



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**



**Δ.Π.Σ. "ΑΓΡΟΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΕΣ"**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΕ ΜΑΡΟΥΛΙ  
ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΣΕ ΕΛΑΦΡΟΠΕΤΡΑ  
ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

**ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ Χ. ΝΑΣΗ  
ΑΓΡΟΟΙΚΟΛΟΓΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**

**ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2006**



## **ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**ΑΛΜΠΑΝΗΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΣ**

**Καθηγητής Χημείας**

**Τμήμα Χημείας – Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**

**ΜΑΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**Καθηγητής Γεωπονίας**

**Τμήμα Φυτικής Παραγωγής – Τ.Ε.Ι. Ηπείρου**

**ΣΑΒΒΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (Επιβλέπων)**

**Επίκουρος Καθηγητής Γεωπονίας**

**Τμήμα Φυτικής Παραγωγής Γ.Π.Α**



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>6</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>7</b>
1.1 Υδροπονία – Ιστορική αναδρομή	7
1.1.1 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Υδροπονικής Καλλιέργειας.	10
1.1.2 Τύποι Υδροπονικής καλλιέργειας	15
1.1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Κλειστών Υδροπονικών Συστημάτων	18
1.2 Υποστρώματα	22
1.2.1 Ελαφρόπετρα	24
1.2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Ελαφρόπετρας	26
1.3 Βοτανική ταξινόμηση και προέλευση του μαρουλιού	26
1.3.1 Καλλιέργεια μαρουλιού	27
1.3.2 Κλιματικές απαιτήσεις	28
1.3.2.1 Θερμοκρασία	28
1.3.2.2 Φως	29
1.3.3 Τύποι μαρουλιού	29
1.4 Θρεπτικά διαλύματα	30
1.4.1 Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων	33
1.4.2 Παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων	36
1.4.3 Επιθυμητή σύνθεση και δεδομένα	37
1.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα στην Υδροπονία	39
1.6 Βέλτιστη διακύμανση pH στην Υδροπονία	41
1.6.1 Συντήρηση του pH στη ζώνη της ρίζας	44
1.6.2 pH και πρόσθεση $\text{NH}_4^+$	46
1.7 Αφομοίωση αζώτου	47
1.7.1 Ο φυσιολογικός ρόλος των νιτρικών στα φυτά	48
1.7.2 Επίδραση των νιτρικών στην ανθρώπινη υγεία	50
1.7.3 Ρύπανση του εδάφους, του επιφανειακού και του υδροφόρου ορίζοντα	52
1.7.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συσσώρευση νιτρικών στο μαρούλι	54
1.7.5 Χορήγηση αζώτου	55



1.7.6	Υδροπονικές καλλιέργειες και χορήγηση αζώτου .....	56
1.8	Σκοπός της παρούσης εργασίας .....	58
	<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....	<b>59</b>
2.	<b>ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	<b>60</b>
2.1	Υλικά .....	60
2.2	Χορήγηση θρεπτικού διαλύματος .....	61
2.3	Μέθοδοι .....	62
2.4	Πρώιμη & Όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια .....	62
2.4.1	Μεταφύτευση .....	63
2.4.2	Μετρήσεις .....	64
2.4.3	Μέθοδος Phenate – Προσδιορισμός αμμωνιακού αζώτου νιτρικών και φωσφορικών στο διάλυμα απορροής .....	66
2.4.4	Μέθοδος προσδιορισμού θρεπτικών στοιχείων .....	73
2.4.5	Μέθοδος προσδιορισμού των νιτρικών σε φυτικούς ιστούς .....	73
2.4.6	Μέθοδος προσδιορισμού του ολικού αζώτου με τη μέθοδο Kjeldahl .....	75
2.4.7	Ανάλυση των αποτελεσμάτων .....	76
3.	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>77</b>
4.	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>88</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>94</b>



## SUMMARY

In two successive lettuce crops grown in spring 2005 in a completely closed hydroponic system, the ratio of ammonium to total nitrogen ( $N_r$ ) in the fresh nutrient solution (FNS) introduced into the closed system to compensate for plant uptake was 0, 0.1, 0.2 and 0.3 on a molar basis. In all  $N_r$  treatments, the concentrations of total N, K, Ca, Mg, P and micronutrients in the FNS were identical but that of  $\text{SO}_4^{2-}$  increased as  $N_r$  rose to electrochemically compensate for the enhanced  $\text{NH}_4^+$  and decreased  $\text{NO}_3^-$  supply. The highest fresh and dry weights per plant were attained with the highest ammonium supply ( $N_r = 0.3$ ), but even complete starvation of  $\text{NH}_4^+$  gave healthy plants without apparent nutritional disorders. The ammonium concentration in the drainage solution dropped to nearly zero in all treatments some days after the initiation of recycling, which implies a preferential uptake of  $\text{NH}_4\text{-N}$  over  $\text{NO}_3\text{-N}$ . The root zone pH, as indicated by the values measured in the drainage solution, fell slightly as  $N_r$  increased, and ranged from 6.5 to 8.0 in all treatments. The leaf K, Ca, Mg, and Fe concentrations were not influenced, while those of P, Mn, Zn, and Cu were enhanced by the increasing  $\text{NH}_4^+$  supply. The increased ammonium supply did not enhance the utilization of N in plant metabolism, although the leaf nitrate concentration was reduced in the early spring experiment, particularly in the internal leaves. The leaf micronutrient concentrations were clearly above critical levels even when  $\text{NO}_3^-$  was the sole N source for lettuce, while the P concentration was below critical levels at the lowest  $N_r$  treatments. These results indicate that the stimulation of lettuce growth as  $N_r$  was raised to 0.3 was mainly a consequence of enhanced P supply owing to a better control of pH in the root zone.



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Υδροπονία – Ιστορική αναδρομή

Υδροπονία ονομάζεται κάθε μέθοδος καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους, βασιζόμενη στη χορήγηση τεχνητά παρασκευασμένων, ανόργανων θρεπτικών διαλυμάτων για την κάλυψη των υδατικών και διατροφικών αναγκών των φυτών με ή χωρίς τη χρήση κάποιου στερεού υποστρώματος ως μέσου ανάπτυξης των ριζών των φυτών (Σάββας, 1998).

Η μέθοδος αναπτύχθηκε αρχικά για πειραματικούς σκοπούς. Σύντομα όμως αναγνωρίστηκαν οι δυνατότητές της για καλλιέργεια φυτών σε μεγάλη κλίμακα. Κάθε είδος φυτού είναι δυνατόν να καλλιεργηθεί χωρίς έδαφος και ιδιαίτερα τα λαχανοκομικά και ανθοκομικά φυτά. Γενικά όμως η καλλιεργητική τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί για γεωργική εκμετάλλευση μόνο κάτω από συνθήκες υψηλής τεχνολογικής ανάπτυξης και αποδοτικών καλλιεργειών. Φυσικά πρέπει να ικανοποιούνται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις των φυτών σε θερμοκρασία, φως, υγρασία, αερισμό και να εφαρμόζονται τα απαραίτητα μέτρα φυτοπροστασίας. Επειδή όμως δεν μεσολαβεί ο ρυθμιστικός ρόλος του εδάφους, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ακριβή χορήγηση των θρεπτικών στοιχείων.

Η υδροπονία εφαρμόζεται από τα προχριστιανικά χρόνια στην Αίγυπτο, Κίνα και Ινδία όπου χρησιμοποιούνταν διαλυμένες κοπριές για την καλλιέργεια αγγουριών, πεπονιών και άλλων λαχανοκηπευτικών σε αμμώδεις όχθες ποταμών (υδροπονία σε πορώδες μέσο και καλλιέργεια σε άμμο). Η πρώτη γραπτή αναφορά σε υδροπονική καλλιέργεια αφορά τους κρεμαστούς κήπους της Βαβυλώνας, όπου καλλιεργούνταν φυτά σε νερό που έρεε συνεχώς. Οι επιπλέοντες κήποι του Κασμίρ αλλά και η καλλιέργεια φυτών πάνω σε σχεδίες μέσα σε αβαθείς λίμνες από τους Ατζέκους στο Μεξικό αποτελούν επίσης παραδείγματα υδροπονίας από το παρελθόν.

Αργότερα, όταν οι φυσιολόγοι άρχισαν να αναπτύσσουν φυτά με ειδικά θρεπτικά στοιχεία για πειραματικούς σκοπούς, ονόμασαν τη μέθοδο καλλιέργεια με θρεπτικά στοιχεία (nutri – culture). Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν όροι όπως υδροκαλλιέργεια (water culture), καλλιέργεια σε διάλυμα (solution culture), καλλιέργεια σε στρώμα χαλικιών (gravel bed culture), προερχόμενοι τους ερευνητές που παρουσίαζαν τα ευρήματά τους.

Ο όρος «υδροπονία» όπως χρησιμοποιείται σήμερα υιοθετήθηκε για πρώτη φορά στα τέλη του 1920 από τον καθηγητή Dr. W.F. Gericke από την

Καλιφόρνια. Αυτός εμπνευσμένος από τις έρευνες Γερμανών επιστημόνων (Κνορ 1859 και Sachs, 1861) ανέπτυξε μια τεχνική για καλλιέργεια φυτών σε εμπορική κλίμακα. Οι Sachs και Κνορ ήταν μεταξύ των επιστημόνων του 19<sup>ου</sup> αιώνα οι οποίοι ερευνούσαν τη θρέψη των φυτών και αναζητούσαν ένα διάλυμα το οποίο θα έλυne τα προβλήματα που εμφανίζονταν σε προηγούμενες προσπάθειες υδροπονικής καλλιέργειας.

