

ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ-ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ-ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

Νατάσα Μπράτη, Αχιλέας Αναστασίου, Γεωπόνοι-ερευνητές ΓΠΑ.

1.ΓΕΝΙΚΑ

Η **υδροπονική καλλιέργεια** είναι μία προηγμένη και εξελιγμένη τεχνική καλλιέργειας με την οποία τα φυτά αναπτύσσονται χωρίς τη χρησιμοποίηση εδάφους ή εδαφικών μιγμάτων. Η σωστή θρέψη των φυτών εξασφαλίζεται με κάποιο θρεπτικό διάλυμα. Το θρεπτικό διάλυμα αποτελείται από νερό μέσα στο οποίο βρίσκονται διαλυμένα, σε ισορροπία μεταξύ τους, όλα τα απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζονται τα φυτά για την ανάπτυξή τους. Η υδροπονία επιτρέπει τον απόλυτο έλεγχο της θρέψης των φυτών, και όταν εφαρμόζεται σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες, με τον παράλληλο έλεγχο των συνθηκών του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, καθιστά δυνατή την εντατικοποίηση και τον προγραμματισμό της καλλιέργειας.

Η Ελλάδα διαθέτει άριστες κλιματικές συνθήκες για την ανάπτυξη των θερμοκηπιακών υδροπονικών καλλιεργειών. Η μετάβαση στις υδροπονικές καλλιέργειες και η σωστή διαχείρισή τους έχει μεγάλη σημασία, προκειμένου να μπορέσει η χώρα να συμβαδίσει με τους συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς των απαιτήσεων της αγοράς, η οποία λειτουργεί σε ανταγωνιστική βάση.

Η ετήσια ηλιοφάνεια και θερμοκρασία βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, που επιτρέπουν την εφαρμογή καλλιεργειών με περιορισμένες απαιτήσεις σε θέρμανση. Τεχνητός φωτισμός δεν είναι απαραίτητος στις ελληνικές συνθήκες, με εξαίρεση φυτά με ιδιαίτερες απαιτήσεις. Τα στοιχεία αυτά είναι πολύ σημαντικά διότι μπορούν να καταστήσουν την Ελλάδα ανταγωνιστική σε ποιότητα, ποσότητα και σε τιμή προϊόντων με άλλες χώρες, οι οποίες έχουν σήμερα το προβάδισμα λόγω σωστής διαχείρισης και εντατικοποίησης των υδροπονικών καλλιεργειών, ενώ υπολείπονται σε κλιματικές συνθήκες. Οι βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες, με χρήση υδροπονικών συστημάτων επιτυγχάνουν υπερδιπλάσια παραγωγή και καλό χρονισμό παραγωγής.

2.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η τεχνική της υδροπονίας διαθέτει πληθώρα **πλεονεκτημάτων** έναντι των συμβατικών μεθόδων καλλιέργειας. Κατά κύριο λόγο πλεονεκτεί γιατί προσφέρει τη δυνατότητα για επιτυχή καλλιέργεια ακόμα και σε μη ευνοϊκές συνθήκες, όπως για παράδειγμα σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κατάλληλο έδαφος ή σε περιπτώσεις όπου το διαθέσιμο νερό λόγω υψηλής αλατότητας είναι ακατάλληλο για καλλιέργεια εδάφους. Άλλο πλεονέκτημα των υδροπονικών καλλιεργειών είναι η **απαλλαγή από ζιζάνια και ασθένειες εδάφους**. Δεδομένου μάλιστα ότι το βρωμιούχο μεθύλιο έχει απαγορευτεί, είναι πλέον μεγάλο πρόβλημα η απολύμανση του εδάφους. Επιπλέον, οι ανάγκες για διάφορες καλλιεργητικές τεχνικές όπως το όργωμα, η απολύμανση, η λίπανση, η ζιζανιοκτονία και η αμειψισπορά εξαλείφονται. Τέλος, η τεχνική είναι οικονομικά βιώσιμη ακόμα και σε περιοχές με υψηλό κόστος γης, δεδομένου ότι είναι εφικτές μεγάλες αποδόσεις.

3. ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα ποικίλα υδροπονικά **συστήματα** που έχουν αναπτυχθεί ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα συστήματα στα οποία δε συμμετέχει κάποιο υπόστρωμα και η καλλιέργεια των φυτών λαμβάνει χώρα απευθείας επάνω στο θρεπτικό διάλυμα. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει υδροπονικά συστήματα στα οποία χρησιμοποιείται υπόστρωμα, οργανικής ή ανόργανης φύσης.

ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ		
ΜΕ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ		ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ
ΣΤΕΡΕΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ Ο ΑΕΡΑΣ	ΝΕΡΟ
Ανόργανα	Αεροπονία	N.F.T.
Οργανικά		Επιπλέουσα Υδροπονία
Μίγματα		

	Συστήματα ανοικτά ή κλειστά
	Συστήματα μόνο κλειστά

3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

Στα συστήματα της πρώτης κατηγορίας (συστήματα χωρίς υπόστρωμα) οι ρίζες αναπτύσσονται σε κανάλια συνεχούς ή μη συνεχούς ροής θρεπτικού διαλύματος. Ένα παράδειγμα συστήματος χωρίς υπόστρωμα με συνεχή ροή διαλύματος είναι το γνωστό **N.F.T.** (Nutrient Film Technique – καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος) στο οποίο οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε κανάλια μεγάλου μήκους, μέσα στα οποία ρέει μία λεπτή στρώση θρεπτικού διαλύματος. Τα κανάλια του NFT είναι συνήθως επενδεδυμένα με ειδικό πλαστικό, το οποίο είναι λευκό από την εξωτερική πλευρά και μαύρο από την εσωτερική. Το NFT είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας στον κόσμο, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους εγκατάστασης που το απαιτείται.

Στην περίπτωση που δεν έχουμε ροή του θρεπτικού διαλύματος, το υδροπονικό σύστημα



Επιπλέουσα υδροπονία σε φελιζόλ

διαθέτει μεγάλη αποθήκη διαλύματος μέσα στην οποία αναπτύσσονται τα φυτά. Για τον εμπλουτισμό του διαλύματος με το απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών οξυγόνο, το σύστημα είναι εφοδιασμένο με ειδική αντλία, η οποία διοχετεύει αέρα στον χώρο της δεξαμενής. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε μία τεχνική που αναπτύσσεται τελευταία στην Ιαπωνία και αλλού και ονομάζεται **επιπλέουσα υδροπονία** (floated hydroponics). Στην επιπλέουσα υδροπονία, διάφορα χαμηλά λαχανικά, όπως για παράδειγμα μαρούλια, τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένες πλάκες φελιζόλ, οι οποίες διαθέτουν οπές στις θέσεις των φυτών. Οι πλάκες αυτές επιπλέουν στην δεξαμενή που περιέχει το αεριζόμενο θρεπτικό διάλυμα. Κατ' αυτόν τον τρόπο τα φυτά καλύπτουν τις ανάγκες τους σε θρεπτικά στοιχεία.

