

Θερμοκηπιακή καλλιέργεια μαρουλιού με εφαρμογή υδρολίπανσης



Πετούμενος Κωνσταντίνος

Άρτα 2016

Εκπαιδευτικό ίδρυμα:	Τ.Ε.Ι. Ηπείρου
Τμήμα:	Τεχνολόγων Γεωπόνων
Τίτλος:	Θερμοκηπιακή καλλιέργεια μαρουλιού με εφαρμογή υδρολίπανσης
Σπουδάστριες:	Πετούμενος Κωνσταντίνος
ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ:	ΤΣΙΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Μέλη της επιτροπής:	ΒΑΡΡΑΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ, Αν. Καθηγητής ΠΑΤΑΚΙΟΥΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Αν. Καθηγητής
Τόπος:	ΑΡΤΑ
Έτος:	2016

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Ιωάννη Τσιρογιάννη και όλους όσους με βοήθησαν, με οποιοδήποτε τρόπο, κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Εικόνα εξωφύλλου:

Φύλλο μαρουλιού



© Αυτή η εργασία χορηγείται με άδεια Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση 4.0 Διεθνές ([CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)) και είναι διαθέσιμη δωρεάν στο διαδίκτυο σε οποιονδήποτε.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	6
Υδρολίπανση.....	7
Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα υδρολίπανσης	7
Πλεονεκτήματα υδρολίπανσης	7
Μειονεκτήματα υδρολίπανσης	8
Μέθοδοι υδρολίπανσης	9
Υδρολίπανση με διαφορική πίεση	11
Ο υδρολιπαντήρας.....	11
Υδρολίπανση με άντληση	13
Αντλίες Τύπου Venturi.....	13
Υδρολίπανση και λιπάσματα	15
Αζωτούχος υδρολίπανση	15
Φωσφορική υδρολίπανση.....	17
Γενική αναφορά σχετικά με τις μεθόδους διαχείρισης άρδευσης στο θερμοκήπιο	18
Τρόποι ρύθμισης της άρδευσης	22
Υλικά και μέθοδοι (περιγραφή του θερμοκηπίου και του εξοπλισμού που σχετίζεται με το πείραμα, της καλλιέργειας και των συστημάτων μέτρησης των παραμέτρων που εξετάζονται).....	23
Το θερμοκήπιο.....	23
Σύστημα κεντρικού ελέγχου με Η/Υ	25
Η καλλιέργεια	26
Υπόστρωμα	29
Σύστημα και πρόγραμμα άρδευσης.....	30
Προσέγγιση κατάρτισης προγράμματος άρδευσης που χρησιμοποιήθηκε.....	31
Προγράμματα άρδευσης που εφαρμόστηκαν	33
Θρεπτικό διάλυμα	33
Όργανα μέτρησης και μετρήσεις.....	36
Καταγραφή δεδομένων AUTONET	36
Καταγραφή υγρασίας υποστρώματος.....	36
Καταγραφή ανάπτυξης όγκου	38

Ανάλυση δεδομένων και παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	39
Συμπεράσματα.....	44
Βιβλιογραφία	45
Παράρτημα Ι – MarouliBest.....	47

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά υποστρώματος	29
Πίνακας 2 Ρυθμίσεις προγραμματιστή που εφαρμόστηκαν (ημέρα 0 η 17/3/2016)	33
Πίνακας 3 Θρεπτικό διάλυμα υδρολίπανσης.....	34
Πίνακας 4 Υγρασία και ρυθμός ανάπτυξης όγκου	43

Κατάλογος εικόνων (εικόνες, διαγράμματα κοκ)

Εικόνα 1 Βασικά εξαρτήματα κεφαλής συστήματος υδρολίπανσης	11
Εικόνα 2 Συνδεσμολογία λιπαντήρα.....	12
Εικόνα 3 Ημερήσια διακύμανση μετεωρολογικών παραμέτρων και εξατμισοδιαπνοής σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια πιπεριάς (Τσιρογιάννης, 2007)	20
Εικόνα 4 Τομή φύλλου (Καράταγλης, 1992)	20
Εικόνα 5 Γενική άποψη του θερμοκηπίου από ΝΔ	23
Εικόνα 6 Σκαρίφημα της θέσης του πειράματος εντός του θερμοκηπίου	24
Εικόνα 7 Άποψη του εσωτερικού του θερμοκηπίου.....	24
Εικόνα 8 Η μηχανή υδρολίπανσης.....	25
Εικόνα 8 Σύστημα ελέγχου παρασκευής και διανομής θρεπτικών διαλυμάτων	25
Εικόνα 9 Ο κεντρικός υπολογιστής ελέγχου όλων των συστημάτων	26
Εικόνα 10 Εξαρτήματα αυτορυθμιζόμενου σταλάκτη υδροπονίας.....	30
Εικόνα 11 Τριγωνικό διάγραμμα για την μηχανική σύσταση του εδάφους (με κύκλο σημειώνεται η θέση που αντιστοιχεί στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε).....	31
Εικόνα 13 Οθόνη προγραμματισμού άρδευσης στο γυάλινο θερμοκήπιο υδροπονίας ΑΑΤ.....	31
Εικόνα 14 Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα	36
Εικόνα 15 ML2 ThetaProbe.....	37
Εικόνα 16 Μέτρηση υγρασίας υποστρώματος με το ΔΤ ThetaProbe	37
Εικόνα 17 Μοντέλο που επιλέχθηκε για την προσομοίωση του μαρουλιού	38
Εικόνα 18 Μετρήσεις ανάπτυξης	38
Εικόνα 19 Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας εντός και εκτός του θερμοκηπίου	40
Εικόνα 20 Μεταβολή της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας εκτός του θερμοκηπίου ...	41
Εικόνα 21 Ρυθμίσεις άρδευσης, αρδεύσεις και υγρασία υποστρώματος.....	42
Εικόνα 22 Ανάπτυξη όγκου μαρουλιών.....	43

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια Η υδρολίπανση αποτελεί μία πρακτική που επεκτείνεται συνεχώς στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες.

Στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας έγινε αναφορά στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες λαχανικών, σε χώμα, με εφαρμογή συστήματος υδρολίπανσης.

Έγινε καλλιέργεια στο γυάλινο θερμοκήπιο υδροπονίας AAT η οποία αφορούσε μαρούλι (*Lactuca sativa*) με σκοπό την μελέτη της ανάπτυξης λαχανικών σε οικιακό περιβάλλον (κήποι κουζίνας) σε δοχεία φύτευσης. Έγινε φύτευση σε γλάστρες των 6L οι οποίες περιείχαν χώμα.

Καταγράφηκαν οι συνθήκες εναέριου περιβάλλοντος εντός του θερμοκηπίου, οι αρδεύσεις, η υγρασία υποστρώματος και η ανάπτυξη των φυτών.

Με βάση αυτά θα εξήγησαν συμπεράσματα σχετικά με τη σχέση του ρυθμού ανάπτυξης με την υδατική κατάσταση στο περιβάλλον της ρίζας.

Υδρολίπανση

Οι βασικές πληροφορίες για την υδρολίπανση που αναφέρονται στη συνέχεια, προέρχονται κατά βάση από το βιβλίο «Συστήματα αυτόματης άρδευσης άρδευση με σταγόνες» (Μιχελάκης, 1988).

Η εφαρμογή των λιπαντικών στοιχείων μέσω του δικτύου άρδευσης με διάχυση τους μέσα στο νερό ονομάζεται υδρολίπανση (fertigation). Κατά την υδρολίπανση τα χρησιμοποιούμενα λιπάσματα εντάσσονται σε προγράμματα ολοκληρωμένης θρέψης και προδιαλύονται σ' ένα δοχείο, σε πυκνό διάλυμα (θρεπτικό), κατά τη παρασκευή του οποίου, δεν πρέπει να υπερβαίνουμε τα όρια διαλυτότητας των διαλυμένων λιπασμάτων, στη συγκεκριμένη θερμοκρασία νερού άρδευσης. Από το δοχείο το θρεπτικό διάλυμα διοχετεύεται στο δίκτυο άρδευσης, με αποτέλεσμα να αραιώνεται. Η αραιώση είναι τέτοια, ώστε το τελικό θρεπτικό διάλυμα που φτάνει στα φυτά να περιέχει τα θρεπτικά στοιχεία στη συνιστώμενη συγκέντρωση και μεταξύ τους αναλογία, ανάλογα με το είδος τους και το στάδιο ανάπτυξης τους. Ανάλογα με τις ανάγκες του φυτού, την πυκνότητα φύτευσης, τις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται όταν παίρνουμε την προσδοκώμενη παραγωγή και την επάρκεια του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά βρίσκουμε τις ανάγκες προς χορήγηση λιπαντικών μονάδων ανά στρέμμα. Μπορούμε να καταρτίσουμε έτσι ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα υδρολίπανσης, το οποίο θα μπορέσει να προσφέρει πλήρη θρέψη στο φυτό.

Το θρεπτικό διάλυμα πρέπει να διοχετεύεται όταν το δίκτυο έχει γεμίσει με νερό και σε όλα τα σημεία του η πίεση έχει αποκτήσει την τιμή της πίεσης λειτουργίας ώστε να ξεκινήσει η χορήγηση του ταυτόχρονα σε όλα τα φυτά. Μετά το τέλος της υδρολίπανσης πρέπει να συνεχίζεται η διοχέτευση καθαρού νερού, ώστε να ξεπλυθεί το δίκτυο.

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα υδρολίπανσης

Στην περίπτωση που η λίπανση δεν εφαρμόζεται μέσω του δικτύου άρδευσης, τα φυτά παίρνουν τα θρεπτικά τους στοιχεία από το έδαφος. Τα λιπάσματα που χορηγούνται σε στερεά μορφή στο έδαφος θα πρέπει να διαλυθούν πρώτα στο νερό άρδευσης που υπάρχει κοντά στις ρίζες και κατόπιν διαχέονται και φτάνουν στα φύλλα, όπου με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης μετατρέπονται σε δομικά στοιχεία του φυτού.

Πολλές φορές όμως τα λιπάσματα, για διάφορους λόγους (χαμηλή θερμοκρασία, χαμηλή υγρασία, ανταγωνισμός μεταξύ των στοιχείων, συσσωμάτωσης, απόπλυσης), δεν καταφέρνουν να απορροφηθούν από τα φυτά και το μόνο που καταφέρνουν να κάνουν είναι να αυξήσουν την αγωγιμότητα του περιβάλλοντος χώρου της ρίζας.

Η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων ελέγχεται με την τεχνική της υδρολίπανσης.

Πλεονεκτήματα υδρολίπανσης

Συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα που μπορούν να επιτευχθούν με την υδρολίπανση είναι τα παρακάτω:

1. Αυξημένη αποτελεσματικότητα της λίπανσης λόγω της εφαρμογής των λιπαντικών στοιχείων κατευθείαν και μόνο στις θέσεις που φθάνει το νερό και αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα. Η αξιοποίηση λοιπόν των λιπαντικών στοιχείων που φθάνει σε ποσοστό 80- 90% π.χ. στο άζωτο αποτελεί το βασικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου. Η αξιοποίηση αυτή αποδίδεται στο γεγονός ότι με την υδρολίπανση επιτυγχάνεται μια σταθερότητα ή έστω μια μικρή διακύμανση στα βασικά στοιχεία N, P, K στο έδαφος. Αυτό οφείλεται όχι μόνο στη συχνή επανάληψη των λιπάνσεων κάτι εύκολο μέσω του αρδευτικού νερού αλλά και στη σταθερότητα της αραιώσης και βέβαια στην εντοπισμένη χορήγηση του λιπάσματος στο ενεργό στρώμα της ρίζας του φυτού.
2. Δυνατότητα για υψηλή ομοιομορφία της διατομής των λιπασμάτων. Η ομοιομορφία αυτή φθάνει σε ποσοστό 90%-95% εφόσον βέβαια έχει γίνει σωστή μελέτη του αρδευτικού δικτύου. Δηλαδή σε μια γραμμική καλλιέργεια μεταξύ πρώτου και τελευταίου σταλάκτη μπορεί θεωρητικά να υπάρξει ένα 10%, το πολύ, ποσοστό ανομοιομορφίας.
3. Δυνατότητα εφαρμογής των λιπασμάτων στους κατάλληλους χρόνους ανάλογα με την καλλιέργεια και το στάδιο του βλαστικού κύκλου, ανεξάρτητα από την καταλληλότητα του εδάφους να δεχτεί μηχανήματα διανομής λιπασμάτων.
4. Η ανεξαρτητοποίηση, που αφορά είτε τα εργατικά χέρια είτε τη χρήση μηχανημάτων αποτελεί ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα. Παράλληλα σε περιπτώσεις δύσκολες (απότομα ή κεκλιμένα εδάφη), όπου η λίπανση με κλασικές μεθόδους είναι κουραστική, η υδρολίπανση εφαρμόζεται εύκολα.
5. Μειωμένο κόστος εργασίας και ενέργειας για την εκτέλεση της λίπανσης.
6. Το σημαντικά υψηλό οικονομικό αποτέλεσμα το οποίο και αποδίδεται αφενός στην καλύτερη εφαρμογή και αφετέρου στο πολύ χαμηλό λειτουργικό κόστος.

Μειονεκτήματα υδρολίπανσης

Μειονεκτήματα που σχετίζονται με την εφαρμογή της υδρολίπανσης:

1. Πιθανές εμφράξεις των διανεμητών από ιζήματα που μπορούν να σχηματιστούν αν δεν υπάρχει σωστός έλεγχος pH και των αλληλεπιδράσεων των λιπαντικών στοιχείων μεταξύ τους ή με τα στοιχεία που περιέχονται στο νερό. Εμφράξεις από άλγη ή βακτήρια που ευνοούνται από την παρουσία των λιπαντικών στοιχείων στο δίκτυο είναι επίσης πιθανές.
2. Η ποιότητα του νερού άρδευσης είναι ένα σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επιβαρύνει το δίκτυο. Νερά πλούσια σε άλατα δημιουργούν ιζήματα διαφόρων ενώσεων, κυρίως ασβεστίου, μαγνησίου, σιδήρου και αργιλίου, τα οποία παρουσιάζονται είτε κατά μήκος της διαδρομής της ροής του νερού είτε στους σταλάκτες και τους μικροεκτοξευτήρες. Τα προβλήματα τέτοιων ιζημάτων μπορούν να επιδεινωθούν στη συνέχεια, εάν χρησιμοποιήσουμε λάθος λιπάσματα, όπως για παράδειγμα αμμωνία.
3. Πιθανή μόλυνση του νερού της πηγής τροφοδοσίας του δικτύου με λιπάσματα αν δεν τοποθετηθούν σε σωστά σημεία βαλβίδες αντεπιστροφής.
4. Πιθανή διάβρωση διαφόρων μεταλλικών τμημάτων του δικτύου όπως για παράδειγμα αντλίες και φίλτρα από ορισμένα είδη λιπασμάτων.

Μειονεκτήματα που αφορούν γενικότερα θέματα θρέψης των φυτών και που είναι επιπτώσεις από την κακή χρήση της τεχνικής:

1. Παρουσιάζονται φαινόμενα ανταγωνιστικότητας μεταξύ των χορηγούμενων θρεπτικών στοιχείων σε περιπτώσεις ανισόρροπης λίπανσης δηλαδή άζωτο, φώσφορος, κάλιο (N-P-K) και ιχνοστοιχείων σε ανεξέλεγκτες ποσότητες και αναλογίες που δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας. Έτσι μπορεί να χορηγούμε ένα στοιχείο σε επαρκή ποσότητα και το φυτό να μην μπορεί να το προσλάβει και να δείχνει στοιχεία έλλειψης. Χορήγηση, για παράδειγμα μεγαλύτερης δόσης μαγνησίου, μπορεί να δημιουργήσει ανταγωνιστικότητα με το κάλιο.
2. Μείωση των αποδόσεων λόγω μειωμένης χορήγησης θρεπτικών στοιχείων ή ακόμα αύξηση της αλατότητας και εμφάνιση της φυτοτοξικότητας λόγω χορήγησης υπερβολικά πυκνών θρεπτικών διαλυμάτων.
3. Εμφανίζεται τοξικότητα μαγνησίου στα φυτά, σε ελαφρά, αμμώδη εδάφη, με τυχόν αδιαπέραστο στρώμα, σε όξινα και με μεγάλη περιεκτικότητα σε μαγγάνιο, όταν χορηγούνται θρεπτικά διαλύματα σε μεγάλη συγκέντρωση.
4. Προβλήματα τοξικότητας, σε περιπτώσεις χρήσης αρδευτικού νερού με υψηλό δείκτη αλατότητας, φαινόμενο συχνό σε παραλιακές ζώνες καλλιέργειας.
5. Υποβαθμίζεται η ποιότητα του συγκομιζόμενου καρπού, εξαιτίας του γεγονότος ότι υπάρχει έλλειψη κάποιου ή κάποιων στοιχείων και μείωση της αντοχής και διάρκειας ζωής της καλλιέργειας, λόγω υψηλής αλατότητας.