Οι τεχνολογίες υδροπονίας αναπτύχθηκαν περαιτέρω τη δεκαετία του '30 και του '40 στη Βόρεια Αμερική, Ευρώπη και Ιαπωνία χάρη σε επινοήσεις από τη δουλειά του Gericke. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, χρησιμοποιήθηκε η υδροπονία για την παραγωγή φρέσκων προϊόντων, για τον Αμερικάνικο στρατό που ήταν σταθμευμένος σε άγονα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού. Το 1950 υπήρχαν ήδη στην Αμερική, Ευρώπη, Αφρική και Ασία βιώσιμες εμπορικές επιχειρήσεις με υδροπονικές καλλιέργειες.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, αναπτύχθηκε από τον Cooper (1975, 1979), ένα σύστημα καλλιέργειας των φυτών σε ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα χωρίς τη χρήση στερεού υποστρώματος. Το σύστημα αυτό έγινε γνωστό ως NFT από τα αρχικά των λέξεων Nutrient Film Technique, που σε ελεύθερη μετάφραση, θα μπορούσε να αποδοθεί με ως Τεχνική Λεπτής Στοιβάδας Θρεπτικού Διαλύματος. Αυτό ήταν αρχικά το κύριο υδροπονικό σύστημα που υιοθετήθηκε από τους καλλιεργητές σε επιχειρηματική κλίμακα. Συγχρόνως, οι Σκανδιναβοί και Ολλανδοί καλλιεργητές θερμοκηπίων, που αντιμετώπιζαν σοβαρά προβλήματα λόγω της συνεχούς χρήσης του ίδιου χώματος για πολλά χρόνια, εξέτασαν τη δυνατότητα χρήσης πλακών πετροβάμβακα που απορροφούν το νερό, ως υποστρωμάτων καλλιέργειας (Verwer, 1976 και 1978, Ottosson, 1977). Ο χημικά ανενεργός πετροβάμβακας, ο οποίος είναι απαλλαγμένος από παθογόνους μικροοργανισμούς, λόγω της επεξεργασίας του σε θερμοκρασία περίπου 1600 °C (Blaabjerg, 1983), αποδείχθηκε ένα ιδανικό καλλιεργητικό μέσο, με βέλτιστες υδραυλικές ιδιότητες. Κατά συνέπεια, στα επόμενα έτη υπήρξε μια επαναστατική επέκταση της καλλιέργειας φυτών θερμοκηπίου σε πετροβάμβακα σε πολλές χώρες. Ειδικά στις Κάτω Χώρες, τα 5 εκτάρια των καλλιεργημένων σοδειών εκτός εδάφους το 1976 (Van Os, 1982) εκτινάχθηκαν σε 1.500 το 1984 (Sonneveld και Welles, 1984), 2.500 το 1989 (Sonneveld, 1989) και αυξήθηκαν περαιτέρω σε 4.100 μέχρι το 1996 (Steiner, 1997). Στα περισσότερα από αυτά τα θερμοκήπια, ο πετροβάμβακας είναι το προτιμότερο καλλιεργητικό μέσο, λόγω της καλής καλλιεργητικής του επίδοσης και της

διαθεσιμότητάς του σε σχετικά χαμηλές τιμές από τους τοπικούς κατασκευαστές. Εκτός από τον πετροβάμβακα, πολλά εναλλακτικά πορώδη υλικά χρησιμοποιούνται παγκοσμίως σαν καλλιεργητικά μέσα (υποστρώματα φυτών) για την εκτός εδάφους καλλιέργεια. Αυτά περιλαμβάνουν την τύρφη, τον περλίτη, την ελαφρόπετρα, τον αφρό πολυουρεθάνης, τον ζεόλιθο, το κοκκόχωμα, το πριονίδι, την διογκωμένη άργιλο, τα διάφορα ηφαιστειακά υλικά όπως η ηφαιστειακή τέφρα, κ.λπ.

Το 1981 η αυστραλιανή εταιρία CSR Ltd άρχισε να παράγει πετροβάμβακα για ανθοκομικές και λαχανοκηπευτικές καλλιέργειες. Αυτός έγινε άμεσα αποδεκτός και βρήκε μεγάλη εφαρμογή στις αυστραλιανές επιχειρήσεις δρεπτών ανθέων. Σε χώρες στις οποίες σημαντικό μέρος των εδαφών παρουσιάζει προβλήματα, είτε λόγω υπερεντατικής εκμετάλλευσης (περίπτωση Ολλανδίας) είτε λόγω άρδευσης με νερό υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα (περίπτωση Ισραήλ), η αναγκαιότητα εισαγωγής της υδροπονίας στην καλλιεργητική πράξη είναι μεγαλύτερη. Το ίδιο ισχύει και για τις χώρες στις οποίες ισχύουν αυστηροί περιορισμοί στη χρήση τοξικών χημικών απολυμαντικών του εδάφους όπως το βρωμιούχο μεθύλιο και άλλων ισχυρών φυτοφαρμάκων για τον έλεγχο των εδαφογενών ασθενειών των φυτών (χώρες Βόρειας Ευρώπης).

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την εμπορική εφαρμογή της υδροπονίας τις τελευταίες δεκαετίες, έχει ενθαρρύνει την εντατική ερευνητική δραστηριότητα που εστιάζει στην ανάπτυξη των υδροπονικών συστημάτων και στη βελτίωση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για να καθιερώσει τις εκτός εδάφους καλλιέργειες φυτών. Η σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων και η βελτιστοποίηση της θρέψης στην εμπορική υδροπονία είναι ένας βασικός στόχος της ερευνητικής εργασίας που διεξάγεται στον τομέα κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Αυτές οι προσπάθειες, που υποστηρίζονται από την ανάπτυξη σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών και εξοπλισμού, έχουν οδηγήσει στην παραγωγή νέων συνθέσεων θρεπτικού διαλύματος που προσαρμόζονται στις ιδιαίτερες απαιτήσεις των περισσότερων φυτοκομικών ειδών που καλλιεργούνται υπό κάλυψη, όπως για παράδειγμα εκείνες που προτείνονται από τους Sonneveld και Straver, 1994; Krijj et al., 1997; Resh, 1997; Hanan, 1998; De Krijj et al., 1999. Μια εκτενής ανασκόπηση των σύγχρονων γνώσεων σχετικά με τη σύνθεση των υδροπονικών διαλυμάτων δίνεται από τον Sonneveld, 2002, ενώ δύο πολύ





καλές συνθετικές εργασίες σχετικά με τη διαχείριση της θρέψης των φυτών στη σύγχρονη υδροπονία είναι αυτές των Adams, 2002 και Savvas, 2001.

Σήμερα η υδροπονία χρησιμοποιείται σε εμπορική κλίμακα για την καλλιέργεια λαχανοκηπευτικών, ανθέων, φρούτων και αρωματικών φυτών από επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο.

### **1.1.1 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Υδροπονικής καλλιέργειας**

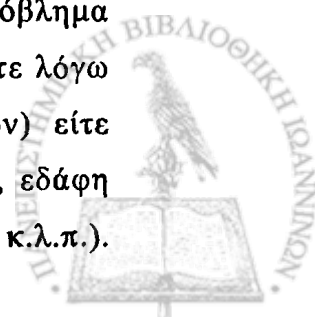
Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών σύμφωνα με τον Σάββα (1998) είναι:

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Το πρώτο και προφανέστερο πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι η ριζική αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούν στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες οι μεταδιδόμενες μέσω του εδάφους ασθένειες (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, πυρηνοχαίτη, έντομα εδάφους, νηματώδεις, ορισμένα βακτήρια και φυτοϊοί, κ.λ.π.). Πρέπει βέβαια να διευκρινισθεί ότι προβλήματα με ορισμένα μεταδιδόμενα μέσω του εδάφους παθογόνα, όπως το πύθιο, η φυτόφθορα, το φουζάριο, κ.λ.π. μπορούν να εμφανισθούν ακόμη και στις υδροπονικές καλλιέργειες, μολονότι η πιθανότητα είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος. Συνήθως όμως τέτοια προβλήματα στην υδροπονία μπορούν να εμφανισθούν μόνο όταν η απομόνωση του υποστρώματος ή του θρεπτικού διαλύματος από το έδαφος του θερμοκηπίου δεν είναι πλήρης (όχι καλή κάλυψη του εδάφους με πλαστικό φύλλο) ή όταν το νερό άρδευσης είναι έντονα μολυσμένο με κάποιο παθογόνο.

2. Εφόσον στις υδροπονικές καλλιέργειες το χώμα δεν έρχεται καθόλου σε επαφή με το φυτό και ιδιαίτερα με τις ρίζες του, δεν υφίσταται ανάγκη για απολύμανση του εδάφους. Αποφεύγεται επομένως η εφαρμογή χημικών απολυμαντικών υψηλής τοξικότητας, όπως το βρωμιούχο μεθύλιο, η χρήση των οποίων εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία τόσο των παραγωγών όσο και των καταναλωτών. Παράλληλα, μειώνεται δραστικά η ανάγκη εφαρμογής φυτοφαρμάκων για την αντιμετώπιση των εδαφογενών ασθενειών.

