδιότητες (<http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0800.html>).

Η συμπύκνωση μπορεί να φαίνεται ότι είναι ένα ανεπιθύμητο γεγονός στο θερμοκήπιο, ωστόσο είναι το αποτέλεσμα του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου που ανταποκρίνεται στη διαπνοή των φυτών. Δεν μπορεί να αποτραπεί και ουσιαστικά να σταματήσει, αλλά τα πιθανά αρνητικά αποτελέσματά του μπορούν να ελαχιστοποιηθούν. Η διαπνοή, δηλαδή η εξάτμιση του ύδατος από τα φύλλα των φυτών στον αέρα του θερμοκηπίου είναι κρίσιμη για τη φυσικό δροσισμό των φύλλων, τη λήψη θρεπτικών συστατικών και την αύξηση του φυτού. Το φυτό δεν θα μπορέσει ούτε καν να σταθεί όρθιο εάν δεν διαπνέει συνεχώς. Η συμπύκνωση του υδρατμών από το θερμό υγρό αέρα επάνω στη δροσερή επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου είναι ένας αρχικός τρόπος μείωσης της υγρασίας των θερμοκηπίων όταν δεν υπάρχει εξαερισμός. Έτσι, οι υδρατμοί υγροποιούνται πάνω στο κάλυμμα του θερμοκηπίου. Η μετατροπή του υδρατμού σε υγρό οδηγεί σε μια απελευθέρωση ενέργειας, που καλείται λανθάνουσα θερμότητα, η οποία κατόπιν χάνεται διαμέσω του καλύμματος.

Τα σταγονίδια ύδατος που παραμένουν στο πλαστικό κάλυμμα του θερμοκηπίου είναι μια ανεπιθύμητη κατάσταση. Πέφτοντας θα προκαλέσουν ζημία στην καλλιέργεια λόγω υπερβολικής ύπαρξης νερού ή λόγω μολύνσεων από ασθένειες. Επιπλέον, τα σταγονίδια που παραμένουν στο κάλυμμα σχηματίζουν μία επιπλέον επιφάνεια από την οποία θα περάσει το φως ή θα ανακλαστεί προτού να εισέλθει στο θερμοκήπιο. Το πρόβλημα έχει κάπως περιοριστεί με την ενσωμάτωση αναστολέων της δημιουργίας σταγονιδίων πάνω στο κάλυμμα. Με την τροποποίηση της επιφανειακής τάσης του καλύμματος, το

ύδωρ κινείται προς τα κάτω κατά μήκος της πλάγιας οροφής και συλλέγεται σε μια επιθυμητή θέση ή εντός μιας υδρορροής σταλαγματιάς. (Giacomelli and Roberts, 1999)

Στα θερμοκήπια, παραδείγματος χάρη, η άμεση ακτινοβολία μπορεί να δημιουργήσει εγκαύματα στα φύλλα, ενώ η διάχυτη ακτινοβολία διαπερνά βαθύτερα το θερμοκήπιο, αυξάνοντας την παρεμπόδιση της ακτινοβολίας από τα φυτά και κατά συνέπεια υποκινεί τη φωτοσύνθεση (Bakker et al., 1995). Κατά συνέπεια, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα άμεσα και διάχυτα ορατά τμήματα ακτινοβολίας προκειμένου να ενισχυθεί η ακρίβεια των προτύπων που υπολογίζουν την φωτοσύνθεση (Pollet et al., 2004).

Μελέτη πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακές συνθήκες (Pollet et al., 2004), κατά την οποία πλαστικό υλικό με αντισταγονικές ιδιότητες μετρήθηκε τόσο σε ξηρές θερμοκηπιακές συνθήκες όσο και σε συνθήκες υγροποίησης του καλύμματος. Το αποτέλεσμα που εξήχθη ήταν πως η συνολική διαπερατότητα αλλά και η συμπεριφορά στη διάχυτη ακτινοβολία του συγκεκριμένου υλικού δεν άλλαξαν από την παρουσία της συμπύκνωσης και αποτελούσε περίπου το 44% της ολικής ορατής ακτινοβολίας (Pollet et al., 2004).

2.4 Υλικά κάλυψης με ιδιότητες δροσισμού (cooling films)

Τεχνικές όπως η λεύκανση (χρωματισμός με λευκό χρώμα) των θερμοκηπίων και η χρήση πλαστικών υλικών που μπλοκάρουν ένα μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας που δημιουργεί αύξηση της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία και υπερβολικές θερμοκρασίες (Díaz et al., 2001).

Στις υποτροπικές και τροπικές περιοχές είναι απαραίτητη η ύπαρξη δροσισμού όταν η υψηλή ακτινοβολία θερμαίνει το θερμοκήπιο. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν υλικά κάλυψης, τα οποία περιέχουν χρωστικές ουσίες που μπορεί να απορροφήσουν ή να δημιουργήσουν ανάκλαση σε ορισμένα τμήματα της ηλιακής ακτινοβολίας. Έγχρωμα πλαστικά υλικά με ιδιότητες ανάκλασης της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (PAR) έχουν ως αποτέλεσμα την σκίαση του θερμοκηπίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Κάποια υλικά, που καλούνται «έξυπνα» έχουν την ικανότητα να δημιουργούν ανάκλαση σε τμήματα της NIR ακτινοβολίας, με επιλεκτικό τρόπο, όταν δηλαδή απαιτείται. Τα «θερμοχρωμικά»

υλικά είναι σε γενικές γραμμές ικανά να κρατήσουν τη NIR ακτινοβολία εκτός του θερμοκηπίου μόνο κατά τη διάρκεια περιόδων με υψηλή ακτινοβολία. Για τα υποτροπικά κλίματα απαιτούνται θερμικά υλικά τα οποία εμποδίζουν την διαφυγή της μακρινής υπέρυθρης ακτινοβολίας (FIR) κατά τις κρύες νυχτερινές ώρες, δημιουργώντας έτσι ένα είδος μόνωσης στο θερμοκήπιο (Hoffmann and Waaijzenberg, 2005). Στην παρούσα μελέτη το cooling film που χρησιμοποιήθηκε είχε γκρι χρώμα, ήταν θερμόφιλο (PE-IR) και παρουσίαζε τις εξής οπτικές ιδιότητες: 62% και 64% διαπερατότητα στην PAR και στη NIR ακτινοβολία αντίστοιχα και 21% και 20% ανακλαστικότητα στην PAR και στη NIR ακτινοβολία αντίστοιχα.

Από την ολική ακτινοβολία που εισάγεται στο θερμοκήπιο, η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία(PAR), απορροφάται από την καλλιέργεια και είναι σημαντική για την αύξηση και τη φωτοσύνθεση, ενώ η κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία (NIR) που απορροφάται κυρίως από τις εγκαταστάσεις και τα στοιχεία κατασκευής του θερμοκηπίου και λιγότερο απ' την καλλιέργεια, αυξάνει τη θερμοκρασία αέρα του θερμοκηπίου. Το αποτέλεσμα της θέρμανσης στα θερμοκήπια που προκαλείται από την ολική ακτινοβολία είναι επιθυμητό κατά τη διάρκεια των κρύων περιόδων, αλλά κατά τη διάρκεια των ζεστών περιόδων, η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο μπορεί να αυξηθεί σε ανεπιθύμητα επίπεδα, ώστε να είναι αδύνατη η παραγωγή της καλλιέργειας. Η μείωση των υψηλών θερμοκρασιών στα θερμοκήπια είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να λυθούν στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, στις περισσότερες χώρες παγκοσμίως (Hemming et al., 2006).

Παλαιότερα, χρησιμοποιούνταν υγρά πλαστικά υλικά για να περιορίσουν τις μέγιστες θερμοκρασίες μέσα στο θερμοκήπιο και μάλιστα αποτελούσε τη μοναδική μέθοδο επίλυσης αυτού του προβλήματος (Brown, 1939).Πρόσφατα οι επιστήμονες επικεντρώθηκαν στη ανάπτυξη στερεών υλικών, όπως πλαστικών και γυαλιού με χαρακτηριστικά μείωσης της εισερχόμενης NIR (Verlodt and Verschaeren, 1997; Hemming et al., 2004; Abdel-Ghany et al., 2001) ή κινητές οθόνες κάλυψης (Runkle et al., 2002; Tanaka, 1997) ή εφαρμογή βαφής στο πλαστικό κάλυμμα. (Von Elsner and Xie, 2003). Η ακτινοβολία NIR μπορεί να παραμείνει εκτός του θερμοκηπίου είτε μέσω ανακλαστικότητας είτε μέσω απορρόφησής της. Με την ανάκλασή της, η ενέργεια που δεν χρειάζεται,

καταλήγει έξω απ' το θερμοκήπιο, ενώ ένα υλικό που θα απορροφήσει τη NIR, θα επιτρέψει σε ένα μέρος της να διέλθει μέσα απ' το θερμοκήπιο και να θερμάνει τον αέρα του. Διαφορετικές τεχνικές όπως χρωστικές, μογιές, μόνιμα ή προσωρινά επιχρίσματα μπορούν να ενσωματωθούν στο υλικό κάλυψης για τον έλεγχο της NIR ακτινοβολίας.

Πλαστικά υλικά ευρείας χρήσης αναπτύχθηκαν περιέχοντας τις χρωστικές ουσίες παρέμβασης, οι οποίες ανακλούν μέρη του ορατού φάσματος και επομένως έχουν σαν αποτέλεσμα τη σκίαση. (Verlode et al., 1995). Οι χρωστικές ουσίες της «νέας γενιάς» επιδρούν περισσότερο στη NIR, ενώ η μείωση της PAR ακτινοβολίας είναι πολύ μικρότερη. Αυτά τα πλαστικά οδηγούν σε μια σημαντική μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, ειδικά κατά τις περιόδους με την υψηλή ακτινοβολία (Verlode και Verschaeren, 1997). Βάση ερευνών, (Hemming et al., 2004) ήταν δυνατή η μείωση της NIR μέχρι και 25.7% σε πλαστικά υλικά με διαφορετικές συγκεντρώσεις χρωστικών, ενώ ταυτόχρονα υπήρχε μείωση της PAR κατά 8.7 % στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Πρόσφατα στο πανεπιστήμιο του Αννόβερου (Γερμανία) διεξήχθησαν έρευνες σχετικά με τις χρωστικές ουσίες ελέγχου της NIR που αναμειγνύονται στο χρώμα βαφής του θερμοκηπίου (Von Elsner and Xie, 2003). Δύο διαφορετικές χρωστικές ουσίες αναμείχθηκαν με διαφορετικές συγκεντρώσεις στην άσπρη βαφή και εφαρμόστηκαν σε πλαστικά καλύμματα πολυαιθυλενίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Το αποτέλεσμα ήταν ότι τα επίπεδα της PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν μεγαλύτερα σε σύγκριση με τα συμβατικά θερμοκήπια καθώς και ότι η θερμότητα ήταν μειωμένη εξ' αιτίας της μικρότερης διαπερατότητας της NIR (Von Elsner and Xie, 2003).

Γενικά τα καλύμματα που ελέγχουν τη διέλευση της NIR ακτινοβολίας δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια, στις περισσότερες περιοχές, γιατί προκαλούν μη επιθυμητή μείωση της θερμοκρασίας. Η βαφή με χρωστικές που αφορούν τη NIR μπορεί να εφαρμοστεί όποτε χρειαστεί, αν και μειώνεται η διαπερατότητα στη PAR. Αντικείμενο έρευνας αποτελεί η χρήση της ενέργειας που ανακλάται μέσω αποθήκευσής της ή χρήσης της σε άλλες διαδικασίες (Hemming et al., 2006) .

Παρακάτω αναφέρεται ένα παράδειγμα επίδρασης σε καλλιέργεια της χρήσης υλικών που ανακλούν την υπέρυθη ακτινοβολία.

- Μελέτη της επίδρασης της συνδυασμένης χρήσης υλικού κάλυψης με έλεγχο της υπέρυθρης ακτινοβολίας και ενός συστήματος ηλιακής θέρμανσης στην παραγωγή και αύξηση πεπονιού σε θερμοκήπιο

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις καλλιέργειες πεπονιάς σε τρία διαφορετικά θερμοκήπια πολυαιθυλενίου. Το πρώτο θερμοκήπιο ήταν ο μάρτυρας, ενώ το δεύτερο εξοπλίστηκε με σύστημα ηλιακής θέρμανσης που περιλάμβανε συλλογή, αποθήκευση και διανομή της ηλιακής ενέργειας το οποίο κάλυπτε 70% της επιφάνειας του εδάφους. Παράλληλα, ήταν συνδεδεμένο με έναν επιπρόσθετο εξωτερικό συλλογέα που αντιστοιχούσε περίπου στο 28% του καλύμματος του θερμοκηπίου, ενώ ήταν εξοπλισμένο και με ένα μόνιμο υλικό κάλυψης ελέγχου της NIR. Τέλος το τρίτο θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο μόνο με το μόνιμο υλικό κάλυψης ελέγχου της NIR.

Η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα αυξήθηκε στο δεύτερο και τρίτο θερμοκήπιο εν συγκρίσει με το θερμοκήπιο-μάρτυρα, κατά 3 και 6°C αντίστοιχα και κατά 0.8 και 2°C κατά τη διάρκεια της νύχτας εξαρτώμενο απ' τις μετεωρολογικές συνθήκες.

Η αύξηση του φυτού στο θερμοκήπιο με το σύστημα της ηλιακής θέρμανσης επιταχύνθηκε και είχε ως αποτέλεσμα πρωιμότερη καρπόδεση και παραγωγή. Βέβαια και στο θερμοκήπιο που είχε εξοπλιστεί με το κάλυμμα ανάκλασης της υπέρυθρης ακτινοβολίας, σημειώθηκε σημαντική αύξηση της καλλιέργειας (Vandeveldt et al., 2005).

Εκτός από τις παραπάνω νέες τάσεις στη χρήση φωτοεκλεκτικών υλικών στα θερμοκήπια, σημαντικό υλικό κάλυψης παραμένει το γυαλί και σε μικρότερη έκταση τα πλαστικά υλικά εκτός του πολυαιθυλενίου, το οποίο πολυαιθυλένιο καταλαμβάνει τις πρώτες θέσεις στην κάλυψη των θερμοκηπίων όπως αναφέρθηκε στον πίνακα 1. Παρακάτω γίνεται αναφορά σ' αυτά τα υλικά.

2.5 Υαλοπίνακας

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του γυαλιού σαν υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων, είναι ότι έχει πρακτικά την ίδια περατότητα στο φως μετά από 43 χρόνια με ένα καινούργιο, πράγμα το οποίο δεν συμβαίνει με κανένα άλλο υλικό κάλυψης. Η πιθανή μείωση της φωτεινότητας του γυαλιού οφείλεται στις ακαθαρσίες, που όμως είναι δυνατό ν' απομακρυνθούν.

