
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



*«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΕΧΝΗΤΗ ΟΜΙΧΛΗ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ,
ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
ΠΙΠΕΡΙΑΣ»*

ΚΙΤΤΑ ΕΥΑΓΓΕΛΙΝΗ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:
Νικόλαος Κατσούλας, Λέκτορας (Επιβλέπων)
Γεώργιος Νάνος, Αν. Καθηγητής, Μέλος
Αβραάμ Χα, Αναπληρωτής Καθηγητής, Μέλος

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κο Νικόλαο Κατσούλα Λέκτορα του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο καθώς και για την καθοδήγηση και την επιστημονική υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της πραγματοποίησης της παρούσας διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους κους Γεώργιο Νάνο Αναπληρωτή Καθηγητή και Αβραάμ- Ιμπραήμ Χα Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και τις χρήσιμες παρατηρήσεις για την τελική διαμόρφωση της παρούσας διατριβής.

Ευχαριστώ επίσης την κα Περσεφόνη Μαλέτσικα, Γεωπόνο και την κα Χριστίνα Παπαϊωάννου διδάκτορα, του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την βοήθειά τους στην εκπόνηση του πειραματικού μέρους της διατριβής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η επίδραση του ελέγχου της υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου στο μικροκλίμα υπο κάλυψη, στο ρυθμό διαπνοής, και στην παραγωγή και ποιότητα καρπών μιάς υδροπονικής καλλιέργειας πιπεριάς σε θερμοκήπιο εγκατεστημένο στην περιοχή της Άρτας. Για το σκοπό αυτό, κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής και φθινοπωρινής περιόδου του 2005 έγιναν μετρήσεις σε δύο όμοια θερμοκηπιακά διαμερίσματα εκ των οποίων: (i) το μεν ένα δεν είχε σύστημα ελέγχου της υγρασίας του αέρα ενώ (ii) το άλλο ήταν εξοπλισμένο με σύστημα δροσισμού με τεχνητή ομίχλη υψηλής πίεσης (fog system) που λειτουργούσε όταν η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου ήταν μικρότερη από 80%. Σε συνθήκες δροσισμού με το σύστημα fog, ο αέρας του θερμοκηπίου και η θερμοκρασία φύλλου της καλλιέργειας πιπεριάς ήταν χαμηλότερες κατά περίπου 3°C από τις αντίστοιχες θερμοκρασίες που μετρήθηκαν στο διαμέρισμα του θερμοκηπίου χωρίς το σύστημα fog. Το σύστημα δροσισμού με τεχνητή ομίχλη επέτρεψε να διατηρηθεί η θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο κάτω από τους 30°C ενώ η αντίστοιχη μέγιστη τιμή σε συνθήκες χωρίς δροσισμό έφτασε τους 35°C. Επί πλέον, σε συνθήκες δροσισμού, το έλλειμμα κορεσμού του αέρα ήταν μικρότερο από 2 kPa, ακόμη και κατά τις πιο θερμές ώρες της ημέρας, ενώ ταυτόχρονα σε συνθήκες χωρίς σύστημα δροσισμού οι αντίστοιχες τιμές ήταν κοντά στα 4 kPa. Ο ρυθμός διαπνοής, εντούτοις, δεν επηρεάστηκε σε τέτοια έκταση από το σύστημα fog όσο το έλλειμμα κορεσμού και μειώθηκε σε συνθήκες δροσισμού κατά περίπου 26%. Αυτό αποδόθηκε στις τιμές που έλαβε η στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας η οποία ήταν σε συνθήκες με συστήματα δροσισμού περίπου 1.5 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή της αγωγιμότητας σε συνθήκες χωρίς fog. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας πιπεριάς που παρατηρήθηκε από το μέσον της πειραματικής περιόδου και πέραν, ήταν μεγαλύτερος σε συνθήκες δροσισμού σε σύγκριση με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας σε συνθήκες χωρίς fog. Τέλος, το σύστημα δροσισμού αύξησε το μέσο βάρος των καρπών και το ποσοστό των εμπορεύσιμων καρπών, αλλά μείωσε σημαντικά τον συνολικό αριθμό καρπών ανά φυτό. Η ελεύθερη ογκομετρούμενη οξύτητα και το ολικά διαλυτά στερεά του χυμού των καρπών πιπεριάς μειώθηκαν ελαφρά από το σύστημα δροσισμού, ενώ αυξήθηκε το μέγεθος του καρπού. Η χρήση του συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη φαίνεται να είναι επωφελής για καλοκαιρινή καλλιέργεια πιπεριάς που αναπτύσσεται σε Μεσογειακές συνθήκες, κυρίως λόγω της ευνοϊκής επίδρασης του μειωμένου ελλείμματος κορεσμού στο μέσο βάρος καρπών και στην ποιότητα των καρπών εκφρασμένη σε αριθμό των καρπών κατηγορίας ποιότητας Class I. Παρ' όλα αυτά, η υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία του αέρα που προκαλείται από το σύστημα δροσισμού στο θερμοκήπιο μπορεί να μειώσει τον αριθμό καρπών ανά φυτό, εξουδετερώνοντας, έτσι, τα οφέλη από το αυξημένο μέσο βάρος καρπών στην συνολική παραγωγή της καλλιέργειας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ		Σελίδα
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ		6
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ		9
2.1. ΤΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ		9
2.2.1. Το ενεργειακό ισοζύγιο		9
2.2.2. Το ισοζύγιο υδρατμών		11
2.2. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ		12
2.2.1. Διαπνοή καλλιέργειας σε θερμοκήπιο		12
2.2.2. Υπολογισμός διαπνοής και παραμέτρων υδατικής κατάστασης φυτών		13
2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ		15
2.3.1. Αερισμός		15
2.3.2. Σκίαση		16
2.3.3. Υγρή παρειά ή υγρό τοίχωμα		16
2.3.4. Τεχνητή ομίχλη		17
2.3.4.1. Γενικά Χαρακτηριστικά		17
2.3.4.2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά		19
2.3.4.3. Επίδραση του συστήματος τεχνητής ομίχλης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου		22
2.3.4.4. Επίδραση του συστήματος τεχνητής ομίχλης στην καλλιέργεια		22
2.3.4.5. Διαστασιολόγηση του συστήματος		23
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΙΠΕΡΙΑ		29
3.1. ΒΟΤΑΝΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ		31
3.2. ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ		32
3.2.1. Θερμοκρασία		32
3.2.2. Φωτισμός		33
3.2.3. Υγρασία		33
3.2.4. Έδαφος		33
3.3. ΛΙΠΑΝΣΗ		34
3.4. ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ		35
3.4.1. Μεταφύτευση		35
3.5. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ		38
3.5.1. Κατεργασία του εδάφους		38
3.5.2. Στήριξη των φυτών		38
3.5.3. Κλάδεμα		39
3.5.4. Καταπολέμηση ζιζανίων		39
3.6. ΑΡΔΕΥΣΗ		40
3.7. ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ – ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ		40
3.8. ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ - ΥΒΡΙΔΙΑ		40
3.9. ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΙΠΕΡΙΑΣ		42
3.9.1. Εχθροί		42
3.9.2. Μυκητολογικές ασθένειες		43
3.9.3. Βακτηριώσεις		44
3.9.4. Ιώσεις		45
3.10. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ		45
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ		52

4.1.	ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	52
4.2.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	56
4.2.1.	Κλιματικές	56
4.2.2.	Αγρονομικές	58
4.2.2.1.	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας	58
4.2.2.2.	Παραγωγή.	58
4.2.2.3.	Ποιότητα	59
4.3.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	62
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	63
5.1.	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	63
5.1.1.	Θερμοκρασία αέρα και καλλιέργειας	63
5.1.2.	Έλλειμμα κορεσμού αέρα	65
5.1.3.	Διαπνοή της καλλιέργειας	66
5.1.4.	Στοματική αγωγιμότητα	67
5.2.	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	68
5.2.1.	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) καλλιέργειας πιπεριάς	68
5.2.2.	Παραγωγή	69
5.2.3.	Επίδραση στην ποιότητα καρπών	69
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	72
6.1.	ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ	72
6.2.	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	72
6.2.1.	Διαπνοή και στοματική αγωγιμότητα	72
6.2.2.	Παραγωγή και Ποιότητα	73
6.3.	ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ FOG	74
6.3.1.	Αποδοτικότητα Εξάτμισης	74
6.3.2.	Αποτελεσματικότητα Ψύξης	75
7.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
8.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	85
	Παράρτημα I. Απαιτήσεις όσο αφορά την ποιότητα νερού που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα δροσισμού	85
	Παράρτημα II. Σταθερές	87
	Παράρτημα III. Ορισμοί	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι υψηλές θερμοκρασίες και το μεγάλο έλλειμμα κορεσμού του αέρα χαρακτηρίζουν το μικροκλίμα του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στις περισσότερες περιοχές του νοτίου ημισφαιρίου με θερμοκηπιακό ενδιαφέρον, αν δεν υπάρχει κατάλληλος εξοπλισμός για τον έλεγχο των συνθηκών αυτών. Ως αποτέλεσμα, κάτω από τέτοιες συνθήκες η ποσότητα και η ποιότητα των παραγομένων θερμοκηπιακών προϊόντων υποβαθμίζονται. Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για να περιορίσουμε τις ανεπιθύμητες αυτές κλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι η χρήση συστημάτων δροσισμού με εξάτμιση, που βασίζονται στη μετατροπή της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα είτε με απευθείας ψεκασμό νερού στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου (συστήματα ομίχλης) είτε με τη βοήθεια του συστήματος της υγρής παρειάς. Τα συστήματα δροσισμού με εξάτμιση όχι μόνο μειώνουν τη θερμοκρασία του αέρα, αλλά αυξάνουν και την απόλυτη υγρασία στο θερμοκήπιο οδηγώντας, έτσι, σε θερμοκρασίες μέσα στο θερμοκήπιο χαμηλότερες από τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων δροσισμού με εξάτμιση είναι μεγαλύτερη σε ξηρά περιβάλλοντα, αν και είναι δυνατόν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα και σε ορισμένα υγρά παράκτια περιβάλλοντα. Το πλεονέκτημα των συστημάτων δροσισμού με ομίχλη (fog systems) σε σχέση με τα συστήματα με δυναμικό αερισμό και υγρή παρειά (fan and pad cooling systems) είναι η ομοιομορφία των συνθηκών μέσα στο θερμοκήπιο, καθώς το σύστημα αυτό δεν απαιτεί για τη σωστή λειτουργία του χρήση δυναμικού αερισμού και πλήρη στεγανότητα του θερμοκηπίου, όπως συμβαίνει με το σύστημα της υγρής παρειάς. Επιπλέον, παλαιότερες μελέτες έχουν δείξει πως το σύστημα ομίχλης με υψηλή πίεση (fog system) αποτελεί μια αξιόπιστη τεχνολογία δροσισμού για τα θερμοκήπια. Παρόλα αυτά οι περισσότερες ερευνητικές μελέτες μέχρι σήμερα έχουν γίνει σε θερμοκήπια εξοπλισμένα με δυναμικό αερισμό και η αποτελεσματικότητα δροσισμού σε θερμοκήπια εξοπλισμένα με υψηλής πίεσης σύστημα ομίχλης έχει ανεπαρκώς μελετηθεί.

Όπως αναφέρθηκε από τον Montero το 2006, οι τεχνικές δροσισμού με εξάτμιση έχουν πρόσφατα γίνει πολύ δημοφιλείς σε περιοχές όπως αυτές της Μεσογειακής λεκάνης. Το ενδιαφέρον αυτό για τα συστήματα δροσισμού συνδέεται κυρίως με το γεγονός της σχεδόν καθολικής χρήσης στα ανοίγματα αερισμού των θερμοκηπίων των περιοχών αυτών δικτύων εντομεστεγανότητας που προκαλούν μεγάλη μείωση της παροχής αερισμού. Αυτό συμβαίνει γιατί τα θερμοκήπια με δροσισμό τύπου ομίχλης απαιτούν για δεδομένες κλιματικές συνθήκες λιγότερο αερισμό (Boulard and Baille, 1993) και αντισταθμίζουν, έτσι, τη μείωση του αερισμού κατά τη θερμή περίοδο του έτους που προκαλούν τα δίχτυα εντομοστεγανότητας.

Η πιπεριά αποτελεί μια καλλιέργεια με συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για τους παραγωγούς θερμοκηπιακών προϊόντων της Μεσογείου. Παρά το ενδιαφέρον, όμως, αυτό η επίδραση του δροσισμού του θερμοκηπίου στο μικροκλίμα, στην παραγωγή και στην ποιότητα θερμοκηπιακής καλλιέργειας πιπεριάς δεν έχει μελετηθεί εκτενώς κάτω από Μεσογειακές κλιματικές συνθήκες. Παρόλα αυτά διάφορες μελέτες έχουν ήδη δείξει πως μειώνοντας την διαπνοή της καλλιέργειας με τροποποίηση του μικροκλίματος του θερμοκηπίου (μειώνοντας το έλλειμμα κορεσμού και την εισερχόμενη ηλιακή

ακτινοβολία ή με απευθείας διαβροχή των φύλλων) βελτιώνεται η φυσιολογική προσαρμογή των φυτών σε συνθήκες καταπόνησης (stress , όπως στην αλατότητα ή σε εξαιρετικά ανεπιθύμητες κλιματικές συνθήκες (Oren et al., 1999; Jolliet and Bailey, 1992; Katsoulas et al., 2001, 2002). Εν τούτοις, ανεπιθύμητα αποτελέσματα προκύπτουν ορισμένες φορές από την αντίδραση των καλλιεργειών στο δροσισμό, όπως η εμφάνιση της ξηρής σήψης κορυφής (blossom- end rot, Meca et. al, 2006) που συνδέεται, συχνά, με τη μείωση στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα (Lorenzo et al., 2004). Άλλες μελέτες έδειξαν, επίσης, πως η υγρασία του αέρα μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των φυτών, το δέσιμο των καρπών και τη ανάπτυξη καλλιέργειας πιπεριάς (Baër and Smeets, 1978. Bakker, 1989).

Φαίνεται, λοιπόν, πως το σύστημα δροσισμού τεχνητή ομίχλη υψηλής πίεσης αποτελεί μια αξιόπιστη λύση για τον αποτελεσματικό έλεγχο του κλίματος κατά τη θερμή περίοδο σε μεσογειακές συνθήκες (fog system) ενώ ταυτόχρονα η καλλιέργεια πιπεριάς παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους παραγωγούς θερμοκηπιακών προαίοντων στη Μεσόγειο. Δεν έχει, εν τούτοις, επαρκώς μελετηθεί μέχρι σήμερα η επίδραση του fog system στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου ενώ ταυτόχρονα πολύ λίγες πληροφορίες υπάρχουν για τη συμπεριφορά της θερμοκηπιακής καλλιέργειας πιπεριάς σε συνθήκες δροσισμού με ομίχλη.

Σκοπός, λοιπόν, της πτυχιακής διατριβής που έγινε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας υπό την καθοδήγηση του Λέκτορα κ. Ν. Κατσούλα ήταν να διερευνηθεί η επίδραση του συστήματος δροσισμού θερμοκηπίου με σύστημα τεχνητής ομίχλης υψηλής πίεσης στο μικροκλίμα, στην παραγωγή και στην ποιότητα υδροπονικής καλλιέργειας πιπεριάς.

Προς τούτο σε γυάλινο θερμοκήπιο εξοπλισμένο με fog system και σύστημα σκίασης εγκαταστάθηκε υδροπονική καλλιέργεια πιπεριάς και έγιναν οι απαραίτητες κλιματικές και αγρονομικές μετρήσεις για αξιολόγηση της επίδρασης του fog system:

- ✚ στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, στη διαπνοή και στη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας στη μεταφορά υδρατμών.
- ✚ Στην παραγωγή καρπών και στην ποιότητα της καλλιέργειας και
- ✚ Στην αποτελεσματικότητα του συστήματος ομίχλης ως συστήματος δροσισμού του θερμοκηπίου.

Η διατριβή αποτελείται από 8 Κεφάλαια.

- Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.
- Κεφάλαιο 2. Φαινόμενα μεταφοράς και συστήματα ψύξης θερμοκηπίων. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια περιγραφή των ισοζυγίων ενέργειας και υδρατμών και των σημαντικότερων συστημάτων ελέγχου της θερμοκρασίας κατά τη θερμή περίοδο με ιδιαίτερη έμφαση στο σύστημα δροσισμού υψηλής πίεσης με ομίχλη.
- Κεφάλαιο 3 Πιπεριά. Στο Κεφάλαιο αυτό δίνονται ορισμένα στοιχεία για την καλλιέργεια της πιπεριάς και τις διατάξεις που αφορούν την ποιότητα της γλυκειάς πιπεριάς που προορίζεται για νωπή κατανάλωση.

-
- Κεφάλαιο 4. Υλικά και Μέθοδοι. Στο Κεφάλαιο αυτό περιγράφονται ο πειραματικός εξοπλισμός και τα στοιχεία της καλλιέργειας καθώς και που η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στο πείραμα.
 - Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν το κλίμα του θερμοκηπίου και την παραγωγή και ποιότητα της καλλιέργειας πιπεριάς.
 - Κεφάλαιο 6. Συζήτηση. Γίνεται συζήτηση των αποτελεσμάτων με σκοπό τη πρακτική αξιοποίηση τους.
 - Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα. Γίνεται μία σύνοψη των κυριότερων αποτελεσμάτων της διατριβής.
 - Κεφάλαιο 8 Βιβλιογραφία. Παρατίθενται οι βιβλιογραφικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή.

Τέλος δίνονται 3 Παραρτήματα. Το Παράρτημα I όπου αναφέρονται οι απαιτήσεις στην ποιότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί για το σύστημα δροσισμού fog, το Παράρτημα II όπου δίνονται οι σταθερές των εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν και το Παράρτημα III όπου δίνονται ορισμένοι χρήσιμοι ορισμοί εννοιών που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή με ιδιαίτερη έμφαση σε έννοιες ψυχομετρίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

2.1 ΤΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

2.1.1. Το ενεργειακό ισοζύγιο

Για την ανάλυση του ενεργειακού ισοζυγίου του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται μαθηματικά πρότυπα του θερμοκηπίου. Απλοποιημένα προσομοιώματα, τα οποία βασίζονται κυρίως στα ισοζύγια ενέργειας και μάζας (H_2O , CO_2), είναι διαθέσιμα. Τα απλοποιημένα αυτά προσομοιώματα μας επιτρέπουν να διερευνήσουμε τους παράγοντες και τα φαινόμενα που προσδιορίζουν το εσωτερικό μικροκλίμα (Boulard and Baille, 1987, Boulard and Baille, 1993).

Το θερμοκήπιο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ηλιακός συλλέκτης. Η μόνη διαφορά στην προσομοίωση του με τις εξισώσεις των ηλιακών συλλεκτών είναι η παρουσία μιας διαπνέουσας επιφάνειας, η οποία τροποποιεί τα φαινόμενα μεταφοράς λανθάνουσας θερμότητας. Χρησιμοποιώντας αυτή την αναλογία με τον ηλιακό συλλέκτη μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η καθαρή ακτινοβολία (R_n) του θερμοκηπίου αποτελείται από δύο συνιστώσες (Εικόνα 1):

- Μια συνιστώσα αισθητής θερμότητας, H_s η οποία χρησιμεύει για την θέρμανση του αέρα του θερμοκηπίου (και αντιπροσωπεύει το κύριο μέρος της «χρήσιμης» ενέργειας η οποία μπορεί να εξαχθεί από ένα ηλιακό συλλέκτη).
- Μια συνιστώσα λανθάνουσας θερμότητας, λE , η οποία αντιπροσωπεύει τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Η κατανομή της καθαρής ενέργειας μεταξύ αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας συχνά εκφράζεται από μία παράμετρο, η οποία ονομάζεται λόγος του Bowen, $\beta = H_s/\lambda E$ και εξαρτάται από την ένταση των φαινομένων εξατμισοδιαπνοής (Landsberg et al., 1979).

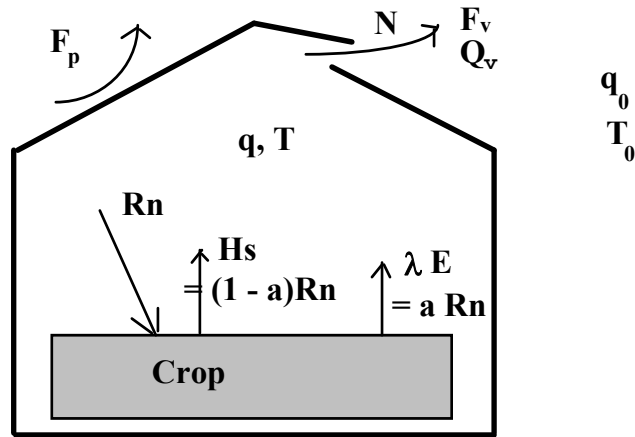
Σ'αυτή την παράγραφο θα χρησιμοποιήσουμε τις ακόλουθες απλοποιημένες σχέσεις:

$$H_s = (1-a) R_n \quad (1)$$

$$\lambda E = a R_n \quad (2)$$

όπου a ο λόγος της λανθάνουσας θερμότητας προς το ηλιακό κέρδος (καθαρή ακτινοβολία, R_n).

Η εξίσωση (2) αποτελεί μια προσεγγιστική εκτίμηση του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής η ολοκληρωμένη έκφραση του οποίου είναι περισσότερο σύνθετη.



Εικόνα 1. Απλοποιημένο ενεργειακό ισοζύγιο σε ένα μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο (τα σύμβολα εξηγούνται στο κείμενο)

Οι απώλειες αισθητής θερμότητας του θερμοκηπίου κυρίως αποτελούνται από:

- 1) τις απώλειες με μεταφορά και ακτινοβολία από τα τοιχώματα του θερμοκηπίου, (Φ_p), οι οποίες συνολικά μπορούν να εκφραστούν ως ακολούθως:

$$\Phi_p = K_G (T - T_0) = K_G \Delta T \quad (3)$$

όπου K_G είναι ο συνολικός συντελεστής απωλειών ($Wm^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$), και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα του θερμοκηπίου (T), και της εξωτερικής θερμοκρασίας, (T_0).

- 2) οι απώλειες με μεταφορά οι οποίες οφείλονται στην μη καλή στεγανότητα και στον αερισμό, Φ_v

$$\Phi_v = K_v \Delta T \quad (4)$$

όπου K_v ($Wm^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$) είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω του αερισμού, ο οποίος μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του ρυθμού ανανέωσης του αέρα, $N(s^{-1})$:

$$K_v = \rho C_p N (V/S) \quad (5)$$

όπου: ρ = πυκνότητα του αέρα ($kg \text{ } m^{-3}$), C_p = η ειδική θερμότητα του αέρα ($J \text{ } kg^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$) και V/S = ο λόγος του όγκου του θερμοκηπίου (V) προς την επιφάνεια του εδάφους (S).

Τότε από το ισοζύγιο αισθητής θερμότητας, εξίσωση (1) λαμβάνουμε:

$$(1-a) R_n = \Phi_p + \Phi_v \quad (6).$$

Από την σχέση (6) μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου, είναι σε σταθερές συνθήκες ($dT/dt = 0$):

$$T = T_0 + \frac{(1-a)R_n}{K_G + \rho C_p N (V/S)} \quad (7)$$

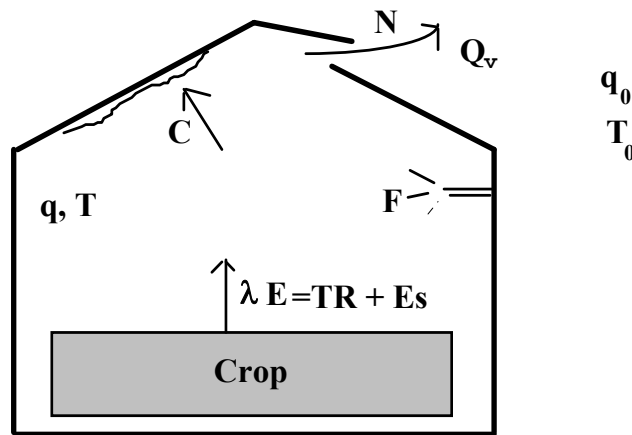
Από την εξίσωση (7) βλέπουμε ότι για να μειώσουμε την θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου μπορούμε να επέμβουμε με τους ακόλουθους τρόπους:

- Μειώνοντας την καθαρή ακτινοβολία R_n (κουρτίνες σκίασης, άσπρισμα ...).

- Αυξάνοντας το συντελεστή a δηλαδή το μέρος του R_n , που εξατμίζει, με διοχέτευση υδρατμών στο θερμοκήπιο (ψεκασμός, τεχνητή ομίχλη...).
- Αυξάνοντας το K_G (ψεκασμός νερού στην οροφή).
- Αυξάνοντας το ποσοστό ανανεώσεως του αέρα N .
- Ψύχοντας τον εξωτερικό αέρα T_0 πριν τον διοχετεύσουμε στο θερμοκήπιο (σύστημα δροσίσιμου με βρεγμένη παρειά, Cooling - system).
- Αυξάνοντας τον όγκο V του θερμοκηπίου.

2.1.2. Το ισοζύγιο υδρατμών

Με τρόπο ανάλογο όπως και για αισθητή θερμότητα, μπορούμε να διατυπώσουμε το ισοζύγιο της υγρασίας του θερμοκηπίου.



Εικόνα 2. Το ισοζύγιο υγρασίας του θερμοκηπίου (τα σύμβολα εξηγούνται στο κείμενο)

Η γενική μορφή του ισοζυγίου υγρασίας του θερμοκηπίου μπορεί να γραφεί ως ακολούθως (Εικόνα 2):

$$\frac{V}{S} \frac{dq}{dt} = TR + E_s + F - Q_v - C \quad (8)$$

όπου:

dq/dt = ο ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής υγρασίας ($kg_{\text{νερού}} m^{-3} s^{-1}$);

q = συγκέντρωση υδρατμών στον αέρα του θερμοκηπίου ($kg_{\text{νερού}} m^{-3}$)

V, S = όγκος θερμοκηπίου (m^3) και η επιφάνεια εδάφους του θερμοκηπίου (m^2) αντίστοιχα

TR = διαπνοή της καλλιέργειας ($kg_{\text{νερού}} m^{-2} s^{-1}$)

E_s = εξάτμιση από το έδαφος ($kg_{\text{νερού}} m^{-2} s^{-1}$)

F = ποσότητα νερού που συμπληρώνεται στο θερμοκήπιο από υδρονέφωση, σύστημα βρεγμένης παρειάς (Cooling pad), ($kg_{\text{νερού}} m^{-2} s^{-1}$)

Q_v = απώλειες υγρασίας λόγω μη καλής στεγανότητας και αερισμού ($kg_{\text{νερού}} m^{-2} s^{-1}$)

C = ρυθμός συμπύκνωσης στο έδαφος ή στην καλλιέργεια ($kg_{\text{νερού}} m^{-2} s^{-1}$)

Κατά την διάρκεια της ημέρας το ισοζύγιο υγρασίας εξαρτάται κυρίως από την εξατμισοδιαπνοή, $E = TR + E_s$, και από τις απώλειες λόγω αερισμού, Q_v .

Κατά την διάρκεια της ημέρας η συμπύκνωση είναι σπάνια (ωστόσο δεν μπορεί να αγνοηθεί κατά την διάρκεια της νύχτας). Η εξάτμιση του εδάφους είναι αμελητέα εάν εφαρμόζεται τοπική άρδευση, στις υδροπονικές καλλιέργειες ή εάν το έδαφος ή το υπόστρωμα καλύπτονται από λευκό ανακλαστικό κάλυμμα. Τότε για την πλειοψηφία των περιπτώσεων (χωρίς συμπλήρωμα νερού από ένα σύστημα υδρονέφωσης), οι όροι E_s , F και C μπορεί να αγνοηθούν και θα έχουμε:

$$\frac{V}{S} \frac{dq}{dt} = TR - Q_v \quad (9)$$

Για σταθερές συνθήκες ($dq/dt=0$), ισχύει κατά συνέπεια:

$$TR \approx Q_v \quad (10)$$

Σε πρώτη προσέγγιση, λοιπόν, μπορεί να θεωρηθεί ότι η διαπνοή TR ισούται με τις απώλειες λόγω αερισμού Q_v . Εάν υπάρχουν διαθέσιμες σχέσεις εκτίμησης του ποσοστού ανανέωσης του αέρα N , είναι δυνατός ο υπολογισμός του ρυθμού διαπνοής της καλλιέργειας υπολογίζοντας τον ρυθμό ανταλλαγής του αέρα του θερμοκηπίου (Bakker, 1986). Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2) και εκφράζοντας την ποσότητα Q_v ως ακολούθως:

$$Q_v = N(V/S)(q - q_0) \quad (11)$$

όπου q_0 είναι η εξωτερική υγρασία, λαμβάνουμε τη σχέση:

$$q = q_0 + \frac{aR_n / \lambda}{N(V/S)} \quad (12)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (12) η υγρασία του θερμοκηπίου μπορεί να τροποποιηθεί ενεργώντας στους ακόλουθους παράγοντες:

- Αυξάνοντας το συντελεστή a , δηλαδή αυξάνοντας τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής, αυξάνοντας έτσι την υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου.
- Μειώνοντας το R_n , χρησιμοποιώντας κουρτίνες σκίασης ελατώνοντας έτσι την διαπνοή της καλλιέργειας..
- Αυξάνοντας το N , δηλαδή τον ρυθμό ανανέωσης του αέρα, μειώνοντας έτσι την υγρασία.

Πάντως η εξίσωση (12) δίνει μια υπεραπλουστευμένη έκφραση των εξατμιστικών φαινομένων σ'ένα θερμοκήπιο, γιατί θεωρεί ότι η εξατμισοδιαπνοή είναι ανάλογη μόνο της ακτινοβολίας. Στην πραγματικότητα η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από την υγρασία πιο πολύπλοκα και υπάρχουν διάφορες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της εξατμισοδιαπνοής και του ρυθμού διαπνοής οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη για μια αντικειμενική πρόβλεψη της υγρασίας του θερμοκηπίου.

2.2. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

2.2.1. Διαπνοή καλλιέργειας σε θερμοκήπιο

Ο ρυθμός διαπνοής εξαρτάται από την καθαρή ακτινοβολία η οποία απορροφάται από την φυλλική επιφάνεια, R_n , καθώς και από το έλλειμμα κορεσμού, $D = e_s(T) - e$, $e_s(T)$, όπου e_s η πίεση υδρατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία T (PaK^{-1}) και e η πίεση υδρατμών του αέρα (PaK^{-1}). Η διαπνοή,

TR, γενικά εκφράζεται με την εξίσωση των Penman-Monteith, (Monteith, 1973), θεωρώντας όλη την καλλιέργεια την σαν ένα «μεγάλο φύλλο»:

$$\lambda TR = \frac{\delta R_n}{\delta + \gamma^*} + \rho C_p \frac{g_a D}{\delta + \gamma^*} \quad (13)$$

όπου:

R_n = καθαρή ακτινοβολία στο επίπεδο της καλλιέργειας, ($W m^{-2}$).

λ = λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσσης του νερού, ($J kg^{-1}$).

$\gamma^* = \gamma (1 + g_a/g_s)$, όπου γ η θερμοδυναμική ψυχρομετρική σταθερά (PaK^{-1}), g_a και g_s ($m s^{-1}$) αντίστοιχα είναι η αεροδυναμική και στοματική αντίστασεις της καλλιέργειας στη ροή των ατμών.

δ = είναι η κλίση της καμπύλης κορεσμένων υδρατμών σε θερμοκρασία T , (PaK^{-1}).

Η στοματική αντίσταση, g_s , εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η Stanghellini (Stanghellini, 1987), βρήκε ότι η TR εξαρτάται από την ακτινοβολία και το έλλειμμα κορεσμού και έξεφρασαν την στοματική αντίσταση g_s ως ακολούθως :

$$g_s = g_{smax} f_1(R_n) f_2(D) \quad (14)$$

Από τις εξισώσεις (13), (14), μπορούμε να δούμε ότι υπάρχει μία σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ της υγρασίας του αέρα της διαπνοής και της καλλιέργειας. Εάν το έλλειμμα κορεσμού D αυξάνεται, τότε η διαπνοή TR αυξάνεται αλλά η στοματική αγωγιμότητα g_s , ελαττώνεται αντιδρώντας έτσι στην αύξηση της διαπνοής. Πάντως επειδή ο περιοριστικός παράγοντας για την διαπνοή στα θερμοκήπια είναι η αεροδυναμική αγωγιμότητα ($g_a \ll g_s$) η ελάτωση της τιμής g_s δεν έχει σημαντική επίδραση στην τιμή της συνολικής αγωγιμότητας και στο ρυθμό της διαπνοής, (Hsiao, 1990), μέχρι η καλλιέργεια να υποστεί ένα δυνατό stress οφειλόμενο στην υψηλή τιμή του ελλείματος κορεσμού. Μόνο στην τελευταία περίπτωση η στοματική ρύθμιση είναι αρκετά σημαντική ώστε να επιδρά καθοριστικά στο ρυθμό διαπνοής της καλλιέργειας υπό κάλυψη.

2.2.2. Υπολογισμός διαπνοής και παραμέτρων υδατικής κατάστασης φυτών

Στην συνέχεια θα αναφερθεί το πώς μπορεί να γίνει πειραματική εκτίμηση των διαφόρων παραγόντων που εμπειρίζονται στην εξίσωση Penman – Monteith αλλά και μίας σειράς άλλων παραμέτρων που είναι χρήσιμες για τη μελέτη της υδατικής κατάστασης των φυτών.

Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, ανακλάται και διαχέεται μέσα στην ατμόσφαιρα λόγω της ύπαρξης όζοντος, υδρατμών και σκόνης. Η ολική ακτινοβολία που τελικά φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μπορεί να μετρηθεί (με πυρανόμετρα) αλλά τέτοια δεδομένα διατίθενται σε μικρό μόνο αριθμό μετεωρολογικών σταθμών.

Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης ανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα κατά ένα ποσοστό (albedo). Το ποσοστό αυτό καθορίζεται από το συνδυασμό ιδιοτήτων της εξατμίζουσας επιφάνειας (επιφάνεια νερού, ξηρό έδαφος, υγρό έδαφος, βλάστηση, κλπ), και την κλίση του ήλιου. Ενδεικτικές τιμές του albedo για επιφάνεια νερού και καλλιέργειας με πλήρη κάλυψη εδάφους αναφέρονται οι 0,05 και 0,25 αντίστοιχα.

Η ατμόσφαιρα και η επιφάνεια της γης έχοντας θερμοκρασίες μεγαλύτερες του απόλυτου μηδενός εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία. Το μέγεθος της ακτινοβολίας αυτής είναι ανάλογο της θερμοκρασίας. Επειδή η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης είναι μεγαλύτερη από αυτήν της ατμόσφαιρας, εκπέμπεται από την γη προς την ατμόσφαιρα ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Η εκπομπή αυτή μπορεί να υπολογιστεί με βάση τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία και τον βαθμό νέφωσης.

Τελικά με βάση τους συλλογισμούς αυτούς η καθαρή προσπίπτουσα ακτινοβολία ισούται με:

$$R_N = R_i * (1 - ra) - R_B \quad (15)$$

όπου:

R_N : Η καθαρή ολική ακτινοβολία (ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας που καλύπτουν τα φυτά και χρόνου)

R_i : Η προσπίπτουσα ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος

ra : Ο συντελεστής ανάκλασης - albedo (χωρίς διαστάσεις)

R_B : Είναι η καθαρή εκπεμπόμενη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος

Η καθαρή αυτή ακτινοβολία (R_N) θερμαίνει το νερό που με τη σειρά του εκπέμπει θερμότητα στον αέρα που το περιβάλλει και εξατμίζει ένα μέρος του νερού, έτσι ώστε ισχύει:

$$R_N = H_c + \lambda E_c \quad (16)$$

όπου:

H_c : Είναι η ανταλλαγή αισθητής θερμότητας μεταξύ καλλιέργειας και αέρα (W/m^2)

Από την τελευταία σχέση εάν γνωρίζουμε τις τιμές των R_N (μέτρηση με πυρραδιόμετρο) και λE_c (μέτρηση με λυσιόμετρο) μπορούμε να υπολογίσουμε την H_c .

Η ανταλλαγή θερμότητας προς την ατμόσφαιρα μιας επιφάνειας είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας, σύμφωνα με τη σχέση (θεωρούμε το H_c θετικό όταν $T_c - T_i = \delta T$ είναι θετικό, δηλαδή ισχύει $T_c > T_i$):

$$H_c = g_a \rho C_p (T_c - T_i) \quad (17)$$

όπου:

T_c : Η θερμοκρασία φύλλου (μετράται με ειδικά θερμοζεύγη) και

T_i : Η θερμοκρασία του αέρα

Από τη σχέση αυτή μπορούμε να υπολογίσουμε τον αεροδυναμικό συντελεστή διάχυσης της θερμότητας αφού έχουμε υπολογίσει το H_c και γνωρίζουμε το δT .

Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής (αν θεωρήσουμε ότι η εξάτμιση είναι αμελητέα) είναι ανάλογος του ελλείμματος κορεσμού καλλιέργειας – αέρα, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\lambda E_c = (\rho C_p / \gamma) g_t D_c \quad (18)$$

όπου:

D_c : Το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών αέρα - καλλιέργειας

Από τη σχέση αυτή μπορούμε να υπολογίσουμε τον συντελεστή διάχυσης υδρατμών της καλλιέργειας g_t .

Εάν γνωρίζουμε τα g_a και g_t μπορούμε να υπολογίσουμε το συνολικό συντελεστή στοματικής αγωγιμότητας για την καλλιέργεια (g_c) από τη σχέση:

$$\frac{1}{g_c} = \frac{1}{g_t} - \frac{1}{g_a} \quad \text{ή} \quad g_c = \frac{g_a g_t}{g_a - g_t} \quad (19)$$

Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει την αγωγιμότητα ενός μεγάλου αριθμού φύλλων και αναφέρεται ως αγωγιμότητα της φυλλικής επιφάνειας

Ο δείκτης υδατικής κατάστασης ή καταπόνησης της καλλιέργειας δίνεται από τη σχέση:

$$W\acute{h}I_{CWS} = \frac{T_c - T_m}{T_M - T_m} \quad (20)$$

όπου:

T_c : Είναι η θερμοκρασία της καλλιέργειας και

T_M και T_m : Είναι μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία αντίστοιχα που μπορεί να επιτευχθεί από την καλλιέργεια.

Ο δείκτης αυτός παίρνει τιμές από 0 έως 1, με την καλλιέργεια να βρίσκεται στη μέγιστη υδατική καταπόνηση όταν ο δείκτης παίρνει την τιμή 1.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη ρύθμιση του κλίματος στο θερμοκήπιο για τη βέλτιστη διαχείριση ο δείκτης υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας.

Η υψηλότερη δυνατή θερμοκρασία της καλλιέργειας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_M = T_i + \frac{Rn, i}{g_a \rho C_p} \quad (21)$$

Η ελάχιστη δυνατή θερμοκρασία της καλλιέργειας υπολογίζεται από τη σχέση (θα υπάρξει όταν η αγωγιμότητα της καλλιέργειας γίνει μέγιστη g_M):

$$T_m = T_i + \frac{((1/g_a) + (1/g_M))(R_{n,i} / \rho C_p) - (D_i / \gamma)}{1 + (\Delta / \gamma) + (g_a / g_M)} \quad (22)$$

όπου

D_i : Είναι το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (kPa) και Δ είναι η κλίση της πίεσης υδρατμών κορεσμού στην θερμοκρασία T (kPa / K). Το g_M προκύπτει πειραματικά.

2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

2.3.1. Αερισμός

Σε χώρες με θερμό καλοκαίρι ο αποτελεσματικός αερισμός των θερμοκηπίων είναι προϋπόθεση για τον έλεγχο του μικροκλίματος εντός του θερμοκηπίου.

Ο ανεπαρκής αερισμός ή / και ο ανεπαρκής χειρισμός του οδηγούν σε

ακατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Συνέπεια αυτών των συνθηκών είναι ότι το κλίμα που επικρατεί τελικά στο θερμοκήπιο απέχει κατά πολύ από το επιθυμητό για την ανάπτυξη των φυτών κατά το μεγαλύτερο μέρος της θερμής περιόδου του έτους.

Η κυριότερη και πιο φθηνή μέθοδος αερισμού που χρησιμοποιείται στα θερμοκήπια, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερθέρμανση τους, είναι ο φυσικός αερισμός ο οποίος προκαλείται από τη διαφορά πίεσης στα ανοίγματα αερισμού. Οι διαφορές αυτές μπορεί να οφείλονται στην αλληλεπίδραση του ανέμου με το θερμοκήπιο (wind effect) ή στη διαφορά πυκνότητας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα του θερμοκηπίου η οποία προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας (temperature effect).

Εκτός από το φυσικό, ενίοτε χρησιμοποιείται και ο δυναμικός αερισμός ο οποίος γίνεται είτε με ανεμιστήρες που οδηγούν τον αέρα προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου και τον αναγκάζουν να βγει από το αντίθετο άκρο (υπερπίεση) είτε με ανεμιστήρες που απορροφούν τον αέρα από το εσωτερικό του θερμοκηπίου (υποπίεση). Το κυριότερο μειονέκτημα του δυναμικού αερισμού, όταν συγκρίνεται με το φυσικό αερισμό, είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας και οι διαβαθμίσεις της θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος της πορείας του αέρα από την είσοδο προς την έξοδό του από το θερμοκήπιο. Το πλεονέκτημα του δυναμικού αερισμού είναι ότι μπορεί να συνδυαστεί με συστήματα υγρής παρειάς (wet wall ή wet pad).

2.3.2. Σκίαση

Η σκίαση αναφέρεται συνήθως ως η έσχατη λύση για τον έλεγχο του κλίματος του θερμοκηπίου, λόγω της επίδρασής της στην παραγωγή εξαιτίας της μείωσης της διαπερατότητας του θερμοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία. Η σκίαση των θερμοκηπίων μπορεί να γίνει είτε με άσπρισμα του καλύμματός τους, είτε με κουρτίνες σκίασης τοποθετημένες στο εσωτερικό ή εξωτερικά του θερμοκηπίου. Το μειονέκτημα των κουρτινών σκίασης είναι ότι όταν τοποθετούνται εσωτερικά μειώνουν τον αερισμό και για αυτό συνιστάται οι κουρτίνες σκίασης να τοποθετούνται εξωτερικά ή η σκίαση να γίνεται με άσπρισμα της οροφής του θερμοκηπίου.

2.3.3. Υγρή παρειά ή υγρό τοίχωμα

Στις θερμές περιοχές ο δυναμικός αερισμός συνδυάζεται συνήθως με την υγρή παρειά προκειμένου να μειωθεί αποτελεσματικά η θερμοκρασία και να αυξηθεί η υγρασία. Οι ανεμιστήρες τοποθετούνται απέναντι από την πλευρά του θερμοκηπίου με την υγρή παρειά και απορροφούν τον αέρα από το εσωτερικό του θερμοκηπίου, αναγκάζοντας τον εξωτερικό αέρα να εισέλθει στο θερμοκήπιο μέσα από την υγρή παρειά. Η υγρή παρειά λειτουργεί σαν ένας μεγάλος ψύκτης με την αποτελεσματικότητά της να εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ξηρού και του υγρού θερμομέτρου. Έτσι, η αποτελεσματικότητα του συστήματος αυξάνεται σε περιοχές με ξηρό και θερμό κλίμα.

2.3.4 Τεχνητή ομίχλη

2.3.4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Στο εσωτερικό των θερμοκηπίων το καλοκαίρι η θερμοκρασία βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου και του φαινομένου του κλειστού χώρου. Ένας από τους αποτελεσματικότερους τρόπους ψύξης του θερμοκηπίου είναι ο δροσισμός με εξάτμιση. Τα συστήματα δροσισμού με εξάτμιση βασίζονται στη μετατροπή της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα είτε μέσω της απευθείας παροχής νερού στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου (σύστημα τεχνητής ομίχλης, σύστημα μικροψεκαστήρων) είτε μέσω της ψύξης του αέρα με διέλευση μέσα από υγρή παρειά (συστήματα δυναμικού αερισμού και υγρής παρειάς). Η μείωση της θερμοκρασίας που προκαλούν τα συστήματα δροσισμού συνοδεύεται με αύξηση της υγρασίας ενώ μεταβολή των δύο αυτών παραγόντων του μικροκλίματος του θερμοκηπίου έχει επίδραση και στις υδατικές ανάγκες των φυτών.

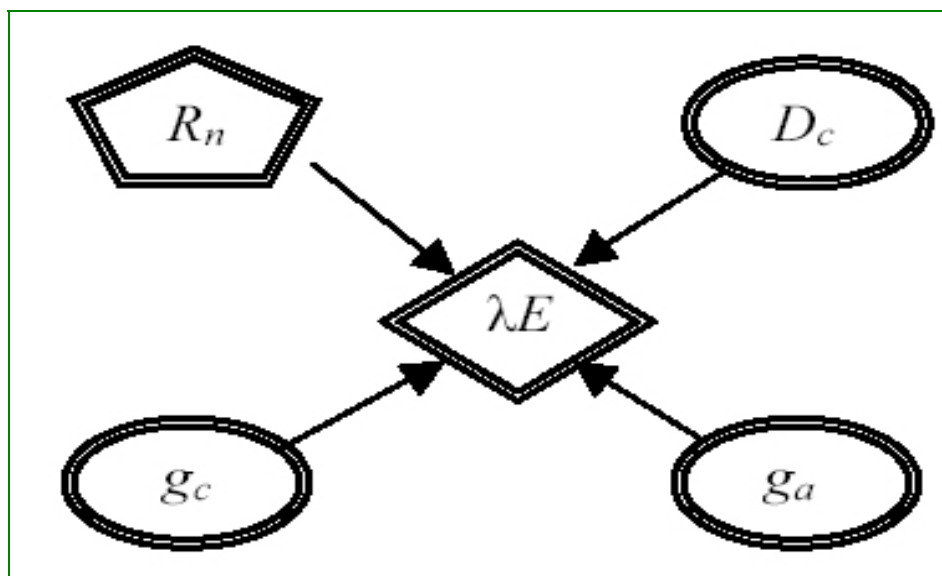
Είναι γνωστό ότι η συγκέντρωση του νερού στα φυτά θα πρέπει να διατηρείται μέσα σε ένα στενό εύρος έτσι ώστε να παρέχει τις προϋποθέσεις για βέλτιστη ανάπτυξη.

Η συγκέντρωση του νερού στα φυτά εξαρτάται από δύο κυρίους παράγοντες:

- ✚ τη διαθεσιμότητα του νερού στο υπόστρωμα,
- ✚ την απορρόφησή του από τις ρίζες και
- ✚ την εξάτμιση του νερού από τα φύλλα, δηλαδή τη διαπνοή.

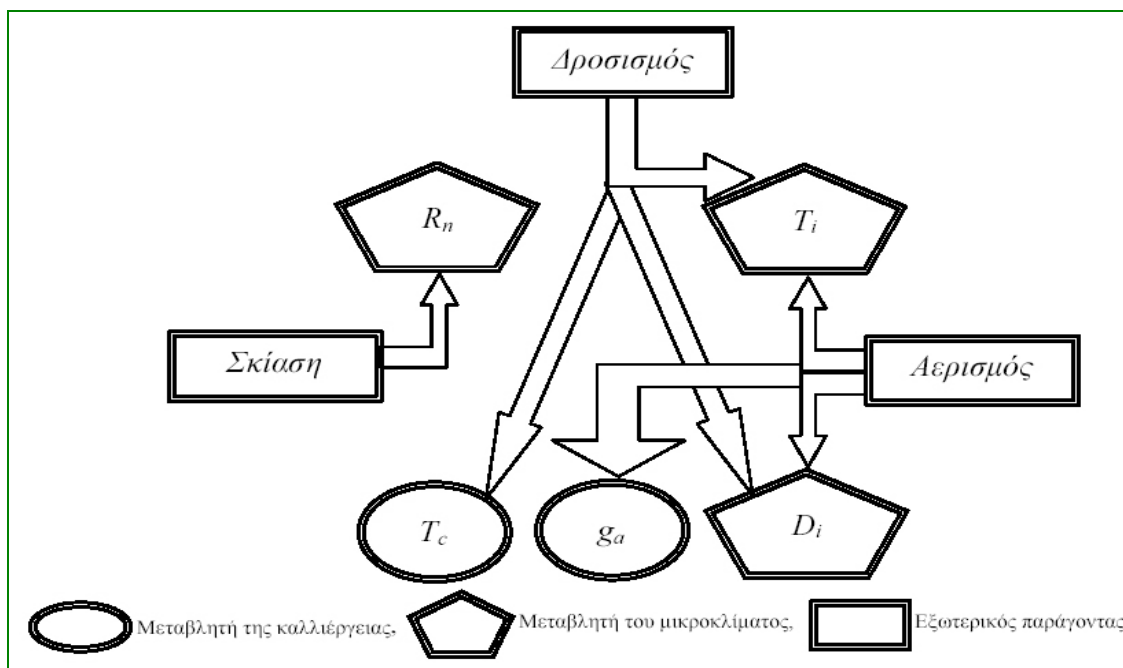
Η διαπνοή επηρεάζεται από (Εικόνα 3):

- ✚ Την ακτινοβολία,
- ✚ Τη διαφορά μεταξύ της πίεσης υδρατμών του αέρα και της πίεσης υδρατμών στον κορεσμό στη θερμοκρασία του φύλλου (έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα),
 - ✚ Την αγωγιμότητα στη μεταφορά των υδρατμών από το εσωτερικό του φύλλου στην επιφάνειά του (στοματική αγωγιμότητα) και
- ✚ Την αγωγιμότητα στη μεταφορά των υδρατμών από την επιφάνεια του φύλλου στον αέρα (αεροδυναμική αγωγιμότητα).



Εικόνα 3. Διαπνοή λE και μεταβλητές που την επηρεάζουν. R_n = καθαρή ακτινοβολία, D_c = έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα, g_c = στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας, g_a = αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας (Κατσούλας 2002).

Για μικρά χρονικά διαστήματα, όταν το έλλειμμα κορεσμού του αέρα αυξάνεται (ανταποκρινόμενο στη μείωση της σχετικής υγρασίας), τα στόματα αρχίζουν σταδιακά να κλείνουν προκειμένου να μειωθεί η υδατική καταπόνηση. Η αρνητική επίδραση είναι σημαντικά μεγαλύτερη για τιμές του ελλείμματος κορεσμού του αέρα μεγαλύτερες από 1 kPa. Αν τα φυτά φθάσουν σε μεγαλύτερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης, οι ρίζες δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν το υπέργειο μέρος των φυτών με αρκετό νερό, τα φυτά χάνουν την ακαμψία και τη σπαργή τους και μη αναστρέψιμες βλάβες μπορεί να προκληθούν στα φύλλα. Υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης, το περισσότερο νερό κατευθύνεται προς τα φύλλα και η ανάπτυξη των καρπών μειώνεται. Επιπρόσθετα, βλάβες μπορεί να προκληθούν με απευθείας 'κάψιμο' των φύλλων. Στην περίπτωση αυτή, η διαπνοή, μέσα από τη διαδικασία της ψύξης με εξάτμιση, είναι αυτή που παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της υψηλής θερμοκρασίας της καλλιέργειας και θα πρέπει να γίνονται οι κατάλληλες ενέργειες προκειμένου να διατηρείται στο μέγιστο ρυθμό. Στο θερμοκήπιο υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της διαπνοής των καλλιεργειών και της ρύθμισής της στα επιθυμητά επίπεδα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως η σκίαση, ο αερισμός και ο δροσισμός, συστήματα με τα οποία ρυθμίζεται άμεσα η ακτινοβολία R_n , η θερμοκρασία T_i και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα D_i (διαφορά της πραγματικής πίεσης ατμών του αέρα με την πίεση ατμών του αέρα στον κορεσμό), παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν άμεσα (R_n) ή έμμεσα (T_i , D_i) τη διαπνοή των καλλιεργειών (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Επίδραση των συστημάτων ελέγχου στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και την καλλιέργεια. D_i = έλλειμμα κορεσμού του αέρα, T_i = θερμοκρασία αέρα, R_n = καθαρή ακτινοβολία, g_a = αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας T_c = θερμοκρασία της καλλιέργειας (Κατσούλας 2002).

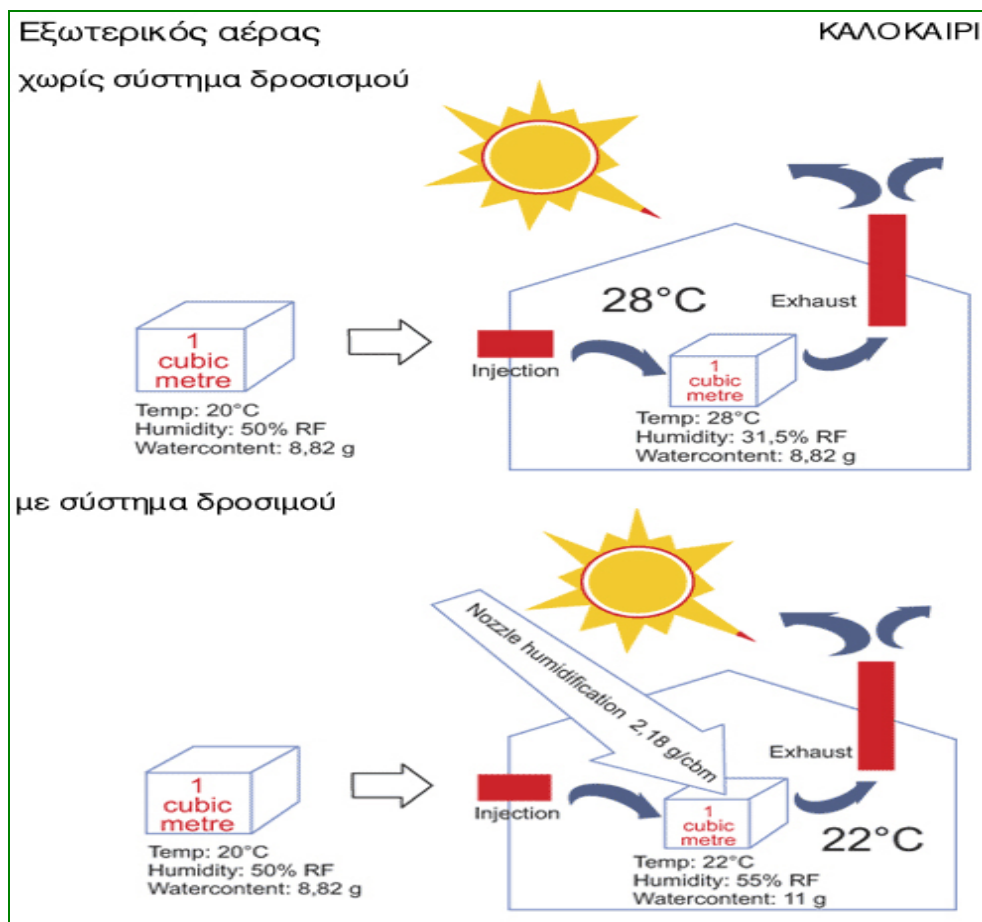
2.3.4.2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Με τη χρήση του συστήματος τεχνητής ομίχλης επιτυγχάνεται μετατροπή της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα, με εξάτμιση νερού που ψεκάζεται στον αέρα του θερμοκηπίου. Για την εξάτμιση (μετάβαση από την υγρή στην αέρια κατάσταση) τα μόρια του νερού απαιτούν ενέργεια (0,68 kW ανά λίτρο νερού) η οποία αφαιρείται από τον αέρα. Έτσι η θερμοκρασία του αέρα ελαττώνεται ενώ παράλληλα η σχετική υγρασία του αέρα αυξάνει (Εικόνα 5).

Το σύστημα εφαρμόζεται συνήθως σε θερμοκήπια εξοπλισμένα με σύστημα φυσικού αερισμού. Το νερό ψεκάζεται στον αέρα, επάνω από τα φυτά, με υψηλές πιέσεις και με εκτοξευτήρες συνήθως μικρής παροχής. Ο αριθμός και η πυκνότητα των εκτοξευτήρων, προσδιορίζονται από την πίεση και την παροχή του εκτοξευτήρα και από το μέγεθος του θερμοκηπίου. Τα συστήματα ψύξης με τεχνητή ομίχλη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στα συστήματα:

- A. υψηλής ($\approx 6 \text{ MPa} \approx 60 \text{ bar}$) και
- B. χαμηλής πίεσης ($\approx 0.5 \text{ MPa} \approx 5 \text{ bar}$).

Τα τελευταία στην πραγματικότητα βρέχουν την καλλιέργεια και η εξάτμιση του νερού λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια των φύλλων, κάνοντας έτσι την τιμή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής να είναι περίπου ίση με αυτή της μέγιστης εξατμισοδιαπνοής.



Εικόνα 5. Αρχή λειτουργίας συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη.

Τα συστήματα δροσισμού υψηλής πίεσης (Εικόνα 5) παρέχουν εξαιρετικά λεπτά σταγονίδια νερού (π.χ. διαμέτρου 50 μ) επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία ομίχλης η οποία τείνει να παραμένει στον αέρα. Η ψύξη με εξάτμιση λαμβάνει χώρα πάνω από τα φυτά, ενώ ένα μικρό ποσοστό της εξάτμισης γίνεται πάνω στα φύλλα.

Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα τεχνητής ομίχλης είναι:

- η αντλία παροχής του νερού στο σύστημα,
- ένα δίκτυο σωληνώσεων για τη διανομή του νερού στο θερμοκήπιο,
- τα ακροφύσια τα οποία ανάλογα με την πίεση λειτουργίας του συστήματος παρέχουν το νερό στο θερμοκήπιο υπό μορφή σταγόνων μικρής ή πολύ μικρής διαμέτρου και
- ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος με κριτήριο συνήθως τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία στο θερμοκήπιο.

Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό τότε ένα τέτοιο σύστημα χαρακτηρίζεται ως mist και τότε ως fog (παρόλο που στα ελληνικά οι δύο αυτοί όροι αποδίδονται ομίχλη). Η διαφορά βρίσκεται στο μέγεθος της σταγόνας που παράγεται:

- ✚ Οι σταγόνες ενός συστήματος mist έχουν μέγεθος της τάξης των 1000μm, το οποίο είναι αρκετό ώστε να διατηρούνται ως σταγόνες για λίγα δευτερόλεπτα με αποτέλεσμα να υγραίνουν τις επιφάνειες στις οποίες επικάθονται,
- ✚ Οι σταγόνες ενός συστήματος fog έχουν μικρό μέγεθος, της τάξης των 40+μm -που τις κάνει σχεδόν αόρατες (Εικόνα 6), με αποτέλεσμα να παραμένουν στον αέρα για αρκετά λεπτά κατά τη διάρκεια των οποίων εξατμίζονται. Έτσι ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα fog δεν υγραίνει το φύλλωμα.



Εικόνα 6. Σύστημα τεχνητής ομίχλης.

Στα πλεονεκτήματα του συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη ως προς τα άλλα συστήματα που βασίζονται στην εξάτμιση, περιλαμβάνονται:

- ✚ Η εξάτμιση του νερού -αντίθετα από τα συστήματα υγρής παρειάς- πραγματοποιείται σε όλο τον όγκο του αέρα του θερμοκηπίου και έτσι επιτρέπουν τη δημιουργία περισσότερο ομοιογενών συνθηκών και
- ✚ Δεν απαιτούν δυναμικό αερισμό όπως τα συστήματα υγρής παρειάς.

Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνεται:

- ✚ Έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης,
- ✚ Απαιτούν καλής ποιότητας νερό, νερό που περιέχει άλατα προκαλεί βλάβες στον εξοπλισμό του θερμοκηπίου και στα φύλλα των φυτών,
- ✚ Όταν χρησιμοποιούνται συσκευές χαμηλής πίεσης, μέρος της εξάτμισης γίνεται στα φύλλα και στο έδαφος κάτι που οδηγεί σε προβλήματα λόγω των υγροποιήσεων και
- ✚ Εάν δεν συνδυάζονται με σωστή διαχείριση του συστήματος φυσικού αερισμού δεν είναι αποτελεσματικά.

Η αποτελεσματικότητα E_{ff} (%) του συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη δίνεται από τη σχέση:

$$E_{ff} = \frac{T_o - T_i}{T_o - T_{o,w}} \times 100\% \quad (23)$$

όπου:

T_o : Η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα (°C),

T_i : Η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου (°C) και

$T_{o,w}$: Η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου έξω από το θερμοκήπιο (°C).

Η απόδοση του συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη παίρνει συνήθως τιμές από 40% έως 70%. Η επίδραση του συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη στο θερμοκήπιο είναι άμεση, όσον αφορά το μικροκλίμα του

θερμοκηπίου (θερμοκρασία και έλλειμμα κορεσμού του αέρα) και έμμεση στην καλλιέργεια (θερμοκρασία, στοματική και αεροδυναμική αγωγιμότητα, διαπνοή κλπ).

2.3.4.3 Επίδραση του συστήματος τεχνητής ομίχλης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου

Με τη χρήση του συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη μπορεί να επιτευχθεί θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο μικρότερη από αυτήν του εξωτερικού αέρα ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται μείωση και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα. Διάφοροι ερευνητές αναφέρουν μείωση της θερμοκρασίας του αέρα από 1°C έως και 10°C και μείωση του ελλείμματος κορεσμού έως και 4 kPa.

Όπως φαίνεται από την σχέση (23), η αποτελεσματικότητα του συστήματος δροσισμού αυξάνεται με μείωση της απόλυτης υγρασίας του εξωτερικού αέρα (μείωση του παρονομαστή μέσω της αύξησης της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του ξηρού και του υγρού βολβού). Έρευνες έχουν δείξει ότι με τη χρήση του συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη, η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου που βρίσκονταν σε περιοχή με εξωτερική υγρασία 71%, ήταν κατά 1°C μικρότερη από αυτή του εξωτερικού αέρα. Η αντίστοιχη τιμή της θερμοκρασίας του αέρα ενός θερμοκηπίου που βρίσκονταν σε περιοχή με εξωτερική υγρασία 38%, ήταν κατά 8°C μικρότερη από αυτή του εξωτερικού. Εντούτοις, ορισμένοι ερευνητές αναφέρουν ότι τα συστήματα δροσισμού είναι αποτελεσματικά ακόμη και σε υγρά παραλιακά κλίματα.

Έχει παρατηρηθεί ότι η θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα μειώνεται, καθώς αυξάνεται ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα και ο ρυθμός παροχής νερού στον αέρα του θερμοκηπίου. Ο ρυθμός μείωσης ήταν μικρότερος όταν ο ρυθμός ανανεώσεων του αέρα ξεπερνούσε τις 40 αλλαγές ανά ώρα, τιμή για την οποία επιτυγχανόταν στο θερμοκήπιο θερμοκρασία αέρα $T_i < 24^\circ\text{C}$ και έλλειμμα κορεσμού του αέρα $\text{VPD}_i < 1 \text{ kPa}$. Άλλοι ερευνητές τέλος, υπογραμμίζουν ότι απαιτείται ένας ελάχιστος ρυθμός ανανεώσεων, περίπου 30 αλλαγές του αέρα ανά ώρα, προκειμένου να επιτευχθεί στο θερμοκήπιο θερμοκρασία μικρότερη των 30°C.

2.3.4.4. Επίδραση του συστήματος τεχνητής ομίχλης στην καλλιέργεια

Η επίδραση του συστήματος τεχνητής ομίχλης στην καλλιέργεια γίνεται κυρίως μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα συμβάλλοντας έτσι στη μείωση της θερμικής και υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας. Έχει διαπιστωθεί πως εκτός από τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα, ο δροσισμός προκαλεί και μείωση της θερμοκρασίας της καλλιέργειας άμεσα, όταν η εξάτμιση του νερού γίνεται πάνω στα φύλλα, ή έμμεσα, μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα και της μεταβολής της διαπνοής. Επιπλέον, μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα τροποποιείται η στοματική και η αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας, οι οποίες, μαζί με το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα, επηρεάζουν τη διαπνοή της καλλιέργειας.

Βρέθηκε ότι η χρήση του συστήματος δροσισμού σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια τριανταφυλλιάς βελτίωσε την υδατική της κατάσταση μειώνοντας

την υδατική καταπόνηση της καλλιέργειας. Όσον αφορά στην παραγωγή, διάφοροι ερευνητές παρατήρησαν αύξηση της ποιότητας και της ποσότητας της παραγωγής. Αναφορικά με τη διάρκεια ζωής των ανθέων μετά τη συγκομιδή, δεν παρατηρήθηκε καμία επίδραση του συστήματος δροσισμού. Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι η χρήση του συστήματος δροσισμού προκαλεί αύξηση της φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας.

Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει την επίδραση του ελλείμματος κορεσμού του αέρα στη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας. Οι περισσότερες εργασίες έχουν πραγματοποιηθεί σε περιοχές της βόρειας Ευρώπης, όπου επικρατούν χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας και ελλείμματος κορεσμού του αέρα. Σε μία εργασία για παράδειγμα, παρατηρήθηκε μείωση της στοματικής αγωγιμότητας, περίπου κατά 65%, για αύξηση του ελλείμματος κορεσμού του αέρα κατά 1 kPa. Σε άλλο πείραμα αντίθετα, δεν παρατήρησαν σημαντική μείωση της αγωγιμότητας για αύξηση του ελλείμματος κορεσμού από την τιμή του 1,4 kPa στα 3,4 kPa. Άλλοι ερευνητές τέλος, αναφέρουν ότι δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι η στοματική αγωγιμότητα επηρεάζεται άμεσα από το έλλειμμα κορεσμού του αέρα. Παρόλα αυτά πρόσφατα οι Katsoulas et al. (2001), παρατήρησαν ότι η χρήση του συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη προκάλεσε σημαντική αύξηση στη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας και ανέφεραν ότι η μέγιστες τιμές της σημειώνονταν όταν η ακτινοβολία ξεπερνούσε τα 300 W/m².

Όσον αφορά την επίδραση του συστήματος δροσισμού στη διαπνοή, διάφοροι ερευνητές ανέφεραν ότι η χρήση του συστήματος δροσισμού προκάλεσε μείωση στη διαπνοή της καλλιέργειας. Αντίθετα, άλλοι ερευνητές αναφέρουν αύξηση της διαπνοής με τη χρήση του συστήματος δροσισμού.

2.3.4.5. Διαστασιολόγηση του συστήματος

Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα τεχνητής ομίχλης είναι τα ακόλουθα:

- ✚ Η αντλία παροχής του νερού στο σύστημα,
- ✚ Το δίκτυο σωληνώσεων για τη διανομή του νερού στο θερμοκήπιο,
- ✚ Τα ακροφύσια τα οποία ανάλογα με την πίεση λειτουργίας του συστήματος παρέχουν το νερό στο θερμοκήπιο υπό μορφή σταγόνων μικρής ή πολύ μικρής διαμέτρου και
- ✚ Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος με κριτήριο συνήθως τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία στο θερμοκήπιο.