3. Μέσω της μεταπήδησης στην υδροπονία λύνεται ριζικά το πρόβλημα της χαμηλής γονιμότητας που εμφανίζουν πολλά εδάφη θερμοκηπίου, είτε λόγω υπερντατικής εκμετάλλευσης και μονοκαλλιέργειας (κόπωση εδαφών) είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (πολύ βαριά ή πολύ ελαφρά εδάφη, εδάφη με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, εναλατωμένα εδάφη, κ.λ.π.).



Σε τέτοιες περιπτώσεις η υδροπονία αποτελεί πιο ριζική και πιο αποτελεσματική λύση από τη βελτίωση και την ανάπλαση του προβληματικού εδάφους.

4. Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η υδροπονία όταν το χρησιμοποιούμενο για άρδευση νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα (ηλεκτρική αγωγιμότητα πάνω από 1-1,5 dS/m). Στις περιπτώσεις αυτές η υδροπονία είναι ίσως ο μόνος τρόπος επιτυχημένης αντιμετώπισης του προβλήματος. Πρέπει όμως να διευκρινισθεί ότι, όταν υφίσταται πρόβλημα υπερβολικά υψηλής αλατότητας του νερού άρδευσης, λύση αποτελεί μόνο η καλλιέργεια σε ανοιχτά υδροπονικά συστήματα. Αντίθετα, τα κλειστά υδροπονικά συστήματα στα οποία εφαρμόζεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα όταν η περιεκτικότητα του νερού άρδευσης σε ανόργανα άλατα είναι υψηλή και συνεπώς σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει να αποφεύγεται η υιοθέτησή τους.

5. Στις υδροπονικές καλλιέργειες το κόστος θέρμανσης είναι μειωμένο. Όπως είναι γνωστό, η εξάτμιση νερού συνοδεύεται πάντοτε από κατανάλωση ενέργειας υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Σε ένα υδροπονικό θερμοκήπιο όμως, η εξάτμιση νερού από την επιφάνεια του εδάφους είναι πρακτικά αμελητέα, δεδομένου ότι αυτό είναι καλυμμένο με πλαστικά φύλλα. Συνεπώς οι ανάγκες σε ενέργεια για την θέρμανση του αέρα μειώνονται.

Εκτός όμως από την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω ελαχιστοποίησης της εξάτμισης νερού από το έδαφος, μειωμένες δαπάνες για θέρμανση προκύπτουν και από το γεγονός ότι η καλλιέργεια παύει να εξαρτάται από τη θερμοκρασία του εδάφους του θερμοκηπίου. Γενικά, η διατήρηση της θερμοκρασίας του εδάφους του θερμοκηπίου σε ικανοποιητικά επίπεδα το χειμώνα είναι δύσκολη και απαιτεί τη διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών στον εναέριο χώρο ή (εναλλακτικά) την εγκατάσταση επιδαπέδιου ή υπόγειου συστήματος θέρμανσης του εδάφους. Στην υδροπονία αντίθετα, οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα στον περιορισμένο όγκο των υποστρωμάτων ή των θρεπτικών διαλυμάτων, τα οποία μάλιστα είναι τοποθετημένα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, χωρίς να έρχονται σε επαφή με το χώμα. Κατά συνέπεια, η ανύψωση της θερμοκρασίας στον χώρο του ριζοστρώματος μπορεί να επιτευχθεί γρηγορότερα κατά τη διάρκεια της ημέρας και με χαμηλότερη δαπάνη για καύσιμα.

6. Έχει αποδειχθεί ότι η καλλιέργεια τόσο σε υποστρώματα όσο και σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα (π.χ. NFT) επιφέρει σημαντική πρωίμιση. Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλότερες θερμοκρασίες που διαμορφώνονται στο χώρο



του ριζοστρώματος όταν τα φυτά καλλιεργούνται εκτός εδάφους.

7. Στις υδροπονικές καλλιέργειες η θρέψη των φυτών είναι πολύ πιο ακριβής, μπορεί να ελέγχεται και να εποπτεύεται καλύτερα και με μεγαλύτερη αξιοπιστία και επίσης μπορεί να διορθώνεται ευκολότερα και ταχύτερα σε περίπτωση που έχει διαπραχθεί κάποιο λάθος. Στην υδροπονία όλα τα θρεπτικά στοιχεία παρέχονται σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις και αναλογίες μεταξύ τους, μέσω του θρεπτικού διαλύματος. Κατά συνέπεια, μία σειρά από μεταβλητές του εδάφους που επηρεάζουν την τροφοδοσία των φυτών με θρεπτικά στοιχεία, όπως π.χ. η μηχανική του σύσταση, η δομή του, η περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία, η ανταλλακτική του ικανότητα αλλά και άλλοι παράγοντες, όπως αυτοί που επηρεάζουν την ταχύτητα ανοργανοποίησης της οργανικής ουσίας δεν ασκούν πλέον καμία επίδραση στην καλλιέργεια, με τελικό αποτέλεσμα, η σχεδίαση ενός κατάλληλου σχήματος θρέψης των φυτών να καθίσταται πολύ πιο εύκολη.

8. Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους απαλλάσσει τον καλλιεργητή από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση, κ.λπ.) με αποτέλεσμα, αφενός μεν να μειώνεται το εργατικό κόστος και αφετέρου να είναι δυνατή η φύτευση νέας καλλιέργειας αμέσως μετά την απομάκρυνση της προηγούμενης. Αυτή η τελευταία δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη όταν το θερμοκήπιο αξιοποιείται όλο το χρόνο με περισσότερες από μία καλλιέργειες ανά ημερολογιακό έτος (διαδοχικές καλλιέργειες μαρουλιού, χρυσανθέμων, κ.λπ.).

9. Οι καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων σε σύγκριση με το έδαφος, η αριστοποίηση της θρέψης και η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα κατά τη διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων. Σύμφωνα με μαρτυρίες αρκετών ερευνητών που έχουν ασχοληθεί με το θέμα αυτό, οι αποδόσεις των υδροπονικών καλλιεργειών είναι κατά μέσο όρο γύρω στο 15-20% υψηλότερες, συγκρινόμενες με καλλιέργειες που λαμβάνουν χώρα σε γόνιμα, καλής ποιότητας εδάφη. Όταν όμως το έδαφος του θερμοκηπίου παρουσιάζει προβλήματα, όπως εδαφογενείς ασθένειες, κόπωση λόγω μονοκαλλιέργειας, χαμηλή γονιμότητα, αλατότητα, κ.λ.π., τότε η αύξηση της παραγωγής που επιτυγχάνεται στην υδροπονία είναι υψηλότερη και όχι σπάνια μπορούν να ληφθούν διπλάσιες αποδόσεις.

10. Η αριστοποίηση της θρέψης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της



μεταπήδησης στην υδροπονία αλλά και η αποφυγή μίας σειράς προβλημάτων τα οποία έχουν ήδη εκτεθεί πιο πάνω, έχει σαν συνέπεια τα παραγόμενα στις υδροπονικές καλλιέργειες καλλωπιστικά φυτά να είναι καλύτερης ποιότητας (μεγαλύτερο μέγεθος, καλύτερο χρώμα φυλλώματος, αύξηση του χρόνου διατήρησης των ανθέων, κ.λ.π.).

11. Τελευταίο στη σειρά αναφοράς, αλλά όχι και σε σπουδαιότητα πλεονέκτημα της υδροπονίας, είναι η δυνατότητα αποτελεσματικότερης προστασίας του περιβάλλοντος όταν η καλλιέργεια λαμβάνει χώρα σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Χάρης στη δυνατότητα συνεχούς ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος, όλα τα λιπάσματα που χορηγούνται στην καλλιέργεια αξιοποιούνται από τα φυτά με συνέπεια να μη διαφεύγουν ποσότητες στο περιβάλλον και το επιβαρύνουν. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές στις οποίες το πόσιμο νερό είναι επιφανειακό ή προέρχεται από μικρό βάθος, με συνέπεια να ρυπαίνετε εξαιτίας της έκπλυσης ενός μέρους των λιπασμάτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις δημιουργείται σοβαρό πρόβλημα κυρίως με τα αζωτούχα λιπάσματα, τα οποία είτε αυτούσια είτε μετά από τη μετατροπή τους στο έδαφος σε νιτρικά μπορεί να ξεπεράσουν τα ανώτερα επιτρεπτά όρια στο πόσιμο νερό δημιουργώντας κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Στις περιπτώσεις αυτές, η καλλιέργεια των φυτών θερμοκηπίου σε κλειστά υδροπονικά συστήματα είναι η μόνη λύση, η οποία μπορεί να παράσχει αποτελεσματική προστασία του πόσιμου νερού χωρίς να καθίσταται αναγκαία η εφαρμογή περιορισμών στην καλλιέργεια φυτών με υψηλές λιπαντικές απαιτήσεις, όπως είναι οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες.

### **Μειονεκτήματα**

1. Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης μίας υδροπονικής μονάδας είναι σημαντικό. Αυτό συνίσταται κυρίως στη δαπάνη αγοράς των πάγιων εγκαταστάσεων παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος καθώς και στα έξοδα προμήθειας του υποστρώματος καλλιέργειας (εφόσον χρησιμοποιείται υπόστρωμα). Το καθαρό κόστος που απαιτείται για την εγκατάσταση μίας υδροπονικής μονάδας είναι βέβαια χαμηλότερο από το άθροισμα των παραπάνω δαπανών, δεδομένου ότι παράλληλα εξοικονομούνται τα έξοδα προετοιμασίας, κατεργασίας και απολύμανσης του εδάφους. Επιπλέον, ένα σύστημα παρασκευής και διανομής θρεπτικού διαλύματος είναι απαραίτητο και στις καλλιέργειες εδάφους για την εφαρμογή υδρολίπανσης.