Μέθοδοι υδρολίπανσης

Τα θρεπτικά στοιχεία μπορούν να εισαχθούν μέσα στο νερό του δικτύου άρδευσης με διάφορες μεθόδους και μέσα. Οι παράγοντες που σε κάθε περίπτωση πρέπει να ληφθούν υπόψη για μια σωστή επιλογή της μεθόδου και των μέσων της υδρολίπανσης είναι:

1. Η έκταση, το είδος και η ευαισθησία στη λίπανση της φυτείας.
2. Τα είδη των λιπασμάτων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν, ο χρόνος και ο ρυθμός εφαρμογής τους, καθώς και οι διαβρωτικές τους ιδιότητες.
3. Οι συνθήκες του δικτύου άρδευσης και ειδικότερα η διαθεσιμότητα του σε πίεση και η ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος.

Μια μεγάλη ποικιλία από μέσα, αντλίες, βαλβίδες, χρονοδιακόπτες, προγραμματιστές, ντεπόζιτα, συσκευές Venturi, είναι σήμερα διαθέσιμα για την εκτέλεση της υδρολίπανσης. Οποσδήποτε πολλά από αυτά έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετούν την έγχυση στο δίκτυο και άλλων χημικών σκευασμάτων που προορίζονται για καθαρισμό δικτύου, φυτοπροστασία και ζιζανιοκτονία.

Βασικά οι μέθοδοι υδρολίπανσης ή γενικότερα οι μέθοδοι έγχυσης χημικών σκευασμάτων στο νερό των δικτύων τοπικής άρδευσης μπορούν να καταταχθούν από υδραυλικής πλευράς σε μεθόδους διαφορικής πίεσης και μεθόδους άντλησης. Ο βασικός μηχανισμός υδρολίπανσης της πρώτης μεθόδου είναι ο υδρολιπαντήρας

ενώ στην μέθοδο άντλησης είναι οι αντλίες τύπου Venturi και οι δοσομετρικές αντλίες.

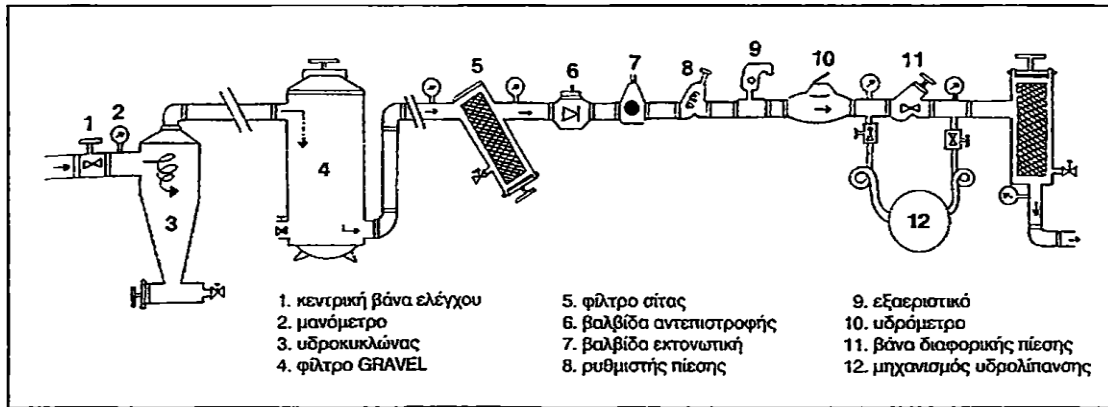
Οι μηχανισμοί διοχέτευσης των λιπασμάτων στο δίκτυο άρδευσης τοποθετούνται στην κεφαλή του δικτύου αποτελώντας μέρος του εξοπλισμού της. Συγκεκριμένα τοποθετούνται μετά την κεντρική βάνα ελέγχου και τον υδροκυκλώνα ή το διαχωριστή (separator), στην περίπτωση άντλησης νερού με άμμο (συνήθως από γεώτρηση) ή το φίλτρο χαλικιού (Gravel) ή δίσκων στην περίπτωση άντλησης νερού από ανοιχτή υδατοσυλλογή ποτάμι, δεξαμενή με άλγη (πρασινάδες). Επίσης, τοποθετούνται μετά την βαλβίδα αντεπιστροφής, την εκτονωτική βαλβίδα (αντιπληγματική), το ρυθμιστή πίεσης, το εξαεριστικό και το υδρόμετρο (απλό ή με ηλεκτρική έξοδο). Προηγούνται όμως του φίλτρου σήτας ώστε να συγκρατηθούν αδιάλυτα συστατικά. Εάν όμως, υπάρχει περίπτωση να διοχετευθούν στο δίκτυο, χημικά που θα διαβρώσουν το στοιχείο του φίλτρου (τη σήτα δηλαδή) συνίσταται η πρόβλεψη και δεύτερης εξόδου διοχέτευσης στον κεντρικό αγωγό του δικτύου, που θα χρησιμοποιείται μόνο στην παραπάνω περίπτωση.

Ανάλογα με το φορτίο ρύπων του νερού, φίλτρο σήτας χρειάζεται και πριν το μηχανισμό υδρολίπανσης για προστασία του. Απαραίτητη κρίνεται η τοποθέτηση της βαλβίδας αντεπιστροφής στον κεντρικό αγωγό πριν την σύνδεση του μηχανισμού υδρολίπανσης για να αποτραπεί οποιοδήποτε ενδεχόμενο ρύπανσης της πηγής άντλησης του νερού με λιπάσματα ή άλλα τυχόν χρησιμοποιούμενα χημικά. Επειδή μάλιστα υπάρχει πάντα πιθανότητα βλάβης της, δε συνιστάται εφαρμογή υδρολίπανσης αν η πηγή νερού είναι δίκτυο ύδρευσης. Επίσης, αφού οι περισσότεροι μηχανισμοί συνδέονται παράλληλα (by pass) με τον κεντρικό αγωγό του δικτύου άρδευσης, για σιγουριά καλό είναι να τοποθετήσουμε βαλβίδα αντεπιστροφής και στον σωλήνα εισόδου του νερού στο μηχανισμό υδρολίπανσης.

Τα μέσα που εμποδίζουν το νερό της πηγής τροφοδοσίας να μολυνθεί από τα λιπάσματα ή άλλα χρησιμοποιούμενα χημικά είναι:

- Η εκτονωτική βαλβίδα που θα εκτονώσει την πίεση, αποτρέποντας υδραυλικό πλήγμα, για παράδειγμα στην περίπτωση που μια βάνα ή ηλεκτροβάνα δεν ανοίξει, ενώ την ίδια στιγμή η αντλία θα παρέχει πρόσθετη πίεση
- Ο ρυθμιστής πίεσης, που ρυθμιζόμενος στην ανώτερη πίεση λειτουργίας του μηχανισμού υδρολίπανσης, τον προστατεύει από βλάβη σε περίπτωση μεγαλύτερης πίεσης.
- Το εξαεριστικό που εξαερώνει, αποτρέποντας είσοδο αέρα στο σωλήνα τροφοδοσίας με νερό του μηχανισμού υδρολίπανσης, που μπορεί να δημιουργήσει ανωμαλία στη λειτουργία του ή στο υδρόμετρο, που συνεπάγεται λάθος μέτρηση. Επίσης, αποφεύγονται φαινόμενα σπηλαιώσης και φθορά του δικτύου.
- Το υδρόμετρο που μας δίνει τη δυνατότητα ανά πάσα στιγμή να γνωρίζουμε τη διερχόμενη από τον κεντρικό αγωγό παροχή νερού.

Ευνόητο είναι ότι η διοχέτευση των λιπασμάτων πρέπει να γίνεται επί του κυρίου ή κεντρικού αγωγού πριν αυτός διακλαδιστεί σε δευτερεύοντες, εάν θέλουμε τα λιπάσματα να διανέμονται σε όλη την καλλιέργεια.

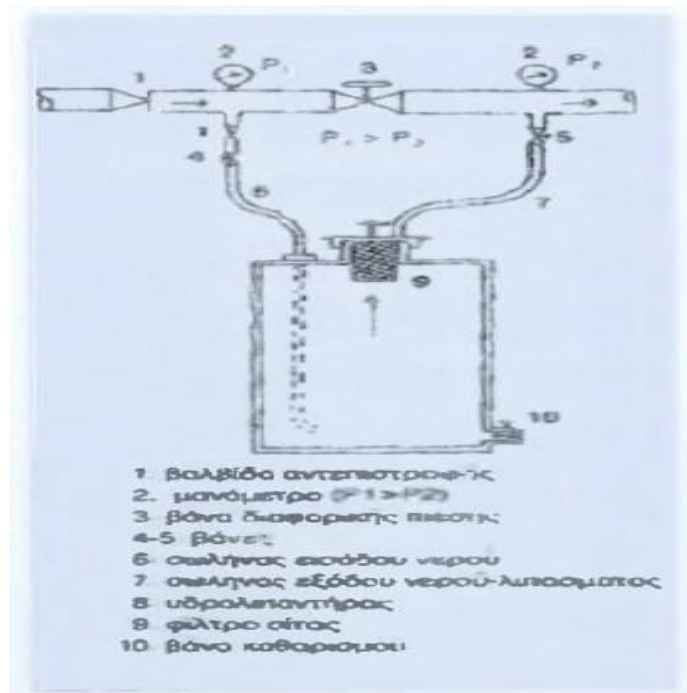


Εικόνα 1 Βασικά εξαρτήματα κεφαλής συστήματος υδρολίπανσης

Υδρολίπανση με διαφορική πίεση

Ο υδρολιπαντήρας

Ο υδρολιπαντήρας είναι ένα δοχείο ανθεκτικό στην πίεση και στην διάβρωση που κλείνει υδατοστεγώς και στο οποίο τοποθετούμε το θρεπτικό διάλυμα. Δύο πλαστικοί σωλήνες μήκους 1 -1,5 m τον συνδέουν παράλληλα (by pass) με τον κεντρικό αγωγό και μεταξύ των δύο σημείων σύνδεσης των πλαστικών σωλήνων στον κεντρικό αγωγό τοποθετείται μια βάνα. Στραγγαλίζοντας τη βάνα, δημιουργείται μια διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο σημείων σύνδεσης εξαναγκάζοντας έτσι μέρος της παροχής του δικτύου να εισέλθει μέσω του πρώτου σωλήνα (είσοδος) στον υδρολιπαντήρα και συμπαρασύροντας μέρος του θρεπτικού διαλύματος να επιστρέφει στον κεντρικό αγωγό από το δεύτερο σωλήνα (έξοδος).



Εικόνα 2 Συνδεσμολογία λιπαντήρα.

Ο υδρολιπαντήρας επίσης πρέπει να είναι βαμμένος εσωτερικά με βαφή ανθεκτική στη διάβρωση ή να είναι ανοξείδωτος. Απαραίτητο είναι να φέρει βάνα καθαρισμού στο δυνατό χαμηλότερο σημείο, ώστε να καθαρίζεται εύκολα, εξαιρειστήρα και εφόσον προορίζεται για χρήση στερεών λιπασμάτων να φέρει φίλτρο σήτας 160/180 mesh στο σημείο εξόδου του διαλύματος. Κατά την σύνδεσή του πρέπει να προβλέπεται βαλβίδα αντεπιστροφής στο σημείο τροφοδοσίας του, ώστε να αποφεύγεται η μόλυνση της πηγής του νερού με λιπάσματα. Η πίεση στα σημεία σύνδεσης των δύο πλαστικών σωλήνων μετράται με την τοποθέτηση σε αυτά δύο μανομέτρων κατά προτίμηση γλυκερίνης οπότε γνωρίζουμε και την προκαλούμενη απώλεια πίεσης.

Υδρολιπαντήρες κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη από 50 έως 250 L από ελληνικές βιοτεχνίες σε πολύ καλές ποιότητες.

Στην περίπτωση της διαφορικής πίεσης το υψηλό κόστος του δοχείου απαιτεί την εκλογή ενός οικονομικού μεγέθους το οποίο θα πρέπει να έχει χωρητικότητα τέτοια ώστε να καλύπτει τις ανάγκες μας για μια τουλάχιστον εφαρμογή. Η χωρητικότητα αυτή V δίνεται από την σχέση:

Εξίσωση 1

$$Y = \Psi \times A / E \times N$$

όπου:

Ψ είναι όλη η ποσότητα λιπάσματος που θα χορηγηθεί κατά την αρδευτική περίοδο σε kg στρέμμα^{-1}

A είναι η έκταση που αρδεύεται σε στρέμματα

E είναι το ειδικό βάρος του λιπάσματος, σε kg m^{-3}

N είναι ο αριθμός των αρδεύσεων κατά τις οποίες θα γίνει υδρολίπανση.

Η ποσότητα του λιπάσματος που κάθε στιγμή μεταφέρεται από τον υδρολιπαντήρα στο δίκτυο, είναι ανάλογη προς την συγκέντρωση του διαλύματος του λιπάσματος, την ίδια στιγμή στον λιπαντήρα. Η συγκέντρωση όμως αυτή συνεχώς μειώνεται κατά τη διάρκεια της υδρολίπανσης και μάλιστα όχι αναλογικά. Η πυκνότητα του θρεπτικού διαλύματος πέφτει πολύ γρήγορα στην αρχή και πιο αργά προς το τέλος της υδρολίπανσης. Πράγματι, η ποσότητα του λιπάσματος που περιέχεται στον υδρολιπαντήρα συνεχώς μειώνεται. Την ίδια στιγμή ο όγκος του διαλύματος, που ισούται με αυτόν του υδρολιπαντήρα και στον οποίο εισέρχεται συνεχώς νερό, παραμένει σταθερός. Συνεπώς κατά την διάρκεια της υδρολίπανσης, φθάνει στα φυτά όλο και αραιότερο τελικό διάλυμα. Το πρόβλημα αυτό είναι πιο σοβαρό σε κρίσιμες εφαρμογές υδρολίπανσης στα θερμοκήπια. Εάν μάλιστα η άρδευση γίνεται με τα λεγόμενα αυτοπροωθούμενα συστήματα (καρούλια με ράμπα ή κανόνι) τότε δεν δέχονται όλα τα φυτά την ίδια ποσότητα λιπάσματος (ανομοιομορφή λίπανση), αφού μετακινούμενο κατά τη διάρκεια της άρδευσης, το κανόνι ή η ράμπα χορηγεί όλο και αραιότερο διάλυμα. Το παραπάνω μειονέκτημα προσπάθησαν οι κατασκευαστές να άρουν με την τοποθέτηση ειδικής ελαστικής σακούλας - μανδύα

μέσα στον λιπαντήρα που περιείχε το θρεπτικό διάλυμα. Το νερό του δικτύου διοχετευόταν μεταξύ των τοιχωμάτων του λιπαντήρα και του μανδύα εξωθώντας το θρεπτικό διάλυμα έξω από τον μανδύα. Η λύση αυτή δεν επέφερε τα αναμενόμενα αποτελέσματα και σήμερα δεν εφαρμόζεται. Ένα από τα προβλήματα είναι ότι η μέθοδος απαιτεί στραγγαλισμό της ροής του νερού, που διέρχεται από τον κεντρικό αγωγό με την βάνα διαφορικής πίεσης με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερο μανομετρικό από το αντλητικό και απώλεια πίεσης, δηλαδή απώλεια ενέργειας. Επίσης, δυσχερής είναι ο έλεγχος της εξάντλησης του λιπάσματος στον υδρολιπαντήρα κατά την διάρκεια της υδρολίπανσης, γιατί η οπτική παρατήρηση απαιτεί διακοπή της λίπανσης.

Υδρολίπανση με άντληση

Αντλίες Τύπου Venturi

Οι αντλίες τύπου Venturi είναι απλές κατασκευές οι οποίες με βάση την αρχή Venturi προκαλούν μια σημαντική πτώση της πίεσης σε μια απότομη στένωση ενός αγωγού τέτοια ώστε η πίεση εισόδου P_1 να μειωθεί σε μια πίεση P_2 η οποία να είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική P_0 . Τότε λόγω της διαφοράς πίεσης P_0-P_2 το λιπαντικό διάλυμα εισάγεται αναρροφούμενο στο δίκτυο. Ο ρυθμός εισαγωγής του διαλύματος αυξάνεται βασικά με την αύξηση της διαφοράς πίεσης P_0-P_2 ή με την μείωση της P_2 , αφού η ατμοσφαιρική πίεση P_0 παραμένει σταθερή. Η πίεση όμως P_2 εξαρτάται από την πίεση P_1 , την παροχή Q και τα μεγέθη των διαμέτρων D_1 και D_2 και δίνεται από την σχέση:

Εξίσωση 2

$$P_2 = P_1 - Q^2 / CK (D_1^2 - D_2^2 / D_1 \times D_2)$$

όπου:

D_1 είναι η διάμετρος του αγωγού στο σημείο εισόδου της αντλίας (cm)

D_2 είναι η διάμετρος στο σημείο της στένωσης (cm)

P_1 είναι η πίεση εισόδου (kPa ή cbars)

P_2 είναι η πίεση στο σημείο της στένωσης (kPa ή cbars)

Q είναι η παροχή του αγωγού σε ($L \text{ min}^{-1}$)

K είναι ο συντελεστής μονάδων ίσος προς 6,66

C είναι ο συντελεστής ροής που για $Re > 2 \times 10^5$ είναι ίσος προς 0,98.