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία υδροπονικών συστημάτων περιλαμβάνει συστήματα στα οποία τα φυτά αναπτύσσονται σε υποστρώματα. Τα υποστρώματα αυτά μπορεί να είναι είτε στερεά είτε ο αέρας (αεροπονία).

3.2.1 ΣΤΕΡΕΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Τα στερεά υποστρώματα είναι τεχνητά υλικά, τα οποία έχουν τέτοιες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες ώστε να διατηρούν ιδανικές αναλογίες νερού και αέρα στην περιοχή της ρίζας για την καλύτερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει ένα υπόστρωμα ώστε να είναι κατάλληλο για την υδροπονία είναι τα ακόλουθα: να είναι αδρανές (δηλαδή να μην αντιδρά με το θρεπτικό διάλυμα) να έχει ουδέτερο pH, να έχει υψηλό πορώδες, να είναι χαμηλής πυκνότητας (μικρού βάρους), να είναι υδρόφιλο, να έχει διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από τρία χρόνια, να είναι χαμηλού κόστους και να είναι απαλλαγμένο από φυτονόσους. Τα διάφορα **υποστρώματα** που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία διακρίνονται σε **ανόργανα**, **οργανικά** και διάφορα **μίγματα**.

Ανόργανα Υποστρώματα

Από τα ανόργανα υποστρώματα αυτά που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι ο πετροβάμβακας, η ελαφρόπετρα, η άμμος, ο περλίτης κ.ά.

Ο **πετροβάμβακας** είναι σήμερα το πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενο υπόστρωμα στις υδροπονικές καλλιέργειες για την παραγωγή τομάτας, αγγουριού και άλλων φυτών,



Υδροπονία τομάτας σε πετροβάμβακα

παρά το γεγονός ότι γίνονται προσπάθειες για εύρεση υποστρώματος, το οποίο θα τον αντικαταστήσει. Οι προσπάθειες αυτές γίνονται με σκοπό να βρεθεί λύση στο οικολογικό πρόβλημα που δημιουργεί η διάθεση των χρησιμοποιημένων πλακών του πετροβάμβακα στο περιβάλλον. Κύριο πλεονέκτημά του, όταν χρησιμοποιείται στις υδροπονικές καλλιέργειες, είναι η ικανότητα που διαθέτει να συγκρατεί πολύ μεγάλες ποσότητες θρεπτικού διαλύματος δεδομένου ότι οι πόροι του καταλαμβάνουν το 96% του όγκου του. Έτσι χρησιμοποιούμε ελάχιστο όγκο υποστρώματος (πχ 2 λίτρα ανά φυτό) όσο δηλαδή είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη αρκετών ριζιδίων για αναρρόφηση ύδατος.

Η **ελαφρόπετρα** είναι μία εγχώρια πρώτη ύλη, χαμηλού κόστους, η οποία έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα κατά την χρησιμοποίησή της σε υδροπονικές καλλιέργειες. Ωστόσο, κατά την εφαρμογή της θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αξιοπιστία των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για την άρδευση, διότι λόγω του ελάχιστου μικροπορώδους δεν συγκρατεί μεγάλες ποσότητες νερού και έτσι απαιτεί πολύ συχνά έως και συνεχή ποτίσματα. Και ο όγκος του ανά φυτό υποστρώματος είναι μεγαλύτερος από πετροβάμβακα ή περλίτη. Επίσης χρειάζεται ειδική τεχνική κατά την φύτευση. Στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών γίνονται πειράματα αξιολόγησης τριών υποστρωμάτων (περλίτη-ελαφρόπετρας-cocsoil) σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς. Η ελαφρόπετρα επιδεικνύει καλύτερη σταθερότητα στο χρόνο αλλά, όταν έπαθε βλάβη η αντλία άρδευσης, η τριανταφυλλιά σε ελαφρόπετρα έπαθε μεγαλύτερο υδατικό στρες, καθότι η αποθηκευμένη ποσότητα νερού είναι ελάχιστη. Γιαυτό συνιστάται στην υδροπονία, γενικά, να υπάρχει εφεδρική αντλία άρδευσης αφού ο χρόνος αντίδρασης είναι μερικές μόνο ώρες, πριν αρχίσουν οι βλαβερές επιπτώσεις.



Καλλιέργεια αγγουριάς σε ελαφρόπετρα

Ο **περλίτης** έχει καλύτερη κοκκομετρική σύσταση και μικρό βάρος και σαυτό πλεονεκτεί έναντι της ελαφρόπετρας. Δίνει καλή συμπεριφορά και σε πολυετείς καλλιέργειες (πχ τριανταφυλλιάς). Το κόστος βρίσκεται σε ενδιάμεση θέση μεταξύ πετροβάμβακα και ελαφρόπετρας.

Ο **περλίτης** έχει καλύτερη κοκκομετρική σύσταση και μικρό βάρος και σαυτό πλεονεκτεί έναντι της ελαφρόπετρας. Δίνει καλή συμπεριφορά και σε πολυετείς καλλιέργειες (πχ τριανταφυλλιάς). Το κόστος βρίσκεται σε ενδιάμεση θέση μεταξύ πετροβάμβακα και ελαφρόπετρας.

Οργανικά Υποστρώματα

Από τα οργανικά υποστρώματα μπορούμε να αναφέρουμε την τύρφη, τη διογκωμένη άργιλλο, το coco soil κ.ά. Θεωρούνται ότι δίδουν καλύτερο περιβάλλον ρίζας (πχ ανάπτυξη ωφέλιμων μικροβίων) και είναι λιγότερο επιζήμια για το περιβάλλον, καθότι αποδομούνται και ενσωματώνονται με το έδαφος. Αντιδρούν όμως με τα χημικά στοιχεία του διαλύματος γιατί η συνταγή χρειάζεται παρακολούθηση και ρύθμιση.