Το γυαλί είναι αδιαπέραστο στα αέρια και τους υδρατμούς. Τα προβλήματα στεγανότητας που μπορεί να εμφανιστούν στα υαλόφρακτα θερμοκήπια, προέρχονται από την κακή επαφή που παρουσιάζεται σταδιακά στα σημεία στήριξης του υαλοπίνακα με το σκελετό και από το σπάσιμο των υαλοπινάκων, που προέρχεται από χαλάζι ή απροσεξία, λόγω του εύθραυστου που χαρακτηρίζει το γυαλί. Φαίνεται ότι μερικές ποιότητες γυαλιού γίνονται πιο εύθραυστες με την πάροδο του χρόνου.

Το ποσοστό διέλευσης της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας στους συνήθους πάχους υαλοπίνακες, είναι συγκριτικά απ' τα μεγαλύτερα, περίπου 90% και επειδή η περατότητα αυτή είναι σχεδόν σταθερή στο χρόνο, ο υαλοπίνακας αποτελεί το μέτρο σύγκρισης όλων των άλλων διαφανών υλικών. Σε ένα καινούργιο θερμοκήπιο με μεγαλύτερο ποσοστό φωτός, το οποίο αφήνει να διέλθει ο υαλοπίνακας, σε σχέση με άλλα διαφανή υλικά, δεν σημαίνει απαραίτητα και σημαντικά μεγαλύτερη φωτεινότητα στο θερμοκήπιο, γιατί ο σκελετός στήριξης των μεγάλου βάρους και μικρού μεγέθους υαλοπινάκων παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό σκιάς (γι' αυτό το λόγο συνιστώνται όσο είναι δυνατό, μεγαλύτερων διαστάσεων υαλοπίνακες). Με την πάροδο του χρόνου όμως, στα άλλα υλικά μειώνεται η περατότητα του φωτός, ενώ στους υαλοπίνακες παραμένει η ίδια και το θερμοκήπιο καθίσταται κατά μέσο όρο σημαντικά φωτεινότερο (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

2.6 Διάφορα πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως στην κάλυψη των θερμοκηπίων

2.6.1 Εύκαμπτα πλαστικά φύλλα

Στα εύκαμπτα φύλλα πλαστικού περιλαμβάνονται η σελλουλόζη το φύλλο πολυαιθυλενίου (PE), το φύλλο EVA, το φύλλο πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), το φύλλο πολύ βινυλοχλωριδίου (PVF) και το φύλλο πολυεστέρα. Το φύλλο πολυαιθυλενίου είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σήμερα, διεθνώς.

Τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα πλεονεκτούν των άλλων υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων λόγω του μικρού βάρους τους, της χαμηλής τιμής τους, της ευκολίας προσαρμογής σε διάφορα σχήματα του σκελετού και γενικά λόγω του χαμηλού κόστους αρχικής επένδυσης που επιτυγχάνεται στο σύνολο του θερμοκηπίου.

Η διάρκεια ωφέλιμης χρήσης των πλαστικών φύλλων είναι σχετικά μικρή, χρειάζεται ν' αντικατασταθεί το κάλυμμα αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της παραγωγικής ζωής του θερμοκηπίου. Γι' αυτό ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη στερέωση του πλαστικού φύλλου στο σκελετό του θερμοκηπίου.

ΣΕΛΛΟΥΛΟΖΗ

Είναι ένα φυσικό πολυμερές προερχόμενο απ' την κυτταρίνη. Με τη προσθήκη νιτρικού οξέος παράγεται η νιτρική σελλουλόζη, που με την αύξηση της θερμοκρασίας πάνω απ' την κανονική γίνεται κάπως πιο πλαστική. Η προσθήκη καμφοράς στο υλικό της νιτρικής σελλουλόζης δημιουργεί ένα μίγμα το οποίο έχει πολύ μεγαλύτερη πλαστικότητα. Η καμφορά στην περίπτωση αυτή αναφέρεται και ως πλαστικοποιητής, γιατί το μεγάλου όγκου μόριο της καμφοράς παρεμβάλλεται μεταξύ των μορίων του πολυμερούς και έτσι απομακρύνει τα μόρια μεταξύ τους, εξασθενούν οι δυνάμεις έλξης και επομένως αυξάνει την ευκαμψία του υλικού. Τα υλικά αυτά είναι πάρα πολύ εύφλεκτα και γι' αυτό έχουν γενικά πολύ περιορισμένη χρήση σήμερα.

Το 1917 πρωτοεμφανίζεται το φύλλο σελλουλόζης ως υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων, δεν θεωρήθηκε όμως πολύ ικανοποιητικό για να επεκταθεί πολύ η χρήση του σ' αυτόν τον τομέα.

ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ(PE)

Το πολυαιθυλένιο παράγεται απ' το αέριο αιθυλένιο μετά από πολυμερισμό. Είναι το πιο γνωστό απ' τα θερμοπλαστικά υλικά. Έχει άριστη αντοχή στη διάβρωση απ' τα περισσότερα γνωστά χημικά διαβρωτικά. Παραμένει αναλλοίωτο απ' τις δράσεις των στοιχείων των τροφίμων. Είναι ισχυρό και εύκαμπτο, έχει μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση, είναι ελαφρύ, ρευστοποιείται και σχηματοποιείται εύκολα. Είναι συγκριτικά φθηνό υλικό και γι' αυτό η χρήση του είναι πολύ διαδεδομένη σε όλους τους τομείς. Το πολυαιθυλένιο είναι διαθέσιμο στην αγορά σε διάφορους τύπους.

- ✦ Το χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE) συνίσταται από μόρια που περιέχουν πολλές πλευρικές διακλαδώσεις, ενώ περίπου το 50% του υλικού έχει κρυσταλλική μορφή. Χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή πλαστικού φύλλου συσκευασίας. Είναι δηλαδή εμπλουτισμένο με σημαντικές ποσότητες σταθεροποιητών της UV που εξασφαλίζουν στο φιλμ πολυαιθυλενίου ζωή 2 μέχρι 3 χρόνων και όχι ζωή ορισμένων μόνο μηνών. (Nisen et al., 2005)

Με την προσθήκη σταθεροποιητών (για τη βελτίωση της αντοχής του στην υπεριώδη ακτινοβολία) χρησιμοποιείται και για την παραγωγή πλαστικού φύλλου που προορίζεται για την κάλυψη των θερμοκηπίων.

- ✦ Το υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE) αποτελείται κατά 90% από κρυσταλλικής μορφής υλικό, γιατί συνίσταται κυρίως από γραμμικά αδιακλάδωτα μόρια, είναι σκληρότερο και ισχυρότερο υλικό. Κατασκευάζονται κυρίως μπουκάλια και άλλα δοχεία που

απαιτούν σχετική σκληρότητα, μικρό πάχος και σχετικά υψηλότερη αντοχή.

- ✦ Υψηλού μοριακού βάρους πολυαιθυλένιο περιέχει μόρια πολύ μεγάλου μήκους, των οποίων η μάζα κατά μέσο όρο είναι περίπου διπλάσια από αυτή των μορίων του LDPE ή του HDPE. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ότι έχει μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση του περιβάλλοντος και πολύ μεγαλύτερη αντοχή.

Το χαμηλής πυκνότητας φύλλο πολυαιθυλενίου (LDPE) χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη κλίμακα για κάλυψη θερμοκηπίων απ' το 1950. Η χρήση του στα θερμοκήπια είναι πολύ εκτεταμένη στις χώρες της Μεσογειακής λεκάνης-όπου καλύπτει την μεγαλύτερη έκταση των υφισταμένων θερμοκηπίων, στην Αμερική και σχετικά λιγότερο στην Ιαπωνία, όπου ένα μεγάλο μέρος των θερμοκηπίων καλύπτεται με PVC.

Στη Β. Ευρώπη αντίθετα, η χρήση του είναι πολύ περιορισμένη και το γυαλί εξακολουθεί να παραμένει το πιο διαδεδομένο υλικό.

Μερικά φύλλα πολυαιθυλενίου είναι περατά σχεδόν σε όλη τη UV-b ακτινοβολία, αλλά αυτά καταστρέφονται πολύ γρήγορα όταν δέχονται για μεγάλο χρονικό διάστημα την ηλιακή ακτινοβολία. Στο προοριζόμενο για τα θερμοκήπια πολυαιθυλένιο προστίθενται περίπου: 0,18% αντιοξειδωτικό, 2-3% διάφορες ενώσεις για την απορρόφηση των υπεριωδών ακτίνων και μέχρι 10% ελαστικό βουτύλιο, για να καταστεί το πλαστικό εύκαμπτο. Έτσι αυτά τα πλαστικά φύλλα δεν είναι πολύ περατά στη UV-b ακτινοβολία και κρατούν τη δομή τους για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, όταν δέχονται συνεχώς την ηλιακή ακτινοβολία.

Το φύλλο πολυαιθυλενίου γενικά παρουσιάζει τις παρακάτω ιδιότητες:

- Είναι αδιαπέραστο στο νερό και τους υδρατμούς
- Είναι σχετικά περατό στα αέρια, ιδιαίτερα στο CO₂ και στο O₂
- Έχει καλή μηχανική αντοχή, η οποία βέβαια είναι συνάρτηση του πάχους. Φύλλο πάχους 0.1-0.15 mm έχει 1-2 φορές μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από αυτή του γυαλιού, πάχους 3 mm.

- Έχει καλή περατότητα στο φως. Φύλλο πάχους 0.15mm, με σταθεροποιητή, αφήνει να διέλθει το 87% του ορατού φωτισμού.
- Φέρεται στο εμπόριο σε φύλλα μεγάλου πλάτους, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα κατασκευής στεγανών θερμοκηπίων, χωρίς μεγάλες διαρροές αέρα. Συνήθως κατασκευάζεται φύλλο πάχους από 0.02-0.2 mm, σε διάφορα πλάτη μέχρι 11m.
- Έχει υδρόφοβη επιφάνεια, με αποτέλεσμα η συμπύκνωση των υδρατμών πάνω σ' αυτό να γίνεται υπό μορφή σταγόνων, οι οποίες με τη παραμικρή δόνηση πέφτουν πάνω στα φυτά, ευνοώντας την ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών. Επίσης η παρουσία σταγόνων στο φύλλο θεωρείται ότι μειώνει την περατότητα στο φως μέχρι και 13%.
- Η λύση της συνέχειάς του απ' το κάρφωμα, αποτελεί το αδύνατο σημείο του πολυαιθυλενίου, που το κάνει να σχίζεται εύκολα απ' τον άνεμο. Γι' αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην προσαρμογή του φύλλου στο σκελετό και στη στερέωσή του. Επίσης σχίζεται εύκολα στα σημεία όπου υπάρχει τσάκισμα.
- Η συγκόλληση φύλλων πολυαιθυλενίου επιτυγχάνεται μόνο με θέρμανση και ταυτόχρονη συμπίεση, έτσι συγκολλάται μόνο με ειδικούς θερμοσυρραπτικούς μηχανισμούς.
- Είναι περατό σχεδόν σε όλα τα μήκη της μεγάλου μήκους κύματος θερμικής ακτινοβολίας. PE πάχους 0.075 mm έχει 76% περατότητα, στην ακτινοβολία αυτή. Το γεγονός αυτό έχει συνέπεια τη γρήγορη ψύξη του θερμοκηπίου κατά τη νύχτα. Η συμπύκνωση όμως της υγρασίας επάνω του, περιορίζει τις απώλειες.
- Έχει μικρή διάρκεια ωφέλιμης χρήσης, που αποτελεί και το κυριότερο μειονέκτημά του, γιατί η έντονη ακτινοβολία και η υψηλή θερμοκρασία το καταστρέφουν.

Η σχετικά χαμηλή τιμή του υλικού (η χρηματική του αξία υπολογίζεται με το βάρος) και η ευκολία προσαρμογής του σε φθηνές κατασκευές, επιτρέπει τη δημιουργία θερμοκηπίων μικρού κόστους και εποχιακής χρησιμοποίησης (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Για τη μείωση της περατότητας του PE στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία δημιουργήθηκαν ειδικά προϊόντα πολυαιθυλενίου όπως το θερμόφυλλο PE-IR ή αλλιώς τροποποιημένο πολυαιθυλένιο, που είναι φύλλο πολυαιθυλενίου με προσμίξεις διαφόρων αλάτων (πυριτικό αργίλιο ή πυριτικό μαγνήσιο) ή άλλων ενώσεων που απορροφούν ακτινοβολία μήκους κύματος μεγαλύτερο των 3000 nm. Μάλιστα απορροφούν διαφορετικά τμήματα της μακρινής υπέρυθρης απ' αυτά που απορροφούν τα πλαστικά φύλλα που περιέχουν vinyl acetate πχ: EVA (Nisen et al., 2005).

Για να χαρακτηριστεί θερμόφυλλο ένα πλαστικό φύλλο κάλυψης του θερμοκηπίου θα πρέπει να έχει περατότητα στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία μικρότερη του 20%. Θα πρέπει ν' αναφέρουμε όμως ότι με την προσθήκη αυτών των υλικών επηρεάζεται και η περατότητα του υλικού στην ορατή ακτινοβολία. Το θερμόφυλλο σε μερικές περιπτώσεις, ιδιαίτερα ο τύπος που κατασκευαζόταν παλαιότερα, παρουσίαζε σημαντικά περιορισμένη περατότητα στην ορατή ακτινοβολία, καθώς και κάπως μικρότερη μηχανική αντοχή. (Μαυρογιαννόπουλος 2001)

Βέβαια το θερμόφυλλο πολυαιθυλένιο, περιέχει μικρές ποσότητες της ουσίας vinyl acetate και ταυτόχρονα κάποιες άλλες προσμίξεις, παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα του πλαστικού φύλλου EVA αλλά δεν έχει και τα μειονεκτήματά του.

Τέλος, υπάρχει και το γραμμικό πολυαιθυλένιο (linear PE) το οποίο φαίνεται να έχει κάποια πλεονεκτήματα ενδιαφέροντα στη Γεωπονία (Nisen et al., 2005).