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι για μια μικρή πίεση P_2 απαιτείται να υπάρξει μια μεγάλη κατά το δυνατό παροχή Q μέσα από τον αγωγό. Στην πράξη αύξηση της παροχής Q επιτυγχάνεται με αύξηση της διαφοράς πίεσης P_1-P_3 , όπου P_1 η πίεση στο σημείο εξόδου του εγχυτήρα. Η διαφορά πίεσης P_1-P_3 που απαιτείται για την επίτευξη αναρρόφησης εξαρτάται φυσικά και από την όλη κατασκευή και μέγεθος

της αντλίας. Οποσδήποτε είναι αρκετά υπολογίσιμη και κυμαίνεται ανάλογα με την κατασκευή και το ρυθμό της αναρρόφησης από το 10-50% της πίεσης εισόδου.

Σε συνήθεις αντλίες τύπου Venturi απλής φύσης, στις οποίες ολόκληρη η παροχή του δικτύου περνά από την αντλία, για την έναρξη της αναρρόφησης, απαιτείται διαφορά πίεσης περίπου 30% της πίεσης εισόδου. Αντίθετα σε αντλίες τύπου Venturi διπλής φάσης στις οποίες ένα μέρος της παροχής του δικτύου περνά με σύνδεση by pass, μέσα από την αντλία, για την έναρξη της αναρρόφησης απαιτείται διαφορά πίεσης περίπου 10% της πίεσης εισόδου. Για το λόγο αυτό η σύνδεση by pass συνίσταται στους περισσότερους τόπους αντλιών Venturi.

Η ικανότητα αναρρόφησης για αντλίες τύπου Venturi συνήθως κυμαίνεται ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος. Αντλίες τύπου Venturi κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και τύπους που έχουν ικανότητα απορρόφησης από 2 μέχρι 5.000l/h. Κατασκευάζονται συνήθως από υψηλής ποιότητας θερμοπλαστικά υλικά για μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και στα περισσότερα χημικά.

Οι αντλίες τύπου Venturi έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Έχουν μικρό σχετικά κόστος αγοράς.
2. Σε σχέση με τους υδρολιπαντήρες μπορούν να απορροφούν το θρεπτικό διάλυμα από απλό ανοικτό δοχείο και επομένως φθηνό, εύκολα εποπτευόμενο και ανατροφοδοτούμενο.
3. Το παραπάνω δοχείο μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να χωρά όλη την ποσότητα του διαλυμένου λιπάσματος που απαιτείται για όλες τις στάσεις άρδευσης ενός τμήματος.
4. Η πυκνότητα του θρεπτικού διαλύματος δεν μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της υδρολίπανσης, παρά μόνο αν το θελήσουμε.
5. Οι αντλίες αυτές μπορούν να υδρολιπαινούν με όλα τα συστήματα άρδευσης, να διοχετεύουν μεγάλη γκάμα χημικών υγρών ή και αερίων όπως για παράδειγμα εμπλουτισμός με οξυγόνο εγκαταστάσεων ιχθυοκαλλιεργειών και βιολογικών καθαρισμών και να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικές εφαρμογές.
6. Είναι ευμετακίνητες και επειδή δεν έχουν κινητά μέρη, έχουν μηδαμινό κόστος συντήρησης.

Οι αντλίες τύπου Venturi παρουσιάζουν τα παρακάτω μειονεκτήματα:

1. Απαιτούν σχετικά υψηλή απώλεια πίεσης για την έναρξη της λειτουργίας. Το μειονέκτημα αυτό δεν είναι ιδιαίτερα σοβαρό ιδίως σε περιπτώσεις κτημάτων που για διάφορους λόγους υπάρχει διαθέσιμη πίεση μεγαλύτερη από εκείνη που πραγματικά χρειάζεται. Τέτοιες περιπτώσεις είναι συνηθισμένες σε κτήματα που τροφοδοτούνται από μεγάλα δίκτυα με κλειστούς αγωγούς.
2. Λειτουργούν μόνο με υγρά ή οποσδήποτε διαλυμένα λιπάσματα.

Υδρολίπανση και λιπάσματα

Αζωτούχος υδρολίπανση

Είναι η πιο δοκιμασμένη στην πράξη μορφή υδρολίπανσης με τα πιο εντυπωσιακά αποτελέσματα γιατί η ανάπτυξη των φυτών είναι ταχύτερη. Το άζωτο (N) που αποτελεί ένα από τα κυριότερα στοιχεία της θρέψης των φυτών υπάρχει συχνά σε περιορισμένες ποσότητες στο έδαφος λόγω του ότι οι διάφορες μορφές του εκπλένονται ή εξατμίζονται ή δεσμεύονται εύκολα από τα ανόργανα συστατικά του εδάφους.

Προκειμένου να επιλέξει κανείς την πηγή του αζώτου πρέπει:

- Να ενημερωθεί ως προς την καταλληλότητά της και να αποκλείσει τα μη συνιστώμενα σκευάσματα
- Να δοκιμάσει τον επιλεγμένο τύπο λιπάσματος σε ένα μικρό τμήμα ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα τους στην πράξη.

Ας εξετάσουμε λοιπόν, τα επιμέρους χαρακτηριστικά των κυριότερων ειδών αζωτούχων λιπασμάτων:

- Ουρία και UAN-32 (ουρικό νιτρικό αμμώνιο) Υγρό, το πιο συνηθισμένο αζωτούχο λίπασμα στην άρδευση με σταγόνες με 46% και 35% άζωτο αντίστοιχα, είναι ασφαλές στην χρήση, ενώ προκαλεί μικρή αλλαγή του pH. Η περιεχόμενη αμμωνία μειώνει την τοξικότητα του χλωρίου. Η ουρία αποτελεί μια μορφή αζώτου πολύ κατάλληλη για χρήση στα συστήματα με σταγόνες γιατί έχει υψηλό βαθμό διαλυτότητας και δεν ενώνεται με το νερό για να σχηματίσει ιόντα, όταν δεν υπάρχει το ένζυμο ουρεάση. Το ένζυμο αυτό οπωσδήποτε βρίσκεται συχνά σε νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλγών ή άλλων μικροοργανισμών και γι' αυτό στα νερά αυτά η ουρία υδρολύεται σε αμμωνιακά ιόντα.
- Νιτρική Αμμωνία (NH₄NO₃). Στερεό, σχετικά ασφαλές στη χρήση, έχει συχνά επικάλυψη για την αποφυγή συσσωματωμάτων, άρα απαιτεί προδιάλυση, περιέχει 34% άζωτο και επειδή αφήνει κατάλοιπα θέλει οπωσδήποτε φιλτράρισμα. Προκαλεί μια σημαντική μείωση στο εδαφικό pH και μια αξιολογητή αύξηση στο διαλυτό αργίλιο του εδάφους.
- Πολυθειική Αμμωνία. Υγρό, χρησιμοποιείται κυρίως ως πηγή θείου, δεν συνιστάται στα δίκτυα σταγόνων.
- Άνυδρο Αμμώνιο. Συμπιεσμένο σε υγρή μορφή, εξαερώνεται στην κανονική (ατμοσφαιρική πίεση). Δε συνιστάται γιατί αυξάνοντας την τιμή του pH μπορεί να οδηγήσει σε κατακρημνίσεις ιζημάτων ασβεστίου, μαγνησίου και φωσφόρου, συγκεκριμένα σε νερά με υψηλό ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου. Έχει φθοροποιό δράση σε ορισμένα εξαρτήματα του δικτύου άρδευσης. Όταν άνυδρη αμμωνία εφαρμόστηκε μέσω ενός συστήματος υπο επιφανειακής άρδευσης παρουσιάστηκε μια μείωση στο εδαφικό pH κοντά σε σταλακτιήρες.
- Υγρή Αμμωνία . Υγρό, που προέρχεται από την διάλυση άνυδρου αμμωνίου σε νερό. Διατίθεται στην αγορά σαν υγρό αζωτούχο λίπασμα, με περιεκτικότητα 20% σε άζωτο. Ως προς την καταλληλότητα έχει αυτή του άνυδρου αμμωνίου.

- Νιτρικό ασβέστιο. Στερεό, περιέχει 15.5% άζωτο, προέρχεται από την νιτρική αμμωνία, είναι διαλυτό, θέλει προσοχή στην ιζηματοποίηση, διαφοροποιεί το pH.
- Διάλυμα νιτρικού ασβεστίου. Υγρό, γνωστό σαν CAN-17, περιέχει 17% άζωτο, χρησιμοποιείται, στα δίκτυα σταγόνων σαν πηγή αζώτου και ασβεστίου, διαφοροποιείται.
- Νιτρικό κάλιο. Στερεό, χρησιμοποιείται σαν πηγή ταυτόχρονα αζώτου 13% και καλίου, είναι διαλυτό στο νερό, κατάλληλο για τα δίκτυα μικρών παροχών. Προκαλεί μια μικρή μόνο μεταβλητότητα στο pH του εδαφικού νερού.
- Νιτρικό νάτριο. Στερεό, περιέχει 16% άζωτο, είναι διαλυτό, συνιστάται με επιφύλαξη λόγω της τοξικότητας του νατρίου στα φυτά.

Οι αντιδράσεις των αζωτούχων λιπασμάτων διαφέρουν όχι μόνο ανάλογα με την ποιότητα του νερού άρδευσης, αλλά και ανάλογα με το έδαφος. Γι' αυτό κατά την επιλογή ενός αζωτούχου λιπάσματος θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού όσο και οι συνθήκες του εδάφους.

Το άζωτο υπό αμμωνιακή μορφή όταν εφαρμόζεται με υδρολίπανση σε χαμηλές δόσεις προσροφάται στα κολλοειδή του εδάφους και έτσι κινείται ελάχιστα από το σημείο εφαρμογής του. Όταν όμως εφαρμόζεται με υψηλές δόσεις μπορεί να υπερκαλύψει την εναλλακτική ικανότητα των κολλοειδών του εδάφους και να κινηθεί έτσι σε μεγαλύτερα βάθη και αποστάσεις. Τα αμμωνιακά ιόντα μέσα στα όρια της σχεδόν κορεσμένης ζώνης ακριβώς κάτω από τους σταλακτήρες δεν μπορούν να νιτροποιηθούν, νιτροποιούνται όμως στην ακόρεστη ζώνη που περιβάλλει την κορεσμένη και βρίσκεται σε κάποια απόσταση από το σταλακτήρα. Έτσι, η αμμωνία μπορεί να ειπωθεί ότι δρα ως ένα λιπαντικό στοιχείο που απελευθερώνεται σιγά-σιγά με την πάροδο του χρόνου. Φυσιολογικά το μεγαλύτερο μέρος των αμμωνιακών ιόντων νιτροποιείται βιολογικά στο έδαφος μέσα σε 2-3 εβδομάδες, αν υπάρχουν θερμοκρασίες 25-30°C και κατάλληλη υγρασία. Η εφαρμογή αμμωνιακών λιπασμάτων στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να συντελέσει σε κάποιες απώλειες λόγω εξαέρωσης στην ατμόσφαιρα ($\text{NH}_4 + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$), ιδιαίτερα όταν το pH του εδάφους ή του νερού της άρδευσης είναι μεγαλύτερο από 7. Οι απώλειες αυτές είναι τόσο μεγαλύτερες όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια εφαρμογής. Επομένως η εφαρμογή αμμωνιακών λιπασμάτων σε ένα χώρο κάτω από τον σταλακτήρα με διάμετρο όχι μεγαλύτερη από 20-30 cm περιορίζει τις απώλειες εξαέρωσης, αλλά και τις δυνατότητες για εκτεταμένη προσρόφηση των αμμωνιακών ιόντων στα επιφανειακά στρώματα.

Η ουρία που είναι σχετικά ευδιάλυτη και δεν προσροφάται ισχυρά από τα κολλοειδή του εδάφους, μπορεί να κινηθεί βαθύτερα στο έδαφος απ' ό,τι τα αμμωνιακά λιπάσματα. Έτσι παρουσιάζει μικρότερες πιθανότητες για εξαέρωση και επιτρέπει μια μεγαλύτερη ευελιξία για την κατανομή της σε επιθυμητά σημεία διαμέσου του νερού της άρδευσης. Η υψηλή διαλυτότητα της ουρίας προσφέρει ένα ακόμη πλεονέκτημα γιατί επιτρέπει την εύκολη χρήση της, υπό υγρή ή στερεά μορφή μέσω του συστήματος υδρολίπανσης.

Τα νιτρικά αζωτούχα κινούνται μαζί με το νερό και φτάνουν μέχρι τα σημεία που φτάνει και αυτό. Όταν επομένως εφαρμόζονται υπερβολικές ποσότητες νερού τα

νιτρικά λιπάσματα κινδυνεύουν να εκπλυθούν βαθύτερα από το ριζόστρωμα της καλλιέργειας.

Κάθε μη νιτρική μορφή αζώτου που εφαρμόζεται στο έδαφος μετατρέπεται τελικά σε νιτρική και τότε κινείται πολύ εύκολα με το νερό της άρδευσης. Η κίνηση αυτή της νιτρικής μορφής του αζώτου κάνει αναγκαία στην πράξη την εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων όχι σε μία, αλλά σε πολλές μικρές δόσεις κατά την διάρκεια της περιόδου ανάλογα με τις θρεπτικές ανάγκες των φυτών. Στην πράξη αρκετοί γεωργοί υιοθετούν και εφαρμόζουν αυτή την τεχνική με αρκετή επιτυχία ιδιαίτερα στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες κηπευτικών, αλλά και σε αρκετές δενδρώδεις καλλιέργειες.

Η εύκολη κίνηση των νιτρικών λιπασμάτων μαζί με το νερό της άρδευσης πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε συνδυασμό με τον τρόπο άρδευσης και τις γενικές συνθήκες της καλλιέργειας, ώστε να αποφεύγονται απώλειες και να επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός αποτελεσματικότητας.

Φωσφορική υδρολίπανση

Ο εδαφικός φώσφορος δεν είναι ευκίνητος ώστε να προσλαμβάνεται εύκολα από τα φυτά γι' αυτό είναι επιθυμητή η διοχέτευση φωσφόρου στα συστήματα μικρών παροχών, επειδή ο σταλάκτης βρίσκεται πολύ κοντά στο ριζικό σύστημα.

Εντούτοις, υπάρχουν πολλά αρνητικά στην χρήση λόγω των εμφράξεων που προκαλούν τα στερεά φωσφορικά λιπάσματα. Η έρευνα έχει αποδείξει ότι συμβαίνουν χημικές αντιδράσεις μεταξύ των φωσφορικών αλάτων και του αρδευτικού νερού, επομένως πρέπει να είναι γνωστή η σύνθεση του λιπάσματος και η ποιότητα του νερού.

Γενικά, η διοχέτευση στερεών φωσφορικών λιπασμάτων δεν συνιστάται. Η έγχυση πολυφωσφορικών αμμωνιακών αλάτων σε νερά με υψηλό ποσοστό ασβεστίου και μαγνησίου καταλήγει σχεδόν πάντα στο σχηματισμό ιζημάτων φωσφορικού ασβεστίου και φωσφορικού μαγνησίου που είναι δυσδιάλυτα. Το ίδιο μπορεί να συμβεί αν εγχυθεί φωσφορικό οξύ.

Ο σχηματισμός των πιο πάνω ενώσεων μπορεί να μειωθεί σημαντικά αν το αρδευτικό νερό γίνει αρκετά όξινο, με την αύξηση της ποσότητας του φωσφορικού οξέος ή την προσθήκη θειικού οξέος ώστε το pH να αυξηθεί στο 6. Είναι απαραίτητο επομένως στον εξοπλισμό ένα πεχάμετρο για την παρακολούθηση της οξύτητας του νερού.

Εάν, το νερό έχει πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο και ανθρακικό μαγνήσιο, το φωσφορικό οξύ θα πρέπει να διοχετεύεται πάντα σε συνδυασμό με θειικό. Αυτό σημαίνει ότι τα δύο οξέα θα εγχέονται από δύο διαφορετικά στόμια έγχυσης.

Συνιστώνται μόνο τα υγρά φωσφορικά λιπάσματα που έχουν σαν βάση το φωσφορικό οξύ, ενώ τα στερεά αποκλείονται γιατί έχουν σαν βάση το πεντοξείδιο του φωσφόρου που είναι αδιάλυτο.

- Λευκό Φωσφορικό οξύ. Στην πραγματικότητα είναι περισσότερο διαυγές παρά λευκό. Είναι ο καθαρότερος τύπος φωσφορικού οξέος.