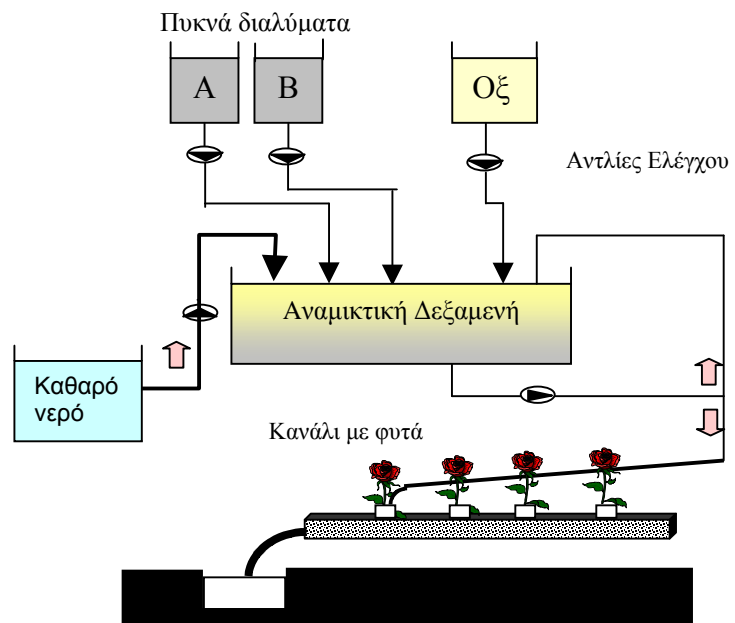
Η **τύρφη** σχηματίζεται κατά την μερική αποδόμηση των φυτών κάτω από αναερόβιες ή ημιαερόβιες συνθήκες. Έχει χαμηλό pH και χαμηλά επίπεδα σε θρεπτικά στοιχεία. Οι τυρφώδεις εκτάσεις σχηματίζονται σε κλιματικές συνθήκες υψηλής βροχόπτωσης, χαμηλής εξάτμισης, χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας και χαμηλών θερμοκρασιών. Το υψηλό κόστος της τύρφης είναι περιοριστικός παράγοντας για την χρησιμοποίησή της ακόμα και ως συστατικό μιγμάτων, ιδιαίτερα σε χώρες που δεν διαθέτουν πηγές τύρφης, όπως η Ελλάδα.

Μίγματα

Στην υδροπονία εκτός από τα οργανικά και τα ανόργανα υποστρώματα χρησιμοποιούνται και διάφορα μίγματα, όπως για παράδειγμα μίγμα τύρφης, βερμικουλίτη και περλίτη ή μίγμα τύρφης και άμμου.

3.2.2. ΑΕΡΟΠΟΝΙΑ

Στην **αεροπονία** τα φυτά καλλιεργούνται σε πλάκες φελιζόλ και οι ρίζες τους αναπτύσσονται σε διάκενο που υπάρχει κάτω από αυτές τις πλάκες. Στο διάκενο αυτό ψεκάζεται περιοδικά το νέφος (πολύ μικρά σταγονίδια) του θρεπτικού διαλύματος σε κατάσταση σκότους για την αποφυγή ανάπτυξης αλγών. Η αεροπονία είναι μία νέα τεχνική η οποία βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και δεν χρησιμοποιείται σε εμπορική κλίμακα.



Εικόνα 1: Σχεδιάγραμμα ανοικτού (χωρίς ανακύκλωση) υδροπονικού συστήματος A/B δεξαμενών με χρήση αναμικτικής δεξαμενής.

4. ΚΛΕΙΣΤΑ - ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ένας άλλος διαχωρισμός των υδροπονικών συστημάτων είναι αυτός που γίνεται με βάση τον **τρόπο διαχείρισης του θρεπτικού διαλύματος**. Με βάση αυτόν τον διαχωρισμό τα υδροπονικά συστήματα διακρίνονται σε ανοικτά και κλειστά (ανακυκλούμενα).

4.1 ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα **ανοικτά συστήματα** είναι τα πιο απλά και χρονολογικά τα πρώτα που αναπτύχθηκαν. Έχουν διαδοθεί περισσότερο και έχουν λιγότερες απαιτήσεις. Στα συστήματα αυτά, τα υγρά της αποστράγγισης δεν ανακυκλώνονται αλλά απορρίπτονται. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα αυξημένες απώλειες λιπασμάτων με την απορροή και ρύπανση του εδάφους και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Οι δύο αυτοί λόγοι οδήγησαν στην ανάπτυξη των κλειστών συστημάτων, που σε λίγα χρόνια θα διαδεχθούν τα ανοικτά.

Το σύστημα MACQU, όταν χρησιμοποιείται σε ανοικτό υδροπονικό σύστημα, διαθέτει



Καλλιέργεια τριανταφυλλιάς σε ανοικτό σύστημα ειδικό πρόγραμμα (προγραμματικό ηλεκτρονικό φύλλο) για να περιορίζει την απορροή με ακρίβεια στο απαιτούμενο ποσοστό. Το πρόγραμμα αυτό είναι πρωτότυπο και αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια ερευνητικού προγράμματος. Έχει την ικανότητα να μετρά τυχόν σφάλματα και να υπολογίζει καλύτερα το επόμενο πότισμα. Έτσι μετά από μερικά ποτίσματα έχει «μάθει» να υπολογίζει τις ανάγκες σε νερό με μεγάλη ακρίβεια και βέβαια



Πολυδύναμη συσκευή MACQU 0-25m³/h

προσαρμόζεται αυτόματα στις καιρικές συνθήκες και στην ανάπτυξη του φυτού. Αν για παράδειγμα ο χρήστης ορίσει την επιθυμητή απορροή σε 10% η πραγματική θα είναι 9-11% σε κάθε πότισμα κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες.

4.2 ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

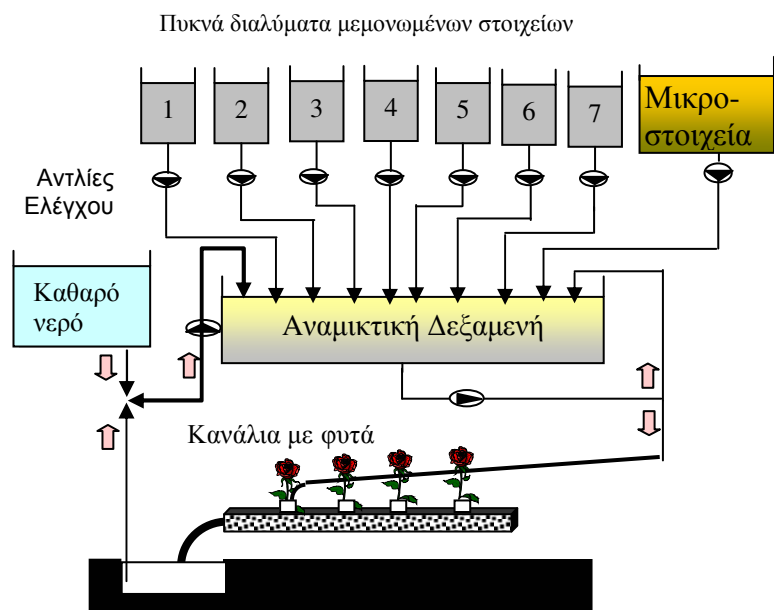
Στα **κλειστά συστήματα** το διάλυμα της απορροής ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό. Με τον τρόπο αυτό έχουμε οικονομία στην κατανάλωση λιπασμάτων και σημαντική μείωση της ρύπανσης.