1. Παροχή αερισμού

Κατά τις περιόδους χρήσης του συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη στο θερμοκήπιο είναι απαραίτητος ο ταυτόχρονος αερισμός του θερμοκηπίου, προκειμένου να απομακρύνεται από το εσωτερικό του η επιπλέον λανθάνουσα ενέργεια. Η απαιτούμενη παροχή αερισμού q (kg m⁻² εδάφους s⁻¹) ενός θερμοκηπίου εξοπλισμένου με σύστημα τεχνητής ομίχλης, προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας δίνεται από την παρακάτω σχέση (Κίττας κ.α., 2005):

$$q = R_{s,o} \tau \zeta - U (T_i - T_o) / (H_i - H_o) \quad (24)$$

όπου:

- ζ :Είναι ένας αδιάστατος συντελεστής που εκφράζει το ποσοστό της ενέργειας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο και χρησιμοποιείται για την αύξηση της ενθαλπίας του αέρα,
- τ :Η διαπερατότητα του θερμοκηπίου
- $R_{s,o}$:Η ηλιακή ακτινοβολία έξω από το θερμοκήπιο ($W m^{-2}$),
- U :Ο ολικός συντελεστής απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου ($W °C^{-1} m^{-2}$ εδάφους),
- T_o :Η θερμοκρασία του αέρα έξω από το θερμοκήπιο ($°C$)
- T_i :Η θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο ($°C$)
- $H_i \& H_o$:Η ενθαλπία του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα του θερμοκηπίου, αντίστοιχα, ($J kg^{-1}$)

Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο για τις περιπτώσεις όπου οι τιμές της ενθαλπίας του αέρα του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερες από αυτές του εξωτερικού αέρα ($H_i > H_o$).

2. Παροχή νερού



Η απαιτούμενη ποσότητα νερού m_w ($kg s^{-1} m^{-2}$ εδάφους) που πρέπει να διοχετευθεί στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου, προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές κλιματικές συνθήκες, δίνεται από τη σχέση:

$$m_w = q (x_i - x_o) \quad (25)$$

όπου:

q :Η παροχή αερισμού που υπολογίστηκε από την προηγούμενη σχέση ($kg m^{-2}$ εδάφους s^{-1})

x_i, x_o :Η απόλυτη υγρασία του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο ($kg kg^{-1}$) η τιμή της οποίας μπορεί είτε να βρεθεί από τον ψυχομετρικό χάρτη είτε να υπολογιστεί από τη σχέση $x = 0,000046 * (RH/100) * e^{(T/17)}$ όπου:

-  RH η σχετική υγρασία(%) και
-  T η θερμοκρασία του αέρα ($°C$).

Θα πρέπει επιπλέον να σημειωθεί ότι το σύστημα μπορεί να επιτύχει τις επιθυμητές συνθήκες μόνο για τις περιπτώσεις όπου η απόλυτη υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερη από αυτή του εξωτερικού αέρα.

Η ποσότητα νερού m_w που πρέπει να διοχετευθεί στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου προέρχεται αφενός από τα φυτά, μέσα από τη διαδικασία της διαπνοής, και το έδαφος, μέσα από τη διαδικασία της εξάτμισης και αφετέρου από το σύστημα τεχνητής ομίχλης, δηλαδή ισχύει:

$$m_w = E_c + m_{fog} \quad (26)$$

όπου:

E_c :Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής στο θερμοκήπιο ($kg s^{-1} m^{-2}$) και

m_{fog} :Ο ρυθμός παροχής νερού από το σύστημα τεχνητής ομίχλης ($kg s^{-1} m^{-2}$).

Προκειμένου να λειτουργήσει το σύστημα δροσισμού με τεχνητή ομίχλη και να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, θα

πρέπει η τιμή της συνολικά απαιτούμενης ποσότητας νερού να είναι μεγαλύτερη από αυτή που παρέχεται μέσω της διαπνοής από τα φυτά. Θα πρέπει δηλαδή να είναι $m_{fog} > 0$ και συνεπώς $m_w > E_c$. Ο ρυθμός διαπνοής της καλλιέργειας (σε $kg\ s^{-1}\ m^{-2}$) μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από την παρακάτω σχέση (Κατσούλας κ.α., 2000):

$$E_c = \alpha \tau R_{s,o} / \lambda \quad (27)$$

όπου:

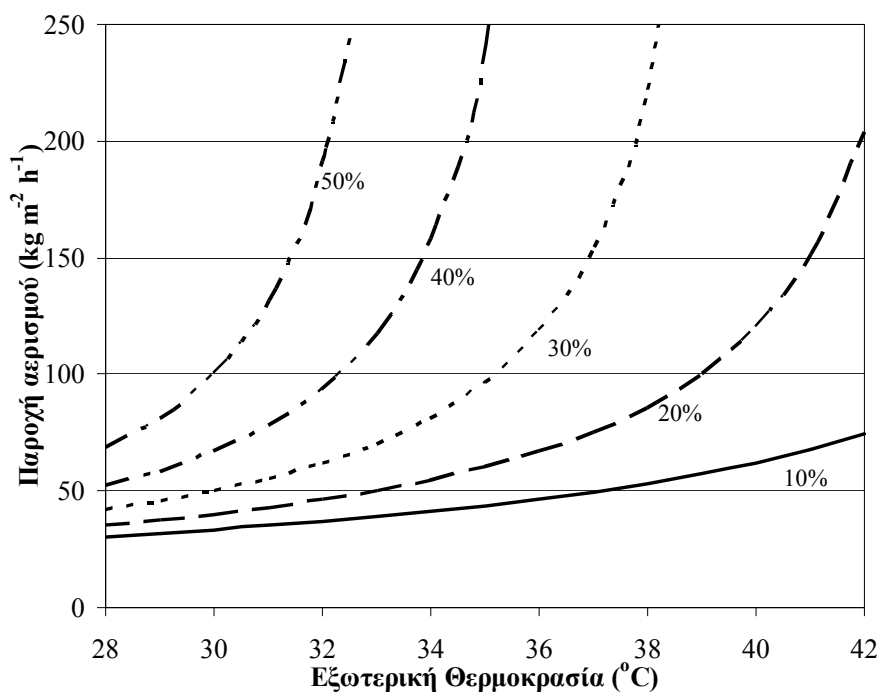
- λ : Η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού (J/kg) και
 α : Το ποσοστό της εισερχόμενης ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για τη διαπνοή της καλλιέργειας. Η τιμή του συντελεστή α εξαρτάται από το ποσοστό του εδάφους που είναι καλυμμένο με φυτά, από το είδος της καλλιέργειας και τη φυλλική της επιφάνεια και από τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών (διαπνοή της καλλιέργειας). Ο συντελεστής α για μία πλήρως ανεπτυγμένη καλλιέργεια κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παίρνει τιμές μεταξύ 0,4 και 0,9 περίπου.

Με χρήση των παραπάνω σχέσεων μπορεί να υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή νερού σε θερμοκήπιο με εγκατεστημένη καλλιέργεια. Παρόλα αυτά το σύστημα θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες για δροσισμό του θερμοκηπίου, ακόμα και όταν η διαπνοή της καλλιέργειας είναι μηδενική ή ελάχιστη.

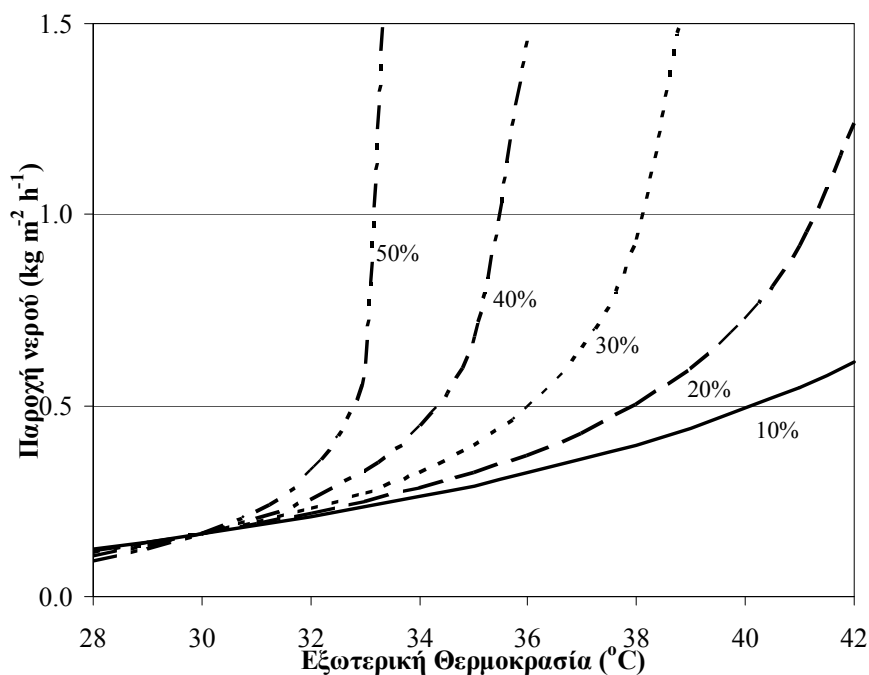
Η παροχή νερού από το σύστημα τεχνητής ομίχλης προς το θερμοκήπιο, μπορεί να ρυθμιστεί, είτε με ρύθμιση της πίεσης λειτουργίας του συστήματος είτε με έλεγχο του χρόνου λειτουργίας σε σταθερή πίεση. Στη δεύτερη περίπτωση, κατά την έναρξη και τον τερματισμό της λειτουργίας του συστήματος δημιουργούνται μεγάλα σταγονίδια τα οποία πέφτουν στην επιφάνεια της καλλιέργειας και δημιουργούν προβλήματα από ασθένειες.

Ως εφαρμογή των παραπάνω, δίνονται στη συνέχεια δύο διαγράμματα (Κίττας κ.α., 2005) από τα οποία μπορεί να υπολογιστεί η απαραίτητη παροχή αερισμού (Εικόνα 7) και παροχή νερού (Εικόνα 8) στο θερμοκήπιο από το σύστημα τεχνητής ομίχλης προκειμένου να επιτευχθεί θερμοκρασία 30°C και υγρασία 70% στο εσωτερικό θερμοκηπίου, για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του εξωτερικού αέρα του θερμοκηπίου. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για την οποία έχουν γίνει οι υπολογισμοί είναι $800\ W\ m^{-2}$ η διαπερατότητα του θερμοκηπίου έχει τιμή $\tau = 0,65$ ο συντελεστής $\alpha = 0,5$ και ο

συντελεστής $\zeta = 0,7$.



Εικόνα 7. Απαιτούμενη παροχή αερισμού για δροσισμό θερμοκηπίου με σύστημα τεχνητής ομίχλης προκειμένου να επιτευχθεί στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θερμοκρασία 30 $^{\circ}\text{C}$ και σχετική υγρασία 70%.



Εικόνα 8. Απαιτούμενη παροχή νερού για δροσισμό θερμοκηπίου με σύστημα τεχνητής ομίχλης προκειμένου να επιτευχθεί στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θερμοκρασία 30 $^{\circ}\text{C}$ και σχετική υγρασία 70%.

3. Παράδειγμα εφαρμογής

Έτσι για ένα πολλαπλό αμφίρρικτο θερμοκήπιο συνολικού πλάτους 30m, μήκους 50m και μέσου ύψους 3,5 m η απαιτούμενη παροχή αερισμού του θερμοκηπίου και η απαιτούμενη παροχή νερού από το σύστημα τεχνητής όταν η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι 35°C και η σχετική υγρασία του είναι 30% θα είναι:

Παροχή αερισμού:

Από την Εικόνα 7 παίρνουμε:

$$q = 95 \text{ kg h}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

Από τον ψυχομετρικό χάρτη (Εικόνα 9) για θερμοκρασία 35°C και σχετική υγρασία 30% προκύπτει ότι ο ειδικός όγκος του εισερχόμενου αέρα είναι περίπου 0,887 m³ kg⁻¹ και συνεπώς η παροχή σε m³ αέρα ανά h και m² εδάφους θα είναι:

$$q = 95 \times 0,887 = 84,3 \text{ m}^3 \text{ αέρα h}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ εδάφους}$$

και η συνολική παροχή αέρα στο θερμοκήπιο θα είναι:

$$q_{\text{ολικό}} = 84,3 \times (30 \times 50) = 125.450 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

παροχή που αντιστοιχεί για το θερμοκήπιο που μελετάμε, συνολικού όγκου 5.250 m³ σε 24 ανανεώσεις του όγκου του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα.

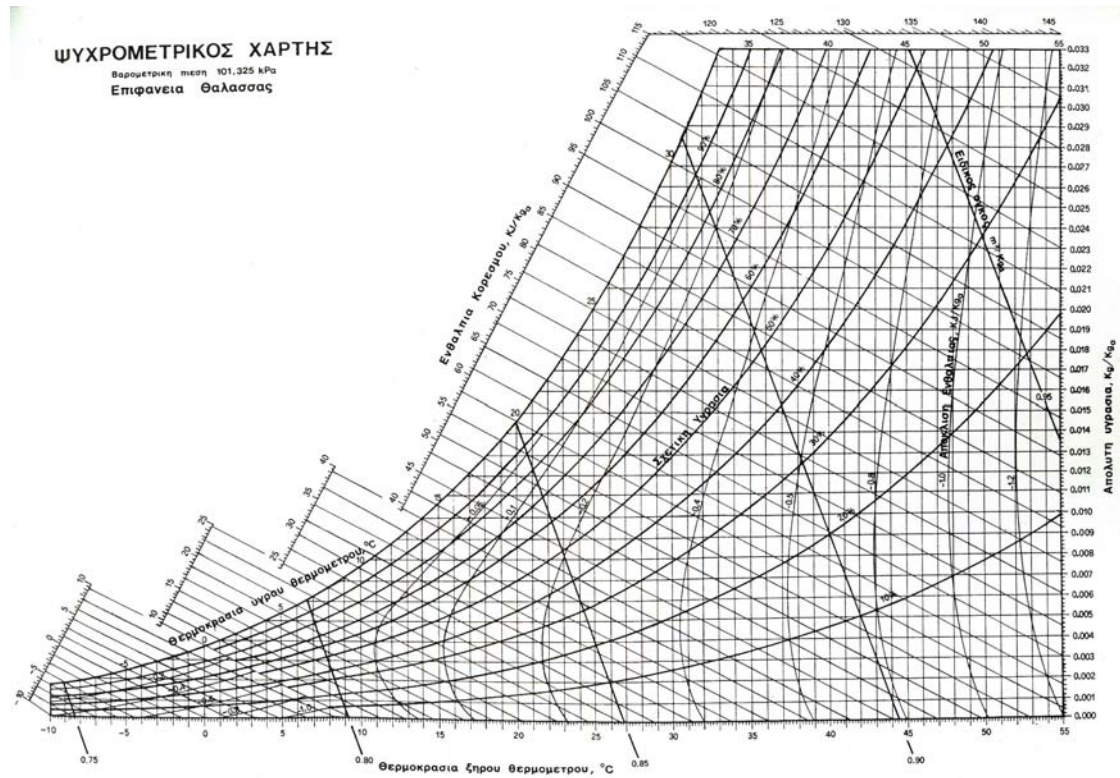
Παροχή νερού:

Από την Εικόνα 8 παίρνουμε την απαιτούμενη ποσότητα νερού που πρέπει να προστεθεί από το σύστημα δροσισμού:

$$m_{\text{fog}} = 0,42 \text{ kg h}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

και για ολόκληρο το θερμοκήπιο θα είναι:

$$m_{\text{fog}} = 630 \text{ kg h}^{-1}$$



Εικόνα 9. Ψυχομετρικός χάρτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΙΠΕΡΙΑ



Εικόνα 10. Πιπεριά

Η πιπεριά (Εικόνα 10) ανήκει στο είδος *Capsicum annuum* και στην οικογένεια των **Solanaceae**.

Σε παγκόσμια κλίμακα, η Ασία με κυρίαρχο την Κίνα, έχει τα πρωτεία στην καλλιέργεια πιπεριάς. Το 65% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής κατά το 2004 προήλθε από ασιατικές χώρες. Η Κίνα βρίσκεται στην πρώτη θέση με 12.028.000 τόνους και 10.023.000 στρέμματα καλύπτοντας το 50% της παγκόσμιας παραγωγής. Σημαντική παραγωγή παρουσίασε το Μεξικό με 3.013.000 τόνους και 2.002.000 στρέμματα και η Τουρκία με 2.887.000 τόνους και 1.426.000 στρέμματα. Τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με εξαίρεση την Ισπανία, εμφάνισαν χαμηλή παραγωγή αλλά με πολύ υψηλές μέσες αποδόσεις που στην Ολλανδία έφτασαν τα 26.500 κιλά το στρέμμα. Στον παρακάτω Πίνακα 1 παρουσιάζονται αναλυτικά η παγκόσμια παραγωγή, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις και η μέση απόδοση της καλλιέργειας πιπεριάς για το έτος 2004.

Όσον αφορά την Ελλάδα σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΑΑ&Τ) τόσο η καλλιεργούμενη έκταση, όσο και η απόδοση και η συνολική παραγωγή πιπεριάς στη χώρα μας παρουσιάζουν συνεχή αυξητική τάση τα τελευταία 30 χρόνια. Με βάση τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα στοιχεία (ΥΑΑ&Τ, 2003), η καλλιέργεια πιπεριάς στο θερμοκήπιο κατέλαβε το 2003 έκταση 6.392 στρεμμάτων και είχε μέση απόδοση 7,786 kg/στρ. Σημαντικά κέντρα καλλιέργειας πιπεριάς είναι το Λασιθήι (2.650 στρ.), η Ημαθία (1.515 στρ.), η Τριφυλία (700 στρ.), το Ηράκλειο (340 στρ.) και η περιοχή Θεσσαλονίκης (314 στρ.). Την ίδια χρονιά (2003), η υπαίθρια καλλιέργεια πιπεριάς κατέλαβε έκταση 32.239 στρ. και είχε μέση απόδοση 1.894 kg/στρ. Σημαντικά κέντρα υπαίθριας καλλιέργειας πιπεριάς είναι η Ηλεία

(6.000 στρ.), η Ξάνθη (3.400 στρ.), τα Τρίκαλα (3.400 στρ.), η Εύβοια (1.500 στρ.), η Καβάλα (1.400 στρ.), η Ημαθία (1.350 στρ.) και η Θεσσαλονίκη (1.300 στρ.)

Πίνακας 2. Παγκόσμια παραγωγή της πιπεριάς (κόκκινης ξερής και πράσινης νωπής) την περίοδο 2003-2004 (Πηγή FAOStat)			
	Παραγωγή (χιλ. τόνοι)	Συγκομιζόμενη Έκταση (χιλ. στρ.)	Μέση Απόδοση (τόνοι/στρ.)
Σύνολο	24.027	16.556	1,451
Κατά Ήπειρο			
Ασία	15.578	10.023	1,554
B. & Κ. Αμερική	3.013	2.002	1,505
Ευρώπη	2.887	1.426	2,024
Αφρική	2.104	2.772	0,759
E.E. (25)	2.009	495	4,059
N. Αμερική	398	305	1,305
Ωκεανία	47	28	1,666
Κυριότερες χώρες παραγωγής			
Κίνα	12.028	6.025	1,996
Μεξικό	1.853	1.407	1,317
Τουρκία	1.790	880	2,034
Ισπανία	1.006	218	4,615
Η.Π.Α.	978	344	2,842
Νιγηρία	720	910	0,801
Ινδονησία	629	1.545	0,407
Αίγυπτος	390	260	1,500
Ιταλία	362	141	2,578
N. Κορέα	340	650	0,523
Χώρες Ευρωπαϊκής Ένωσης (25)			
Ισπανία	1.006	218	4,615
Ιταλία	362	141	2,578
Ολλανδία	318	12	26,500
Ουγγαρία	110	35	3,113
Ελλάδα	95	38	2,500
Σλοβακία	36	30	1,200
Γαλλία	28	7	3,943

3.1. ΒΟΤΑΝΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ

Το φυτό έχει μορφή θαμνώδη, με ύψος 60–75 cm (Εικόνα 11), ενώ μερικά καλλωπιστικά είδη πιπεριάς είναι νάνα με ύψος 20–30 cm.

Το στέλεχος είναι λείο χωρίς τρίχες, όρθιο, με αρκετές διακλαδώσεις, που ξεκινούν από ένα διαφορετικό ύψος του βασικού κορμού, πράγμα που οφείλεται στην ποικιλία, αλλά πιο συχνά εξαρτάται από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες.

Τα φύλλα είναι σχετικά μικρά, στενόμακρα μέχρι ωοειδή, ακέραια, απλά και λεία. Έχουν χρώμα ανοιχτό πράσινο.



Εικόνα 11. Φυτό πιπεριάς

Τα άνθη είναι άσπρα (Εικόνα 12) και συνήθως μονήρη ή, σπάνια, 2–3 μαζί. Η ωοθήκη είναι δίχωρη ή τρίχωρη, και φέρει στύλο συνήθως μεγαλύτερο από τους στήμονες. Τα άνθη της πιπεριάς είναι ερμαφρόδιτα. Τα περισσότερα αυτογονιμοποιούνται, αλλά η διασταύρωση μεταξύ των ανθέων, είτε αυτά ανήκουν στην ίδια βοτανική ποικιλία είτε σε διαφορετικές, είναι δυνατή και εύκολη.



Εικόνα12. Άνθη πιπεριάς

Ο καρπός, ο οποίος και αντιπροσωπεύει το εδώδιμο τμήμα, είναι ράγα με πολλά κενά εσωτερικά χωρίσματα, χρώματος πράσινου ή κιτρινοπράσινου (άγουρος) και ερυθρού ή κίτρινου (ώριμος). Το σχήμα και το μέγεθος των καρπών ποικίλλει από επίμηκες κανονικό μέχρι σφαιρικό και από 3–20 cm. Ο ερυθρός χρωματισμός του καρπού οφείλεται σε τρεις χρωστικές, την καροτίνη, την ξανθοφύλλη και τη λυκοπίνη.

Ο καρπός περιέχει την καψικίνη στην οποία οφείλεται η καυστική γεύση του και η οποία απομακρύνεται με το βρασμό. Η καυστικότητα ελαττώνεται όσο προχωρεί η ωρίμανση. Αυτή είναι μεγαλύτερη στις μικρόκαρπες ποικιλίες, ενώ στις μεγαλύτερες είναι μικρή, πολλές φορές μάλιστα είναι δυνατό να εκλείψει τελείως.

3.2. ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

3.2.1 Θερμοκρασία

Ως προς τις απαιτήσεις σε θερμοκρασίες, απαιτείται μια ελάχιστη θερμοκρασία εδάφους 14–15° C, ενώ η άριστη είναι 24–28° C, για το φύτεμα των σπόρων. Για την καλή και γρήγορη ανάπτυξη των σποροφύτων, άριστη θερμοκρασία (αέρος) ημέρας είναι 24–25° C και νύχτας 16–18° C.

Από τη μεταφύτευση στο έδαφος μέχρι το τέλος της καλλιέργειας, άριστη θερμοκρασία ημέρας είναι 22–26° C, νύχτας 18–20° C με εξαίρεση τις περιόδους καρπόδεσης που η άριστη θερμοκρασία ημέρας είναι 20–22° C και νύχτας 16–17° C. Στις περισσότερες ποικιλίες δε γίνεται καρπόδεση αν η θερμοκρασία νύχτας δεν πέσει κάτω από τους 20° C (αυτό παρατηρείται περισσότερο στις μεγαλόκαρπες ποικιλίες).

Το ποσοστό καρπόδεσης μειώνεται όταν κατά τη διάρκεια της ημέρας επικρατούν θερμοκρασίες άνω των 28° C και κάτω των 15° C. Στους 0° το φυτό νεκρώνεται.

Για κανονική ανάπτυξη του φυτού το έδαφος πρέπει να έχει θερμοκρασία πάνω από 15° C.

3.2.2. Φωτισμός

Η πιπεριά είναι φυτό ουδέτερο γενικά ως προς τη φωτοπερίοδο ή μακροήμερο. Το φως δεν είναι απαραίτητο στη σύνθεση των κόκκινων χρωστικών της πιπεριάς.

Το φυτό απαιτεί υψηλές εντάσεις φωτισμού για κανονική ανάπτυξη και καρποφορία. Οι καρποί όμως πρέπει να σκιάζονται από τα φύλλα για την αποφυγή του ηλιοκαύματος.

3.2.3. Υγρασία

Για την κανονική ανάπτυξη του φυτού, απαιτείται σχετική ατμοσφαιρική υγρασία από 65–80%, με άριστα 70–75%. Την κανονική ανθοφορία και καρπόδεση επηρεάζει σημαντικά και η επαρκής υγρασία του εδάφους.

3.2.4. Έδαφος

Η πιπεριά μπορεί να καλλιεργηθεί σε όλα τα είδη των εδαφών, ξεκινώντας από τα αμμώδη, αμμοαργιλλώδη, αργιλλώδη, πηλοαργιλλώδη και ιλοαργιλλώδη εδάφη. Πάντως, προτιμούνται τα αργιλλώδη και αμμοαργιλλώδη. Το έδαφος πρέπει να στραγγίζει καλά και να μη νεροκρατεί.

Η βιομηχανική πιπεριά αποκτά καλύτερο χρώμα σε κάπως βαρύτερα εδάφη. Σε περιοχές που συμβαίνουν το φθινόπωρο πρώιμοι παγετοί, προτιμούνται ελαφρά εδάφη για την καλλιέργεια της πιπεριάς γιατί εκεί η ωρίμανση είναι πρωιμότερη. Ευνοϊκότερο pH για την ανάπτυξη του φυτού είναι 5,5–7.

Η ανθεκτικότητα στα άλατα την περίοδο της ταχείας ανάπτυξης του φυτού (βλάστηση–ωρίμανση) είναι 3–5 mmhos/cm.

Σε χώρες της βόρειας Ευρώπης διαδεδομένη είναι η καλλιέργεια της πιπεριάς σε αδρανή υποστρώματα (Εικόνα 13)



Εικόνα 13. Καλλιέργεια πιπεριάς σε αδρανή υποστρώματα

ή NFT.



Εικόνα 14. Καλλιέργεια πιπεριάς σε σύστημα NFT

3.3. ΛΙΠΑΝΣΗ

Στον παρακάτω Πίνακα 2 εμφανίζεται ενδεικτικά η συνιστώμενη λίπανση της πιπεριάς.

Πίνακας 2. Συνιστώμενη λίπανση πιπεριάς

	Λιπαντικές μονάδες (kg/στρ.)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Υπαίθρια	25–35	15–20	30–40	8–10
Θερμοκηπίου	30–40	20–25	45–60	10–12

Η δόση του αζώτου εφαρμόζεται κατά το 30–35% σε βασική και η υπόλοιπη 65–70% σαν επιφανειακή. Η δόση του φωσφόρου, του καλίου και του μαγνησίου εφαρμόζεται κατά το 50–60% σε βασική και η υπόλοιπη 40–50% σαν επιφανειακή.

Το παραπάνω ποσοστό δόσης κάθε θρεπτικού στοιχείου που εφαρμόζεται επιφανειακά, προστίθεται σε 2–3 στάδια σε ισόποσες δόσεις, δηλαδή η πρώτη δόση λίγο πριν την άνθηση, η δεύτερη κατά την ταχεία ανάπτυξη του κορμού και η τρίτη κατά την αρχή της ωρίμανσης του καρπού.

Επίσης, το ποσοστό της δόσης κάθε θρεπτικού που εφαρμόζεται επιφανειακά μπορεί να προστίθεται και με υδρολίπανση.

Η πιπεριά είναι πολύ ευαίσθητη στην έλλειψη μαγνησίου και για το λόγο αυτό πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην πρόληψη τροφοπενιών του παραπάνω στοιχείου.

3.4. ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ

Η σπορά γίνεται γραμμικά, σε ψυχρά ή σε θερμαινόμενα σπορεία και σε απολυμασμένο έδαφος.

Οι σπόροι για να βλαστήσουν χρειάζονται σκοτάδι και σε θερμοκρασία 30° C, 10–15 ημέρες τη βλαστική τους ικανότητα για περίπου 4 έτη. Για καλλιέργεια ενός στρέμματος χρειάζονται 20–30 gr σπόρου (1 gr σπόρου περιέχει 20–30 σπέρματα).

Για τις πρώιμες θερμοκηπιακές καλλιέργειες η σπορά γίνεται κατά τα τέλη Νοεμβρίου αρχές Δεκεμβρίου σε θερμοσπορείο, ενώ για τις υπαίθριες καλλιέργειες κατά τα τέλη Μαρτίου.

3.4.1. Μεταφύτευση

Τα φυτά μεταφυτεύονται στο ύπαιθρο όταν αποκτήσουν ύψος 10–20 cm (Εικόνα 15), σε γραμμές που απέχουν 0,9–1,15 m, με αποστάσεις μεταξύ των φυτών πάνω στη γραμμή 0,45–0,75 cm.

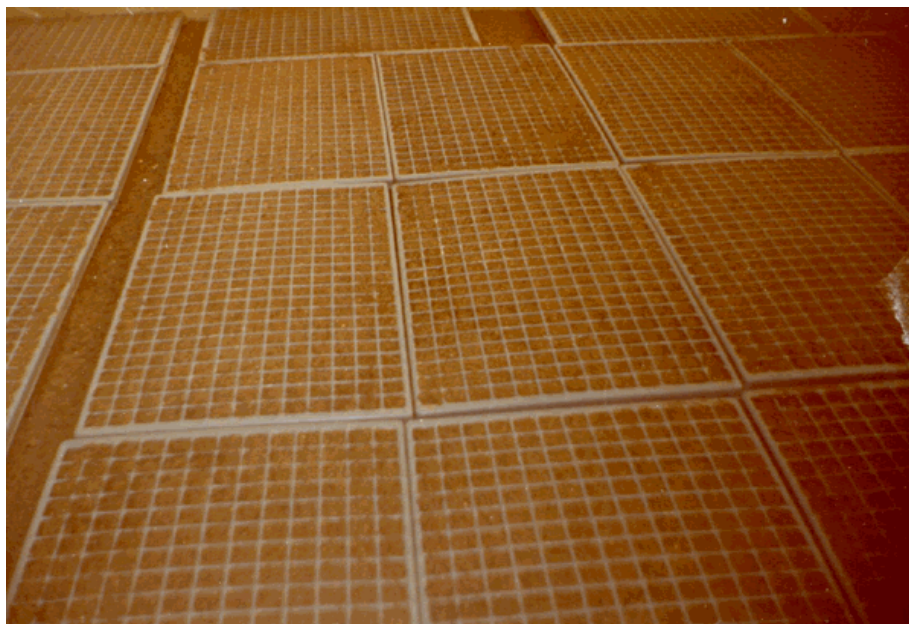


Εικόνα 15. Μεταφύτευση φυτών πιπεριάς

Τα φυτά μεταφυτεύονται είτε με μηχανές είτε με το χέρι. Φυτά μεταφυτευόμενα με μηχανές είναι συνήθως μικρότερα σε μέγεθος από εκείνα που μεταφυτεύονται με το χέρι.

Η μεταφύτευση στον αγρό αρχίζει από τον Απρίλιο μέχρι τα τέλη Μαΐου.

Για τις εκτός κανονικής εποχής καλλιέργειες (χειμώνα, άνοιξη) η σπορά γίνεται σε δίσκους πολλαπλών θέσεων (Εικόνα 16).



Εικόνα 16. Δίσκοι πολλαπλών θέσεων για σπορά φυτών πιπεριάς

ή στο έδαφος του σπορείου από όπου τα φυτά μεταφυτεύονται σε σακουλάκια (Εικόνα 17) όταν ακόμα είναι μικρά.



Εικόνα 17. Μεταφύτευση φυτών πιπεριάς σε σακουλάκια.

Μετά τη μεταφύτευση γίνεται ένα ελαφρό πότισμα και διατηρείται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος την ημέρα στους 20° C με 25° C (η μικρότερη με λίγο φως-ομίχλη ή συννεφιασμένο ουρανό και η μεγαλύτερη με ηλιοφάνεια) και τη νύχτα μεταξύ 15–16° C.

Η δεύτερη μεταφύτευση των φυτών γίνεται 1,5–2 μήνες μετά τη σπορά, σε έδαφος κατάλληλα ετοιμασμένο και λιπασμένο. (Εικόνα 18).



Εικόνα 18. Μεταφύτευση φυτών πιπεριάς στον αγρό

Η μεταφύτευση γίνεται σε γραμμές–αυλάκια που απέχουν μεταξύ τους 60–80 cm. Οι αποστάσεις πάνω στη γραμμή είναι συνήθως κάθε 32–40 cm (Εικόνα 19).



Εικόνα 19. Φυτεία πιπεριάς στο έδαφος

3.5. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

3.5.1. Κατεργασία του εδάφους

Η πιπεριά απαιτεί συχνή, ελαφριά κατεργασία του εδάφους, ώστε αυτό να διατηρείται χαλαρό και αφράτο σε βάθος 2–3 cm και καθαρό από ζιζάνια.

Η πρώτη κατεργασία του εδάφους θα πρέπει να γίνει λίγο μετά την εγκατάσταση των φυτών στο χωράφι. Οι επόμενες κατεργασίες θα ακολουθήσουν σε διαστήματα μιας εβδομάδας ή δέκα ημερών μεταξύ τους και μετά από άρδευση όταν το έδαφος είναι αρκετά ξηρό για την εργασία.

