

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ
& ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Αριθ. Πρωτ. 34

Ημερομηνία 7 - 9 - 1995

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ & ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ
ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΣΤΕΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΚΙΑΣΗΣ
ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΕΠΟΝΙΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ
Διπλωματική διατριβή

ΒΟΛΟΣ 1995



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 69/1

Ημερ. Εισ.: 01-09-2003

Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΓΦΖΠ

1995

ΓΙΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070127

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ & ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ
ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΣΤΕΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΚΙΑΣΗΣ
ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΕΠΟΝΙΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ
Διπλωματική διατριβή

Εξεταστική επιτροπή : Κ. Κίττας (επιβλέπων καθηγητής)
Μ. Σακελλαρίου (μέλος)
Θ. Γέμτος (μέλος)

ΒΟΛΟΣ 1995

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Παράγοντες του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου

1.1 Βιοτικοί παράγοντες	3
1.2 Κλιματολογικοί παράγοντες	3
1.2.1 Θερμοκρασία αέρα	3
1.2.2 Διοξίδιο του άνθρακα	4
1.2.3 Υγρασία του αέρα	5
1.2.4 Ηλιακή ακτινοβολία	6
1. Η ηλιακή ακτινοβολία στη γήινη ατμόσφαιρα	6
2. Η ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με το θερμοκήπιο	6
3. Επίδραση φωτός στην ανάπτυξη των καλλιεργειών	7
4. Σκίαση των θερμοκηπίων	8
1.3 Εδαφικοί παράγοντες	
1.3.1 Θερμοκρασία εδάφους	10
1.3.2 Η αντίδραση του εδάφους	11
1.3.3 Η δομή του εδάφους	11
1.3.4 Τα θρεπτικά στοιχεία	11
1.3.5 Η υγρασία του εδάφους	11
1. Σημασία του νερού για τα φυτά	11
2. Το δυναμικό του νερού	12
3. Το διαθέσιμο στα φυτά εδαφικό νερό	13
4. Προγραμματισμός των αρδεύσεων	15
5. Αντίδραση των φυτών στην υδατική στέρηση	18
Επίλογος / στοιχεία για την καλλιέργεια	19

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Περιγραφή πειραματικού εξοπλισμού και πρωτοκόλλου

Σπορά	20
Προετοιμασία θερμοκηπίου	20
Διάταξη φυτών στο θερμοκήπιο	20
Προσδιορισμός υδατοϊκανότητας γλαστρών και καθορισμός αρδευτικών επεμβάσεων	21
Σκίαση	23
Καλλιεργητικές φροντίδες	24
Λήψη μετρήσεων	25

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

Μετρήσεις και επεξεργασία

Μετρήσεις φυλλικής επιφάνειας, αριθμού φύλλων, ύψους και διαμέτρου.....	26
Στατιστική ανάλυση δεδομένων	30
Μετρήσεις ανθέων, καρπών και αποτελέσματα ανάλυσης φύλλων και μίσχων	31

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

Συζήτηση και συμπεράσματα

Επίδραση των παραγόντων στη φυλλική επιφάνεια	36
Επίδραση των παραγόντων στον αριθμό φύλλων	37
Επίδραση των παραγόντων στο ύψος	37
Επίδραση των παραγόντων στη διάμετρο βλαστού	37
Επίδραση των παραγόντων στην παραγωγή ανθέων & καρπών	38
Επίδραση των παραγόντων στο ξηρό βάρος βλαστών & φύλλων	39
Επίδραση των παραγόντων στην περιεκτικότητα σε N, P, K	40
Αναφορές σε σχετικά πειράματα γενικά	40
Τελικά συμπεράσματα	41

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε πολλές χώρες, όπως τη Γαλλία, την Ισπανία και το Ισραήλ, το πεπόνι καλλιεργείται σε μεγάλη έκταση σε θερμοκήπια για εξασφάλιση πρώιμης παραγωγής. Στη χώρα μας καλλιεργείται σε περιορισμένη έκταση στα θερμοκήπια, αλλά, τόσο οι ευνοϊκές εδαφοκλιματολογικές συνθήκες, όσο και η αύξηση της ζήτησης στο εσωτερικό και στο εξωτερικό, συνηγορούν στην επέκταση της καλλιέργειας «υπό κάλυψη».

Η ανταπόκριση του πεπονιού σε δύο σημαντικούς παράγοντες του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου όπως το φως και η υγρασία εδάφους, είναι το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Γι' αυτό ελήφθησαν δύο επίπεδα ως προς το φως, σκίαση και μη σκίαση, και δύο ως προς την άρδευση, ικανοποιητική άρδευση και υδατική στέρηση, ενώ η αντίδραση των φυτών μελετήθηκε ως προς ορισμένα χαρακτηριστικά του βλαστικού τους σταδίου, όπως φυλλική επιφάνεια και διάμετρος βλαστού, αλλά και ως προς χαρακτηριστικά του αναπαραγωγικού τους σταδίου όπως ποιότητα και ποσότητα των παραγομένων καρπών.

Για τη θεωρητική κάλυψη του θέματος ακολουθεί μια αναφορά στους παράγοντες του περιβάλλοντος με έμφαση σ' αυτούς που συνδέονται άμεσα με το θέμα, μετά περιγράφεται ο εξοπλισμός του πειράματος, παρατίθενται τα αποτελέσματα και η στατιστική τους ανάλυση και τέλος γίνεται συζήτηση πάνω σε αυτά.

Το πείραμα διεξήχθη στο Ινστιτούτο Προστασίας Φυτών Πατρών το καλοκαίρι του 1994 με τη βοήθεια του προσωπικού και ειδικά του διευθυντή κ. Παναγιωτόπουλου.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Η ανάπτυξη και η απόδοση του φυτού εξαρτάται από τη γενετική του σύνθεση και από το περιβάλλον. Γενότυπος και περιβάλλον παίζουν εξίσου σπουδαίο ρόλο στην ανάπτυξη και στην απόδοση των καλλιεργειών του θερμοκηπίου και ανάλογα με το ποιός από τους δύο είναι πιο περιοριστικός είναι και ο σπουδαιότερος παράγοντας.

Το περιβάλλον του φυτού είναι το άθροισμα πολλών παραγόντων, οι οποίοι μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες:

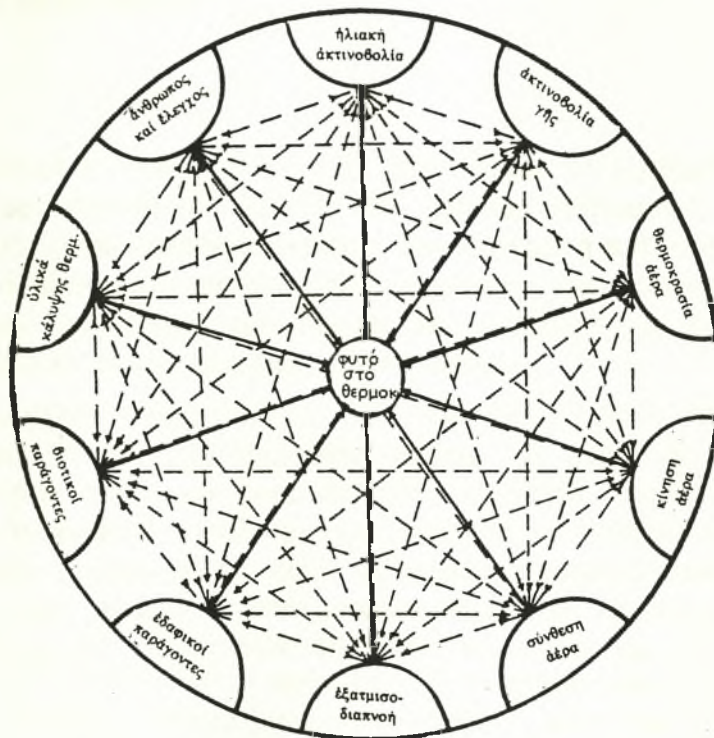
α) Βιοτικοί παράγοντες.

β) Παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού που επιτελούνται περισσότερο στο υπέργειο μέρος του και είναι κυρίως η θερμοκρασία του αέρα, το διοξείδιο του άνθρακα, η σχετική υγρασία και η ακτινοβολία. Αυτοί είναι οι κλιματολογικοί παράγοντες.

γ) Εδαφικοί παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού που επιτελούνται στη ρίζα και είναι κυρίως η θερμοκρασία εδάφους, η αντίδραση του εδάφους, η δομή του εδάφους, η γονιμότητα του εδάφους και η υγρασία.

Η ρύθμιση των παραγόντων αυτών είναι πολύ δύσκολη, όχι μόνο επειδή υπεισέρχονται πολλοί συγχρόνως παράγοντες, αλλά και επειδή ο κάθε παράγοντας μεταβάλλεται σε μεγάλο βαθμό και ακόμη υπάρχει μία διαρκής αλληλεπίδραση μεταξύ τους. (Εικ. 1). Η μέγιστη απόδοση επιτυγχάνεται μόνο, όταν όλοι αυτοί οι παράγοντες βρεθούν σε ένα άριστο επίπεδο, κάτι το οποίο είναι βέβαια σπάνια εφικτό.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν οι παράγοντες που αναφέρθηκαν πιο πάνω, με ιδιαίτερη έμφαση στους «ηλιακή ακτινοβολία» και «εδαφική υγρασία», η επίδραση των οποίων πάνω σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια πεπονιού είναι και αντικείμενο της παρούσας εργασίας.



Εικ. 1. Αλληλεπίδραση μεταξύ παραγόντων του περιβάλλοντος.
 Με συνεχείς γραμμές παρασταίνονται οι επιδράσεις των παραγόντων στις καλλιέργειες, ενώ με διακεκομμένες οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

1.1 ΒΙΟΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Στους βιοτικούς παράγοντες που αποτελούν το βιολογικό περιβάλλον, ανήκουν διάφορες κατηγορίες ζωικών και φυτικών παρασίτων, όπως έντομα, ακάρεα, νηματώδεις, ιοί, βακτήρια, φανερόγαμα παράσιτα φυτών και ο άνθρωπος. Ο ρόλος του ανθρώπου ως παράγοντας του βιοτικού περιβάλλοντος περιορίζεται στη ρύθμιση των εδαφοκλιματικών και βιοτικών παραγόντων για τη δημιουργία καλύτερων συνθηκών ανάπτυξης των καλλιεργειών.

Στο θερμοκήπιο, η βλαστική περίοδος των καλλιεργειών είναι πολύ μεγάλη. Οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας ευνοούν την ανάπτυξη των εχθρών και των ασθενειών των φυτών και μόνο σε σπάνιες ακραίες περιπτώσεις, όπως σε πολύ υψηλή θερμοκρασία ή πολύ χαμηλή υγρασία, εμποδίζεται η ανάπτυξη των παθογόνων. Από το άλλο μέρος, και η παραμικρή προσβολή των καλλιεργειών ή των προϊόντων τους από παθογόνα μειώνει σημαντικά την εμπορική τους αξία. Εξάλλου η καλλιέργεια κηπευτικών στον ίδιο χώρο και για πολλά συνεχόμενα χρόνια βοηθά να διαιωνίζονται οι ασθένειες και οι εχθροί των φυτών. Οι βιοτικοί παράγοντες επηρεάζουν το εναέριο και το υπόγειο μέρος των φυτών και άλλοτε ωφελούν και άλλοτε βλάπτουν τις καλλιέργειες. (Γραφαδιέλλης, 1987)

1.2 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι σημαντικότεροι είναι η θερμοκρασία, το διοξείδιο του άνθρακα, η υγρασία του αέρα και η ηλιακή ακτινοβολία.

1.2.1 Θερμοκρασία αέρα

Η θερμοκρασία, εφ' όσον ο φωτισμός είναι επαρκής, είναι ο κυριότερος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει περισσότερο από κάθε άλλο το ρυθμό ανάπτυξης των καλλιεργειών και πολλές άλλες λειτουργίες όπως τη φωτοσύνθεση, τη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών, τη διαπνοή, την απορρόφηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων, την αναπνοή, την ενεργητικότητα των ενζύμων κ.α.

Κύρια πηγή θερμότητας για το θερμοκήπιο είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Το κάλυμμα απορροφά ένα μέρος της ακτινοβολίας αυτής, ένα άλλο μέρος ανακλάται, ενώ το υπόλοιπο περνά στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, όπου ένα μέρος του απορροφάται από τις επιφάνειες όπου προσπίπτει (έδαφος, φυτά, σωλήνες θέρμανσης κλπ.) και ένα άλλο ανακλάται για να ξαναπέσει σε άλλες επιφάνειες ή να βγει εκτός θερμοκηπίου. Εκτός από την ηλιακή ακτινοβολία, σημαντικό ρόλο στις ενεργειακές ανταλλαγές του θερμοκηπίου παίζει η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, ιδιαίτερα στα θερμοκήπια με κάλυψη από φύλλα πολυαιθυλενίου που

είναι μερικώς περατά στη μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή ανταλλάσσεται μεταξύ του ουρανού και του καλύμματος (μέσω του καλύμματος), μεταξύ ουρανού και κάθε επιφάνειας μέσα στο θερμοκήπιο, καθώς και μεταξύ των διαφόρων επιφανειών μέσα στο θερμοκήπιο. Οι ανταλλαγές αυτές καθορίζονται ποσοτικά από τη θερμοκρασία, την εκπεμπτικότητα των επιφανειών, καθώς και από τους γεωμετρικούς παράγοντες ακτινοβολίας.

Η ροή θερμότητας στο έδαφος γίνεται με αγωγή και στις τρεις διαστάσεις (βάθος, πλάτος, μήκος). Αγωγή επίσης γίνεται μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής πλευράς του υλικού κάλυψης. Ανταλλαγή ενέργειας με συναγωγή γίνεται μεταξύ του εξωτερικού αέρα και της εξωτερικής πλευράς του καλύμματος, καθώς και του εσωτερικού αέρα και της εσωτερικής πλευράς του καλύμματος. Επίσης συναγωγή γίνεται μεταξύ του εσωτερικού αέρα και της επιφάνειας του εδάφους του θερμοκηπίου, και μεταξύ της επιφάνειας των φύλλων και του εσωτερικού αέρα. (Μαυρογιαννόπουλος, 1990)

Σε σχέση με τον ελεύθερο αγρό, η παρουσία του θερμοκηπίου επιδρά στη θερμοκρασία του αέρα με τον ακόλουθο τρόπο:

- Τη νύχτα, επειδή το θερμοκήπιο ελαττώνει τις απώλειες ενέργειας με υπέρυθη ακτινοβολία, μειώνεται γενικά η νυχτερινή ψύξη. Οι μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες είναι κατά μέσο όρο στο εσωτερικό 1-3 °C μεγαλύτερες από το εξωτερικό. Όμως, σε νύχτες ιδιαίτερα ξάστερες, η απουσία στροβιλισμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μπορεί να δημιουργήσει πτώσεις της θερμοκρασίας πολύ πιο μεγάλες από τον ελεύθερο αγρό.

- Τη μέρα, ο συνδιασμός της παγίδευσης της ηλιακής ακτινοβολίας και της μείωσης της δράσης των ανταλλαγών με μεταφορά, οδηγούν σε ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η ανύψωση αυτή γίνεται υπερβολική, όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη.

Στην πράξη, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες αποφεύγονται με εξαερισμό και σκίαση, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες αποφεύγονται με τη θέρμανση. (Κίττας, 1993)

1.2.2 Διοξείδιο του άνθρακα

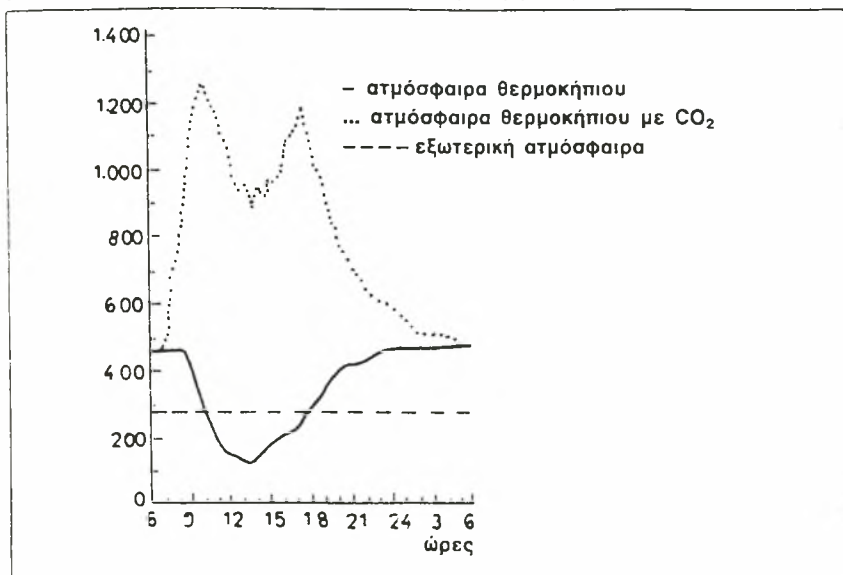
Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί την πρώτη ύλη της φωτοσύνθεσης, γι' αυτό θα πρέπει να γνωρίζουμε καλά τις μεταβολές της συγκέντρωσής του στο θερμοκήπιο.

Η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 0,03% (300 ppm) και μεταβάλλεται από 0,02 μέχρι 0,04%. Η συγκέντρωση αυτού του αερίου μεταβάλλεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ενώ πρακτικά δε μεταβάλλεται στον ελεύθερο αέρα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα που παρατίθεται. (Εικ. 2).

Παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια των πρώτων ωρών του πρωινού μιας μέρας, η συγκέντρωση του CO₂ στο θερμοκήπιο είναι μεγαλύτερη από αυτή της ατμόσφαιρας. Με την αύξηση όμως της φωτεινής ακτινοβολίας και όταν η διαδικασία της φωτοσύνθεσης απαιτεί μεγάλες ποσότητες CO₂, η συγκέντρωση του αερίου κατεβαίνει σε πολύ χαμηλή στάθμη (περίπου 200 ppm). Για μερικές ώρες αυτή η στάθμη παραμένει περίπου σταθερή και μόλις η ακτινοβολία αρχίσει

να μειώνεται, η συγκέντρωση του CO₂ αρχίζει να αυξάνεται και φτάνει στο αρχικό επίπεδο.

Πρέπει να τονίσουμε ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα, σε ημέρες με συννεφιασμένο ουρανό, η συγκέντρωση του CO₂ γίνεται πολύ χαμηλότερη από ότι κατά τη διάρκεια φωτεινών ημερών, επειδή τα θερμοκήπια πρέπει να παραμείνουν κλειστά για όλη την ημέρα και επομένως το CO₂ που υπάρχει στο εσωτερικό χρησιμοποιείται από τα φυτά και δεν αποκαθίσταται από το εξωτερικό. Έτσι, στους χειμερινούς μήνες περιοριστικός παράγοντας δεν είναι μόνο το φως, αλλά και η συγκέντρωση του CO₂ στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου, η οποία σχετίζεται με την ηλιακή ενέργεια και την εξωτερική θερμοκρασία. (Ευσταθιάδης, 1987)



Εικ.2. Μεταβολές του διοξειδίου του άνθρακα στο θερμοκήπιο.

1.2.3 Υγρασία του αέρα

Η εξατμισοδιαπνοή είναι στο θερμοκήπιο περισσότερο από ότι στον ελεύθερο αγρό, συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο επίπεδο των επιφανειών που διαπνέουν. Η μείωση, ως εκ τούτου, της ηλιακής ακτινοβολίας, θα οδηγήσει σε μείωση της εξατμισοδιαπνοής.

Οι υδρατμοί που παράγονται, μπορούν ή να βγουν από το θερμοκήπιο, όταν ο αέρας του θερμοκηπίου ανανεώνεται, ή να υγροποιηθούν στα τοιχώματα ή στο φυτικό κάλυμμα, όταν η θερμοκρασία αυτών των επιφανειών γίνει μικρότερη από θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα του θερμοκηπίου.

Η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου εξαρτάται, αφενός από την περιεκτικότητά του σε υδρατμούς και αφετέρου από τη θερμοκρασία του.

Δύσκολα, ως εκ τούτου, μπορεί να βγει ένας γενικός κανόνας μεταβολής της σχετικής υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο. Έτσι, η στεγανότητα ευνοεί την αύξηση της απόλυτης υγρασίας του αέρα, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας του τείνει να τον απομακρύνει από τον κορεσμό. Γενικά, όσον αφορά την υγρασία «υπό κάλυψη», μπορούμε να πούμε ότι :

- Τη νύκτα τα θερμοκήπια είναι συνήθως κλειστά και η σχετική υγρασία του αέρα τους αυξάνεται. Υγροποιήσεις λαμβάνουν συχνά χώρα στα τοιχώματα και

μπορούν να πέσουν πάνω στα φυτά, δημιουργώντας έτσι συνθήκες ιδιαίτερα ευνοϊκές για την ανάπτυξη κρυπτογαμικών ασθενειών.