Κατά την εφαρμογή του κλειστού συστήματος συνιστάται, για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων, η χρησιμοποίηση μεμονωμένων δεξαμενών για κάθε θρεπτικό στοιχείο. Αυτό κρίνεται απαραίτητο διότι σε κάθε κύκλο του θρεπτικού διαλύματος, λόγω της διαφορετικής απορρόφησης κάθε στοιχείου από τα φυτά, το ανακυκλούμενο διάλυμα χάνει την σωστή του σύσταση ακόμα και αν εμπλουτίζεται με φρέσκο διάλυμα (που προέρχεται από σύστημα δεξαμενών Α, Β, Ο). Με το σύστημα όμως των μεμονωμένων δεξαμενών η ρύθμιση του ανακυκλούμενου

διαλύματος είναι ακριβής γιατί βασίζεται στην

απορρόφηση κάθε στοιχείου χωριστά. Στην πράξη, αυτή η τεχνική δεν εφαρμόζεται ακόμα αλλά θα επικρατήσει στο εγγύς μέλλον. Το σύστημα Macqui έχει ιδιαίτερη ικανότητα στο χειρισμό πολλών δεξαμενών και λόγω κατασκευής του προγράμματος και λόγω ειδικού «πολυβεντούρι» που επινοήθηκε κατά την διάρκεια του ερευνητικού προγράμματος για την αντιμετώπιση αυτής της αναμενόμενης ανάγκης κλειστών συστημάτων (ή ακόμη και για την δυνατότητα παρασκευής πολλών διαφορετικών συνταγών όταν καλλιεργούνται διάφορα φυτά). Το τελευταίο προστατεύεται από δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.

Τα κλειστά συστήματα είναι πιο ευαίσθητα σε επιμολύνσεις του ριζικού συστήματος και ένα σημαντικό μειονέκτημά τους είναι η πιθανή εξάπλωση ασθενειών σε όλα τα φυτά της καλλιέργειας. Το υψηλό κόστος επένδυσης σε εξοπλισμό απολύμανσης της επανακυκλοφορίας, είναι ένας από τους περιοριστικούς παράγοντες διάδοσης αυτού του τύπου



Εικόνα 2: Σχεδιάγραμμα κλειστού (με ανακύκλωση) υδροπονικού συστήματος δεξαμενών μεμονωμένων θρεπτικών στοιχείων, με χρήση αναμικτικής δεξαμενής.

υδροπονικών συστημάτων. Όταν ληφθούν ιδιαίτερα μέτρα επιμολύνσεων και διατήρησης καλών συνθηκών στην ανακυκλοφορία είναι δυνατό να αποφευχθεί η ανάγκη για απολύμανση του διαλύματος.

Από μελέτες οικονομικών, τεχνικών και περιβαλλοντικών στοιχείων κλειστών συστημάτων, για διάφορες ομάδες φυτών, έγινε ξεκάθαρο το γεγονός ότι με τα κλειστά υδροπονικά συστήματα η κατανάλωση νερού και λιπασμάτων μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Η διατήρηση εύρωστων φυτών και καλού εναερίου και ριζικού περιβάλλοντος καθώς και η προσεκτική ρύθμιση της ανακύκλωσης είναι φυσικοί τρόποι της μείωσης της πιθανότητας μόλυνσης. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται καλή γνώση και συνεχής παρακολούθηση ώστε να γίνεται ελάχιστη χρήση χημικών απολυμαντικών και μόνο όταν οι συνθήκες επιβάλλουν προληπτικά μέτρα. Η χρήση βιολογικών φίλτρων είναι μία νέα φυσική μέθοδος η οποία χρήζει διερεύνησης στις ελληνικές κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες.

Σε πολλές χώρες, η νομοθεσία θα οδηγήσει στην υποχρεωτική χρήση κλειστών συστημάτων,

αποβλέποντας στην μείωση της ρύπανσης των εδαφών και των υπογείων υδάτων. Κατά την εγκατάσταση κλειστού συστήματος πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στο κύκλωμα επιστροφής (σκότος, καθαριότητα, χαμηλή θερμοκρασία, φίλτρο άμμου).



Η χρήση κλειστών υδροπονικών συστημάτων σε

Καλλιέργεια τομάτας σε κλειστό σύστημα

θερμοκήπια, με σωστή διαχείριση της παροχής των θρεπτικών στοιχείων, μπορεί να μειώσει σημαντικά τόσο την μόλυνση όσο και τις ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα των κλειστών υδροπονικών συστημάτων διότι το **πρόβλημα με το νερό** αποτελεί ίσως το σπουδαιότερο πρόβλημα της σύγχρονης γεωργίας και είναι συνεχώς αυξανόμενο.

5. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΜΕ ΤΟ ΝΕΡΟ

Το πρόβλημα με το νερό έχει δύο συνιστώσες, την ποσοτική και την ποιοτική. Σε ό,τι αφορά το πρόβλημα της **ποσότητας του νερού**, είναι σε όλους μας γνωστό ότι τα υδατικά αποθέματα της Μεσογείου εξαντλούνται με γρήγορους ρυθμούς. Η έντονη αστικοποίηση και η

συνεχής αύξηση της κατανάλωσης του νερού για άλλους σκοπούς, παράλληλα και πέρα από τη γεωργία, έχει οδηγήσει σε πτώση της στάθμης των υπογείων υδροφόρων οριζόντων. Προβλήματα λειψυδρίας έχουν παρουσιαστεί εντονότατα και στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια και είναι ακόμα πιο έντονα σε νοτιότερες χώρες της Μεσογείου όπως η Αίγυπτος, το Ισραήλ και η Παλαιστίνη.