Στην περιοχή της Καζανμπλάνκα, η επίδραση των ιδιοτήτων του πλαστικού ερευνήθηκε. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το I.R. πολυαιθυλένιο έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από το U.V. πολυαιθυλένιο. Απ' την άλλη, σε πείραμα που διεξάχθηκε για το φυτό της πιπεριάς σε συνθήκες ανάπτυξης υπό διαφορετικά πλαστικά υλικά, έδειξε ότι το PE και PE-IR παρήγαγαν τα πιο επιμήκη φύλλα της πιπεριάς και αυτό φαίνεται να είναι το αποτέλεσμα της χαμηλότερης φωτεινότητας. (Khanli, 2005)

EVA (ETHYLENE VINYL ACETATE)

Είναι συμπολυμερές του αιθυλενίου και vinyl acetate στο οποίο οι αναλογίες του vinyl acetate ποικίλουν μεταξύ 3 και 15%. Στο μακρομόριο επομένως υπάρχουν μόρια του αιθυλενίου συνδεδεμένα με μόρια του vinyl acetate. Επειδή η αναλογία αιθυλενίου/vinyl acetate μπορεί να ποικίλλει επομένως και τα παραγόμενα προϊόντα μπορεί να έχουν διάφορες διαβαθμίσεις ιδιοτήτων. Οι κύριες ιδιότητες του EVA είναι η υψηλή ευκαμψία, η αντοχή, η μεγάλη περατότητα στο φως, η ελάχιστη περατότητα στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία, η μεγάλη αντίσταση στις συνθήκες διάβρωσης του περιβάλλοντος και η αντίσταση στην καταστροφή του απ' την υπεριώδη ακτινοβολία και το όζον.

Το EVA εκτός απ' τη χρήση του ως υλικό κάλυψης θερμοκηπίων, χρησιμοποιείται και ως μεμβράνη συσκευασίας για την παραγωγή εύκαμπτων σωλήνων άρδευσης, λαστιχοσόλες παπουτσιών, για την πλαστικοποίηση εξαρτημάτων αυτοκινήτου και άλλων συσκευών και αποτελεί τη βάση για ένα μεγάλο αριθμό προϊόντων θερμοκόλλας.

Το πλαστικό φύλλο EVA που χρησιμοποιείται στην κάλυψη των θερμοκηπίων πλεονεκτεί σε σχέση με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου: α) στη μικρότερη περατότητα που έχει στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία και β) στη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του (φτάνει μέχρι και 4 χρόνια) στο θερμοκήπιο (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Πολλοί ερευνητές θεωρούν ότι το πλαστικό φύλλο EVA είναι φύλλο πολυαιθυλενίου που περιέχει διαφορετικές δόσεις Vinyl-Acetate και μάλιστα όσο μεγαλύτερη ποσότητα αυτού έχει χρησιμοποιηθεί, τόσο καλύτερη απορρόφηση της μακρινής υπέρυθρης επιτυγχάνεται (5000-35000nm). Βέβαια, οι μηχανικές ιδιότητές του δεν είναι πάντα αρκετά ικανοποιητικές.

(Nisen et al, 2005)

ΠΟΛΥΒΙΝΥΛΟΧΛΩΡΙΔΙΟ (PVC)

Το πολυβινυλοχλωρίδιο γνωστότερο με τα αρχικά PVC παράγεται από το βινυλοχλωρίδιο μετά από πολυμερισμό.

Το αέριο βινυλοχλωρίδιο (vinyl chloride) είναι γνωστό εδώ και έναν αιώνα. Το αέριο αυτό ήταν γνωστό ότι με τη θέρμανση μεταβάλλεται σε ένα σκληρό, λευκό, στερεό υλικό, το οποίο ρευστοποιείται σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία.

Πολύ αργότερα έγινε γνωστό ότι το υλικό αυτό ήταν το πολυβινυλοχλωρίδιο. Με την προσθήκη ανάλογης ποσότητας υγρού πλαστικοποιητή, παράγεται ένα θερμοπλαστικό υλικό, το οποίο μπορεί να ποικίλλει σε σκληρότητα, από πολύ εύκαμπτο μέχρι δύσκαμπτο υλικό όταν δεν έχει πλαστικοποιητή.

Το φύλλο PVC που χρησιμοποιείται στην κάλυψη των θερμοκηπίων σε θερμοκρασίες άνω των 60°C αλλοιώνεται, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες, μικρότερες των 20°C, το PVC γίνεται εύθραυστο. Στο PVC που χρησιμοποιείται για την κάλυψη θερμοκηπίων έχουν ενσωματωθεί επίσης πρόσθετα που του προσδίδουν μεγαλύτερη αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Το φύλλο PVC έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- ✓ Είναι αδιαπέραστο στο νερό, περισσότερο περατό στους υδρατμούς από το πολυαιθυλένιο, ενώ παρουσιάζει μικρότερη περατότητα στο O₂ και στο CO₂.
- ✓ Είναι λιγότερο περατό στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία από το πολυαιθυλένιο. Η περατότητα είναι περίπου 12%.
- ✓ Έχει μεγαλύτερη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης από το πολυαιθυλένιο. Δίδεται εγγύηση 4 και 5 χρόνων για επιφάνειες πάχους 0,2 mm και 0,3 mm αντίστοιχα, όταν έχουν σύνθεση ανθεκτική στις υπεριώδεις ακτινοβολίες.
- ✓ Το κόστος του είναι περίπου 3-4 φορές μεγαλύτερο από του πολυαιθυλενίου πάχους 0,15 mm.

- ✓ Κρατά ηλεκτροστατικά φορτία με αποτέλεσμα να έλκει και να συγκρατεί τη σκόνη. Αυτό με την πάροδο του χρόνου μειώνει σημαντικά την περατότητα στο φως. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα απαιτείται συχνό πλύσιμο ή ψεκασμός με αντιστατικό υγρό.
- ✓ Όταν είναι καινούργιο έχει πολύ καλή περατότητα στο φως, περίπου 90% (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΑ ΦΥΛΛΑ

Οι πολυεστέρες αυτού του είδους είναι προϊόντα πολυμερισμού της αιθυλικής αλκοόλης, της προπυλικής γλυκόζης και των μαλεϊκού και φουμαρικού οξέος.

Τα πολυεστερικά φύλλα όπως αυτά με το εμπορικό όνομα mylar και melynex, έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης διάρκειας ζωής. Για οροφή χρησιμοποιείται φύλλο πάχους 0,127mm που έχει διάρκεια ζωής τουλάχιστον 4 χρόνια, ενώ για τα κάθετα τοιχώματα, φύλλα 0,076 mm με διάρκεια ζωής 7 χρόνια. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι επίσης η περατότητά του στο φως, που πλησιάζει εκείνη του γυαλιού, καθώς και η έλλειψη στατικού ηλεκτρισμού, που έχει αποτέλεσμα να μη συγκρατεί μεγάλη ποσότητα σκόνης στην επιφάνειά του όπως το PVC.

Σημαντικά μειονεκτήματα μπορεί να θεωρηθούν τα ακόλουθα:

- ✓ Παράγεται σε μικρό πλάτος και
- ✓ Έχει υψηλό κόστος.

Παλαιότερα, το υψηλό κόστος των πολυεστερικών φύλλων αντισταθμιζόταν απ' τη μεγάλη διάρκεια της ζωής τους, όμως σήμερα η πολύ υψηλή τιμή τους καθιστά σχεδόν ασύμφορη τη χρησιμοποίησή τους στο θερμοκήπιο.

ΦΘΟΡΙΟΥΧΑ

Τα πιο σημαντικά απ' αυτά τα υλικά είναι το πολυβινυλοφθορίδιο (PVF) και το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE). Το μόριο του PVF είναι όπως αυτό του PVC στο οποίο τα άτομα χλωρίου έχουν αντικατασταθεί από άτομα φθορίου. Το μόριο του PTFE είναι όπως αυτό του πολυαιθυλενίου στο οποίο όλα τα άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί από άτομα φθορίου.

Επειδή τα άτομα φθορίου είναι πολύ δραστικά είναι δύσκολη η αποδόμηση των υλικών αυτών. Έτσι τα προϊόντα του PTFE ανθίστανται σε όλους τους διαλύτες και διαβρωτικά χημικά. Θερμό θεϊκό οξύ που είναι πολύ διαβρωτικό ή ακόμα και το βασιλικό υγρό (που είναι μίγμα υδροχλωρικού και νιτρικού οξέος που διαλύει πλατίνα και χρυσό) δεν επηρεάζει το PTFE. Ανέχεται επίσης τις υψηλότερες θερμοκρασίες απ' όλα τα πλαστικά υλικά, χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες μέχρι και 300°C. Είναι άριστος ηλεκτρικός μονωτής και έχει πολύ χαμηλό συντελεστή ιζώδους. Το υψηλό κόστος του PTFE σήμερα περιορίζει τις χρήσεις του μόνο σ' εφαρμογές που αξιοποιούνται πλήρως ιδιαίτερες ιδιότητές του. Σε περίπτωση των θερμοκηπίων, όταν επιδιώκεται η χρησιμοποίηση πλαστικού φύλλου με πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής καλύμματος (10 έτη), συνήθως χρησιμοποιείται το συμπολυμερές αιθυλένιο-πολυτετραφθοροαιθυλένιο.

2.6.2 Επιφάνειες σκληρού πλαστικού

Οι επιφάνειες σκληρού πλαστικού είναι μεγαλύτερου πάχους από τα πλαστικά φύλλα και λιγότερο εύκαμπτες απ' αυτά. Στο εμπόριο κυκλοφορούν επιφάνειες πλάτους 1.25m και μήκους μέχρι 8m, σχετικά εύκαμπτες, ώστε να προσαρμόζονται εύκολα σε κάθε σχήμα και σκελετό θερμοκηπίου. Μπορούν να καλυφθούν θερμοκήπια με πολύ ελαφρύ σκελετό στα οποία συνήθως χρησιμοποιείται κάλυψη πολυαιθυλενίου, αλλά και με βαρύ σκελετό που συνήθως προορίζονται να καλυφθούν με υαλοπίνακες. Στην πρώτη περίπτωση το κόστος του καλυμμένου θερμοκηπίου διαμορφώνεται μεταξύ αυτού που καλύπτεται με πλαστικό φύλλο και αυτού που καλύπτεται με υαλοπίνακες. Στη

δεύτερη, το κόστος είναι περίπου ίδιο ή μεγαλύτερο με αυτό που καλύπτεται με υαλοπίνακες.

ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ (PC)

Οι πολυκαρβονικές επιφάνειες (Polycarbonates) είναι θερμοπλαστικοί πολυεστέρες που έχουν άριστες μηχανικές ιδιότητες, ιδιαίτερα έχουν υψηλή αντοχή στα χτυπήματα και αντέχουν σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Ως διαφανές υλικό χρησιμοποιείται ευρέως εκτός απ' την κατασκευή επιφανειών κάλυψης των θερμοκηπίων και για την κατασκευή σχετικά άθραυστων καλυμμάτων φωταγωγών, λαμπτήρων, μπουκαλιών, που χρησιμοποιούνται για τη διατροφή των νηπίων, πλαστικών ποτηριών για καφέ, κτλ.

Οι επιφάνειες κάλυψης των θερμοκηπίων είναι διαθέσιμες στην αγορά με τα εμπορικά ονόματα Thermoclear, Molanex, Qualex, Lexan, Polygal, Makrolon, Akyver και Casalith. Κυκλοφορούν στο εμπόριο υπό μορφή απλών αυλακωτών επιφανειών και υπό μορφή διπλών τοιχωμάτων. Η απλές επιφάνειες όταν είναι καινούριες, έχουν περατότητα στο φως της τάξης του 87%.

Μειονέκτημα των επιφανειών με διπλά τοιχώματα είναι η μειωμένη περατότητά τους στο φως συγκριτικά με τις απλές επιφάνειες. Γενικά όλες οι επιφάνειες με την πάροδο του χρόνου μειώνουν την περατότητά τους στο φως, με μεγαλύτερο ρυθμό στην αρχή και μικρότερο αργότερα. Για να μειωθεί ο ρυθμός υποβάθμισης του υλικού ως προς την περατότητα, οι επιφάνειες μπορεί να βαφούν με ακρυλικό διαφανές υλικό (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ

Πολυεστερικές ρητίνες: Σε αντίθεση με τον θερμοπλαστικό πολυεστέρα (Polycarbonates, Terylene) εδώ χρησιμοποιώντας ειδικά μονομερή, παράγονται πολυεστέρες με πλευρικές διακλαδώσεις μεταξύ των μορίων. Τα παραγόμενα προϊόντα επομένως είναι θερμοσκληρά.

Οι ενισχυμένες πολυεστερικές επιφάνειες που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη του θερμοκηπίου προέρχονται από πολυεστέρα στον οποίο έχουν προστεθεί 20-34 % ίνες γυαλιού. Οι ίνες γυαλιού εκτός απ' την αυξημένη μηχανική αντοχή προσδίδουν και καλύτερη διάχυση του φωτός στο θερμοκήπιο. Στο εμπόριο τα προϊόντα αυτά είναι περισσότερο γνωστά με το όνομα "fiberglass". Η προσθήκη 15% ακρυλικού στον πολυεστέρα δίνει επιφάνειες μεγαλύτερης αντοχής.

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας είναι ανθεκτικός στις χαλαζοπτώσεις και στις περιπτώσεις βανδαλισμών. Σημαντικό μειονέκτημά του είναι η διάβρωση που παθαίνει με το χρόνο στην εξωτερική του επιφάνεια, από σωματίδια άμμου που πέφτουν επάνω του (παρασυρμένα απ' τον αέρα) και τη χημική μόλυνση. Συνέπεια της διάβρωσης είναι η καταστροφή της λείας του εξωτερικής επιφάνειας, με αποτέλεσμα να μαζεύει σκόνη, μειώνοντας έτσι την περατότητά του στο φως. Για να αποφευχθεί το πρόβλημα αυτό γίνεται συντήρηση με ακρυλική βαφή κάθε δεύτερο χρόνο (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

ΣΚΛΗΡΟ ΠΟΛΥΒΙΝΥΛΟΧΛΩΡΙΔΙΟ (PVC)

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν επιφάνειες από σκληρό διαφανές P.V.C. σαν φτηνό υλικό για την κάλυψη των θερμοκηπίων, επειδή είχε χαμηλό κόστος (40%-60% του fiberglass). Αργότερα δεν χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη έκταση, γιατί στην πράξη φάνηκε ότι ήταν πολύ μικρός ο χρόνος κατά τον οποίο διατηρούσε ικανοποιητικά τις ιδιότητές του ως προς την περατότητα και αντοχή, μερικές φορές μόνο 5 χρόνια. Κάτι τέτοιο θεωρείται ασύμφορο, αν σκεφτεί κανείς ότι στοιχίζει 5 φορές περισσότερο απ' το φύλλο πολυαιθυλενίου και ότι η τοποθέτησή του είναι πιο δύσκολη.