2. Η εμφάνιση των δυσμενών επιδράσεων ενός λανθασμένου χειρισμού



είναι πιο γρήγορη και συχνά πιο έντονη στις υδροπονικές καλλιέργειες. Στην προκειμένη περίπτωση, σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος η υδροπονία χαρακτηρίζεται από ταχύτερη αντίδραση σε ορισμένους καλλιεργητικούς χειρισμούς, ιδιότητα η οποία άλλοτε μεν αποτελεί πλεονέκτημα (όταν πρόκειται για επιθυμητούς χειρισμούς που αποσκοπούν σε συγκεκριμένο θετικό αποτέλεσμα) άλλοτε δε μειονέκτημα (όταν πρόκειται για λανθασμένους ή άστοχους χειρισμούς).

3. Η εφαρμογή υδροπονίας σε μία θερμοκηπιακή μονάδα προϋποθέτει ότι ο επικεφαλής της επιχείρησης θα πρέπει να διαθέτει ένα ελάχιστο μορφωτικό επίπεδο. Η ισχύς αυτής της προϋπόθεσης είναι σχετική, δεδομένου ότι όταν υπάρχει η κατάλληλη τεχνική υποστήριξη από ειδικευμένο σύμβουλο-γεωπόνο, η εφαρμογή υδροπονίας είναι δυνατή ακόμη και από έναν επιμελή αγρότη με στοιχειώδες επίπεδο γραμματικών γνώσεων.

4. Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα υφίσταται κίνδυνος εύκολης εξάπλωσης μίας μόλυνσης μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος, εφόσον προσβληθεί ένα φυτό. Στην πράξη βέβαια ο κίνδυνος αυτός είναι σχετικά μικρός. Από την πρακτική εμπειρία όσο και από σχετικά πειράματα έχει αποδειχθεί ότι ακόμη και αν μολυνθούν κάποια φυτά η υπόλοιπη καλλιέργεια συνήθως δε μολύνεται εφόσον αυτά απομακρυνθούν αμέσως από την υδροπονική εγκατάσταση. Η ύπαρξη μικρής ποσότητας μολύσματος (σπόρια, κ.λ.π.) μέσα στο θρεπτικό διάλυμα δεν οδηγεί αυτόματα στην προσβολή των υπολοίπων φυτών εφόσον δε συντρέχουν και ορισμένες άλλες προϋποθέσεις, όπως η ύπαρξη πληγών στις ρίζες, κ.λ.π. Άλλωστε η έγκαιρη εφαρμογή ενός ριζοποτίσματος αμέσως μόλις διαγνωσθεί έστω και σε ένα μόνο φυτό ασθένεια, συνήθως μειώνει ακόμη περισσότερο τις πιθανότητες μίας εκτεταμένης προσβολής λόγω μόλυνσης μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος. Παρόλα αυτά, ο κίνδυνος γρήγορης εξάπλωσης τυχόν μολύνσεων δε θα πρέπει να αγνοείται και γι' αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις που λειτουργεί κλειστό υδροπονικό σύστημα, το διάλυμα που συλλέγεται ως απορροή μετά από κάθε εφαρμογή άρδευσης, πριν ανακυκλωθεί, είναι σκόπιμο να απολυμαίνεται.

5. Ορισμένοι παραγωγοί παραπονούνται ότι στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα η κατανάλωση λιπασμάτων είναι αυξημένη σε σύγκριση με το έδαφος. Είναι γεγονός ότι στην υδροπονία, ο καλλιεργητής θα πρέπει να χορηγεί όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία στα φυτά ενώ αντίθετα, στις καλλιέργειες εδάφους, ορισμένα θρεπτικά στοιχεία όπως το ασβέστιο και τα περισσότερα



ιχνοστοιχεία χορηγούνται σπάνια μέσω της λίπανσης, δεδομένου ότι περιέχονται σε επαρκείς ποσότητες στο χώμα. Οι ποσότητες των ιχνοστοιχείων που χορηγούνται στα φυτά στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι πολύ μικρές, ενώ η χορήγηση μαγνησίου συνηθίζεται και στις καλλιέργειες εδάφους, ιδιαίτερα στις θερμοκηπιακές. Επίσης οι χορηγούμενες στην υδροπονία ποσότητες αζώτου, φωσφόρου και καλίου σε γενικές γραμμές δεν ξεπερνούν τις αντίστοιχες ποσότητες που απαιτούνται σε μία καλλιέργεια εδάφους, δεδομένου ότι και στις δύο περιπτώσεις ισχύει η γενική αρχή ότι οι προστιθέμενες ποσότητες θα πρέπει να ισούνται με το ύψος της κατανάλωσης από τα φυτά συν τις απώλειες μέσω έκπλυσης, ακινητοποίησης, κ.λ.π. Επομένως, στην πραγματικότητα, οι μόνες αξίες λόγου ποσότητες λιπασμάτων που είναι αναγκαίες ειδικά στις υδροπονικές καλλιέργειες, ενώ στο έδαφος εξοικονομούνται, είναι αυτές που αφορούν τα λιπάσματα ασβεστίου (κατά κανόνα υδατοδιαλυτό νιτρικό ασβέστιο). Όμως και οι ποσότητες λιπασμάτων ασβεστίου που απαιτούνται, συνήθως δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες γιατί, στις περισσότερες περιπτώσεις, το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων περιέχει ασβέστιο σε σημαντικές συγκεντρώσεις.

Στην πραγματικότητα, υπαρκτό πρόβλημα υπερβολικής κατανάλωσης λιπασμάτων υφίσταται μόνο σε ανοιχτά υδροπονικά συστήματα και μόνο όταν το χορηγούμενο νερό άρδευσης είναι μεγαλύτερο από τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας. Συνεπώς, το μειονέκτημα αυτό της υδροπονίας δεν είναι απόλυτο αλλά σχετικό και μπορεί να αντιμετωπισθεί ικανοποιητικά μέσω προσαρμογής του προγράμματος άρδευσης στις ανάγκες της καλλιέργειας.

### **1.1.2 Τύποι Υδροπονικής καλλιέργειας**

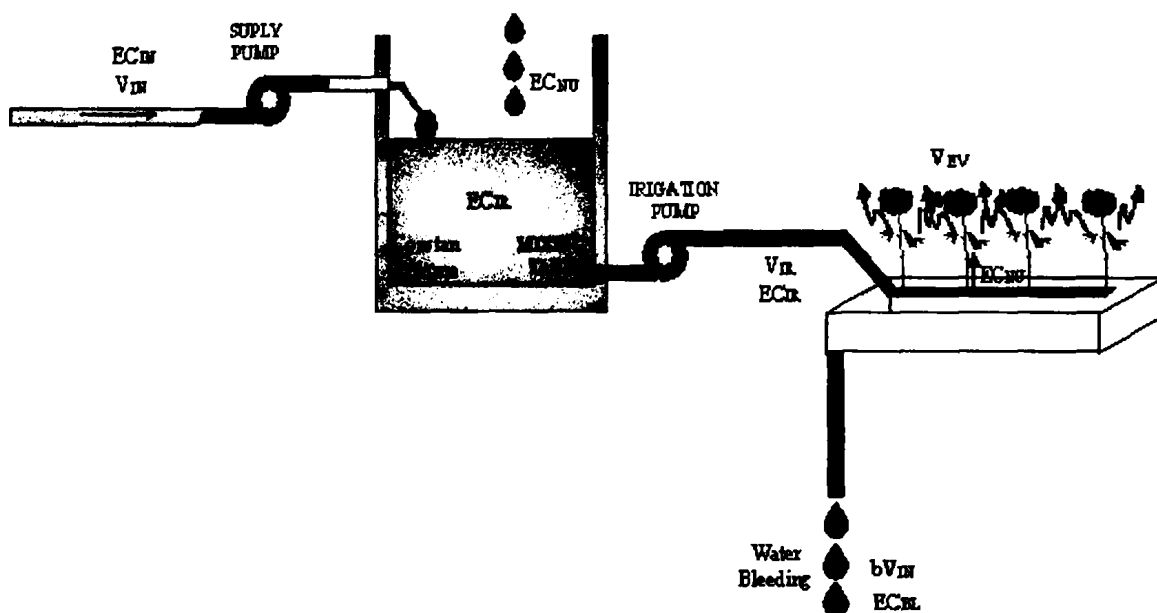
Διάλυμα απορροής ονομάζουμε το μέρος εκείνο του θρεπτικού διαλύματος το οποίο, μετά τη χορήγησή του στα φυτά, αποστραγγίζει και απομακρύνεται από το χώρο του ριζοστρώματος. Στις καλλιέργειες σε υπόστρωμα, διάλυμα απορροής αρχίζει να εμφανίζεται από τη στιγμή που το υπόστρωμα καλλιέργειας φτάνει σε κατάσταση υδατοϊκανότητας, οπότε δεν μπορεί να συγκρατηθεί πλέον άλλο θρεπτικό διάλυμα στο πορώδες του, μέσω των δυνάμεων συνάφειας. Έτσι, το επιπλέον διάλυμα που χορηγείται από εκείνη τη χρονική στιγμή και μετά, αποστραγγίζει λόγω βαρύτητας μέσω των μεγάλου μεγέθους πόρων που παραμένουν κενοί και απορρέει από ειδικά ανοίγματα που



φέρουν οι υποδοχείς των υποστρωμάτων. Στις καθαρές υδροκαλλιέργειες (καλλιέργειες σε θρεπτικό διάλυμα), όπως το σύστημα NFT, η αεροπονία, η επιδαπέδια υδροπονία κ.λ.π., όση ποσότητα θρεπτικού διαλύματος δεν απορροφάται από τις ρίζες των φυτών μετά τη χορήγησή της και δε λιμνάζει κάπου λόγω ύπαρξης φυσικών ή τεχνητών εμποδίων, μετατρέπεται σε διάλυμα απορροής (Σάββας, 1998).