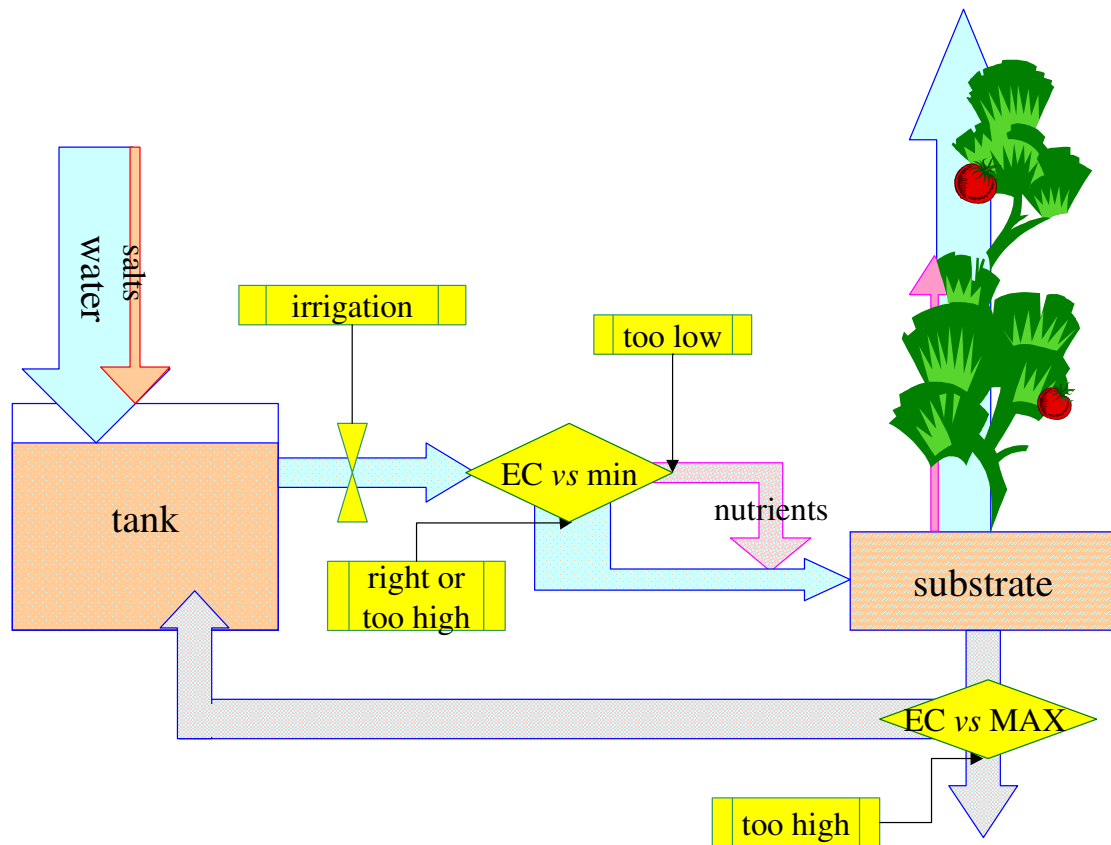
Όσον αφορά την **ποιοτική υποβάθμιση** του νερού, αξίζει να αναφερθεί ότι σε πολλούς παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες Μεσογειακών χωρών, όπως το Μαρόκο, η Αίγυπτος και η Παλαιστίνη, οι οποίοι τροφοδοτούν γεωργικά πηγάδια, έχει παρατηρηθεί εισχώρηση θαλασσινού νερού και μόλυνση από νιτρικές ουσίες και φυτοφάρμακα. Το πρόβλημα αυτό απειλεί πολλές περιοχές και στη χώρα μας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) των διαθέσιμων υπόγειων υδροφόρων οριζόντων στις περισσότερες περιοχές της Μεσογείου που καλλιεργούνται με κηπευτικά είναι περίπου 3 mmhos και αυξάνεται. Για να εμποδίσουμε την συσσώρευση αλάτων στην περιοχή της ριζόσφαιρας, ως γνωστόν παρέχουμε νερό σε αφθονία, με αποτέλεσμα να αυξάνεται κατά πολύ το κόστος παραγωγής και να προκαλείται σοβαρή ρύπανση του περιβάλλοντος. Αλλά και τα ανεξέλεγκτα αστικά και αρδευτικά υδατικά απόβλητα μολύνουν τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες με δηλητηριώδη υπολείμματα από οικιακά απορρυπαντικά, βιοχημικά σκευάσματα, λιπάσματα και φυτοφάρμακα.

Πιο συγκεκριμένα, για τα κλειστά υδροπονικά συστήματα, το πρόβλημα του νερού έγκειται στην αυξημένη αλατότητα. Ο καλλιεργητής έχει να αντιμετωπίσει τόσο την εξαρχής υψηλή αλατότητα του νερού, δεδομένου ότι η υδροπονία δίνει την δυνατότητα χρησιμοποίησης τέτοιου νερού, αλλά και την αλατότητα που παρουσιάζεται εκ των υστέρων στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα κατά την λειτουργία του κλειστού συστήματος. Οι δύο αυτοί παράγοντες προκαλούν μία σταδιακή αύξηση της οσμωτικής πίεσης και της περιεκτικότητας του υδατικού διαλύματος σε τοξικά ιόντα, όπως θειικά και χλωριούχο νάτριο, γεγονός που έχει επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών και τη συνολική παραγωγή, τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές.

6. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

6.1 Τρόποι διαχείρισης του διαλύματος.

Η αλατότητα του διαλύματος που απορρέει στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, αυξάνει από κύκλο σε κύκλο. Η αύξηση αυτή μπορεί να είναι από ελάχιστη μέχρι και 24% σε κάθε κύκλο. Η κύρια αιτία που την προκαλεί είναι η εξατμισοδιαπνοή. Η εξατμισοδιαπνοή είναι μία φυσιολογική λειτουργία μέσω της οποίας τα φυτά αποδίδουν στο περιβάλλον καθαρό νερό. Όσο αυξάνει ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής τόσο ελαττώνεται η ειδική απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνει η αλατότητα στο υπόστρωμα, γιατί καθώς μειώνεται, λόγω εξατμισοδιαπνοής, ο όγκος του καθαρού νερού στο διάλυμα, η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων συνεχώς αυξάνει, με άλλα λόγια μειώνεται