- Πράσινο φωσφορικό οξύ. Ποικίλλουν οι ποσότητες ξένων ουσιών που περιέχει, γι αυτό ελέγχεται η καθαρότητά του πριν χρησιμοποιηθεί, ώστε να αποφευχθούν οι εμφράξεις.
- Συνδυασμός φωσφορικού και θεικού οξέος. Μία από τις πιο διαδεδομένες πηγές φωσφόρου. Το πυκνό υπερφωσφορικό (0-45-0) είναι μόνο μέτρια υδατοδιαλυτό και κατά συνέπεια, ως τέτοιο πρέπει να θεωρείται κατά την υδρολίπανση. Η διαλυτότητα του λιπάσματος αυτού είναι περιορισμένη λόγω του ότι το φωσφορικό μονοασβέστιο, που είναι το κύριο συστατικό του, μετατρέπεται με το νερό σε φωσφορικό διασβέστιο που είναι πολύ αδιάλυτο στο νερό. Η ιδιότητά του αυτή ενώ δεν επηρεάζει την καταλληλότητά του για την ικανοποίηση των αναγκών των φυτών, το καθιστά ακατάλληλο για υδρολίπανση αφού τα ιζήματα φωσφορικού ασβεστίου αποτελούν σοβαρή αιτία εμφράξεων στα φίλτρα και τους σταλακτήρες. Εάν η χρήση υπερφωσφορικού λιπάσματος είναι επιβεβλημένη, είναι προτιμότερο η εφαρμογή να γίνει με διασπορά κάτω από τους σταλακτήρες, παρά με υδρολίπανση μέσω του συστήματος άρδευσης. Στην Ελλάδα, ολόκληρη η ποσότητα φωσφόρου χορηγείται στην βασική λίπανση (πριν τη μεταφύτευση) και όχι με την υδρολίπανση. Αν χρειαστεί να εφαρμοστεί φώσφορος (λόγο τροφοπενιών) χορηγείται σαν όξινο μονοφωσφορικό κάλιο (K_2HPO_4 , KH_2PO_4), που είναι πλήρως διαλυτό ή σαν $(NH_4)H_2SO_4$ ή σαν $(NH_4)_2HPO_4$

Οποσδήποτε η ποιότητα του νερού της άρδευσης πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων με υδρολίπανση. Εάν το νερό περιέχει σημαντική ποσότητα ασβεστίου, ο φώσφορος της φωσφορικής αμμωνίας θα καθιζάνει ως φωσφορικό διασβέστιο στις σωληνώσεις και τους σταλακτήρες και θα προκαλέσει προοδευτικές εμφράξεις. Η κατακρήμνιση φωσφορικού ασβεστίου μπορεί να συμβεί με οποιαδήποτε διαλυτή μορφή φωσφορικού λιπάσματος. Από πλευράς πρόσληψης του φωσφόρου από τα φυτά, σημαντική σημασία έχει η μικρή κινητικότητά του στο έδαφος. Διαλυτός φώσφορος μετατρέπεται σε αδιάλυτο φωσφορικό διασβέστιο σχεδόν μόλις έρθει σε επαφή με ασβέστιο στο έδαφος και έτσι ο φώσφορος εφαρμοζόμενος με το νερό, μέσω συστημάτων τοπικής άρδευσης, δεσμεύεται στην επιφάνεια του εδάφους και δεν είναι διαθέσιμος κατά συνέπεια στα φυτά.

Γενική αναφορά σχετικά με τις μεθόδους διαχείρισης άρδευσης στο θερμοκήπιο

Το να γνωρίζουμε το ρυθμό κατανάλωσης νερού από τα φυτά είναι απαραίτητο για το σχεδιασμό ενός συστήματος άρδευσης και τον προγραμματισμό εφαρμογής της άρδευσης.

Το νερό σε μορφή υδρατμού, μεταφέρεται από μία υγρή επιφάνεια στην ατμόσφαιρα. Η υγρή επιφάνεια μπορεί να είναι ελεύθερη επιφάνεια του νερού ή μία μερικώς ελεύθερη επιφάνεια όπως αυτή που σχηματίζεται από τα στομάτια των φύλλων των φυτών. Το μέγεθος και ο αριθμός των φύλλων και του αριθμού των στοματίων ανά μονάδα επιφάνειας αυτών ποικίλει ανάλογα με το είδος, αλλά όλα τα φυτά έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν το μέγεθος των στοματίων. Τα στομάτια του φυτού αρχίζουν να κλείνουν όταν η περιεκτικότητα του φυτού σε νερό

μειωθεί μέχρι μια κρίσιμη τιμή όταν το ισοζύγιο μεταξύ της απορρόφησης νερού μέσω των ριζών και της απώλειας νερού από τα στομάτια (διαπνοή) γίνει αρνητικό. Το κλείσιμο των στοματίων συνεχίζεται μέχρι να αποκατασταθεί ισορροπία μεταξύ της απορρόφησης νερού και της διαπνοής. Επομένως υπάρχει μια άμεση αλλά αρκετά πολύπλοκη σχέση μεταξύ διαπνοής, αφομοίωσης και διαθεσιμότητας νερού στο έδαφος.

Η εξατμισοδιαπνοή από ένα σύστημα καλλιέργειας – εδάφους περιλαμβάνει εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και διαπνοή από τα φυτά μέσω των φύλλων. Εάν η καλλιέργεια καλύπτει απόλυτα την επιφάνεια του εδάφους, η εξατμισοδιαπνοή εξισώνεται πρακτικά με τη διαπνοή των φυτών και εάν οι ρίζες μπορούν να απορροφούν νερό ανεμπόδιστα, η μεταφορά υδρατμών εξαρτάται μόνο από κλιματικούς παράγοντες (οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η ακτινοβολία, η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία και η υγρασία της ατμόσφαιρας) και είναι συνάρτηση της ενέργειας που διατίθεται για εξάτμιση νερού και του ρυθμού αποβολής υδρατμών από τα φύλλα. Η εξατμισοδιαπνοή αυτή ονομάζεται δυνητική εξατμισοδιαπνοή¹ της καλλιέργειας (E_c).

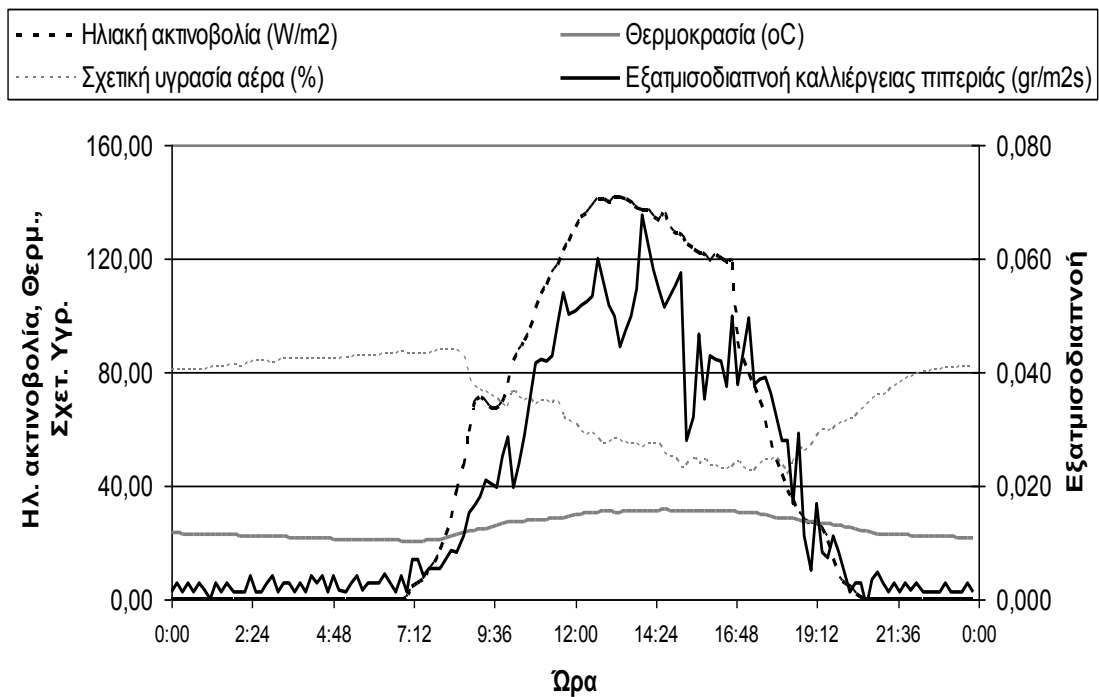
Από το νερό με τα διαλυμένα σε αυτό στοιχεία που απορροφούν τα φυτά ένα πολύ μικρό ποσοστό (της τάξης του 0-1%) παραμένει στο φυτό και χρησιμεύει για τη δημιουργία ιστών. Το υπόλοιπο καταλήγει στα φύλλα και από εκεί μέσω της διαπνοής στο περιβάλλον. Επομένως εάν μπορούμε να εκτιμήσουμε την εξατμισοδιαπνοή μπορούμε να έχουμε ένα μέτρο των υδατικών αναγκών των φυτών. Μάλιστα στη συγκεκριμένη περίπτωση όπου το υπόστρωμα της καλλιέργειας είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο ώστε να περιοριστεί στο ελάχιστο η εξάτμιση από αυτό συν το ότι η καλλιέργεια γίνεται σε κανάλια μέσα σε θερμοκήπιο όπου η εισροή νερού γίνεται μόνο από το σύστημα άρδευσης (δεν υπάρχει περίπτωση εισροής νερού από βαθύτερα στρώματα του εδάφους, ούτε από βροχή), οι ανάγκες των φυτών σε νερό προσδιορίζονται μόνο από τη διαπνοή της καλλιέργειας.

Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής γίνεται με τις ακόλουθες μεθόδους:

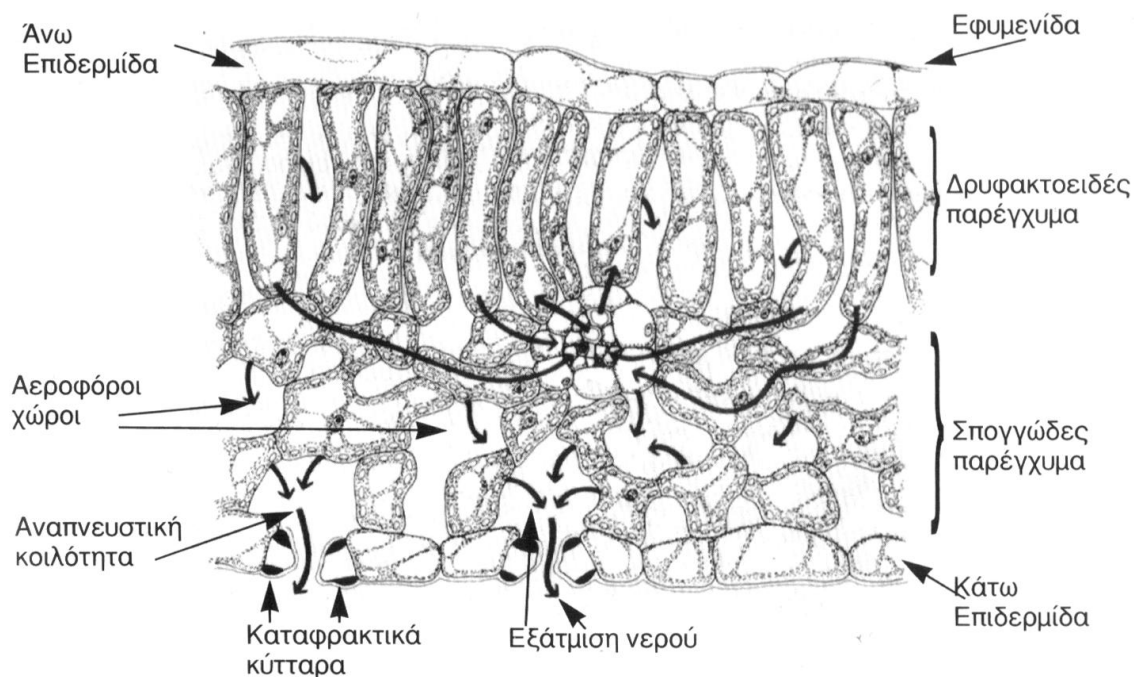
1. Μέθοδος συνδυασμού ισοζυγίου ενέργειας και ισοζυγίου μάζας
2. Μέθοδος του ισοζυγίου μάζας
3. Πειραματικές μέθοδοι

Ο Penman δημιούργησε το 1948 μία πρώτη σχέση υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, βασιζόμενος στο ενεργειακό ισοζύγιο που επικρατεί στην περίπτωση εξάτμισης από ελεύθερη επιφάνεια νερού (Allen et al., 1998).

¹ Συχνά αναφέρεται ως δυναμική εξατμισοδιαπνοή, όρος που δεν αποδίδει με ακρίβεια αυτό που περιγράφει.



Εικόνα 3 Ημερήσια διακύμανση μετεωρολογικών παραμέτρων και εξατμισοδιαπνοής σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια πιπεριάς (Τσιρογιάννης, 2007)



Εικόνα 4 Τομή φύλλου (Καράταγλης, 1992)

Τα φύλλα των φυτών είναι προφυλαγμένα από την απώλεια νερού με μια εφυμενίδα που είναι σχεδόν αδιαπέραστη στο νερό. Όμως νερό χάνεται από τα στομάτια των φύλλων που παραμένουν ανοικτά για την ανταλλαγή του CO₂ και την φωτοσύνθεση. Τα τοιχώματα των κοιλοτήτων των στοματίων είναι υγρά και επομένως ο αέρας μέσα στις στοματικές κοιλότητες είναι κορεσμένος με υδρατμό. Σε σύγκριση με την περίπτωση της εξάτμισης από ελεύθερη επιφάνεια νερού, ο υδρατμός στα στομάτια των φύλλων πρέπει να υπερνικήσει μια επιπλέον αντίσταση για να περάσει από τις στοματικές κοιλότητες στην εξωτερική επιφάνεια των φύλλων. Επομένως, η διαπνοή από μια εκτεταμένη επιφάνεια φύλλου είναι μικρότερη από την εξάτμιση από ελεύθερη επιφάνεια νερού. Από την άλλη πλευρά όμως, η διαπνεύουσα επιφάνεια είναι πολύ μεγαλύτερη για μια φυλλοστοιβάδα με δείκτη φυλλικής επιφάνειας μεγαλύτερο από τη μονάδα. Λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες αυτούς ο Monteith, το 1965, μετέτρεψε την αρχική εξίσωση Penman για την περιγραφή της διαπνοής από τη φυλλοστοιβάδα μιας καλλιέργειας².

Εξίσωση 3
$$\lambda E_c = \frac{\Delta R_n + \rho C_p D_i g_a}{\Delta + \gamma(1 + g_a / g_c)}$$

όπου:

- E_c Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής (kg m⁻² s⁻¹)
- Λ Η θερμότητα που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού, λανθάνουσα Θερμότητα εξάτμισης (J kg⁻¹)
- λ E_c Είναι η απώλεια ενέργειας για την εξάτμιση του νερού (W m⁻²).
- R_n Είναι η καθαρή ολική ακτινοβολία (W m⁻²)
- ρ Η πυκνότητα του αέρα (kg m⁻³)
- C_p Η ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση (J kg⁻¹ K⁻¹)
- D_i Το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών αέρα (kPa)
- g_a Ο αεροδυναμικός συντελεστής διάχυσης της θερμότητας (mm s⁻¹)
- γ Η ψυχρομετρική σταθερά (kPa K⁻¹)
- g_c Ο συντελεστής αγωγιμότητας της φυλλικής επιφάνειας (mm s⁻¹)
- Δ Η κλίση της καμπύλης της κορεσμένης πίεσης υδρατμών στο T_i – Θερμοκρασία αέρα (kPa K⁻¹)

² Σημειώνεται έχουν εμφανιστεί σειρά διορθώσεις της αρχικής μεθόδου του Penman αλλά και εναλλακτικές μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής. Σήμερα προτείνεται να χρησιμοποιείται η μέθοδος Penman-Monteith κατά FAO που αναπτύχθηκε το 1990 στο πλαίσιο της ανάγκης ύπαρξης ενός τυποποιημένου ορισμού της εξατμισοδιαπνοής.

³ Η έκδοση του FAO για τον υπολογισμό την εξατμισοδιαπνοής περιλαμβάνει μία σειρά από δυνατότητες υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής ακόμη και σε περιπτώσεις που δεν διατίθενται όλα τα αναφερόμενα εδώ δεδομένα.

Η εξατμισοδιαπνοή στο θερμοκήπιο είναι μικρότερη από αυτή των υπαίθριων καλλιεργειών και αναλογεί περίπου στο 60-70% αυτών (Mrusia, 2006; Löfkvist, 2010). Επειδή το περιβάλλον του θερμοκηπίου διαφέρει από αυτό της υπαίθρου έχουν αναπτυχθεί ειδικά μοντέλα για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής στο θερμοκήπιο (Stanghellini, 1987, Baille κ.α., 1994, Prenger κ.α., 2002, Orgaz κ.α., 2005, Katsoulas κ.α., 2006).

Τρόποι ρύθμισης της άρδευσης

Είναι γνωστό ότι ο ρυθμός κατανάλωσης νερού από μία καλλιέργεια μεταβάλλεται χρονικά ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες (ένταση διαπνοής) και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (φυλλική επιφάνεια). Ο ρυθμός αυτός προσδιορίζει την συχνότητα των αρδεύσεων. Η δόση άρδευσης σχετίζεται με την ικανότητα του υποστρώματος να συγκρατεί υγρασία.