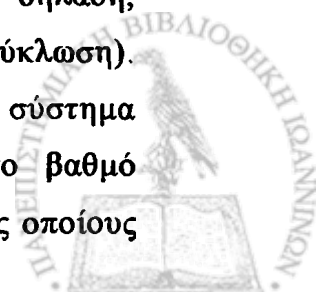
Ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης του διαλύματος απορροής διακρίνονται δύο τύποι υδροπονικών καλλιεργειών, τα ανοιχτά και τα κλειστά υδροπονικά συστήματα.

Στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα το διάλυμα απορροής δε συλλέγεται αλλά αφήνεται να χαθεί στο περιβάλλον (συνήθως απορροφάται από το έδαφος του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος χώρου ή οδηγείται σε κάποιο δίκτυο αποχέτευσης).

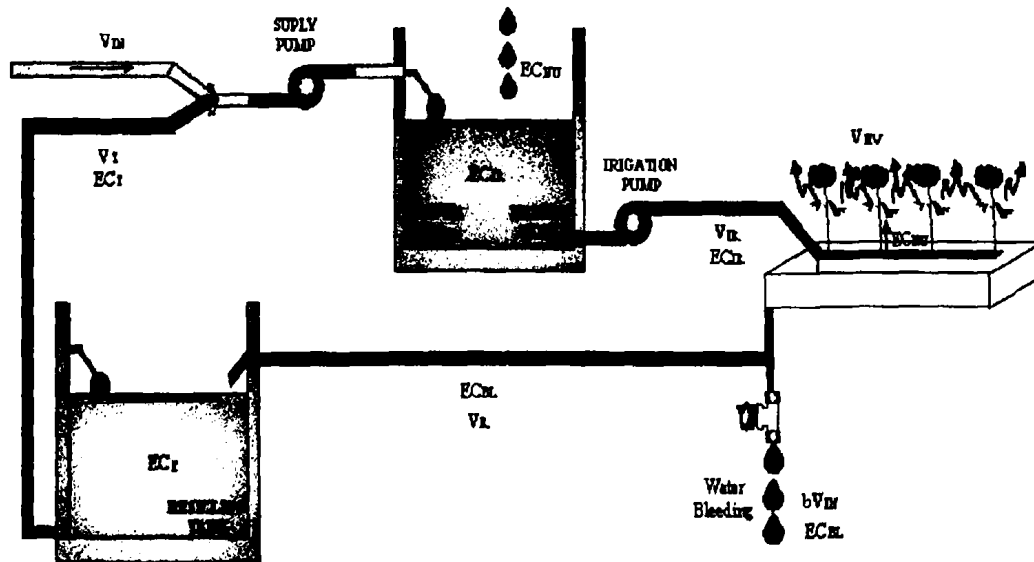


Σχήμα 1. Αναπαράσταση Ανοιχτού Υδροπονικού Συστήματος (Αρβανίτης, Πασγιάνος, 2002)

Κλειστά υδροπονικά συστήματα είναι εκείνα στα οποία το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα που απορρέει από το χώρο των ριζών συλλέγεται, συμπληρώνεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία και οδηγείται ξανά στην καλλιέργεια για να ξαναχρησιμοποιηθεί. Στα κλειστά συστήματα δηλαδή, λαμβάνει χώρα κυκλική κυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος (ανακύκλωση). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η ποσότητα νέου διαλύματος που εισάγεται στο σύστημα ισούται με την ποσότητα που καταναλώνεται από τα φυτά, στο βαθμό τουλάχιστον που δεν υπάρχουν διαρροές και οι αγωγοί, μέσα από τους οποίους



ρρει το διάλυμα, είναι καλυμμένοι, οπότε οι απώλειες από εξάτμιση είναι αμελητέες (Σάββας, 1998).



Σχήμα 2. Αναπαράσταση Κλειστού Υδροπονικού Συστήματος (Αρβανίτης, Πασγιάνος, 2002)

Τα κλειστά υδροπονικά συστήματα διαιρούνται περαιτέρω σε δύο επιμέρους κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, η κυκλική κυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος είναι συνεχής, ενώ στη δεύτερη είναι περιοδική. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται λόγος για κλειστά υδροπονικά συστήματα με επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος. Το θρεπτικό διάλυμα κυκλοφορεί συνεχώς, ακολουθώντας μία κλειστή κυκλική διαδρομή, ένα μεγάλο μέρος της οποίας το συνιστά η διέλευση μέσω του ριζοστρώματος των φυτών. Η συνεχής επανακυκλοφορία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μίας αντλίας που λειτουργεί συνεχώς. Κλασσικό παράδειγμα κλειστού υδροπονικού συστήματος με επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος είναι το σύστημα NFT και οι παραλλαγές του. Στη δεύτερη περίπτωση τα φυτά δεν τροφοδοτούνται συνεχώς με θρεπτικό διάλυμα, οπότε δε δημιουργείται συνεχές ρεύμα κυκλικής κυκλοφορίας. Η καλλιέργεια ποτίζεται πολλές φορές στη διάρκεια της ημέρας, αλλά για σύντομο χρόνο, σε ποσότητες που αντιστοιχούν στις ανάγκες της. Συνήθως επιδιώκεται να χορηγείται τόσο θρεπτικό διάλυμα κάθε φορά που ποτίζεται η καλλιέργεια, ώστε να περισσεύει μία ποσότητα (διάλυμα απορροής) που δε θα υπερβαίνει το 30 % του συνολικά χορηγούμενου όγκου.

Το διάλυμα απορροής συλλέγεται, οδηγείται πίσω στην εγκατάσταση παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης με τη βοήθεια μίας αντλίας και αφού συμπληρωθεί με τις κατάλληλες ποσότητες νερού και θρεπτικών





στοιχείων, ξαναχορηγείται στην καλλιέργεια. Επομένως, στην περίπτωση αυτή πρόκειται για κλειστά υδροπονικά συστήματα με επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος απορροής (Σάββας, 1998).

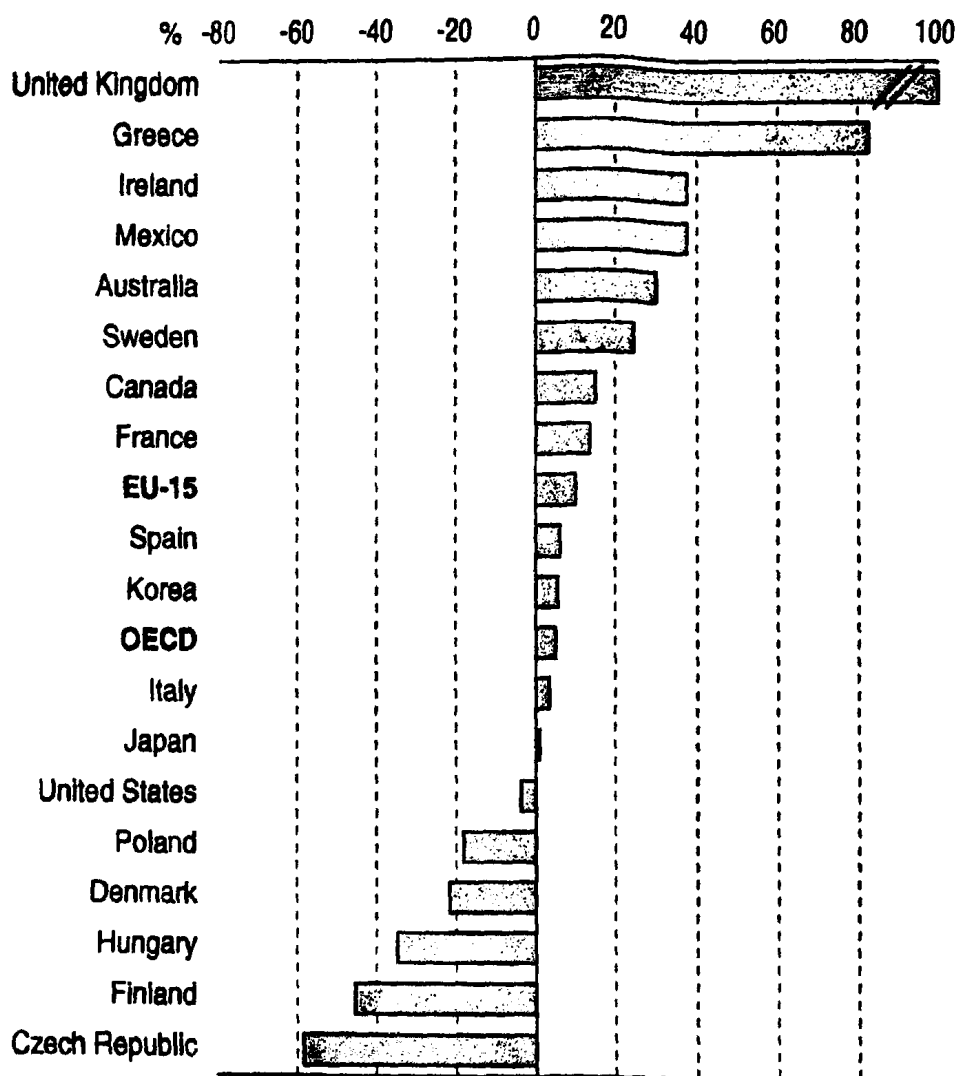
### 1.1.3 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα των Κλειστών Υδροπονικών Συστημάτων

Η εμπορική χρήση των ανοικτών υδροπονικών συστημάτων ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του '70, αλλά εξελίχθηκαν ραγδαία τη δεκαετία του '80 μετά την ανακάλυψη ίχνους μεθυλικού βρωμίδιου στο νερό ύδρευσης στην Ολλανδία. Άλλοι λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη των υδροπονικών συστημάτων, όπως αναφέρθηκε, ήταν η υψηλότερη και ποιοτικότερη παραγωγή, η εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, ο καλύτερος έλεγχος της ανάπτυξης των φυτών και η ανεξάρτηση από τον τύπο και την ποιότητα των εδαφών. Η τεχνική της υδροπονίας διαθέτει πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι των συμβατικών μεθόδων καλλιέργειας.