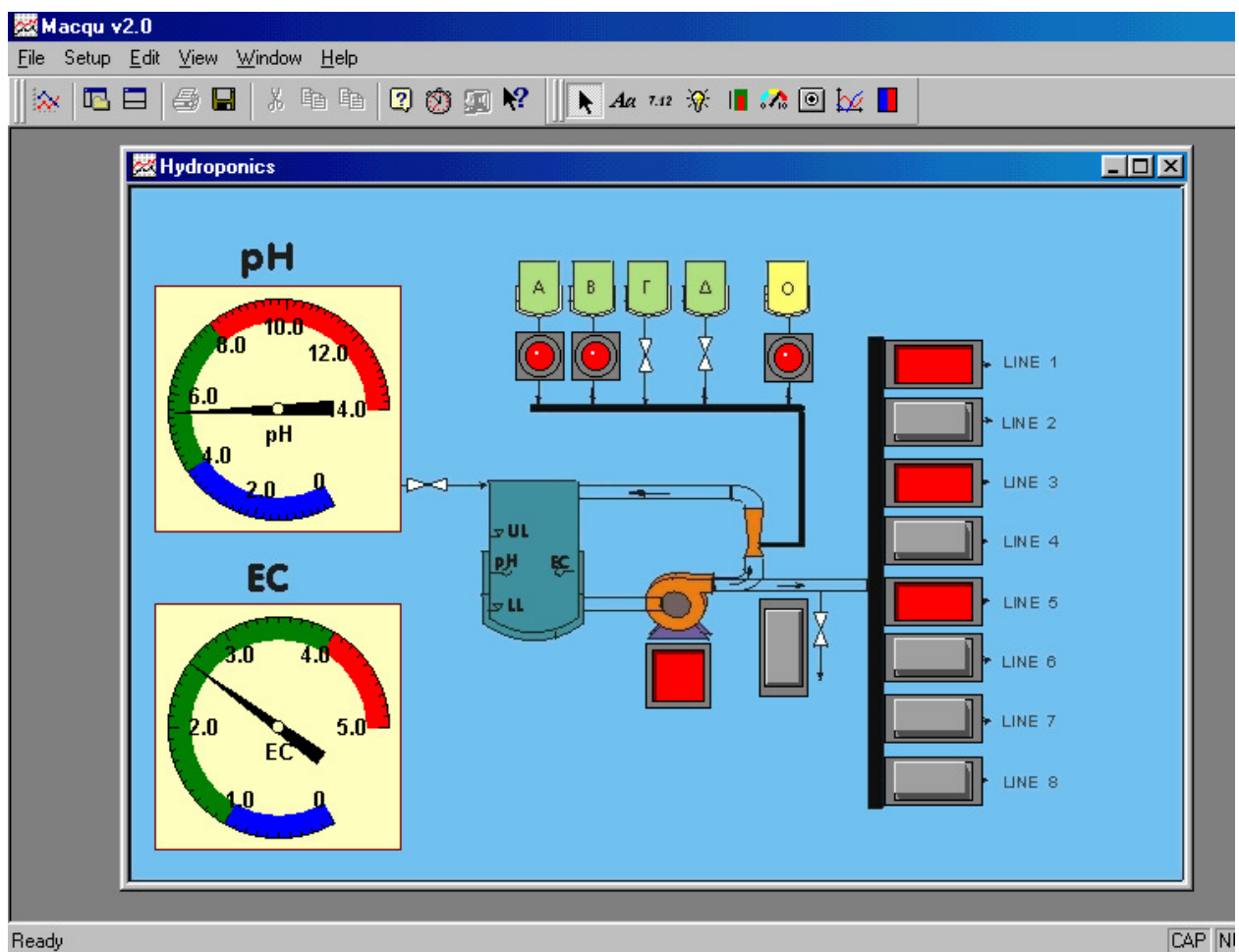
Μοντέλο μελέτης κλειστών συστημάτων από το Hortimed

η ειδική απορρόφησή τους. Δηλαδή σε συνθήκες αυξημένης εξατμοδιαπνοής η ρίζα απορροφά νερό με μεγαλύτερη προτίμηση και η συγκέντρωση του ανερχόμενου προς τα φύλλα διαλύματος είναι μικρότερη από αυτή του ριζοστρώματος. Για το λόγο αυτό συνιστάται χαμηλότερο EC διαλύματος όταν οι συνθήκες είναι θερμές και ξηρές. Μερικά υδροπονικά μηχανήματα μπορούν και μεταβάλλουν το EC αυτόματα σε κάθε πότισμα. Βέβαια, επηρεάζεται και η αναλογία των στοιχείων που απορροφούνται και κανονικά πρέπει να μεταβάλλονται και οι αναλογίες των στοιχείων, πράγμα το οποίο απαιτεί περισσότερες δεξαμενές από την Α και Β (εικόνα 1 και 2). Δεν υπάρχουν όμως ακόμη σαφή δεδομένα για κάθε στοιχείο αλλά θα προκύψουν σύντομα από διάφορα ερευνητικά προγράμματα (πχ το Hortimed). Προς το παρόν η χρήση δεξαμενών Α και Β, με αυτόματη προσαρμογή EC, είναι αρκετή αρκεί το μηχάνημα να έχει δυνατότητα να υποστηρίξει και περισσότερες δεξαμενές και προσαρμογή αναλογιών.

Ωστόσο, υπάρχουν **τεχνικές διαχείρισης του θρεπτικού διαλύματος** με βάση τις οποίες καταπολεμάται η αύξηση της αλατότητας ή έστω επιτυγχάνεται μείωση του ρυθμού αύξησής της.

Ένας τέτοιος τρόπος είναι η ανάμειξη καθαρού νερού (χαμηλότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας) με το νερό της απορροής καθώς και η αφαίρεση μικρού όγκου του νερού της απορροής και αντικατάστασή του με καθαρό νερό. Και στις δύο περιπτώσεις επιτυγχάνεται μείωση του ρυθμού με τον οποίο αυξάνει η αλατότητα του απορρέοντος διαλύματος. Είναι μάλιστα δυνατόν σε διάστημα επτά κύκλων άρδευσης η αλατότητα να αυξηθεί συνολικά μόνο

κατά 31% σε σχέση με το αρχικό διάλυμα ενώ στην περίπτωση που δεν ακολουθηθεί αυτή η διαδικασία, θα αυξηθεί 24% σε κάθε μεμονωμένο κύκλο. Ένας δεύτερος τρόπος διαχείρισης του θρεπτικού διαλύματος σε κλειστά υδροπονικά συστήματα είναι η ολική ανανέωση του διαλύματος όταν τα επίπεδα της αλατότητας πλησιάσουν τα ανώτερα επιτρεπτά όρια. Ερευνητικά αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι δεν υπάρχει αξιόλογη διαφορά ανάμεσα στις δύο αυτές τεχνικές ούτε ως προς την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών αλλά ούτε και ως προς το κόστος εφαρμογής τους. Το Hortimed έχει ήδη αρχίσει πειράματα για να απαντήσει σε αυτό το ερώτημα αλλά προς το παρόν, για το δικό μας κλίμα, συνιστάται η δεύτερη τακτική (ολική ανακύκλωση και ολική ανανέωση όταν η αλατότητα (αγωγιμότητα) φθάσει ένα όριο). Το όριο αυτό εξαρτάται από το αρχικό επίπεδο και βέβαια από τις κρατούσες συνθήκες. Σε προηγούμενο ερευνητικό έργο (το MACQU) μελετήθηκε η επίδραση της αγωγιμότητας στην



Παρουσίαση λειτουργίας της υδροπονίας στο σύστημα MACQU

τομάτα και βρέθηκε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι και 9mmohs, η συλλεγόμενη ποσότητα μειώνεται ελάχιστα (οι καρποί είναι μικρότεροι) αλλά η ποιότητα (σε γεύση) αυξάνει λόγω αυξημένων υδατοδιαλυτών αλάτων.

6.2 Τρόποι διαχείρισης του νερού

Πολύ σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση του προβλήματος της αλατότητας στα κλειστά υδροπονικά συστήματα παίζει η σωστή διαχείριση του διαθέσιμου νερού. Με τον όρο σωστή διαχείριση νερού εννοούμε τόσο την **αποδοτικότερη χρήση του νερού καλής ποιότητας** όσο και την **καλύτερη κατά το δυνατόν αξιοποίηση του νερού χαμηλής ποιότητας**.

ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΛΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Η αποδοτικότερη χρήση του νερού καλής ποιότητας επιτυγχάνεται κυρίως με την χρησιμοποίηση του σε **ευαίσθητες καλλιέργειες**. Όπως είναι γνωστό η ανθεκτικότητα των φυτών στην αλατότητα διαφέρει τόσο με το είδος του φυτού όσο και με το στάδιο ανάπτυξής του. Επομένως, γνωρίζοντας τα είδη που είναι ευαίσθητα στα υψηλά επίπεδα αλατότητας, μπορούμε να αξιοποιήσουμε στο έπακρο το καλής ποιότητας νερό, χρησιμοποιώντας το σε τέτοιες καλλιέργειες, οι οποίες διαφορετικά δεν θα μπορούσαν να αποδώσουν ικανοποιητικά. Σημαντικό επίσης είναι να γίνεται χρήση της διαθέσιμης ποσότητας καλής ποιότητας νερού (πχ βρόχινο, από αρνητική ώσμωση, κλπ) στα κατάλληλα (ευαίσθητα) στάδια ανάπτυξης καθώς και σε σχέση με την προβλεπόμενο καιρό (υψηλής εξατμοδιαπνοής) της περιοχής. Για το λόγο αυτό αναπτύσσεται από το Hortimed, και θα ενσωματωθεί στο σύστημα Macqu, ειδικό πρόγραμμα διαχείρισης πολλών πηγών νερού.

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Επιπλέον, είναι εξίσου σημαντική η προσπάθεια αξιοποίησης του νερού που θεωρείται



Πειράματα αντοχής στην αλατότητα, αγγουριάς σε άμμο, στην Αίγυπτο

χαμηλής ποιότητας. Εκτός από την χρησιμοποίησή του σε ανθεκτικές καλλιέργειες (ρυθμίζοντας ανάλογα τη συνταγή του διαλύματος), το νερό "κακής" ποιότητας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και σε θερμοκηπιακές, υδροπονικές καλλιέργειες στις οποίες επιτυγχάνεται ο κατάλληλος έλεγχος του κλίματος (εμπλουτισμός με CO₂, σκίαση, αύξηση της υγρασίας), έτσι ώστε με την **μείωση της εξατμισοδιαπνοής** να μειώνονται σε μεγάλο βαθμό οι δυσμενείς επιπτώσεις της χρησιμοποίησης νερού υψηλής αλατότητας. Όπως είναι γνωστό στη χώρα μας είναι απαραίτητη η ψύξη/σκίαση των θερμοκηπίων. Η χρήση δροσισμού με νερό επιτυγχάνει συγχρόνως την μείωση της θερμοκρασίας και την αύξηση της υγρασίας. Όταν το νερό είναι αλατούχο το σύστημα wet-pad υπερτερεί του δροσισμού δια ψεκασμού (Fog ή mist) καθόσον ο ψεκασμός λεκιάζει τα φυτά και τους καρπούς.

Επίσης, ο σύγχρονος διαθέσιμος εξοπλισμός για τα θερμοκήπια δίνει την δυνατότητα της **συνεχούς αναπροσαρμογής του θρεπτικού διαλύματος** ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Έτσι, ενώ για παράδειγμα παλιότερα ο έλεγχος της αγωγιμότητας στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα γινόταν μόνο μία φορά στις δέκα ημέρες, σήμερα ο παραγωγός έχει την ευχέρεια του συνεχούς ελέγχου της αγωγιμότητας, καθώς και της μέτρησης διάφορων κλιματικών παραμέτρων, όπως για παράδειγμα η ηλιακή ακτινοβολία. Δηλαδή, με την χρησιμοποίηση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, στην περίπτωση που, παραδείγματος χάριν, παρατηρείται αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας, η συνταγή του θρεπτικού διαλύματος τροποποιείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε, παρά την αυξημένη εξατμισοδιαπνοή που θα παρατηρηθεί, η αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής να μην υπερβεί τα επιτρεπτά όρια.

Μία άλλη τεχνική που εφαρμόζεται για την αποδοτικότερη χρήση του νερού χαμηλότερης ποιότητας είναι η ακόλουθη. Το "καλό" νερό χρησιμοποιείται σε μία καλλιέργεια με μικρή ανθεκτικότητα στην αλατότητα και η αλατότητα του ανακυκλούμενου διαλύματος αυξάνει. Στη συνέχεια, το διάλυμα αυτό χρησιμοποιείται σε άλλη καλλιέργεια με μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην αλατότητα από την πρώτη. Κατά την δεύτερη αυτή καλλιέργεια, η αλατότητα στην απορροή αυξάνει πάλι, και το νέο διάλυμα που προκύπτει από την απορροή χρησιμοποιείται για τρίτη καλλιέργεια πιο ανθεκτική κ.ο.κ, έως ότου η συγκέντρωση των αλάτων στο διάλυμα αυξηθεί τόσο που να καθίσταται αδύνατη η περαιτέρω χρησιμοποίησή του ή τελική χρήση σε ανοικτό σύστημα ή σε υπαίθρια καλλιέργεια.

Τέλος, υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους **μειώνεται η "εξάρτηση"** των καλλιεργητών από το νερό καλής ποιότητας. Μπορούμε να αναφέρουμε ενδεικτικά την συλλογή και χρησιμοποίηση του βρόχινου νερού, την αφαλάτωση, την βελτίωση με αναστροφή ώσωση ή ακόμα και την χρήση των βιομηχανικών αποβλήτων, κατόπιν βέβαια της κατάλληλης επεξεργασίας. Τα διάφορα βιομηχανικά απόβλητα είναι εμπλουτισμένα με θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά και γι' αυτό το λόγο είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την άρδευση σε υδροπονικές καλλιέργειες, εφόσον η συνταγή του θρεπτικού διαλύματος ρυθμιστεί έτσι ώστε να υπάρχει ισορροπία. Ωστόσο, και οι τέσσερις προαναφερθείσες τεχνικές απαιτούν υψηλό κόστος εγκατάστασης, το οποίο θα πρέπει να δικαιολογείται από το οικονομικό αποτέλεσμα που αναμένεται από την χρησιμοποίησή τους. Το πρόγραμμα Hortimed θα