- Τη μέρα, η ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρα, μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική πτώση της σχετικής υγρασίας και να προκαλέσει ένα αληθινό υδατικό «stress» στα φυτά. (Κίττας 1993)

1.2.4 Ηλιακή ακτινοβολία

1. Η ηλιακή ακτινοβολία στη γήινη ατμόσφαιρα

Το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης απευθείας με τις ηλιακές ακτίνες λέγεται *άμεση ηλιακή ακτινοβολία*. Ταυτόχρονα, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται από την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους ως *διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία* απ' όλα τα σημεία του ουρανού.

Επίσης, ένα μέρος από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται από το έδαφος και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα απ' όπου και πάλι επιστρέφει στην επιφάνεια του εδάφους. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται *ανακλώμενη*. Η επιφάνεια του εδάφους, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' αυτή, θερμαίνεται και εκπέμπει με τη σειρά της, προς την ατμόσφαιρα ακτινοβολία που ονομάζεται *γήινη ακτινοβολία*.

Τέλος, η ίδια η ατμόσφαιρα, θερμαινόμενη και αυτή, ακτινοβολεί με τη σειρά της προς όλες τις κατευθύνσεις. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται *ατμοσφαιρική ακτινοβολία* ή *ακτινοβολία της ατμόσφαιρας*.

Οι παραπάνω ακτινοβολίες παρουσιάζουν διαφορετική η καθεμία φασματική σύνθεση. Απ' αυτές, η άμεση και η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ονομάζονται *ακτινοβολίες μικρού μήκους κύματος*, ενώ η γήινη και η ατμοσφαιρική χαρακτηρίζονται ως *μεγάλου μήκους κύματος*.

Από τις παραπάνω, σπουδαιότερη είναι η *άμεση* και ακολουθεί η *διάχυτη*. Το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας πάνω σε μία οριζόντια επιφάνεια ονομάζεται *ολική ηλιακή ακτινοβολία*. (Φλόκας 1990)

2. Η ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με το θερμοκήπιο

Η ηλιακή ακτινοβολία καθώς περνά τα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων, απορροφάται και ανακλάται με συνέπεια να μειώνεται κατά 20-35% η έντασή της στα θερμοκήπια. Ο προσδιορισμός της ακτινοβολίας που απορροφάται και ανακλάται γίνεται έμμεσα, από τη διαφορά της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ακάλυπτο έδαφος και αυτής που μπαίνει στα θερμοκήπια. Τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων παρουσιάζουν διάφορο βαθμό διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία. Η σκόνη και τα σταγονίδια στα πλαστικά αλλάζουν τις οπτικές τους ιδιότητες και αυξάνουν την ανάκλαση και την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας που εισχωρεί στο θερμοκήπιο, ενώ εμποδίζουν την έξοδο της θερμικής ακτινοβολίας του εδάφους.

Για τις καλλιέργειες του θερμοκηπίου μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν η φωτεινή (ορατή) και η θερμική (υπέρυθρη) ακτινοβολία και μικρότερο η υπερύδης.

- *Υπεριώδης ακτινοβολία*. Το 1-5% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γη είναι υπερύδης. Τόσο η ένταση, όσο και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας αυτής, εξαρτάται από ορισμένες παραμέτρους, όπως είναι η εποχή του

χρόνου, η ώρα της ημέρας, το υψόμετρο της περιοχής, η ύπαρξη στον αέρα σκόνης, καπνού, υγρασίας κ.α.

Μεγάλες απορροφήσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας προκαλούνται από τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων. Έχει αποδειχτεί ότι η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία, με φωτοοξειδωτική αντίδραση, παρουσία του οξυγόνου του αέρα, της υγρασίας και της θερμοκρασίας, προκαλεί αποχρωματισμό των πλαστικών και συντομεύει τη διάρκεια ζωής τους. Οι φθορές στα φύλλα του πλαστικού είναι πολύ μεγάλες το καλοκαίρι, οπότε η ένταση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγάλη, ενώ τις άλλες εποχές είναι πολύ μικρή.

Η έντονη υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί ανωμαλίες εκτός από τα πλαστικά και στα καλλιεργούμενα φυτά των οποίων τα φύλλα και τα άνθη υφίστανται συνήθως τις σοβαρότερες ζημιές. Στην αρχή τα συμπτώματα εμφανίζονται με μορφή καστανόχρωων κηλίδων στην επάνω επιφάνεια των φύλλων. Οι κηλίδες αυτές, όταν βαθμιαία μεγενθυνθούν, προκαλούν ξηράνσεις ολόκληρων φύλλων.

- *Φωτεινή ακτινοβολία.* Κατά το πέρασμά της η ακτινοβολία αυτή, από τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων, απορροφάται σε ποσοστό που μπορεί να ξεπεράσει το 30% ανάλογα με το ποσοστό σκόνης και υγρασίας στα πλαστικά ή στο γυαλί. Τα φυτά αξιοποιούν κυρίως τη φωτεινή ακτινοβολία μήκους κύματος 400-700 n και μάλιστα περισσότερο τα μήκη κύματος που περιλαμβάνονται ανάμεσα στα 400-500 n. και 600-700 n.

Τα κυριότερα είδη και οι σπουδαιότερες ποικιλίες που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια είναι πολύ απαιτητικά σε ένταση φωτός. Ένταση φωτός, μεγαλύτερη από όση μπορεί να αξιοποιηθεί από τα φυτά, δεν είναι επιθυμητή, γιατί συνοδεύεται ταυτόχρονα από μεγάλη άνοδο της θερμοκρασίας. Εξαιτίας της υπερθέρμανσης των φυτικών ιστών προκαλούνται ανωμαλίες στο μηχανισμό της φωτοσύνθεσης, στην πρόσληψη του νερού και των θρεπτικών στοιχείων.

- *Θερμική ακτινοβολία.* Είναι μήκους κύματος >720 n. Από τη θερμική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη, τα 80-90% περνούν τα υλικά κάλυψης και μπαίνοντας στα θερμοκήπια ανυψώνουν τη θερμοκρασία του αέρα, του εδάφους και των φυτών. Μια αντίστοιχη ακτινοβολία εκπέμπεται συνέχεια προς το διάστημα, σε μήκη κύματος 3-24 μ. με μέγιστη ένταση τα 10-12 μ. που περνώντας τα υλικά κάλυψης μειώνει τη θερμοκρασία. Η θερμική ακτινοβολία επηρεάζει είτε άμεσα τα φυτά αυξάνοντας τη θερμοκρασία των φυτικών ιστών, με συνέπεια να δημιουργούνται εγκαύματα στα φύλλα και μαράνσεις εξαιτίας της αυξημένης διαπνοής, είτε έμμεσα, με αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος.

3. Επίδραση φωτός στην ανάπτυξη των καλλιεργειών

Η σημασία της ηλιακής ακτινοβολίας για τις καλλιέργειες των κηπευτικών θερμοκηπίου είναι πολύ μεγάλη, γιατί τα φυτά αναπτύσσονται τους μήνες που η έντασή της είναι μειωμένη.

Το φως επηρεάζει πολλές λειτουργίες του φυτού, όπως π.χ. την παραγωγή χλωροφύλλης, το σχήμα και το μέγεθος των φύλλων, το μέγεθος και το χρώμα των πετάλων, την κίνηση και το ιξώδες του πρωτοπλάσματος και άλλα πολλά. Οι απαιτήσεις των φυτών σε ένταση φωτός εξαρτώνται από το είδος, το στάδιο ανάπτυξης και τη μεταχείριση που είχαν στο στάδιο του σποροφύτου. Μερικά είδη φυτών, όπως τα περισσότερα λαχανοκομικά είδη που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια, απαιτούν ένταση φωτός 4000-5000 lux, ενώ ορισμένα ανθοκομικά

είδη απαιτούν πολύ πιο χαμηλές εντάσεις φωτός και έχουν σημείο κορεσμού τα 11.000 lux. Η δράση του φωτός πάνω στη συμπεριφορά των καλλιεργειών, εξαρτάται ταυτόχρονα από την ένταση, τη διάρκεια και τη φασματική του σύνθεση.

Στο διάστημα της ημέρας, τα μέρη του φυτού δέχονται διαφορετική ένταση φωτός. Τα επάνω φύλλα φτάνουν γρήγορα σε σημείο κορεσμού, ενώ τα άλλα σκιάζονται. Τα φυτά που αναπτύσσονται σε ανεπαρκή φωτισμό γίνονται αδύνατα, ασθενικά, παράγουν λίγα φύλλα και δε σχηματίζουν άνθη και καρπούς. Σε συνθήκες μεγάλης έντασης φωτός, έχει βρεθεί ότι τα φύλλα των φυτών γίνονται χαρακτηριστικά μικρότερα, αλλά πιο πλατιά. Τα μεσογονάτια διαστήματα γίνονται πυκνότερα, ενώ ο αριθμός των φύλλων στο στέλεχος δεν επηρεάζεται.

Η διάρκεια της ημέρας έχει μεγάλη σημασία για τις καλλιέργειες, γιατί από έρευνες βρέθηκε ότι επηρεάζει την είσοδο των φυτών στο αναπαραγωγικό στάδιο, το λήθαργο και τη βλάστηση των σπόρων, την επιμήκυνση του φυτού, το σχηματισμό βολβών κ.α. Μερικά φυτά ανθίζουν μόνο όταν η διάρκεια της μέρας είναι μικρή ενώ άλλα όταν είναι μεγάλη. Από την πλευρά αυτή τα φυτά κατατάσσονται σε φυτά μακριάς, βραχείας ή ενδιάμεσης φωτοπεριόδου και σε αδιάφορα.

Εκτός από την ένταση και διάρκεια φωτισμού, μεγάλη σημασία για τα φυτά έχει και το μήκος κύματος του φωτός. Από έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι σε ερυθρό φως τα φυτά παραμορφώνονται και γίνονται ψηλότερα, ενώ σε συνδιασμό κυανού φωτός και φωτός ημέρας τα φυτά γίνονται κοντά, ρωμαλέα και σκοτεινού χρώματος. Από άλλες έρευνες έχει βρεθεί ότι ορισμένα μήκη κύματος του φωτός επηρεάζουν κυρίως τη φωτοπερίοδο των φυτών. (Γραφαδιέλλης 1987)

4. Σκίαση των θερμοκηπίων

Μια απλή προσέγγιση για το ισοζύγιο ενέργειας των θερμοκηπίων βασίζεται σε μία εξίσωση, η οποία περιγράφει τη συμβολή της ενέργειας (ηλιακή ενέργεια) και τις διαφορετικές θέσεις των απωλειών ενέργειας. Χωρίς να λογαριάζουμε τη θερμική αδράνεια του συνόλου εδάφους-βλαστήσεως, αυτή η εξίσωση γράφεται, για το μέρος που αφορά στην αισθητή ενέργεια (δηλαδή την ενέργεια που εκφράζει άμεσα μια αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα) :

$$R_n \cdot (1-\alpha) - \beta \cdot k \cdot (T_i - T_o) - \rho \cdot C_p \cdot N \cdot (Vol / As) (T_i - T_o) = 0$$

όπου:

To και T_i : αντίστοιχα θερμοκρασίες του εξωτερικού και εσωτερικού αέρα.

R_n : καθαρή ακτινοβολία (ηλιακή και θερμική) στην επιφάνεια του θερμοκηπίου σε $\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

α : σχέση της ροής της λανθάνουσας θερμότητας με την καθαρή ακτινοβολία (εξατμισοδιαπνοή των επιφανειών φυτού-εδάφους). Το $(1-\alpha) \cdot R_n$ είναι λοιπόν το μέρος της ενέργειας που απορροφάται από επιφάνεια, μετατρέπεται σε αισθητή ενέργεια και θα αυξήσει την εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου.

k : συντελεστής θερμικής ανταλλαγής (με μεταφορά ή αγωγιμότητα) των τοιχωμάτων (στέγη, κάθετα τοιχώματα) εξαρτώμενος από την ταχύτητα του αέρα ($\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

β : σχέση επιφάνειας τοιχωμάτων θερμοκηπίου / επιφάνειας εδάφους.

As : επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου.

Vol : όγκος του θερμοκηπίου (m^3).

N : ποσοστό ωριαίας ανανεώσεως.

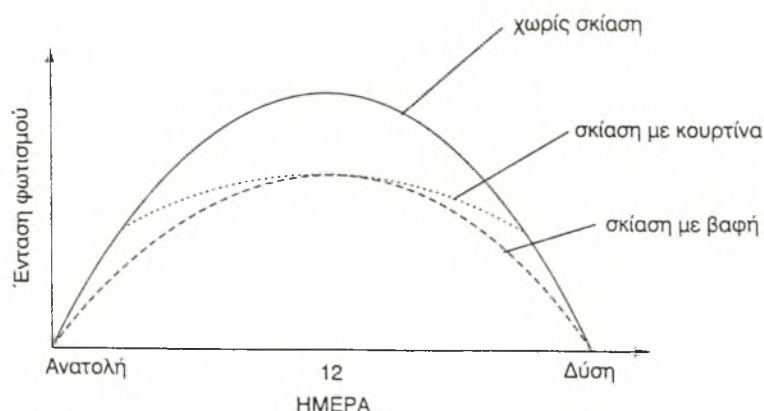
Μία από τις δυνατότητες ψύξεως ενός θερμοκηπίου είναι η μείωση της ποσότητας ενέργειας ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Στην παραπάνω εξίσωση πρόκειται για τον όρο R_h , καθαρή ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο που είναι συνισταμένη :

- της ακτινοβολίας που μεταδίδεται μέσα στο θερμοκήπιο, με G_0 το συντελεστή διαπερατότητας του θερμοκηπίου,
- της θερμοκρασίας και της εκπεμπτικότητας των τοιχωμάτων (στέγη, κάθετα τοιχώματα), που εκπέμπουν μεγάλοι μήκους κύματος ακτινοβολία,
- της θερμοκρασίας και της εκπεμπτικότητας των υποκειμένων επιφανειών (έδαφος, βλάστηση), που επίσης εκπέμπουν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος.

Διακρίνουμε δυο κύριους τύπους σκίασης :

- τη **διαρκή σκίαση** : λεύκανση τοιχωμάτων ή σκιάστρο σε σταθερή θέση (σκιάστρο τοποθετημένο στο εξωτερικό ή εσωτερικό του θερμοκηπίου)
- τη **προσωρινή σκίαση** : ένα ύφασμα - κουρτίνα ξεδιπλώνεται είτε με το χέρι είτε αυτόματα, όταν η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλές.

Η λεύκανση χρησιμοποιείται αρκετά συχνά, μόνο που δεν είναι εκλεκτική στην ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης, η τοποθέτηση του επιχρίσματος στα τοιχώματα δεν είναι ποτέ ομαλή, οπότε παρατηρείται μια μεγάλη ετερογένεια στο χώρο, στον τομέα της διέλευσης της ακτινοβολίας. Μια άλλη ιδιότητα των προϊόντων που χρησιμοποιούνται για λεύκανση είναι ότι η διαπερατότητα είναι μεγαλύτερη όταν το προϊόν είναι υγρό παρά όταν είναι ξηρό, δηλαδή η διαπερατότητα είναι βελτιωμένη σε συνθήκες ακτινοβολίας μη ευνοϊκές, κάτι που αποτελεί θετικό σημείο. Γενικά η λεύκανση μας επιτρέπει να πετύχουμε θερμοκρασίες αέρα, οι οποίες να πλησιάζουν την εξωτερική θερμοκρασία, αλλά με αντίτιμο τη σταθερή μείωση της ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο. (Baille 1988)



Εικ. 3. Ένταση φωτισμού στο χώρο του θερμοκηπίου όταν χρησιμοποιείται σκίαση με βαφή του καλύμματος και με κουρτίνα.

Ο καλύτερος τρόπος για να μειωθεί η ένταση του φωτισμού είναι οι κουρτίνες αραιής ύφανσης, που κλείνουν ή ανοίγουν αυτόματα ανάλογα με την ένταση του φωτισμού. Έτσι, νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα, η ήδη μειωμένη ένταση φωτισμού στο χώρο του θερμοκηπίου δεν μειώνεται ακόμα παραπάνω όπως γίνεται με τις βαφές. Με τις κουρτίνες αυτές, όταν επιδιώκεται και μείωση της θερμοκρασίας, θα πρέπει να έχουμε υπ' όψη μας ότι δε μειώνεται σημαντικά η θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο, γιατί η ηλιακή ενέργεια

εξακολουθεί να μπαίνει στο χώρο του θερμοκηπίου. Η θερμοκρασία όμως των φυτών που σκιάζονται με αυτό τον τρόπο είναι 5 °C περίπου μικρότερη από αυτή των φυτών που βρίσκονται σε μη σκιαζόμενη περιοχή. (2)

1.3 ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Το έδαφος είναι το φυσικό μέσο στο οποίο αναπτύσσονται οι ρίζες των φυτών και από το οποίο αντλούν το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία. Η ομαλή ανάπτυξη των ριζών και η αξιοποίηση των διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών εξαρτώνται από ορισμένους παράγοντες του εδάφους όπως είναι η θερμοκρασία, η αντίδραση του εδάφους, η δομή του εδάφους, τα θρεπτικά συστατικά και η υγρασία του εδάφους.

1.3.1 θερμοκρασία εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζει τη δράση των μικροοργανισμών, την απελευθέρωση των ανόργανων στοιχείων, την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών από το φυτό, τη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών, το φύτρωμα των σπόρων κ.α. Έρευνες απέδειξαν ότι η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζει την ανάπτυξη των ασθενειών που προσβάλλουν το υπόγειο μέρος των φυτών. Άλλες έρευνες έδειξαν ότι σε χαμηλές θερμοκρασίες εδάφους μειώνεται η ικανότητα απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά.

Η θερμοκρασία του εδάφους ακολουθεί από κοντά τη θερμοκρασία αέρα του θερμοκηπίου και κυμαίνεται ανάλογα με αυτή. Έχει βρεθεί ότι η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, την εποχή του χρόνου, το γεωγραφικό πλάτος, τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου, τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους, την ύπαρξη βλάστησης κ.α. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι η θερμοκρασία του εδάφους είναι ψηλότερη στη νότια πλευρά του θερμοκηπίου και ότι έδαφος ακάλυπτο από βλάστηση είναι γενικά θερμότερο από άλλο που φέρει βλάστηση.

Η θερμοκρασία του εδάφους δεν είναι ίδια σ' όλη την έκταση του θερμοκηπίου. Στο γεγονός αυτό αποδίδεται η χαρακτηριστική ανομοιομορφία που παρατηρείται αρχικά στην ανάπτυξη των καλλιεργειών κατά την οποία τα φυτά γίνονται ψηλότερα στη μέση και χαμηλότερα προς τις μεγάλες πλευρές του θερμοκηπίου, ενώ την άνοιξη όταν βελτιωθεί ο καιρός και θερμανθεί το έδαφος, τότε οι διαφορές περιορίζονται.

Στο διάστημα της ημέρας το έδαφος δέχεται μεγάλες ποσότητες θερμότητας από τον ήλιο. Η θερμότητα που ανεβαίνει στο έδαφος από μεγάλο βάθος και αυτή που παράγεται από την οξείδωση της οργανικής ουσίας είναι αμελητέες ποσότητες. Έτσι η θέρμανση του εδάφους εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από την ηλιακή ενέργεια και από τη θερμότητα που δίνουμε στο θερμοκήπιο με τα μέσα θέρμανσης. Η ποσότητα της θερμότητας που απορροφάται από το έδαφος, εξαρτάται από το χρωματισμό του εδάφους, από τη χημική και από τη μηχανική του σύσταση και από το ποσοστό υγρασίας.