Στην πράξη αποδείχθηκε ότι απαιτείται η παροχή ενός επιπλέον 30 % του απαιτούμενου από τα φυτά θρεπτικού διαλύματος για την ομοιόμορφη και επαρκή άρδευση όλων των φυτών και την αποφυγή συσσώρευσης θρεπτικών στοιχείων (κυρίως του Na).

Το επιπλέον νερό και τα περιεχόμενα σ' αυτό λιπάσματα απορρίπτονται στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να έχουμε κατασπατάληση ενός πολύτιμου φυσικού πόρου (σε αρκετές περιοχές υπάρχει τρομακτικό έλλειμμα σε υδάτινους πόρους) (Van Os, 1999).





Σχήμα 3. Γεωργική χρήση νερού από τις αρχές '80 έως τέλη '90 (Stanghellini, 2000)

Η κατανάλωση του νερού για γεωργική χρήση επηρεάζεται από τον τύπο της καλλιέργειας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά κυρίως από τον τρόπο διαχείρισής του (Stanghellini, 2000).

Τα τελευταία 10 χρόνια παρατηρείται μια αφύπνιση της κοινωνίας σχετικά με τα περιβαλλοντικά προβλήματα, με αποτέλεσμα η γεωργία να βρεθεί στο επίκεντρο των συζητήσεων, λόγω της έκλυσης των λιπασμάτων, και της εκπομπής στο περιβάλλον τοξικών ουσιών (φυτοφάρμακα, εντομοκτόνα κ.α.) και αποβλήτων (πλαστικά και υποστρώματα καλλιεργειών). Έτσι στα τέλη της δεκαετίας του '80 και τις αρχές της δεκαετίας του '90 στις Κάτω Χώρες άρχισαν να αναπτύσσονται πολλά κλειστά υδροπονικά συστήματα.

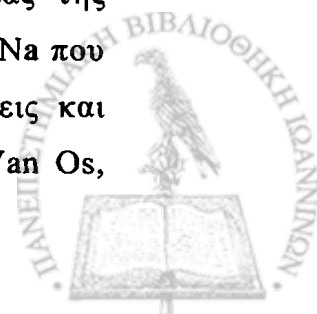


Πίνακας 1. Πρόβλεψη για την ανάπτυξη των κλειστών υδροπονικών συστημάτων (Van Os, 2001)

ΧΩΡΑ	Θερμοκηπιακές καλλιέργειες (σε ha)	Υδροπονικές καλλιέργειες (σε ha)		Εκτιμώμενη έκταση (σε 5 έτη) (σε ha)	
		Ανοιχτά + κλειστά συστήματα	% Κλειστά συστήματα	Μετατροπή από εδαφικά σε υδροπονικά κλειστά συστήματα	Μετατροπή από ανοιχτά σε κλειστά υδροπονικά συστήματα
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	10125	5000	70	1000	1000
ΓΑΛΛΙΑ	8500	1200	10	1000	500
ΙΣΠΑΝΙΑ	42500	3000	5	3000	2000
ΙΤΑΛΙΑ	25000	190	10	1000	50
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	4600	560	40	1000	300
ΒΡΕΤΑΝΙΑ	1000	460	50	100	100
ΒΕΛΓΙΟ	2250	1000	10	50	800
ΕΛΛΑΔΑ	5000	110	20	1000	20

Στη Βορειοδυτική Ευρώπη οι εκτιμήσεις είναι βασισμένες στους αυστηρούς κανονισμούς και τις αλλαγές που θα επιβληθούν για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος. Αντίθετα για τις Μεσογειακές χώρες έχουν ληφθεί υπόψη κυρίως οι οικονομικοί λόγοι (π.χ. η διαθεσιμότητα νερού υψηλής ποιότητας, η απαγόρευση του μεθυλικού βρωμίδιου και οι επενδύσεις για την αντικατάστασή του, οι προσδοκίες για τη βελτίωση της ποιότητας και της παραγωγικότητας) (Van Os, 2001).

Τα κλειστά υδροπονικά συστήματα αποτρέπουν την εκπομπή χημικών ουσιών στο περιβάλλον. Μελέτες έδειξαν ότι έχουμε εξοικονόμηση 30 % για το νερό, και 40 % για τα λιπάσματα σε σχέση με τα συμβατικά ανοικτά συστήματα. Μια 100 % αξιοποίηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων του διαλύματος απορροής, τις περισσότερες φορές δεν μπορεί να επιτευχθεί, εξαιτίας της χαμηλής ποιότητας του παρεχόμενου νερού. Αυτό οφείλεται κυρίως στο Na που περιέχεται στο νερό, το οποίο συσσωρεύεται σε υψηλές συγκεντρώσεις και οδηγεί σε μερική ή και πλήρη απόρριψη του θρεπτικού διαλύματος (Van Os, 1999).



Απέναντι σε αυτά τα πλεονεκτήματα των κλειστών υδροπονικών συστημάτων αντιπαραβάλλονται όμως και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα τα οποία τα καθιστούν πιο δύσκολα στην εφαρμογή τους από τον παραγωγό, ενώ παράλληλα αυξάνουν και τους κινδύνους για την καλλιέργεια. Κατ' αρχήν υπάρχει κίνδυνος, μέσω της ανακύκλωσης του διαλύματος να μολυνθεί όλη η καλλιέργεια με διάφορες ασθένειες αν προσβληθεί έστω και ένα φυτό (τουλάχιστον θεωρητικά). Εκτός αυτού, η συνεχής ανακύκλωση του ίδιου διαλύματος το οποίο απλώς συμπληρώνεται με καινούργιο διάλυμα σε αντικατάσταση των ποσοτήτων που καταναλώνονται από τα φυτά, οδηγεί αναγκαστικά στη συσσώρευση ορισμένων ανόργανων ιόντων που δεν προσλαμβάνονται ευχερώς από τα φυτά, όπως π.χ.  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ . Το πρόβλημα αυτό βέβαια δημιουργείται όταν τα ιόντα αυτά περιέχονται σε σημαντικές ποσότητες στο χρησιμοποιούμενο νερό, οπότε η συγκέντρωσή τους στο θρεπτικό διάλυμα αναγκαστικά είναι μεγαλύτερη από τις προσλαμβανόμενες από το φυτό ποσότητες αυτών. Η συνέπεια μίας τέτοιας κατάστασης είναι να ξεφύγει η θρέψη από τον έλεγχο του παραγωγού αν δεν γίνονται τακτικές αναλύσεις στο ανακυκλούμενο διάλυμα για την παρακολούθηση των αλλαγών που σημειώνονται στη σύστασή του, ώστε όταν σημειώνεται υπέρβαση ορισμένων κρίσιμων τιμών να γίνεται ολοκληρωτική αντικατάστασή του με νέο διάλυμα και όχι απλώς συμπλήρωσή του. Ένα τρίτο πρόβλημα που δημιουργείται όταν γίνεται ανακύκλωση του διαλύματος, είναι η βαθμιαία αλλαγή της σύστασής του, δεδομένου ότι τα φυτά διακρίνονται από εκλεκτικότητα κατά την απορρόφηση των ιόντων, με συνέπεια η αναλογία απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων να μη συμπίπτει με την αναλογία που υφίσταται στο διάλυμα. Για όλους αυτούς τους λόγους τα κλειστά υδροπονικά συστήματα δεν έχουν την προτίμηση των παραγωγών. Όταν όμως εφαρμόζεται ανακύκλωση του διαλύματος, οι λόγοι που υπαγορεύουν αυτή την επιλογή σχετίζονται κυρίως με προσπάθειες αποφυγής της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, και κυρίως του πόσιμου νερού και του εδάφους, με τα λιπάσματα που περιέχονται στο απορρέον διάλυμα και ιδιαίτερα με τα νιτρικά ιόντα (Σάββας, 1998).



## 1.2 Υποστρώματα

Στις υδροπονικές καλλιέργειες το υπόστρωμα αποτελεί ένα υποκατάστατο του εδάφους και επομένως θα πρέπει να είναι σε θέση να επιτελεί όλες τις λειτουργίες που γίνονται από το χώμα και μάλιστα με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Μόνο όταν εκπληρώνεται αυτή η προϋπόθεση είναι οικονομικά σκόπιμη η χρήση υποστρώματος αντί της καλλιέργειας στο έδαφος.