Η σημερινή πρακτική, όσον αφορά τη διαχείριση της άρδευσης στις θερμοκηπιακές εκμεταλλεύσεις της χώρας μας στηρίζεται κατά κύριο λόγο στην εμπειρία του παραγωγού και στις πρακτικές που έχουν επικρατήσει σε κάθε περιοχή για τις διάφορες καλλιέργειες (Τσιρογιάννης, 2007). Παρόλα αυτά, για τον προγραμματισμό της άρδευσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται σε πληροφορίες όπως: η υγρασία στο ριζόστρωμα, το δυναμικό του νερού στα φύλλα, παράγοντες του μικροκλίματος σε συνδυασμό με παραμέτρους της καλλιέργειας, θερμοκρασία φύλλων κ.λ.π. Κάθε μέθοδος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στην περίπτωση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, αισθητήρες ελέγχου κλιματικών παραμέτρων τοποθετημένοι μέσα, ή έξω από το θερμοκήπιο είναι γενικά διαθέσιμοι και παρέχουν πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο στον έλεγχο του μικροκλίματος αλλά και στον προγραμματισμό της άρδευσης. Παραδείγματα τέτοιων αισθητήρων αποτελούν οι εξής:

- Αισθητήρας έντασης ηλιακής ενέργειας.
- Αισθητήρας μέτρησης της εξάτμισης νερού στο θερμοκήπιο.
- Τασίμετρο ή άλλο σύστημα μέτρησης της περιεκτικότητας του εδάφους ή του υποστρώματος σε νερό, κ.λπ.).
- Αισθητήρες θερμοκρασίας & σχετικής υγρασίας.

Με σκοπό την όσο το δυνατόν ακριβέστερη συσχέτιση μεταξύ της δόσης αρδευτικού ύδατος και της κατανάλωσης νερού, τα δεδομένα των μετρήσεων που παρέχουν οι παραπάνω αισθητήρες αποτελούν μεταβλητές σε διάφορα μοντέλα εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής.

Υλικά και μέθοδοι (περιγραφή του θερμοκηπίου και του εξοπλισμού που σχετίζεται με το πείραμα, της καλλιέργειας και των συστημάτων μέτρησης των παραμέτρων που εξετάζονται)

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο γυάλινο θερμοκήπιο υδροπονίας «Δ. Σάββας» του τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων στους Κωστακιούς Άρτας.



Εικόνα 5 Γενική άποψη του θερμοκηπίου από ΝΔ

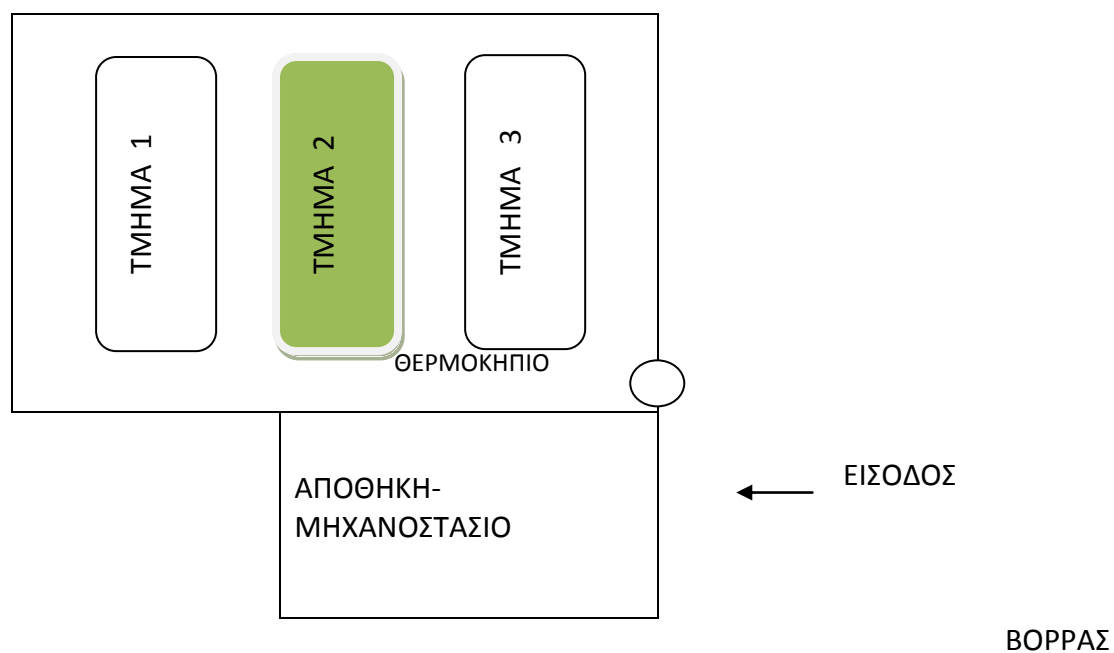
Το θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο είναι αμφικλινές, διπλό, με προσανατολισμό κορφιά Α-Δ. Η κάλυψη είναι από υαλοπίνακες μαρτελέ, πάχους 4 mm. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου είναι: ύψος υδροροής 3,15 m, ύψος κορφιά 4,40 m, πλάτος κόλπου 6,50 m, μήκος 46 m, εμβαδόν 600 m², όγκος 2270 m³. Το πάτωμα είναι στρωμένο με σκυρόδεμα. Συνολικά είναι εγκατεστημένοι 36 πάγκοι.

Όσο αφορά τον εξοπλισμό του θερμοκηπίου, έχει σύστημα φυσικού αερισμού, σύστημα δροσισμού, σύστημα σκίασης, σύστημα θέρμανσης, τεχνητό φωτισμό και σύστημα υδροπονίας. Όλα τα συστήματα ελέγχονται από κεντρικά από ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Το θερμοκήπιο είναι εξοπλισμένο με κουρτίνα σκίασης αλουμινίου η οποία είναι τοποθετημένη εσωτερικά σε οριζόντιο επίπεδο στο ύψος της υδροροής.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο κεντρικό τμήμα (τμήμα 2) του θερμοκηπίου. Το τμήμα αποτελείται από 12 πάγκους ύψους 0,85 m, σε κάθε πάγκο υπάρχουν 2 κανάλια μήκους 5m και πλάτους 0,25m. Το πείραμα ξεκίνησε το στις 17 Μαρτίου 2016 και ολοκληρώθηκε στις 27 Απριλίου του 2016. Κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν χρησιμοποιήθηκε θέρμανση, η κουρτίνα ήταν μαζεμένη.



Εικόνα 6 Σκαρίφημα της θέσης του πειράματος εντός του θερμοκηπίου



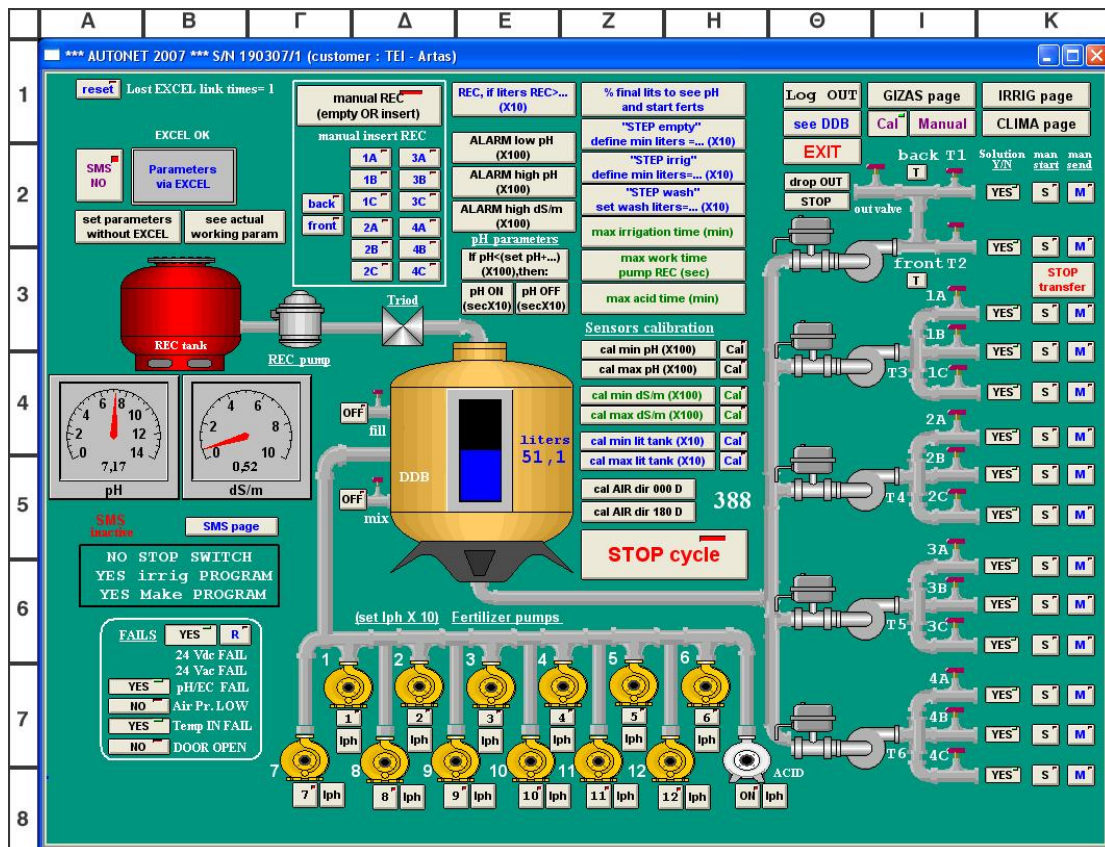
Εικόνα 7 Άποψη του εσωτερικού του θερμοκηπίου



Εικόνα 8 Η μηχανή υδρολίπανσης

Σύστημα κεντρικού ελέγχου με Η/Υ

Όλα τα συστήματα (κλίμα, θρέψη και άρδευση) ελέγχονται από ειδικό ηλεκτρονικό σύστημα και λογισμικό της Autonet.



Εικόνα 9 Σύστημα ελέγχου παρασκευής και διανομής θρεπτικών διαλυμάτων



Εικόνα 10 Ο κεντρικός υπολογιστής ελέγχου όλων των συστημάτων

Η καλλιέργεια

Ιστορικό του μαρουλιού

Οι βασικές πληροφορίες για την υδρολίπανση που αναφέρονται στη συνέχεια, προέρχονται κατά βάση από το βιβλίο «Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια» (Ολύμπιος, Χ. Μ., 2001)

Το καλλιεργούμενο μαρούλι (*Lactuca sativa* L.) θεωρείται ότι κατά πάσα πιθανότητα προήλθε είτε από το άγριο μαρούλι (*Lactuca serriola* L. ή *L. scariola* L.), το οποίο συναντάται ως ζιζάνιο στην Κρήτη και σε πολλές περιοχές της Ευρώπης, είτε από διασταυρώσεις με τα άγρια είδη *L. saligna* L. και *L. virosa* L. Υπάρχουν πάνω από εκατό είδη στο γένος *Lactuca*. Το μαρούλι ανήκει στην μεγαλύτερη βοτανική οικογένεια, τα Σύνθετα, και στην υποδιαίρεση *Liguliflorae*. Συγγενικά είδη με το μαρούλι είναι το ραδίκι, το αντίδι κ.ά.

Το μαρούλι τύπου *Cos* πιστεύεται ότι έχει διαδοθεί από την Ελλάδα (το όνομα του προέρχεται από την νήσο Κω της Δωδεκανήσου). Επίσης χώροι προέλευσης του μαρουλιού θεωρούνται οι περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, Μικράς Ασίας, Καυκάσου, Περσίας και Τουρκιστάν. Στην Ελλάδα, αυτοφύονται 9 είδη του γένους *Lactuca*. Απεικονίσεις του μαρουλιού τύπου *Cos* έχουν βρεθεί σε επιτύμβιες πλάκες στην Αίγυπτο από το 4500 π.Χ. και είναι γνωστό ότι το μαρούλι χρησιμοποιείται πάρα πολύ στη διατροφή του ανθρώπου πάνω από 2000 χρόνια. Όμως, πριν από τη χρήση του ως τροφή του ανθρώπου χρησιμοποιήθηκε για τις φαρμακευτικές του ιδιότητες, ως ναρκωτικό και παυσίπονο.

Ο χυμός του ήμερου μαρουλιού *L. sativa* καθώς και των *L. virosa* (λακτούκη η τοξική) και *L. capitata*, είναι φαρμακευτικός, λαμβάνεται δε από τομές που γίνονται στον ανθοφόρο βλαστό του φυτού. Φαρμακευτικό είναι επίσης και το “θριδάκιον ύδωρ,” το οποίο λαμβάνεται μετά από απόσταξη των φύλλων του μαρουλιού. Τέλος, με σύνθλιψη του ανθοφόρου βλαστού λαμβάνεται η “θριδακία” (γαλλ. *Tridace*), “*tridace*.”

Αναφέρεται ότι οι Πέρσες καλλιεργούσαν το μαρούλι τον 6ο π.Χ. αιώνα. Επίσης, ήταν γνωστό στους Αρχαίους Έλληνες και Ρωμαίους και αναφέρεται από τον Ηρόδοτο, Θεόφραστο, Διοσκουρίδη κ.ά. με το όνομα “θρίδαξ” ή “θριδακίνη,” ενώ οι Κύπριοι το ονόμαζαν “Βρένθις.” Ο Θεόφραστος το περιγράφει ως λαχανικό “επίσπορο,” ότι δηλαδή μπορεί να σπαρθεί πολλές φορές μέσα σε ένα έτος και μάλιστα περιγράφει τέσσερα διαφορετικά είδη. Στην Κίνα μεταφέρθηκε το 900 μ.Χ. Στην Αγγλία αναφέρεται για πρώτη φορά το κεφαλωτό μαρούλι, το 1543. Στη Γαλλία (ιδιαίτερα στην περιοχή του Παρισιού) για εκατοντάδες χρόνια εφαρμοζόταν μια ειδική μέθοδος καλλιέργειας μαρουλιού σε “τζάκια” με θερμοστρωμένες από ζυμωμένη κοπριά.

Σήμερα το μαρούλι, σε αντίθεση με πολλά άλλα είδη λαχανικών που καλλιεργούνται σε ορισμένες περιοχές, έχει διαδοθεί και καλλιεργείται σχεδόν σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη και μήκη της υφελίου, ως ετήσιο λαχανικό.

Στην Ασία παράγεται το 50% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής μαρουλιού ενώ το 27% και 20% στη Β. & Κ. Αμερική και στην Ευρώπη, αντίστοιχα. Η Κίνα και οι Η.Π.Α. είναι οι κυριότερες χώρες παραγωγής σε διεθνές επίπεδο, ενώ η Ιταλία, η Ισπανία και η Γαλλία σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Όσον αφορά τη διακίνηση (εισαγωγές-εξαγωγές) μαρουλιού στην Ευρώπη, Β. Αφρική και Μέση Ανατολή, η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο εισάγουν μεγάλες ποσότητες ενώ η Ισπανία και η Ολλανδία εξαγωγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες.

Στην Ελλάδα, το μαρούλι καλλιεργείται κυρίως ως υπαίθρια καλλιέργεια καθ’ όλη τη διάρκεια του χρόνου, κυρίως από νωρίς το φθινόπωρο μέχρι αργά την άνοιξη. Το μαρούλι καλλιεργείται σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας, οι μεγαλύτερες όμως εκτάσεις συγκεντρώνονται γύρω από τα μεγάλα αστικά κέντρα (όπου βρίσκονται περισσότεροι καταναλωτές). Το καλοκαίρι η παραγωγή μαρουλιού περιορίζεται σημαντικά, λόγω των προβλημάτων που δημιουργούνται (σχηματισμός ανθικών στελεχών) από τις υψηλές θερμοκρασίες και το μεγάλο μήκος ημέρας. Το πρόβλημα αυτό επιχειρείται σήμερα να αντιμετωπισθεί με την επιλογή ποικιλιών ανθεκτικών στον πρώιμο σχηματισμό ανθικών στελεχών. Σημειωτέον ότι η ζήτηση μαρουλιού είναι πολύ μεγάλη την καλοκαιρινή περίοδο. Εκτός από τις υπαίθριες καλλιέργειες, τα τελευταία χρόνια καλλιεργούνται μαρούλια και σε θερμοκήπια κατά τη διάρκεια του χειμώνα, επειδή η ανάπτυξη των φυτών γίνεται ταχύτερα και παράγεται προϊόν πολύ καλής ποιότητας. Στα θερμοκήπια το μαρούλι καλλιεργείται και υδροπονικά, κυρίως με το σύστημα Nutrient Film Technique (NFT).

Το παραγόμενο μαρούλι καταναλίσκεται αποκλειστικά στη ντόπια αγορά. Εξαγωγές δεν γίνονται. όμως θα μπορούσε να καλλιεργηθούν τη χειμερινή περίοδο ορισμένες ποικιλίες μαρουλιών για εξαγωγές στις χώρες της Β. Ευρώπης.