1.3.2 Η αντίδραση του εδάφους

Το pH επιδρά στην πρόσληψη από τα φυτά των διαφόρων θρεπτικών στοιχείων. Σε πολύ χαμηλό pH (ξεπλυμένα αμμώδη εδάφη), ελαττώνεται η αφομοιωσιμότητα του P και δημιουργούνται τροφοπενίες Ca και Mo. Έρευνες έδειξαν ότι, όταν το pH του εδάφους είναι πολύ χαμηλό, (κάτω από 5), το έδαφος πλούσιο σε οξείδια Mn και Al λόγω εδαφογένεσης και ιδιαίτερα σε αναγωγικές συνθήκες, (κακή στράγγιση, υπερβολική άρδευση), τότε τα φυτά απορροφούν μεγάλες ποσότητες Mn^{+2} και Al^{+3} με αποτέλεσμα να δημιουργούνται έντονες τοξικότητες και καταστροφή των καλλιεργειών. Σε πολύ υψηλό πάλι pH παρουσιάζεται έλλειψη Fe, Mn, Mg, Cu, Zn και B. Το pH, εκτός από την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων επηρεάζει τη δράση των μικροοργανισμών του εδάφους, τη συσσώρευση οργανικών οξέων στο έδαφος και την ανάπτυξη ορισμένων ασθενειών.

1.3.3 Η δομή του εδάφους

Η δομή του εδάφους καθορίζεται από τα συστατικά που το αποτελούν, δηλαδή από τα ποσοστά της άμμου, της αργίλου, της ιλύος, της οργανικής ουσίας κ.α. Από τη δομή του εδάφους επηρεάζεται η κίνηση του νερού, του οξυγόνου και των θρεπτικών στοιχείων. Σε έδαφος που συγκρατούνται μεγάλες ποσότητες νερού, εμποδίζεται η διάχυση του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα με συνέπεια να μειώνεται ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών. (Γραφαδιέλλης 1987)

1.3.4 Τα θρεπτικά στοιχεία

Για την ανάπτυξη των φυτών είναι απαραίτητα τόσο τα μακροστοιχεία, N, P, K, Ca, Mg, S όσο και τα μικροστοιχεία Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Cl, Na, Co, Si.

1.3.5 Η υγρασία του εδάφους

1. Σημασία του νερού για τα φυτά

Το νερό είναι βασικό συστατικό όλων των βιολογικών συστημάτων, του οποίου η σημασία συμπεραίνεται από την περιεκτικότητα του φυτικού βλαστικού σώματος σε νερό που κυμαίνεται κατά μέσο όρο στο 75-85% του νωπού τους βάρους.

Το νερό χρησιμοποιείται από τα φυτικά κύτταρα ως αντιδραστήριο κατά τη φωτοσύνθεση και το σχηματισμό υδατανθράκων, καθώς και κατά την αναπνοή με την αποικοδόμηση μονο- και πολυσακχαριτών ή λιπών. Επίσης, ως διαλύτης οργανικών και ανόργανων ουσιών και ως μέσο διασποράς των κολλοειδών ουσιών του πρωτοπλάσματος, μέσα στο οποίο πραγματοποιούνται όλες οι βιοχημικές

αντιδράσεις του κυττάρου. Το νερό αποτελεί μέσο μεταφοράς διαλυτών ανόργανων και οργανικών συστατικών του φυτού, τα οποία μεταφέρονται από το σημείο απορρόφησης ή του σχηματισμού τους μέχρι το σημείο χρησιμοποίησής τους. Ένας άλλος ρόλος του νερού, βασικής όμως σημασίας, είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας των φυτών, κυρίως κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής θερμοκρασίας. Με τη διαπνοή επιτυγχάνεται πτώση της θερμοκρασίας των ιστών λόγω εξάτμισης του νερού. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι προκαλεί τη σπαργή των κυττάρων. Είναι γνωστό ότι η επιμήκυνση των κυττάρων κατά τη διάρκεια της πρωτογενούς αύξησης των ριζών και των βλαστών οφείλεται κυρίως στο σχηματισμό χυμοτοπίων και συνεπώς στη διατήρηση της σπαργής των νεαρών αυξανόμενων οργάνων. (Καρατάγλης 1990)

2. Το δυναμικό του νερού

Η ενεργειακή κατάσταση του νερού και της κίνησής του μέσα και έξω από κάθε σύστημα επηρεάζεται από διάφορες δυνάμεις που δρουν στο νερό. Αυτές περιλαμβάνουν πιέσεις, εξωτερικά πεδία δυνάμεων - βαρύτητα, τριχοειδή φαινόμενα και την συγκέντρωση διαλυμένων σωμάτων. Αυξάνοντας την πίεση του νερού, ανεβαίνει και το ενεργειακό του επίπεδο ή ολικό δυναμικό. Μειώνοντας την ελευθερία του νερού περιορίζοντάς το σε τριχοειδή σωλήνα μειώνεται το ενεργειακό του επίπεδο.

Από τη στιγμή που δεν είναι δυνατό να γνωρίζουμε απόλυτα το ενεργειακό επίπεδο του νερού, αναφορά συνήθως γίνεται στη διαφορά του ενεργειακού επιπέδου του νερού σε διαφορετικά μέρη του συστήματος ή αναφορά του νερού σε δεδομένη κατάσταση. Στη φυσικοχημεία, η ενεργειακή κατάσταση ή χημικό δυναμικό του νερού ορίζεται ως η διαφορά της ελεύθερης ενέργειας του νερού σ' ένα σύστημα και του ελεύθερου καθαρού νερού κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση και για δεδομένη θερμοκρασία. Το ολικό ενεργειακό επίπεδο ή δυναμικό κάτω από αυτές τις συνθήκες θεωρείται μηδέν.

Ο όρος δυναμικό του νερού, συμβολιζόμενο ως ψ , χρησιμοποιείται στο χώρο των επιστημών φυτού και εδάφους και έχει την ίδια έννοια με το χημικό δυναμικό. Το νερό έχει την τάση να κινείται από σημεία με ψηλότερο σε σημεία με χαμηλότερο δυναμικό. Το νερό επίσης έχει την τάση να κινείται από σημεία με χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένων σωμάτων σε σημεία με υψηλή συγκέντρωση. Επίσης, η θερμοκρασία επηρεάζει το ενεργειακό επίπεδο και την κίνηση του νερού, αλλά συνήθως αγνοείται γιατί το σύστημα νερό- έδαφος- φυτό θεωρείται ισοθερμικό.

Όταν το νερό συγκρατείται με τη δράση τριχοειδών φαινομένων ή είναι προσροφημένο σε μια επιφάνεια, έχει χαμηλότερο ολικό δυναμικό γιατί η δράση και κίνηση των μορίων του νερού περιορίζεται. Έτσι το ελεύθερο νερό θα κινείται προς μερικά ξηρό έδαφος ή φυτικό υλικό με επαφή.

Το ολικό δυναμικό ψ του νερού στο έδαφος περιγράφεται από την εξίσωση :

$$\psi = \psi_p + \psi_m + \psi_s + \psi_g$$

όπου

ψ = ολικό δυναμικό του νερού (total soil water potential), δηλαδή η αθροιστική επίδραση όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την κατάσταση του νερού στο φυτό ή στο έδαφος

ψ_p = δυναμικό πίεσης (pressure potential), που λαμβάνει σημαντικές τιμές σε κορεσμένα εδάφη

ψ_m = δυναμικό που οφείλεται κυρίως σε τριχοειδή φαινόμενα και δυνάμεις συνοχής και συνάφειας (matric or capillary potential). Είναι η τιμή που μετρείται με τα τασίμετρα. Είναι ο σπουδαιότερος παράγοντας που επηρεάζει την κατάσταση του εδαφικού νερού, ειδικά σε ακόρεστα εδάφη, όπως είναι συνήθως τα εδάφη μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων

ψ_s = οσμωτικό δυναμικό (solute or osmotic potential), το οποίο οφείλεται στην ύπαρξη αλάτων, σακχάρων, οξέων ή άλλων σωμάτων στο εδαφικό διάλυμα ή στο χυμοτόπιο του φυτού

ψ_g = δυναμικό βαρύτητας (gravitational). Έχει σημασία όταν υπάρχει κίνηση σε μη οριζόντια κατεύθυνση

Το ενεργειακό επίπεδο ή ολικό δυναμικό του νερού στα φυτά ορίζεται ως εξής:

$$\psi = \psi_p + \psi_m + \psi_s$$

όπου

ψ = ολικό δυναμικό του νερού στο φυτό (total plant water potential)

ψ_p = δυναμικό που προκύπτει από την πίεση σπαργής (turgor pressure), ίσο με το δυναμικό πίεσης στο έδαφος

ψ_m = δυναμικό που προκύπτει από προσρρόφηση και επίδραση τριχοειδών φαινομένων (imbibitional pressure and capillary components), ίσο με το matric potential του εδάφους

ψ_s = οσμωτικό δυναμικό . (Rijon 1975)

3. Το διαθέσιμο στα φυτά εδαφικό νερό

Οι εδαφικοί πόροι, δηλαδή τα διαστήματα που μένουν ανάμεσα στα στερεά τεμαχίδια του εδάφους, σχηματίζουν ένα πολύπλοκο δίκτυο από διασυνδεδεμένους αγωγούς κάθε σχήματος, διαμέτρου και μεγέθους. Αν σε ένα αρχικά ξερό έδαφος προστεθεί νερό, αυτό σχηματίζει αρχικά λεπτές στρώσεις σε επαφή με τα τοιχώματα των πόρων που συγκρατούνται κυρίως με δυνάμεις συνοχής και συνάφειας, μετατοπίζει αέρα από τους πόρους και, αν η ποσότητα του νερού είναι αρκετή, γεμίζει εντελώς τους πόρους αυτούς. Αν όλοι οι πόροι του εδάφους, μικροί και μεγάλοι, γεμίσουν με νερό λέμε ότι το έδαφος έφθασε στον *κορεσμό*. Έτσι, ο κορεσμός αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να αποθηκευθεί σε ένα έδαφος.

Αν ένα κορεσμένο με νερό έδαφος αφευθεί να στραγγίσει, μια ποσότητα νερού που βρίσκεται στους μεγάλους πόρους κινείται υπό την επίδραση της βαρύτητας σχετικά εύκολα προς τα κάτω. Το νερό αυτό λέγεται *νερό της βαρύτητας ή ελεύθερο νερό*, μετά δε την απομάκρυνσή του τη θέση του ξαναπαίρνει ο αέρας. Το νερό που παραμένει στο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου λέγεται *τριχοειδές νερό*, που και αυτό κινείται προς κάθε κατεύθυνση ανάλογα με τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις αλλά με πολύ μικρότερη ταχύτητα από ότι το ελεύθερο νερό. Αν νερό συνεχίσει να απομακρύνεται, φτάνει κάποια στιγμή που

αυτό που απομένει συγκρατείται πολύ ισχυρά από τα μόρια του εδάφους, ιδιαίτερα από τα κολλοειδή του, και σε σημαντική αναλογία δεν είναι πια σε υγρή κατάσταση, μετακινούμενο με τη μορφή υδρατμών. Το νερό αυτό λέγεται *υγροσκοπικό*. Από τις τρεις αυτές μορφές του εδαφικού νερού μόνο το ελεύθερο και το τριχοειδές ενδιαφέρουν την άρδευση και τη στράγγιση.

Οι δυνάμεις που συγκρατούν το νερό στο έδαφος εκφράζονται γενικά με τους ισοδύναμους όρους *αρνητική πίεση ή τάση ή μύζηση*, και είναι ανάλογες προς την περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία. Η αρνητική πίεση ή τάση της εδαφικής υγρασίας είναι το μέτρο που δείχνει πόσο ισχυρά συγκρατείται το νερό στο έδαφος και είναι αντιπροσωπευτική του μεγέθους της δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας που πρέπει να καταβληθεί για την απομάκρυνσή του από τους εδαφικούς πόρους. Η δύναμη αυτή εκφράζεται σε ατμόσφαιρες ή σε ισοδύναμο ύψος υδάτινης στήλης.

Στην πρακτική των αρδεύσεων είναι ουσιώδες να γνωρίζουμε πόσο από το νερό που υπάρχει στο έδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες για την κανονική ανάπτυξη και απόδοσή τους. Το έδαφος από την άποψη αυτή μπορεί να θεωρηθεί σαν δεξαμενή που χωράει μια ορισμένη ποσότητα χρήσιμης υγρασίας που το πάνω όριό της είναι η υδατοϊκανότητα.

Η μεταβολή στην περιεκτικότητα σε νερό τους εδάφους μεταξύ δυο διαδοχικών ξηράσεων χαρακτηρίζεται από τα εξής σημεία :

- *Υδατοϊκανότητα* : Μπορεί να οριστεί η υγρασία που συγκρατεί ένα βαθύ, ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού. Αν ένα αρχικά κορεσμένο έδαφος αφεθεί να στραγγίσει, η υγρασία του εδάφους ελαττώνεται και μαζί της και η τιμή της τριχοειδούς αγωγιμότητας. Σε κάποια στιγμή η τιμή αυτή γίνεται πολύ μικρή, με συνέπεια η κίνηση του νερού στο έδαφος να περιοριστεί τόσο που πρακτικά να θεωρηθεί ανύπαρκτη, έστω και αν η υφιστάμενη υδραυλική κλίση είναι πολύ μεγάλη. Σύμφωνα με αυτό, υδατοϊκανότητα είναι το όριο της εδαφικής υγρασίας στο οποίο η τιμή της τριχοειδούς αγωγιμότητας που αντιστοιχεί είναι τόσο μικρή ώστε πρακτικά να έχει σταματήσει κάθε ουσιαστική κίνηση νερού στο έδαφος, ανεξάρτητα από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις.

Πρακτικά σαν υδατοϊκανότητα καθορίζεται το νερό που απομένει στο έδαφος μετά από 60-70 ώρες από τη λήξη της άρδευσης. Η αρνητική πίεση του νερού των πόρων έχει τιμή $1/10 - 1/3$ της ατμόσφαιρας.

- *Σημείο μόνιμης μάρανσης* : είναι η εδαφική υγρασία στην οποία τα φυτά δεν έχουν δυνατότητα να προσλάβουν από το έδαφος όλο το απαραίτητο για την ανάπτυξή τους νερό και έτσι μαραίνονται. Αυτό συμβαίνει γιατί, εάν δεν επαναληφθεί η άρδευση, ελαττώνεται η υγρασία του εδάφους, άρα αυξάνεται η μύζηση, και τα φυτά δεν είναι σε θέση να την υπερνικήσουν. Το σημείο μόνιμης μάρανσης δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από την υφή και τη δομή του εδάφους, το είδος και την κατάσταση που βρίσκονται τα φυτά, τη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Εργαστηριακά το σημείο μόνιμης μάρανσης προσδιορίζεται σαν υγρασία εδάφους που αντιστοιχεί σε μύζηση 15 ατμοσφαιρών.

- *Έσχατο σημείο μάρανσης* : είναι το όριο της εδαφικής υγρασίας που προκαλείται μάρανση και θάνατος των φυτών λόγω μη ικανοποίησης των αναγκών τους σε νερό.

Το νερό που συγκρατείται από το έδαφος στο εύρος υδατοϊκανότητα - σημείο μάρανσης αντιπροσωπεύει τη *διαθέσιμη υγρασία*. Αν και τα φυτά χρησιμοποιούν ποσότητες νερού και πέρα από αυτό το εύρος, αυτά τα δύο σημεία θεωρούνται τα όρια της διαθέσιμης υγρασίας. Το νερό πάνω από την υδατοϊκανότητα σ' ένα βαθύ

καλοστραγγιζόμενο έδαφος συχνά στραγγίζει τόσο γρήγορα, ώστε λίγο απ' αυτό μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά. Κότω από συνθήκες κακής στράγγισης, ελλιπής αερισμός μπορεί να προκαλέσει μειωμένη δυνατότητα των ριζών να προσλάβουν νερό, ώστε τελικά τα φυτά να πεθαίνουν.

Αντίθετα, το νερό κάτω από το σημείο μάρανσης συγκρατείται έντονα στους εδαφικούς πόρους και συνεπώς είναι δύσκολο να προσληφθεί από τα φυτά. Έτσι, η πρόσληψη του νερού δεν καλύπτει τις ανάγκες της διαπνοής και τα φυτά παρουσιάζουν περιορισμένη αύξηση, μη φυσιολογική ανάπτυξη ή μαραίνονται και πεθαίνουν. (Γαπαζαφειρίου 1984)

4. Προγραμματισμός των αρδεύσεων

Αντικειμενικός σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για την κανονική ανάπτυξή τους και μεγιστοποίηση της απόδοσης και ποιότητας των προϊόντων τους. Απώλειες νερού παρατηρούνται με το φαινόμενο της διαπνοής και το φαινόμενο της εξάτμισης από το έδαφος ή από την επιφάνεια του φυτού (εφ' όσον είναι βρεγμένο). Αυτή η διαδικασία αποδίδεται με τον όρο εξατμισοδιαπνοή.

Με την προϋπόθεση ότι το νερό είναι διαθέσιμο, το ποιο σοβαρό πρόβλημα είναι να αποφασίσουμε πότε και πως να το παρέχουμε. Αυτό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος του φυτού, το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής, η υδατοϊκανότητα του εδάφους, και η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Τα φυτά είναι συνήθως πιο ευάλωτα σε έλλειψη νερού κατά τη διάρκεια του αναπαραγωγικού σταδίου. Σαφώς, ζεστός καιρός προκαλεί υψηλό ρυθμό εξατμισοδιαπνοής και εξαντλεί την εδαφική υγρασία πιο γρήγορα από ότι συννεφιασμένος, κρύος καιρός. Στην πραγματικότητα, ακόμα και φυτά με εδαφική υγρασία κοντά στην υδατοϊκανότητα και σε καλλιέργειες που αρδεύονται, συχνά μαραίνονται προσωρινά σε ζεστές, ξηρές μέρες. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος που καταλαμβάνουν οι ρίζες, τόσο μεγαλύτερος όγκος νερού είναι διαθέσιμος, έτσι ώστε φυτά με εκτεταμένο, βαθύ ριζικό σύστημα μπορούν να επιβιώσουν καλύτερα από ότι φυτά με αβαθές ριζικό σύστημα. Βαθιά καλλιέργεια πιθανότατα αυξάνει την αντοχή στην ξηρασία των φυτών γιατί προκαλεί συνήθως βαθύτερες ρίζες.

Γενικά, η επιτυχής άρδευση βασίζεται στην παροχή αρκετού νερού ώστε να αποφευχθεί μείωση της απόδοσης από έλλειψη νερού στα φυτά χωρίς να κορένεται το έδαφος ή να αυξάνεται το κόστος με το να παρέχεται παραπάνω νερό από ότι απαιτείται. Σε ξηρές περιοχές, όπου το νερό είναι σπάνιο και ακριβό, είναι μερικές φορές προτιμότερο να επιτραπεί μικρή μείωση της ανάπτυξης και της απόδοσης των φυτών με σκοπό να αυξηθεί η αρδευόμενη έκταση. Αυτό φαίνεται να ισχύει στο Ισραήλ, όπου η αρδευόμενη έκταση επεκτάθηκε κατά περίπου 30% από το 1958 έως το 1969, χωρίς να αυξηθεί η ποσότητα του νερού, αλλά με αποτελεσματικότερη χρήση του νερού. (Shmueli, 1971).

Υπάρχουν τρεις βασικές προσεγγίσεις σχετικά με τον προσδιορισμό του χρόνου εφαρμογής της άρδευσης. Βασίζονται σε μετρήσεις εδαφικής υγρασίας, χρήση δεδομένων εξατμισοδιαπνοής και προσδιορισμό της υδατικής στέρξης του φυτού.