Μια άλλη εργασία μετά τη μεταφύτευση των φυτών στην οριστική τους θέση είναι το παράχωμα. Το παράχωμα στη ρίζα προσλαμβάνει μία μεγάλη πρακτική σημασία. Στηρίζει τα φυτά, χρειάζεται για την ενσωμάτωση των λιπασμάτων, διευκολύνει τη ροή του νερού της άρδευσης και προστατεύει το λαιμό των φυτών από την απευθείας επαφή με το νερό.

3.5.2. Στήριξη των φυτών

Τα βλαστάρια της πιπεριάς είναι πολύ εύθραυστα. Παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι σπάζουν εύκολα, ιδίως κατά το μάζεμα των καρπών. Το μειονέκτημα αυτό γίνεται εντονότερο στα φυτά του θερμοκηπίου, σε σχέση με αυτά που καλλιεργούνται στο ύπαιθρο.

Η πιπεριά, λοιπόν, που καλλιεργείται στο θερμοκήπιο έχει οπωσδήποτε ανάγκη στήριξης. Το σύστημα υποστήριξης των φυτών που κατά κανόνα εφαρμόζεται είναι το εξής: Ο κεντρικός κορμός κάθε φυτού δένεται με πλαστικό σπάγκο, ο οποίος στη συνέχεια δένεται στο οριζόντιο σύρμα (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Στήριξη φυτών πιπεριάς

Ταυτόχρονα, τα φυτά υποστηρίζονται ομαδικά, κατά μήκος των ζυγών γραμμών, με ξυλοπασσάλους (Εικόνα 21) ή σιδηροπασσάλους, που μπηγνούνται αριστερά και δεξιά και ενώνονται με δύο σειρές σύρμα ή πλαστικό σπάγκο. Έτσι δημιουργείται ένας διπλός φράχτης, ανάμεσα στον οποίο

στηρίζονται τα βλαστάρια των φυτών, που επίσης αλληλοστηρίζονται μεταξύ τους.



Εικόνα 21. Υποστήριξη φυτών πιπεριάς με ξυλοπασσάλους

3.5.3. Κλάδεμα

Το κλάδεμα στην πιπεριά, δε γίνεται με το σχολαστικό τρόπο που γίνεται στο αγγούρι και τη μελιτζάνα. Έχει σα σκοπό να φέρει στο φυτό ισορροπία μεταξύ βλάστησης και παραγωγής.

Από τη βάση του φυτού και γύρω από τον κύριο βλαστό, αφαιρούνται όσοι πλάγιοι φυτρώνουν, μέχρι ένα ύψος 20–30 cm. Στη συνέχεια αφήνεται το φυτό να διακλαδιστεί σ 3–4 στελέχη, που από εκεί και πέρα αφήνονται σχεδόν χωρίς καμία επέμβαση ή με ελάχιστες επεμβάσεις. Αν το φυτό έχει την τάση να δημιουργεί πολλά και πυκνά βλαστάρια, τα αραιώνουμε αφήνοντας τα καλύτερα.

3.5.4. Καταπολέμηση ζιζανίων

Η πιπεριά, όπως όλες οι κηπευτικές καλλιέργειες, υφίσταται ένα έντονο ανταγωνισμό από τα ζιζάνια.

Από τα πολλά σκευάσματα το μίγμα diphenamid με trifluralin είναι το πιο αποτελεσματικό για την καταπολέμηση των ζιζανίων της πιπεριάς, λόγω του ότι ελέγχει αποτελεσματικά τα δικοτυλήδονα και τα αγρωστώδη ζιζάνια.

Εφαρμογές μετα–μεταφυτευτικές στο μεταξύ των γραμμών διάστημα με paraquat, diquat σε μίγμα μεταξύ τους ή ξεχωριστά το καθένα ή με glyphosate μπορούν να πραγματοποιηθούν με τα ειδικά καλύμματα μπροστά στο μπεκ του ψεκαστήρα ή με μειωμένη πίεση, για να αποφύγουμε τη μεταφορά του ψεκαστικού υγρού με τον αέρα στα φυτά της πιπεριάς.

3.6. ΑΡΔΕΥΣΗ

Από το ξεκίνημα του καλλιεργητικού κύκλου χρειάζονται συχνά ποτίσματα. Στη χορήγηση του νερού χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στις ποσότητες και στον αριθμό των αρδεύσεων, έτσι ώστε να μη δημιουργούνται νεροκρατήματα, που μπορούν να προκαλέσουν ασφυξία στο ριζικό σύστημα και σάπισμα στις ρίζες και στο λαιμό.

Ο αριθμός των αρδεύσεων εξαρτάται από την πορεία των κλιματικών συνθηκών, από το στάδιο ανάπτυξης του φυτού και από τις απαιτήσεις της ίδιας καλλιέργειας, καθώς επίσης και από τη φύση του εδάφους. Ο χρόνος επανάληψης καθορίζεται σε 5–8 ημέρες (5 για τα ελαφρά εδάφη, 8 για τα άλλα) με ποσότητες 20 m³/στρ.

3.7. ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ – ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ

Η εμπορεύσιμη πιπεριά συγκομίζεται όταν φτάσει το πλήρες μέγεθός της και γίνει συνεκτική, πριν όμως αρχίσει να κιτρινίζει ή να κοκκινίζει. Οι πράσινες πιπεριές συγκομίζονται σε σακιά, πλαστικές σακούλες (Εικόνα 22), καλάθια, κουβάδες ή κλούβες μήλων και μεταφέρονται στο συσκευαστήριο για διαλογή.



Εικόνα 22. Συγκομιδή πιπεριάς σε πλαστικές σακούλες

Οι πιπεριές για κονσερβοποίηση ή κατασκευή πιπεριού είναι δυνατό να συγκομιστούν και με μηχανή σε σακιά με τα οποία μεταφέρονται στο εργοστάσιο όπου διαλογίζονται κατάλληλα πριν από τη βιομηχανοποίηση.

Οι νωποί καρποί της πιπεριάς μπορούν να αποθηκευτούν χωρίς προβλήματα και μείωση της εμπορικής τους αξίας για 2–3 εβδομάδες σε θερμοκρασίας 7,2–10° C και με σχετική υγρασία 95–98%, ενώ σε θερμοκρασία –0,8° C προκαλείται πήξη του χυμού του καρπού.

3.8. ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ - ΥΒΡΙΔΙΑ

Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν οι ποικιλίες και τα υβρίδια που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια, είναι η όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόδοση

σε σύντομο χρονικό διάστημα, η πρωιμότητα, η ζήτηση στην αγορά και η αντοχή τους στους εχθρούς, ασθένειες και ιώσεις.
Στη Βόρεια Ελλάδα έχουν ζήτηση οι κιτρινόσαρκες ποικιλίες με επιμήκεις καρπούς για τηγάνισμα, όπως η ελληνική ποικιλία Πτ.13 (Εικόνα 23),



Εικόνα 23. Κιτρινόσαρκτη ελληνική ποικιλία πιπεριάς Πτ.13

με τετράλοβους καρπούς για γέμισμα, όπως η ποικιλία Πτ. 14 και το υβρίδιο Dolmy F1 (Εικόνα 24)



Εικόνα 24. Ποικιλία πιπεριάς με τετράλοβους καρπούς

και οι καυτερές με στενόμακρους καρπούς.
Στα θερμοκήπια της Κρήτης και της Πελοποννήσου καλλιεργούνται διάφορα υβρίδια με χοντρούς καρπούς. Οι αγορές της Δ. Ευρώπης ζητούν πιπεριές τετράλοβες, τύπου Yolo Wonder (Εικόνα 25)



Εικόνα 25. Τετράλοβη ποικιλία πιπεριάς τύπου Yolo Wonder

Η πιπεριά τουρσί (πιπερούδι) καλλιεργείται στην περιοχή της Θεσσαλονίκης κυρίως, ενώ η πιπεριά κόκκινου πιπεριού (Πτ. 601 και Καρατζόβας) στην περιοχή Αριδαίας.

3.9. ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

Η πιπεριά με εξαίρεση την προσβολή της από τη φυτόφθορα του λαιμού, αντιμετωπίζει μικρό πρόβλημα, ή και σχεδόν καθόλου, όσον αφορά τον περονόσπορο, τη σεπτόρια, την αλτερνάρια και τις βακτηριώσεις. Οι σοβαρότεροι εχθρούς και ασθένειες της πιπεριάς και γενικότερα των σολανοειδών (τομάτας, πιπεριάς, μελιτζάνας) είναι οι ακόλουθοι.

3.9.1. Εχθροί

1. Νηματώδεις. *Meloidogyne spp.*

Προσβάλλουν το ριζικό σύστημα. Καταπολεμούνται με γενικές απολυμάνσεις (βρωμιούχο μεθύλιο, Varam), ριζοποτίσματα με νηματωδοκτόνα (Νεμακούρ, Μοκάπ, Φουραντάν ή Κουρατέρ), με ανθεκτικές ποικιλίες - υβρίδια και με ανθεκτικά υποκείμενα.

2. Σιδηροσκώληκες. *Agriotes obscurus.*

Προσβάλλουν νεαρά φυτά στη βάση του βλαστού, κοντά ή λίγο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Καταπολεμούνται με γενική απολύμανση (βρωμιούχο μεθύλιο, Varam), ή με κοκκώδη εντομοκτόνα (Ντοτάν, Μοκάπ, Φουραντάν ή Κουρατέρ).

3. Αφίδες διάφορα είδη.

Προσβάλλουν φύλλα και νεαρούς καρπούς και είναι φορείς πολλών ιώσεων. Καταπολεμούνται με εντομοκτόνα και ειδικά αφιδοκτόνα (Savona,

Χοστακούικ, Πιριμόρ, Ντεντεβάπ) και βιολογικά με το δίπτερο *Aphidoletes aphidimyza*, το υμενόπτερο *Aphidius matricariae* και με το μύκητα *Verticillium lecanii*.

4. Θρίπες.

Thripstabaci, Frankliniella occidentalis, Heliothrips haemorrhoidalis.

Προσβάλλουν τα φύλλα και τα άνθη και μπορούν να μεταδώσουν ιώσεις. Μειώνουν ποσοτικά και ποιοτικά την παραγωγή. Καταπολεμούνται με χρωματικές παγίδες (μπλέ), με εφαρμογή εντομοκτόνων (Μεθειοκάρμπ) και βιολογικά, με τα ακάρεια *Amblyseius cucumeris* και *Amblyseius barkeri* ή *mackenziei*.

5. Φυλλορύκτες της τομάτας.

***Lyriomyza trifolii* και *Lyriomyza bryoniae*.**

Προκαλούν στοές στο μεσόφυλλο. Καταπολεμούνται με εντομοκτόνα (Ντεντεβάπ, Νογκός, Διπτερέξ), με τον παρεμποδιστή ανάπτυξης του εντόμου Trigard, και βιολογικά με τα παράσιτα υμενόπτερα *Dacnusa sibirica* και *Diglyphus isaea*.

6. Τετράνυχος. *Tetranychus urticae, Aculops lycopersici*.

Προσβάλλουν κυρίως τα φύλλα. Ευνοούνται από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής σχετικής υγρασίας. Καταπολεμούνται με εφαρμογή ακαρεοκτόνων (Βεντέξ, Ομάιτ, Κέλτιον, Μίτιον), μόνα τους ή σε συνδυασμό με το εντομοκτόνο Savona. Για αυξημένη αποτελεσματικότητα, στα παραπάνω ακαρεοκτόνα μπορεί να προστεθεί και η φερμόνη Stirrup-M.

Βιολογικά καταπολεμείται με το παράσιτο *Phytoseiulus persimilis*.

7. Αλευρώδης. *Trialeurodes vaporariorum*.

Προσβάλλει τα φύλλα, εξασθενεί τα φυτά και στα αποχωρήματά του αναπτύσσεται δευτερογενώς καπνιά. Καταπολεμείται με ψεκασμούς φυλλώματος με εντομοκτόνα (Διαζινόν, Θειοντάν, Ακτελίκ) ή με τον παρεμποδιστή ανάπτυξης του εντόμου Απλότ, με εφαρμογή εντομοκτόνων εδάφους (Ρογκόρ, Βαϊντέιτ), με χρωματικές παγίδες (κίτρινες) και με βιολογικό τρόπο με το παράσιτο *Encarsia formosa*.

3.9.2. Μυκητολογικές ασθένειες

1. Αδρομυκώσεις. *Verticillium dahliae, Verticillium albo-atrum Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*.

Προκαλούν απόφραξη των αγγείων με αποτέλεσμα σταδιακή μάρανση και τελικά ξήρανση όλου του φυτού. Χαρακτηριστικός ο καστανός μεταχρωματισμός των αγγείων του ξύλου σε προσβεβλημένα φυτά. Σοβαρότερη είναι η προσβολή της τομάτας και της μελιτζάνας.

Καταπολεμούνται με ανθεκτικές ποικιλίες, απολύμανση εδάφους, εμβολιασμό σε ανθεκτικά υποκείμενα (π.χ. KNVF). Σε αρχικές προσβολές σε νεαρά φυτά συνιστάται ριζοπότισμα με Μπενλέιτ ή Τερακλόρ-σούπερ.

2. Καστανή σήψη των ριζών ή Φελλώδης σηψιρρηξία (*Brown root* ή *Corky root*). *Pyrenochaeta lycopersici*.

Προσβάλλει κυρίως τη τομάτα. Οι ρίζες προσβεβλημένων φυτών αποκτούν καστανές διογκώσεις με φελλώδη όψη.

Καταπολεμάται με απολύμανση και εμβολιασμό σε ανθεκτικά υποκείμενα.

3. Ντιντιμέλλα. *Didymella lycopersici*.

Προσβάλλει κυρίως το στέλεχος αλλά και τα φύλλα και τους καρπούς. Καταπολεμείται με χρησιμοποίηση απολυμασμένου σπόρου και εφαρμογή μυκητοκτόνων (Μπενλέιτ, Μπαβιστίν).

4. Φαιά σήψη *Botrytis cinerea*

Προσβάλλει στελέχη, φύλλα, καρπούς και άνθη όταν η θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή (<18° C).

Καταπολεμείται με προληπτικούς και θεραπευτικούς ψεκασμούς (Ronilan, Rovral, Sumisclex, Daconil, Sumico) και με βελτίωση συνθηκών στο θερμοκήπιο (καλός εξαερισμός, ψηλή θερμοκρασία). Για την καταπολέμησή του μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το βιολογικό σκεύασμα Trichodex.

5. Περονόσπορος. *Phytophthora tabacina*.

Προσβάλλει όλα τα τρυφερά μέρη του φυτού όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή και η υγρασία υψηλή.

Καταπολεμείται με προληπτικούς (Αντρακόλ, Θειράμ, Ντακονίλ) και θεραπευτικούς (Κουπερτίν-Σούπερ, Αλπέρ, Αλιέτ) ψεκασμούς και με μείωση της υγρασίας του θερμοκηπίου. Σε υπαίθριες καλλιέργειες μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το Ριντομίλ.

6. Αλτερνάρια *Alternaria solani*.

Προσβάλλει το λαιμό των νεαρών φυτών και στα αναπτυγμένα φυτά τα φύλλα, τους βλαστούς και τους καρπούς. Ευνοείται από την υψηλή θερμοκρασία και την υψηλή υγρασία.

Καταπολεμείται με προληπτικούς και θεραπευτικούς ψεκασμούς (Αντρακόλ, Θειράμ, Ντακονίλ, Ναμπάκ, Καζουμίν).

7. Κλαδοσπορίαση. *Cladosporium fulvum* και *fulvia fulva*.

Προσβάλλει τα κατώτερα φύλλα. Ευνοείται σε θερμοκρασίες μεταξύ 18 και 24° C και υγρασία 95%.

Καταπολεμείται με προληπτικούς και θεραπευτικούς ψεκασμούς (Αντρακόλ, Θειράμ, Ντακονίλ, Ναμπάκ, Καζουμίν) και με μείωση της υγρασίας.

8. Ωίδιο *Leveillula taurica*.

Προσβάλλει κυρίως τα κατώτερα φύλλα. Ευνοείται σε υψηλές θερμοκρασίες. Καταπολεμείται με προληπτικούς (Θειάφι, Μορεστάν, Αντρακόλ-Κόμπι) και θεραπευτικούς (Μπαυλετόν, Συστέιν, Τοπάς, Αφουγκάν) ψεκασμούς.

9. Σκληροτίνια *Sclerotinia sclerotiorum*

Προσβάλλει κυρίως τα στελέχη αλλά και τα φύλλα και τους καρπούς.

Καταπολεμείται με απολύμανση του εδάφους με PCNB, με ριζοποτίσματα (Καπταζίμ, Τεροζίμ) και προληπτικούς και θεραπευτικούς ψεκασμούς με Ronilan, Rovral, Sumisclex.

10. Σεπτόρια *Septoria lycopersici*

Προσβάλλει τα φύλλα και τα στελέχη της τομάτας.

Καταπολεμείται με απολύμανση του σπόρου και εφαρμογή μηκυτοκτόνων (Αντρακόλ, Θειράμ, Ντακονίλ, Ναμπάκ)

3.9.3. Βακτηριώσεις

1. Βακτηριακή κηλίδωση. *Xanthomonas vesicatoria*

Προσβάλλει τα φύλλα, καρπούς όπου προκαλεί χαρακτηριστικές κηλίδες.

3.9.4. Ιώσεις

1. Μωσαϊκή του καπνού TMV.

Προσβάλλει το φυτό και προκαλεί μικροφυλλία και τα χαρακτηριστικά συμπτώματα της μωσαϊκής.

Καταπολεμείται με ανθεκτικές ποικιλίες, μέτρα για περιορισμό της μετάδοσης, απολύμανση απόρου, απολύμανση εδάφους, μόλυνση νεαρών φυτών τομάτας με ήπιο κλώνο TMV για προστασία φυτών από περισσότερο καταστρεπτικό κλώνο.

2. Μωσαϊκή του αγγουριού CMV.

Προκαλεί χαρακτηριστικό μωσαϊκό στα φύλλα πιπεριάς και μελιτζάνας και νηματόμορφα φύλλα στη τομάτα.

Καταπολεμείται με ανθεκτικές ποικιλίες, μέτρα για περιορισμό της μετάδοσης, απολύμανση απόρου, απολύμανση εδάφους και καταπολέμηση των αφίδων που είναι φορείς του ιού.

3.10. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ 31999R1455.

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1455/1999 της Επιτροπής, της 1ης Ιουλίου 1999, για τον καθορισμό του κανόνα εμπορίας για τις πιπεριές (γλυκίες)

Επίσημη Εφημερίδα αριθ. L 167 της 02/07/1999 σ. 0022 - 0026

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΚ) αριθ. 1455/1999 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

της 1ης Ιουλίου 1999

για τον καθορισμό του κανόνα εμπορίας για τις πιπεριές (γλυκές)

Η ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ,

Έχοντας υπόψη:

τη συνθήκη για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας,

τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 2200/96 του Συμβουλίου, της 28ης Οκτωβρίου 1996, περί κοινής οργανώσεως της αγοράς στον τομέα των οπωροκηπευτικών(1), όπως τροποποιήθηκε τελευταία από τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1257/1999 της Επιτροπής(2), και ιδίως το άρθρο 2 παράγραφος 2,

Εκτιμώντας:

(1) ότι οι πιπεριές (γλυκές) αναγράφονται στο παράρτημα I του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 2200/96 μεταξύ των προϊόντων για τα οποία πρέπει να εγκριθούν κανόνες εμπορίας· ότι ο κανονισμός (ΕΟΚ) αριθ. 79/88 της Επιτροπής, της 13ης Ιανουαρίου 1988, που καθορίζει κανόνες εμπορίας για τα μαρούλια, τα κατσαρά αντίδια, τα πλατύφυλλα αντίδια και τις πιπεριές(3), όπως τροποποιήθηκε τελευταία από τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 888/97(4), τροποποιήθηκε επανειλημμένως και δεν διασφαλίζει πλέον νομική σαφήνεια·

(2) ότι για λόγους σαφήνειας, πρέπει να καταστεί αυτόνομη, σε σχέση με άλλα προϊόντα που υπάγονται στον κανονισμό (ΕΟΚ) αριθ. 79/88, η νομοθεσία που αφορά τις πιπεριές (γλυκές)· ότι πρέπει, συνεπώς, να προβούμε σε αναμόρφωση της εν λόγω νομοθεσίας και να καταργήσουμε το παράρτημα II του κανονισμού αριθ. 79/88 όσον αφορά τις πιπεριές

(γλυκές)· ότι γι' αυτό, και για λόγους διαφάνειας στη διεθνή αγορά, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο κανόνας ποιότητας που συνιστάται για τις πιπεριές από την ομάδα εργασίας των προδιαγραφών των φθαρτών τροφίμων και της αναπτύξεως της ποιότητας της Οικονομικής Επιτροπής για την Ευρώπη των Ηνωμένων Εθνων (ΟΕΕ/ΟΗΕ)·

(3) ότι η εφαρμογή των κανόνων αυτών πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα να φύγουν από την αγορά τα προϊόντα που δεν έχουν ικανοποιητική ποιότητα, να προσανατολιστεί η παραγωγή με τρόπο ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των καταναλωτών και να διευκολυνθούν οι εμπορικές σχέσεις με βάση το θεμιτό ανταγωνισμό, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στη βελτίωση της αποδοτικότητας της παραγωγής·

(4) ότι οι κανόνες εφαρμόζονται σε όλα, τα στάδια εμπορίας· ότι η μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις, η αποθήκευση για ορισμένο χρόνο ή οι διάφοροι χειρισμοί στους οποίους υπόκεινται τα προϊόντα είναι δυνατόν να συνεπάγονται ορισμένες αλλοιώσεις που οφείλονται στη βιολογική εξέλιξη των προϊόντων αυτών ή στον κατά το μάλλον ή ήττον φθαρτό χαρακτήρα τους· ότι οι αλλοιώσεις αυτές πρέπει να ληφθούν υπόψη στην εφαρμογή των κανόνων στα στάδια εμπορίας που έπονται του σταδίου της αποστολής·

(5) ότι τα μέτρα που προβλέπονται στον παρόντα κανονισμό είναι σύμφωνα με τη γνώμη της επιτροπής διαχείρισης των νωπών οπωροκηπευτικών,

ΕΞΕΔΩΣΕ ΤΟΝ ΠΑΡΟΝΤΑ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ:

Άρθρο 1

Οι κανόνες εμπορίας για τις πιπεριές (γλυκές), που υπάγονται στον κωδικό ΣΟ 0709 60 10, αναγράφονται στο παράρτημα.

Οι κανόνες εμπορίας εφαρμόζονται σε όλα τα στάδια εμπορίας, με τους όρους που προβλέπονται στον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 2200/96.

Ωστόσο, στα στάδια που έπονται εκείνου της αποστολής, τα προϊόντα είναι δυνατό να παρουσιάζουν, σε σχέση με τις προδιαγραφές, μικρή μείωση της φρεσκάδας και της σπαργής, καθώς και μικρές αλλοιώσεις που οφείλονται στην εξέλιξή τους και στον κατά το μάλλον ή ήττον φθαρτό χαρακτήρα τους.

Άρθρο 2

Ο κανονισμός (ΕΟΚ) αριθ. 79/88 τροποποιείται ως εξής:

1. στον τίτλο, οι λέξεις "και τις πιπεριές" διαγράφονται·
2. στο άρθρο 1, το πρώτο εδάφιο αντικαθίσταται από το ακόλουθο κείμενο: "Οι εμπορικοί κανόνες για τα μαρούλια, τα κατσαρά αντίδια και τα πλατύφυλλα αντίδια των υπάγονται στους κωδικούς ex 0705 11, ex 0705 19 και 0705 29 00 της συνδυασμένης ονοματολογίας αναγράφονται στο παράρτημα."·
3. Το παράρτημα II διαγράφεται.

Άρθρο 3

Ο παρών κανονισμός αρχίζει να ισχύει την τρίτη ημέρα από τη δημοσίευσή του στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

Εφαρμόζεται την πρώτη ημέρα του μηνός που έπεται εκείνου της έναρξης ισχύος του.

Ο παρών κανονισμός είναι δεσμευτικός ως προς όλα τα μέρη του και ισχύει άμεσα σε κάθε κράτος μέλος.

Βρυξέλλες, 1η Ιουλίου 1999.

Για την Επιτροπή

Franz FISCHLER

Μέλος της Επιτροπής

(1) ΕΕ L 297 της 21.11.1996, σ. 1.

(2) ΕΕ L 100 της 26.6.1999, σ. 80.

(3) ΕΕ L 10 της 14.1.1988, σ. 8.

(4) ΕΕ L 126 της 17.5.1997, σ. 11.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΑΝΟΝΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΙΠΕΡΙΕΣ (ΓΛΥΚΙΕΣ)

I. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

Ο παρών κανόνας αφορά τις πιπεριές των ποικιλιών (cultivars) του *Capsicum annuum* L., που προορίζονται να παραδοθούν σε νωπή κατάσταση στον καταναλωτή, με εξαίρεση τις πιπεριές που προορίζονται για βιομηχανική μεταποίηση.

Ανάλογα με το σχήμα τους, διακρίνονται τέσσερις εμπορικοί τύποι πιπεριών:

- μακριές πιπεριές (επιμήκεις),
- πιπεριές τετράγωνου οξύληκτου σχήματος,
- πιπεριές τετράγωνου επιμήκους σχήματος ("σαν σβούρες"),
- πιπεριές πεπλατυσμένου σχήματος ("σαν τομάτες").

II. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Ο κανόνας έχει σαν στόχο να ορίσει τις ιδιότητες που πρέπει να έχουν οι πιπεριές μετά την τυποποίηση και τη συσκευασία.

A. Ελάχιστα χαρακτηριστικά

Σε όλες τις κατηγορίες, λαμβανομένων υπόψη των ειδικών διατάξεων που προβλέπονται για κάθε κατηγορία και των ανοχών που επιτρέπονται, οι πιπεριές πρέπει να είναι:

- ολόκληρες,
- υγιείς· αποκλείονται τα προϊόντα που έχουν προσβληθεί από σήψη ή από αλλοιώσεις που είναι δυνατόν να τα καταστήσουν ακατάλληλα για κατανάλωση,
- καθαρές, πρακτικά απαλλαγμένες από ορατές ξένες ουσίες,
- φρέσκες,
- πρακτικά απαλλαγμένες από παράσιτα,
- πρακτικά απαλλαγμένες από προσβολές παρασίτων,
- καλά αναπτυγμένες,

-
- χωρίς ελαττώματα που να οφείλονται στον παγετό,
 - χωρίς τραύματα που δεν έχουν επουλωθεί,
 - χωρίς ηλιακά εγκαύματα [εκτός ιδιαίτερων περιπτώσεων που καθορίζονται στο κεφάλαιο Β: Ταξινόμηση, σημείο ii)],
 - εφοδιασμένες με ποδίσκο,
 - απαλλαγμένες από ασυνήθιστη εξωτερική υγρασία,
 - απαλλαγμένες από ξένη οσμή ή/και ξένη γεύση.

Οι πιπεριές πρέπει να εμφανίζουν τέτοια ανάπτυξη και να βρίσκονται σε τέτοια κατάσταση ώστε:

- να αντέχουν στη μεταφορά και τη μεταχείριση, και
- να φθάνουν υπό ικανοποιητικές συνθήκες στον τόπο προορισμού.

B. Ταξινόμηση

Οι πιπεριές ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

i) Κατηγορία I

Οι πιπεριές που ταξινομούνται στην κατηγορία αυτή πρέπει να είναι καλής ποιότητας. Πρέπει να έχουν τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας και/ή του εμπορικού τύπου όσον αφορά την ανάπτυξη, το σχήμα και το χρώμα, λαμβανομένου υπόψη του σταδίου ωριμάνσεως.

Πρέπει να είναι:

- συνεκτικές,
- πρακτικά απαλλαγμένες από κηλίδες.

Ο ποδίσκος μπορεί να έχει υποστεί ελαφρά βλάβη ή να έχει κοπεί, εφόσον ο κάλυκας είναι άθικτος.

ii) Κατηγορία II

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τις πιπεριές που δεν μπορούν να ταξινομηθούν στην κατηγορία I, αλλά ανταποκρίνονται στα ελάχιστα χαρακτηριστικά που ορίζονται ανωτέρω.

Υπό τον όρο ότι διατηρούν τα βασικά χαρακτηριστικά ποιότητας, ικανότητας διατήρησης και παρουσίασης, μπορούν να παρουσιάζουν τα ακόλουθα ελαττώματα:

- ελαττώματα σχήματος και ανάπτυξης,
- ηλιακά εγκαύματα ή ελαφρά τραύματα που έχουν επουλωθεί και που δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 2 cm μήκους για τα ελαττώματα επιμήκους σχήματος και το 1 cm² συνολικής επιφάνειας για τα άλλα ελαττώματα.
- ελαφρές ρωγμές ξηρές και επιφανειακές, το σύνολο των οποίων δεν πρέπει να υπερβαίνει αθροιστικά μήκος 3 cm.

Είναι δυνατόν να είναι λιγότερο συνεκτικές, αλλά όχι μαραμμένες.

Ο ποδίσκος μπορεί να έχει ελαττώματα ή να είναι κομμένος.

III. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΜΕΓΕΘΟΣ

Η ταξινόμηση κατά μέγεθος καθορίζεται από τη διάμετρο (πλάτος) των πιπεριών. Ως "πλάτος" των πεπλατυσμένων πιπεριών ("σαν τομάτες"), νοείται η μέγιστη διάμετρος της ισημερινής τομής.

Για τα προϊόντα που ταξινομούνται κατά μέγεθος, η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης πιπεριάς, στο ίδιο μέσο συσκευασίας, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 mm.

Το πλάτος των πιπεριών δεν πρέπει να είναι κατώτερο από:

- μακριές πιπεριές (επιμήκεις): 30 mm
- πιπεριές τετράγωνου οξύληκτου σχήματος και πιπεριές τετράγωνου επιμήκους σχήματος ("σαν σβούρες"): 40 mm
- πιπεριές πεπλατυσμένου σχήματος ("σαν τομάτες"): 55 mm

Η ταξινόμηση κατά μέγεθος δεν είναι υποχρεωτική για την κατηγορία II, με την προϋπόθεση ότι τηρούνται τα ελάχιστα μεγέθη.

Οι διατάξεις του παρόντος κεφαλαίου δεν ισχύουν για τις λεπτόφλοιες πιπεριές μεσαίου μήκους (τύπου "peperoncini" = πιπερονσίνια) που προέρχονται από ειδικές ποικιλίες του *Capsicum annuum* L. var *longum*. Αυτές πρέπει να έχουν μήκος ανώτερο από 5 cm.

IV. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΙΣ ΑΝΟΧΕΣ

Επιτρέπονται ανοχές ποιότητας και μεγέθους σε κάθε μέσο συσκευασίας για τα προϊόντα που δεν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της αναγραφόμενης κατηγορίας.

A. Ανοχές ποιότητας

i) Κατηγορία I

10 % κατ' αριθμό ή κατά βάρος πιπεριών που δεν ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά της κατηγορίας, αλλά είναι σύμφωνες με εκείνα της κατηγορίας II, ή, κατ' εξαίρεση, γίνονται δεκτές στις ανοχές της κατηγορίας αυτής.

ii) Κατηγορία II

10 % κατ' αριθμό ή κατά βάρος πιπεριών που δεν ανταποκρίνονται ούτε στα χαρακτηριστικά της κατηγορίας ούτε στα ελάχιστα χαρακτηριστικά, εκτός από προϊόντα που έχουν προσβληθεί από σήψη ή από οποιαδήποτε άλλη αλλοίωση που τις καθιστά ακατάλληλες για κατανάλωση.

B. Ανοχές μεγέθους

i) Κατηγορία I

10 % κατ' αριθμό ή κατά βάρος πιπεριών που δεν ανταποκρίνονται στα καθορισμένα μεγέθη, εντός ορίου ± 5 mm, από τις οποίες κατ' ανώτατο όριο 5 % πιπεριών μεγέθους μικρότερου από το λαμβανόμενο υπόψη κατώτατο όριο.

ii) Κατηγορία II

- Πιπεριές που ταξινομούνται κατά μέγεθος

10 % κατ' αριθμό ή κατά βάρος πιπεριών που δεν ανταποκρίνονται στα καθορισμένα μεγέθη, εντός ορίου ± 5 mm, από τις οποίες κατ' ανώτατο όριο 5 % πιπεριών μεγέθους μικρότερου από το λαμβανόμενο υπόψη κατώτατο όριο.

- Πιπεριές που δεν ταξινομούνται κατά μέγεθος

5 % κατ' αριθμό ή κατά βάρος πιπεριών μεγέθους μικρότερου από το κατώτατο όριο που λαμβάνεται υπόψη, εντός ορίου 5 mm.

V. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

A. Ομοιογένεια

Το περιεχόμενο κάθε μέσου συσκευασίας πρέπει να είναι ομοιογενές και να περιλαμβάνει μόνο πιπεριές της ίδιας καταγωγής, ποικιλίας ή εμπορικού τύπου, ποιότητας, μεγέθους (εφόσον επιβάλλεται η ταξινόμηση κατά μέγεθος) και, όσον αφορά την κατηγορία I, να βρίσκονται αισθητά στο ίδιο στάδιο ωρίμανσης και να έχουν το ίδιο χρώμα.

Ωστόσο, επιτρέπεται το μείγμα πιπεριών διαφόρων χρωμάτων εφόσον τηρείται η ομοιογένεια όσον αφορά την καταγωγή, τον εμπορικό τύπο, το μέγεθος και την ποιοτική κατηγορία και εφόσον ο αριθμός των πιπεριών κάθε χρώματος είναι ο ίδιος.