Το σκληρό P.V.C. αποδομείται σχετικά γρήγορα από την υπεριώδη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα, αρχικά να σκουραίνει και να μειώνεται η περατότητα του φωτός, ενώ αργότερα να γίνεται πιο εύθραυστο. Στο σημείο που έρχεται σ' επαφή με το σκελετό του θερμοκηπίου υποβαθμίζεται γρηγορότερα και η μηχανική αντοχή του (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

ΑΚΡΥΛΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

Τα ακρυλικά είναι μια ομάδα βινυλοπλαστικών απ' τα οποία το σημαντικότερο είναι το polymethyl methacrylate (PMMA). Παράγεται με πολυμερισμό του methyl methacrylate. Είναι ένα πλαστικό υλικό διάφανο σαν το γυαλί. Είναι πιο πολύ γνωστό με τα εμπορικά ονόματα: Plexiglass, Perspex, Vedril και Mouch.

Έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά και για την κατασκευή επιφανειών κάλυψης των θερμοκηπίων, καθώς έχουν έναν πολύ καλό συντελεστή περατότητας στο φως και με πολύ σημαντικό πλεονέκτημα ότι η καλή περατότητα του υλικού αυτού διαρκεί πολύ. Πειράματα έχουν δείξει ότι σε 15 χρόνια η πτώση της περατότητάς τους στο φως είναι μόνο 2%, σε αντίθεση με τα άλλα συνθετικά υλικά που είναι πολύ μεγαλύτερη. Μάλιστα υπάρχει τύπος υλικού ο οποίος μεταβιβάζει την UV ακτινοβολία και άλλος τύπος ο οποίος την απορροφά, ο τελευταίος είναι αυτός που χρησιμοποιείται στα θερμοκήπια.

Είναι ένα θαυμάσιο υλικό από πλευράς οπτικών ιδιοτήτων και θερμομόνωσης. Το κόστος του όμως είναι πολύ υψηλό, ώστε να μη μπορούμε να πούμε πως μπορεί το υλικό αυτό να βρει γενική χρήση στα θερμοκήπια στη χώρα μας (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Κεφάλαιο 3.

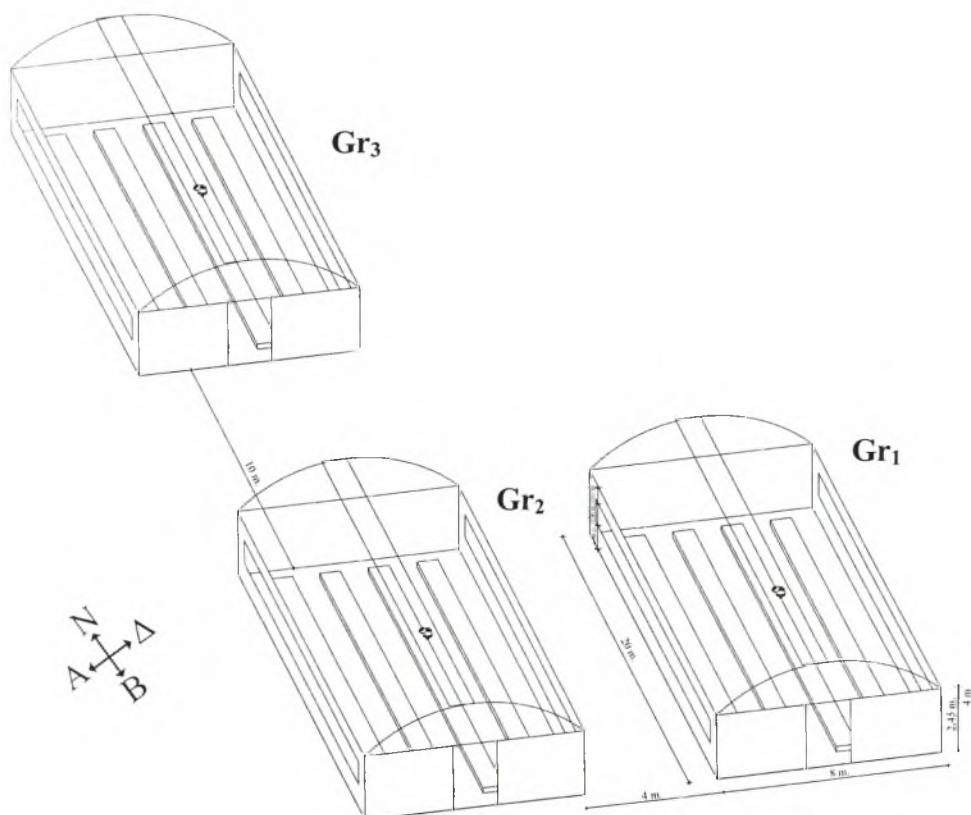
Υλικά και μέθοδοι

1. Τοποθεσία του πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου, με γεωγραφικό μήκος (longitude): $22^{\circ} 44'$ E, γεωγραφικό πλάτος (latitude): $39^{\circ} 22'$ N και υψόμετρο (altitude): 120m. Το Βελεστίνο βρίσκεται 18km έξω από το Βόλο στο νοτιοδυτικό τμήμα του Νομού Μαγνησίας. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ηπειρωτικό κλίμα.

2. Περιγραφή θερμοκηπίων

Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τρία πανομοιότυπα θερμοκήπια, τροποποιημένα τοξωτά, με εμβαδό 160m^2 (μήκος 20m και πλάτος 8m) το καθένα, με ύψος κορφιά 4m και ύψος ορθοστάτη 2,9m. Η χωροταξική διάταξη των θερμοκηπίων παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Χωροταξική διάταξη των θερμοκηπίων

Τα κοντινότερα εμπόδια προς αυτά ήταν, στην ανατολική πλευρά δέντρα ύψους 4 μέτρων, που λειτουργούσαν ως ανεμοθραύστες και καλαμιές, τα οποία όμως δεν σκίαζαν καθόλου τα θερμοκήπια καθώς βρίσκονταν σε απόσταση 15 μέτρων από αυτά. Αριστερά του Gr₂ υπήρχε ένα μικρό κτίριο στο οποίο βρίσκονταν οι δεξαμενές του υδροπονικού συστήματος των θερμοκηπίων καθώς και ο υπολογιστής με τον οποίο γινόταν η διαχείριση του συστήματος αυτού. Δεξιά του θερμοκηπίου Gr₁, υπήρχε οπωρώνας και το θερμοκήπιο Gr₃ απείχε από τον οπωρώνα διπλάσια απόσταση από ό, τι το Gr₁. Το υλικό του σκελετού τους ήταν γαλβανισμένος χάλυβας.

3. Τα υλικά κάλυψης

Στο εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν και τα τρία θερμοκήπια και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της παρούσας εργασίας, τα καλύμματα βρίσκονταν στο δεύτερο χρόνο χρήσης τους. Τα καλύμματα των θερμοκηπίων ήταν χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο με πρόσθετα βελτίωσης των ιδιοτήτων τους. Το πλαστικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο θερμοκήπιο (Gr₁), με κωδικό αριθμό 3999, περιείχε πρόσθετα απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας. Επιπλέον, περιείχε και πρόσθετα που εξασφάλιζαν αντισταγονικές ιδιότητες στο κάλυμμα, δηλαδή συμπύκνωση των υδρατμών με μορφή μεμβράνης και όχι με μορφή σταγόνας, ενώ παράλληλα ήταν θερμόφιλο (PE-IR) ώστε να συγκρατείται η μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία και να θερμαίνεται το θερμοκήπιο. Το πλαστικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο δεύτερο θερμοκήπιο (Gr₂), με κωδικό αριθμό 3975 είχε γκρι χρώμα, περιείχε και αυτό πρόσθετα απορροφητικά της UV, ενώ είχαν ενσωματωθεί πρόσθετα στο συγκεκριμένο υλικό ώστε να ανακλάται ένα τμήμα της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας ή αλλιώς NIR που προσπίπτει πάνω σ' αυτό. Με αυτό τον τρόπο ήταν δυνατός ο δροσισμός του θερμοκηπίου σε περιόδους με υψηλή θερμοκρασία ή ακτινοβολία, συμπεριφερόταν δηλαδή σαν cooling film. Τέλος, ήταν θερμόφιλο (PE-IR). Το πλαστικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο τρίτο θερμοκήπιο (Gr₃), με κωδικό αριθμό 3945, αποτελούσε τον μάρτυρα, δεν περιείχε πρόσθετα βελτίωσης των ιδιοτήτων του, παρά μόνο ότι ήταν θερμόφιλο (PE-IR). Δηλαδή, η συμπύκνωση των υδρατμών γινόταν με μορφή σταγόνων και όχι με μορφή μεμβράνης, ενώ δεν ήταν απορροφητικό της υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι οπτικές ιδιότητες των υλικών αυτών μετρήθηκαν στα μήκη κύματος από 350 μέχρι 1100 nm

κατά την εγκατάστασή τους στα θερμοκήπια και παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 2, 3 και 4 του κεφαλαίου 4 (Αποτελέσματα και Συζήτηση).

4. Αερισμός.

Στα θερμοκήπια υπήρχαν πλαϊνά ανοίγματα, κατά μήκος των δύο μεγάλων πλευρών, διαστάσεων $1\text{m} \times 15\text{m}$. Ο έλεγχος του αερισμού γινόταν αυτόματα στα θερμοκήπια, όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους $23\text{ }^{\circ}\text{C}$.

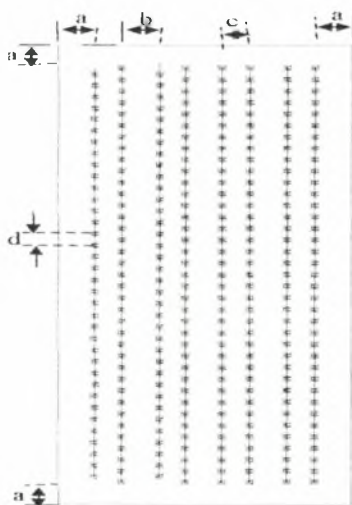
5. Θέρμανση.

Η θέρμανση των θερμοκηπίων ήταν επιδαπέδια. Η θερμοκρασία θερμοστάτη ορίστηκε στους $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια της νύχτας και $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι θερμοστάτες και στα τρία θερμοκήπια τοποθετήθηκαν στο κέντρο των θερμοκηπίων, 2m πάνω από το έδαφος. Ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιήθηκε πετρέλαιο.

6. Η καλλιέργεια

Χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας (*Lycopersicon esculentum*), ποικιλία Belladonna. Πρόκειται για ποικιλία αυτογονιμοποιούμενη, με χαρακτηριστικό τη μεγάλη διάρκεια ζωής του καρπού.

Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε τέσσερις διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης $0,37\text{ m}$ επί της γραμμής και $0,75\text{ m}$ μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς, με πυκνότητα $2,4\text{ φυτά}/\text{m}^2$. Το πλάτος του διαδρόμου ήταν 1m .



$a=b=1\text{m}$
$c=0.75\text{m}$
$d=0.37\text{m}$

Εικόνα 2: Σχέδιο εγκατάστασης καλλιέργειας (κάτοψη του θερμοκηπίου).

7. Περιγραφή οργάνου-μετρήσεων-επεξεργασίας

Για τη μέτρηση της φασματικής διαπερατότητας των υλικών κάλυψης χρησιμοποιήθηκε φορητό σπεκτροραδιόμετρο (LI-1800 LI-COR, Lincoln, NE, USA). Η συσκευή αυτή έχει τη δυνατότητα να μετρά την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας από 300 έως 1100 nm με κλίμακα ανά 2nm. Το όργανο χωρίζει το φάσμα του φωτός σε πολλά μικρότερα τμήματα και στη συνέχεια μετρά την ενέργεια που εκπέμπεται σε κάθε τμήμα του φάσματος.



Εικόνα 3: Φορητό σπεκτροραδιόμετρο (LI-COR-1800)

Για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας στο θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε το σπεκτροραδιόμετρο που προαναφέρθηκε, σε τρία διαφορετικά σημεία κατά πλάτος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (1 m, 4 m, 7 m) σε απόσταση 6 m απ' τη νότια πλευρά και 14 m απ' τη βόρεια (αφού το μήκος του θερμοκηπίου είναι 20 m) και σε ύψος 1.2 m. Μετά τις μετρήσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου πραγματοποιούνταν μετρήσεις εξωτερικά του θερμοκηπίου με το σπεκτροραδιόμετρο. Ο προσδιορισμός της διαπερατότητας στο καθένα απ' τα τρία προαναφερθέντα σημεία του θερμοκηπίου προέκυπτε απ' το λόγο της μετρηθείσας ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προς τη μετρηθείσα ακτινοβολία στο εξωτερικό του θερμοκηπίου.

Συγκεκριμένα, όταν πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις, το LI-COR συνδεόταν με έναν υπολογιστή στον οποίο υπήρχε εγκατεστημένο το πρόγραμμα και έτσι γινόταν δυνατή η φόρτωση των δεδομένων των μετρήσεων σ' αυτόν.

Επίσης πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές μετρήσεις των ιδιοτήτων (διαπερατότητα, ανακλαστικότητα, απορροφητικότητα) τεμαχίων υλικών κάλυψης ομοίων με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την κάλυψη των θερμοκηπίων (υλικά 3999, 3975, 3945). Σκοπός των μετρήσεων αυτών ήταν η μελέτη της επίδρασης του χρόνου στις φασματικές ιδιότητες των υλικών, δηλαδή μετρήσεις των ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης κατά την εγκατάστασή τους, ένα χρόνο και δύο χρόνια μετά.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια μιας εξωτερικής σφαίρας ολοκλήρωσης. Η σφαίρα αυτή συνδέεται μέσω ειδικού καλωδίου με το LI-COR, διαθέτει λαμπτήρα ο οποίος προσαρμόζεται στις διαφορετικές υποδοχές της σφαίρας και μπορεί να μετρήσει τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα των υλικών.