Κάθε μία από αυτές περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια:

Μετρήσεις εδαφικής υγρασίας. Η παραδοσιακή μέθοδος προσδιορισμού της ανάγκης για άρδευση είναι να σκάψουμε στο έδαφος και να αποφασίσουμε από

την εμφάνιση και την «αίσθηση» αν πρέπει ή όχι να εφαρμοστεί νερό. Υπολογισμός της περιεκτικότητας σε νερό με δειγματοληψία εδάφους ή με χρήση συσκευών διαχύσεως νετρονίων δεν δίνει και τόσο καλά αποτελέσματα εκτός αν το δυναμικό του νερού έχει υπολογιστεί για διάφορες περιεκτικότητες σε νερό, γιατί η διαθεσιμότητα του νερού βασίζεται στο δυναμικό του παρά στην εκατοστιαία περιεκτικότητά του κατά όγκο ή κατά βάρος. Έτσι, η μόνη αξιόπιστη ένδειξη της κατάστασης του εδαφικού νερού σε σχέση με την ανάπτυξη των φυτών είναι το δυναμικό του. Η υγρασία του εδάφους μπορεί να μετρηθεί κατευθείαν με τενσιόμετρα, κάτω από $-0,08 \text{ Μρα}$, που καλύπτει το εύρος για την καλύτερη ανάπτυξη των περισσότερων κηπευτικών. Χρήση μεθόδων ηλεκτρικής αντιστάσεως επιτρέπει μετρήσεις σε χαμηλότερο δυναμικό εδαφικού νερού. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε διάφορες περιπτώσεις. Τα τενσιόμετρα χρησιμοποιούνται ευρέως, αλλά είναι πιο αποτελεσματικά σε αμμώδη εδάφη γιατί σε βαριά εδάφη είναι μη εφαρμόσιμα, ενώ πολύ από το διαθέσιμο νερό δεν υπολογίζεται. Επίσης, αν το έδαφος συρρικνώνεται καθώς ξηραίνεται, η επαφή μεταξύ της καλύπτρας του τενσιόμετρου και του εδάφους μπορεί να είναι περιορισμένη. Η επιτυχής χρήση τενσιόμετρων και ηλεκτρικών αντιστάσεων βασίζεται στην εγκάταστασή τους στη ζώνη όπου υπάρχει το μεγαλύτερο μέρος του ριζικού συστήματος, όπου το νερό κινείται πιο γρήγορα. (Kramer 1972)

Χρήση δεδομένων εξατμισοδιαπνοής. Πραγματική εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας (ETc) είναι το σύνολο του νερού που χάνεται από ένα καλλιεργημένο χωράφι, όπου νερό και έδαφος δεν αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες, η καλλιέργεια είναι ελεύθερη από κάθε είδους ασθένεια και δίνει τη μέγιστη απόδοσή της κάτω από τις τοπικές συνθήκες του περιβάλλοντος και την εφαρμοζόμενη καλλιεργητική πρακτική. Η ETc αντιπροσωπεύει τις πραγματικές σε νερό ανάγκες μιας καλλιέργειας και το μέγεθός της διαμορφώνεται από (α) τις κλιματικές συνθήκες (β) τα χαρακτηριστικά μιας καλλιέργειας και (γ) τις τοπικές συνθήκες και την καλλιεργητική πρακτική.

Οι κλιματικές συνθήκες ενός τόπου διαμορφώνουν τη βασική εξατμισοδιαπνοή (ETr). Σαν ETr θεωρείται η εξατμισοδιαπνοή από ένα καλλιεργημένο χωράφι που έχει σημαντική έκταση, η επιφάνειά του καλύπτεται ολικά από χαμηλά φυτά που αναπτύσσονται δυναμικά και σε κανένα στάδιο της αναπτύξεώς τους δεν υποφέρουν από έλλειψη νερού. Η ETr είναι ανεξάρτητη από το φυτικό είδος που καλλιεργείται.

Η επίδραση των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας στη διαμόρφωση της ETc αντιπροσωπεύεται από το φυτικό συντελεστή kc. Ο συντελεστής αυτός είναι μια αναλογική σταθερά που συνδέει την ETr με την ETc, δηλαδή

$$ETc = kc \cdot ETr$$

Οι τιμές του kc είναι ανεξάρτητες από τη μέθοδο υπολογισμού της βασικής εξατμισοδιαπνοής, είναι ενιαίες αλλά όχι σταθερές, εξαρτώμενες από διάφορους παράγοντες όπως είναι τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, η εποχή σποράς ή φυτεύσεως, ο ρυθμός αναπτύξεως, η διάρκεια της περιόδου αναπτύξεως και οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε τόπο.

Το τελικό μέγεθος της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής επηρεάζεται από τις ιδιαίτερες συνθήκες και την καλλιεργητική πρακτική που επικρατούν σε κάθε τόπο. Παράγοντες που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι το μέγεθος του χωραφιού, το υψόμετρο της περιοχής, η διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας, η παθογένεια των εδαφών, ο τρόπος καλλιέργειας των χωραφιών και ο τρόπος εφαρμογής του αρδευτικού νερού. Η εκτίμηση της επιδράσεως των παραγόντων αυτών γίνεται

χωριστά και ειδικά για κάθε τόπο, ανάλογα δε διαμορφώνεται το τελικό μέγεθος της ETc, είτε προς τα κάτω είτε προς τα πάνω από αυτό που υπολογίζεται με την παραπάνω σχέση.

Παίρνοντας υπόψη τα παραπάνω, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή από ένα χωράφι στο οποίο αναπτύσσεται μια συγκεκριμένη καλλιέργεια γίνεται σε τρία στάδια, που κατά σειρά είναι (α) ο υπολογισμός της βασικής εξατμισοδιαπνοής, (β) ο προσδιορισμός του φυτικού συντελεστή και (γ) η ποσοτική εκτίμηση της επιδράσεως που ασκούν οι επικρατούσες τοπικά συνθήκες και η καλλιεργητική πρακτική.

Μία από τις μεθόδους εκτιμήσεως της βασικής εξατμισοδιαπνοής είναι η τροποποιημένη μέθοδος των Blaney-Criddle, η οποία περιλαμβάνει την εκτίμηση ενός κλιματικού παράγοντα με βάση τη μέση θερμοκρασία του αέρα, το ποσοστό που αντιπροσωπεύει ο αριθμός ωρών ημέρας ενός μήνα σε σχέση με τον αριθμό ωρών ημέρας του χρόνου, τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας, την ταχύτητα του αέρα και την ηλιακή ακτινοβολία, και την εκτίμηση ενός φυτικού συντελεστή για να υπολογιστούν οι ανάγκες σε νερό μιας καλλιέργειας.

Με την τροποποιημένη μέθοδο Penman, η βασική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$ETr = c (W \cdot Rn + (1 - W) f(u) (ea - ed)), \text{ mm / ημέρα}$$

όπου W είναι ένας σταθμιστικός παράγοντας, Rn είναι η καθαρή ακτινοβολία εκφρασμένη σε ισοδύναμο πάχος εξατμιζόμενου νερού σε mm / ημέρα, $f(u)$ είναι μια συνάρτηση που εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα, ea είναι η πίεση κορεσμού των υδρατμών στη μέση θερμοκρασία του αέρα σε mbar, ed είναι η πραγματική πίεση των υδρατμών της ατμόσφαιρας σε mbar, και c είναι ένας παράγοντας προσαρμογής ενδεικτικός της διαφοράς των καιρικών συνθηκών που επικρατούν τη μέρα και τη νύκτα.

Τα εξατμισόμετρα με ελεύθερη επιφάνεια νερού, γνωστά σαν τύπου λεκάνης (evaporation pans), παρέχουν ένα μέτρο της συνδιασμένης επιδράσεως που ασκούν η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα πάνω στην εξάτμιση από μια συγκεκριμένη επιφάνεια νερού. Οι καλλιέργειες αντιδρούν, σε γενικές γραμμές, στους παραπάνω κλιματικούς παράγοντες με ανάλογο τρόπο. Ο πιο διαδεδομένος τύπος εξατμισόμετρου είναι το εξατμισόμετρο Α τάξεως (U.S.W.B. Class A pan) και λιγότερο διαδεδομένος είναι το εξατμισόμετρο του Κολοράντο (Coloranto sunken pan).

Υδατική στέρση στο φυτό. Τουλάχιστον θεωρητικά, τα φυτά θα μπορούσαν να είναι οι καλύτεροι δείκτες της ανάγκης για άρδευση γιατί συνδιάζουν τους εδαφικούς και ατμοσφαιρικούς παράγοντες που ρυθμίζουν την ισορροπία νερού στο φυτό. Από τα πιο πρόωρα συμπτώματα είναι αλλαγή του χρώματος των φύλλων, της γωνίας των φύλλων και συστροφή του ελάσματος, και μερικά από αυτά έχουν επιτυχώς χρησιμοποιηθεί ως δείκτες της ανάγκης για άρδευση. Τα φυτά βρίσκονται σε υδατική στέρση όχι μόνο λόγω ανεπάρκειας εδαφικού νερού, αλλά και όταν ο ρυθμός της απορρόφησης νερού από τις ρίζες υστερεί από το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής. Οι Demmead και Shaw (1962) βρήκαν ότι ο βαθμός της υδατικής στέρσης, η οποία αναπτυσσόταν σε φυτά αραβοσίτου σε γλάστρες, εξαρτάτο κυρίως από τις ανάγκες της εξατμισοδιαπνοής, ακόμη και όταν το διαθέσιμο εδαφικό νερό ήταν επαρκές. Σε αυτό οφείλεται ότι, σε ζεστές, ηλιόλουστες μέρες, ακόμα και φυτά σε υγρά εδάφη μπορούν να εμφανίσουν συμπτώματα υδατικής στέρσης. Πάντως, αν δείξουν συμπτώματα το πρωί, η διαθεσιμότητα του νερού αρχίζει να γίνεται περιοριστική για τα φυτά.

Ένας πιο ευαίσθητος δείκτης υδατικής στέρσης από τη μάρανση απαιτείται γιατί από τη στιγμή που τα φυτά έχουν μαραθεί, η ανάπτυξη έχει ήδη μειωθεί. Το δυναμικό του νερού του φύλλου είναι αρκετά αξιόπιστος δείκτης υδατικής στέρσης, αλλά μετρήσεις του δυναμικού του νερού είναι δύσκολο να γίνουν στον αγρό. Προσωρινό κλείσιμο των στομάτων είναι ένας πρόωρος δείκτης υδατικής στέρσης και έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά γι' αυτό το σκοπό. Μειώσεις στο ρυθμό ανάπτυξης φύλλων, καρπών, και βλαστών είναι επίσης δείκτες εξελιζόμενης υδατικής στέρσης.

Ο Hiler και η ομάδα του (1972) εισήγαγαν τον ημερήσιο δείκτη υδατικής στέρσης, που βασίζεται στις διαφορές ως προς την αντοχή στην υδατική στέρση μεταξύ ειδών και διαφόρων σταδίων ανάπτυξης. Είναι το προϊόν του παράγοντα ημερήσιας υδατικής στέρσης, που είναι μέτρηση της υδατικής στέρσης στο φυτό, (συνήθως το δυναμικό του νερού στα φύλλα) και του παράγοντα ευαισθησία της καλλιέργειας, που προσδιορίζεται πειραματικά εκθέτοντας την καλλιέργεια σε συγκεκριμένη υδατική στέρση σε διάφορα στάδια ανάπτυξης και υπολογίζοντας τις αποδόσεις ως το λόγο των αποδόσεων φυτών χωρίς υδατική στέρση στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης. Αυτή η μέθοδος αποτελεί μια καλή προσέγγιση στο πρόβλημα αλλά δυστυχώς είναι πολύπλοκη για να εφαρμοστεί στον αγρό. ((Kramer 1972)

Υπάρχουν και άλλες προσεγγίσεις στο θέμα, όπως χρήση μεθόδων αεροφωτογραφίας ή χρήση ακτινοβολίας (Kramer 1972). Σε ένα πρόσφατο πείραμα το σημείο υδατικής στέρσης προσδιορίστηκε σε νεαρά φυτά πεπονιού με ανάλυση της μέσης, πράσινου χρωματισμού τιμής του πιο νεαρού φύλλου μέσα στη μέρα, με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (Okamura, Kurata, Yang 1994).

5 Αντίδραση των φυτών στην υδατική στέρση

Η πρώτη συνέπεια έλλειψης νερού είναι η απώλεια σπαργής. Εξαιτίας της απώλειας σπαργής, δύο περιοχές επηρεάζονται. Η διόγκωση των κυττάρων, άρα και η εκτεταμένη ανάπτυξη περιορίζονται. Τόσο τα φύλλα, όσο και οι ρίζες συνήθως επηρεάζονται, ενώ ο περιορισμός του ριζικού συστήματος εντείνει το πρόβλημα. Οι κυτταροδιαιρέσεις συνήθως δεν επηρεάζονται, παρά μόνο κάτω από έντονη υδατική στέρση. Ο μηχανισμός των στομάτων επηρεάζεται και συμβαίνει κλείσιμο των στομάτων σε παρατεταμένη υδατική στέρση. Το κλείσιμο των στομάτων προκαλεί μείωση στη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση που οφείλεται στη μειωμένη ανταλλαγή αερίου. Η διαπνοή μειώνεται περισσότερο από τη φωτοσύνθεση και γενικά πιστεύεται ότι η διαπνοή μπορεί να μειωθεί κατά 50% πριν επηρεαστεί η φωτοσύνθεση.

Εξαιτίας της έλλειψης νερού, στα φυτά συμβαίνουν χημικές αλλαγές, οι λεπτομέρειες των οποίων είναι γενικά άγνωστες. Πρωτοπλασματική αφυδάτωση συχνά θεωρείται σαν λόγος αλλά αυτό είναι αρκετά αόριστο. Η βασική διαδικασία της φωτοσύνθεσης φαίνεται να επηρεάζεται λόγω της έλλειψης διοξειδίου του άνθρακα που ακολουθεί το κλείσιμο των στομάτων. Μείωση του ρυθμού αναπνοής πολλών ιστών έχει παρατηρηθεί και οφείλεται στην μειωμένη περιεκτικότητα σε υγρασία. Όμως, ελάχιστη μόνο σχέση υπάρχει μεταξύ της περιεκτικότητας του φυτού σε νερό και του ρυθμού αναπνοής.

Αλλαγές στο μεταβολισμό και την αφομείωση που προκαλούνται από στρες νερού, μεταβάλλουν τις ποσότητες και το είδος των χημικών συστατικών των φυτών. Οι ολικοί υδατάνθρακες μειώνονται ως αποτέλεσμα περιορισμένης φωτοσύνθεσης σε παρατεταμένη υδατική στέρση και, με υπερβολική αφυδάτωση, λόγω αυξημένης αναπνοής. Οι υδρολυτικές διαδικασίες επιταχύνονται, όπως

φαίνεται από μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα. Τα επίπεδα πρωτεϊνών μειώνονται και ίσως αυτό να οφείλεται σε μειωμένα επίπεδα νουκλεϊκών οξέων ή σε αυξημένη δράση πρωτεολυτικών ενζύμων. Η περιεκτικότητα σε άζωτο και φώσφορο επίσης επηρεάζεται από την υδατική στέρση.

Τέλος, η έλλειψη νερού επηρεάζει την συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο φυτό. Σε μεγάλη έκταση μείωση των θρεπτικών στοιχείων συμβαίνει ως αποτέλεσμα μειωμένης διάχυσης από το εδαφικό διάλυμα προς τις ρίζες του φυτού και μέσα στο φυτό ή μείωσης της διαθεσιμότητας (Κ).

Επίλογος / στοιχεία για την καλλιέργεια

Στο πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας έγινε προσπάθεια, αφού επισημανθούν οι σπουδαιότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τις καλλιέργειες κηπευτικών σε θερμοκήπια, να πειστεί ο αναγνώστης σχετικά με τη σημασία των υπό μελέτη παραγόντων, δηλαδή της υδατικής στέρσης και της σκίασης σε μια καλλιέργεια θερμοκηπίου, που, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τη χώρα μας.

Παράλληλα, γίνεται προσπάθεια να καλυφθεί όσο γίνεται πληρέστερα το θεωρητικό μέρος που αφορά αυτούς τους παράγοντες, κάτι που είναι και απαραίτητη προϋπόθεση για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ίσως όμως σ' αυτό το σημείο να ήταν σκόπιμο να αναφερθούν λίγα πράγματα για το συγκεκριμένο φυτό και την καλλιέργειά του στο θερμοκήπιο. Το πεπόνι (*Cucumis melo*) αναπτύσσεται ικανοποιητικά όταν οι θερμοκρασία του αέρα είναι 20-25 °C τη μέρα, και τη νύχτα 15-18 °C και σε σχετική υγρασία 70-80 % εκτός από την περίοδο της άνθησης όπου απαιτείται ξηρότερο περιβάλλον. Προτιμά εδάφη αμμοαργιλλώδη, γόνιμα, με ουδέτερη ή ελαφρά όξινη αντίδραση. Η φύτευση στο θερμοκήπιο γίνεται σε απλές ή διπλές γραμμές ενώ από τις κύριες καλλιεργητικές εργασίες είναι το κλάδεμα και η υποστήλωση των φυτών. Το πεπόνι είναι φυτό μόνοικο δικλινές, φέρει τα θηλυκά άνθη σε πλάγιους βλαστούς, είναι σταυρογονιμοποιούμενο και η επικονίαση γίνεται με τη μέλισσα.

Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή του πειράματος, τα αποτελέσματα και η στατιστική ανάλυση και τέλος σχόλια πάνω στα αποτελέσματα.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ

Το πείραμα έλαβε χώρα στο Ινστιτούτο Προστασίας Φυτών Πατρών το καλοκαίρι του 1994. Χρησιμοποιήθηκαν 22 συνολικά φυτάρια υβριδίου πεπποινού Dikti RZ. Πρόκειται για πείραμα split-plot παραγοντικό. Μελετήθηκε η άρδευση (κύρια τεμάχια) σε δύο επίπεδα (κανονική άρδευση, υδατική στέρση) και ο παράγοντας ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (υποτεμάχια) σε δύο επίπεδα (ολική ηλιακή ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο, σκίαση). Εφαρμόστηκαν 4 επεμβάσεις με 5 επαναλήψεις σε σύνολο 20 φυτών. Τα υπόλοιπα δύο φυτά χρησιμοποιήθηκαν για προσδιορισμό της υγρασίας με τρόπο που περιγράφεται στη συνέχεια.

Σπορά.

Οι σπόροι (0,74 gr) εσπάρθηκαν σε ατομικά πλαστικά γλαστράκια με υπόστρωμα κομπόστα ανάπτυξης φυταρίων την 25 / 7. Το φύτευμα των σπόρων ολοκληρώθηκε μέσα στις επόμενες 4 ημέρες, όπου τελικά όλοι οι σπόροι φύτεωσαν (φυτρωτική ικανότητα 100%). Μέχρι την εμφάνιση των κοτυληδόνων τα γλαστράκια ήταν σκεπασμένα με απορροφητικό χαρτί του οποίου η υγρασία διατηρούνταν σε υψηλά επίπεδα.

Κατά τη διάρκεια παραμονής των φυτών στο σπορείο, εκτός από την παροχή νερού, έγιναν και οι απαραίτητες επεμβάσεις με χημικά μέσα για αντιμετώπιση εχθρών όπως τετράνυχος και αλευρώδεις. Λιπάσματα δεν εφαρμόστηκαν.

Προετοιμασία θερμοκηπίου.

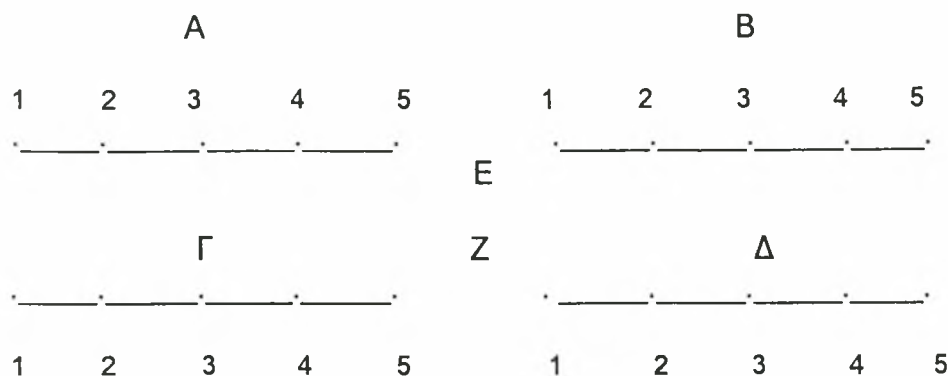
Μίγμα χώματος και περλίτη 1:4, μετά την ανάμιξή του, χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να πληρώσει αντίστοιχα με τον αριθμό των φυτών πλαστικές γλάστρες διαμέτρου 27 cm. Η ίδια ποσότητα μίγματος χρησιμοποιήθηκε σε κάθε γλάστρα. Η αντίδραση του εδάφους θεωρήθηκε γνωστή από χρήση του σε προηγούμενα πειράματα και ήταν $\text{PH} = 7,8$. Οι γλάστρες τοποθετήθηκαν σε θερμοκήπιο με πλαστικό κάλυμμα, μέσα σε αύλακα κατάλληλου βάθους έτσι ώστε η πάνω επιφάνειά τους να είναι στο ίδιο επίπεδο με την επιφάνεια του εδάφους ώστε να διευκολύνονται οι εργασίες, η άρδευση και η λήψη μετρήσεων. Τα παράθυρα του θερμοκηπίου ήταν επί μονίμου βάσεως ανοιχτά γιατί οι θερμοκρασίες εκείνη την περίοδο (Ιούλιος- Αύγουστος) ήταν αρκετά υψηλές, και ενώ το φυτό αντέχει σε θερμοκρασίες μέχρι και 39°C , αναπτύσσεται όμως καλύτερα στους 27°C . (7)

Διάταξη φυτών στο θερμοκήπιο

Η μεταφύτευση έγινε όταν τα φυτά απέκτησαν τρία πραγματικά φύλλα την

12/8, δηλαδή 14 ημέρες μετά τη σπορά.