Η χρησιμότητα του εδάφους για τα φυτά συνίσταται στην εξασφάλιση της ανόργανης θρέψης τους και στην παροχή μηχανικής στήριξης σε αυτά. Πρόβλημα στήριξης των φυτών όμως δεν υφίσταται στις υδροπονικές καλλιέργειες στις οποίες γίνεται χρήση υποστρώματος, εφόσον αυτές λαμβάνουν χώρα στο θερμοκήπιο. Τα φυτά που αναπτύσσονται αρκετά σε ύψος (ντομάτα, αγγούρι κ.λ.π.) προσδένονται και υποστυλώνονται, με συνέπεια να μην έχουν ανάγκη τη στήριξη που τους παρέχει το έδαφος, ενώ τα χαμηλής ανάπτυξης (μαρούλι κ.λ.π.) στηρίζονται ικανοποιητικά από το υπόστρωμα. Επομένως η βασική λειτουργία την οποία καλούνται να επιτελέσουν επιτυχώς τα υποστρώματα είναι η εξασφάλιση καλής και ισόρροπης θρέψης στα φυτά.

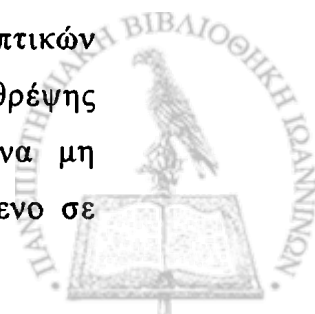
Ο προφανέστερος τρόπος εξασφάλισης καλής και ισόρροπης θρέψης στα φυτά των υδροπονικών καλλιεργειών είναι η χρησιμοποίηση υποστρωμάτων που συμπεριφέρονται όπως ένα πολύ καλό και γόνιμο έδαφος. Σύμφωνα με αυτή τη προσέγγιση τα χρησιμοποιούμενα υποστρώματα θα πρέπει να έχουν πολύ καλή και ομοιόμορφη δομή, υφή και σύσταση και να διαθέτουν υψηλό επίπεδο ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων. Θα πρέπει δηλαδή να μπορούν να συγκρατούν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών ιόντων όταν αυτά υπάρχουν σε περίσσεια στο εδαφικό διάλυμα και αντίστοιχα να μπορούν άμεσα να απελευθερώσουν αξιόλογες ποσότητες από αυτά, όταν στο χώρο του ριζοστρώματος δημιουργούνται συνθήκες ανεπάρκειας. Τα υποστρώματα αυτά συνήθως περιέχουν οργανική ουσία είτε σε μορφή τύρφης είτε σε κάποια άλλη μορφή και μπορούν να χαρακτηριστούν ως χημικά ενεργά υποστρώματα (π.χ. Τύρφη, Κομπόστ, Κοκκόχωμα, Φλοιοί δένδρων, Ροκανίδια). Στην πραγματικότητα τα υποστρώματα αυτά υπερτερούν μόνο χάρις στην ομοιομορφία τους και στην επιλογή των πλέον κατάλληλων υλικών για την παρασκευή τους σε σύγκριση με τα περισσότερα φυσικά εδάφη. Παράλληλα όμως μειονεκτούν σε σύγκριση με το χώμα λόγω του πολύ μικρότερου όγκου υποστρώματος ανά φυτό. Γίνεται προφανές λοιπόν ότι η καλλιέργεια φυτών σε



χημικώς ενεργά υποστρώματα κατά βάση να προσομοιάζει πολύ με τις κοινές καλλιέργειες που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος με συνέπεια οι δυνατότητες αριστοποίησης της θρέψης να είναι περιορισμένες, αφού όπως και στο έδαφος η θρέψη δεν είναι πλήρως ελεγχόμενη (Σάββας, 2000).

Ο ρόλος του εδάφους στη θρέψη των φυτών είναι πολύπλευρος και συνίσταται τόσο στην παροχή θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα και μέσω αυτού στα φυτά, όσο και στη ρύθμιση της διαθεσιμότητας των υπαρχόντων θρεπτικών στοιχείων. Η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους οφείλεται κυρίως στην ανταλλακτική του ικανότητα η οποία του επιτρέπει να εναποθηκεύει ένα μέρος των θρεπτικών στοιχείων όταν αυτά βρίσκονται σε αφθονία και να τα απελευθερώνει ξανά όταν οι συγκεντρώσεις τους στο εδαφικό διάλυμα μειώνονται λόγω απορρόφησης από τα φυτά ή έκπλυσης. Οι ιδιότητες αυτές του εδάφους καθιστούν τα φυτά ανεξάρτητα από την εξωτερική χορήγηση θρεπτικών στοιχείων. Για τα καλλιεργούμενα φυτά αυτό σημαίνει ότι μπορούν να επιβιώνουν και να αναπτύσσονται ως ένα βαθμό ακόμη και όταν η χορήγηση λιπασμάτων στην καλλιέργεια αποκλίνει σημαντικά από τις ποσότητες που απορροφώνται από αυτή. Από την άλλη πλευρά όμως, η έντονη αυτή εξάρτηση της προσφοράς θρεπτικών στοιχείων στα φυτά από το έδαφος αποτελεί μειονέκτημα για την καλλιέργεια, δεδομένου ότι λόγω της ετερογένειας του εδάφους και των δυσχερειών στην πρόβλεψη των συνθηκών περιβάλλοντος είναι δύσκολο να εκτιμηθεί πως ακριβώς θα συμπεριφερθεί αυτό από άποψη θρέψης σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Επομένως η κατάρτιση ενός ισόρροπου σχήματος λίπανσης και θρέψης της καλλιέργειας δυσχεραίνεται, ενώ και η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου σχήματος λίγο ως πολύ περιορίζεται, αφού η τροφοδότηση των φυτών με θρεπτικά στοιχεία δεν εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τις χορηγούμενες ποσότητες λιπασμάτων αλλά και από τις εκάστοτε ιδιότητες του εδάφους (Σάββας, 1998).

Για όλους αυτούς τους λόγους μια άλλη προσέγγιση στην επιλογή κατάλληλων για υδροπονία υποστρωμάτων είναι αυτή η οποία απορρίπτει την ιδέα της χρησιμοποίησης ενός υλικού που θα ρυθμίζει τη θρέψη των φυτών με τον ίδιο τρόπο όπως το έδαφος. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση το υπόστρωμα θα πρέπει να μην ασκεί καμία ρύθμιση στην προσφορά θρεπτικών στοιχείων στα φυτά με συνέπεια να είναι δυνατός ο πλήρης έλεγχος της θρέψης μέσω της λίπανσης και μόνο. Τα υλικά αυτά δηλαδή θα πρέπει να μη συγκρατούν αλλά και να μην αποδίδουν ανόργανα ιόντα στο περιεχόμενο σε



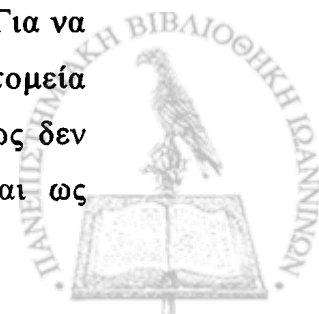
αυτά θρεπτικό διάλυμα. Τα υλικά που χαρακτηρίζονται από μία τέτοια συμπεριφορά ονομάζονται χημικώς αδρανή υποστρώματα (π.χ. Άμμος, Χαλίκι, Ελαφρόπετρα, Πετροβάμβακας και Υαλοβάμβακας, Περλίτης, Άργιλλος, Βερμικουλλίτης, Ζεόλιθος) και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην υδροπονία

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
- να έχει σταθερή δομή (δηλαδή να μην αποσυντίθεται εύκολα)
- να είναι υδρόφιλο
- να έχει διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 3 χρόνια
- να είναι χαμηλού κόστους
- να είναι απαλλαγμένο από φυτονόσους
- να είναι φιλικό προς το περιβάλλον
- να είναι εύκολο στους χειρισμούς (μικρό βάρος κ.λ.π.)
- να είναι ομοιόμορφο όσον αφορά τη σύσταση, την εμφάνιση και τη συμπεριφορά από άποψη θρέψης (Σάββας, 1998).

### 1.2.1 Ελαφρόπετρα

Αναφορά θα κάνουμε μόνο στην ελαφρόπετρα την οποία έχουμε χρησιμοποιήσει στην παρούσα εργασία. Η ελαφρόπετρα είναι το κοινό όνομα του ορυκτού κιριζίτης. Πρόκειται για ένα αργιλοπυριτικό ηφαιστειογενές ορυκτό το οποίο δεν έχει τη συμπαγή υφή των άλλων πετρωμάτων αλλά φέρει εκτεταμένο πορώδες σε όλη του τη μάζα. Η ύπαρξη ενός τόσο εκτεταμένου πορώδους καθιστά την ελαφρόπετρα ένα πέτρωμα με χαμηλό ειδικό βάρος. Σε αυτήν ακριβώς τη φυσική της ιδιότητα οφείλει και το όνομά της. Ο σχηματισμός των πόρων στην ελαφρόπετρα οφείλεται στη διαφυγή ηφαιστειακών αερίων μέσα από τη μάζα της κατά το χρόνο που ελάμβανε χώρα η ψύξη της λάβας. Στη φύση η ελαφρόπετρα συναντάται σε μορφή μεγάλων πλακών ή τεμαχίων. Για να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια φυτών θα πρέπει να θρυμματίζεται σε λατομεία σε μικρούς κόκκους μεγέθους μέχρι 4 ή το πολύ μέχρι 8 mm. Αυτό όμως δεν αποτελεί πρόβλημα δεδομένου ότι η ελαφρόπετρα χρησιμοποιείται και ως

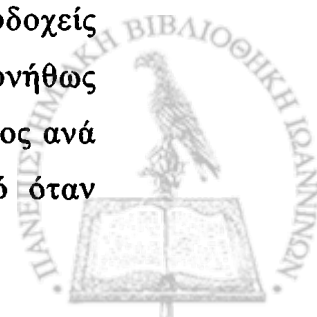


οικοδομικό υλικό με αποτέλεσμα να υπάρχουν αρκετά λατομεία τα οποία την τεμαχίζουν σε μέγεθος ψηφίδας ή ακόμη και χονδρής άμμου. Στην Ελλάδα υπάρχουν εκτεταμένα κοιτάσματα ελαφρόπετρας στα νησιά του Αιγαίου (Κυκλάδες, Δωδεκάνησα) από τα οποία τα σημαντικότερα βρίσκονται στη Νίσυρο.