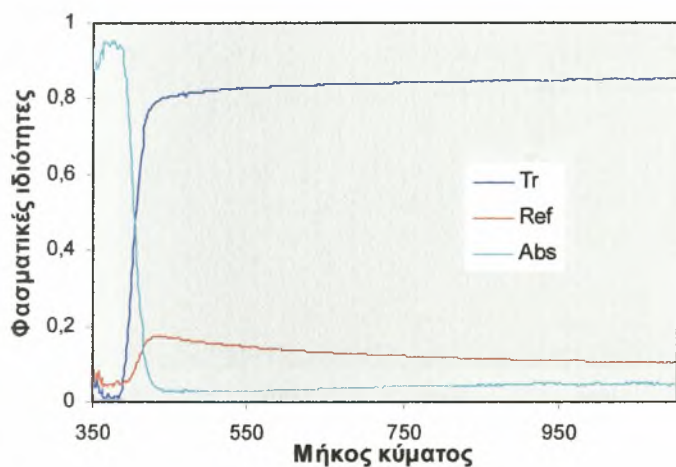
Οι μετρήσεις της έντασης της ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο μέσα στην καλλιέργεια τομάτας πραγματοποιήθηκαν με την εφαρμογή ενός αισθητήρα στο σπεκτροραδιόμετρο. Με τη βοήθεια αυτού του αισθητήρα, το LI-COR κατέγραφε μετρήσεις στο πάνω μέρος της καλλιέργειας, στο εσωτερικό της αλλά και στο κάτω μέρος της. Με τα δεδομένα αυτά, ήταν δυνατή η δημιουργία γραφικών παραστάσεων που αφορούσαν στην ένταση της ακτινοβολίας στα τρία διαφορετικά σημεία της καλλιέργειας, καθώς και παραστάσεις που σχετίζονταν με τη διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα της καλλιέργειας και συγκεκριμένα στο εσωτερικό της και στο κάτω μέρος της.

Κεφάλαιο 4

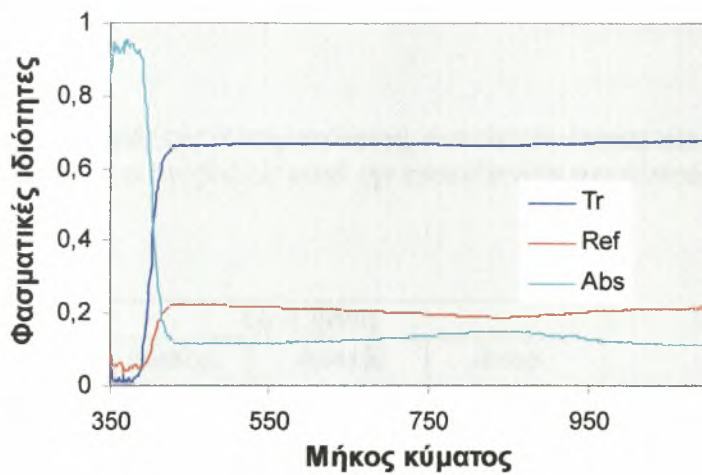
Αποτελέσματα και Συζήτηση

1.Επίδραση του χρόνου χρήσης των υλικών κάλυψης στις φασματικές τους ιδιότητες

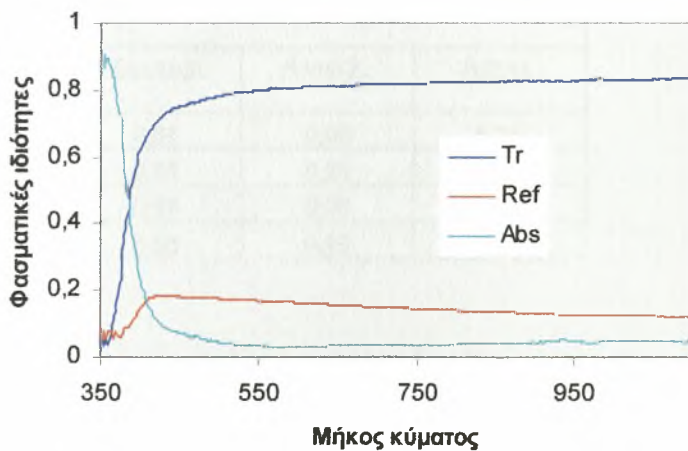
Σχετικά με τη γήρανση των υλικών, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές μετρήσεις με τη χρήση της σφαίρας ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό των φασματικών ιδιοτήτων των τριών υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων (3999, 3975, 3945) κατά την εγκατάστασή τους στα θερμοκήπια (Ιούνιος 2004), μετά από ένα χρόνο χρήσης τους (Ιούνιος 2005) και μετά από δύο χρόνια χρήσης τους (Ιούνιος 2006). Παρακάτω, στα σχήματα 1, 2 και 3 παρουσιάζονται οι φασματικές ιδιότητες των υλικών κάλυψης κατά τις τρεις χρονιές που προαναφέρθηκαν συναρτήσει του μήκους κύματος.



Σχήμα 1 : Φασματικές ιδιότητες του υλικού με κωδικό αριθμό 3999 κατά την εγκατάστασή του στο θερμοκήπιο (Ιούνιος 2004). Οι λέξεις *tr*, *ref* και *abs* συμβολίζουν τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα αντίστοιχα.



Σχήμα 2: Φασματικές ιδιότητες του υλικού με κωδικό αριθμό 3975 κατά την εγκατάστασή του στο θερμοκήπιο (Ιούνιος 2004). Οι λέξεις *tr*, *ref*, *abs* συμβολίζουν τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα αντίστοιχα.



Σχήμα 3: Φασματικές ιδιότητες του υλικού με κωδικό αριθμό 3945 κατά την εγκατάστασή του στο θερμοκήπιο (Ιούνιος 2004). Οι λέξεις *tr*, *ref*, *abs* συμβολίζουν τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα αντίστοιχα.

Οι οπτικές ιδιότητες των τριών υλικών κατά την εγκατάσταση μπορούν να εξεταστούν για τα διάφορα τμήματα του φάσματος που έχουν ιδιαίτερη σημασία, όπως η PAR(400- 700 nm), τμήμα της UV (350-400 nm) και η NIR (700-1100 nm). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι φασματικές ιδιότητες των τριών υλικών στα διάφορα μήκη κύματος.

Πίνακας 2 : Τιμές της διαπερατότητας, ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στα διάφορα μήκη ακτινοβολίας κατά την εγκατάσταση του υλικού 3999.

Τμήμα φάσματος	Gr1(3999)		
	Διαπερ.	Ανακλ.	Απορ.
350-400	0,04	0,05	0,91
400-700	0,81	0,14	0,05
700-1100	0,85	0,11	0,04
400-1100	0,83	0,12	0,05

Πίνακας 3 : Τιμές της διαπερατότητας, ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στα διάφορα μήκη ακτινοβολίας κατά την εγκατάσταση του υλικού 3975.

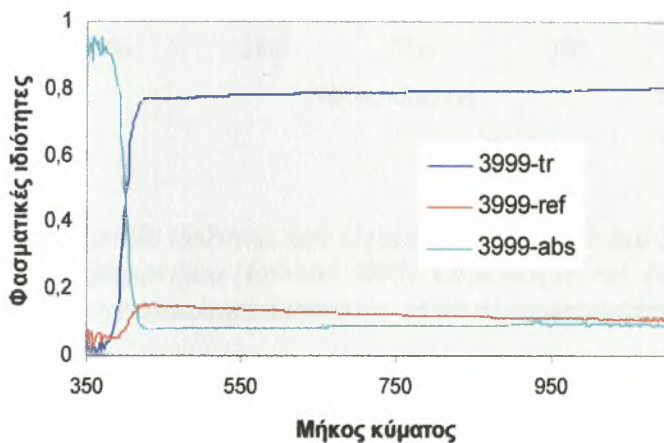
Τμήμα φάσματος	Gr2(3975)		
	Διαπερ.	Ανακλ.	Απορ.
350-400	0,04	0,06	0,90
400-700	0,65	0,21	0,14
700-1100	0,67	0,20	0,13
400-1100	0,66	0,20	0,13

Πίνακας 4 : Μέσος όρος της διαπερατότητας, ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στα διάφορα μήκη ακτινοβολίας κατά την εγκατάσταση του υλικού 3945- μάρτυρας (Ιούνιος 2004).

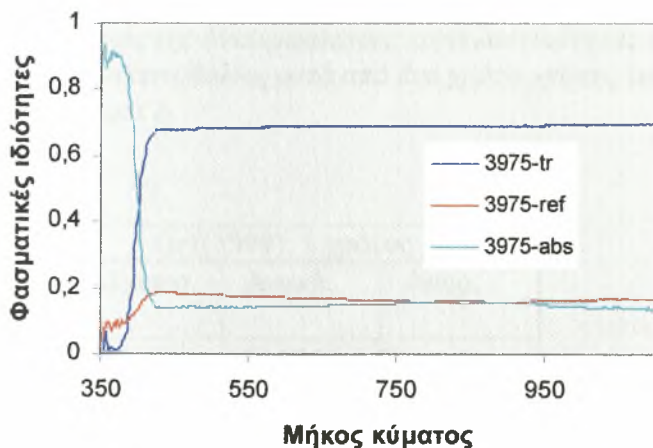
Τμήμα φάσματος	Gr3(3945) Μάρτυρας		
	Διαπερ.	Ανακλ.	Απορ.
350-400	0,26	0,08	0,66
400-700	0,78	0,17	0,05
700-1100	0,83	0,13	0,04
400-1100	0,81	0,15	0,05

Παρατηρείται δηλαδή από τις παραπάνω τιμές, ότι η διαπερατότητα στο τμήμα (350-400 nm) ήταν 4 % για τα υλικά 3999 και 3975, ενώ 26% για το μάρτυρα (3945). Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς τα δύο πρώτα υλικά είναι απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας ενώ ο μάρτυρας δεν είναι. Επίσης παρατηρείται ότι η

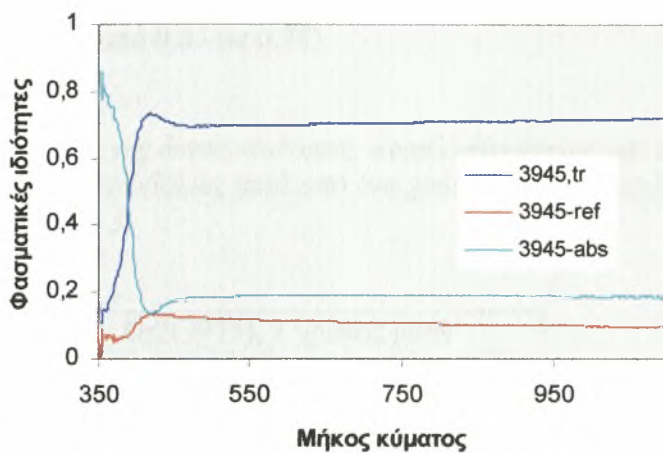
διαπερατότητα στην PAR (400-700nm) στα υλικά 3999, 3975 και 3945 ήταν 81%, 65% και 78% αντίστοιχα, ενώ η ανακλαστικότητα στη NIR (700-1100 nm) ήταν 11%, 20% και 13% αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη ανακλαστικότητα του δεύτερου υλικού στη NIR όπως και η μικρότερη διαπερατότητά του στην PAR έχει ως αποτέλεσμα το δροσισμό στο θερμοκήπιο (cooling film). Στα σχήματα 4, 5, 6 και τους πίνακες 5, 6, 7 και 8 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των υλικών κάλυψης, ένα χρόνο μετά τη χρήση τους στο θερμοκήπιο.



Σχήμα 4: Φασματικές ιδιότητες του υλικού με κωδικό αριθμό 3999 ένα χρόνο μετά τη χρήση του στο θερμοκήπιο (Ιούνιος 2005). Οι λέξεις *tr*, *ref*, *abs* συμβολίζουν τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα αντίστοιχα.



Σχήμα 5: Φασματικές ιδιότητες του υλικού με κωδικό αριθμό 3975 ένα χρόνο μετά τη χρήση του στο θερμοκήπιο (Ιούνιος 2005). Οι λέξεις *tr*, *ref*, *abs* συμβολίζουν τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα αντίστοιχα.



Σχήμα 6: Φασματικές ιδιότητες του υλικού με κωδικό αριθμό 3945 ένα χρόνο μετά τη χρήση του στο θερμοκήπιο (Ιούνιος 2005). Οι λέξεις *tr*, *ref*, *abs* συμβολίζουν τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα αντίστοιχα.

Με σκοπό να συγκριθούν καλύτερα οι οπτικές ιδιότητες των υλικών κάλυψης ένα χρόνο μετά τη χρήση τους με αυτές κατά την εγκατάστασή τους, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των πινάκων που ακολουθούν για καθένα απ' τα τρία υλικά κάλυψης.

Πίνακας 5 : Τιμές της διαπερατότητας, ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στα διάφορα μήκη ακτινοβολίας μετά από ένα χρόνο χρήσης του υλικού 3999 και σύγκρισή του με τον πίνακα 2.

Τμήμα φάσματος	Gr1(3999), 1 χρόνος μετά		
	Διαπερ.	Ανακλ.	Απορ.
350-400	0,08	0,06	0,86
400-700	0,77	0,14	0,09
700-1100	0,79	0,11	0,09
400-1100	0,78	0,12	0,09

Μελετώντας τα χαρακτηριστικά του υλικού 3999 ένα χρόνο μετά τη χρήση του ως υλικό κάλυψης στο πρώτο θερμοκήπιο, παρατηρήθηκε αύξηση της διαπερατότητας στην UV (από 0.04 σε 0.08), μείωση της διαπερατότητας στην PAR

(από 0.81 σε 0.77) και επίσης μείωση της διαπερατότητας στη NIR (από 0.85 σε 0.79). Γενικά, για το φάσμα από 400 μέχρι 1100 nm παρατηρήθηκε μείωση της διαπερατότητας (από 0.83 σε 0.78).

Πίνακας 6 : Τιμές της διαπερατότητας, ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στα διάφορα μήκη ακτινοβολίας μετά από ένα χρόνο χρήσης του υλικού 3975 και σύγκρισή του με τον πίνακα 3.

Τμήμα φάσματος	Gr2(3975), 1 χρόνος μετά		
	Διαπερ.	Ανακλ.	Απορ.
350-400	0,07	0,09	0,84
400-700	0,68	0,17	0,15
700-1100	0,69	0,16	0,15
400-1100	0,68	0,17	0,15

Όσον αφορά το υλικό 3975 διαπιστώνεται μικρή μείωση της ανακλαστικότητας. Συγκεκριμένα, η ανακλαστικότητα στη NIR μειώθηκε από 0.20 σε 0.16 με την πάροδο ενός έτους χρήσης του υλικού κάλυψης με κωδικό αριθμό 3975.

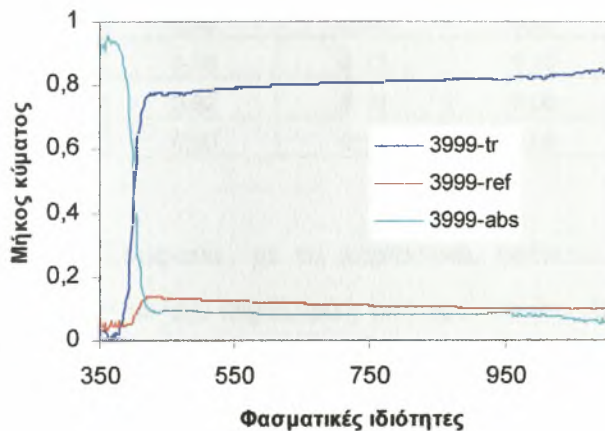
Πίνακας 7: Τιμές της διαπερατότητας, ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στα διάφορα μήκη ακτινοβολίας μετά από ένα χρόνο χρήσης του υλικού 3945 (μάρτυρας) και σύγκρισή του με τον πίνακα 4.