Το σχέδιο φύτευσης περιγράφεται στο σχήμα που ακολουθεί :



Οι αποστάσεις φύτευσης μεταξύ των γραμμών είναι 1,3 m ενώ εντός των γραμμών 0,8 m. Τα τεμάχια A και B ποτίζονταν κανονικά ενώ τα Γ και Δ ποτίζονταν μετά από υδατική στέρηση. Τα B και Δ σκιάζονταν, ενώ τα A και Γ δεν σκιάζονταν. Πρόκειται τελικά για 4 συνολικά μεταχειρίσεις οι οποίες για διευκόλυνση θα αποδίδονται ως εξής :

καν.ΜΣ : δέχονταν κανονική άρδευση και σκίαση (τεμάχιο B)

καν.ΧΣ : δέχονταν κανονική άρδευση χωρίς σκίαση (τεμάχιο A)

στρες. ΜΣ : υποβάλλονταν σε υδατική στέρηση και σκίαση (τεμάχιο Δ)

στρες. ΧΣ : υποβάλλονταν σε υδατική στέρηση χωρίς σκίαση (τεμάχιο Γ)

Στο μέσο των τεμαχίων, στα σημεία E και Z, τοποθετήθηκαν δύο γλάστρες με φυτά οι οποίες ζυγίζονταν καθημερινά. Χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των αρδευτικών επεμβάσεων με τρόπο που περιγράφεται στη συνέχεια. Όλες οι γλάστρες καλύφθηκαν με πλαστικό κάλυμμα, κατάλληλα προσαρμοσμένο, με σκοπό τον περιορισμό της εξάτμισης της επιφάνειας του εδάφους.

Προσδιορισμός υδατοϊκανότητας υποστρώματος γλαστρών και καθορισμός αρδευτικών επεμβάσεων

Οι δύο γλάστρες που ζυγίζονταν καθημερινά, πριν από τη φύτευση, τροφοδοτήθηκαν με νερό για δύο συνεχόμενες μέρες και μετά σκεπάστηκαν με πλαστικό για παρεμπόδιση εξάτμισης. Για αποφυγή της στράγγισης, στη βάση τους τοποθετήθηκαν πιατάκια τα οποία ήταν γεμάτα με νερό, ώστε τελικά οι γλάστρες να κορεστούν σε νερό. Μετά αφέθηκαν να στραγγίσουν για μία ημέρα και θεωρήθηκε

ότι η υγρασία τους εκείνη τη στιγμή αντιπροσωπεύει την υδατοϊκανότητα (4). Οι γλάστρες αυτές ζυγίστηκαν και βρέθηκε ότι το μικτό τους βάρος ήταν περίπου 22.500 gr.

Για τον προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας στην υδατοϊκανότητα ελήφθησαν δείγματα από την άνω και κάτω επιφάνεια της καθεμιάς, τα οποία, αφού ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε κλίβανο στους 105 °C για 24 ώρες για να ξηραθούν πλήρως (4).

Το βάρος υγρού και ξηρού εδαφικού δείγματος για την άνω και κάτω επιφάνεια κάθε γλάστρας φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί :

Δείγμα	Βάρος (gr)	
	Υγρό εδ. δείγμα	Ξηρό εδ. δείγμα
γλάσ.1 άνω επ.	137,91	96,05
γλάσ.1 κάτω επ.	149,35	99,87
γλάσ.2 άνω επ.	158,74	108,05
γλάσ.2 κάτω επ.	182,5	125,22

Στα δείγματα αυτά υπολογίστηκε η εδαφική υγρασία με βάση τον τύπο :

$$SM (\% D.W.) = 100. (Ww-Wd) / Wd \quad (4)$$

όπου

SM είναι η εδαφική υγρασία και Ww, Wd είναι αντίστοιχα το βάρος του υγρού και του ξηρού εδαφικού μείγματος. Έτσι, SM1 = 46,62 % και SM2 = 46,28 %.

Οπότε τελικά η υγρασία του εδάφους στην υδατοϊκανότητα είναι ~ 46%. Αυτή η τιμή αναφέρεται συνολικά τόσο στην άνω όσο και στην κάτω επιφάνεια του εδάφους, όπως υπολογίστηκε από το μέσο όρο βάρους δείγματος για την άνω και κάτω επιφάνεια κάθε γλάστρας.

Αυτές οι δύο γλάστρες χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για τον προσδιορισμό των αρδεύσεων. Η μία για τον προσδιορισμό των αρδεύσεων για την υγρή και η άλλη για τη ξηρή επέμβαση.

Οι γλάστρες ζυγίζονταν καθημερινά. Από την απώλεια βάρους μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή. Στην υγρή επέμβαση, όταν το σύνολο των απωλειών σε νερό (πραγματική εξατμισοδιαπνοή) έφθανε τα 2,5 lt, εφαρμοζόταν άρδευση με ισόποση ποσότητα νερού, ώστε το υπόστρωμα να επανέρθει στην υδατοϊκανότητα. Σ' αυτό το σημείο η εδαφική υγρασία υπολογίστηκε 33,58 %. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, όταν τα φυτά είχαν αναπτυχθεί αρκετά, γινόταν διόρθωση των τιμών σχετικά με το βάρος των ζυγιζόμενων γλαστρών γιατί λαμβάνονταν υπόψη η αύξηση του βάρους των φυτών.

Έτσι, ξέροντας ότι το μικτό βάρος στην υδατοϊκανότητα για κάθε γλάστρα είναι 22.500 gr, το πότισμα εφαρμοζόταν στα 20.500 gr. Σ' αυτό το εύρος

θεωρήθηκε ότι αρκετή εδαφική υγρασία υπήρχε πάντοτε στη διάθεση των φυτών. Αυτό αποτελεί και το πρώτο επίπεδο του παράγοντα «άρδευση».

Το άλλο επίπεδο καθορίστηκε βάση συμπυκνμάτων έλλειψης νερού στα φυτά. Συγκεκριμένα, όταν τα φυτά έδειχναν συμπτώματα μάρανσης τις πρωινές ώρες, τότε το μικτό βάρος της κάθε γλάστρας ήταν 18.000 gr και χρειαζόταν 4.5 lt νερού για να επανέρθει στην υδατοϊκανότητα. Οπότε τελικά στη ξηρή επέμβαση άρδευση εφαρμοζόταν όταν η πραγματική εξατμισοδιαπνοή έφθανε τα 4,5 lt. Σ' αυτό το σημείο η εδαφική υγρασία υπολογίζεται 17,03 %.

Για τη ξηρή επέμβαση εφαρμόστηκαν συνολικά 5 κύκλοι.

Τα παραπάνω επίπεδα άρδευσης αντιστοιχούν στο 34% και 63% αντίστοιχα σε σχέση με το νερό που απαιτείται για να έρθει το έδαφος στην υδατοϊκανότητα.

Η εφαρμογή της άρδευσης γινόταν «με το χέρι» αφού πρώτα υπολογίζονταν οι ποσότητες του νερού με ογκομετρικό σωλήνα.

Αυτός ο τρόπος προγραμματισμού της άρδευσης ακολουθήθηκε πιστά καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου εκτός από την περίοδο 14/9 - 23/9, κατά την οποία τα φυτά βρίσκονταν στην αναπαραγωγική φάση. Ο αριθμός των αρδεύσεων και η συνολική ποσότητα νερού που απαιτήθηκε και για τις δύο επεμβάσεις φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί :

Επέμβαση	αριθμός αρδεύσεων	συνολική ποσότητα νερού (λίτρα/γλ) .
Κανονική άρδευση	35	70
Στρες νερού	στρες 6 διακοπή 4	27 8

Η διακοπή της υδατικής στέρξης στα αντίστοιχα φυτά και η εφαρμογή άρδευσης σύμφωνα με το πρώτο επίπεδο έγινε γιατί τα θηλυκά άνθη στα φυτά υπό υδατική στέρξη ξηραίνονταν και αποβάλλονταν πριν γονιμοποιηθούν. Η ενέργεια αυτή όμως δεν απέδωσε γιατί, ενώ τα άνθη γονιμοποιήθηκαν και άρχισαν να αναπτύσσονται καρποί, αυτοί οι μόλις σχηματισμένοι καρποί ξεράθηκαν και έπεσαν όταν συνθήκες υδατικής στέρξης επανήρθαν. Να σημειωθεί όμως ότι και μερικά από τα αρσενικά άνθη ξηραίνονταν, όμως το γεγονός αυτό δεν δημιούργησε πρόβλημα στην επικονίαση γιατί οι απαιτήσεις για γύρη ικανοποιούνταν από τα γειτονικά φυτά (το πεπόνι είναι σταυρογονιμοποιούμενο φυτό).

Σκίαση

Η κουρτίνα σκίασης τοποθετήθηκε την 9/9 και όταν το ύψος των χαμηλότερων φυτών είχε ξεπεράσει το ένα μέτρο. Πρόκειται για σκίαστρο τοποθετημένο σε μόνιμη θέση στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και σε απόσταση δύο μέτρων πάνω από την επιφάνεια των γλαστρών και ενός μέτρου κάτω από το πλαστικό κάλυμμα του θερμοκηπίου.

Οι εντάσεις φωτός, δύο διαφορετικές ηλιόλουστες ημέρες του Οκτωβρίου και για δύο διαφορετικές ώρες, όπως μετρήθηκαν από λουξόμετρο, έχουν ως εξής:

ημερομηνία : 3/10

ώρα : 13.00

ένταση φωτός έξω από το θερμοκήπιο : 80 KLUX

ένταση φωτός κάτω από το πλαστικό κάλυψης του θερμοκηπίου : 40 KLUX
ένταση φωτός κάτω από την κουρτίνα σκίασης : 4 KLUX

ημερομηνία : 5/10

ώρα : 10.00

ένταση φωτός έξω από το θερμοκήπιο : 60 KLUX

ένταση φωτός κάτω από το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου : 10-15 KLUX

ένταση φωτός κάτω από την κουρτίνα σκίασης : 4 KLUX

Τα φυτά τελικά κάτω από τη σκίαση αναπτύχθηκαν σε ηλιακή ακτινοβολία έντασης ~ 5-6,5% σε σχέση με την ακτινοβολία έξω από το θερμοκήπιο. Δεν αναμένεται να δημιουργηθεί πρόβλημα στα φυτά εξαιτίας χαμηλής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, γιατί αναφέρεται ότι τα περισσότερα λαχανοκομικά είδη που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια έχουν σημείο κορεσμού τα 4.000 - 5.000 Lux. (7)

Καλλιεργητικές φροντίδες

Τα φυτά υποστηλώθηκαν με τη βοήθεια σπάγγου δεμένου από τη μία άκρη από τη βάση του φυτού και από την άλλη από το οριζόντιο σύρμα. Όταν το ύψος τους ξεπέρασε το οριζόντιο σύρμα, τα φυτά αφέθηκαν να «κατέβουν» προς τα κάτω. Κλάδεμα δεν έγινε προκειμένου να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις εκτός από την αφαίρεση όλων των καρπών εκτός από δύο σε κάθε φυτό, την αφαίρεση όλων των αρσενικών ανθέων στα πρώτα 50 cm από το έδαφος και την αφαίρεση των ελίκων. Οι καρποί αφέθηκαν σε βλαστούς δεύτερης τάξης οι οποίοι είχαν κάποια απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε να μην είναι συγκεντρωμένο το φορτίο σε ένα σημείο.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο γινόντουσαν επιφανειακά σκαλίσματα στο έδαφος του κάθε δοχείου με σκοπό να σπάσει η εδαφική κρούστα και να βελτιωθεί ο αερισμός του ριζικού συστήματος.

Εκτός από το πότισμα, εφαρμόστηκε και μια κατάλληλη λιπαντική αγωγή με σκοπό την παροχή των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων. Η εφαρμογή των λιπασμάτων γινόταν σε στερεά μορφή, σε μικρές ποσότητες, και σχεδόν σε κάθε πότισμα, ώστε το φυτό να τροφοδοτείται συνέχεια με θρεπτικά στοιχεία.

Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του φυτού εφαρμόστηκε Sol-u-gro, το οποίο έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε P, με σκοπό την κανονική ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε Nutri-leaf με σκοπό την κάλυψη των αυξημένων απαιτήσεων του φυτού σε N. Όταν πια τα φυτά βρίσκονταν στο αναπαραγωγικό στάδιο, εφαρμόστηκαν NH_4NO_3 εναλλάξ με KNO_3 , καθώς το πρώτο καλύπτει τις ανάγκες των φυτών σε N ενώ το δεύτερο ευνοεί το σχηματισμό και την ανάπτυξη των καρπών. Για να προληφθεί έλλειψη Mg στα φυτά, παρήχθησαν μικρές ποσότητες MgSO_4 .

Συνολικά τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν και οι αντίστοιχες ποσότητες ανά φυτό είναι τα εξής :

- 6 gr Sol-u-gro (12-48-8)
- 4,5 gr Nutri-leaf (30-10-10)
- 9 gr NH_4NO_3
- 9 gr KNO_3
- 0,8 gr $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Για την προστασία της καλλιέργειας από εχθρούς όπως αφίδες, αλευρώδεις, ακάρεα και θρίπες που λόγω των καιρικών συνθηκών βρίσκονταν σε έξαρση, εφαρμόστηκαν φυτοφάρμακα. Επειδή προς το τέλος προέκυψε πρόβλημα μυκητολογικών ασθενειών εδάφους, έγινε ριζοπτόισμα των φυτών με benomyl.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι, εκτός από τις πειραματικές μεταχειρίσεις, όλα τα φυτά δέχτηκαν τις ίδιες καλλιεργητικές φροντίδες.

Λήψη μετρήσεων

Οι λήψεις μετρήσεων άρχισαν από την 26/8, όταν το ύψος των χαμηλότερων φυτών ήταν 55 cm, επαναλαμβάνονταν κάθε 7 ημέρες, και αφορούσαν χαρακτηριστικά της βλαστικής και αναπαραγωγικής φάσης του φυτού, όπως το ύψος, την φυλλική επιφάνεια, τον αριθμό φύλλων ανά φυτό, τη διάμετρο βλαστού, και τον αριθμό των θηλυκών ανθέων. Στο τέλος του πειράματος, αφού πρώτα τα φυτά ξεριζώθηκαν, έγινε ο διαχωρισμός φύλλων / βλαστών και τα φυτικά μέρη αφέθηκαν να ξηραθούν σε θερμοκήπιο. Έτσι προσδιορίστηκε το ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων των φυτών. Μετά τη συγκομιδή των καρπών, αυτοί ζυγίστηκαν, μετρήθηκε η διάμετρος που διέρχεται από τον ποδίσκο και μετρήθηκαν τα διαλυτά στερεά που περιείχαν. Η μέτρηση των διαλυτών στερεών έγινε με διαθλασίμετρο.

Η καλλιέργεια διεκόπη πρόωρα και χωρίς να ωριμάσουν πλήρως οι καρποί λόγω ασθενειών του ριζικού συστήματος. Τα φυτά ξεριζώθηκαν την 12/10, όπου τα φυτά ευρίσκονταν στο στάδιο ωρίμανσης των καρπών, οπότε πρόκειται για καλλιεργητική περίοδο δύο μηνών από τη μεταφύτευση.

Την 10/10 συλλέχθηκαν φύλλα για ανάλυση. Η δειγματοληψία έγινε με συλλογή του τέταρτου ή πέμπτου καλά αναπτυγμένου φύλλου από την κορυφή. Από κάθε επέμβαση συλλέχθηκε ένα σύνθετο δείγμα που προέκυψε με ανάμιξη φύλλων και των πέντε φυτών της επέμβασης, οπότε συνολικά πρόκειται για 4 δείγματα. Τα φύλλα, αφού έγινε η κατάλληλη προεργασία (πλύσιμο με απορρυπαντικό, ξέπλυμα με νερό, εμβάπτιση σε διάλυμα HCl 10%, ξέπλυμα με νερό και τέλος ξέπλυμα με απεσταγμένο νερό), τοποθετήθηκαν σε κλίβανο στους 71 °C για 24 h. Στη συνέχεια, διαχωρίστηκαν οι μίσχοι από τα φύλλα και, αφού ετρίφθησαν σε μύλο, προσδιορίστηκε σ' αυτά η περιεκτικότητα σε N, P, και αφομοιώσιμο K επί του ξηρού βάρους τόσο των φύλλων όσο και των μίσχων με σκοπό την εκτίμηση της θρεπτικής κατάστασης των φυτών. Η περιεκτικότητα σε N προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Kjeldahl, σε P με τη μέθοδο Olsen και σε αφομοιώσιμο K με φλογοφωτόμετρο.

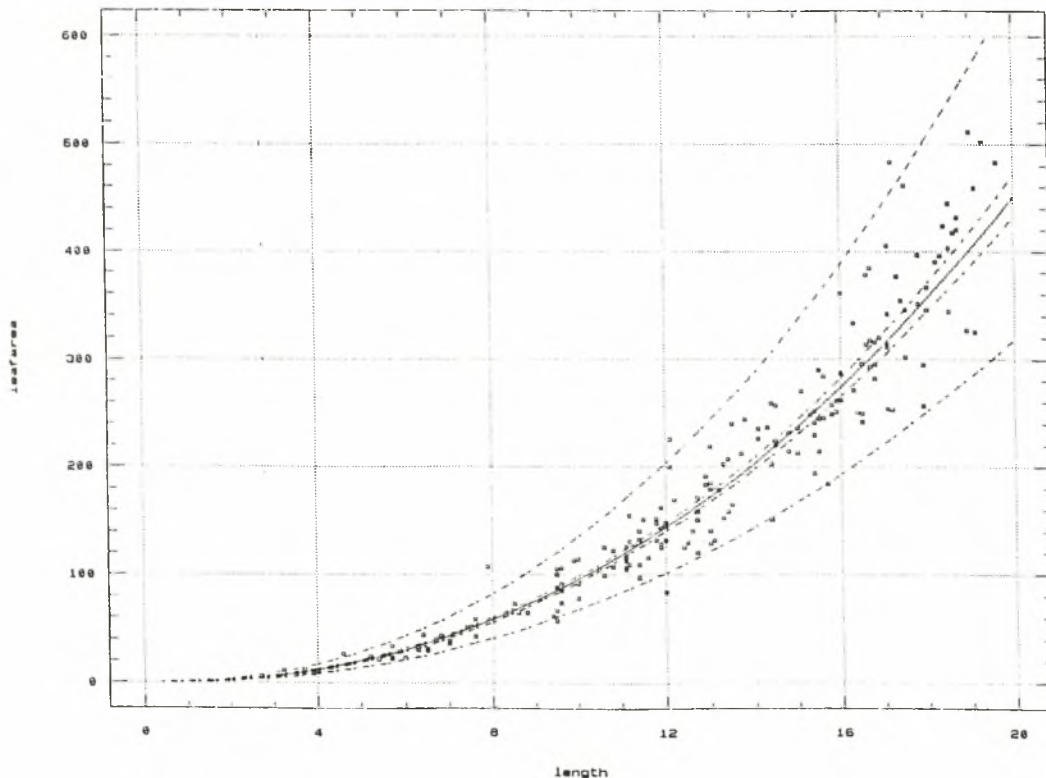
ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Μετρήσεις φυλλικής επιφάνειας, αριθμού φύλλων, ύψους και διαμέτρου

Για τη μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας ακολουθήθηκε μια έμμεση διαδικασία λόγω της δυσκολίας της απ' ευθείας μέτρησής της. Οι εβδομαδιαίες μετρήσεις στο θερμοκήπιο αφορούσαν τον προσδιορισμό του μήκους του κεντρικού νεύρου σε κάθε φύλλο του φυτού με απλά μέσα, όπως ένας γνώμονας. Τα φυτά στα οποία, σε διάφορα στάδια της ανάπτυξής τους, λαμβάνονταν μετρήσεις των κεντρικών νεύρων όλων των φύλλων τους, ήταν δύο από κάθε επέμβαση. Τυχαία επιλέχθηκαν το δεύτερο και το τέταρτο φυτό της κάθε επέμβασης, τα οποία διατηρούνταν πάντοτε τα ίδια. Στο τέλος του πειράματος, κάθε ένα από τα φύλλα των συγκεκριμένων φυτών (δεύτερο και τέταρτο κάθε επέμβασης) σχεδιάστηκε σε χαρτί, το οποίο διαμορφώθηκε ανάλογα, ώστε τελικά η επιφάνειά του να αντιστοιχεί στην επιφάνεια του αντίστοιχου φύλλου.