Ιδανικές Συνθήκες ανάπτυξης

Το έδαφος

Το έδαφος αποτελεί ένα από τους βασικότερους παράγοντες επιτυχίας του βιολογικού τρόπου παραγωγής και ένα από τα κύρια αντικείμενα ενασχόλησης του βιοκαλλιεργητή.

Λέγοντας “κατάλληλο έδαφος,” εννοούμε το γόνιμο, πλούσιο σε οργανική ουσία και βιολογικά δραστήριο έδαφος. Είναι το έδαφος εκείνο που χαρακτηρίζεται από καλή δομή και μεγάλη ποικιλία οργανισμών (πρωτόζωα, νηματώδεις, γαιοσκώληκες, ακάρεα, έντομα, τρωκτικά κ.λπ.) και ωφέλιμων μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες, ακτινομύκητες).

Κύρια και καθημερινή φροντίδα του βιοκαλλιεργητή αποτελεί η «ανακύκλωση της οργανικής ουσίας» δηλαδή η ενσωμάτωση στο έδαφος των υπολειμμάτων των φυτών που αναπτύσσονται στο βιολογικό αγρόκτημα.

Το μαρούλι έχει υψηλές απαιτήσεις εδάφους. Απαιτεί εδάφη πολύ γόνιμα, πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία, με καλή αποστράγγιση και πλούσια σε οργανική ουσία. Τα πιο κατάλληλα εδάφη για την καλλιέργεια του μαρουλιού είναι τα αμμοπηλώδη. Τα ελαφρά αμμώδη εδάφη προτιμώνται για πρώιμη παραγωγή. Το άριστο pH κυμαίνεται μεταξύ 6,0 και 7,0.

Το μαρούλι δεν ανέχεται τα εδάφη με μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων, γιατί προκαλούν καθυστέρηση στην ανάπτυξη του φυτού και υποβάθμιση της ποιότητας των φύλλων του (φύλλα με σκούρο πράσινο χρώμα και δερματώδη υφή).

Εδαφική υγρασία

Λόγω του επιφανειακού ριζικού συστήματος του μαρουλιού, η συχνότητα των ποτισμάτων του πρέπει να είναι τακτική με μικρές ποσότητες νερού. Με αυτό τον τρόπο παραμένει συνεχώς υγρό το επιφανειακό έδαφος που είναι αναγκαίο για την καλύτερη ανάπτυξη του φυτού. Αντίθετα, μεγάλες διακυμάνσεις της υγρασίας του εδάφους λόγω ακανόνιστων ποτισμάτων μπορεί να προκαλέσουν πίκρισμα των φύλλων. Η υπερβολική υγρασία του ύλλων του (φύλλα με σκούρο πράσινο χρώμα και δερματώδη υφή). εδάφους δεν είναι επιθυμητή, ιδιαίτερα κατά την εποχή που σχηματίζεται η κεφαλή, γιατί μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό χαλαρών κεφαλών.

Η απόφαση πότε θα εφαρμοστεί πότισμα και πόσο νερό θα δοθεί με κάθε πότισμα αποτελεί ένα από τα διαρκή και σοβαρά προβλήματα της καλλιέργειας του μαρουλιού.

Η θερμοκρασία

Το μαρούλι είναι φυτό ψυχρής εποχής και αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε χαμηλές θερμοκρασίες (μπορεί να αντέξει έως -5°C). Οι άριστες θερμοκρασίες τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του μαρουλιού και την ποικιλία, την ηλικία του φυτού, την εποχή, την ένταση του φωτισμού και το επίπεδο CO_2 .

Γενικά, συνιστάται η θερμοκρασία κατά την διάρκεια της νύχτας να κυμαίνεται από $5-7^{\circ}\text{C}$ χαμηλότερα από την αντίστοιχη θερμοκρασία της ημέρας και η θερμοκρασία

στο σπορείο που τα φυτά είναι μικρά, να κυμαίνεται μεταξύ 2-3°C υψηλότερα από τη θερμοκρασία στον κύριο χώρο ανάπτυξης της καλλιέργειας που τα φυτά είναι μεγαλύτερα. Η άριστη θερμοκρασία για την βλάστηση των σπόρων είναι μεταξύ 15-21°C.

Ο φωτισμός

Ο φωτισμός είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για τη βλάστηση των σπόρων καθώς και για την περαιτέρω ανάπτυξή του. Στην Ελλάδα, ο φωτισμός δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης του μαρουλιού λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του χρόνου. γι' αυτό δεν χρειάζεται επιπλέον τεχνητός φωτισμός της καλλιέργειάς του.

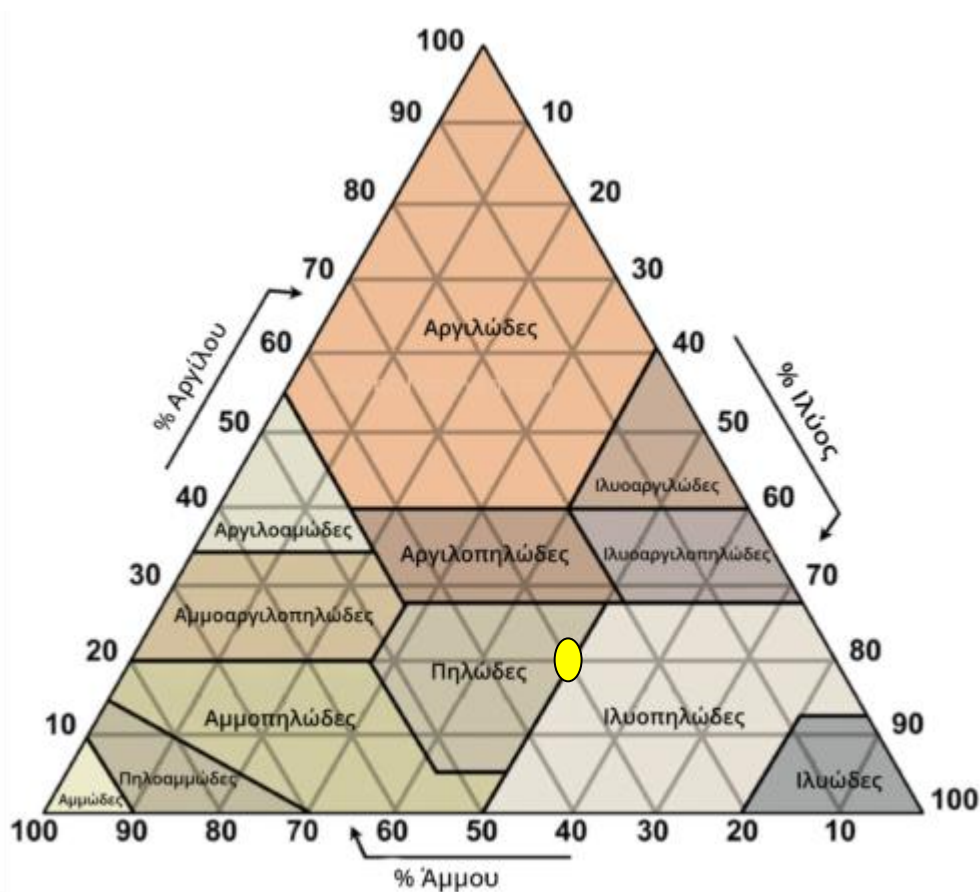
Υπόστρωμα

Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα πηλώδες έδαφος σε γλάστρες των 6L με pH 6,8, ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) 0,45 mS/cm και ανθρακικό ασβέστιο CaCO₃ σε ποσοστό 15,33% όπως διαπιστώθηκε από την εδαφική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στις 18/4/16.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ανάλυσης αναμένεται για εδάφη τέτοιου τύπου υδατοϊκανότητα (FC) 28% με το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) να βρίσκεται στο 14% (Decagon Devices, 2016).

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά υποστρώματος

Ημερομηνία αναλυσης	18/4/16
pH	6,80
EC (mS cm ⁻¹)	0,45
CaCO ₃ % (Bernard)	15,33
άμμος %	27,60
άργιλος %	26,40
ιλύς %	46,00
Κλάση εδάφους	Loam Πηλώδες



Εικόνα 11 Τριγωνικό διάγραμμα για την μηχανική σύσταση του εδάφους (με κύκλο σημειώνεται η θέση που αντιστοιχεί στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε)

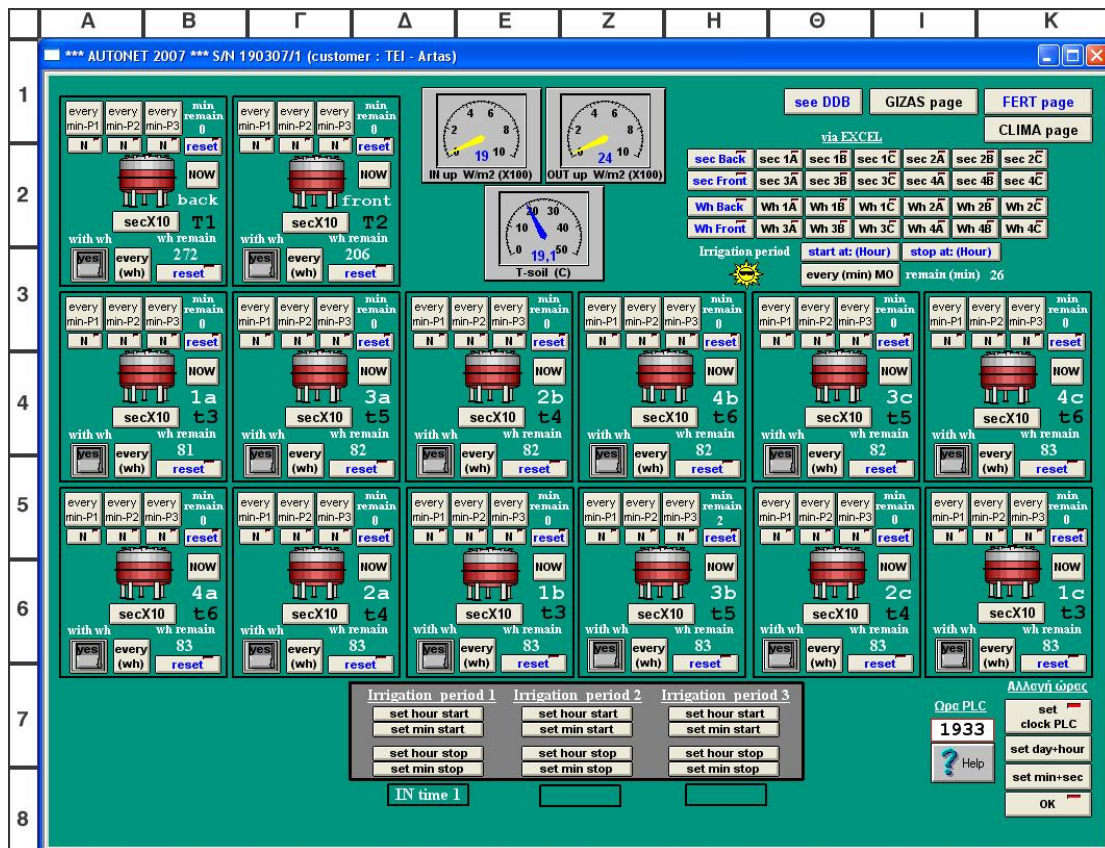
Σύστημα και πρόγραμμα άρδευσης

Το θερμοκήπιο διαθέτει ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα άρδευσης. Στο μεσαίο τμήμα κάθε πάγκος έχει ανεξάρτητο σύστημα στάγδην άρδευσης.

Σε κάθε γλάστρα υπήρχαν δύο σταλάκτες (ο κάθε σταλάκτης έχει παροχή $37,5 \text{ ml min}^{-1}$ ($2,25 \text{ Lh}^{-1}$ ή $0,63 \text{ ml s}^{-1}$ Συντελεστής ομοιομορφίας Christiansen= 92%)).



Εικόνα 12 Εξαρτήματα αυτορυθμιζόμενου σταλάκτη υδροπονίας



Εικόνα 13 Οθόνη προγραμματισμού άρδευσης στο γυάλινο θερμοκήπιο υδροπονίας AAT

Η συχνότητα της άρδευσης εξαρτιόνταν από την ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο εξωτερικό του θερμοκηπίου. Για την ρύθμιση της συχνότητας άρδευσης χρησιμοποιήθηκε η λογική της συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας (ολοκλήρωσης της καμπύλης χρόνου –εξωτερικής ηλιακής ακτινοβολίας) σε $Wh\ m^{-2}$. Με την λογική αυτή ορίζουμε στον προγραμματιστή άρδευσης ανά πόσες $Wh\ m^{-2}$ θα ποτίσει (η ποσότητα νερού που θα πάει στα φυτά σε κάθε πότισμα εξαρτάται από τον αριθμό σταλακτών ανά φυτό, την παροχή κάθε σταλάκτη και το χρόνο άρδευσης).

Προσέγγιση κατάρτισης προγράμματος άρδευσης που χρησιμοποιήθηκε

Όσο αφορά την διαχείριση της άρδευσης υπάρχει δυνατότητα ελέγχου με βάση το ολοκλήρωμα της ηλιακής ακτινοβολίας (η μέτρηση γίνεται από πυρανόμετρο τοποθετημένο εκτός του θερμοκηπίου ώστε να μην επηρεάζεται από σκιάσεις του σκελετού ή του υλικού κάλυψης). Αυτού του είδους ο αυτοματισμός –που βασίζεται σε έναν από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή- είναι δοκιμασμένος και παρέχει πολύ καλά αποτελέσματα (Stanhill και Scholte, 1974; Roh και Lee, 1996; Katsoulas κ.α., 2006). Σε κάθε περίπτωση όμως για την ρύθμιση της άρδευσης απαιτείται η γνώση ορισμένων χαρακτηριστικών των φυτών και της καλλιέργειας. Οι βασικές παράμετροι υπολογισμού –ποσότητα νερού που θα εφαρμοστεί (IR) και συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας που σηματοδοτεί την

έναρξη της άρδευσης (RGo) υπολογίζονται με βάση τις ακόλουθες σχέσεις (Katsoulas κ.α., 2006):

Εξίσωση 4

$$IR = Tr / (1-dr) \cdot IE$$

όπου: dr είναι το ποσοστό απορροής (%), IE η αποτελεσματικότητα του συστήματος άρδευσης και Tr είναι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (kg m^{-2}) η οποία μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

Εξίσωση 5

$$Tr = \zeta \cdot RGo$$

όπου: RGo είναι το ολοκλήρωμα ως προς το χρόνο της ακτινοβολίας στο εξωτερικό του θερμοκηπίου (kJ m^{-2}) και ζ ένας συντελεστής που μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

Εξίσωση 6

$$\zeta = Kc \cdot \tau \cdot \alpha / \lambda$$

όπου: Kc είναι ο φυτικός συντελεστής, τ η περατότητα του καλύμματος του θερμοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία (μέσος λόγος εισερχόμενης προς εξωτερική ακτινοβολία), α ο συντελεστής εξάτμισης ο οποίος εκφράζει το μέρος της ενέργειας της εισερχόμενης ηλιακή ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμότητα μέσω της διαπνοής και λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού (kJ kg^{-1})

Επειδή ο στόχος της άρδευσης είναι να παραμένει η υγρασία του υποστρώματος εντός της περιοχής του εύκολα διαθέσιμου νερού (τα αντίστοιχα συμβατικά όρια μύζησης έχουν τεθεί μεταξύ 1 και 5kP) θα πρέπει να γίνει στο τέλος έλεγχος σχετικά με το εάν το πρόγραμμα άρδευσης που προέκυψε έχει ως αποτέλεσμα να παραμένει συνεχώς η υγρασία εντός των ορίων αυτών.

Σημαντική παράμετρος των υπολογισμών είναι η αποτελεσματικότητα της άρδευσης (IE). Η αποτελεσματικότητα της άρδευσης αποτελεί μέτρο της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται ωφέλιμα από τα φυτά. Η αποτελεσματικότητα προκύπτει από μετρήσεις και εκτιμήσεις των χαρακτηριστικών του αρδευτικού συστήματος καθώς και των πρακτικών διαχείρισης που ακολουθούνται. Η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος άρδευσης μπορεί να εκτιμηθεί μέσω της ομοιομορφίας της άρδευσης. Σύμφωνα με σχετική έρευνα (Burt κ.α., 1997; Dukes, 2000; ASAE, 1996 και 2001) οι δείκτες ομοιομορφίας ενός συστήματος άρδευσης δίνουν μία εκτίμηση της πιθανής αποτελεσματικότητας εάν γίνεται ορθολογική διαχείριση του συστήματος. Με άλλα λόγια η αποτελεσματικότητα δύσκολα μπορεί να ξεπεράσει την ομοιομορφία του συστήματος (Dukes, 2000). Μάλιστα η υψηλή ομοιομορφία έχει ιδιαίτερη σημασία εάν το νερό περιέχει και τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών όπως συμβαίνει στην υδροπονία.

Αξίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί η ενδιαφέρουσα προσέγγιση του Μαυρογιαννόπουλου (2011) για προγραμματισμό άρδευσης σε ανοικτά υδροπονικά συστήματα.