Τμήμα φάσματος	Gr3(3945) μάρτυρας, 1 χρόνος μετά		
	Διαπερ.	Ανακλ.	Απορ.
350-400	0,28	0,06	0,65
400-700	0,70	0,12	0,18
700-1100	0,71	0,10	0,19
400-1100	0,71	0,11	0,18

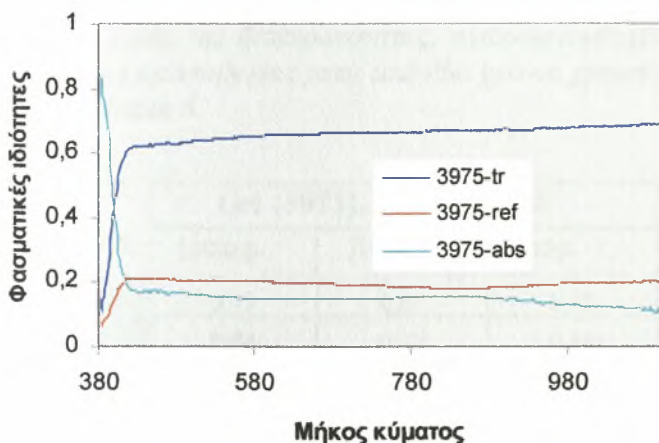
Στην περίπτωση του μάρτυρα (3945), το υλικό ένα χρόνο μετά τη χρήση του παρουσίασε αύξηση της διαπερατότητας στη UV από 0.26 σε 0.28, μείωση της διαπερατότητας στην PAR από 0.78 σε 0.70 και μείωση της διαπερατότητας στη NIR

από 0.83 σε 0.71. Γενικά παρουσιάζεται μία μείωση της διαπερατότητας από 0.81 σε 0.71 για το συνολικό μήκος κύματος 400-1100 nm.

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται οι φασματικές ιδιότητες των υλικών δύο χρόνια μετά τη χρήση τους. Να σημειωθεί εδώ ότι λόγω καιρικών συνθηκών δεν ήταν εφικτό να υπάρξει τεμάχιο απ' το υλικό 3945 (μάρτυρας) δύο χρόνων, γι' αυτό θα εξεταστούν τα υλικά 3999 και 3975.



Σχήμα 7: Φασματικές ιδιότητες του υλικού με αριθμό 3999 δύο χρόνια μετά τη χρήση του στο θερμοκήπιο (Ιούνιος 2006). Οι λέξεις *tr*, *ref*, *abs* συμβολίζουν τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα αντίστοιχα.



Σχήμα 8: Φασματικές ιδιότητες του υλικού με αριθμό 3975 δύο χρόνια μετά τη χρήση του στο θερμοκήπιο (Ιούνιος 2006). Οι λέξεις *tr*, *ref*, *abs* συμβολίζουν τη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα αντίστοιχα.

Πίνακας 8: Τιμές της διαπερατότητας, ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στα διάφορα μήκη ακτινοβολίας μετά από δύο χρόνια χρήσης του υλικού 3999 και σύγκρισή του με τον πίνακα 5.

Τμήμα φάσματος	Gr1 (3999), 2 χρόνια μετά		
	Διαπερ.	Ανακλ.	Απορ.
350-400	0,08	0,05	0,87
400-700	0,78	0,12	0,10
700-1100	0,82	0,10	0,08
400-1100	0,80	0,11	0,09

Σύμφωνα με τα παραπάνω, φαίνεται ότι οι φασματικές ιδιότητες του υλικού 3999 με την παρέλευση δύο χρόνων δεν έχουν αλλάξει σε μεγάλο βαθμό. Η διαπερατότητα, η ανακλαστικότητα και η απορροφητικότητα στα τμήματα της υπεριώδους ακτινοβολίας (350-400 nm), της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (400-700 nm) και της κοντινής υπέρυθρης παρουσιάζουν ελάχιστες διαφορές συγκριτικά με τις τιμές που παρουσίαζαν στην πρώτη χρονιά χρήσης τους.

Πίνακας 9: Τιμές της διαπερατότητας, ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στα διάφορα μήκη ακτινοβολίας μετά από δύο χρόνια χρήσης του υλικού 3975 και σύγκρισή του με τον πίνακα 6.

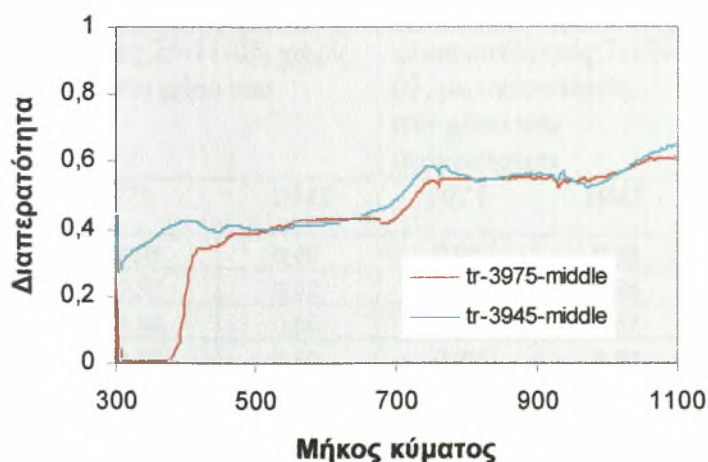
Τμήμα φάσματος	Gr1 (3975), 2 χρόνια μετά		
	Διαπερ.	Ανακλ.	Απορ.
350-400	0,11	0,07	0,82
400-700	0,68	0,17	0,15
700-1100	0,69	0,16	0,15
400-1100	0,68	0,17	0,15

Παρατηρείται και σε αυτό το σημείο πως ούτε και στο υλικό 3975 έχουν υπάρξει σημαντικές αλλαγές με την πάροδο των δύο χρόνων. Να αναφερθεί ότι το υλικό κάλυψης με κωδικό αριθμό 3945 (μάρτυρας) δεν μετρήθηκε μετά την παρέλευση των 2 ετών από την εγκατάστασή του, καθώς είχε αντικατασταθεί νωρίτερα από καινούριο υλικό κάλυψης.

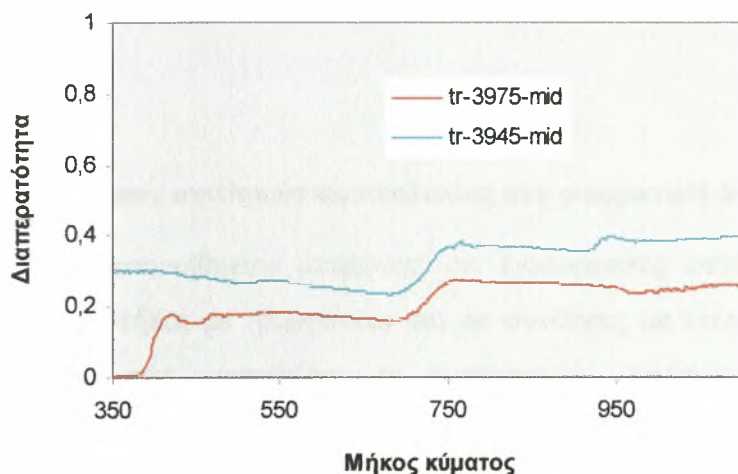
2. Επίδραση της υγροποίησης στη φασματική διαπερατότητα των υλικών

Σχετικά με την επίδραση της υγροποίησης στη φασματική διαπερατότητα των υλικών, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με διαφορετικές συνθήκες, δηλαδή μετρήσεις κατά τις οποίες α) υπήρχε υγροποίηση και ηλιοφάνεια, β) υπήρχε υγροποίηση και συννεφιά, γ) ηλιοφάνεια χωρίς υγροποίηση, δ) συννεφιά χωρίς υγροποίηση. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα από τον Ιούνιο μέχρι το Δεκέμβριο του 2005.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετρήσεις της διαπερατότητας σε δύο διαφορετικές ημερομηνίες, στις 26-11-05 και στις 7-12-05. Στις 26-11-05 υπήρχε ηλιοφάνεια χωρίς υγροποίηση στα θερμοκήπια με υλικά κάλυψης 3975 και 3945, ενώ στις 7-12-05 επικρατούσαν συνθήκες ηλιοφάνειας και υπήρχε υγροποίηση στα θερμοκήπια με υλικά κάλυψης 3975 και 3945. Σημειώνεται ότι κατά το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης των μετρήσεων, δεν υπήρχε καλλιέργεια στο θερμοκήπιο με υλικό κάλυψης 3999 και επομένως δεν υπήρχε και υγροποίηση σ' αυτό. Έτσι, στα γραφήματα που παρατίθενται παρακάτω γίνονται συγκρίσεις μόνο μεταξύ των θερμοκηπίων που φέρουν τα υλικά 3975 και 3945 και αφορούν στο μέσο του θερμοκηπίου, δηλαδή στα 4 m κατά πλάτος του θερμοκηπίου. Για τις συγκεκριμένες ημερομηνίες και ώρες για τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις, υπολογίστηκε ότι ο ήλιος βρισκόταν στο ίδιο περίπου ύψος.



Σχήμα 9: Διαπερατότητες των υλικών με κωδικό αριθμό 3975 και 3945 στο μέσο του θερμοκηπίου στις 26-11-05 (ηλιοφάνεια, χωρίς υγροποίηση). Οι λέξεις *tr* και *middle* συμβολίζουν τη διαπερατότητα και το κέντρο του θερμοκηπίου (στα 4m. απ' την ανατολική πλευρά των θερμοκηπίων), αντίστοιχα.



Σχήμα 10: Διαπερατότητες των υλικών με κωδικό αριθμό 3975 και 3945 στο μέσο του θερμοκηπίου στις 7-12-05 (ηλιοφάνεια, με υγροποίηση). Οι λέξεις tr και middle συμβολίζουν τη διαπερατότητα και το κέντρο του θερμοκηπίου (στα 4m. απ' την ανατολική πλευρά των θερμοκηπίων), αντίστοιχα.

Με σκοπό να κατανοηθούν περισσότερο τα σχήματα 9 και 10, συγκρίθηκαν οι τιμές της διαπερατότητας στα διάφορα τμήματα του φάσματος, στον πίνακα 10.

Πίνακας 10: Σύγκριση των διαπερατοτήτων των δύο υλικών (3975 και 3945) σε συνθήκες με υγροποίηση και χωρίς υγροποίηση, όταν υπάρχει ηλιοφάνεια.

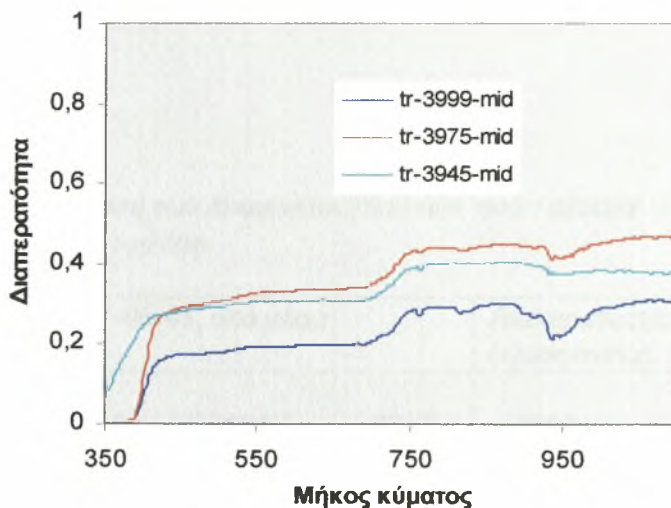
	Διαπερατότητες 26-11-05, χωρίς υγροποίηση, στο μέσο του θερμοκηπίου		Διαπερατότητες 7-12-05, με υγροποίηση, στο μέσο του θερμοκηπίου	
	3975	3945	3975	3945
350-400	0,01	0,40	0,02	0,30
400-700	0,37	0,42	0,17	0,26
700-1100	0,59	0,56	0,25	0,37
400-1100	0,50	0,50	0,22	0,32

Παρατηρείται δηλαδή ότι με συνθήκες υγροποίησης στα θερμοκήπια, οι τιμές της διαπερατότητας παρουσιάζουν σημαντική μείωση, σχεδόν στα περισσότερα τμήματα του φάσματος, σε σύγκριση με συνθήκες κατά τις οποίες δεν υπάρχει υγροποίηση. Π. χ. για το θερμοκήπιο με υλικό κάλυψης το 3975, η διαπερατότητα

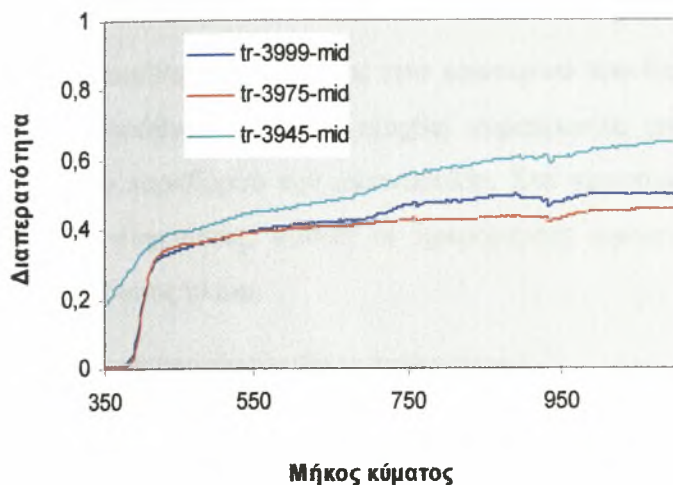
στην PAR από 0.37 που ήταν σε συνθήκες χωρίς υγροποίηση, μειώθηκε σε 0.17 όταν υπήρχε υγροποίηση.

3.Επίδραση των συνθηκών ακτινοβολίας στη φασματική διαπερατότητα

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας, δηλαδή σε συνθήκες με ηλιοφάνεια και σε συνθήκες με συννεφιά, ώστε να γίνει αντιληπτό το πώς επηρεάζουν οι διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας την διαπερατότητα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Παρακάτω παρουσιάζονται περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν υπήρχε υγροποίηση στα θερμοκήπια. Στις 7-06-05 υπήρχε συννεφιά, ενώ στις 7-08-05 υπήρχε ηλιοφάνεια. Για τις συγκεκριμένες ημερομηνίες και ώρες για τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις, υπολογίστηκε ότι ο ήλιος βρισκόταν στο ίδιο περίπου ύψος, έτσι, αυτές μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Τα γραφήματα αφορούν και εδώ σύγκριση των διαπερατοτήτων στο μέσο των θερμοκηπίων.