Τελικά συγκεντρώθηκαν 180 περίπου «φύλλα» διαφόρων μεγεθών. Σε καθ' ένα από αυτά μετρήθηκε η επιφάνεια στο εργαστήριο καθώς και το μήκος του κεντρικού νεύρου με σκοπό να βρεθεί η συμμεταβολή της φυλλικής επιφάνειας με το μήκος κεντρικού νεύρου. Η συμμεταβολή αυτή φαίνεται στο σχήμα 1, ενώ οι αντίστοιχες μετρήσεις παρατίθενται στο παράρτημα.



Σχήμα 1. Συμμεταβολή της φυλλικής επιφάνειας σε σχέση με το μήκος κεντρικού νεύρου

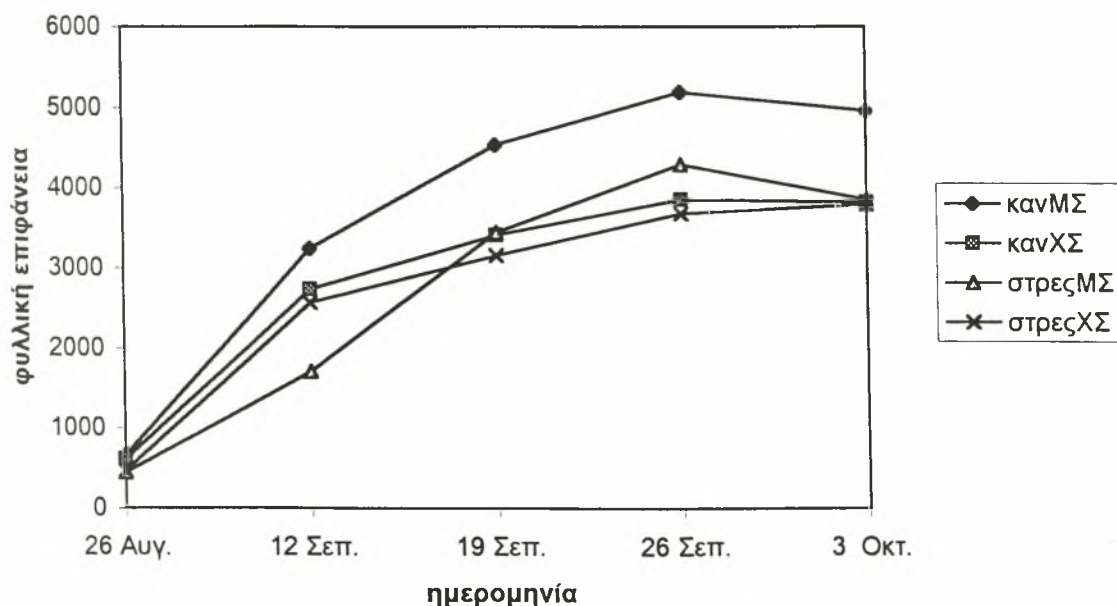
Η σχέση η οποία συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη είναι $\Psi = 0,25391 \cdot \chi^{2,23936}$, η συμμεταβολή υπολογίστηκε με χρήση του statgraphics και $R^2 = 95,93\%$. (η πλήρης ανάλυση συμμεταβολής παρατίθεται στο παράρτημα).

Η παραπάνω εξίσωση εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της επιφάνειας του φύλλου από το μήκος κεντρικού νεύρου. Λόγω της υψηλής τιμής του R^2 , η εκτίμηση της φυλλικής επιφάνειας με αυτό τον τρόπο θεωρείται αξιόπιστη. Έτσι, αφού υπολογίστηκε η φυλλική επιφάνεια για κάθε φυτό με άθροιση της επιφάνειας όλων των φύλλων του, υπολογίστηκε ο μέσος όρος φυλλικής επιφάνειας των δύο φυτών της κάθε επέμβασης. Δεδομένα για τη φυλλική επιφάνεια σε σχέση με την ημερομηνία μέτρησής της φαίνονται στον πίνακα 1.

ημερ/νία	φυλλική επιφάνεια (cm ²)			
	κανΜΣ	κανΧΣ	στρεςΜΣ	στρεςΧΣ
26 Αυγ.	658.806	615.929	449.092	469.217
12 Σεπ.	3240.19	2730.05	1700.59	2565.27
19 Σεπ.	4527.97	3403	3434.141	3149.09
26 Σεπ.	5188.67	3848.65	4291.6	3679.84
3 Οκτ.	4960.96	3820.7	3847.63	3798.64

Πιν. 1. Εξέλιξη της φυλλικής επιφάνειας με το χρόνο

Από αυτά τα δεδομένα προκύπτει το σχήμα που ακολουθεί :



Σχήμα 2. Διάγραμμα φυλλικής επιφάνειας σε σχέση με το χρόνο.

Παρατηρείται σε αυτό έντονος ρυθμός αύξησης της φυλλικής επιφάνειας μέχρι την 19/9 για όλες τις επεμβάσεις, ενώ από αυτό το σημείο και μετά ο ρυθμός αύξησης μειώνεται, έτσι ώστε τελικά η φυλλική επιφάνεια των φυτών που δέχτηκαν την επίδραση της σκίασης, ανεξάρτητα από την επίδραση της άρδευσης, να αυξάνεται με ανάλογο ρυθμό (Οι καμπύλες που αντιστοιχούν στις επεμβάσεις ΚανΜΣ και ΣτρεςΜΣ είναι παράλληλες). Τελικά, οι μεγαλύτερες τιμές για τη φυλλική επιφάνεια εμφανίζονται υπό την επίδραση της σκίασης, ενώ ο μικρότερος ρυθμός αύξησης (μετά την 19/9) εμφανίζεται στην επέμβαση ΣτρεςΧΣ.

Ο αριθμός φύλλων των φυτών τις αντίστοιχες ημερομηνίες μέτρησής τους, ως μέσος όρος του αριθμού φύλλων των δύο φυτών της κάθε επέμβασης από τα οποία λαμβάνονταν μετρήσεις, δίνεται στον πίνακα 2.

ημερ/νία	αριθμός φύλλων			
	ΚανΜΣ	ΚανΧΣ	ΣτρεςΜΣ	ΣτρεςΧΣ
26 .Aug	14	13,5	11,5	12
12 .Sep	44	35,5	26,5	29
19 .Sep	52	41,5	41	42
26 .Sep	54	46,5	47,5	47
03 .Oct	52	49	46,5	51,5

Πίνακας 2. Εξέλιξη αριθμού φύλλων των φυτών με το χρόνο

Παρατηρείται στον πίνακα 2, ότι μέχρι την 12/9, τα φυτά που υπόκεινται σε υδατική στέρηση παράγουν λιγότερα φύλλα, ενώ στη συνέχεια ο αριθμός φύλλων τους δε διαφέρει σημαντικά από τον αριθμό φύλλων των φυτών που ποτίζονται κανονικά.

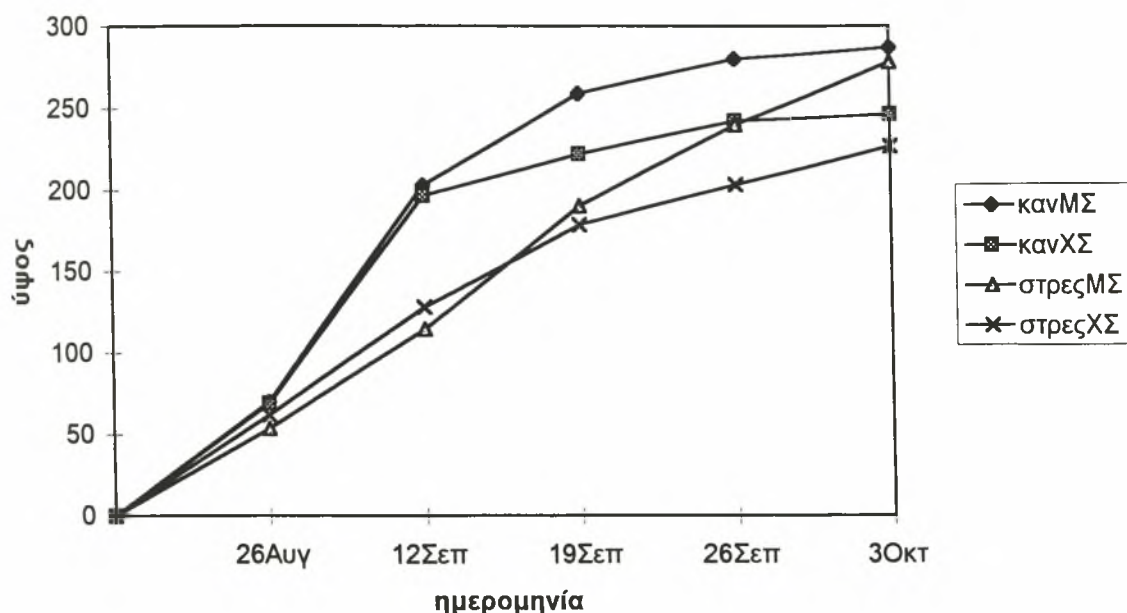
Το ύψος των φυτών, εκφρασμένο ως μέσος όρος δύο φυτών από κάθε μεταχείριση, για τις αντίστοιχες ημερομηνίες μέτρησης φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

ημερ/νία	ύψος φυτών (cm)			
	καν ΜΣ	καν ΧΣ	στρεςΜΣ	στρεςΧΣ
26 Αυγ	70	69	53.75	61.9
12 Σεπ	203	196.5	115	128.5
19 Σεπ	259	222	190.5	179
26 Σεπ	280	242.5	240	203.5
3 Οκτ	287	246.5	278	227

Πίνακας 3 . Μετρήσεις του ύψους των φυτών στις αντίστοιχες ημερομηνίες.



Από τα δεδομένα του πίνακα προκύπτει το σχήμα 3.



Σχήμα 3. Εξέλιξη του ύψους των φυτών σε σχέση με το χρόνο.

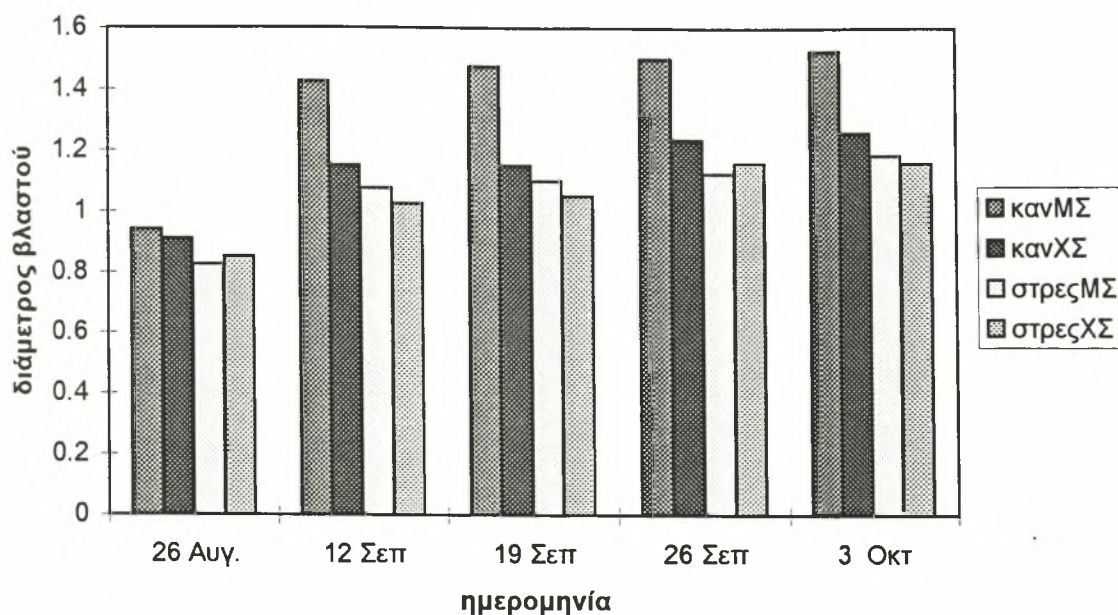
Παρατηρείται στο σχήμα 3 ότι ο ρυθμός αύξησης του ύψους στην αρχή είναι πιο έντονος για τα φυτά που δέχονται την υγρή επέμβαση σε σχέση με αυτά που δέχονται τη ξηρή επέμβαση, αλλά, από την 19/9 και μετά, παρατηρείται πιο έντονος ρυθμός αύξησης για τα φυτά της επέμβασης ΣτρεςΜΣ, ώστε τελικά οι καμπύλες ΚανΜΣ και ΣτρεςΜΣ να τείνουν να συναντηθούν σε χρονική στιγμή προς το τέλος του πειράματος. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του ύψους παρουσιάζεται στην επέμβαση ΣτρεςΧΣ.

Σχετικά με τη διάμετρο βλαστού, όπως αυτή μετρήθηκε με παχύμετρο αμέσως πάνω από το πρώτο πραγματικό φύλλο, τα δεδομένα που προκύπτουν από το μέσο όρο δύο φυτών για κάθε μεταχείριση φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

ημερ/νία	διάμετρος βλαστού (cm)			
	κανΜΣ	κανΧΣ	στρεςΜΣ	στρεςΧΣ
26 Αυγ.	0.94	0.91	0.825	0.85
12 Σεπ	1.425	1.15	1.075	1.025
19 Σεπ	1.475	1.15	1.1	1.05
26 Σεπ	1.5	1.235	1.125	1.16
3 Οκτ	1.525	1.26	1.185	1.16

Πίνακας 4. Εξέλιξη διαμέτρου βλαστού με το χρόνο.

Το αντίστοιχο διάγραμμα είναι το σχήμα 4.



Σχήμα 4. Εξέλιξη διαμέτρου βλαστού με το χρόνο.

Φαίνεται εδώ ότι ο ρυθμός αύξησης της διαμέτρου είναι πιο έντονος για τα φυτά τα οποία δέχονται την υγρή επέμβαση και ιδιαίτερα για τα φυτά της επέμβασης ΚανΜΣ, ενώ λιγότερο έντονος και περίπου στα ίδια επίπεδα κυμαίνεται ο ρυθμός αύξησης της διαμέτρου για τα φυτά της ξηρής επέμβασης.

Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Τα αποτελέσματα από διπαραγοντική ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA 2) δίδονται στον πίνακα 5.

Η επίδραση της άρδευσης στο ύψος φυτών δεν είναι σημαντική, είναι όμως σημαντική για επίπεδο σημαντικότητας 5% (*) στη διάμετρο του βλαστού με μεγαλύτερη διάμετρο στα φυτά που αρδεύονται κανονικά. Όσον αφορά τη φυλλική επιφάνεια, αν και στην κανονική άρδευση φαίνεται να είναι ελαφρώς μεγαλύτερη, δεν διαφέρει όμως σημαντικά. Σημειώνεται εδώ ότι η ανάλυση παραλλακτικότητας για τη διάμετρο βλαστού και τη φυλλική επιφάνεια βασίζεται σε μετρήσεις που ελήφθησαν την 3/10, δηλαδή λίγες ημέρες πριν το τέλος του πειράματος.

Ούτε και στο ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων φαίνεται να παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές ως προς την άρδευση.

Η σκίαση φαίνεται να ευνοεί το ύψος φυτών, αφού τα φυτά που σκιάζονται έχουν μεγαλύτερο ύψος, τόσο την 3/10 όσο και κατά το τέλος του πειράματος και για

επίπεδο σημαντικότητας 1% (**) και 5% (*) αντίστοιχα. Δεν υπάρχουν όμως σημαντικές διαφορές για καμμία άλλη από τις υπόλοιπες μεταβλητές.

Άρδευση	Ένταση φωτός	Ύψος φυτών (cm)		Διάμετρος βλ. (cm)	Φυλλική επιφ. (cm ²)	Ξηρό βάρος βλ. (gr)	Ξηρό βάρος φύλλων(gr)
		3 Οκτ.	12 Οκτ				
Καν	ΜΣ	287	251.4	1.52	4960.96	15.756	54.934
	ΧΣ	246.5	242.8	1.26	3820.7	16.572	61.298
Στρες	ΜΣ	278	282.6	1.18	3847.63	16.688	52.6
	ΧΣ	227	226.6	1.16	3798.64	19.052	63.298
Μ.Ο. άρδευσης	Καν	266.75	247.1	1.39	4390.83	16.164	59.116
	Στρες	252.5	254.6	1.17	3823.13	17.87	57.741
Μ.Ο. σκίασης	ΜΣ	282.5	267	1.35	4404.29	16.222	53.767
	ΧΣ	236.75	234.7	1.21	3809.67	17.812	63.09
Σημαν/τα άρδευσης		n.s	n.s	*	n.s	n.s	n.s
Σημαν/τα έν. φωτός		**	*	n.s	n.s	n.s	n.s
Σημαν/τα αλληλ/σης		n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
R ²		0.851	0.339	0.794	0.768	0.076	0.181

Πίνακας 5. Επίδραση άρδευσης και έντασης φωτός στην ανάπτυξη του πεπониού.

Τέλος, η αλληλεπίδραση των παραγόντων δεν προκαλεί σε καμμία περίπτωση σημαντικές διαφορές. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων βασίζεται στην τιμή του R² που δίνει κατά πόσο τα αποτελέσματα δεν οφείλονται σε τυχαίους παράγοντες. Έτσι, τα αποτελέσματα για το ύψος φυτών την 3/10, τη διάμετρο των βλαστών και τη φυλλική επιφάνεια είναι αξιόπιστα, καθώς οι τιμές του R² είναι αρκετά υψηλές, όχι όμως και για το ύψος φυτών κατά το τέλος του πειράματος και πολύ περισσότερο για το ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων, γιατί το R² έχει εκεί πολύ μικρή τιμή. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι μερικά φυτά στο τέλος προσβλήθηκαν από ασθένειες που ήταν αδύνατο να αντιμετωπιστούν. (Η πλήρης ανάλυση παραλλακτικότητας παρατίθεται στο παράρτημα).

Μετρήσεις ανθέων, καρπών και αποτελέσματα ανάλυσης φύλλων και μίσχων

Ο αριθμός των θηλυκών ανθέων τις αντίστοιχες ημερομηνίες μέτρησής τους φαίνεται στον πίνακα 6.

Παρατηρείται στον πίνακα 6 ότι στις συγκεκριμένες ημερομηνίες τα φυτά της ξηρής επέμβασης παρήγαγαν, σε σχέση με της υγρής επέμβασης, κατά μέσο όρο περισσότερα άνθη.

Σχετικά με την παραγωγή καρπών, τα φυτά της υγρής επέμβασης έδωσαν φυσιολογικά καρπούς, ενώ από τα φυτά που υπόκεινταν σε υδατική στέρση ελήφθη μόνο ένας καρπός από το φυτό 1ΣτρεςΧΣ, του οποίου η γονιμοποίηση

έλαβε χώρα πριν από το πρώτο στρες. Η γονιμοποίηση των ανθέων άρχισε να γίνεται από την 25/8 και μετά.

Φυτό	Ημερομηνία			
	19 Σεπ	26 Σεπ	3 Οκτ	10 Οκτ
1 ΚανΜΣ	2	2	0	0
4 ΚανΜΣ	11	0	0	0
2 ΚανΧΣ	1	2	2	0
4 Καν ΧΣ	6	2	0	0
2 ΣτρεςΜΣ	8	8	8	6
4 ΣτρεςΜΣ	6	7	2	7
2 ΣτρεςΧΣ	9	10	3	10
4 ΣτρεςΧΣ	8	7	7	8

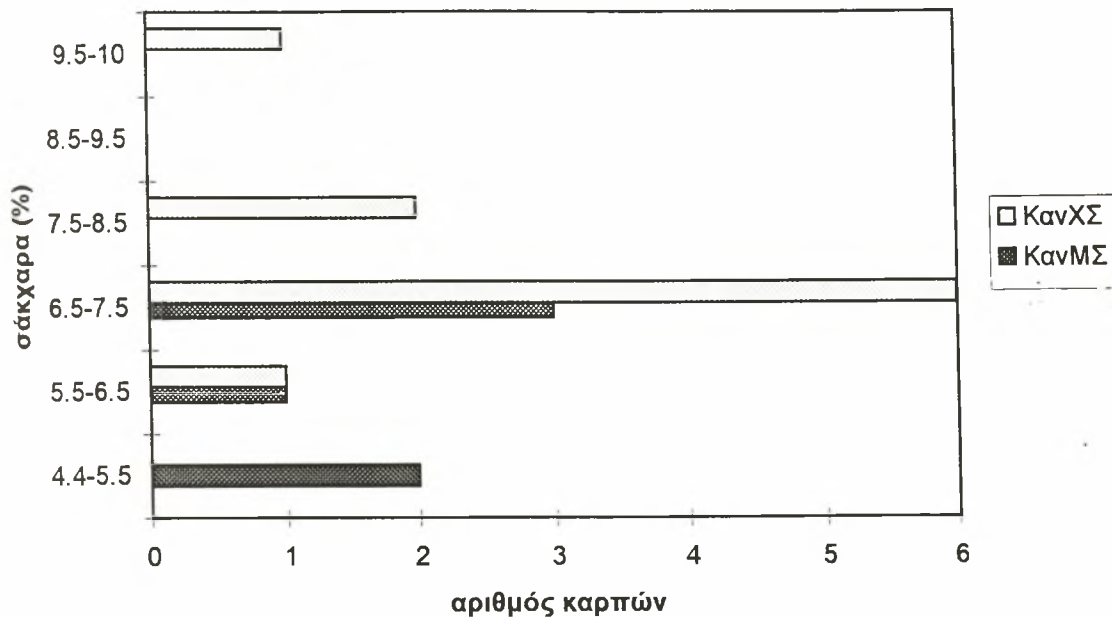
Πίνακας 6. Αριθμός θηλυκών ανθέων για κάθε ημερομηνία μέτρησής τους.