Προγράμματα άρδευσης που εφαρμόστηκαν

Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τα προγράμματα άρδευσης που εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια.

Σημειώνεται ότι με τον τρόπο αυτό ρύθμισης της άρδευσης δεν γίνονται ποτίσματα την νύχτα (όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι 0) και υπάρχει αυτόματη ρύθμιση της συχνότητας όταν υπάρχει συννεφιά (μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερος χρόνος για τη συγκέντρωση της απαιτούμενης ενέργειας $Wh\ m^{-2}$ ώστε να ενεργοποιηθεί η εντολή άρδευσης).

Όσο αφορά την απαιτούμενη απορροή ο σχετικός συντελεστής (leaching fraction) επιλέχθηκε ίσος με 20%.

Πίνακας 2 Ρυθμίσεις προγραμματιστή που εφαρμόστηκαν (ημέρα 0 η 17/3/2016)

Περίοδος από ημέρα	έως ημέρα	Συχνότητα άρδευσης ($Wh\ m^{-2}$)	Διάρκεια άρδευσης (s)
0	27	600	60
27	36	600	30
36	40	3000	30

Θρεπτικό διάλυμα

Προτάθηκε ένα γενικής χρήσης θρεπτικό διάλυμα για υδρολίπανση σε μαρούλι (Σάββας, 2016) που ταιριάζει κυρίως σε ανοικτά συστήματα. Το σχετικό φύλλο Excel είναι διαθέσιμο και στο διαδίκτυο (<http://www.ekk.aua.gr/excel/>).

Το νερό του θερμοκηπίου έχει pH 7,63 και EC 0,58 dS/m. Το διάλυμα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να συντίθεται από δύο πυκνά διαλύματα Α και Β και οξύ (

Πίνακας 3).

Δεν πραγματοποιήθηκε παρά μόνο μία αρχική υδρολίπανση για τεχνικούς λόγους.

Πίνακας 3 Θρεπτικό διάλυμα υδρολίπανσης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ								
Πυκνά διαλύματα	V, m ³	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.			Χημική σύσταση νερού		
Πυκνό διάλυμα Α	1	100	E _t [*]	1,90	dS/m	E.C.	0,58	dS/m
Πυκνό διάλυμα Β	1	100	pH opt.	5,6		pH	7,63	
Πυκνό διάλυμα οξέως	1	100	X: (K)	0,68		Ca ²⁺	1,90	mmol/l
Επιλογή λιπάσματος φωσφόρου: Επιλέξτε 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ			Y: (Ca)	0,25		Mg ²⁺	0,65	mmol/l
	1		Z: (Mg)	0,07		K ⁺	0,10	mmol/l
			R (tot.-N/K)	1,74		NH ₄ ⁺	0,00	mmol/l
Επιλογή λιπάσματος βορίου: Επιλέξτε 1 για βορικό οξύ, 2 για τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (solubor)			Nr (NH ₄ /tot.-N)	0,09		Na ⁺	0,80	mmol/l
	2		[H ₂ PO ₄] ⁻	1,60	mmol/l	SO ₄ ²⁻	0,75	mmol/l
			[Fe] _t	20,00	μmol/l	NO ₃ ⁻	0,00	mmol/l
Επιλογή λιπάσματος μολυβδαινίου: Επιλέξτε 1 για επαμολυβδαινικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδαινικό νάτριο			[Mn] _t	4,00	μmol/l	H ₂ PO ₄ ⁻	0,00	mmol/l
	2		[Zn] _t	6,00	μmol/l	HCO ₃ ⁻	3,60	mmol/l
			[Cu] _t	0,60	μmol/l	Cl ⁻	0,90	mmol/l
Επιθυμητές τιμές K, Ca, Mg: Επιλέξτε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) ή 2 για συγκεντρώσεις (mmol/L)			[B] _t	25,00	μmol/l	Fe	0,00	μmol/l
	1		[Mo] _t	0,50	μmol/l	Mn ⁺⁺	1,09	μmol/l
			[Si] _t	0,00	mmol/l	Zn ⁺⁺	0,15	μmol/l
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής N/K (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NO ₃ (mmol/L)			% καθαρό λίπασμα			Cu ⁺⁺	0,00	μmol/l
	1		καθαρό HNO ₃	68	(% w/w)	B	2,78	μmol/l
			καθαρό H ₃ PO ₄	85	(% w/w)	Mo	0,00	μmol/l
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής NH ₄ /(NH ₄ +NO ₃) (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NH ₄ (mmol/L)			Fe σε χηλικό Fe	6	(% w/w)	Si	0,00	mmol/l
	1					Σcat _w	6,00	meq/l
			λιπάσματα (kg/δοχείο)		59,448	Σan _w	6,00	meq/l

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ									
Κατιόντα/ανιόντα	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Si
C.A.S.	17,19			1,80	12,26	1,60	0,63	0,90	0,00
C.A.W.		6,00		1,50	0,00	0,00	3,60	0,90	0,00
A.A.F.			14,17	0,30	12,26	1,60	0,00	0,00	0,00
Ca ²⁺	5,73	3,80	1,93	0,00	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg ²⁺	1,60	1,30	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ⁺	7,79	0,10	7,69	0,00	6,09	1,60	0,00	0,00	0,00
NH ₄ ⁺	1,27	0,00	1,27	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ⁺	0,80	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ⁺	0,00	0,00	2,97	0,00	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00

* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εισάγεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροκατιόντα (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις.

... συνέχεια στην επόμενη σελίδα

... ΣΥΝΕΧΕΙΑ

Καλλιεργητής: ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ			
Καλλιεργούμενο είδος: Μαρούλι			
Τύπος θρεπτικού διαλύματος: Για έδαφος			
Ημερομηνία: 17-3-2016			
	E.C.	1,90	dS/m
	pH	5,60	
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ			
Πυκνό διάλυμα Α		1000	ΛΙΤΡΑ
1	Νιτρικό ασβέστιο	20,859	Kg
2	Νιτρικό κάλιο	28,139	Kg
3	Νιτρικό αμμώνιο	8,587	Kg
4	Χηλικός σίδηρος	1,863	Kg
Πυκνό διάλυμα Β		1000	ΛΙΤΡΑ
1	Νιτρικό κάλιο	33,464	Kg
2	Θειικό μαγνήσιο	3,750	Kg
3	Νιτρικό μαγνήσιο	0,000	Kg
4	Φωσφορικό μονοκάλιο	21,776	Kg
5	Θειικό κάλιο	0,001	Kg
6	Φωσφορικό οξύ	0,000	λίτρα
7	Θειικό μαγγάνιο	49,13	g
8	Θειικός ψευδάργυρος	168,10	g
9	Θειικός χαλκός	14,98	g
10	Βορικό οξύ	0,00	g
11	Βόρακας	211,78	g
12	Solubor	0,00	g
13	Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0,00	g
14	Μολυβδαινικό νάτριο	12,10	g
Πυκνό διάλυμα οξέως		1000	ΛΙΤΡΑ
1	Νιτρικό οξύ	19,390	λίτρα
Υπολογισμοί (C_b) για προσθήκη οξέως			
$[H_3O^+]_w$		2,34423E-08	
B_w		22,42532971	
$[CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [H_2CO_3]$		0,003776081	
$[H_3O^+]_{(n.s.)}$		2,51189E-06	
$B_{(n.s.)}$		1,199530213	
[K]	7,79	$\Sigma_{cation(n.s.)}$	17,19
$[NH_4^+]$	1,27	$\Sigma_{anion(n.s.)}$	17,19

Όργανα μέτρησης και μετρήσεις

Η εργασία εκπονήθηκε με βάση πειραματικά δεδομένα που προέκυψαν από:

1. Μετρήσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου.
2. Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας στο εξωτερικό του θερμοκηπίου.
3. Μετρήσεις αρδευτικών γεγονότων υγρασίας υποστρώματος
4. Μετρήσεις ανάπτυξης όγκου των μαρουλιών (ύψος και διάμετρος)

Καταγραφή δεδομένων AUTONET

Στη βάση δεδομένων του συστήματος ελέγχου καταγράφεται σειρά από κλιματικά δεδομένα, στοιχεία για τα θρεπτικά διαλύματα αλλά και ο χρόνος και η διάρκεια των αρδευτικών γεγονότων. Τα δεδομένα αυτά δεν χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα ανάλυση.



Εικόνα 14 Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα

Καταγραφή υγρασίας υποστρώματος

Στο πλαίσιο των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι αισθητήρες διηλεκτρικής χωρητικότητας για τη μέτρηση της υγρασίας υποστρώματος: Delta T, ThetaProbe .



Εικόνα 15 ML2 ThetaProbe

Ο αισθητήρας ML-2 ThetaProbe (Delta T devices, UK) είναι ένα όργανο μέτρησης διαθλασιμετρίας ποσότητας (τεχνολογίας Amplitude Domain Reflectometry (ADR)) που χρησιμοποιείται ευρέως για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας. Ο αισθητήρας μετρά την διηλεκτρική σταθερά, σε δείγμα όγκου περίπου 75cm³, η δε σχέση του σήματος του αισθητήρα (mV ή V) και της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής χωρητικότητας μοντελοποιείται είτε μέσω πολυώνυμου 3ου βαθμού είτε απλής γραμμικής σχέσης (ΔΤ, 1999).

Ο DT ThetaProbe έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: πλήρες εύρος 0-100%, η ακρίβεια που δίνεται όμως ισχύει από 5 έως 60%) ±5% χωρίς βαθμονόμηση για το συγκεκριμένο υπόστρωμα και έως ±1% (0-40°C) αφού γίνει βαθμονόμηση.

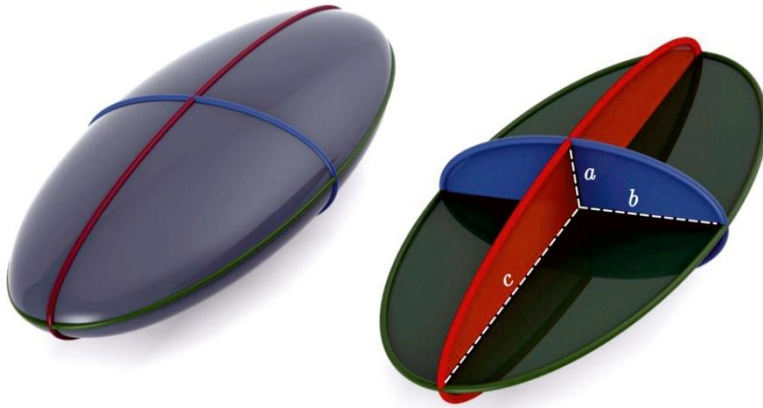
Ο ML-2 ThetaProbe χαρακτηρίζεται ως αξιόλογος αισθητήρας για χρήση σε φυτοδοχεία μικρού όγκου όπως συνήθως συμβαίνει στα παραγωγικά θερμοκήπια (Pardossi κ.α., 2009).



Εικόνα 16 Μέτρηση υγρασίας υποστρώματος με το ΔΤ ThetaProbe

Καταγραφή ανάπτυξης όγκου

Για τον προσδιορισμό της ανάπτυξης των φυτών πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ύψους και διαμέτρου και υπολογίσαμε τον όγκο ο οποίος μοντελοποιήθηκε ως ελλειψοειδές.



Εικόνα 17 Μοντέλο που επιλέχθηκε για την προσομοίωση του μαρουλιού

Εξίσωση 7

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot c$$

όπου $\pi = 3,14$ και a, b, c ύψος, πλάτος και μήκος αντίστοιχα



Εικόνα 18 Μετρήσεις ανάπτυξης

Ανάλυση δεδομένων και παρουσίαση αποτελεσμάτων

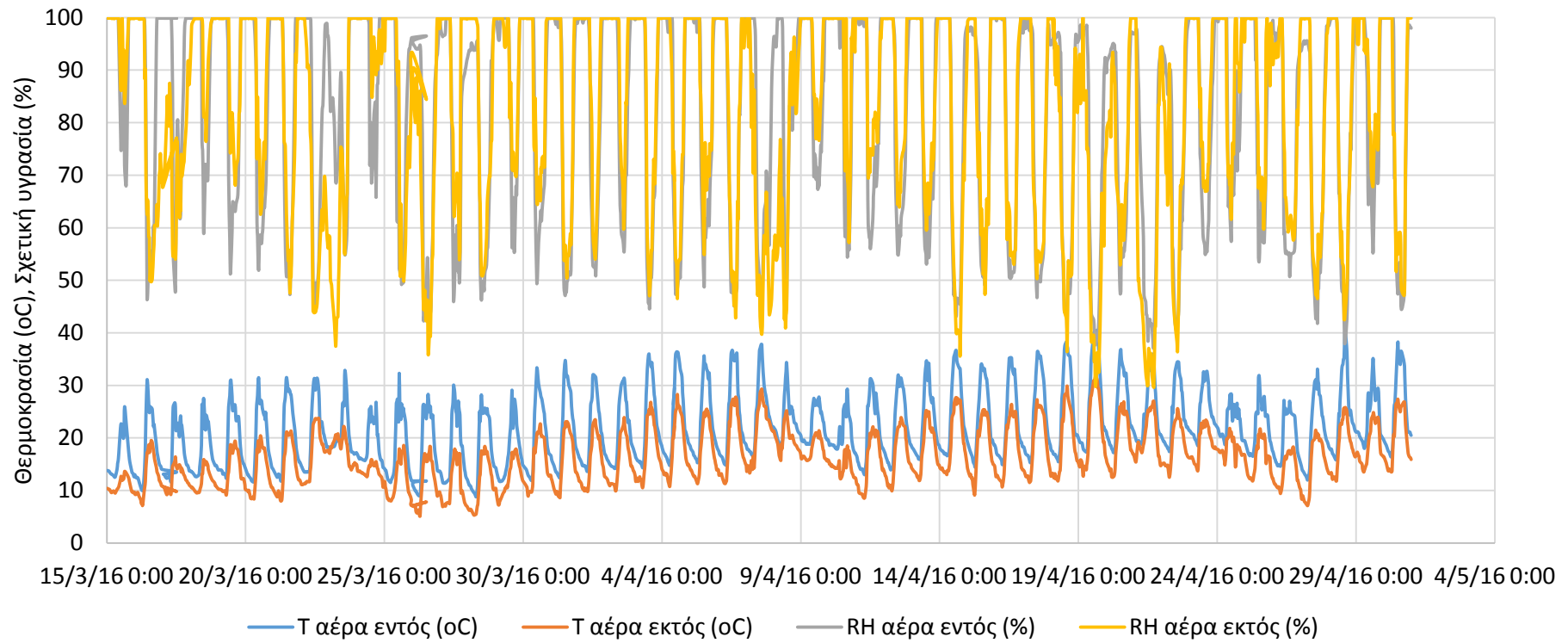
Στην Εικόνα 19 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα κατά τη διάρκεια του πειράματος τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Από το γράφημα της διαπιστώνουμε ότι η θερμοκρασία και η υγρασία όντος του θερμοκηπίου παρουσιάζουν μεγάλη διάφορα ενώ βλέπουμε επίσης ότι σε βάθος χρόνου η θερμοκρασία και η υγρασία δεν μεταβάλλεται σημαντικά ιδιαίτερα μεταξύ των τριών περιόδων όπου και εφαρμόστηκαν αλλαγές στο πρόγραμμα άρδευσης

Σύμφωνα με τον Πίνακα 2, υπήρχαν 3 διακριτές περίοδοι όσο αφορά το πρόγραμμα άρδευσης που εφαρμόστηκε.