αναπτύξει πακέτο υπολογιστικό το οποίο θα διατεθεί στις υπηρεσίες των Υπ. Γεωργίας των μεσογειακών χωρών για να συνιστά την κατάλληλη μέθοδο απόκτησης καλού νερού, ανάλογα με τα δεδομένα της περιοχής, και να υπολογίζει το ενδεδειγμένο μέγεθος.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά πρέπει να ενστερνιστούμε την άποψη ότι "τίποτε δεν κερδίζεται χωρίς κάποια αντίστοιχη ζημιά". Η ευκολότερη και ασφαλέστερη λύση για τα φυτά είναι το ανοικτό σύστημα με πλούσια υπεράρδευση. Αυτή η λύση βέβαια δημιουργεί υψηλό κόστος νερού, λιπασμάτων και περιβάλλοντος. Ο ρόλος της επιστήμης είναι να προτείνει την χρυσή τομή στο πρόβλημα. Λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση της υδροπονίας στην χώρα μας και τις οικονομικές συνθήκες που έχουν διαμορφωθεί στην αγορά προτείνεται:

- Όπου το νερό έχει υψηλή αλατότητα, συνιστάται η χρήση ανοικτού συστήματος με ελεγχόμενη απόπλυση (20-50% ανάλογα με την ποιότητα του νερού).
- Όπου υπάρχει καλή ποιότητα νερού, συνιστάται η ανακύκλωση με ελεγχόμενη υπεράρδευση (ανακυκλοφορία 30-60%) και ασυνεχή απόρριψη, φίλτρα, σκότος, χαμηλές θερμοκρασίες στο κύκλωμα ανακυκλοφορίας και καλό αερισμό του διαλύματος. Επιπλέον, χρήση δεικτών (π.χ. άνω όριο αγωγιμότητας ανακυκλοφορίας, όρια ιόντων νατρίου, χλωρίου, όρια μικροβιακού πληθυσμού BOD κ.λπ.) για την απόρριψη/ανανέωση του διαλύματος.

Λεπτομέρειες για την επαναχρησιμοποίηση νερού, ρύθμιση της ανανέωσης του διαλύματος και αντιστάθμιση υψηλών συγκεντρώσεων ορισμένων ιόντων, οικονομικούς τρόπους βελτίωσης διαθέσιμου νερού, βέλτιστη χρήση συλλεγόμενου βρόχινου νερού, τροποποίηση συνταγών ανάλογα με την ποιότητα του νερού και έλεγχο του κλίματος για την αντιμετώπιση προβλημάτων θρέψης, αναμένεται να δώσει το **ερευνητικό πρόγραμμα HORTIMED** το οποίο και θα διαδοθεί μέσω περιοδικού τύπου καθώς και εγχειριδίου «οδηγού για τον παραγωγό».

Μέχρι σήμερα η επιστήμη ασχολήθηκε με την συνεργασία της υδροπονίας για καλύτερη εκμετάλλευση των κλιματικών παραγόντων. Αυτή είναι μονόδρομη σκέψη, αποδεκτή μέχρι σήμερα. Στο μέλλον οι οικονομικές συνθήκες θα αλλάξουν και η ποιότητα του νερού θα γίνεται προβληματική. Όπου υπάρχει περιθώριο κέρδους για καλλιέργεια με υποβαθμισμένο νερό, η βέλτιστη λύση πρέπει να δρα αμφίδρομα. Πολλές φορές χρειάζεται να αυξηθούν στοιχεία κόστους για την ρύθμιση του κλίματος και να αντιμετωπιστούν προβλήματα νερού και θρέψης. Έτσι λοιπόν η διαχείριση σήμερα ενός θερμοκηπίου πρέπει να αντιμετωπίζεται ολοκληρωμένα, όχι μόνο αυτοτελώς έλεγχο αερίου και ριζικού περιβάλλοντος. Η τεχνολογία πρέπει να είναι σε θέση να συναρτά το ένα από το άλλο ώστε να ελέγχονται παράλληλα και μάλιστα με τρόπο που να επιτρέπει την οικονομική βελτιστοποίηση κάθε στιγμή...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Ευχαριστούμε τον καθ. Κ. Συγριμή για τις συμβουλές του και την Ε.Ε. (Hortimed, Macqud) και την ΓΓΕΤ (ΕΠΑΠ) για την χρηματοδότηση των αντίστοιχων προγραμμάτων για υδροπονία και οικονομία ενέργειας στα θερμοκήπια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. Sigrimis Nick 1999. "**Computer Integrated Management and Intelligent Control of Greenhouses**". IFAC World Congress, Beijing China July 4-11 1999, Invited pre-congress workshop on Intelligent Control Systems in Agriculture, Plenary Volume (Tutorial Workshop #8)
2. Sigrimis, N., A. Anastasiou, and N. Rerras, 2000. **Energy Saving in Greenhouses using Temperature Integration: A Simulation Survey**. Computers and Electronics in Ariculture, Elsevier, special issue on *Developments in Greenhouse Control*, Vol 26(3), 321-342.
3. N. Sigrimis, K.G. Arvanitis, G. Pasgianos and K. Ferentinos, 1998. **Hydroponics water management using adaptive scheduling with an on line optimiser**. Computers and Electronics in Ariculture, Elsevier, special issue on *Artificial Intelligence in crop production*, in press
4. Sigrimis N., Y. Hashimoto, A. Munack and J. DeBeardemaeker, 1999. "**Prospects in Agricultural Engineering in the Information Age - Technological Developments for the Producer and the Consumer**", CIGR E-Journal, invited paper.
5. Stanghellini C., and Sigrimis N., 1999. **Sustainable water use in protected Mediterranean Horticulture: HORTIMED**, CIGR Conference on Sustainable Water Use, Rabat Marocco, 1999.
6. Sigrimis N. (1999). "**Multi-inlet Venturi device for proportional mixing of fluids**" Patent 990100428, P.O-Greece.
7. Sigrimis, N. and R. King, 2000. **Advances in Greenhouse Environment Control**, COMPAG special issue, editorial, printed.
8. King R. and Sigrimis N., 2000. **Computational Intelligence in crop production**. COMPAG special issue on "Intelligent Systems in Crop Production", editorial, in press.
9. Sigrimis N., K.G. Arvanitis, G. Pasgianos, A. Anastasiou and K. Ferentinos. 2000 "**New Ways On Supervisory Control: a virtual greenhouse to train, to control, and to manage**", Agricontrol, IFAC Conference in Mathematical Modelling in Agriculture and Horticulture, Wageningen 10-14 July 2000.
10. Gates R.S., K. Chao, N. Sigrimis, 2000. **Fuzzy PI-Like Staged Environment Controller**, CIGR2000 World Congress, Tokyo Nov 28-Dec 1, 2000
11. Sigrimis, N. 2000. "**The 21st century expectations in IT: what to expect, what are the limits**", Keynote paper in CIGR XIV Memorial Congress, CIGR2000Tsukuba, Japan, Nov 28-Dec1 2000, in preparation.
12. Sigrimis N. 2000. "**Modern Control Advances for Greenhouses in Europe**". Keynote paper in 2d IFAC BIROBOTICS conference, Osaka Japan, Nov 24-26, 2000.