Για τις μικρές συσκευασίες βάρους μικρότερου ή ίσου από 1 kg δεν απαιτείται η ομοιογένεια του χρώματος, του μεγέθους και του εμπορικού τύπου. Σε περιπτώσεις που διατίθενται στο εμπόριο πιπεριές διαφόρων χρωμάτων, δεν απαιτείται η ομοιογένεια όσον αφορά την καταγωγή,

Για τα προϊόντα που ταξινομούνται κατά μέγεθος, οι μακριές πιπεριές πρέπει να έχουν αρκετά ομοιόμορφο μήκος.

Το ορατό μέρος του περιεχομένου του μέσου συσκευασίας πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του συνόλου.

B. Συσκευασία

Οι πιπεριές πρέπει να συσκευάζονται κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η κατάλληλη προστασία του προϊόντος.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό του μέσου συσκευασίας πρέπει να είναι καινούργια, καθαρά και από τέτοιο υλικό, ώστε να μην δημιουργεί στα προϊόντα εξωτερικές ή εσωτερικές αλλοιώσεις. Η χρησιμοποίηση υλικών και ιδίως χαρτιών ή σημάτων που φέρουν εμπορικές ενδείξεις επιτρέπονται, υπό τον όρο ότι η εκτύπωση ή η σήμανση πραγματοποιούνται με μη τοξική μελάνη ή κόλα.

Τα μέσα συσκευασίας, πρέπει να είναι απαλλαγμένα από κάθε ξένο σώμα.

VI. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗ ΣΗΜΑΝΣΗ

Κάθε μέσο συσκευασίας πρέπει να περιλαμβάνει με χαρακτήρες που θα είναι συγκεντρωμένοι στην ίδια πλευρά, ευανάγνωστους, ανεξίτηλους και ορατούς εξωτερικά, τις ακόλουθες ενδείξεις:

A. Ταυτοποίηση

Συσκευαστής και/ή αποστολέας: Ονοματεπώνυμο και διεύθυνση ή συμβολική ταυτοποίηση που έχει δοθεί ή έχει αναγνωριστεί από μία επίσημη υπηρεσία. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιείται κωδικός (συμβολική ταυτοποίηση), η ένδειξη "συσκευαστής ή/και αποστολέας" (ή ισοδύναμη συντομογραφία) πρέπει να αναγράφεται πλησίον του κωδικού αυτού (συμβολική ταυτοποίηση).

B. Φύση του προϊόντος

- "Πιπεριές (γλυκές)" και το χρώμα ή τα χρώματα των καρπών εάν το περιεχόμενο δεν φαίνεται απέξω,

- εμπορικός τύπος ("μακριές", "τετράγωνες οξύληκτες", "τετράγωνες επιμήκεις", "πεπλατυσμένες") ή το όνομα της ποικιλίας αν το περιεχόμενο δεν φαίνεται απέξω,

- "perperoncini" (πιπερονσίνια) ή ενδεχομένως οποιαδήποτε άλλη συνώνυμη ονομασία.

Γ. Προέλευση του προϊόντος

- Χώρα προέλευσης και, προαιρετικά, ζώνη παραγωγής, ή εθνική, περιφερειακή ή τοπική ονομασία.

Δ. Εμπορικά χαρακτηριστικά

- κατηγορία,

- μέγεθος (σε περίπτωση ταξινόμησης κατά μέγεθος) που προσδιορίζεται από την ελάχιστη και τη μέγιστη διάμετρο ή, ενδεχομένως η ένδειξη "μη ταξινομημένες κατά μέγεθος",

- βάρος ή αριθμός τεμαχίων (προαιρετικό).

Ε. Επίσημο σήμα ελέγχου (προαιρετικό)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1. ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Οι μετρήσεις έγιναν την περίοδο από Ιούλιο έως Νοέμβριο 2005 στο γυάλινο θερμοκήπιο του τμήματος Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου (Εικόνα 26) στους Κωστακίους Άρτας (Γεωγραφικό Πλάτος 39° 07'N, Γεωγραφικό Μήκος 20° 56'Ε, Υψόμετρο 5 m).



Εικόνα 26. Πειραματικό θερμοκήπιο

Το συγκεκριμένο πείραμα αποτέλεσε μέρος ενός γενικότερου πειράματος που έγινε στο πλαίσιο συνεργασίας του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με το Τμήμα Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου και αφορούσε τη συνδυασμένη μελέτη της θρέψης αλλά και του κλίματος σε υδροπονικές καλλιέργειες πιπεριάς (*Capsicum annuum* L. cv. Calyx F1) και μελιτζάνας το οποίο διεξήχθη κατά τα έτη 2004- 2007.

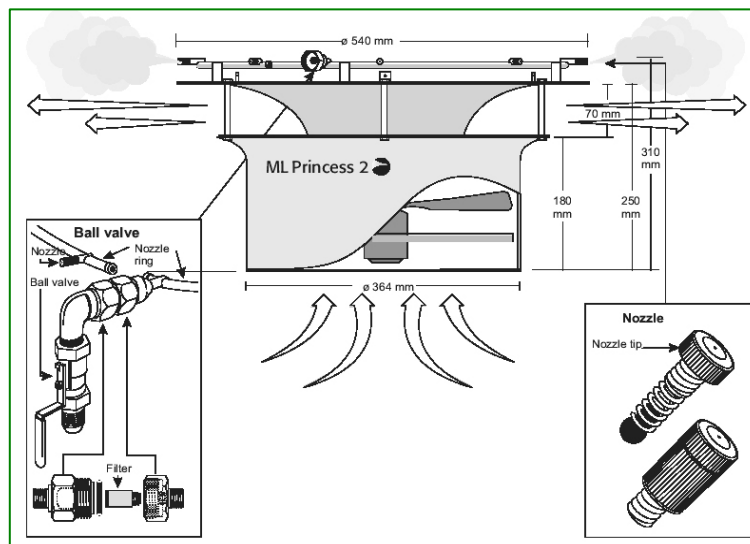
Το θερμοκήπιο είναι αμφικλινές, διπλό, με προσανατολισμό κορυφιά Α-Δ., με μεταλλικό σκελετό και υλικό κάλυψης από υαλοπίνακες μαρτελέ, πάχους 4 mm. Τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά είναι: ύψος υδρορροής = 3,15 m, ύψος κορυφιά = 4,40 m, πλάτος κόλπου = 6,50 m, μήκος = 46 m, εμβαδόν = 600 m², όγκος = 2270 m³. Το δάπεδο του ήταν στρωμένο με σκυρόδεμα.

Όσον αφορά τον εξοπλισμό του θερμοκηπίου:

- Ο αερισμός γίνεται από δύο συνεχή ανοίγματα στην οροφή (στη βόρεια πλευρά κάθε κόλπου) και ένα πλαϊνό άνοιγμα στην νότια πλευρά, τα οποία συνδέονται με άρθρωση στο πάνω μέρος τους. Τα ανοίγματα έχουν μήκος 45,90m, αυτά της οροφής έχουν πλάτος 1,55m και μέγιστο εμβαδόν 43m² ενώ το πλαϊνό έχει ύψος 1,00m και μέγιστη επιφάνεια 23m².
- Εκτός του φυσικού αερισμού για τον έλεγχο του κλίματος χρησιμοποιούνται συνολικά 6 μονάδες υδρονέφωσης (Εικόνα 27)ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά μήκος της μεσαίας υδρορροής του θερμοκηπίου (ML Princess 2, ML System, με 8 ακροφύσια ανά μονάδα και ανεμιστήρα κατακόρυφης κίνησης αέρα, πίεση λειτουργίας 40bar και παροχή 36 L h⁻¹ για την κάθε μονάδα) καθώς και κουρτίνα σκίασης

(επιτυγχάνει σκίαση της τάξης του 50% σύμφωνα με τον κατασκευαστή).

- Ακόμη υπάρχει σύστημα θέρμανσης με σωληνώσεις ζεστού νερού περιμετρικά και εντός του θερμοκηπίου.



Εικόνα 27. Ο υγραντήρας MLSystem Princess και ο τρόπος λειτουργίας του
Η θρέψη της καλλιέργειας γίνεται με κλειστό σύστημα υδροπονίας και η άρδευση με σύστημα στάγδην με σταλάκτες ανά φυτό, η παροχή των οπίων ήταν 50ml/min και η διάρκεια άρδευσης 90s (Εικόνα 28).



Εικόνα 28. Το σύστημα άρδευσης και ο τρόπος τοποθέτησης των φυτών πιπεριάς.

Η καλλιέργεια γίνεται σε πάγκους ύψους 0,85 m, σε κάθε πάγκο υπάρχουν 2 κανάλια μήκους 5 m και πλάτους 0,25 m. Συνολικά είναι εγκατεστημένοι 36 πάγκοι. Όλα τα συστήματα (κλίμα, θρέψη και άρδευση) ελέγχονται από ειδική μηχανή και λογισμικό της Autonet.

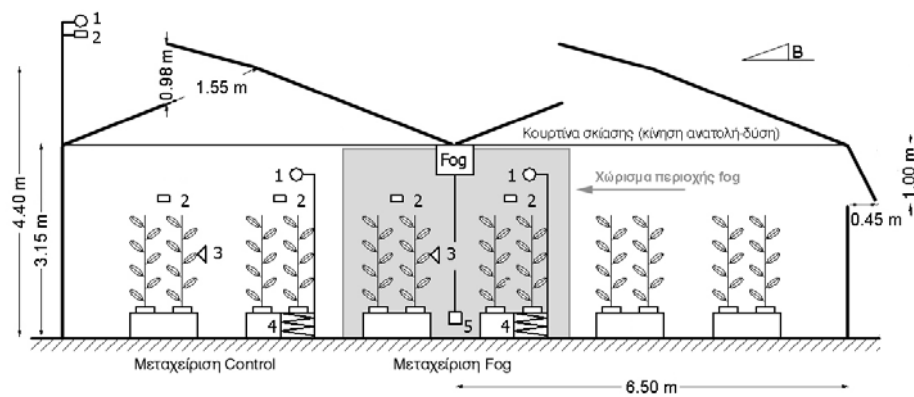
Για το συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε το μεσαίο τμήμα του θερμοκηπίου (1/3 της έκτασης) που αποτελείται από 12 πάγκους. Σε κάθε πάγκο φυτεύτηκαν 15 φυτά / κανάλι σε γλάστρες των 4 L με υπόστρωμα ελαφρόπετρας στο ένα κανάλι και σάκους FytoCell, μήκους 1 m στο άλλο (Εικόνα 29).

Τα κανάλια ήταν σκεπασμένα με αδιαφανές πλαστικό φύλλο ώστε να περιορίζεται στο ελάχιστο η εξάτμιση από αυτά. Η πυκνότητα φύτευσης ήταν 2,60 φυτά m⁻². Στην Εικόνα 30 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη και τα όργανα μέτρησης των κλιματικών παραμέτρων.

Τέσσερις πάγκοι πάνω από τους οποίους ήταν δύο μονάδες υδρονέφωσης απομονώθηκαν με πλαστικό φύλλο που έφτανε έως το ύψος της υδρορροής και αποτελούσαν την μεταχείριση Fog. Άλλοι τέσσερις πάγκοι αποτελούσαν την μεταχείριση μάρτυρα (Control). Οι κλιματικές ρυθμίσεις κατά την περίοδο του πειράματος είχαν ως εξής: συνεχής λειτουργία της υδρονέφωσης από 10:00 έως 18:00 με στόχο την διατήρηση της σχετικής υγρασίας στο 80%, διατήρηση των ανοιγμάτων ανοικτών όσο η θερμοκρασία στην περιοχή Fog ήταν μεγαλύτερη των 26°C, διατήρηση της κουρτίνας ανοικτής με κάλυψη 80% της επιφάνειας του θερμοκηπίου ώστε να μην εμποδίζεται ο φυσικός αερισμός και διαχείριση άρδευσης με βάση το άθροισμα της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας με ποτίσματα ανά 350 Wh κατά μέσο όρο και στόχο απορροής 35%.



Εικόνα 29. Ένα μέρος του συστήματος άρδευσης (μαύρα βαρέλια τροφοδοσίας και κόκκινα δοχεία απορροής).



Εικόνα 30. Τομή του θερμοκηπίου με την πειραματική εγκατάσταση και τα όργανα μέτρησης των κλιματικών παραμέτρων: 1-πυρανόμετρο, 2-αισθητήρας θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρα, 3-θερμοζεύγη για μέτρηση θερμοκρασίας φύλλου, 4-λυσιμετρικοί ζυγοί και 5-παροχόμετρο.

4.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.2.1 Κλιματικές

Αισθητήρες και συστήματα καταγραφής μετρήσεων

Όσο αφορά τις μετρήσεις των κλιματικών παραγόντων, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες διατάξεις:

1. Οκτώ (8) δικάναλα καταγραφικά θερμοκρασίας/ υγρασίας, με μνήμη 64K, HOBO Pro RH/Temp Data Logger H08-032-08 (η ανάκτηση των δεδομένων έγινε με το λογισμικό BoxCar Pro 4.3) για μέτρηση θερμοκρασίας ($T_{d,i}$, °C) και σχετικής υγρασίας αέρα (HR_i , %) και υπολογισμό του ελλείμματος κορεσμού του αέρα (D_i , kPa).
2. Επτά (7) θερμοζεύγη χαλκού – κωνσταντάνης (type T, διάμετρος αισθητήρα 1 mm, Omega Engineering, Manchester, U.K.) για μέτρηση θερμοκρασίας φύλλου (T_i , °C). Οι αισθητήρες ήταν σε επαφή με την κάτω πλευρά των φύλλων, σε αντιπροσωπευτικά φύλλα στην μέση περίπτωση του ύψους 7 υγιών και του φυτού) η μέση θερμοκρασία φύλλου (T_c , °C) υπολογιζόταν από το μέσο όρο των μετρήσεων.
3. Δύο (2) πυρανόμετρα (SKYE Αγγλίας SKS 1110 Pyranometer, Εύρος: 0-1500 περίπου W/m^2 , Μήκος κύματος: 400-1100nm, Ακρίβεια: 3%, Μονάδα: W/m^2) για μέτρηση ολική ηλιακής (άμεση και διάχυτη) ακτινοβολίας ($G_i, W/m^2$) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Εικόνα 31)



Εικόνα 31. Πυρανόμετρο

4. Δύο λυσίμετρα – ζυγοί (Εικόνα 32), (Precisa 6000 GSCS 62kg max, ακρίβεια $\pm 1gr$) για μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής σε κάθε μεταχείριση (πάνω σε κάθε ζυγό ήταν ακουμπισμένο μεταλλικό δοχείο που έφερε 3 γλάστρες και σύστημα ανάρτησης των φυτών. Το δοχείο είχε ψηλά τοιχώματα για να συγκεντρώνεται το νερό της απορροής και βαλβίδα για να αδειάζει ανά διαστήματα, οι γλάστρες ήταν σκεπασμένες με αδιαφανές πλαστικό ώστε να μην υπάρχει εξάτμιση από το υπόστρωμα και την απορροή),



Εικόνα 32. Λυσίμετρο

5. Παράλληλα γίνονται καταγραφή του όγκου νερού (I) που εκνεφώνονται από τις δύο μονάδες υδρονέφωσης (παροχόμετρο model DN 25, Actaris, France)

Παράλληλα με τις μετρήσεις των κλιματικών παραμέτρων του εσωτερικού κλίματος του θερμοκηπίου καταγράφονται και οι ακόλουθες παρράμετροι του εξωτερικού κλίματος: ολική ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία αέρα, έλλειμμα κορεσμού (G_o , $T_{d,o}$, και D_o αντίστοιχα) και ταχύτητα ανέμου (u , m/s)

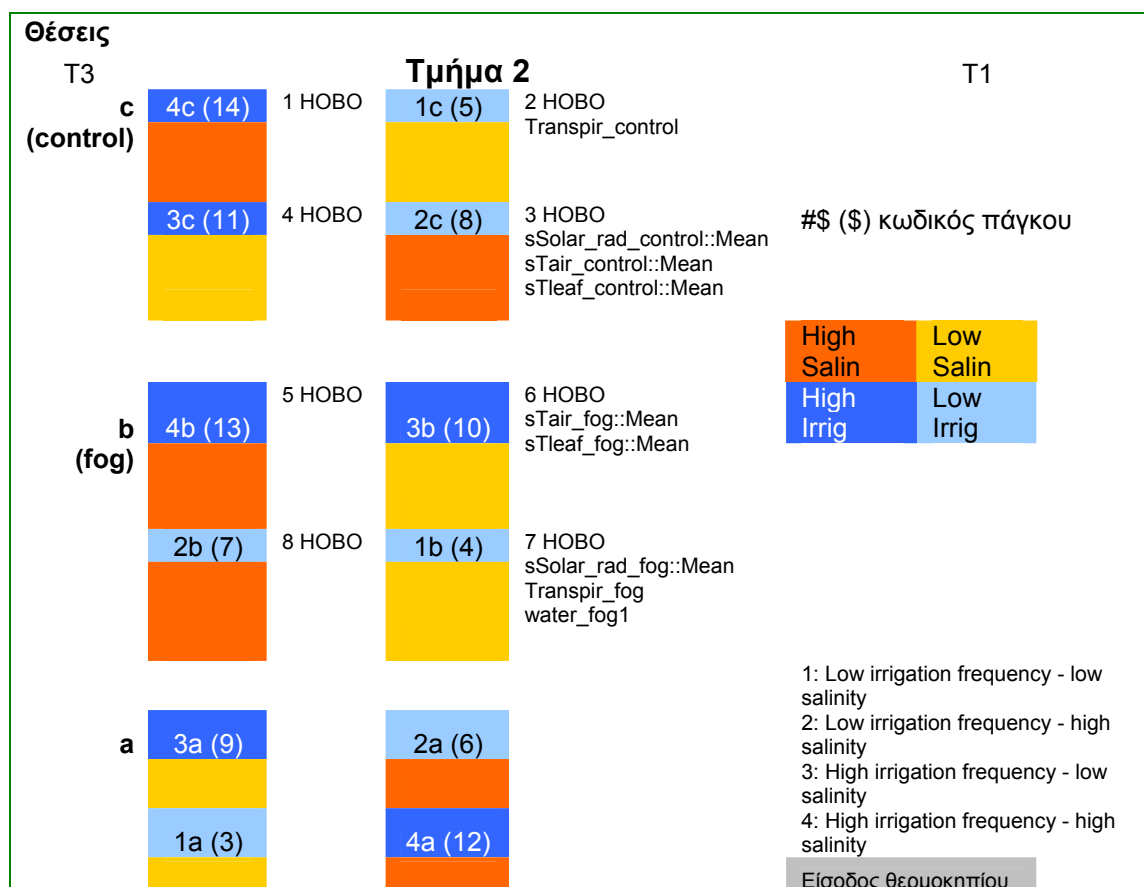
Όλες οι μετρήσεις συγκεντρώνονται σε ένα data logger (DL3000 Delta_t Devices, Cambridge, UK) και για την ανάκτησή του χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Delta T Aquire.

Οι μετρήσεις των HOBO (Εικόνα 33) και των ζυγών γίνονται ανά 1 λεπτό, ενώ όλες οι υπόλοιπες γίνονται κάθε 30s και καταγράφονται οι μέσοι όροι 10λέπτου.



Εικόνα 33. Αισθητήρας HOBO

Στην Εικόνα 34 παρουσιάζεται η ακριβής θέση των αισθητήρων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.



Εικόνα 34. Θέσεις αισθητήρων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

4.2.2. Αγρονομικές

Όσον αφορά την καλλιέργεια έγιναν οι ακόλουθες μετρήσεις:

4.2.2.1. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI: m² φυλλικής επιφάνειας m⁻² εδάφους). Ο LAI εκτιμήθηκε μέσω καταστροφικών μετρήσεων ολόκληρων φυτών, των οποίων τα φύλλα σαρώθηκαν σε σαρωτή (scanner, GT 9500, Epson, Nagano, Japan). Οι μετρήσεις αυτές έγιναν τρεις φορές, στις 9 Αυγούστου, στις 26 Σεπτεμβρίου και στις 22 Νοεμβρίου και κάθε φορά μετρήθηκαν η φυλλική επιφάνεια, το μήκος και το πλάτος όλων των φύλλων τεσσάρων (4) φυτών ανά μεταχείριση. Ο LAI της καλλιέργειας πιπεριάς κατά τη διάρκεια του πειράματος υπολογίσθηκε στατιστικά με μη γραμμική παλινδρόμηση των μετρημένων τιμών LAI στις παραπάνω ημερομηνίες.

4.2.2.2. Παραγωγή. Οι καρποί συγκομιζόντουσαν δύο φορές την εβδομάδα για κάθε μεταχείριση. Η συγκομιδή άρχισε την 10^η Αυγούστου 2005 και ολοκληρώθηκε 22^α Νοεμβρίου 2005. Οι συγκομιζόμενοι καρποί ζυγίζονταν και υπολογιζόταν:

- Το συνολικό βάρος καρπών (kg/ φυτό).

- Ο συνολικός αριθμός καρπών ανά φυτό.
- Το μέσο βάρος καρπών (g).

Οι μετρήσεις βάρους πραγματοποιήθηκαν με ηλεκτρονικό ζυγό, (Model Presica 60000 G SCS), διακριτικότητας 5000g. Η συνολική ακρίβεια των μετρήσεων είναι της τάξεως του $\pm 0,01g$.

4.2.2.3. Ποιότητα. Σε κάθε συγκομιδή οι καρποί αφού ζυγίζοντουσαν ταξινομούνταν στις κατηγορίες Class I και II, και μη εμπορεύσιμη παραγωγή σύμφωνα με τα πρότυπα της ευρωπαϊκής Ένωσης [EU standards, Commission Regulation (EC) no 1455/1999] που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 3. Δείγματα 30 καρπών ανά μεταχείριση και ημερομηνία συγκομιδής επιλέχθηκαν τυχαία έξι φορές καθόλη τη διάρκεια της περιόδου συγκομιδής και χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις ποιότητας. Οι μετρήσεις αυτές περιελάμβαναν:

- διάμετρο καρπού.
- Ύψος καρπού.
- Όγκο καρπού.
- Ζημιές στους καρπούς (Ξηρή σήψη κορυφής, BER).
- Χρώμα καρπού [οι συνιστώσες L^* , a^* , b^* , του χρώματος σύμφωνα με το σύστημα μέτρησης CIELAB, που υιοθετήθηκε από τη CIE 1976 (International Commission de l' Eclairage)].
- Η περιεκτικότητα των καρπών σε διαλυτά στερεά (BRIX %).
- pH του χυμού και ογκομετρούμενη οξύτητα των καρπών.

1. Όγκος των καρπών

Για τη μέτρηση του όγκου των καρπών, (cm^3), ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Σε ένα βαθμονομημένο ποτήρι ζέσεως, μετρούνταν η άνοδος της στάθμης συγκεκριμένης ποσότητας νερού, λόγω της εμβάπτισης του καρπού και κατ' αυτόν τον τρόπο μετριόταν ο όγκος του καρπού πιπτεσριάς σε cm^3 .

2. Ζημιές

Οι ζημιές στους καρπούς μπορεί να είναι α) Ελαττώματα (Defects), β) Σχισίματα (Breaks), γ) Ουλές (Scars), δ) Παραμορφώσεις (Disorders), ε) Ζημιές από έντομα, στ) Ξηρή σήψη κορυφής (Blossom end rot).

Στο πείραμά μας και τους συγκομισμένους καρπούς λαμβάνονταν κάθε φορά παρατηρήσεις που αφορούσαν την ύπαρξη ή μη ξηρής σήψης κορυφής (BER).

3. Χρώμα καρπών

Οι μετρήσεις χρώματος πραγματοποιήθηκαν με το χρωματόμετρο Miniscan XE Plus (model MSXP-4500L, Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, Virginia, U.S.A.) σε δύο αντίθετες πλευρές της επιφάνειας των καρπών πιπεριάς στην ισημερινή περιοχή. Η βαθμονόμηση του οργάνου γινόταν με το λευκό και μαύρο εργοστασιακό πρότυπο.

Αυτό γίνεται τοποθετώντας αρχικά τη μαύρη γυάλινη πλάκα και στη συνέχεια τη λευκή πλάκα στην ειδική βάση όπως φαίνεται παρακάτω στις εικόνες 35 και 36.

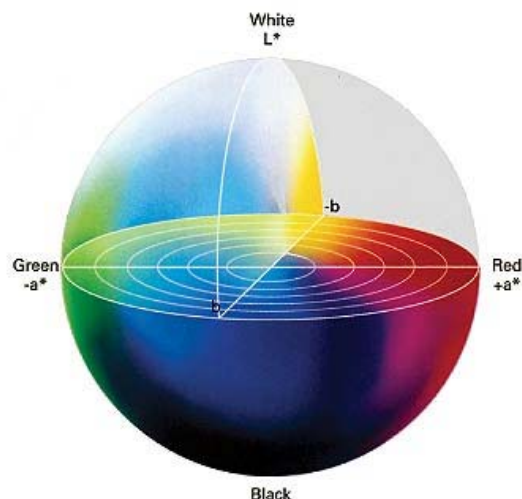


Εικόνα 35. Βαθμονόμηση με τη μαύρη γυάλινη πλάκα



Εικόνα 36. Βαθμονόμηση με τη λευκή πλάκα

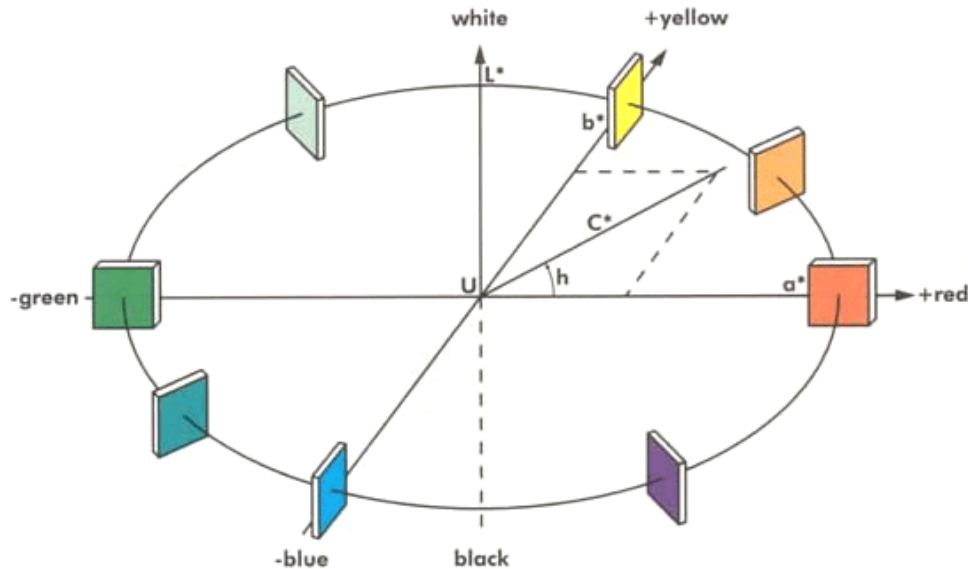
Έγινε σύμφωνα με το σύστημα μέτρησης CIELAB. Στο CIE 1976 (L^* , a^* , b^*), συντομογραφία CIELAB, ο συντελεστής φωτεινότητας L^* , κυμαίνεται από μαύρο = 0 έως λευκό = 100. Για κάθε μέτρηση, φωτεινότητας, L^* , οι συντεταγμένες (a^* , b^*) δίνουν το χρώμα σε ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων κάθετο στον L^* άξονα, στο L^* . Το χρώμα στην αρχή των αξόνων, ($a^*=0$, $b^*=0$), είναι γκρι. Στον οριζόντιο άξονα, θετικές τιμές του a^* , υποδεικνύουν ένα χρώμα κόκκινο-μωβ, ενώ οι αρνητικές τιμές του a^* , μπλε-πράσινο. (το κόκκινο αντιστοιχεί στην τιμή $a^*=+50$ και το πράσινο στην τιμή $a^*=-50$). Στον κάθετο άξονα, θετικές τιμές του b^* , υποδεικνύουν ένα χρώμα κίτρινο ($b^*=+50$) και οι αρνητικές μπλε ($b^*=-50$), (Εικόνα 37).



Εικόνα 37. Σύστημα μέτρησης CIELAB

Η σωστή ποσοτικοποίηση των τρισδιάστατων χρωματικών στοιχείων βασίζεται σε τριγωνομετρικές εξισώσεις. Ένας χρωματικός κύκλος έχει 360° , με το κόκκινο-μωβ να βρίσκεται στο δεξιό άκρο (ή σε μία γωνία 0°), το κίτρινο,

μπλε-πράσινο και μπλε ακολουθούν αντίθετα προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού στις 90°, 180° και 270° (Εικόνα 38).



Εικόνα 38. Χρωματικός κύκλος

Η μέτρηση του χρώματος μπορεί να βρεθεί κατά τον υπολογισμό της γωνίας του χρώματος, hue angle (H°) και της έντασης, Chroma C^* , που υπολογίζονται από τα a^* , b^* .

Το Chroma C^* , υπολογίζεται ως εξής:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (28)$$

και αντιπροσωπεύει την υποτείνουσα ενός ορθογώνιου τριγώνου που δημιουργείται από την ένωση των τριών σημείων $(0,0)$, (a^*, b^*) και $(a^*, 0)$.

Η γωνία hue angle (H°), είναι η γωνία μεταξύ της υποτείνουσας και του άξονα του a^* . Το H° υπολογίζεται από το τόξο της εφαπτομένης του b^*/a^* ως εξής (Raymond et al., 1992):

$$H^{\circ} = \arctan (b^*/a^*) \quad (29)$$

όταν $a^* > 0$ και $b^* \geq 0$

$$H^{\circ} = 180^{\circ} + \arctan (b^*/a^*) \quad (30)$$

όταν $a^* < 0$ και $b^* \geq 0$

Στο πείραμά μας υπολογίσθηκε η παράμετρος Chroma C^* που δείχνει την ένταση (ή κορεσμό) του χρώματος. Υψηλότερες τιμές της Chroma C^* δείχνουν

ένα πιο ζωντανό χρώμα ενώ μικρότερες τιμές της Chroma C* δείχνουν ένα πιο ασθενές (θαμπό) χρώμα.

4. Περιεκτικότητα του χυμού των καρπών σε ολικά διαλυτά στερεά (BRIX %)

Η μέτρηση των διαλυτών στερεών, πραγματοποιήθηκε με το φορητό διαθλασίμετρο, (μοντέλο ART 53000C, TR di Turoni & C. snc, Forli, Italy). Τα χαρακτηριστικά του οργάνου αυτού ήταν : διαβάθμιση της κλίμακας °Brix από 0 - 32 %, αυτόματη αντιστάθμιση της θερμοκρασίας, ανάλυση 0,2 %.

Οι καρποί ομογενοποιούνταν σε αναμείκτη και στη συνέχεια πραγματοποιούνταν η μέτρηση σε μικρή ποσότητα του πολτοποιημένου δείγματος, μετά τη διήθησή της με κατάλληλο ηθμό.

The free acidity in the fruit sap was measured by titration with 0.1 M NaOH to pH 8.0, while the total soluble solids were determined in the fruit sap using a manual refractometer (model ART 53000C, TR di Turoni & C. snc, Forli, Italy). Comparison of means was performed by subjecting the data to one-way analysis of variance at a significance level of 0.05 using the SPSS-11 statistical package.

5. pH και ογκομετρούμενη οξύτητα

Ο προσδιορισμός του pH και της ογκομετρούμενης οξύτητας, πραγματοποιούνταν σε 50ml εκχυλίσματος, (10g πολτοποιημένου δείγματος αναμιγνύονταν με 100ml απεσταγμένου νερού). Το εκχύλισμα, μετά από προσθήκη 3-4 σταγόνων δείκτη φαινολοφθαλεΐνης (αλκοολικό διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης 1%), τιτλοδοτούνταν με διάλυμα NaOH συγκέντρωσης 0,01 M σε pH 8.0,, (μέχρι αλλαγή του χρώματος του δείκτη). Η ογκομετρούμενη οξύτητα εκφράζονταν ως ποσοστό % του κιτρικού οξέος.

4.3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων που προαναφέρθηκαν, έγινε χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS- 11.

Οι συγκρίσεις μέσω των όρων έγιναν κάνοντας one-way ανάλυση παραλλάκτικότητας (ANOVA) των πειραματικών δεδομένων σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Από τη μελέτη των πειραματικών στοιχείων διαπιστώθηκε πως τα κλιματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2005, παρουσίασαν αντίστοιχη τάση ημερήσιας εξέλιξης καθ' όλη σχεδόν την πειραματική περίοδο. Ως εκ τούτου θα παρουσιασθούν στο Κεφάλαιο αυτό δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια χαρακτηριστικών ημερών της καλοκαιρινής πειραματικής περιόδου. Τα δεδομένα που επιλέχθηκαν για ανάλυση αντιστοιχούν στις ημερομηνίες 27 και 28 Αυγούστου και 2 και 3 Σεπτεμβρίου 2005. Κατά τις ημερομηνίες αυτές, όπως θα παρουσιασθεί στη συνέχεια, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (*LAI*) ήταν ίδιος και στις δύο μεταχειρίσεις και είχε τιμή περίπου 3. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται παρακάτω αποτελούν το μέσο όρο 30min των πειραματικών πρωτογενών μετρήσεων για το χρονικό διάστημα από 06:00 h - 21:00 h τοπικός χρόνος των προαναφερθεισών ημερών. Η μέση τιμή της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο ολική ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των ημερών που επιλέχθηκαν και για το χρονικό διάστημα από 10:00 h έως 18:00 h που λειτουργούσε το σύστημα δροσίσιμου (fog system), ήταν περίπου 120 W m^{-2} . Πρέπει να επισημάνουμε στο σημείο αυτό πως το θερμοκήπιο σκιαζόταν με σύστημα εσωτερικής επιμεταλλωμένης θερμοκουρτίνας η οποία, όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 4 μείωνε την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κατά περίπου 50%. Επιπλέον βρέθηκαν πολύ μικρές διαφορές στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό και των δύο μεταχειρίσεων με και χωρίς fog system, κάτι που πιστοποιεί πως το fog system ελάχιστα επηρέασε τη σκίαση του αντίστοιχου τμήματος του θερμοκηπίου.