Οι μετρήσεις του βάρους, της διαμέτρου και των σακχάρων των καρπών φαίνονται στον πίνακα 7.

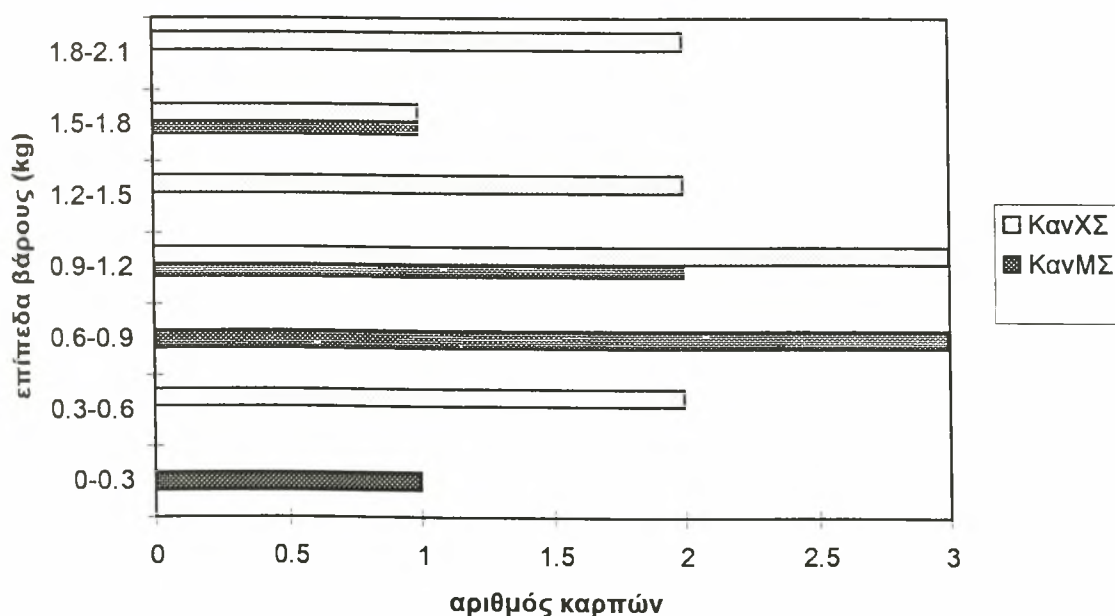
Επέμβαση	Βάρος(gr)	Δ/τρος(cm)	Σάκχαρα(%)
3ΚανΧΣ	1515	47	7
4ΚανΧΣ	1862	51.5	7
1ΣτρεςΧΣ	909	39.3	10
1ΚανΧΣ	972	40.5	7.7
5ΚανΧΣ	1300	45.5	7
3ΚανΧΣ	913	40	6.8
5ΚανΧΣ	1052	41.5	8.4
1ΚανΜΣ	769	38.5	6.3
1ΚανΜΣ	683	35.5	7
2ΚανΧΣ	464	33.5	6
5ΚανΜΣ	1592	48	7.4
4ΚανΜΣ	1171	43	7.4
3ΚανΜΣ	1083	43	5.2
2ΚανΜΣ	680	37	5
4ΚανΧΣ	553	35	6.6
4ΚανΜΣ	139		
1ΚανΧΣ	1342	45	6.6
2ΚανΧΣ	1843	50	10

Πίνακας 7. Μετρήσεις του βάρους, της διαμέτρου και των σακχάρων των καρπών.

Η ταξινόμηση των καρπών ανάλογα με τα σάκχαρα που περιέχουν δίδεται στο σχήμα 5. Σύμφωνα με το σχήμα αυτό, περισσότερα διαλυτά στερεά φαίνεται να υπάρχουν στους καρπούς που δεν σκιάζονταν, οι οποίοι παρουσιάζουν και τα υψηλότερα βάρη (σχήμα 6).



Σχήμα 5. Ταξινόμηση των καρπών ανάλογα με τα σάκχαρα που περιέχουν



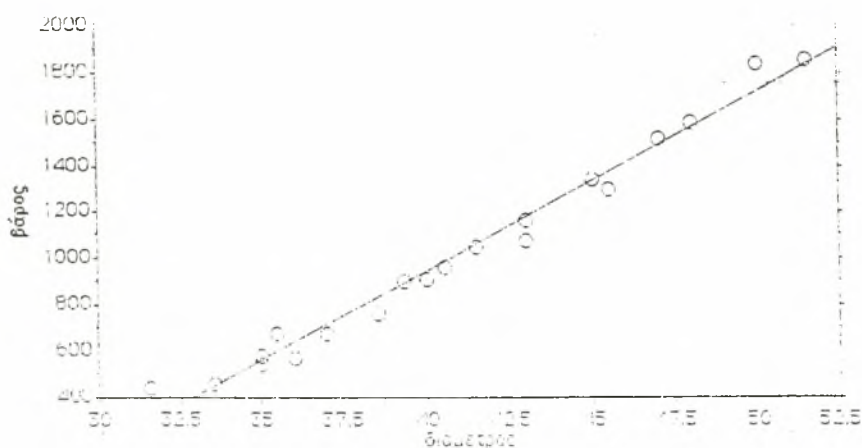
Σχήμα 6. Ταξινόμηση των καρπών ανάλογα με το βάρος τους

Πάντως, ο μοναδικός καρπός του επιπέδου «Στρες» που παρήχθηκε είχε υψηλό ποσοστό σακχάρων (10%) σε σχέση με τους υπόλοιπους καρπούς αλλά και μικρό βάρος (909 gr), αν και καρποί που γονιμοποιήθηκαν αργότερα είχαν πολύ μεγαλύτερο βάρος.

Η σχέση που συνδέει το βάρος με τη διάμετρο, όπως προσδιορίστηκε μετά από ανάλυση συμμεταβολής είναι γραμμική και έχει τη μορφή :

$$\Psi = - 2125,47 + 76,9378 X$$

για $R^2 = 98,06 \%$. Το αντίστοιχο διάγραμμα είναι το σχήμα 7. (Οι μετρήσεις και η ανάλυση συμμεταβολής παρατίθενται στο παράρτημα).



Πίνακας 7. Συμμεταβολή του βάρους καρπών με τη διάμετρο.

Η συμμεταβολή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου απαιτείται εκτίμηση του βάρους των καρπών κατά την ανάπτυξή τους, χωρίς αυτοί να χρειαστεί να αφαιρεθούν από το φυτό. Έτσι, η εκτίμηση μπορεί να γίνει με μέτρηση της διαμέτρου που διέρχεται από το μίσχο, χωρίς σημαντικό σφάλμα, αφού το R^2 είναι πολύ υψηλό.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση φύλλων και μίσχων ως προς την περιεκτικότητά τους σε άζωτο, φώσφορο και κάλιο φαίνονται στον πίνακα 8.

Στον συγκεκριμένο πίνακα φαίνεται σαφώς ότι, εκτός από την περιεκτικότητα σε Κ των φύλλων, τα φυτά που υπόκεινται σε υδατική στέρση περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα και στους μίσχους τους.

Άρδευση	Ένταση φωτός	Μίσχοι			Φύλλα		
		N	P	K	N	P	K
Καν	ΜΣ	1.48	0.127	4.76	3.8	0.342	3.76
	ΧΣ	1.16	0.072	5.1	3.48	0.198	4.4
Στρες	ΜΣ	2.28	0.242	5.6	6	0.558	4
	ΧΣ	2.88	0.266	5.3	4.48	0.352	3.3
Μ.Ο. άρδευση	Καν	1.32	0.099	4.93	3.64	0.27	4.08
	Στρες	2.58	0.254	5.45	5.24	0.455	3.65
Μ.Ο. έν.φωτός	ΜΣ	1.88	0.184	5.18	4.9	0.45	3.88
	ΧΣ	2.02	0.169	5.2	3.98	0.275	3.85

Πίνακας 8. Περιεκτικότητα σε Ν,Ρ,Κ μίσχων και φύλλων για κάθε μία από τις μεταχειρίσεις σε ποσοστό % του ξηρού βάρου

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Επίδραση των παραγόντων στην φυλλική επιφάνεια των φυτών

Έχει αναφερθεί ότι ήπια υδατική στέρση είναι δυνατό να αυξάνει τη φυλλική επιφάνεια των φυτών αυξάνοντας τον αριθμό των επιδερμικών κυττάρων (Bunce). Έντονη υδατική στέρση έχει βρεθεί ότι επίσης αύξησε τον αριθμό των επιδερμικών κυττάρων αλλά επιβράδυνε την επιμήκυνση, έτσι που η φυλλική επιφάνεια τελικά να μην αυξηθεί (Kramer, 1972).

Ο ρυθμός αύξησης της φυλλικής επιφάνειας των φυτών του συγκεκριμένου πειράματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 2, είναι εντονότερος για τα φυτά της υγρής επέμβασης που σκιάζονται, λιγότερο έντονος για τα φυτά της ξηρής επέμβασης που επίσης σκιάζονται και μειωμένος για τις δύο υπόλοιπες επεμβάσεις και ιδιαίτερα για τη ξηρή επέμβαση χωρίς σκίαση. Από τον πίνακα ανάλυσης παραλλακτικότητας (πίνακας 5), δεν παρουσιάζονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς την άρδευση, τη σκίαση και την αλληλεπίδραση των παραγόντων.

Αν και κανονική άρδευση σε σχέση με υδατική στέρση τείνει να δώσει μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια, η επίδραση της σκίασης είναι περισσότερο καθοριστική, έτσι ώστε τελικά η σκίαση να προκαλεί μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια όπου εφαρμόζεται, ακόμη και για φυτά που δέχονται τη ξηρή επέμβαση.

Είναι γνωστό ότι το φυτό διαθέτει περίσσεια νερού όταν υπερισχύει η ταχύτητα απορρόφησης από την εξατμισοδιαπνοή, και συνεπώς βρίσκεται σε σπαργή, ενώ στην περίπτωση που υπερισχύει η εξατμισοδιαπνοή το φυτό μαραίνεται.

Η ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας μπορεί να προκαλέσει υδατική στέρση, η οποία προκαλεί απώλεια σπαργής με συνέπεια τον περιορισμό της διόγκωσης των κυττάρων και των κυτταροδιαίρέσεων. Σ' αυτό οφείλεται η τάση που έχουν τα φυτά που δέχονται την υγρή επέμβαση να παρουσιάζουν μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια.

Στην περίπτωση της σκίασης, η θερμοκρασία των φύλλων είναι χαμηλότερη γιατί αυτά δε δέχονται την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να διαπνέουν με χαμηλότερο ρυθμό, οπότε παρουσιάζουν σε μικρότερο βαθμό συμπτώματα έλλειψης νερού.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι υδατική στέρση μπορεί να προκληθεί στα φυτά ακόμα και όταν η εδαφική υγρασία είναι επαρκής, εφ' όσον υπάρχουν αυξημένες ανάγκες εξατμισοδιαπνοής.

Έτσι εξηγείται γιατί τα φυτά υπό σκίαση παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές για τη φυλλική επιφάνεια, ακόμα και κάτω από συνθήκες μειωμένης εδαφικής υγρασίας.

Επίδραση των παραγόντων στον αριθμό των φύλλων

Όσον αφορά τον αριθμό των φύλλων, όπως φαίνεται στον πίνακα 2, ενώ στην αρχή (μέχρι την 12/9) τα φυτά που δέχονται τη ξηρή επέμβαση έχουν μικρότερο αριθμό φύλλων που πιθανότατα οφείλεται σε χαμηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης των φυτών λόγω υδατικής στέρησης, στη συνέχεια ο αριθμός φύλλων για όλες τις επεμβάσεις δε φαίνεται να διαφέρει σημαντικά, και αυτό οφείλεται σε ανταγωνισμό της ανάπτυξης των καρπών και της εξέλιξης των καταβολών των φύλλων στα φυτά που έχουν καρπούς (που στην προκειμένη περίπτωση είναι τα φυτά της υγρής επέμβασης), με αποτέλεσμα στα φυτά που δεν έχουν καρπούς (φυτά που δέχονται τη ξηρή επέμβαση) να ευνοείται η παραγωγή φύλλων. Η σκίαση δεν φαίνεται να έχει επίδραση στον αριθμό φύλλων ανά φυτό.

Επίδραση των παραγόντων στο ύψος φυτών

Όπως φαίνεται από την ανάλυση παραλλακτικότητας (πίνακας 5) για το ύψος, εμφανίζονται στατιστικώς διαφορές για την 3/10 και 12/10 (1% και 5% αντίστοιχα) ως προς την ένταση φωτός, με τα φυτά που σκιάζονται να παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές για το ύψος από αυτά που δε σκιάζονται.

Η επίδραση της σκίασης στο ύψος φυτών οφείλεται στο ότι, η μειωμένη φωτοσύνθεση που προκαλείται λόγω χαμηλής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, έχει σαν αποτέλεσμα το διαθέσιμο N να αξιοποιείται για την αύξηση κυρίως του κορυφαίου μεριστώματος. Είναι γνωστό ότι το χειμώνα σε θερμοκήπια, λόγω χαμηλής έντασης φωτισμού, παράγονται φυτά με ψηλό στέλεχος. Πρακτική σημασία των παραπάνω είναι ότι σε συνθήκες μειωμένου φωτισμού π.χ το χειμώνα σε θερμοκήπια, η αζωτούχος λίπανση πρέπει να είναι περιορισμένη.

Ως προς την άρδευση, δεν εμφανίζονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές για το ύψος, αν και υπάρχει τάση, όπως φαίνεται στο σχήμα 3, τα φυτά της υγρής επέμβασης να παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης του ύψους σε σχέση με τα φυτά της ξηρής επέμβασης μέχρι την 26/9, και αυτό οφείλεται στη διόγκωση των κυττάρων των φυτών που ποτίζονται κανονικά.

Η αλληλεπίδραση των παραγόντων δεν προκύπτει στατιστικώς σημαντική. Ο συνδιασμός όμως υγρής επέμβασης και σκίασης φαίνεται να προκαλεί τις μεγαλύτερες τιμές για το ύψος σε όλες τις ημερομηνίες μέτρησής του, ενώ ο συνδιασμός ξηρής επέμβασης και απουσίας σκίασης τις χαμηλότερες.

Επίδραση των παραγόντων στη διάμετρο βλαστού

Σχετικά με τη διάμετρο, όπως προκύπτει από το σχήμα 4, ο ρυθμός αύξησης της διαμέτρου είναι πιο έντονος για τα φυτά που δέχονται την υγρή επέμβαση.

Από την ανάλυση παραλλακτικότητας προκύπτουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (5%) ως προς την άρδευση, με τα φυτά που αρδεύονται κανονικά να

παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάμετρο. Αυτό οφείλεται στη διόγκωση των κυττάρων λόγω σπαργής.

Αν και δεν προκύπτουν σημαντικές διαφορές σχετικά με την επίδραση της σκίασης, τα φυτά που σκιάζονται έχουν μεγαλύτερη διάμετρο και αυτό οφείλεται στην μειωμένη διαπνοή που προκαλεί η σκίαση. Η αλληλεπίδραση παραγόντων δεν είναι σημαντική για τη διάμετρο βλαστού.

Επίδραση των παραγόντων στην παραγωγή ανθέων και καρπών

Τα φυτά γενικά αντιδρούν στην έλλειψη νερού, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκονται. Αν και υδατική στέρηση στο βλαστικό στάδιο περιορίζει τη βλαστική ανάπτυξη όπως έχει ήδη αναφερθεί, το αναπαραγωγικό στάδιο είναι πιο ευαίσθητο. Ειδικά για το πεπόνι, το κριτικό στάδιο είναι κατά την άνθηση και ωρίμανση των καρπών, καθώς, υδατική στέρηση κατά τη διάρκεια της άνθησης και του σχηματισμού των καρπών συνήθως προκαλεί περιορισμένο σχηματισμό καρπών, ενώ μπορεί να προκαλέσει ακόμα και πτώση καρπών (Rijon, 1975).

Η ευαισθησία του πεποنيού στην υδατική στέρηση κατά το αναπαραγωγικό στάδιο φάνηκε ξεκάθαρα. Μερικά από τα αρσενικά άνθη ξηραίνονταν και έπεφταν, ενώ όλα τα θηλυκά ξηραίνονταν πολύ πριν το φυτό παρουσιάσει συμπτώματα έλλειψης νερού. Ας σημειωθεί εδώ ότι η πτώση των θηλυκών ανθέων συνέβαινε όταν χρειαζόταν 42% περίπου νερό για να έρθει το φυτό στην υδατοϊκανότητα, όταν τα σημεία μάρανσης τις πρωινές ώρες εμφανίζονταν στα 63%. Εκτός όμως από τα άνθη, ευαίσθητοι είναι και οι νεαροί καρποί, αφού, παρόλο που διεκόπη το στρες για κάποια περίοδο, με την επαναφορά του αυτοί έπεσαν. Αυτοί είναι και οι λόγοι που τα φυτά της μεταχείρισης Στρες δεν έδωσαν καρπούς, εκτός από μόνο ένα, που γονιμοποιήθηκε πάρα πολύ νωρίς, και πριν ακόμη επιβληθεί το στρες νερού, είχε αποκτήσει ικανοποιητικό μέγεθος για να το ξεπεράσει.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να προκαλέσει πτώση ανθέων και καρπών είναι οι υψηλές θερμοκρασίες. Πράγματι, κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των φυτών επικρατούσαν υψηλές θερμοκρασίες (Αύγουστος, Σεπτέμβριος), όμως τελικά, το γεγονός ότι πτώση ανθέων και καρπών δεν εμφανίστηκε στα φυτά που δέχονταν την υγρή επέμβαση, μας επιτρέπει να αποδώσουμε στην υδατική στέρηση αυτό το φαινόμενο.

Η εξέλιξη των καταβολών των θηλυκών ανθέων δεν παρουσιάζει πρόβλημα, όπως φαίνεται στον πίνακα 6, αφού η παραγωγή θηλυκών ανθέων των φυτών που δέχονταν τη ξηρή επέμβαση (και που δεν έδωσαν καρπούς) είναι ικανοποιητική και μάλιστα, για τις συγκεκριμένες ημερομηνίες, μεγαλύτερη σε σχέση με τα φυτά που έχουν ικανοποιητική υγρασία (και παρήγαγαν καρπούς). Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται σε ανταγωνισμό ανάπτυξης των καρπών και εξέλιξης των ανθικών καταβολών.

Από το μοναδικό καρπό που παρήγαγαν τα φυτά της ξηρής επέμβασης, διαπιστώνεται η τάση να παράγουν μικρού μεγέθους καρπούς αλλά υψηλών διαλυτών στερεών, το οποίο οφείλεται στη διάλυσή τους σε μικρότερη ποσότητα νερού.

Σε πείραμα που έγινε στον αγρό (Lester, Oebker, Coons, 1994), μελετήθηκε η επίδραση άρδευσης παρεχόμενης 4 ημέρες πριν τη συγκομιδή (όλα τα φυτά έχουν

ποτιστεί 8 μέρες πριν τη συγκομιδή) στην ποιότητα των παραγομένων καρπών φυτών πεπτονίου Magnum 45. Όταν έγινε παροχή νερού 4 ημέρες πριν τη συγκομιδή, παρήχθησαν καρποί με σημαντικά χαμηλότερα διαλυτά στερεά, μεγαλύτερο όγκο και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με αυτά που δεν ποτίστηκαν για 8 ημέρες πριν τη συγκομιδή .