Σχήμα 13 : Διαπερατότητες των τριών υλικών στο μέσο των θερμοκηπίων στις 7-06-05(συννεφιά). Οι λέξεις *tr* και *middle* συμβολίζουν τη διαπερατότητα και το κέντρο του θερμοκηπίου (στα 4m. απ' την ανατολική πλευρά των θερμοκηπίων), αντίστοιχα.



Σχήμα 14 : Διαπερατότητες των τριών υλικών στο μέσο των θερμοκηπίων στις 7-08-05 (ηλιοφάνεια). Οι λέξεις *tr* και *middle* συμβολίζουν τη διαπερατότητα και το κέντρο του θερμοκηπίου (στα 4m. απ' την ανατολική πλευρά των θερμοκηπίων), αντίστοιχα.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τα σχήματα 13 και 14, παρατηρείται ότι όταν επικρατούν συνθήκες ηλιοφάνειας, οι τιμές της διαπερατότητας είναι μεγαλύτερες και για τα τρία υλικά κάλυψης του θερμοκηπίου. Αυτό θα διαπιστωθεί καλύτερα με τη βοήθεια του πίνακα 13.

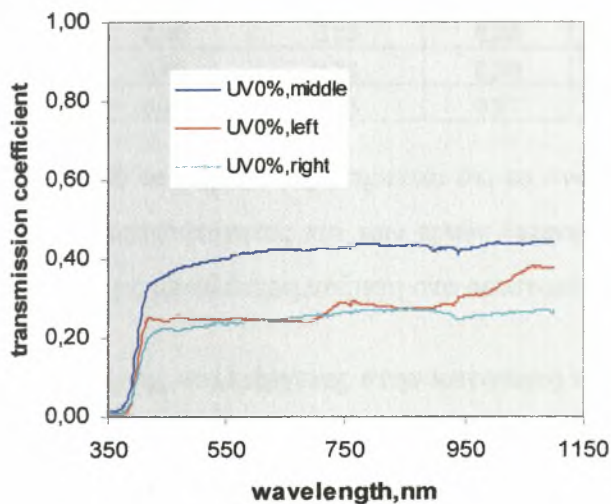
Πίνακας 11: Σύγκριση των διαπερατοτήτων των τριών υλικών (3999, 3975 και 3945) σε συνεφιά και ηλιοφάνεια.

	Διαπερατότητες, 7-06-05, στο μέσο (συννεφιά)			Διαπερατότητες, 7-08-05, στο μέσο (ηλιοφάνεια)		
	3999	3975	3945	3999	3975	3945
350-400	0,01	0,01	0,16	0,03	0,02	0,25
400-700	0,18	0,31	0,30	0,38	0,38	0,44
700-1100	0,28	0,44	0,38	0,48	0,44	0,60
400-1100	0,24	0,38	0,35	0,44	0,41	0,53

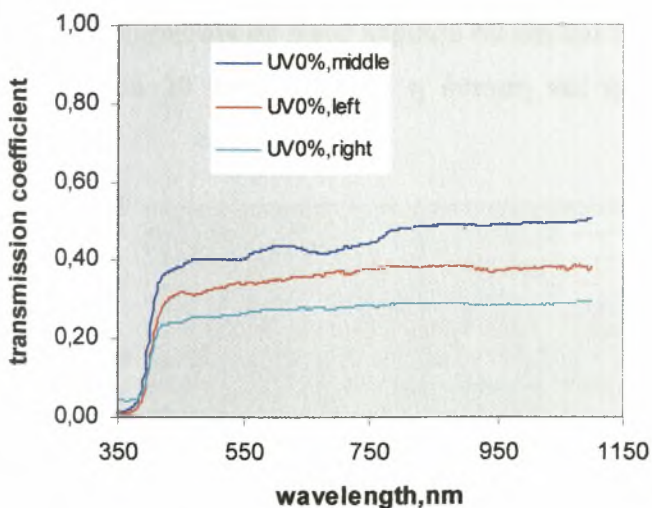
Παρατηρείται δηλαδή, ότι σε περιπτώσεις με ηλιοφάνεια, οι τιμές της διαπερατότητας και για τα τρία υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων είναι μεγαλύτερες, συγκρινόμενες με περιπτώσεις συνεφιάς.

4.Επίδραση του ανοίγματος του παραθύρου στην εισερχόμενη ακτινοβολία

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με ανοικτά και με κλειστά παράθυρα ώστε να εξαχθεί συμπέρασμα για το πώς επηρεάζει η άνοιγμα ή όχι του παραθύρου την ακτινοβολία. Στα γραφήματα που ακολουθούν, είναι δυνατές οι συγκρίσεις, καθώς οι ημερομηνίες αφορούν σε ίδιες συνθήκες ακτινοβολίας και ύψους ηλίου.



Σχήμα 15 : Διαπερατότητες του υλικού με αριθμό 3999 σε τρεις διαφορετικές θέσεις στο θερμοκήπιο (αριστερά, κέντρο, δεξιά) στις 7-12-05 (κλειστά παράθυρα και ηλιοφάνεια). Οι λέξεις middle, left, right σημαίνουν το κέντρο, αριστερά και δεξιά του θερμοκηπίου αντίστοιχα.



Σχήμα 16 : Διαπερατότητες του υλικού με αριθμό 3999 σε τρεις διαφορετικές θέσεις στο θερμοκήπιο (αριστερά, κέντρο, δεξιά) στις 7-12-05 (ανοικτά παράθυρα και ηλιοφάνεια). Οι λέξεις middle, left, right σημαίνουν το κέντρο, αριστερά και δεξιά του θερμοκηπίου αντίστοιχα.

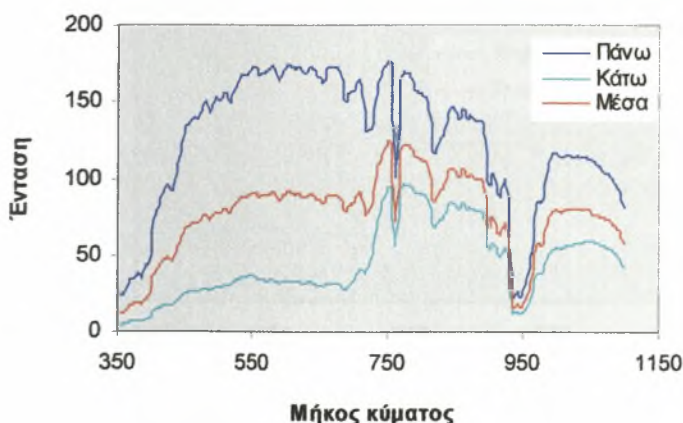
Πίνακας 12: Σύγκριση των διαπερατοτήτων των τριών υλικών (3999, 3975 και 3945) με ανοιχτά και κλειστά παράθυρα.

Διαπερατότητες, 7-12-05, ήλιος, ανοιχτά παράθυρα				Διαπερατότητες, 7-12-05, ήλιος, κλειστά παράθυρα		
	3999-μέσο	3999-αριστ.	3999-δεξ.	3999- μέσο	3999- αριστ.	3999- δεξ.
350-400	0,05	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02
400-700	0,40	0,33	0,26	0,39	0,24	0,23
700-1100	0,48	0,38	0,29	0,43	0,30	0,26
400-1100	0,45	0,36	0,27	0,41	0,28	0,25

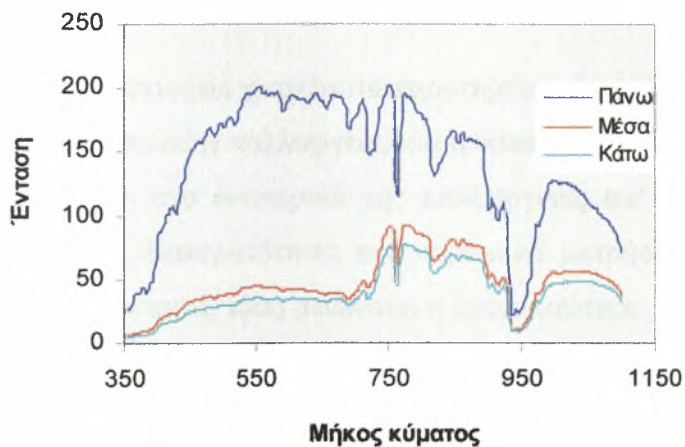
Σ' αυτό το σημείο παρατηρείται ότι το άνοιγμα του παραθύρου επιδρά στην αύξηση της διαπερατότητας και των τριών διαφορετικών σημείων κατά πλάτος του θερμοκηπίου, με μεγαλύτερη αύξηση στα αριστερά του θερμοκηπίου.

5.Η επίδραση της καλλιέργειας στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας

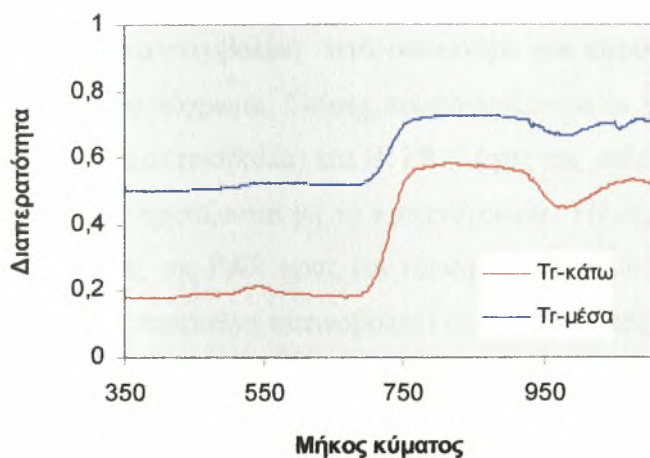
Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε κατακόρυφο επίπεδο της καλλιέργειας (πάνω απ' την καλλιέργεια, μέσα σ' αυτή και κάτω απ' αυτή) ώστε να υπολογιστεί η ένταση της ακτινοβολίας μέσα στην καλλιέργεια και η διαπερατότητα στο εσωτερικό και στο κάτω μέρος της. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο του 2006 όταν η καλλιέργεια βρισκόταν σε ύψος περίπου 60 cm και 120 cm αντίστοιχα. Στα σχήματα 17, 18, 19 και 20 παρουσιάζεται η ένταση και η διαπερατότητα καθ' ύψος της καλλιέργειας.



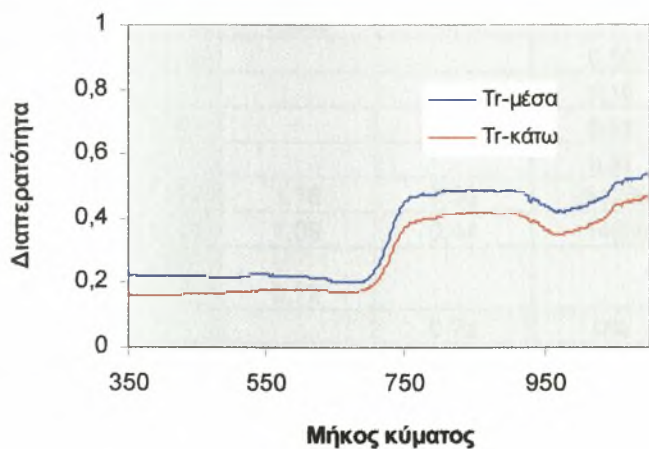
Σχήμα 17: Εντάσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στα τρία σημεία μέτρησης της καλλιέργειας (πάνω, μέσα, κάτω) στις 22-06-06.



Σχήμα 18: Εντάσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στα τρία σημεία μέτρησης της καλλιέργειας (πάνω, μέσα, κάτω) στις 14-07-06.



Σχήμα 19: Καμπύλες διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό της καλλιέργειας και στο κάτω μέρος της στις 22-06-06. Η λέξη tr, συμβολίζει τη διαπερατότητα.



Σχήμα 20: Καμπύλες διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό της καλλιέργειας και στο κάτω μέρος της στις 14-07-06. Η λέξη tr, συμβολίζει τη διαπερατότητα.

Απ' τα παραπάνω γραφήματα παρατηρείται ότι η ένταση μειώνεται από πάνω προς τα κάτω μέσα στην καλλιέργεια, και η διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη στο εσωτερικό της καλλιέργειας απ' ότι στο κάτω μέρος της. Συγκρίνοντας τις διαπερατότητες των παραπάνω μετρήσεων παρατηρούμε ότι όσο αναπτύσσονται τα φυτά, τόσο μειώνεται η διαπερατότητα μέσα στην καλλιέργεια.

Για να διαπιστωθεί ποια τμήματα του φάσματος της ακτινοβολίας απορροφώνται περισσότερο ή λιγότερο απ' τα φυτά στο κατακόρυφο επίπεδο της καλλιέργειας, πρέπει να υπολογιστούν παράμετροι του φυτοχρώματος, του κρυπτοχρώματος και της φωτοσύνθεσης, οι οποίες προσδιορίζουν τις φωτομορφογενετικές επιδράσεις του φωτός (Kittas, et al, 1999).

Συγκεκριμένα, προσδιορίζεται ο λόγος ζ (λόγος της κόκκινης προς την μακρινή κόκκινη ακτινοβολία) στο στενότερο και ευρύτερο φάσμα του, ο οποίος σχετίζεται με το φυτόχρωμα. Επίσης προσδιορίζονται οι λόγοι B: R (λόγος της μπλε προς την κόκκινη ακτινοβολία) και B: FR (λόγος της μπλε προς την μακρινή κόκκινη ακτινοβολία) που σχετίζονται με το κρυπτόχρωμα. Τέλος, γίνονται υπολογισμοί των λόγων P: T (λόγος της PAR προς την ολική ακτινοβολία) και P: N (λόγος της PAR προς την κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία) οι οποίοι σχετίζονται με τη φωτοσύνθεση. (Kittas, et al, 1999). Τα προηγούμενα παρουσιάζονται στους πίνακες 13 και 14.

Πίνακας 13: Υπολογισμοί των διαπερατοτήτων και των λόγων ζ, B:R, B:Fr, P:T, P:N σε κατακόρυφο επίπεδο μέσα στην καλλιέργεια (πάνω απ' την καλλιέργεια, στο εσωτερικό, κάτω απ' αυτή) στις 22-06-06.