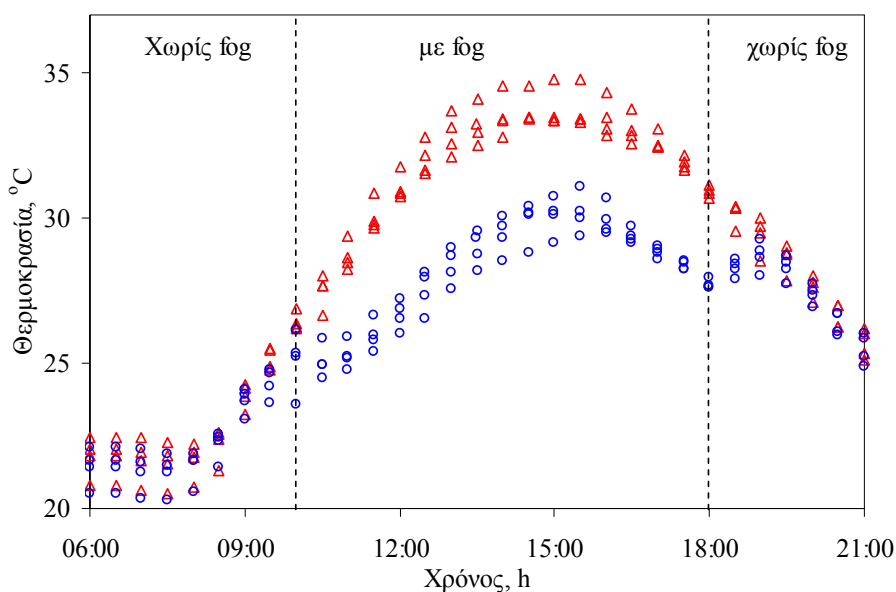
5.1.1. Θερμοκρασία αέρα και καλλιέργειας

Η Εικόνα 39 δείχνει την ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου στις ημέρες που επιλέχθηκαν. Φαίνεται πως η θερμοκρασία του αέρα είναι ίδια και στα δύο διαμερίσματα (με και χωρίς fog) πριν τις 10:00 h και μετά τις 18:00 h, δηλαδή κατά την περίοδο της ημέρας που το σύστημα fog δε λειτουργούσε. Αντίθετα, αμέσως μετά τις 10:00 h που το σύστημα δροσίσιμου fog αυτόματα ενεργοποιείται, η θερμοκρασία του αέρα στο διαμέρισμα που ψύχεται με το fog μειώνεται κατά περίπου 3°C με 4°C σε σύγκριση με το χώρο του θερμοκηπίου- μάρτυρα (χωρίς fog). Η μέση θερμοκρασία αέρα κατά την περίοδο μεταξύ 10:00 h και 18:00 h, ήταν 31.7°C και 28.0°C στα τμήματα του θερμοκηπίου χωρίς και με fog system, αντίστοιχα. Οι μέσες θερμοκρασίες αέρα στο διάστημα μεταξύ 10:00 h και 18:00 h, που μετρήθηκαν στα δύο διαμερίσματα κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο 2005, φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 3. Σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα $T_{a,o}$, η θερμοκρασία του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου με σύστημα fog ήταν περίπου 1.5°C μικρότερη, ενώ στο χώρο του θερμοκηπίου χωρίς fog ήταν 2.2°C μεγαλύτερη.

Πίνακας 3. Μέσες τιμές των χαρακτηριστικών παραμέτρων του

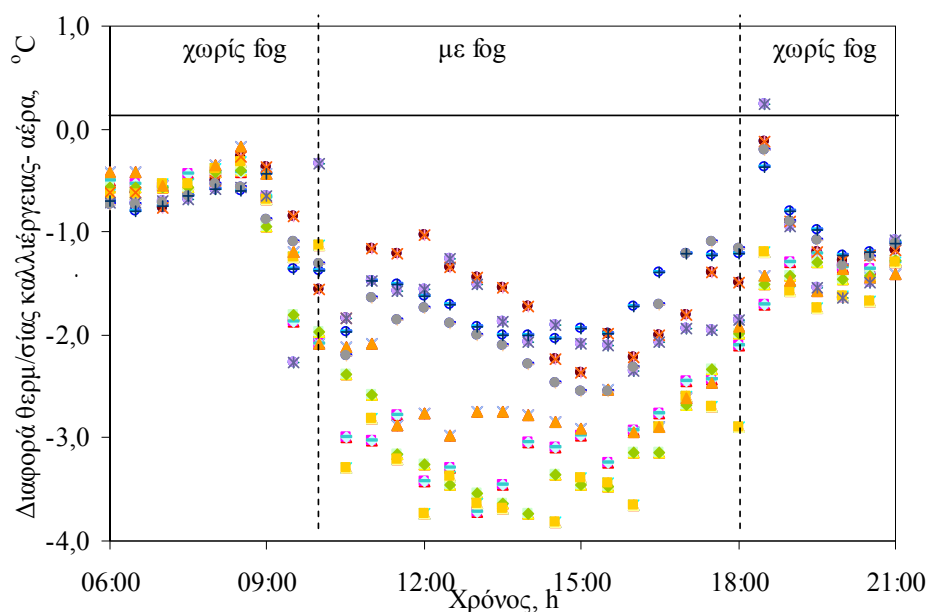
θερμοκηπιακού μικροκλίματος και της καλλιέργειας κατά την χρονική περίοδο των μετρήσεων σε συνθήκες με και χωρίς fog. Οι μεσοί όροι υπολογίσθηκαν για την χρονική περίοδο από 10:00 h έως 18:00 h.

Περίοδος \ Μεταχείριση	Θερμοκρασία αέρα, °C		Θερμοκρασία φύλλου, °C		Έλλειμμα κορεσμού του αέρα, kPa	
	fog	Χωρίς fog	fog	Χωρίς fog	fog	Χωρίς fog
Ιούλιος	29.1	32.4	26.7	29.0	1.1	2.5
Αύγουστος	28.0	30.0	25.9	27.2	1.2	1.9
Σεπτέμβριος	26.3	29.6	25.0	26.7	1.0	1.9



Εικόνα 39. Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα συναρτήσει της ώρας της ημέρας στο εσωτερικό των δύο διαμερισμάτων του θερμοκηπίου (Τρίγωνα= συνθήκες χωρίς fog, κύκλοι= συνθήκες με fog).

Στην Εικόνα 40 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της διαφοράς μεταξύ θερμοκρασίας φύλλου και θερμοκρασίας αέρα ΔT_c ($T_l - T_{d,i}$), όπου φαίνονται σημαντικές διαφορές της ΔT_c στα δύο διαμερίσματα με και χωρίς fog (Εικ. 40). Οι τιμές της ΔT_c ήταν πιο αρνητικές χωρίς fog, απ' ό,τι με σύστημα ψύξης με fog με μέση τιμή της ΔT_c -2.9°C και -1.7°C , αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη διαφορά της ΔT_c μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων παρατηρήθηκε κατά την περίοδο από 10:30 h μέχρι 14:30 h.



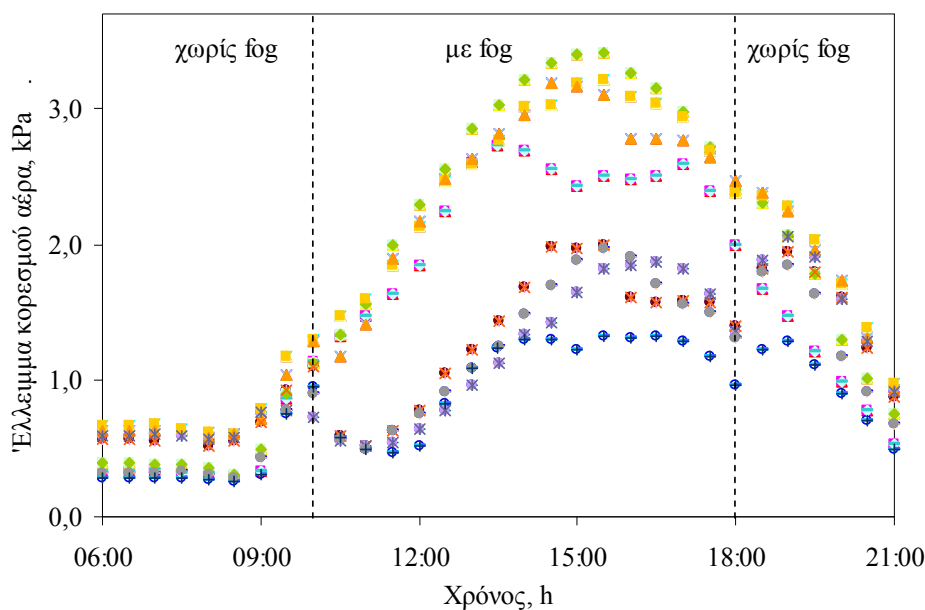
Εικόνα 40. Ημερήσια πορεία της διαφοράς θερμοκρασίας φύλλου και αέρα στις δύο μεταχειρίσεις: τρίγωνα= συνθήκες χωρίς fog , κύκλοι = συνθήκες με fog.

Η ημερήσια εξέλιξη της θερμοκρασίας του φυλλώματος στα δύο διαμερίσματα του θερμοκηπίου στις τέσσερις αντιπροσωπευτικές ημέρες ήταν αντίστοιχη με αυτή της θερμοκρασίας του αέρα. Η μέση θερμοκρασία του φυλλώματος για το χρονικό διάστημα μεταξύ 10:00 h και 18:00 h ήταν 28.7°C and 26.3°C, για τις μεταχειρίσεις χωρίς fog και με fog, αντίστοιχα.

Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας φύλλου μεταξύ 10:00 h and 18:00 h που μετρήθηκαν στα δύο διαμερίσματα τον Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο φαίνονται στον Πίνακα 3.

5.1.2. Έλλειμμα κορεσμού αέρα

Το fog system με το οποίο ήταν εξοπλισμένο το θερμοκήπιο λειτουργούσε μόνον στο ένα από τα δύο διαμερίσματα με σκοπό να διατηρεί την σχετική υγρασία του αέρα σε επίπεδα πάνω από 80% κατά τη διάρκεια της ημέρας (από 10:00 h μέχρι 18:00 h), διατηρώντας ταυτόχρονα τα παράθυρα οροφής και πλινά στο μέγιστό τους άνοιγμα και στα δύο διαμερίσματα. Θα πρέπει, όμως, να σημειωθεί πως ανάλογα με τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες το επιθυμητό set point της σχετικής υγρασίας δεν μπορούσε πάντα να διατηρηθεί και ως εκ τούτου σε ορισμένες εξαιρετικές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν μικρότερες τιμές σχετικής υγρασίας του αέρα. Η ημερήσια μεταβολή του ελλείματος κορεσμού του αέρα D_i στα δύο διαμερίσματα φαίνεται στην Εικόνα 41.

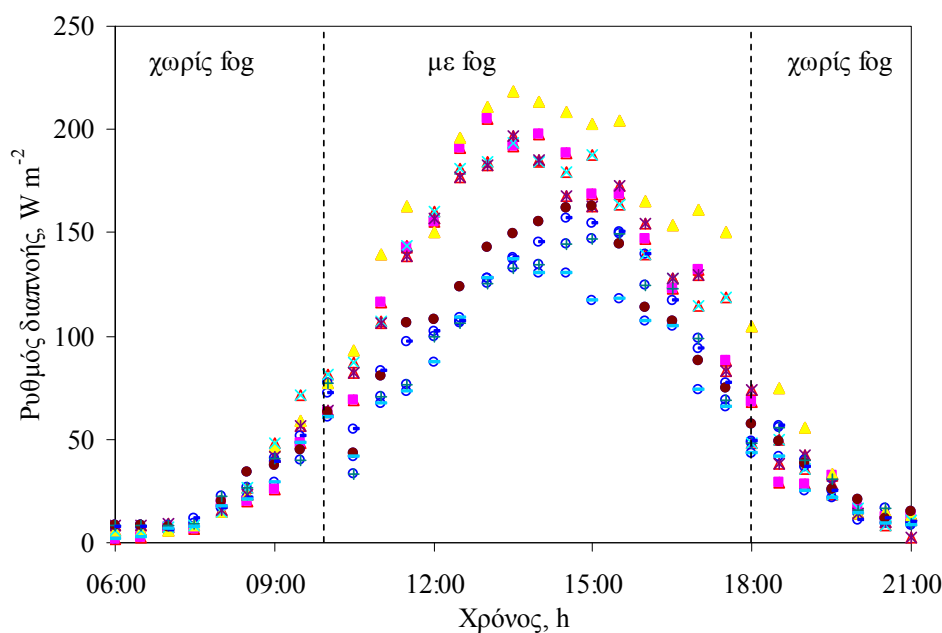


Εικόνα 41. Μεταβολή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα σε σχέση με την ώρα της ημέρας μέσα στα δύο διαμερίσματα του θερμοκηπίου: τρίγωνα= συνθήκες χωρίς fog, κύκλοι = συνθήκες με fog.

Από την Εικόνα 41 προκύπτει πως από νωρίς το πρωί μέχρι τις 10:00 h και από τις 18:00 h μέχρι το βράδυ, δηλαδή στο διάστημα που το fog system δε λειτουργούσε, παρόμοια επίπεδα του D_i παρατηρήθηκαν και στα δύο διαμερίσματα. Αμέσως, όμως, μετά τις 10:00 h, οι τιμές του D_i μειώνονταν στο διαμέρισμα με το σύστημα fog cooled και έπαιρνε τιμές κατά περίπου 1.2 kPa μικρότερες από τις τιμές του D_i στο διαμέρισμα χωρίς σύστημα fog. Οι μέσες τιμές του D_i μεταξύ 10:00 h και 18:00 h ήταν κοντά στα 2.4 kPa και 1.2 kPa για τις μεταχειρίσεις με και χωρίς σύστημα fog, αντίστοιχα. Οι μέσες τιμές του για το χρονικό διάστημα μεταξύ 10:00 h και 18:00 h που μετρήθηκαν στα δύο διαμερίσματα κατά τους μήνες Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος του 2005; Παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

5.1.3. Διαπνοή της καλλιέργειας

Στην Εικόνα 42 φαίνεται η ημερήσια πορεία της διαπνοής της καλλιέργειας LE σε $W m^{-2}$ (όπου λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού σε $J kg^{-1}$ και E είναι ο ρυθμός της διαπνοής της καλλιέργειας σε $kg m^{-2} s^{-1}$). Τα αποτελέσματα δείχνουν πως η διαπνοή της καλλιέργειας LE ήταν μικρότερη σε συνθήκες fog παρά σε συνθήκες χωρίς fog κατά περίπου 26% σε ημερήσια κλίμακα και κατά περίπου 29% για το χρονικό διάστημα μεταξύ 10:00 h-18:00 h που λειτουργούσε το σύστημα fog. Η μεγαλύτερη διαφορά στην ένταση της διαπνοής LE μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (με και χωρίς fog) παρατηρήθηκε κατά την πρωινή περίοδο. Κάτω από συνθήκες χωρίς fog πριν τις 13:00 h, η LE έφθανε μια μέγιστη τιμή της τάξης των $200 W m^{-2}$, και η τιμή αυτή διατηρούνταν μέχρι τις 16:00 h. Σε συνθήκες fog η LE αύξανε προοδευτικά και έπαιρνε μια μέγιστη τιμή περίπου $150 W m^{-2}$ γύρω στις 15:00 h.



Εικόνα 42. Μεταβολή της διαπνοής της καλλιέργειας σε σχέση με την ώρα της ημέρας στο εσωτερικό των δύο διαμερισμάτων: τρίγωνα = συνθήκες χωρίς fog, κύκλοι = συνθήκες fog.

5.1.4. Στοματική αγωγιμότητα

Η ολική στοματική αγωγιμότητα στη μεταφορά υδρατμών του φυλλώματος, g_t (m s^{-1}), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\lambda E_c = \frac{\rho C_p}{\gamma} g_t D_c \quad (31)$$

όπου,

λE = ρυθμός διαπνοής της καλλιέργειας (W m^{-2})

γ = ψυχομετρική σταθερά (kPa K^{-1})

ρ = πυκνότητα του αέρα (kg m^{-3})

C_p = ειδική θερμότητα του αέρα ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

D_c = έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας- αέρα (kPa)

g_t = ολική αγωγιμότητα του φυλλώματος στη μεταφορά υδρατμών (m s^{-1}).

Η στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας, g_c , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$g_c = \frac{g_a g_t}{g_a - g_t} \quad (32)$$

όπου

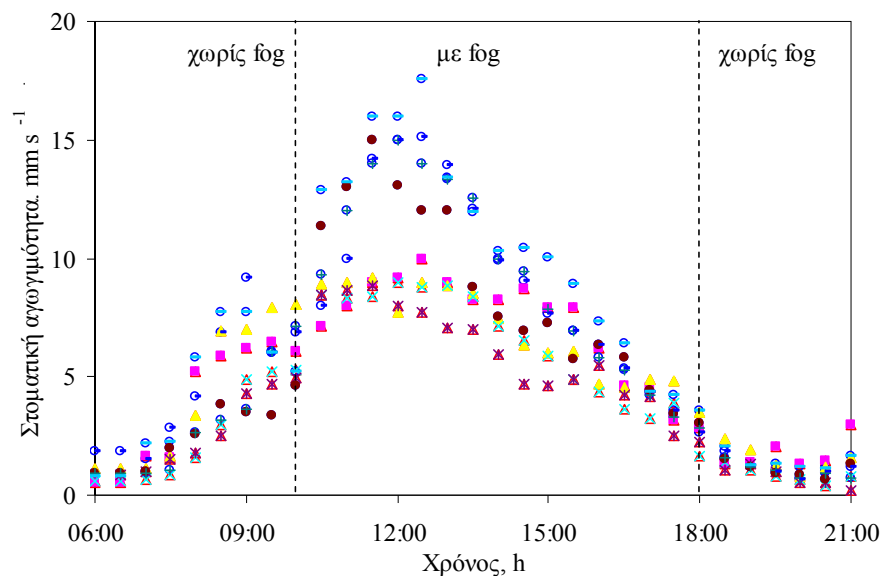
g_c = στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας στη μεταφορά υδρατμών (m s^{-1})

g_t = ολική αγωγιμότητα της καλλιέργειας στη μεταφορά των υδρατμών (m s^{-1})

g_a = αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας στη μεταφορά υδρατμών (m s^{-1}).

Στην παραπάνω εξίσωση (32), η g_t υπολογίσθηκε από την εξίσωση (31) και για η g_a θεωρήθηκε σταθερή με τιμή $g_a = 18.6 \text{ mm s}^{-1}$ για συνθήκες χωρίς fog και 45 mm s^{-1} για συνθήκες με σύστημα fog, αντίστοιχα (Katsoulas et al., 2001).

Με βάση την εξίσωση (32) υπολογίστηκε η στοματική αγωγιμότητα g_c και η ημερήσια πορεία της φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 43. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως για το διάστημα από 10:00 h μέχρι 18:00 h η αγωγιμότητα g_c παίρνει τιμές 1.5 φορές μεγαλύτερες σε συνθήκες fog σε σχέση με τις τιμές της g_c σε συνθήκες χωρίς fog.



Εικόνα 43. Μεταβολή της στοματικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας σε σχέση με την ώρα της ημέρας στο εσωτερικό των δύο διαμερισμάτων του θερμοκηπίου: τρίγωνα= συνθήκες χωρίς fog, κύκλοι = συνθήκες με fog.

5.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

5.2.1. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) καλλιέργειας πιπεριάς

Οι μετρήσεις που αφορούσαν τη φυλλική επιφάνεια έγιναν τρεις φορές κατά την πειραματική περίοδο και πιο συγκεκριμένα στις 9 Αυγούστου, 26 Σεπτεμβρίου και 22 Νοεμβρίου και μετρήθηκαν η φυλλική επιφάνεια (S , cm²), το μήκος (L , cm) και το πλάτος (W , cm) όλων των φύλλων και στα τέσσερα φυτά κάθε μεταχείρισης για κάθε μία από τις προαναφερθείσες ημερομηνίες. Οι τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) της καλλιέργειας στα δύο διαμερίσματα (μεταχειρίσεις) στις 9 Αυγούστου, 26 Σεπτεμβρίου και 22 Νοεμβρίου βρέθηκαν: 1.9, 4.3 και 3.2 σε συνθήκες με σύστημα fog, και 2.1, 3.4 και 2.2 σε συνθήκες χωρίς fog, αντίστοιχα. Η μείωση στις τιμές του LAI που παρατηρήθηκε στη τελευταία μέτρηση οφείλεται στην αποφύλλωση της καλλιέργειας που έγινε στο τέλος Οκτωβρίου. Επιπλέον κάνοντας γραμμική παρεμβολή στις παραπάνω τιμές του LAI βρέθηκε πως ο δείκτης LAI της καλλιέργειας στο τέλος Αυγούστου ήταν περίπου 3 στο διαμέρισμα με fog και 2.8 στο διαμέρισμα χωρίς σύστημα. Συνεπώς, λόγω των μικρών διαφορών που παρατηρήθηκαν στις τιμές LAI κατά την περίοδο αυτή θεωρήθηκε πως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας LAI της καλλιέργειας πιπεριάς είχε κατά την περίοδο αυτή την ίδια τιμή (=3) και για τις δύο μεταχειρίσεις (με και χωρίς σύστημα fog).

Από την ανάλυση των δεδομένων βρέθηκε μία ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ της φυλλικής επιφάνειας (S , cm^2), του γινομένου ($L \times W$) του μήκους φύλλου (L , cm) επί το πλάτος του φύλλου (W , cm) Οι σχέσεις που προέκυψαν με μη γραμμική παλινδρόμηση ήταν:

✚ για συνθήκες με σύστημα fog

$$S = 0.57 L \times W \quad (33)$$

✚ και για συνθήκες χωρίς σύστημα fog

$$S = 0.56 L \times W \quad (34)$$

με τιμές του συντελεστή προσδιορισμού R^2 0.94 and 0.97, αντίστοιχα.

Επίσης πολύ καλή συσχέτιση βρέθηκε μεταξύ S και L με μία απλούστερη σχέση που ήταν:

✚ για συνθήκες με σύστημα fog

$$S = 0.82 L^{1.7} \quad (35)$$

✚ και για συνθήκες χωρίς σύστημα fog

$$S = 0.75 L^{1.7} \quad (36)$$

με τιμές του συντελεστή προσδιορισμού R^2 0.95 and 0.94, αντίστοιχα.

Η στατιστική ανάλυση, εν τούτοις, έδειξε πως δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των συντελεστών των παραπάνω εξισώσεων 33 και 34 καθώς και των μεταξύ των αντίστοιχων συντελεστών των σχέσεων 35 και 36.

5.2.2. Παραγωγή

Η χρήση του συστήματος fog για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου δεν είχε επίδραση στο συνολικό βάρος των καρπών ανά φυτό. Το σύστημα fog μείωσε τον συνολικό αριθμό καρπών ανά φυτό αλλά αυτό αντισταθμίσθηκε από την αύξηση του μέσου βάρους των καρπών (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Επίδραση της χρήσης συστήματος δροσισμού fog για έλεγχο της θερμοκρασίας και υγρασίας στη παραγωγή καρπών πιπεριάς σε Μεσογειακό θερμοκήπιο κατά τη θερινή περίοδο.

Μεταχείριση	Συνολικό βάρος καρπών (kg/φυτό)	Συνολικός αριθμός καρπών ανά φυτό	Μέσο βάρος καρπών (g)
Με Fog	1.70 a ^[a]	21.06 b	80.7 a
Χωρίς fog	1.71 a	26.49 a	64.2 b

^[a] Σε κάθε στήλη, οι τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$.

5.2.3. Επίδραση στην ποιότητα καρπών

Το βάρος και ο αριθμός των εμπορεύσιμων καρπών (Class I, και II) ανά φυτό αυξήθηκαν σημαντικά με τη χρήση του συστήματος fog, ενώ το βάρος και ο αριθμός των καρπών με συμπτώματα blossom-end-rot (BER) ήταν σημαντικά μικρότερα σε συνθήκες δροσισμού (fog) παρά σε συνθήκες χωρία fog (Πίνακας 5). Στον Πίνακα 5, στους μη εμπορεύσιμους καρπούς περιλαμβάνονται και οι καρποί με BER.

Πίνακας 5. Επίδραση της χρήσης συστήματος δροσισμού fog για έλεγχο της θερμοκρασίας και υγρασίας στις κατηγορίες ποιοτικής ταξινόμησης και επιπτώσεις του στην εμφάνιση ξηρής σήψης κορυφής (blossom-end rot, BER) σε Μεσογειακό θερμοκήπιο κατά τη θερινή περίοδο.

Μέγεθος	Μεταχείριση	Καρποί Class I	Εμπορεύσιμοι καρποί	Μη εμπορεύσιμοι καρποί	Καρποί με συμπτώματα BER
Βάρος καρπών (kg/plant)	Με fog	0.32 a ^[a]	1.30 a	0.40 b	0.30 b
	Χωρίς fog	0.22 b	0.94 b	0.76 a	0.63 a
Αριθμός καρπών/ φυτό	Με fog	2.71 a	14.20 a	6.86 b	5.22 b
	Χωρίς fog	1.92 b	10.98 b	15.52 a	13.23 a

^[a] Σε κάθε στήλη, οι τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$.

Σε δείγμα 30 καρπών ανά μεταχείριση και ημερομηνία συγκομιδής, έγιναν μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών και τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας τους φαίνονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6. Μέσες τιμές μετρήσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών καρπών πιπεριάς σε συνθήκες με και χωρίς σύστημα fog.

Μεταχείριση	Ύψος	Όγκος	L^* [b]	a^* [c]	b^* [d]	c [e]	Διαλυτ	Ογκομετρούμε
	cm						cm ³	ά στερεά
							%	meq/100ml χυμού
Με Fog	6.9 a ^[a]	181.3 a	35.0 b	-9.5 a	17.8 b	20.2 a	4.87 b	7.3 b
Χωρίς Fog	6.3 b	157.3 b	36.2 a	-9.1 a	18.8 a	21.0 a	5.39 a	8.4 a

^[a] Σε κάθε στήλη, οι τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$.

^[b] L^* δίνει τη διαφορά μεταξύ φωτεινού (όπου $L^* = 100$) και σκοτεινού (όπου $L^* = 0$).

^[c] a^* δίνει τη διαφορά μεταξύ πράσινου ($a^* = -50$) και κόκκινου ($a^* = 50$).

^[d] b^* δίνει τη διαφορά μεταξύ $b^* = 50$ and blue ($b^* = -50$).

^[e] c δείχνει τη ένταση (ή κορεσμό) του χρώματος όπως υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (5).

Βρέθηκε πως το σύστημα δροσισμού fog αυξάνει το μέσο ύψος των καρπών και το μέσο όγκο τους κατά περίπου 9% και 15%, αντίστοιχα.

Σχετικά με το χρώμα, τα αποτελέσματα εκφράστηκαν με τη βοήθεια του συστήματος L^* , a^* , b^* (CIELAB). Η παράμετρος L^* δίνει τη διαφορά μεταξύ φωτεινού (όταν $L^* = 100$) και σκοτεινού (όταν $L^* = 0$) χρώματος. Η παράμετρος a^* δίνει τη διαφορά μεταξύ πράσινου (όταν $a^* = -50$) και κόκκινου (όταν $a^* = 50$) χρώματος, και η παράμετρος b^* δίνει τη διαφορά μεταξύ κίτρινου (όταν $b^* = 50$) και μπλε (όταν $b^* = -50$) χρώματος. Η στατιστική επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων που συλλέχθηκαν έδειξε πως η χρήση συστήματος δροσισμού fog μειώνει ελαφρά τη φωτεινότητα και το κίτρινο χρώμα των καρπών (Πίνακας 6).

Η παράμετρος *chroma*, c , που δείχνει την ένταση (ή κορεσμό) του χρώματος, υπολογίστηκε από τη παρακάτω σχέση:

$$c = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (37)$$

όπου,

$c = chroma$, δείχνει την ένταση (ή κορεσμό) του χρώματος, αδιάστατος.

a^* = δίνει τη διαφορά μεταξύ πράσινου και κόκκινου χρώματος, αδιάστατος.

b^* = δίνει τη διαφορά μεταξύ κίτρινου και μπλε χρώματος, (αδιάστατος).

Μεγαλύτερες τιμές του c αντιστοιχούν σε πιο έντονο χρώμα, ενώ μικρότερες τιμές σε θαμπό χρώμα. Οι τιμές του c που βρέθηκαν στους καρπούς πιπεριάς που προήλθαν από τις μεταχειρίσεις με και χωρίς σύστημα fog δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Επιπλέον, τα ολικά διαλυτά στερεά και η ογκομετρούμενη οξύτητα μειώθηκαν ελαφρά σε συνθήκες με σύστημα δροσισμού fog (Πίνακας 6).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1. ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ

Όπως φαίνεται στις Εικόνες 39 και 41, η θερμοκρασία του αέρα $T_{d,i}$ και το έλλειμμα κορεσμού D_i επηρεάστηκαν σημαντικά από τη χρήση του συστήματος fog, το οποίο επέτρεψε τη διατήρηση της $T_{d,i}$ σε επίπεδα κάτω των 30°C και του D_i κάτω από 2 kPa, ενώ ταυτόχρονα οι μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα $T_{d,i}$ και του ελλείμματος κορεσμού D_i σε συνθήκες χωρίς fog έφτασαν περίπου 35°C και 3.5 kPa, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα και επιβεβαίωσαν πως το σύστημα δροσισμού με εξάτμιση είναι αποτελεσματικό στη μείωση τόσο της θερμοκρασίας $T_{d,i}$ όσο και του ελλείμματος κορεσμού D_i .

6.2. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

6.2.1. Διαπνοή και στοματική αγωγιμότητα

Το έλλειμμα κορεσμού του αέρα D_i (όπως υπολογίσθηκε από τη διαφορά μεταξύ πίεσης υδρατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία του αέρα και της πραγματικής πίεσης υδρατμών του αέρα) και το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας αέρα D_c (όπως υπολογίσθηκε από τη διαφορά της πίεσης κορεσμού υδρατμών στη θερμοκρασία της καλλιέργειας και της πραγματικής πίεσης υδρατμών του αέρα) ήταν κατά 50% περίπου μικρότερα σε συνθήκες fog από ό,τι σε συνθήκες χωρίς σύστημα δροσισμού fog. Η μείωση, εν τούτοις, του ρυθμού διαπνοής LE σε συνθήκες με σύστημα fog ήταν αισθητά μικρότερη (περίπου 26%, Εικ. 42) από την αντίστοιχη μείωση στις τιμές των D_i και D_c . Αυτό μπορεί να αποδοθεί στις τιμές που πήρε η στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας g_c (Εικ. 43), η οποία ήταν περίπου 1.5 φορές μεγαλύτερη σε συνθήκες δροσισμού με σύστημα fog απ' ό,τι σε συνθήκες χωρίς σύστημα fog. Ως εκ τούτου, ο ρυθμός διαπνοής LE δεν άλλαξε σημαντικά. Κι αυτό γιατί φαίνεται πως δεν υπήρξε μία εξισορροπητική δράση μεταξύ D_i και g_c που να επιτρέψει στην καλλιέργεια να διατηρήσει υψηλούς ρυθμούς της LE . Η μέγιστη αγωγιμότητα της καλλιέργειας ήταν σε συνθήκες περίπου 17 mm s^{-1} , ενώ σε συνθήκες χωρίς fog η τιμή της αγωγιμότητας ήταν περίπου 9 mm s^{-1} . Παρόμοια αποτελέσματα για την αγωγιμότητα g_c αναφέρθηκαν από τους Baille et al. (2006). Οι παραπάνω αναφερθείσες τιμές για την αγωγιμότητα g_c και τη διαπνοή LE δείχνουν καθαρά τη βελτίωση της φυσιολογικής κατάστασης της καλλιέργειας που αναπτύσσεται σε συνθήκες με σύστημα δροσισμού fog. Επιπλέον, όπως αναφέρεται από τους Katsoulas et al. (2001), που μελέτησαν τις επιδράσεις του συστήματος fog στη διαπνοή, καθώς και στην αεροδυναμική και στοματική αγωγιμότητα μίας υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς σε θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα fog, η αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας ήταν περίπου διπλάσια απ' ό,τι σε συνθήκες χωρίς fog. Τέλος, άλλοι ερευνητές (Baille et al., 1994; Dayan et al., 2000; Katsoulas et al., 2001; Baille et al., 2006) αναφέρουν παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά την επίδραση του συστήματος δροσισμού fog στη διαπνοή και τη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας. Επί πλέον, αξίζει να σημειωθεί πως οι τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας LAI που παρατηρήθηκαν σε συνθήκες δροσισμού fog μετά τα μέσα Σεπτεμβρίου και στη συνέχεια, ήταν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές που παρατηρήθηκαν στη μεταχείριση χωρίς σύστημα fog. Παρόμοια επίδραση στο

δείκτη *LAI* αναφέρθηκαν και από τους Gautier et al. (1999). Το γεγονός αυτό μαζί με τη μεγαλύτερη στοματική αγωγιμότητα, θα μπορούσαν να εξηγήσουν τις σχετικά παρόμοιες τιμές του ρυθμού διαπνοής της καλλιέργειας *ΛΕ* και στις δύο μεταχειρίσεις (με και χωρίς σύστημα fog) μετά την παραπάνω ημερομηνία (μέσα Σεπτεμβρίου). Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν, επίσης, τον ρόλο της ανάδρασης ('feedback') μεταξύ της καλλιέργειας και της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου ως ρυθμιστικού βρόχου (control loop) , όπως αναφέρθηκαν προγενέστερα για παρόμοιους ή άλλους τρόπους ελέγχου της διαπνοής: fog-system (Katsoulas et al., 2001), άσπρισμα (Baille et al., 2001), αερισμό (Kittas et al., 2001) και μεγαλύτερο δείκτη *LAI* της καλλιέργειας (Katsoulas et al., 2002).