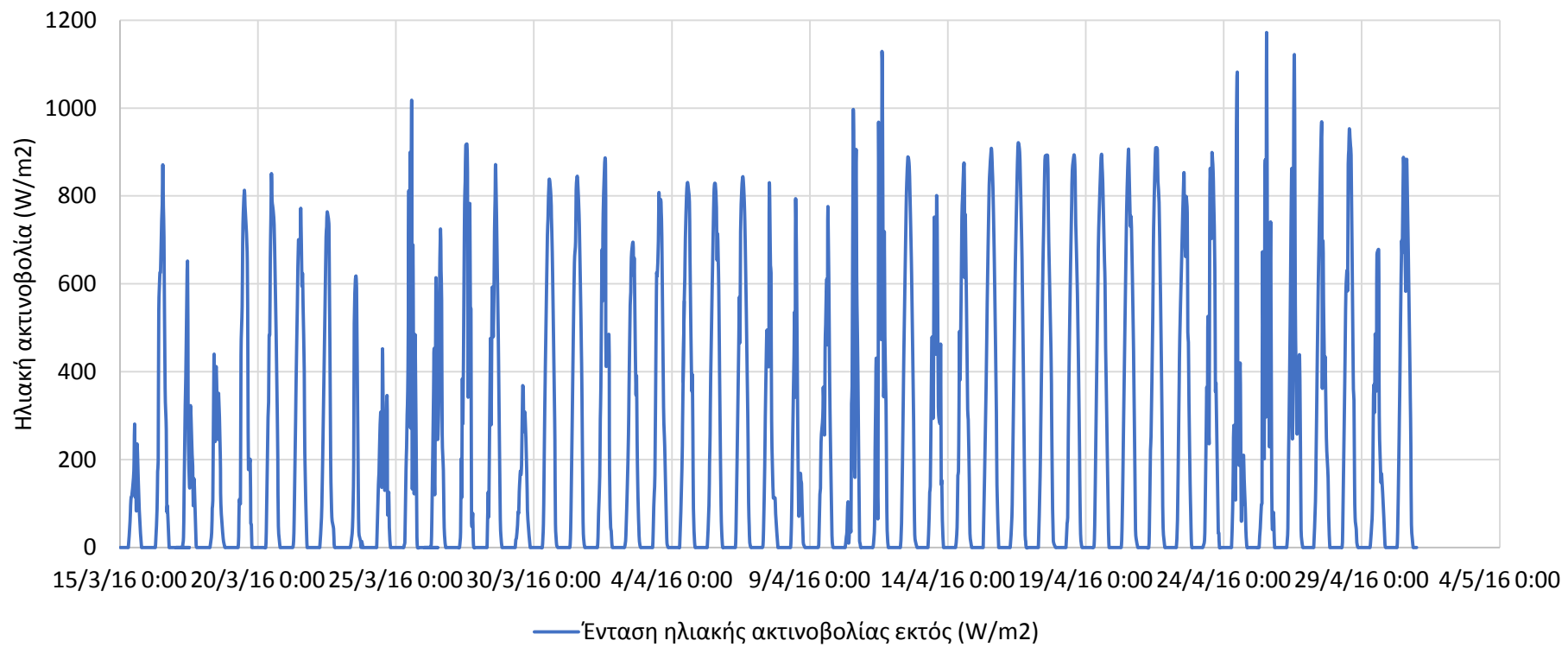
Στην Εικόνα 20 παρατηρούμε την μεταβολή τις ηλιακής ακτινοβολίας κατά το διάστημα της καλλιέργειας . Άμα αθροίσουμε τις Wh για μία χαρακτηριστική ημέρα πχ για 30/3 βρίσκουμε 5028 Wh m^{-2} το οποίο είναι εντός της θεωρητικά αναμενόμενης τιμής (Μαυρογιαννόπουλος, 1994).

Στην Εικόνα 21 βλέπουμε ότι παρά την αλλαγή στο πρόγραμμα άρδευσης τελικά η εδαφική υγρασία παραμένει καθ'ολη την περίοδο μεγαλύτερη από την υδατοικανότητα, γεγονός που σημαίνει ότι η καλλιέργεια είχε περιορισμένη διαθεσιμότητα αέρα στο περιβάλλον της ρίζας και επομένως υφίστατο καταπόνηση.

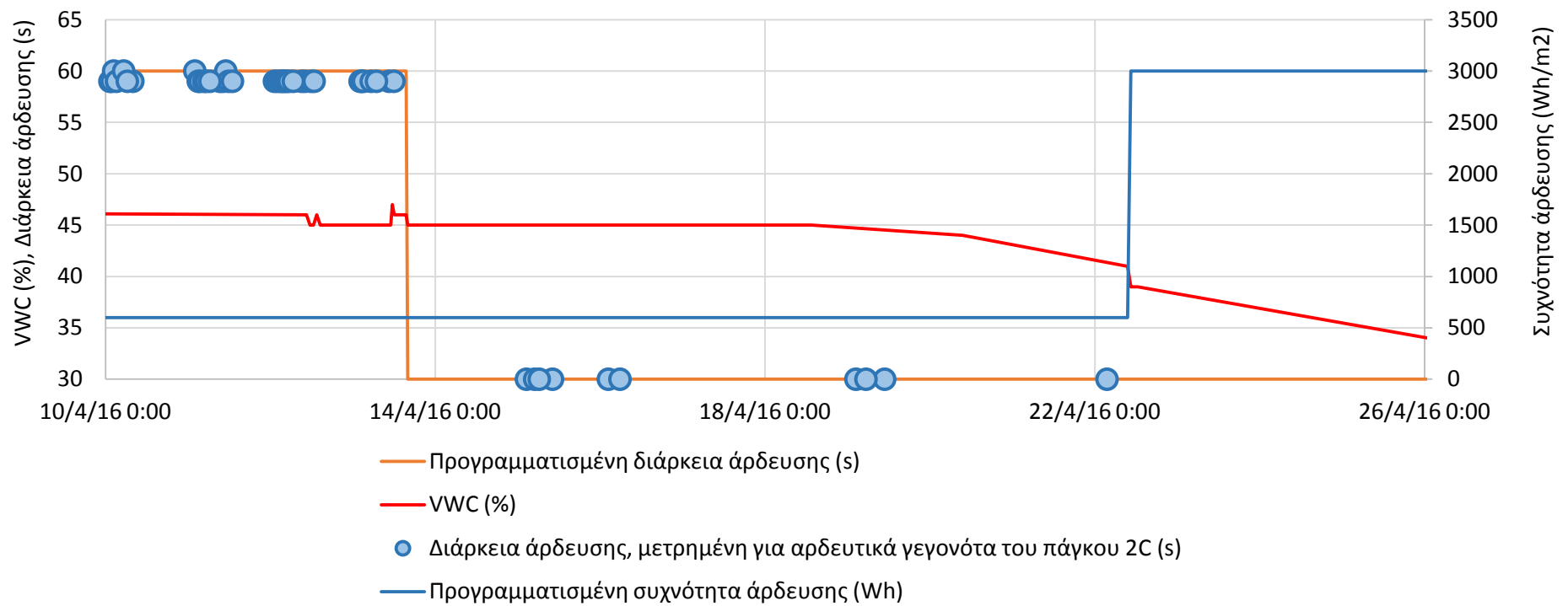
Έτσι λοιπόν εάν συγκρίνουμε την Εικόνα 21 με την Εικόνα 22 διαπιστώνουμε ότι ο ρυθμός ανάπτυξης βελτιώνονταν όσο έπεφτε η υγρασία όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.



Εικόνα 19 Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας εντός και εκτός του θερμοκηπίου

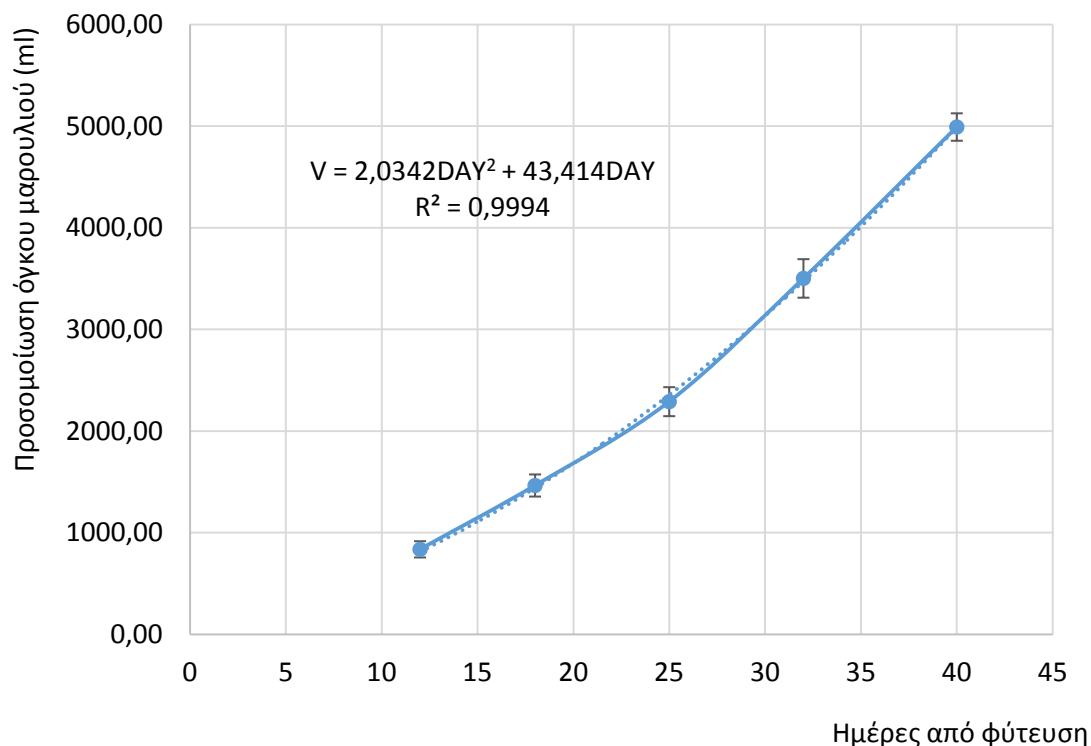


Εικόνα 20 Μεταβολή της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας εκτός του θερμοκηπίου



Ενδεικτικά για τον πάγκο 2c

Εικόνα 21 Ρυθμίσεις άρδευσης, αρδεύσεις και υγρασία υποστρώματος



Εικόνα 22 Ανάπτυξη όγκου μαρουλιών

Πίνακας 4 Υγρασία και ρυθμός ανάπτυξης όγκου

Περίοδος	17/3/2016	13/4/2016	22/4/2016
	13/4/2016	22/4/2016	26/4/2016
Περίοδος από ημέρα	0	27	36
έως ημέρα	27	36	40
Συχνότητα άρδευσης (Wh m ²)	600	600	3000
Διάρκεια άρδευσης (s)	60	30	30
Υγρασία υποστρώματος (VWC % v/v)	45,83	43,30	34,00
Δ Ημέρες	27	9	4
Δ Όγκος (ml)	2655,11	1544,12	792,05
Μέσος ρυθμός ανάπτυξης, Δ Όγκος / Δ Ημέρες (ml ημέρα ⁻¹)	98,34	171,57	198,01
Ρυθμός ανάπτυξης, κλίση εφαπτομένης (πρώτη παράγωγος) (ml ημέρα ⁻¹)	153,26	189,88	206,15

Συμπεράσματα

Η υδρολίπανση αποτελεί μία πρακτική που κερδίζει συνεχώς έδαφος στο πλαίσιο των θερμοκηπιακών καλλιεργειών.

Στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας έγινε αναφορά στις θερμοκηπιακές καλλιεργείες λαχανικών, σε χώμα, με εφαρμογή συστήματος υδρολίπανσης.

Έγινε καλλιέργεια στο γυάλινο θερμοκήπιο υδροπονίας AAT η οποία αφορούσε μαρούλι (*Lactuca sativa*) με σκοπό την μελέτη της ανάπτυξης λαχανικών σε οικιακό περιβάλλον (κήποι κουζίνας) σε δοχεία φύτευσης.

Έγινε φύτευση σε γλάστρες των 6L οι οποίες περιείχαν χώμα. Έγινε μία αρχική υδρολίπανση και στη συνέχεια το έδαφος κρατήθηκε σε συνθήκες κορεσμού αρχικά και στην συνέχεια έγιναν χειρισμοί ώστε η υγρασία να πέσει σταδιακά προς την υδατοικανότητα.

Καταγράφηκαν οι συνθήκες εναέριου περιβάλλοντος εντός του θερμοκηπίου, οι αρδεύσεις, η υγρασία υποστρώματος και η ανάπτυξη των φυτών.

Από την ανάλυση των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών αυξήθηκε κατά το χρονικό διάστημα στο οποίο έγινε μείωση της εδαφικής υγρασίας και πιο συγκεκριμένα διαπιστώσαμε ότι βελτίωση των συνθηκών στο περιβάλλον της ρίζας αύξησαν τον ρυθμό ανάπτυξης.

Βιβλιογραφία

- ΔT Devices, 1999. ThetaProbe Soil moisture sensor, Type ML2x, User Manual, UK
- Ολύμπιος, Χ. Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Μιχελάκης, Ν., 1988. Συστήματα αυτόματης άρδευσης. Άρδευση με σταγόνες. Κεφάλαιο 8, (Υδρολίπανση σελ: 167- 190.)
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome.
- ASAE. 1996. Field evaluation of microirrigation systems. American Society of Agricultural Engineers Standards, EP405.1, St. Joseph, MI.
- ASAE. 2001. Design and installation of microirrigation systems. American Society of Agricultural Engineers Standards, EP405.1, St. Joseph, MI.
- Baille, M., Baille, A., Laury, J.C., 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area. Sci. Hortic.-Amsterdam. 59, 217-232.
- Burt, C.M., A.J. Clemmons, T.S. Strelkoff, K.H. Solomon, R.D. Bliesner, L.A. Hardy, T.A. Howell, and D.E. Eisenhauer. 1997. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 123(6):423-442.
- Decagon Devices, 2016. Plant available water: How do I determine field capacity and permanent wilting point? Διαθέσιμο στο: <https://www.decagon.com/en/support/datatrac-3-troubleshooting/how-do-i-determine-field-capacity/>. Ημερομηνία πρόσβασης: 10/5/2016.
- Lee A., 2010. Water and EC management. Practical Hydroponics & Greenhouses, March/April, 2010
- Dukes M.D., 2000. Types and Efficiency of Florida Irrigation Systems. Dept. of Agricultural & Biological Engineering, University of Florida, Gainesville, FL.
- Katsoulas, N., C. Kittas, G. Dimokas, and Ch. Lykas. 2006. Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. Bios. Eng. 93:237-244.
- Löfkvist, K. 2010. Irrigation and horticultural practices in ornamental greenhouse production- implementation of scientific knowledge into irrigation practices and methods. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural. Alnarp.
- Mpusia, P. T. O., 2006. Comparison of water consumption between greenhouse and outdoor cultivation. MSc Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation. Enshede, The Netherlands
- Orgaz, F., Fernandez, M.D., Bonachelac, S., Gallardoc, M. , Fereres, E., 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse Agr. Water Manag., 72: 81–96.

- Pardossi A., Incrocci L., Incrocci G., Malorgio F., Battista P., Bacci L., Rapi B., Marzalletti P., Hemming J. and Balendonck J., 2009. Review: Root Zone Sensors for Irrigation Management in Intensive Agriculture. *Sensors*: 9, 2809-2835.
- Prenger, J.J., Fynn, R.P., Hansen, R.C., 2002. A comparison of four evapotranspiration models in a greenhouse environment. *Trans. ASAE*, 45(6): 1779–1788,
- Roh, M.Y., and Y.B Lee. 1996. Control of amount and frequency of irrigation according to integrated solar radiation in cucumber substrate culture. *Acta Hort.* 440:332–337.
- Savvas D., Meletiou G., Margariti S., Tsirogiannis I.L. and Kotsiras A., “Modeling the Relationship between Water Uptake by Cucumber and NaCl Accumulation in a Closed Hydroponic System”, *HortScience* 40(3): 802-807, 2005.
- Stanghellini, C. 1987. Transpiration of greenhouse crops: An aid to climate management. PhD diss. Wageningen, The Netherlands: Agricultural University Wageningen
- Stanhill, G., and A.J. Scholte. 1974. Solar radiation and water loss from glasshouse roses. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 99:107-110.
- Καράταγλης Σ. (1992). Φυσιολογία φυτών, Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη.
- ΛΑΒΑ Α.Ε. Διαφημιστικό φυλλάδιο ελαφρόπετρας
- Μαυρογιαννόπουλος Γ. 1994, Θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη
- Μαυρογιαννόπουλος Γ. Ν., 2001. Η άρδευση των καλλιεργειών στα ανοικτά υδροπονικά συστήματα, *Γεωργία-Κτηνοτροφία*, 10: 100-106
- Σάββας Δ., 2016. Κατάρτιση γενικής χρήσης θρεπτικού διαλύματος για υδρολίπανση σε μαρούλι που ταιριάζει κυρίως σε ανοικτά συστήματα. Προσωπική επικοινωνία.

Παράρτημα Ι – MarouliBest

Το υδροπονικό σύστημα MarouliBest© σχεδιάστηκε από το DKG Consulting Ltd (μέλος του DKG Group) σε συνεργασία με το IRTC (Διεθνές Κέντρο Έρευνας και Εκπαίδευσης για την Αειφορία) πάνω στη φιλοσοφία της Ολικής Διοίκησης Θερμοκηπίου (Total Greenhouse Management) πατώντας και στην εμπειρία της βραβευμένης καλλιέργειας υδροπονικής φράουλας (FraoulaBest© solution).

Τα προϊόντα που παράγονται είναι έτοιμα για κατανάλωση, χωρίς να χρειάζονται πλύσιμο. Είναι αποτέλεσμα μιας απόλυτα φυσιολογικής διαδικασίας, και το κυριότερο, προέρχονται από παραγωγούς απόλυτα εξειδικευμένους, οι οποίοι τηρούν αυστηρές διαδικασίες και υπόκεινται σε ελέγχους.

Η πιστοποίηση των καλλιεργητικών πρακτικών γίνεται με βάση διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα (GLOBALG.A.P., ISO2000, AGRO 2.1 - 2.2).

Σύμφωνα με την DKG Group (<http://gr.maroulibest.com/>) με το σύστημα αυτό παράγονται 40-84 χιλιάδες τεμάχια ανά στρέμμα με 6-9 κύκλους ανά έτος, 5 ημέρες περισσότερο διατηρησιμότητα, 100% υπέροχη γεύση, 100% πράσινη επιχειρηματικότητα και 100%καθαρο προϊόν