22-06-06, Μετρήσεις σε κατακόρυφο επίπεδο μέσα στην καλλιέργεια						
	πάνω	κάτω	τ	πάνω	μέσα	τ
τ 350-400			0,18			0,50
τ 400-700			0,19			0,51
τ 700-1100			0,51			0,69
τ 400-1100			0,37			0,62
$\zeta=(655-665)/(725-735)$	1,18	0,56	-112%	1,18	0,97	-22%
$\zeta^*=(600-700)/(700-800)$	1,09	0,44	-146%	1,09	0,85	-28%
B:Ro (400-500)/(600-700)	0,72			0,72		
B:Ri		0,72	0%		0,70	-3%
B:Fro (400-500)/(700-800)	0,80			0,80		
B:Fri		0,33	0,18		0,61	-24%
P:To	1,15		0,19	1,15		
P:Ti		0,62	0,50		0,97	-15%
P:No	1,29		0,37	1,29		
P:Ni		0,48	-62%		0,96	-26%

Με βάση τον πίνακα 13, παρατηρείται ότι η καλλιέργεια τόσο στο εσωτερικό της όσο και κάτω απ' αυτή, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαπερατότητα στο τμήμα 700- 1100 nm του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπροσθέτως, μελετώντας τους λόγους ζ, B:R, B:Fr, P:T, P:N στο κατακόρυφο επίπεδο της καλλιέργειας διαπιστώνεται κλιμακωτή μείωση αυτών από πάνω προς τα κάτω. Όσον αφορά στο εσωτερικό της καλλιέργειας, οι λόγοι που είναι πιο αυξημένοι, άρα αφορούν και τα μήκη κύματος που απορροφώνται περισσότερο απ' τα φυτά, σχετίζονται με τους λόγους ζ στο στενό φάσμα του και P:T. Έτσι, διαπιστώνεται ότι τα τμήματα του φάσματος που έχουν ιδιαίτερη σημασία για τα φυτά είναι η PAR(400-700 nm), και τα τμήματα 655-665 nm και 725-735 nm της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πίνακας 14: Υπολογισμοί των διαπερατοτήτων και των λόγων ζ, B:R, B:Fr, P:T, P:N σε κατακόρυφο επίπεδο μέσα στην καλλιέργεια (πάνω απ' την καλλιέργεια, στο εσωτερικό, κάτω απ' αυτή) στις 14-07-06.

14-07-06, Μετρήσεις σε κατακόρυφο επίπεδο μέσα στην καλλιέργεια						
	πάνω	κάτω	τ	πάνω	μέσα	τ
τ 350-400			0,16			0,22
τ 400-700			0,17			0,22
τ 700-1100			0,39			0,45
τ 400-1100			0,29			0,35
$\zeta=(655-665)/(725-735)$	1,16	0,70	-66%	1,16	0,66	-75%
$\zeta^*=(600-700)/(700-800)$	1,06	0,57	-88%	1,06	0,55	-92%
B:Ro (400-500)/(600-700)	0,72			0,72		
B:Ri		0,68	-6%		0,75	4%
B:Fro (400-500)/(700-800)	0,79			0,79		
B:Fri		0,39	-50%		0,43	-46%
P:To	1,16			1,16		
P:Ti		0,72	-38%		0,75	-35%
P:No	1,32			1,32		
P:Ni		0,60	-55%		0,63	-52%

Σύμφωνα με τον πίνακα 14, η διαπερατότητα στο εσωτερικό της καλλιέργειας, είναι μεγαλύτερη στο τμήμα 700-1100 nm, όπως διαπιστώθηκε και στον πίνακα 15. Για το εσωτερικό της καλλιέργειας, οι λόγοι που είναι πιο αυξημένοι, είναι B:R και P:T. Με βάση τα προηγούμενα, τα τμήματα του ηλιακού φάσματος που ενδιαφέρουν την καλλιέργεια, εκτός απ' την PAR είναι η μπλε ακτινοβολία (400-500 nm) και η κόκκινη (600-700 nm).

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η επίδραση τριών υλικών κάλυψης στην ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Αυτά τα υλικά δεν είχαν τις ίδιες οπτικές ιδιότητες. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο θερμοκήπιο ήταν απορροφητικό της υπεριώδους ακτινοβολίας, με αντισταγονικές ιδιότητες για την αποφυγή της συμπύκνωσης με τη μορφή σταγόνας. Στο δεύτερο θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε υλικό το οποίο και αυτό με τη σειρά του ήταν απορροφητικό στην υπεριώδη ακτινοβολία, με αντισταγονικές ιδιότητες και δημιουργούσε δροσισμό στο θερμοκήπιο, λόγω της ιδιότητάς του να δημιουργεί ανάκλαση στην κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία (cooling film). Τέλος, το τρίτο υλικό που τοποθετήθηκε στο τελευταίο θερμοκήπιο, αποτελούσε τον μάρτυρα, αφού ούτε απορροφητικό της υπεριώδους ήταν, ούτε παρουσίαζε αντισταγονικές ιδιότητες.

Με βάση τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και τα αποτελέσματά τους, διεξάχθηκαν κάποια συμπεράσματα, τα κυριότερα των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω:

Κατά τη μελέτη της επίδρασης της γήρανσης στις φασματικές ιδιότητες των πλαστικών υλικών με την παρέλευση δύο χρόνων απ' την ημερομηνία εγκατάστασής τους, δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές αλλαγές, τα προαναφερθέντα υλικά διατηρούσαν τα χαρακτηριστικά τους. Δηλαδή, τα υλικά αυτά διατηρούσαν τα χαρακτηριστικά κατασκευής τους, πολύ μικρές μεταβολές παρουσιάστηκαν στην απορροφητικότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας, παρ' όλες τις κλιματικές συνθήκες (κρύο, βροχή, υψηλές θερμοκρασίες) που αντιμετώπισαν.

Μελετώντας την επίδραση της υγροποίησης σε συνθήκες ηλιοφάνειας, παρατηρήθηκε ότι στις περιπτώσεις υγροποίησης στα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων, οι τιμές της διαπερατότητας παρουσιάζουν σημαντική μείωση σχεδόν στα περισσότερα τμήματα του φάσματος. Αντιθέτως, σε συνθήκες μη υγροποίησης, η διαπερατότητα των τριών υλικών μέσα στο θερμοκήπιο ήταν μεγαλύτερη.

Συγκρίνοντας μεμονωμένες περιπτώσεις ηλιοφάνειας και συννεφιάς, διαπιστώθηκε ότι η διαπερατότητα ήταν αυξημένη στις συνθήκες ηλιοφάνειας και για τα τρία υλικά σε σχέση με τη συννεφιά.

Ως προς την επίδραση του ανοίγματος του παραθύρου βγήκε το συμπέρασμα ότι σε ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος, το άνοιγμα του παραθύρου επιδρά στην αύξηση της διαπερατότητας και στα τρία σημεία κατά πλάτος του θερμοκηπίου (αριστερά, κέντρο, δεξιά) στο υλικό κάλυψης με αριθμό 3999 (θερμοκήπιο 1). Μάλιστα, μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρήθηκαν στα δεξί και αριστερό τμήμα του θερμοκηπίου, όπου και βρίσκονταν τα ανοίγματα.

Τέλος, σχετικά με την επίδραση της καλλιέργειας στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, κατά την ανάπτυξη της καλλιέργειας (αύξηση της κόμης) η διαπερατότητα αλλά και η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται σε κατακόρυφο επίπεδο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Επιπροσθέτως, τα τμήματα του φάσματος που έχουν ιδιαίτερη σημασία για τα φυτά είναι η PAR (400- 700 nm) και τα τμήματα 655-665 nm και 725-735 nm της ηλιακής ακτινοβολίας.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, τα υλικά που μελετήθηκαν είναι κατάλληλα για χρήση στο θερμοκήπιο, αφού με τους διάφορους παράγοντες όπως ύπαρξη υγραποίησης ή άνοιγμα παραθύρων, οι τιμές της διαπερατότητας παρουσιάζουν αναμενόμενες μεταβολές.

Βιβλιογραφία

- Abdel-Ghany, A.M., Kozai, T. and Chun-Changhoo,** 2001. Plastic films vs fluid-roof cover for a greenhouse in a hot climate: a comparative study by simulation. *Journal of Society of High Technology in Agriculture* 13 (4): 237-246.
- Antignus, Y.,** 2000. Manipulation of wavelength-dependent behaviour of insects: an IPM tool to impede insects and restrict epidemics of insect-born viruses. *Virus Research* 71: 213-220.
- Baille, A. and M. Tchatmitchian,** 1991. Solar radiation in greenhouses.Seminar “Crop structure and light environment”. 23-27 Sept.Saumane, France.
- Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, H., Van De Braak, N.J,** 1995. *Greenhouse Climate Control*, Wageningen Press, Wageningen 279pp.
- Bertram, L. and B. Lercari,** 2002. Time-Dependent Effectiveness of UV-Treatment on the Control of the Elongation Growth of Tomato Transplants. *Acta Hort.* 580: 157-162.
- Briassoulis, D., Aristopoulou, A., Bonora M., Verlodt, I.,** 2004. Degradation Characterisation of Agricultural Low-density Polyethylene Films. *Biosystems Engineering*.doi:10.1016/j.biosystemseng.2004.02.010. SE-Structures and Environment.
- Briscoe, B. J., Galvin, K.,** 1991. The effect of surface fog on the transmittance of light. *Solar Energy.* 46(4): 191–197.
- Brown, E. M.,** 1939. Equipment for the growing of plants at controlled temperatures. *Plant Physiology* 14: 517.
- Díaz, T., Espí, E., Fontecha, A., Jiménez, J.C., López, J., Salmerón, A.,** 2001. Los filmes plásticos en la producción agrícola. Repsol YPF – Mundi-Prensa, Madrid, Spain.
- Elad, Y.,** 1997. Effect of filtration of solar light on the production of conidia by field isolates of *Botrytis cinerea* and on several diseases of greenhouse-grown vegetables. *Crop protection* 16: 635-642.
- Giacomelli, G.A. and W.J. Roberts,** 1993. *Greenhouse Covering Systems*.NJAES Paper No.D-03130-17-92 (hortglaz.pap).Printed in HortTechnology.Vol 3(1): 50-58.

- Giacomelli, G.**, 1998. Greenhouse Glazing & Solar Radiation Transmission Workshop.CCEA, Center for Controlled Environment Agriculture, Rutgers University Cook College.
- Hemming, S., Waaijbergen, D., Campen, J.B.**, 2004. Development of a greenhouse system for tropical lowland in Indonesia. Paper submitted to ISHS International symposium on Greenhouses, Environmental Controls and In-House Mechanization for Crop Production in the Tropics and Sub-Tropics.
- Hemming, S., Kempkes, F., Nico van der Braak, Dueck, T., and Nollie Marissen**, 2006. Wageningen University and Research Centre (Wageningen UR), The Netherlands.
- Hoffmann, S. and D.Waaijbergen**, 2005. Tropical and Subtropical Greenhouses for New Plastic Films. ISHS Acta Horticulturae 578: International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses.
- Hollosoy, F.**, 2002. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron* **33**: 179-197.
- Kakani, V.G., Reddy, K.R., Zhao, D., Sailaja, K.**, 2003. Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agricultural and Forest Meteorology* **120**: 191–218.
- Kittas, C., Baille, A., Giaglaras, P.**, 1999. Influence of Covering Material and Shading on the Spectral Distribution of Light in Greenhouses. *J. Agric.Engng Res.***73**: 341-351.
- Knani, H.**, 2005. Influence of Different Plastic Films on the Microclimate and Behaviour of Sweet Pepper under Protected Cultivation. ISHS Acta Horticulturae 154: II International Symposium on Plastics in Mediterranean Countries.
- Lercari, B., Bertram, L., Nieri, A., Bigonciari, M.**, 2002. Use of UV Radiation for Control of Height and Conditioning of Greenhouse Transplants. *Acta Hort.* **580**: 113-116.
- Nisen, A., Nijskens, J., Deltour, J., Coutisse, S.**, 2005. Determination of the Radiometric Properties of Plastics used as Greenhouse Cover. ISHS Acta Horticulturae 154: II International Symposium on Plastics in Mediterranean Countries.
- Papadakis, G., Briassoulis, D., Stoffers, A., Scarascia-Mugnozza, G., Vox, G., Feuilloley, P.**, 2000. Physical properties and testing methods of greenhouse covering materials. *Journal of Agricultural Engineering Research.* **77**(1): 7–38.

- Pollet I. V. and J. G. Pieters**, 1999. Condensation and radiation transmittance of greenhouse cladding materials, part 1: laboratory measuring unit and performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 74(4): 369–377.
- Pollet, I.V., Pieters, J.G., Deltour, J., Verschoore, R.**, 2004. Diffusion of radiation transmitted through dry and condensate covered transmitting materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Vol 86(2): 177-196.
- Runkle, E.S., Heins, R.D. Jaster, P., Thill, C.**, 2002. Environmental conditions under a near infra-red reflecting greenhouse film. *Acta Horticulturae* 578: 181-185.
- Skorska, E.**, 2000. Responses of pea and triticale photosynthesis and growth to long-wave UV-B radiation. *Biologia Plantarum* 43: 129-131.
- Sullivan, J.H.**, 1997. Effects of increasing UV-B radiation and atmospheric CO₂ on photosynthesis and growth: implications for terrestrial ecosystems. *Plant Ecology* 128: 195–206.
- Tanaka, J.** 1997. A model experiment on reduction of greenhouse cooling load in the daytime using shading material against infrared radiation as covering. *Environment Control in Biology* 35 (1): 15-20.
- Vandevelde, R., De Muynck, B., Ha. Ben Hassine**, 2005. Influence of the combination of an infrared plastic thermal screen and solar heating system on the bioclimate and plant growth of a muskmelon grown under polyethylene greenhouse (1). *ISHS Acta Horticulturae* 154: II International Symposium on Plastics in Mediterranean Countries.
- Verloot, I., Daponte, T., Verschaeren, P.**, 1995. Interference pigments for greenhouse films. *Plasticulture* 108: 13-26.
- Verloot, I. and P. Verschaeren** 1997. New interference film for climate control. *Plasticulture* 115: 27-35.
- Von Elsner, B. and Xie, J.**, 2003. Effects of interference pigments in shading paint for greenhouses. *Proceedings of the Thirty-first Agricultural Plastics Congress*, August 16-19, 2003 in Grand Rapids, Michigan, USA, p. 6-16.
www.yumasun.com/artman/publish/articles/story_11213.shtml
www.wcrl.ars.usda.gov/programs/physbiochem/pbresearch.html
www.addcomp.com/features/archive/janfeb05/janfeb05.htm
www.ohioline.osu.edu/aex-fact/0800.html
- Κίττας, Κ.**, 2002. Θερμοκήπια. Σημειώσεις. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. Βόλος.

Μαυρογιαννόπουλος, Γ. Ν., 2001. Θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000085726