6.2.2. Παραγωγή και Ποιότητα

Η εφαρμογή του συστήματος δροσισμού fog αύξησε ορισμένα μετρήσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών πιπεριάς, όπως το μέσο βάρος και ο μέσος όγκος. Το σύστημα fog, όμως, δεν επηρέασε την ολική παραγωγή καρπών καθώς μειώσε τον αριθμό των παραγόμενων καρπών ανά φυτό (Πίνακες 4 και 5). Περίπου 58% των καρπών, εν τούτοις, που παρήχθησαν σε συνθήκες χωρίς σύστημα δροσισμού fog ταξινομήθηκαν ως μη εμπορεύσιμα επειδή ένα μεγάλο ποσοστό προσβλήθηκε από ξηρή σήψη κορυφής (blossom-end-rot, BER). Η πιπεριά είναι ευαίσθητη στην BER και παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών θερμοκηπιακών καλλιεργειών σε συνθήκες υψηλής υγρασίας αναφέρθηκαν από τον Montero (2006). Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 δε συμφωνούν με ένα μεγάλο αριθμό δοκιμών που έγιναν στην Almeria (Meca et al., 2006) που έδειξαν πως η εμπορεύσιμη παραγωγή γλυκιάς πιπεριάς ήταν μικρότερη σε θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα δροσισμού fog απ' ό,τι σε θερμοκήπιο εξοπλισμένο με συνδυασμένο σύστημα φυσικού αερισμού και σκίασης. Διαφορές στα επίπεδα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μαζί με τους πολύπλοκους μηχανισμούς μεταφοράς νερού και ασβεστίου (Ca) στους καρπούς, θα μπορούσαν να εξηγήσουν διαφορετικές αντιδράσεις του φυτού στο σύστημα δροσισμού με εξάτμιση (Montero, 2006). Τελικά, παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά την περιεκτικότητα σε σάκχαρα και την ογκομετρούμενη οξύτητα αναφέρονται για άλλες θερμοκηπιακές καλλιέργειες αναπτυγμένες σε συνθήκες με σύστημα δροσισμού fog (Bertin et al., 2000; Gautier et al., 2001), και αποδόθηκαν στην υψηλότερη σχετική υγρασία του αέρα η οποία αυξάνει την περιεκτικότητα σε νερό των καρπών, προκαλώντας, έτσι, αραίωση των σακχάρων και της οξύτητας στο χυμό των καρπών.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάσθηκαν δείχνουν πως η χρήση του συστήματος δροσισμού είναι ευνοϊκή για καλοκαιρινή καλλιέργεια πιπεριάς σε Μεσογειακές συνθήκες, παρότι το μικρό έλλειμμα κορεσμού του αέρα του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να μειώσει τον αριθμό των καρπών ανά φυτό. Η μείωση αυτή του αριθμού των καρπών που παράγονται σε συνθήκες με σύστημα δροσισμού fog μπορεί να μην είναι αποτέλεσμα της υψηλής υγρασίας του αέρα μόνον αλλά μάλλον μία συνδυασμένη δράση του χαμηλού ελλείμματος κορεσμού και τα μειωμένα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας που οφείλονται στη ταυτόχρονη χρήση των διχτύων σκίασης. Η δράση αυτή μπορεί να αποδοθεί είτε σε μειωμένη καρπόδεση είτε σε

αυξημένη ανθόπτωση. Η καρπόδεση μπορεί να μειωθεί πιθανόν διότι η γύρη σε συνθήκες υψηλής υγρασίας παραμένει μέσα στους ανθήρες, όπως έδειξε ο Van Koot and Van Ravestijn (1963) για καλλιέργεια τομάτας. Αυξημένη πτώση ανθέων για φυτά πιπεριάς που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες υψηλής υγρασίας του αέρα αναφέρθηκε από τους (1978). Μία εναλλακτική εξήγηση είναι η μειωμένη κινητικότητα των εντόμων μέσα στο θερμοκήπιο όταν λειτουργεί το σύστημα ψύξης με ομίχλη.

6.3. ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ FOG

6.3.1 Αποδοτικότητα Εξάτμισης

Η παροχή αερισμού στο διαμέρισμα του θερμοκηπίου που ψύχεται με σύστημα δροσίσμου fog μπορεί να υπολογισθεί από την παρακάτω εξίσωση (Arbel et al., 1999):

$$q = \frac{G_i a - U(T_{d,f} - T_{d,o})}{h_i - h_o} \quad (38)$$

όπου:

q = η παροχή αερισμού του θερμοκηπίου ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

G_i = εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (W m^{-2})

a = το μέρος της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για αύξηση της ενθαλπίας του εσωτερικού αέρα (αδιάστατος)

U = ολικός συντελεστής απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου ($\text{W m}^{-2} [\text{εδάφους}] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

$T_{d,f}$ = θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα του θερμοκηπίου που ψύχεται με σύστημα δροσίσμου fog ($^\circ\text{C}$)

$T_{d,o}$ = θερμοκρασία ξηρού βολβού του εξωτερικού αέρα ($^\circ\text{C}$)

h_i = ενθαλπία του αέρα του θερμοκηπίου (J kg^{-1})

h_o = ενθαλπία του εξωτερικού αέρα (J kg^{-1}).

Για τιμές $a = 0.7$ και $U = 5 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, που αποτελούν αντιπροσωπευτικές τιμές για θερμοκήπια με τα χαρακτηριστικά του πειραματικού θερμοκηπίου και χρησιμοποιώντας μετρημένες τιμές για τα G_i , $T_{d,f}$, $T_{d,o}$, h_i and h_o , υπολογίσθηκε η παροχή αερισμού του θερμοκηπίου q . Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη τον όγκο του θερμοκηπίου (V), υπολογίσθηκε ο ρυθμός ανανεώσεων του αέρα ($N = q/V$, h^{-1}) και η μέση τιμή του N για τις επιλεγμένες ημέρες που παρουσιάσθηκαν κατά την χρονική περίοδο που το σύστημα δροσίσμου λειτουργούσε βρέθηκε να είναι περίπου 6.5 h^{-1} . Οι τιμές αυτές φαίνεται να είναι λογικές για το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη μας και για το εύρος των ταχυτήτων αέρα που καταγράφηκαν κατά την περίοδο των μετρήσεων.

Στο διαμέρισμα του θερμοκηπίου που ψύχονταν με σύστημα δροσίσμου fog, το ισοζύγιο υδρατμών του αέρα σε στατικές συνθήκες μπορεί να γραφεί ως ακολούθως:

$$q(x_o - x_i) + w_f + E = 0 \quad (39)$$

όπου:

q = παροχή αερισμού του θερμοκηπίου ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

x_o = απόλυτη υγρασία του εξωτερικού αέρα (kg kg^{-1})

x_i = απόλυτη υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου (kg kg^{-1})

w_f = παροχή νερού που προστίθεται με το σύστημα fog στον αέρα του θερμοκηπίου ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

$E =$ ρυθμός διαπνοής της καλλιέργειας ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες, σύμφωνα με τη σχέση (39), τιμές της q και τις μετρημένες τιμές των x_i , x_o , και E , η παροχή νερού που προστίθεται στον αέρα του θερμοκηπίου με το σύστημα fog w_f , είναι δυνατόν να υπολογισθεί με τη βοήθεια της σχέσης (39). Ο λόγος της ποσότητας νερού από το σύστημα fog που εξατμίζεται μέσα στο θερμοκήπιο και υπολογίζεται από τη σχέση (39), προς την ολική ποσότητα νερού που διοχετεύεται από το σύστημα fog στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της «αποδοτικότητας εξάτμισης» (evaporative efficiency) $n_{f,ev}$ του συστήματος fog. Η μέση τιμή του συντελεστή αποδοτικότητας $n_{f,ev}$ για τις ημέρες για τις οποίες παρουσιάζονται αποτελέσματα στη μελέτη μας, βρέθηκε περίπου 28%. Συνεπώς, μπορούμε να συμπεράνουμε πως μόνο ένα μέρος της ενεργοποιούμενης ομίχλης από το σύστημα συμβάλλει στην πραγματική ψύξη του θερμοκηπίου. Φαίνεται ως εκ τούτου πως ένα σημαντικό τμήμα του νερού που παροχετεύεται από το fog πιθανώς είτε διαφεύγει κατευθείαν προς της εξωτερική ατμόσφαιρα μέσω των ανοιγμάτων αερισμού ή μετατρέπεται σε μεγάλες σταγόνες που πέφτουν στο έδαφος του θερμοκηπίου πριν προλάβουν να εξατμισθούν. Οι Li et al. (2006), που επίσης μελέτησαν της αποδοτικότητα ενός συστήματος fog, βρήκαν τιμές για το συντελεστή $n_{f,ev} = 57\%$, ενώ οι Katsoulas et al. (2001) ανέφεραν πως μόνο 40-50% του νερού που ψεκάστηκε από το σύστημα fog εξατμίσθηκε μέσα στο θερμοκήπιο. Η «αποδοτικότητα εξάτμισης» ενός συστήματος fog επηρεάζεται από: (i) την πίεση ψεκασμού, (ii) το μήκος της διαδρομής των σταγονιδίων ομίχλης στον αέρα, (iii) την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, (iv) τη σχετική υγρασία καθώς και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, (v) το ρυθμό ventilation και τα ρεύματα αέρα μέσα στο θερμοκήπιο, και (vi) τα κυκλικά διαστήματα λειτουργίας του συστήματος (Gates et al., 1991; Yanagi et al., 2002; Abdel-Ghany and Kozai, 2006; Haeussermann et al., 2007). Φαίνεται, συνεπώς, πως οι συνθήκες που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων που παρουσιάζονται στην εργασία μας είχαν ως αποτέλεσμα ένα μικρό συντελεστή αποδοτικότητας εξάτμισης του συστήματος. Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω παράγοντες, η χαμηλή αποδοτικότητα εξάτμισης του συστήματος fog του πειραματικού θερμοκηπίου μπορεί ενδεχόμενα να αποδοθεί μερικά στο γεγονός ότι το σύστημα λειτουργούσε συνεχώς χωρίς κύκλους λειτουργίας. Για λόγους σύγκρισης θα πρέπει να τονισθεί πως η ολική ποσότητα νερού που εξατμίσθηκε λόγω διαπνοής από την καλλιέργεια πιπεριάς που αναπτύχθηκε σε συνθήκες με σύστημα ήταν περίπου 50% του νερού που ψεκάστηκε από το σύστημα fog, ενώ στην περίπτωση της καλλιέργειας που αναπτύχθηκε σε συνθήκες χωρίς σύστημα fog, η αντίστοιχη τιμή ήταν 65%.

6.3.2 Αποτελεσματικότητα Ψύξης

Η σχέση που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας ψύξης ενός συστήματος δροσισμού fog $n_{f,cool}$ βασιζόταν στο σύστημα δροσισμού με δυναμικό αερισμό και υγρή παρειά (wet pad and fan system) και ορίζεται σύμφωνα με τον ASHRAE (1983) από τη σχέση:

$$n_{f,cool} = \frac{T_{d,o} - T_{d,f}}{T_{d,o} - T_{w,o}} 100\% \quad (40)$$

όπου

$n_{f,cool}$ = αποτελεσματικότητα ψύξης ενός συστήματος δροσισμού fog (%)
 $T_{d,f}$ = θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα του θερμοκηπίου που ψύχεται με σύστημα δροσισμού fog (°C)

$T_{d,o}$ = θερμοκρασία ξηρού βολβού του εξωτερικού αέρα (°C)

$T_{w,o}$ = θερμοκρασία υγρού βολβού του εξωτερικού αέρα (°C).

Όταν η εξίσωση (40) χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος δυναμικού αερισμού και υγρής παρειάς (fan-and-pad system), η θερμοκρασία $T_{d,f}$ αντικαθίσταται από τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του ψυχόμενου εξωτερικού αέρα αμέσως μετά την είσοδο του στο θερμοκήπιο μέσω της υγρής παρειάς. Χρησιμοποιώντας τη σχέση (40) που παρουσιάστηκε παραπάνω υπολογίστηκε η μέση τιμή του συντελεστή αποτελεσματικότητας του συστήματος fog $n_{f,cool}$ και για τις ημέρες που επιλέχθηκαν και παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη βρέθηκε να είναι περίπου 23%.

Η εξίσωση (40) δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό του συστήματος δυναμικού αερισμού και υγρής παρειάς (wet pad and fan systems) επειδή η (αδιαβατική) διαδικασία ψύξης λαμβάνει χώρα σε σταθερή (σχεδόν) θερμοκρασία υγρού βολβού του εξωτερικού αέρα και ισχύει μόνον όταν το σύστημα δροσισμού υγραίνει τον εξωτερικό αέρα στη θερμοκρασία ξηρού και υγρού βολβού και μειώνει τη θερμοκρασία ξηρού βολβού με απουσία αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας που να επηρεάζουν τη τιμή της $T_{d,o}$. Στην περίπτωση του συστήματος fog, όμως, που έχει ως στόχο να ψύξει τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, τα χαρακτηριστικά του αέρα επηρεάζονται από τη αισθητή και τη λανθάνουσα θερμότητα που προστίθενται με τις αντίστοιχες ανταλλαγές θερμότητας του αέρα του θερμοκηπίου με το κέλυφος του θερμοκηπίου, τα φυτά και το έδαφος. Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία ξηρού και υγρού βολβού του αέρα του θερμοκηπίου είναι πριν από την ψύξη του θερμοκηπίου με το σύστημα δροσισμού fog, είναι συνήθως μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα. Έτσι, η χρήση της εξίσωσης (40) στην περίπτωση του συστήματος fog system είναι πιθανόν να οδηγεί σε εξωπραγματικές τιμές όσον αφορά την αποτελεσματικότητα ψύξης του συστήματος (Abdel-Ghany and Kozai, 2006). Στην περίπτωση ενός θερμοκηπίου που ψύχεται με τη βοήθεια συστήματος fog, η ελάχιστη αναμενόμενη τιμή του αέρα του θερμοκηπίου, αν δεχθούμε πως το σύστημα έχει 100% αποτελεσματικότητα, θα ήταν η θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα του θερμοκηπίου. Το σύστημα fog, όμως, εργάζεται για να ψύξει το θερμοκήπιο και όχι τον εξωτερικό αέρα όπως γίνεται με το σύστημα δροσισμού pad and fan. Άρα, η θερμοκρασία του αέρα ενός παρόμοιου μη ψυχόμενου (μάρτυρας) θερμοκηπίου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας ψύξης του συστήματος δροσισμού fog. Συνεπώς, η αποτελεσματικότητα ψύξης με εξάτμιση του συστήματος δροσισμού fog θα μπορούσε να υπολογίζεται με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$n_{f,cool} = \frac{T_{d,nc} - T_{d,f}}{T_{d,nc} - T_{w,f}} 100\% \quad (41)$$

όπου:

$n_{f,cool}$ = αποτελεσματικότητα ψύξης ενός συστήματος fog (%)

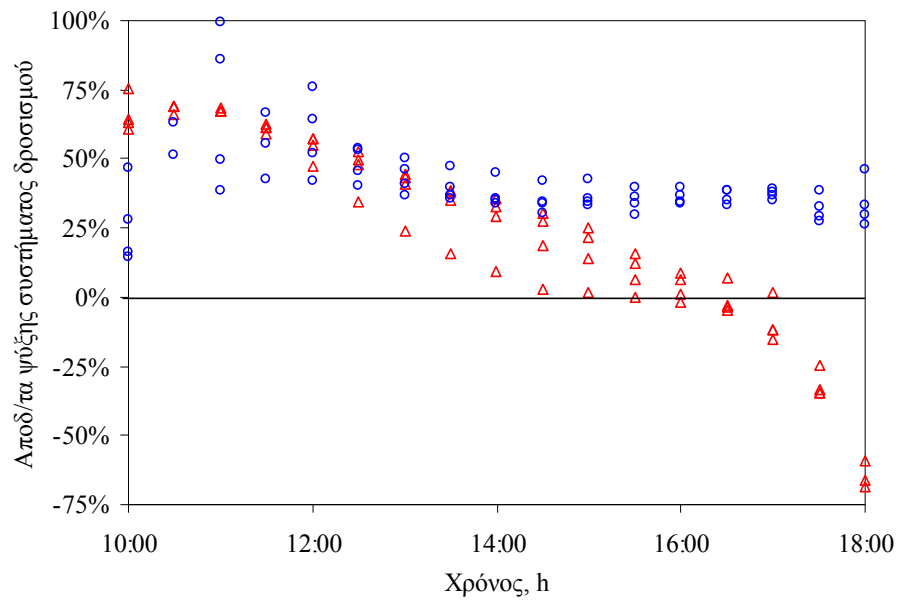
$T_{d,f}$ = θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα του θερμοκηπίου που ψύχεται με το σύστημα fog (°C)

$T_{d,nc}$ = θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα του θερμοκηπιακού διαμερίσματος χωρίς σύστημα δροσισμού fog (θερμοκήπιο μάρτυρας) (°C)

$T_{w,f}$ = θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα στο θερμοκήπιο με σύστημα δροσισμού fog (°C).

Ανάλογη προσέγγιση για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας ψύξης του συστήματος δροσισμού fog αναφέρθηκε και από τους Abdel-Ghany and Kozai (2006) και τους Li et al. (2006).

Στην Εικόνα 44 φαίνεται η πορεία της αποτελεσματικότητας ψύξης $n_{f,cool}$ σε σχέση με το χρόνο, όπως υπολογίσθηκε από την εξίσωση (41), για τις επιλεχθείσες καλοκαιρινές ημέρες και για χρονική περίοδο από 10:00 h – 18:00 h. Στην ίδια Εικόνα φαίνονται ταυτόχρονα και οι αντίστοιχες τιμές της αποτελεσματικότητας $n_{f,cool}$ υπολογισμένης, όμως, σύμφωνα με τη σχέση (40). Οι εξαιρετικά χαμηλές τιμές (μηδέν) της αποτελεσματικότητας ψύξης $n_{f,cool}$ που υπολογίσθηκε από την εξίσωση (40) είναι εξωπραγματικές και δείχνουν πως η σχέση αυτή μπορεί μεν να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας ψύξης του συστήματος δροσισμού με δυναμικό αερισμό και υγρή παρειά (fan-and-pad fog cooling system) όχι, όμως, για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας ψύξης του συστήματος fog. Η μέση τιμή του συντελεστή αποτελεσματικότητας ψύξης του συστήματος δροσισμού $n_{f,cool}$ υπολογισμένου σύμφωνα με τη σχέση (41), για τις ημέρες που επιλέχθηκαν και παρουσιάζονται στη διατριβή αυτή, βρέθηκε περίπου 44%. Πρέπει να τονισθεί οι τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για το συντελεστή $n_{f,cool}$ έχουν μεγάλο εύρος. Σύμφωνα με τις εργασίες των Gates et al. (1991) και των Arbel et al. (2003), αυξημένη αποτελεσματικότητα στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ψύξης σε σχέση με την κατανάλωση νερού, πρέπει να αναμένεται αν το σύστημα δροσισμού fog συνδυάζεται με μειωμένο ρυθμό αερισμού. Επιπλέον, όπως και για το συντελεστή αποτελεσματικότητας εξάτμισης $n_{f,ev}$, παρατηρήθηκε στενή σχέση μεταξύ του συντελεστή αποδοτικότητας ψύξης $n_{f,cool}$ και του κύκλου λειτουργίας του συστήματος (Abdel-Ghany and Kozai, 2006). Παρόμοιες τιμές για το συντελεστή $n_{f,cool}$ αναφέρθηκαν πρόσφατα από τους Li et al. (2006), που συμπέραναν πως η αποτελεσματικότητα ψύξης του συστήματος fog αυξάνεται με αύξηση του ρυθμού ψεκασμού νερού και μειώνεται με αύξηση της παροχή αερισμού. Στην περίπτωση του πειράματός μας, φαίνεται ότι η κυκλική λειτουργία με διαλείματα του συστήματος fog, η παροχή αερισμού του θερμοκηπίου, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο με το εμπόδιο που αποτελούσε η παρουσία της θερμοκουρτίνας καθώς και το μέγεθος και το μήκος διαδρομής των σταγόνων ομίχλης δεν ήταν, προφανώς, συνδυασμένα κατάλληλα και αυτό οδήγησε σε μείωση της αποτελεσματικότητας του συστήματος.



Εικόνα 44. Μεταβολή του συντελεστή αποτελεσματικότητας ψύξης σε σχέση με το χρόνο μέσα στα δύο θερμοκηπιακά διαμερίσματα: τρίγωνα= αποτελεσματικότητα ψύξης υπολογισμένη σύμφωνα με τη σχέση (40), κύκλοι = αποτελεσματικότητα ψύξης υπολογισμένη σύμφωνα με τη σχέση (41).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διατριβή, μελετήθηκαν οι επιδράσεις ενός συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη (fog) στο κλίμα του θερμοκηπίου καθώς και στην παραγωγή και ποιότητα καρπών πιπεριάς σε καλοκαιρινή/ φθινοπωρινή υδροπονική καλλιέργεια. Η χρήση του συστήματος δροσισμού fog για ψύξη του θερμοκηπίου φαίνεται πως μειώνει αισθητά τη θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, και βελτιώνει τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών διατηρώντας ταυτόχρονα υψηλούς ρυθμούς διαπνοής της καλλιέργειας.

Το σύστημα δροσισμού fog αύξησε το μέσο βάρος καρπών και το ποσοστό των εμπορεύσιμων καρπών, αλλά μείωσε σημαντικά τον ολικό αριθμό καρπών ανά φυτό. Φαίνεται πως υψηλές τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα μπορεί να επηρεάσουν την καρπόδεση σε φυτά πιπεριάς, ιδιαίτερα, μάλιστα, όταν η αυξημένη αυτή υγρασία συνδυάζεται με τα μειωμένα επίπεδα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που προκαλεί η σκίαση του θερμοκηπίου, μάλλον λόγω περιορισμού της γονιμοποίησης και αύξησης της ανθόρροιας. Η επίδραση αυτή του συστήματος δροσισμού fog, εν τούτοις, δεν φαίνεται να μειώνει την παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών καθόσον το μικροκλίμα που επικρατεί κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε θερμοκήπια που δεν είναι εξοπλισμένα με σύστημα δροσισμού οδηγεί σε πολύ υψηλά ποσοστά μη εμπορεύσιμων καρπών. Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών το μέγεθός τους αυξάνεται σε συνθήκες ψύξης του αέρα κατά τη θερμή περίοδο με σύστημα δροσισμού fog, ενώ τα ολικά διαλυτά στερεά και η ογκομετρούμενη οξύτητα του χυμού των καρπών μάλλον μειώνεται ελαφρά.

Η μειωμένη αποτελεσματικότητα εξάτμισης που παρατηρήθηκε στη μελέτη μας θα μπορούσε να αποδοθεί στον ακατάλληλο ρυθμό κυκλικής λειτουργίας του συστήματος, ενώ οι τιμές αποτελεσματικότητας ψύξης του συστήματος που παρατηρήθηκαν θα μπορούσαν να θεωρηθούν σχετικά χαμηλές αλλά ικανοποιητικές σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής διατριβής τονίζουν τα πλεονεκτήματα της ορθολογικής διαχείρισης της θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα σε καλλιέργεια πιπεριάς σε θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου σε Μεσογειακές κλιματικές συνθήκες για βελτίωση της εμπορεύσιμης παραγωγής και ποιότητας καρπών. Η χρήση του συστήματος δροσισμού fog system συνιστάται για την ψύξη του θερμοκηπίου αλλά η ποσοστιαία μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας με τη χρήση της κουρτίνας σκίασης πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή που εφαρμόστηκε στη εργασία μας. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, εντούτοις, είναι εξαιρετικά υψηλή κατά την θερινή περίοδο στις χώρες της Μεσογειακής λεκάνης και συνεπώς τα προκύπτοντα θερμικά φορτία στο θερμοκήπιο δε μπορούν να απομακρυνθούν μόνο με τη χρήση ενός συστήματος δροσισμού με τεχνητή ομίχλη. Συνιστάται, ως εκ τούτου, να συνδυάζεται η χρήση του συστήματος fog με ένα μέσο σκίασης, όπως το άσπρισμα της οροφής, που είναι μία πολύ πιο φτηνή μέθοδος σκίασης σε σχέση με τη χρήση δικτύων σκίασης. Παρ' όλα αυτά τα κύρια μειονεκτήματα της ψύξης του θερμοκηπίου με σύστημα fog φαίνεται να συνδέονται με το μεγάλο επενδυτικό κόστος και επίσης μεγάλο λειτουργικό κόστος καθώς και οι υψηλές απαιτήσεις σε νερό καλής ποιότητας.

Συνεπώς, μία οικονομική ανάλυση του κόστους του συστήματος, που θα μπορούσε να γίνει σε μία άλλη μελέτη, θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά, σε συνδυασμό με την τεχνική αξιολόγηση που έγινε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, να καταλήξουμε σε τελικά συμπεράσματα για τη χρήση του συστήματος δροσισμού με σύστημα τεχνητής ομίχλης fog σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια πιπεριάς σε Μεσογειακές κλιματικές συνθήκες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdel – Ghany, A. M., and T. Kozai. 2006. Cooling efficiency of fogging systems for greenhouses. *Biosyst. Eng.* 94(1): 97–109.
- Anonymus 1980. Peppers and Aubergines. Growers Guide No 3, Grower books, London .
- Arbel, A., M. Barak, and A. Shklyar. 2003. Combination of forced ventilation and fogging systems for cooling greenhouses. *J. Agr. Eng. Res.* 84(1): 45–55.
- Arbel, A., O. Yekutieli, and M. Barak. 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouse. *J. Agr. Eng. Res.* 72: 129–136.
- ASHRAE. 1983. Evaporative air-cooling equipment. Chapter 4 in *Equipment Handbook*. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers.
- Baër, J., and L. Smeets. 1978. Effect of relative humidity on fruit set and seed set in pepper (*Capsicum annum* L.). *Neth. J. Agric. Sci.* 26: 59–63.
- Baille, M., A. Baille, and D. Delmon. 1994. Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops. *Agric. For. Meteorol.* 71: 83–97.
- Baille, A., M. M. Gonzalez-Real, J. C. Gazquez, J. C. Lopez, J. J. Perez-Parra, and E. Rodriguez. 2006. Effects of different cooling strategies on the transpiration rate and conductance of greenhouse sweet pepper crops. *Acta Hort.* 719: 463–470.
- Baille, A., C. Kittas, and N. Katsoulas. 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agric. For. Meteorol.* 107: 293–306.
- Bakker J. C., 1986. Measurement of canopy transpiration or evapotranspiration in greenhouses by means of a simple vapour balance model. *Agric. Forest Meteor.*, 37 : 133-41.
- Bakker, J.C. 1989. The effects of air humidity on flowering, fruit set, seed set and fruit growth of glasshouse sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Scient. Hort.* 40: 1–8.
- Bertin, N., S. Guichard, C. Leonardi, J. J. Longuenesse, D. Langlois, and V. Navez. 2000. Seasonal evolution of the quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air vapour pressure deficit and plant fruit load. *Ann. Bot.* 86: 741–750.
- Boulard T. and Baille A., 1987. Analysis of thermal performances of greenhouse as solar collector. *Energy in Agriculture.*, 5 : 175-84.
- Boulard T. and Baille A., 1993. A simple greenhouse climate control model incorporating effects of aeration and evaporative cooling. *Agric. Forest Meteor.*, 65 : 145-57.
- Boulard, T., and A. Baille. 1993. A simple greenhouse climate control model incorporating effects of aeration and evaporative cooling. *Agric. For. Meteorol.* 65: 145–57.
- Dayan, E., M. Fuchs, Z. Plaut, E. Presnov, A. Grava, E. Matan, A. Solphoy, U. Mugira, and N. Pines. 2000. Cooling of roses in greenhouses. *Acta Hort.* 534: 351–360.

-
- Δημητράκη Κ. 1982. Πρακτική Λαχανοκομία POTAMITIS PRESS ΑΘΗΝΑ
- Gautier H., S. Guichard, and M. Tchamitchian. 2001. Modulation of competition between fruits and leaves by flower pruning and water logging, and consequences on tomato leaf and fruit growth. *Ann. Bot.* 88: 645–652.
- Gautier, H., M. Tchamitchian, and S. Guichard. 1999. Effects of decreasing VPD by misting on leaf area and leaf inclination in tomato and estimation of consequences on light absorption. *Acta Hort.* 507: 77–84.
- Gates, R. S., J. L. Usry, J. A. Nienhaber, L. W. Turner, and T. C. Bridges. 1991. An optimal misting method for cooling livestock housing. *Trans. ASAE* 34(5): 2199–2206.
- Gates, R. S., D. G. Overhults, R. W. Bottcher, and S. H. Zhang. 1992. Field calibration of a transient model for broiler misting. *Trans. ASAE* 35(5): 1623-1631.
- Giacomelli, G., and W. Roberts. 1989. Try alternative methods of evaporative cooling. *Acta Hort.* 257: 29–30.
- Haeussermann, A., E. Vranken, J.-M. Aerts, E. Hartung, T. Jungbluth, and D. Berckmans. 2007. Evaluation of control strategies for fogging systems in pig facilities. *Trans. ASABE* 50(1): 265–274.
- Hsiao T. C., 1990. Plant atmosphere interactions, evapotranspiration and irrigation scheduling. *Acta Horticulturae*, 278 : 55-66. [13]
- Jolliet, O., and B. J. Bailey. 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measures and models comparison. *Agric. For. Meteorol.* 58: 43–62.
- Κατσούλας Ν., 2002. Επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος στη διαπνοή τριανταφυλλιάς υπό κάλυψη. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 244 σελίδες.
- Katsoulas, N., A. Baille, and C. Kittas. 2001. Effect of misting on transpiration and conductances of a greenhouse rose canopy. *Agric. For. Meteorol.* 106(3): 233–247.
- Katsoulas, N., A. Baille, and C. Kittas. 2002. Influence of leaf area index on canopy energy partitioning and greenhouse cooling requirements. *Biosyst. Eng.* 83: 349–359.
- Kittas, C., N. Katsoulas, and A. Baille. 2001. Influence of greenhouse ventilation regime on microclimate and energy partitioning of a rose canopy during summer conditions. *J. Agr. Eng. Res.* 79: 349–360.
- Landsberg J.J., White B. and Thorpe M.R., 1979. Landsberg J.J., White B. and Thorpe M.R., 1979.. Computer analysis of the efficiency of evaporative cooling for glasshouse in a high energy environment. *J. agric. Engng. Res.*, 2 : 29-39.
- Li, S., D. H. Willits, and C. A. Yunkel. 2006. Experimental study of a high pressure fogging system in naturally ventilated greenhouses. *Acta Hort.* 719: 393–400.
- Lorenzo, P., M. C. Sanchez-Guerrero, E. Medrano, M. L. Garcia, I. Caparros, G. Coelho, and M. Gimenez. 2004. Climate control in the summer season: a comparative study of external mobile shading and fog

-
- system. *Acta Hort.* 659: 189–194.
- Meca, D., J. C. Lopez, J. C. Gazquez, E. Baeza, J. Pérez-Parra, and G. Zaragoza. 2006. Evaluation of two cooling systems in parral type greenhouses with pepper crops: low pressure fog system versus whitening. *Acta Hort.* 719: 515–519.
- Monteith J.L., 1973. Principles of environmental Physics. *Arnold Ed., London, 241 pp.*
- Montero, J. I. 2006. Evaporative cooling in greenhouses: effect on microclimate, water use efficiency and plant response. *Acta Hort.* 719: 373–384.
- Montero, J. I., A. Antón, C. Beil, and A. Franquet. 1990. Cooling of greenhouses with compressed air fogging nozzles. *Acta Hort.* 281: 199–209.
- Montero, J. I., and I. Segal. 1993. Evaporative cooling of greenhouses by fogging combined with natural ventilation and shading. In M. Fuchs (Ed.), *Proceedings of the International Workshop on Cooling Systems for Greenhouses*, Tel Aviv, Israel, 89–99.
- Ντόγρας Κ., 1989. Στοιχεία Ειδικής Λαχανοκομίας. Α.Π.Θ. ΘΕΣ/ΝΙΚΗ.
- Oren, R., J. S. Sperry, G. G. Katul, D. E. Pataki, B. E. Ewers, N. Phillips, and K. V. R. Schafer. 1999. Survey and synthesis of intra- and inter-specific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. *Plant Cell Env.* 22: 1515–1526.
- Ολύμπιος Χ.Μ., 1990. Στοιχεία για την καλλιέργεια της πιπεριάς και της μελιτζάνας. Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ραπτόπουλος Θ. 1973. Γενική και Ειδική Λαχανοκομία. ΘΕΣ/ΝΙΚΗ.
- Σάββας Δ., 1995. Πιπεριά. Γεωργ. Τεχνολογία Αφιέρωμα Λίπανση-Θρέψη :98-99.
- Σάββας Δ., 1995. Μελιτζάνα. Γεωργ. Τεχνολογία Αφιέρωμα Λίπανση-Θρέψη :100-101.
- Sethi, V. P., and Sharma, S. K. 2007. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy*: doi:10.1016/j.solener.2007.03.004.
- Σπάρτση Ν. 1987. Γενική και Ειδική Λαχανοκομία . Ο.Ε.Δ.Β. ΑΘΗΝΑ
- Stanghellini C., 1987. Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. *Ph.D. Dissertation, Agricultural University, Wageningen, 150pp.*
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2003. Εξέλιξη της καλλιέργειας της νωπής πιπεριάς, περίοδος 1991- 2003. Δ/ση Αγροτικής Πολιτικής και Τεκμηρίωσης, Τμήματα: 1. Αγροτικής Στατιστικής, 2. Τεκμηρίωσης, http://www.minagric.gr/greek/agro_pol/piperies.htm
- Van Koot, Y., and W. Van Ravestijn. 1963. The germination of tomato pollen on the stigma (as an aid to the study of fruit setting problems). *Proceedings of the 16th International Horticultural Congress*, 31st August - 8th September 1962, Brussels, Belgium. 2: 452–461.
- Ware, G.W. and J.P. McCollum, 1980. Producing Vegetable Crops. The

Inerstate Printers & Publishers, Inc., (3rd Edition), Danville, Illinois, U.S.A.