Παρόλο των διαφορών μεταξύ των δύο περιπτώσεων, (το πείραμα των Lester, Oebker και Coons γίνεται στον αγρό και πρόκειται για σύγκριση μεταξύ δύο επιπέδων άρδευσης, εκ' των οποίων το ένα δεν είναι απαραίτητα υδατική στέρση αλλά μικρότερη παροχή νερού), τα αποτελέσματα φαίνεται να συμπίπτουν.

Η εξήγηση που δίνεται είναι η εξής :

Όταν το έδαφος είναι κορεσμένο προκαλείται ανοξία στις ρίζες. Εξαιτίας αυτού, επιβραδύνεται η δραστηριότητα των μεμβρανών των ριζών και η πρόσληψη νερού, έτσι ώστε να εγκαθίσταται υδατική στέρση στο φυτό (Jackson and Drew, 1984). Η υδατική στέρση έχει σαν συνέπεια κλείσιμο των στομάτων, μείωση της φωτοσύνθεσης και μειωμένη διακίνηση σακχάρων στους καρπούς (Kozłowski and Pallardy, 1984). Φαίνεται ότι άρδευση του εδάφους ώστε να φτάσει στην υδατοϊκανότητα αναστέλλει προσωρινά τη δραστηριότητα των μεμβρανών των ριζών, και αυτό εκφράζεται ως μειωμένη μεταφορά υδατανθράκων στους καρπούς.

Σημαντική φαίνεται να είναι η επίδραση της σκίασης στο βάρος καρπών καθώς και στην περιεκτικότητά τους σε διαλυμένα στερεά. Η υψηλή ηλιακή ακτινοβολία παράγει περισσότερους καρπούς με μεγαλύτερα βάρη, καθώς επίσης και περισσότερους καρπούς με υψηλά ποσοστά σακχάρων. Αυτό οφείλεται στο ότι, η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία με απουσία σκίασης προκαλεί αυξημένη φωτοσύνθεση, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται περισσότεροι υδατάνθρακες και να αποθηκεύονται στο φυτό.

Κάτι ανάλογο βρέθηκε σε πείραμα σε πεπόνι θερμοκηπίου (Sin, Jeong, Yoo, 1994), όπου μελετήθηκε η επίδραση τριών εντάσεων ηλιακής ακτινοβολίας. Οι εντάσεις φωτός ήταν, ολική ηλιακή ακτινοβολία, 1/2 και 1/3 ηλιακής ακτινοβολίας. Βρέθηκε ότι το βάρος των καρπών έτεινε να είναι μεγαλύτερο κάτω από υψηλή ένταση φωτός .

Επίδραση των παραγόντων στο ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων

Σχετικά με το ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων, οι πολύ μικρές τιμές για το R^2 (0,076 και 0,181 αντίστοιχα) δεν επιτρέπουν την εξαγωγή αξιόπιστου συμπεράσματος. Η μικρή τιμή για το R^2 οφείλεται στην προσβολή των φυτών από ασθένειες, των οποίων η αντιμετώπιση δεν κατέστη δυνατή.

Αναφέρεται ότι υδατική στέρση μπορεί να μειώσει τη φωτοσύνθεση με μείωση της φυλλικής επιφάνειας και με κλείσιμο των στομάτων. Η μεγαλύτερη μείωση της φωτοσύνθεσης από της αναπνοής είναι αρκετή να μειώσει το απόθεμα υδατανθράκων. Στην τομάτα έχει παρατηρηθεί ότι, φυτά που εκτίθενται συχνά σε έντονη υδατική στέρση που προκαλεί κλείσιμο των στομάτων, υποφέρουν από ανεπάρκεια υδατανθράκων. Σύμφωνα με τα παραπάνω, αναμένεται μείωση του ξηρού βάρους των φυτών εξαιτίας της υδατικής στέρσης.

Αντίθετα, η υψηλή ηλιακή ακτινοβολία αναμένεται να αυξάνει το ξηρό βάρος των φυτών, λόγω της αποθήκευσης περισσότερων υδατανθράκων.

Επίδραση των παραγόντων στην περιεκτικότητα σε N, P, K των φύλλων και των μίσχων των φυτών

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5, τα φυτά που έχουν υποβληθεί σε υδατική στέρση έχουν μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε N, P και K στα φύλλα. Για όλες τις μεταχειρίσεις, η περιεκτικότητα σε N και P είναι μεγαλύτερη στα φύλλα παρά τους μίσχους εκτός από το K, όπου μεγαλύτερη περιεκτικότητα συναντάται στους μίσχους.

Οι μικρότερες συγκεντρώσεις των στοιχείων στα φυτά που ποτίζονταν κανονικά σε σχέση με αυτά που υποβλήθηκαν σε υδατική στέρση οφείλονται στην επίδραση αραιώσεως (dilution effect), ενώ η μικρότερη περιεκτικότητα των φύλλων σε K πιθανότατα οφείλεται στο ότι η διάχυση του K είναι περιορισμένη σε ξηρά εδάφη επειδή δεσμεύεται στα κολλοειδή του εδάφους. Παρόλο αυτά, στους μίσχους ισχύει το αντίθετο σχετικά με το K, όμως η ανάλυση μίσχων δεν ενδείκνυται ως αντιπροσωπευτική της θρεπτικής κατάστασης του συγκεκριμένου φυτού, όσον αφορά το K.

Αντίθετα με τα παραπάνω, στην τομάτα η πρόσληψη N και P μειώθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια μάρανσης. Μετά από πότισμα αυξήθηκε η πρόσληψη των στοιχείων αυτών (Rijon, 1975). Η αιτία για τη διαφοροποίηση των δύο παραπάνω περιπτώσεων θα πρέπει να αναζητηθεί στην ιδιαιτερότητα του κάθε φυτού.

Αναφέρεται ότι, επειδή κίνηση σε μεγάλη απόσταση από τις ρίζες στους βλαστούς θρεπτικών στοιχείων συμβαίνει με τη διαπνοή, μείωση του ρυθμού μεταφοράς ιόντων μπορεί να οφείλεται σε μειωμένη διαπνοή (Kramer, 1972). Επειδή η σκίαση μειώνει τη διαπνοή, θα μπορούσε να προκαλέσει και μείωση των θρεπτικών στοιχείων στα φυτά. Στο πείραμά μας, η χαμηλή ένταση φωτός δεν φαίνεται να επηρεάζει την συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα και στους μίσχους.

Αναφορές σε σχετικά πειράματα γενικά

Σε πείραμα που έγινε στην τομάτα (Mc Giffen, Masiunas, Huck, 1994) όπου τα φυτά εκτέθηκαν σε τρία επίπεδα άρδευσης, καθημερινά, ανά εβδομάδα και ανά δεκαπενθήμερο, βρέθηκε ότι έλλειψη νερού προκάλεσε αντίστοιχα μείωση στο ύψος και τη φυλλική επιφάνεια των φυτών. Υπήρξε πάνω από 50% μείωση στο ύψος όταν τα φυτά ποτίζονταν κάθε 15 ημέρες σε σύγκριση με αυτά που ποτίζονταν καθημερινά.

Στέρση νερού σε φυτά τομάτας για 7 ημέρες μείωσε τη φυλλική επιφάνεια, ενώ παράταση της στέρσης για άλλες 3 ημέρες προκάλεσε πιο έντονα συμπτώματα καθώς η φυλλική επιφάνεια μειώθηκε έως και 71% σε σχέση με φυτά τα οποία δεν υποβλήθηκαν σε υδατική στέρση (Thakur, 1994).

Αν και πρόκειται για διαφορετικό φυτό, τα αποτελέσματα των πειραμάτων στην τομάτα συμφωνούν απόλυτα με του συγκεκριμένου πειράματος.

Σε πείραμα που έγινε στην Ιντιάνα για δύο χρόνια (1983-84), μελετήθηκε η επίδραση της στάγδην άρδευσης σε σχέση με καθόλου άρδευση σε πεπόνι στον αγρό (Bhella, 1985). Εκεί βρέθηκε ότι τα φυτά που ποτίζονταν με στάγδην άρδευση διέφεραν σημαντικά από τα φυτά που δεν ποτίζονταν, έχοντας μεγαλύτερη διάμετρο βλαστού, φυλλική επιφάνεια και ύψος. Παρόλο των διαφορών (το πείραμα αυτό διεξήχθη στον αγρό, δεν εφαρμόστηκε απαραίτητα υδατική στέρση), τα παραπάνω αποτελέσματα συμπίπτουν με του συγκεκριμένου πείραματος. Επίσης βρέθηκε ότι οι συγκεντρώσεις των N, P, K στους μίσχους δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ των δύο επιπέδων άρδευσης.

Σε πείραμα σε πεπόνι θερμοκηπίου (Masui, Ishida, 1974), τα φυτά αναπτύχθηκαν κάτω από δύο εντάσεις φωτός, 70% ημερήσιο φως και 100% ημερήσιο φως στο θερμοκήπιο. Το ύψος των φυτών και το βάρος των καρπών ήταν λίγο μεγαλύτερα στο 70% από το 100%. Δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στο ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων και στα διαλυτά στερεά των καρπών μεταξύ των δύο εντάσεων. Επίσης δεν βρέθηκαν διαφορές ως προς την περιεκτικότητα στα στοιχεία N,P,K στα φύλλα μεταξύ των δύο εντάσεων.

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πειράματος σχετικά με το ύψος φυτών συμφωνούν με του παρόντος, όχι όμως για το βάρος και τα διαλυτά στερεά των καρπών. Οι διαφορές που παρουσιάζονται πιθανότατα οφείλονται στο ότι, στο πείραμα των Mashui και Ishida η ένταση φωτός κάτω από τη σκίαση δεν ήταν τόσο μειωμένη, όσο του παρόντος πειράματος.

Τέλος, σε φυτά πιπεριάς (Jung, Ito, Maruo, 1995), εφαρμόστηκε σκίαση 50% ολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Το μήκος του στελέχους αυξήθηκε σημαντικά κάτω από συνθήκες σκίασης. Επίσης, η σκίαση προκάλεσε αύξηση του ξηρού βάρους βλαστών και φύλλων καθώς και της φυλλικής επιφάνειας. Παρόλο που πρόκειται για διαφορετικό φυτό, τα αποτελέσματα συμπίπτουν.

Τελικά συμπεράσματα

Η πιο χαρακτηριστική αντίδραση των φυτών στην υδατική στέρση είναι η πτώση των θηλυκών ανθέων και των νεαρών καρπών. Η παραγωγή ανθέων δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες έλλειψης νερού. Σε περίπτωση όμως που παραχθούν καρποί κάτω από τις εν λόγω συνθήκες, αυτοί αναμένεται να έχουν μικρότερο μέγεθος και αυξημένα διαλυτά στερεά.

Η σκίαση (η αναφορά γίνεται για τη συγκεκριμένη ένταση φωτός που μελετήθηκε) έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής και της ποιότητας των καρπών, καθώς παράγονται καρποί με μικρότερο βάρος και λιγότερα διαλυτά στερεά.

Η σκίαση και η κανονική άρδευση τείνουν να δώσουν την μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια, ύψος στελέχους και διάμετρο βλαστού σε σχέση με ολική ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο και υποβολή υδατικής στέρσης. Η υδατική στέρση φαίνεται να προκαλεί μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης των καταβολών των φύλλων.

Το ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων δεν μπορεί να εκτιμηθεί με αξιοπιστία στο συγκεκριμένο πείραμα λόγω της μικρής τιμής του R^2 στην ανάλυση παραλλακτικότητας.

Τέλος, η περιεκτικότητα σε N, P στους μίσχους και τα φύλλα καθώς και του K στους μίσχους είναι μεγαλύτερη στα φυτά που έχει επιβληθεί υδατική στέρωση αλλά όχι και του K στα φύλλα.

Η σκίαση δε φαίνεται να επηρεάζει την περιεκτικότητα των φυτικών μερών σε N, P και K.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allan Baille. (1988). - Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά τη θερινή περίοδο. Σεμινάριο ΑΓΡΟ-ΣΠΕΚ. (p. 25-31).
- Bhella. H.S. (1985). - Muskmelon growth, yield and nutrition as influenced by planting method and trickle irrigation. J. Amer. Soc. Sci. 110(6):793-796.
- Γραφαδιέλλης Μ. (1987). - Σύγχρονα θερμοκήπια. (σελ. 73-75, 129-138, 164, 171-172, 265-267).
- Ευσταθιάδης Θ. (1987). - Θερμοκήπια: στοιχεία κατασκευής και λειτουργίας. (σελ. 70-71).
- Jung H. B.; Ito T.; Maruo T.(1995). - Effects of shading and $\text{NO}_3 : \text{NH}_4$ ratios in the nutrient solution on the growth and yield of pepper plants in nutrient film technique culture. Horticultural abstracts, Vol 65, No 3, 2156 (p. 273)
- Καρατάγλης Σ. (1990). - Φυσιολογία φυτού. (σελ. 46,52).
- Κίππας Κ. (1993). - Γεωργικές κατασκευές & έλεγχος περιβάλλοντος μονάδων φυτικής παραγωγής. (σελ. 13-14).
- Kramer Paul J. (1972). - Water relations of plants. (p. 25-31).
- Lester Gene E., Oebker Norman F., Janice Coons. (1994). - Preharvest furrow and drip irrigation schedule effects on postharvest muskmelon quality. Postharvest biology and technology 4(p. 57-63).
- Masao Masui and Akira Ishida. (1974). - Studies on the manganese excess of muskmelon. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 43(2) (p.132-138).
- Μαυρογιαννόπουλος Γ. (1990) - Θερμοκήπια (περιβάλλον, υλικά, κατασκευή εξοπλισμός). (σελ. 56).
- Mc Giffen M. E.; Masiunas J.B.; Huck M. G.(1994) - Tomato and nightshade effect on soil water content. Horticultural abstracts, Vol 64, No 10, 7966, (p. 1057).
- Ocamura N.K.; Kurata K.; Takamura T.; Yang J.V. (1994) - Detecting water stress in muskmelon plants by machine vision. Horticultural abstracts, Vol 64, No 8, 6660, (p. 892).
- Παπαζαφειρίου Ζ. (1984) - Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. (σελ. 103-119, 173-189).

- Chapter edited by R. M. Hagan from the manuscripts submitted by S. N. Rijov, R. J. Aston, C. M. H. Bavel as authors, and by P. C. Rahela as co-author with contributions by F. L. Milthorpe, H. H. Prasad and S. Di Prima and with the assistance of M. Ashkar. *Water, Plant Growth and Crop Irrigation Requirements*. (1975) (p. 8-12).
- Sin G. Y.; Jeong C. S. ; Yoo K.C.; (1994) -Effects of temperature, light intensity and fruit setting position on sugar accumulation and fermentation in Oriental Melon. *Horticultural abstracts*, Vol 64, No 8, 6668 (p.893).
- Slayter R.O. (1985) -Plant water relationships. (p.186-193)
- Thacur P. S; Anju Thacur. (1994) -Influence of triacontanol and mixtalol during plant moisture stress in *Lycopersicon esculentum* cultivars. *Horticultural abstracts*, Vol 64, No 8, 6334, (p. 853).
- Φλόκας Α. (1990) -Στοιχεία μετεωρολογίας και κλιματολογίας (σελ. 78).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΝΕΥΡΟΥ
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΥΨΟΣ, ΤΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΒΛΑΣΤΟΥ ΚΑΙ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΝ 3/10
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΥΨΟΣ, ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΒΛΑΣΤΩΝ ΚΑΙ ΦΥΛΛΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΡΠΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟ

Regression Analysis - Multiplicative model: $y = ax^b$

Dependent variable: leafarea

Independent variable: length

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept*	-0.59532	0.0876661	-6.79077	.00000
Slope	2.23936	0.0345844	64.7506	.00000

* NOTE: The Intercept is equal to Log a.

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	128.0918	1	128.0918	4192.645	.00000
Error	5.43818	178	.03055		
Total (Corr.)	133.52996	179			

Correlation Coefficient = 0.979425

R-squared = 95.93 percent

Std. Error of Est. = 0.17479

Date: 11-MAY-95
 Time: 14:06:12
 File: HD-20MB:analisi on 3/10
 has 5 variables and 8 cases.

OBS	IRRIGATI	SHADE	HEIGHT	STEMDIAM	LEAFAREA
1	1.000	1.000	288.000	1.500	4978.400
2	1.000	1.000	286.000	1.550	4943.527
3	1.000	2.000	233.000	1.100	3390.750
4	1.000	2.000	260.000	1.420	4250.650
5	2.000	1.000	290.000	1.200	3870.410
6	2.000	1.000	266.000	1.170	3824.850
7	2.000	2.000	218.000	1.120	3470.510
8	2.000	2.000	236.000	1.200	4126.770

8 cases printed out of 8 cases in the file.

DEP VAR: HEIGHT N: 8 MULTIPLE R: 0.922 SQUARED MULTIPLE R: 0.851

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
IRRIGATI	406.125	1	406.125	1.990	0.231
SHADE	4186.125	1	4186.125	20.508	0.011
IRRIGATI*SHADE	55.125	1	55.125	0.270	0.631
ERROR	816.500	4	204.125		

DEP VAR:STEMDIAM N: 8 MULTIPLE R: 0.866 SQUARED MULTIPLE R: 0.749

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
IRRIGATI	0.097	1	0.097	6.902	0.058
SHADE	0.042	1	0.042	2.998	0.158
IRRIGATI*					
SHADE	0.029	1	0.029	2.053	0.225
ERROR	0.056	4	0.014		

DEP VAR:LEAFAREA N: 8 MULTIPLE R: 0.877 SQUARED MULTIPLE R: 0.768

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
IRRIGATI	644559.200	1	644559.200	4.394	0.104
SHADE	707161.944	1	707161.944	4.821	0.093
IRRIGATI*					
SHADE	595438.926	1	595438.926	4.060	0.114
ERROR	586698.519	4	146674.630		

Date: 14-MAY-95
 Time: 14:42:56
 File: KATEPINA:MELONS IN GREENHOUSES
 has 5 variables and 20 cases.

OBS	IRRIGATI	SHADE	HEIGHT	STEMDRYW	LEAFDRYW
1	1.000	1.000	2.880	18.800	66.160
2	1.000	1.000	2.500	15.800	50.150
3	1.000	1.000	2.050	10.370	41.360
4	1.000	1.000	2.860	21.610	71.970
5	1.000	1.000	2.280	12.200	45.030
6	1.000	2.000	2.050	17.290	66.890
7	1.000	2.000	2.350	12.430	56.130
8	1.000	2.000	2.690	16.720	62.970
9	1.000	2.000	2.640	17.670	63.400
10	1.000	2.000	2.410	18.750	67.100
11	2.000	1.000	3.020	16.210	51.050
12	2.000	1.000	2.410	17.270	54.400
13	2.000	1.000	2.780	17.140	51.170
14	2.000	1.000	2.820	14.790	51.160
15	2.000	1.000	3.100	18.030	55.220
16	2.000	2.000	1.650	7.560	31.810
17	2.000	2.000	2.440	22.920	69.160
18	2.000	2.000	2.270	25.990	73.100
19	2.000	2.000	2.630	24.750	70.690
20	2.000	2.000	2.340	14.040	69.650

20 cases printed out of 20 cases in the file.

DEP VAR: HEIGHT N: 20 MULTIPLE R: 0.582 SQUARED MULTIPLE R: 0.339

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
IRRIGATI	0.028	1	0.028	0.277	0.606
SHADE	0.522	1	0.522	5.144	0.036
IRRIGATI*SHADE	0.281	1	0.281	2.770	0.116
ERROR	1.622	16	0.101		

DEP VAR:STEMDRYW N: 20 MULTIPLE R: 0.275 SQUARED MULTIPLE R: 0.076

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
IRRIGATI	14.552	1	14.552	0.633	0.438
SHADE	12.641	1	12.641	0.550	0.469
IRRIGATI*SHADE	2.995	1	2.995	0.130	0.723
ERROR	367.760	16	22.985		

DEP VAR:LEAFDRYW N: 20 MULTIPLE R: 0.425 SQUARED MULTIPLE R: 0.181

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
IRRIGATI	9.450	1	9.450	0.074	0.789
SHADE	434.592	1	434.592	3.420	0.083
IRRIGATI*SHADE	4.596	1	4.596	0.036	0.852
ERROR	2033.020	16	127.064		

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: REG.WEIGHT

Independent variable: REG.DIAMETRO

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	-2125.47	105.148	-20.2141	.00000
Slope	76.9378	2.55235	30.1415	.00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	3671264.3	1	3671264.3	909	.00000
Error	72737.414	18	4040.967		
Total (Corr.)	3744001.3	19			

Correlation Coefficient = 0.990238
 Stand. Error of Est. = 63.5686

R-squared = 98.06 percent