Willits, D. H. 1999. Constraints and limitations in greenhouse cooling: challenges for the next decade. *Acta Hort.* 534: 57–66.

Yanagi, Jr., T., H. Xin, and R. S. Gates. 2002. Optimization of partial surface wetting to cool caged laying hens. *Trans. ASAE* 45(4): 1091–1100.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Ι

Απαιτήσεις όσο αφορά την ποιότητα νερού που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα δροσισμού

Το νερό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα δροσισμού πρέπει να είναι ποιότητας ανάλογης του πόσιμου. Η χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού περιγράφονται στον ευρωπαϊκό κανονισμό «EU Drinking Water Directive 98/83/EEC». Ακόμη και όταν το νερό είναι καθαρό και πόσιμο μπορεί να περιέχει σωματίδια που να μην του επιτρέπουν να χρησιμοποιηθεί απ'ευθείας σε ένα σύστημα δροσισμού.

Εάν το νερό είναι σκληρό, δηλαδή έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε ασβέστιο και μαγνήσιο, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα φράζοντας τα ακροφύσια. Εάν από την άλλη το νερό είναι πολύ καθαρό και έχει χαμηλό περιεχόμενο σε άλατα και ορυκτά, μπορεί να είναι πολύ ενεργό και τότε πρέπει όλα τα εξαρτήματα του συστήματος δροσισμού που έρχονται σε επαφή με αυτό να είναι κατασκευασμένα από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση. Σε ορισμένες περιοχές γίνεται προσθήκη χλωρίου στο νερό ώστε να εξασφαλιστεί ότι το περιεχόμενό του σε μικροοργανισμούς είναι μικρό. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις.

Για να αποφεύγονται τα προβλήματα που αναφέρθηκαν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την ποιότητα του νερού πριν σχεδιάσουμε ένα σύστημα δροσισμού. Τυπικές απαιτήσεις κατασκευαστών συστημάτων δροσισμού ώστε να μην παρουσιάζονται προβλήματα όπως εμφράξεις ακροφυσίων και διαβρώσεις βαλβίδων παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Η ολική σκληρότητα του νερού εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε ασβέστιο και μαγνήσιο (αναφέρεται στη συγκέντρωση ιόντων Ca^{++} και Mg^{++} και υπολογίζεται ως το σύνολο των ανθρακικών, θειικών και χλωριούχων αλάτων των ιόντων αυτών), η μέγιστη αποδεκτή σκληρότητα νερού για χρήση σε σύστημα τεχνητής ομίχλης είναι τα 2 °dH. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα όρια σκληρότητα και ο αντίστοιχος χαρακτηρισμός του νερού:

Σκληρότητα σε °dH	Χαρακτηρισμός
0 - 4	Πολύ μαλακό
4 - 8	Μαλακό
8 - 12	Μέτριο σκληρό
12 - 18	Σχετικά σκληρό

Το νερό στο θερμοκήπιο του τμήματος AAT του ΤΕΙ Ηπείρου το νερό έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα 0,58 dS/m στους 25 °C (20/9/2005).

Η ποιότητα του νερού (περιεχόμενο σε ορυκτά και άλατα) καθορίζει και την ποσότητα της σκόνης που επικάθεται μετά την εξάτμιση. Εάν η σκόνη πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή σε π.χ. αισθητήρια όπως αυτά της ακτινοβολίας ή στα φύλλα καλλωπιστικών φυτών κοκ συστήνεται η εγκατάσταση ενός συστήματος αντίστροφης όσμωσης έχω κάτι στοιχεία από σιτε να τα βάλω.

Ένα τέτοιο σύστημα ελαττώνει το περιεχόμενο του νερού σε στερεά έως και κατά 98% και συνήθως δίνει νερό με αγωγιμότητα μεταξύ 5 και 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Το νερό εισόδου σε ένα τέτοιο σύστημα έχει αγωγιμότητα μεταξύ 250 και 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Για τιμές εκτός αυτών των ορίων χρειάζονται ειδικές διατάξεις.

Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ηλεκτρικός αποσκληρυντής νερού. Αυτός εμποδίζει την δημιουργία στρώματος ασβεστίου στα ακροφύσια χωρίς να αλλάζει την σύνθεση του νερού. Είναι μία φθηνή λύση όταν το πρόβλημα είναι οι συχνές εμφράξεις των ακροφυσίων αλλά δεν λύνει το πρόβλημα της επικάλυψης «σκόνης» σε επιφάνειες που διαβρέχονται.

Παράρτημα II

Σταθερές

- γ** Ψυχομετρική σταθερά, ίση με 0,066 kPa/K
λ Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού, ίση με 2.450 - 2.500 10³ J/kg

Παράρτημα III

Ορισμοί

Θεωρήθηκε απαραίτητη η παράθεση των ορισμών ορισμένων μεγεθών (ιδιαίτερα ψυχομετρίας) που χρησιμοποιούνται στην παρούσα πτυχιακή διατριβή ώστε να είναι ευκολότερη η κατανόησή τους. Για κάθε μέγεθος δίνεται η ελληνική και αγγλική ονομασία, τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται, οι συνηθισμένες μονάδες μέτρησης, η μαθηματική σχέση υπολογισμού, τα σχετικά όργανα μέτρησης καθώς και οι χρήσεις του για τον έλεγχο του κλίματος του θερμοκηπίου.

Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (I_{LA} ή LAI - Leaf Area Index)

Ορίζεται ως η συνολική επιφάνεια των φύλλων (επάνω και κάτω πλευρά τους) ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους όπου βρίσκεται η καλλιέργεια. Εκφράζεται σε m^2/m^2 . Μετριέται είτε με σάρωση φύλλων και εύρεση εμβαδού με ειδικό λογισμικό ολοκλήρωσης. Σε κάποιες περιπτώσεις π.χ. τριαντάφυλλο, έχουν αναπτυχθεί και σχέσεις μεταξύ π.χ. μήκους φύλλου και επιφάνειας του.

Μερική και συνολική πίεση αέρα (Air vapor pressure)

Αν κλείσουμε σε ένα χώρο ένα καθαρό αέριο τότε αυτό θα καταλάβει όλο τον όγκο του χώρου και θα έχει μία συγκεκριμένη πίεση ανάλογα με την θερμοκρασία του. Αν βγάλουμε το πρώτο αέριο και στον ίδιο χώρο βάλουμε ένα άλλο καθαρό αέριο τότε θα συμβούν τα ίδια εκτός από την πίεση που θα είναι διαφορετική. Αν βάλουμε και τα δύο μαζί στο χώρο τότε θα μετρήσουμε ως πίεση το άθροισμα των πιέσεων που είχαμε πριν. –στην ίδια θερμοκρασία- Ορίζουμε έτσι τη συνολική πίεση του μείγματος και τη μερική πίεση των συστατικών του. Μερική πίεση ονομάζουμε την πίεση που θα είχε το συστατικό εάν βρισκόταν μόνο του στον ίδιο χώρο. Βλέπουμε λοιπόν ότι στην περιοχή των τελείων αερίων η συνολική πίεση ενός μείγματος είναι ίση με το άθροισμα των μερικών πιέσεων των συστατικών του. Για την μερική πίεση ισχύει:

$$P = c R_c T$$

όπου:

- P** : η πίεση ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα ή υδρατμού σε $N/m^2 = Pa$
C : η συγκέντρωση των μορίων σε kg/m^3
R_c : $8,31 J/mol K$ η παγκόσμια σταθερά των τελείων αερίων
T : η θερμοκρασία σε K

Για τη συνολική πίεση ισχύει:

$$P_{\text{αέρα}} = P_{\text{ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα}} + P_{\text{υδρατμού}}$$

Σχετική και απόλυτη υγρασία (Relative and Absolute Humidity)

Σχετική υγρασία του αέρα ονομάζουμε το πηλίκο της μερικής πίεσης υδρατμού p_a (που έχει ο αέρας) προς την πίεση κορεσμού p_s του αέρα στην ίδια θερμοκρασία. Ισχύει:

$$RH = \frac{p_a}{p_s} \times 100\% \text{ ποσοστό – αδιάστατο μέγεθος}$$

όπου:

p_a η μερική πίεση του υδρατμού που περιέχει ο αέρας

p_s η πίεση κορεσμού του αέρα για τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται

Για τον κορεσμένο αέρα έχουμε $RH=100\%$ και για τον ξηρό $RH=0\%$.

Απόλυτη υγρασία του αέρα ονομάζουμε το λόγο της μάζας υδρατμού που περιέχει ένας όγκος αέρα ως προς τον όγκο του:

$$\Phi = \frac{m_a}{V} = \frac{p_a}{461,5 \times T} \text{ σε kg/m}^3$$

όπου:

m_a :η μάζα του υδρατμού σε kg, είναι: $m_a = \frac{p_a \times V}{461,5 \times T}$

V :ο όγκος σε m^3

p_a :η μερική πίεση του υδρατμού σε Pa

T :η απόλυτη θερμοκρασία σε K

Εάν ψύχουμε τον αέρα υπό σταθερή πίεση φτάνουμε σε μία θερμοκρασία που εμφανίζεται το πρώτο συμπύκνωμα, αυτή τη θερμοκρασία την ονομάζουμε θερμοκρασία δρόσου.

Η σχετική υγρασία μετράται με υγρόμετρα (μηχανικά ή ηλεκτρονικά).

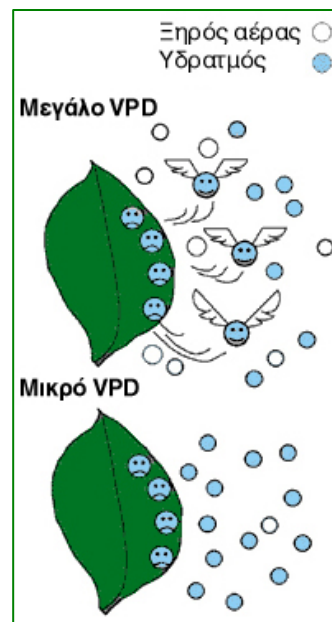
Έλλειμμα κορεσμού αέρα (D_i ή VPD_i) και καλλιέργειας –αέρα (D_c ή VPD_c) - Vapor Pressure Deficit)

Το έλλειμμα κορεσμού του αέρα ή αλλιώς το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (vapor pressure deficit - VPD) είναι η διαφορά μεταξύ του ποσού υγρασίας στον αέρα και της μέγιστης υγρασίας μπορεί ο ίδιος αέρας να περιέχει (κατάσταση κορεσμού). Επειδή η πίεση υδρατμών είναι ένα μέτρο της ποσότητας υδρατμών στον αέρα το VPD εκφράζεται μαθηματικά από τη σχέση:

$$VPD = p_s - p_a$$

όπου p_a είναι η πίεση υδρατμών του αέρα ενώ p_s είναι η πίεση υδρατμών κορεσμού για την ίδια θερμοκρασία. Εάν χρησιμοποιηθεί η θερμοκρασία φύλλου για τον υπολογισμό του p_s τότε βρίσκουμε το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα.

Στην εικόνα παρουσιάζεται πως το VPD σχετίζεται



με την κοινή αίσθηση περί υγρασίας. Μεγαλύτερο VPD σημαίνει ότι ο αέρας έχει μεγαλύτερη ικανότητα να δεχθεί νερό, γεγονός που «ενθαρρύνει» την μεταφορά υδρατμών από το φυτό στον αέρα (μέσω της διαπνοής). Από την άλλη μικρότερο VPD, σημαίνει ότι ο αέρας είναι κοντά στον κορεσμό και επομένως δεν μπορεί να δεχθεί εύκολα υδρατμούς από το φυτό. Από αυτά είναι φανερό ότι το VPD είναι ένας χρήσιμος τρόπος για την έκφραση της μετακίνησης υδρατμού στο σύστημα καλλιέργεια - αέρας.

Η χρήση του VPD αποτελεί μία βελτίωση σε σχέση με τη χρήση μόνο της σχετικής υγρασίας επειδή το VPD λαμβάνει υπόψη του και την επίδραση της θερμοκρασίας στην ικανότητα του αέρα να συγκρατεί υδρατμούς. Αντί να δίνει ένα σχετικό μέτρο του νερού που περιέχεται στον αέρα, το VPD δίνει ένα απόλυτο μέτρο του πόσο ακόμη νερό μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας και πόσο κοντά είναι στον κορεσμό.

Το VPD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των αναγκών άρδευσης της καλλιέργειας. Μία ακόμη ενδιαφέρουσα χρήση του VPD στα θερμοκήπια είναι η εκτίμηση του κινδύνου ανάπτυξη ασθενειών που ευνοούνται από την υψηλή υγρασία (Prenger and Ling 2001). Αρκετές μελέτες με αντικείμενο την επιβίωση παθογόνων σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες έχουν αποκαλύψει δύο κρίσιμες τιμές του VPD. Οι μύκητες επιβιώνουν καλύτερα όταν το VPD είναι μικρότερο από 0,062 psi (0,43 kPa) ενώ οι ζημιές από ασθένειες είναι γενικά μεγαλύτερες για VPD μικρότερο από 0,030 psi (0,20 kPa). Έτσι το κλίμα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου πρέπει να κρατιέται σε συνθήκες με VPD μεγαλύτερο από 0,030 psi (0,20 kPa), ώστε να αποφεύγονται ασθένειες. Στον πίνακα που ακολουθεί

T (°C)	όριο RH (%)
10	83,0%
16	89,0%
20	91,5%
30	95,5%

παρουσιάζονται οι οριακές τιμές της σχετικής υγρασίας για αποφυγή ασθενειών που αντιστοιχούν σε VPD 0,030 psi (0,20 kPa). Για παράδειγμα σε ένα θερμοκήπιο διαστάσεων 31m μήκος X 9m μήκος X 3m ύψος παρατηρούμε ότι για ίδια σχετική υγρασία (80%) σε διαφορετικές

Θερμοκρασίες το VPD είναι διαφορετικό και μας δείχνει καθαρά ότι στους 10°C οι συνθήκες είναι στην πραγματικότητα περισσότερο προβληματικές από ότι στους 20°C (VPD >> 0,20 kPa)

RH (%)	T (°C)	m H ₂ O (kg)	VPD (psi / kPa)
80	10	6,35	0,036 psi (0,25 kPa)
80	20	12,70	0,072 psi (0,50 kPa)

Υπάρχουν δύο τρόποι να γίνει υπολογισμός του VPD, με τη χρήση του ψυχομετρικού διαγράμματος ή με εξισώσεις.

Με χρήση του διαγράμματος:

1. Μετρήσετε τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Εάν είναι δυνατό μετρήστε και τη θερμοκρασία φύλλου.
2. Βρείτε τη θερμοκρασία αέρα στον οριζόντιο άξονα, ανεβείτε κατακόρυφα έως ότου συναντήσετε την καμπύλη της σχετικής υγρασίας που αντιστοιχεί σε αυτή που μετρήσατε.
3. Από το σημείο αυτό κινηθείτε οριζόντια προς αριστερά για να διαβάσετε στον κατακόρυφο άξονα το p_a σε psi.
4. Βρείτε τη θερμοκρασία φύλλου (ή την θερμοκρασία αέρα εάν δεν έχετε τη θερμοκρασία φύλλου) στον οριζόντιο άξονα, ανεβείτε κατακόρυφα έως ότου συναντήσετε την καμπύλη της σχετικής υγρασίας 100% (κορεσμός).
5. Από το σημείο αυτό κινηθείτε οριζόντια προς αριστερά για να διαβάσετε στον κατακόρυφο άξονα το p_s σε psi.
6. Βρείτε το VPD σε psi από τη διαφορά $p_s - p_a$, για να μετατρέψετε σε kPa πολλαπλασιάστε επί 6,897.

Για παράδειγμα εάν έχουμε θερμοκρασία 10°C και σχετική υγρασία 80% τότε έχουμε $p_a = 0,142$ psi και p_s (για σχετική υγρασία 100%) = 0,178 psi, επομένως $VPD = 0,178 - 0,142 = 0,036$ psi = (X 6,897 kPa/psi) = 0,25kPa

Με χρήση εξισώσεων:

1. Μετρήσετε τη θερμοκρασία (T_{air} °C) και τη σχετική υγρασία (RH_{air} %) αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Εάν είναι δυνατό μετρήστε και τη θερμοκρασία φύλλου (T_{leaf} °C).
2. Υπολογίστε την πίεση υδρατμών στον κορεσμό για θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία του αέρα:

$$p_s(T_{air}) = 0,6108 \times e^{\frac{17,27 \times T_{air}}{T_{air} + 237,3}} \text{ kPa}$$

3. Υπολογίστε την πίεση υδρατμών στον κορεσμό για θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία φύλλων:

$$p_s(T_{leaf}) = 0,6108 \times e^{\frac{17,27 \times T_{leaf}}{T_{leaf} + 237,3}} \text{ kPa}$$

4. Υπολογίστε την πίεση υδρατμών στον αέρα για την σχετική υγρασία του θερμοκηπίου από τη σχέση:

$$p_a(T_{air}) = 0,6108 \times e^{\frac{17,27 \times T_{air}}{T_{air} + 237,3}} \times (RH_{air} / 100) \text{ kPa}$$

5. Βρείτε το VPD σε kPa από τη σχέση:
- $VPD_{\text{αέρα}} = p_s(T_{air}) - p_a(T_{air})$
 - $VPD_{\text{καλλιέργειας-αέρα}} = p_s(T_{leaf}) - p_a(T_{air})$

Λόγος Bowen (β – Bowen Ratio)

Η απώλεια αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας μέσω της διαπνοής είναι οι κυριότερες διαδικασίες που συμβάλουν στη ρύθμιση της θερμοκρασίας των φύλλων. Ο λόγος αυτών των δύο ονομάζεται λόγος Bowen (β) και δίνεται από τη σχέση:

$\beta = \text{απώλεια αισθητής θερμότητας} / \text{απώλεια θερμότητας μέσω εξάτμισης}$
ή

$$\beta = \frac{H_c}{\lambda E_c}$$

Απώλεια αισθητής θερμότητας είναι η θερμότητα που απομακρύνεται μέσω της κίνησης του αέρα από την επιφάνειά των φύλλων εάν η θερμοκρασία τους είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Απώλεια θερμότητας μέσω εξάτμισης συμβαίνει λόγω του ότι η εξάτμιση νερού απαιτεί ενέργεια, έτσι όταν νερό εξατμίζεται από το φυτό παίρνει ενέργεια – θερμότητα από αυτό με αποτέλεσμα το φύλλο να κρυώνει.

Όταν ο ρυθμός εξάτμισης είναι μικρός λόγω περιορισμένου εφοδιασμού με νερό, ο λόγος Bowen τείνει να γίνει μεγάλος, από την άλλη σε επαρκώς αρδευόμενα φυτά η διαπνοή και επομένως η απομάκρυνση υδρατμών από το φυτό είναι υψηλή και έτσι ο λόγος Bowen είναι χαμηλός.

Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής μία καλλιέργειας μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας μετρήσεις του λόγου Bowen, της καθαρής προσπίπτουσας ακτινοβολίας, της απώλειας θερμότητας από το έδαφος και της μεταβολής της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης υδρατμών στο περιβάλλον της καλλιέργειας.

Εναλλακτικά ο λόγος Bowen μπορεί να εκφραστεί ως ο λόγος του συντελεστή διάχυσης της θερμότητας και του συντελεστή διάχυσης υδρατμών.

Ποσοστό ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από το κάλυμμα του θερμοκηπίου

Το ποσοστό ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από το κάλυμμα του θερμοκηπίου. Μετράται σε ποσοστό % και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tau = \frac{Rs_{in}}{Rs_{out}} \times 100\%$$

Ομοιομορφία παροχής νερού

Ο συντελεστής ομοιομορφίας (Lieth, 1996) δίνεται από τη σχέση:

$$Q = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - A|}{nA}$$

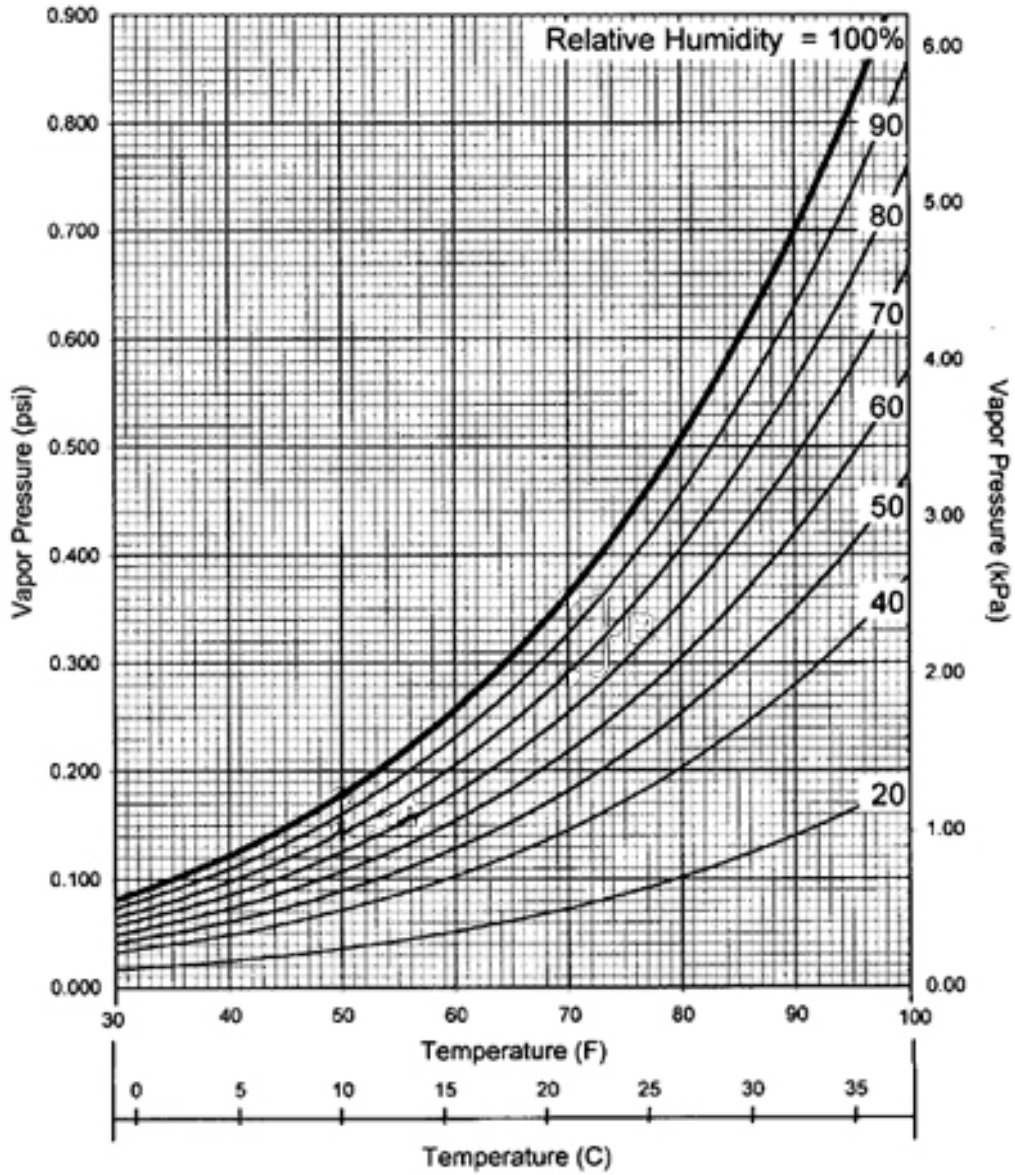
όπου:

x ο ρυθμός παροχής νερού στο i από τα n φυτά - δείγματα,

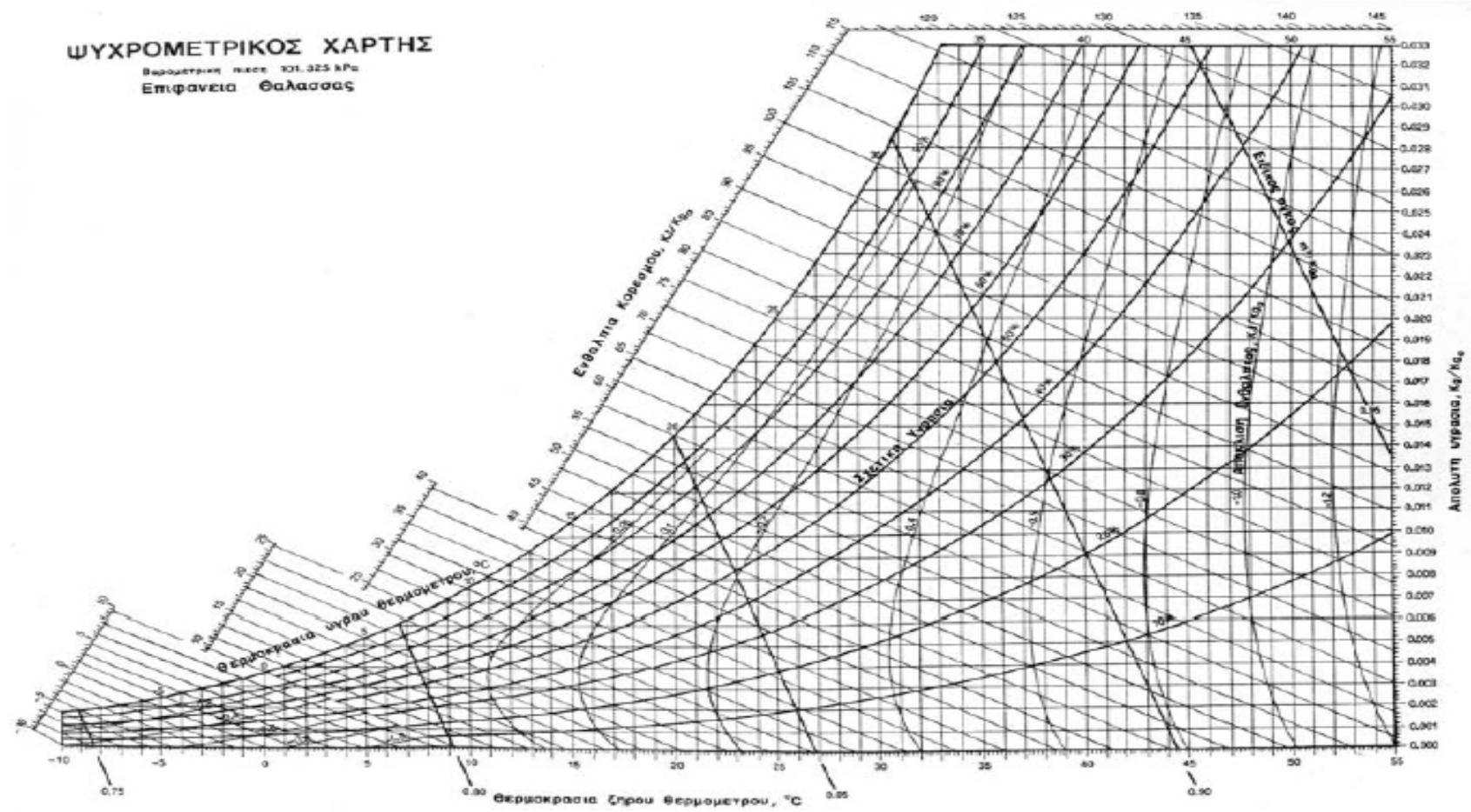
A ο μέσος ρυθμός παροχής νερού όλων των φυτών δειγμάτων.

Ο συντελεστής ομοιομορφίας είναι ένα αδιάστατο μέγεθος, το οποίο δεν εξαρτάται από τον ρυθμό παροχής νερού (συνήθως $l \ h^{-1}$) και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας τόσο πιο ομοιόμορφη είναι η παροχή νερού στα φυτά σε μία καλλιέργεια.

Παράρτημα V Ψυχομετρικά διαγράμματα



Εικόνα 1 Ψυχομετρικό διάγραμμα

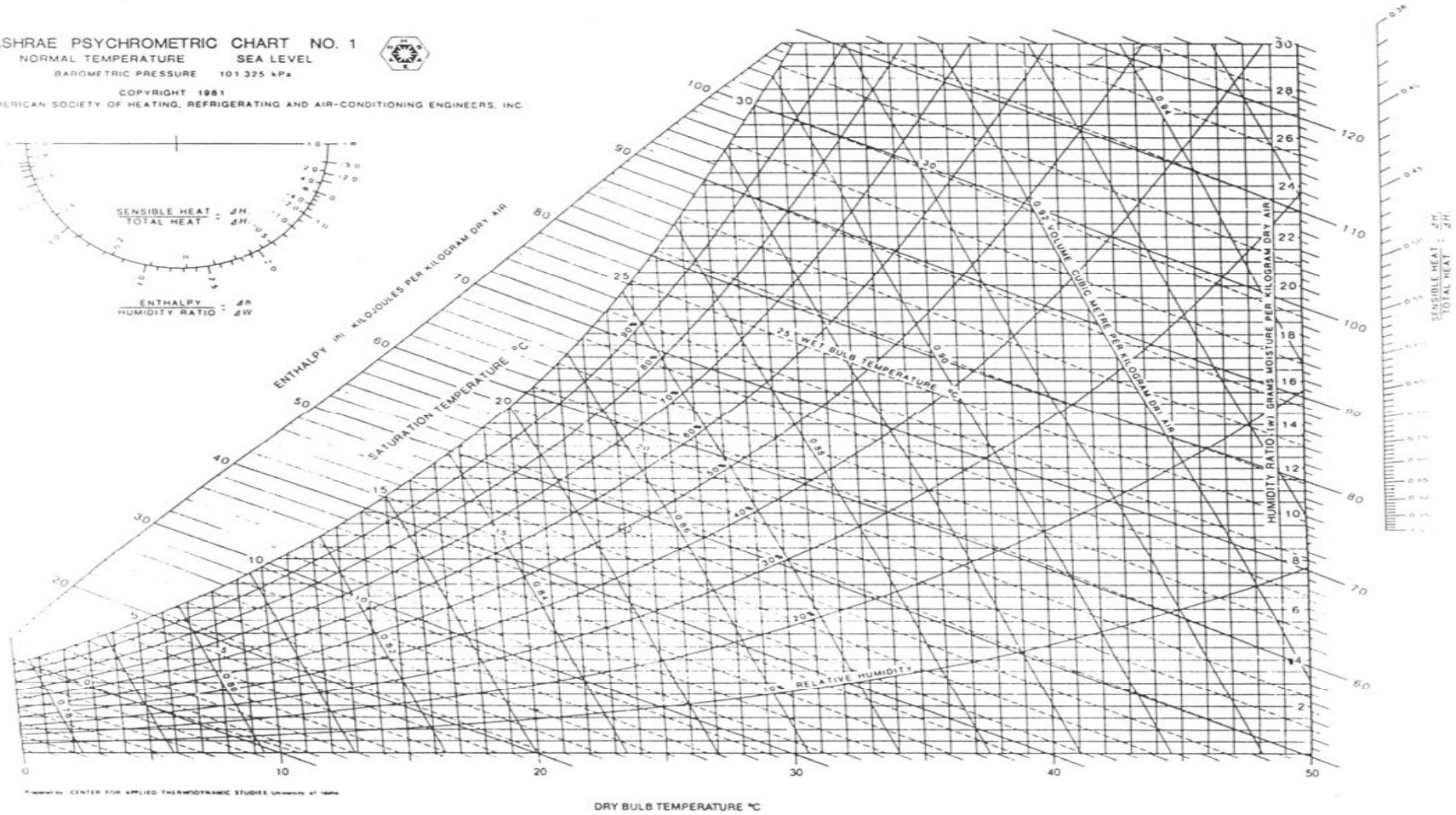
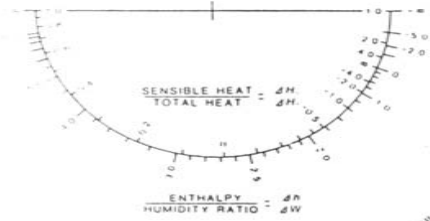


Εικόνα 2 Ψυχομετρικός χάρτης

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1
 NORMAL TEMPERATURE SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa



COPYRIGHT 1981
 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



Εικόνα 3 ASHRAE Psychrometric Chart