Η ελαφρόπετρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα υδροπονίας είτε ως έχει (δηλαδή στην κατάσταση που είναι όταν παραλαμβάνεται από το λατομείο), είτε μετά από κοσκίνισμα (ώστε να απομακρυνθεί το κονιοποιημένο κλάσμα), είτε μετά από ξέπλυμα. Από τα μέχρι σήμερα δεδομένα που έχουν προκύψει τόσο από την έρευνα όσο και από την καλλιεργητική τεχνική φαίνεται ότι τόσο το κοσκίνισμα όσο και το ξέπλυμα δε βελτιώνουν την καλλιεργητική συμπεριφορά της ελαφρόπετρας, ενώ αυξάνουν το κόστος εγκατάστασης της καλλιέργειας. Από καλλιεργητικά και πειραματικά δεδομένα φαίνεται επίσης ότι το καταλληλότερο κοκκομετρικό κλάσμα ελαφρόπετρας για υδροπονικές καλλιέργειες είναι αυτό των 0 – 4 mm. Αναμιγνύοντας μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων με μικρότερα βελτιώνονται οι φυσικές ιδιότητες οδηγώντας σε μεγαλύτερη συγκράτηση νερού, σε καλύτερη ανάπτυξη των φυτών και μεγαλύτερη παραγωγή.

Η ελαφρόπετρα έχει φαινόμενο ειδικό βάρος 0,88 g/cm<sup>3</sup> ως έχει, ενώ σε περίπτωση που υποστεί ξέπλυμα ή κοσκίνισμα το Φ.Ε.Β μειώνεται στα 0,62 – 0,63 g/cm<sup>3</sup>. Το ολικό πορώδες της ελληνικής ελαφρόπετρας κυμαίνεται γύρω στο 70-75% (το κοσκίνισμα και το ξέπλυμα τείνουν να το αυξήσουν) και το pH στο 7,3. Πειράματα έδειξαν ότι το πορώδες της ελαφρόπετρας ήταν χαμηλότερο, ενώ το φαινόμενο ειδικό βάρος ήταν ψηλότερο από αυτό του περλίτη. Η ελαφρόπετρα έχει πολύ χαμηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων με συνέπεια στην πράξη να συμπεριφέρεται ως χημικά αδρανής. Σύμφωνα με χημική ανάλυση που έχει διενεργηθεί σε εκχύλισμα 1:1,5 από δείγμα αχρησιμοποίητης ελαφρόπετρας Νισύρου η οποία δεν είχε υποστεί καμία κατεργασία (ξέπλυμα ή κοσκίνισμα) η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υποστρώματος ανέρχεται σε 0,2 dS/m. Η ικανότητα συγκράτησης νερού της ελαφρόπετρας (0,4 mm) κυμαίνεται γύρω στο 30% (Σάββας, 2000).

Η ελαφρόπετρα μπορεί να τοποθετηθεί σχεδόν σε κάθε είδους υποδοχείς υποστρωμάτων. Κατά κανόνα όμως τοποθετείται σε φυτοδοχεία (συνήθως γλάστρες), σε σάκους καλλιέργειας και σε κανάλια. Ο όγκος υποστρώματος ανά φυτό σε γενικές γραμμές συνιστάται να είναι από 2 λίτρα ανά φυτό όταν





πρόκειται για φυτά που φυτεύονται πυκνά (π.χ. μαρούλι, χρυσάνθεμο) και μέχρι 10 λίτρα ανά φυτό σε καλλιέργειες με αραιά φύτευση (π.χ. αγγούρι).

### 1.2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Ελαφρόπετρας

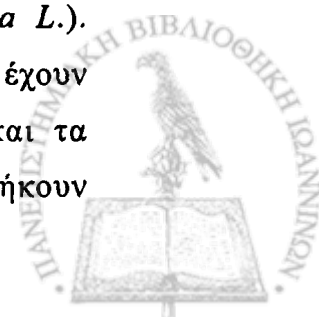
Το μεγάλο πλεονέκτημα που έχει η ελαφρόπετρα είναι η πολύ χαμηλή τιμή της, η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη ακόμη και από αυτή του περλίτη (2-3 φορές χαμηλότερη). Σε σύγκριση μάλιστα με το κόστος αγοράς διαφόρων εισαγομένων υποστρωμάτων (πετροβάμβακας, διογκωμένη άργιλος κ.λ.π.), η δαπάνη αγοράς ελαφρόπετρας είναι θεαματικά μικρότερη. Εκτός όμως από τη χαμηλή τιμή της η ελαφρόπετρα έχει επιδείξει άριστη καλλιεργητική συμπεριφορά στις δοκιμές και τα πειράματα που έχουν γίνει μέχρι σήμερα με τομάτες, τριαντάφυλλο κ.λ.π. (Savvas, 1997). Γι' αυτούς τους λόγους τα τελευταία χρόνια η ελαφρόπετρα έχει καταστεί ένα πολύ ενδιαφέρον υπόστρωμα για υδροπονικές καλλιέργειες, τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς.

Εκτός από τη χαμηλή τιμή της και την πολύ καλή καλλιεργητική συμπεριφορά η ελαφρόπετρα διαθέτει και ένα ακόμη πλεονέκτημα. Είναι ένα υλικό το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί αρκετές φορές. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται η χρησιμοποίηση της ίδιας ελαφρόπετρας μέχρι 6 έτη σε καλλιέργεια γαριφαλιάς (3 διαδοχικές καλλιέργειες) με πολύ καλά αποτελέσματα (Pivet, 1996). Σε περίπτωση επαναχρησιμοποίησής της όμως, πριν την εγκατάσταση νέας καλλιέργειας συνιστάται να απολυμαίνεται. Σύμφωνα με τους Gunnlaugsson et al. (1996), η ελαφρόπετρα μπορεί να απολυμανθεί εύκολα και αποτελεσματικά με ατμό.

Το μειονέκτημα της ελαφρόπετρας είναι ότι έχει μεγάλο φαινόμενο ειδικό βάρος ( $0,6-0,8 \text{ g/cm}^3$ ). Εξαιτίας του μεγάλου βάρους της παρουσιάζεται δυσκολία κατά τη μετακίνησή της.

### 1.3 Βοτανική ταξινόμηση και προέλευση του μαρουλιού

Το καλλιεργούμενο μαρούλι ανήκει στην οικογένεια των σύνθετων (*Compositae*), στο γένος *Lactuca* και στο είδος *sativa* (*Lactuca sativa* L.). Επίσης ανήκει στην υποδιαίρεση *Liguliflorae*, στην οποία τα ανθίδια έχουν χαρακτηριστικό σχήμα που μοιάζει σαν λουρί, ενώ στους βλαστούς και τα φύλλα σχηματίζεται ένας γαλακτώδης χυμός (latex). Στο γένος *Lactuca* ανήκουν



περισσότερα από 100 είδη. Το καλλιεργούμενο ή ήμερο μαρούλι είναι φυτό μονοετές, ποώδες, δικοτυλήδοно και διπλοειδές, έχει 18 χρωματοσώματα ( $2n=18$ ). Είναι φυτό αυτογονιμοποιούμενο, εκτός από κάποιες περιπτώσεις και μόνο σε μερικές ποικιλίες παρατηρείται ένα μικρό ποσοστό σταυρεπικονίασης.

Άλλα σημαντικά είδη της οικογένειας των σύνθετων είναι το αντίδι (*Cichorium endivia* L.), το ραδίκι (*Cichorium intybus* L. var. *capita*), η αγκινάρα (*Cynara scolymus* L.), ο ηλίανθος (*Helianthus annuus*) και το χρυσάνθεμο (*Chrysanthemum* sp.).

Το καλλιεργούμενο μαρούλι θεωρείται ότι προέρχεται από το άγριο ή ακανθώδη είδος *L. serriola* L. Ενώ είναι ευρέως αποδεκτή αυτή η θεωρία, μερικοί βοτανολόγοι πιστεύουν ότι ο υβριδισμός έπαιξε σπουδαίο ρόλο στην ανάπτυξη των δύο αυτών ειδών. Ένα άλλο είδος που σχετίζεται στενά, είναι το *L. virosa* L., το οποίο μαζί με το *L. serriola* L. χρησιμοποιούνται συχνά σε προγράμματα διασταυρώσεων για την παραγωγή καλλιεργούμενων ποικιλιών (Swiader et al., 1992).

Ως κέντρο καταγωγής του μαρουλιού θεωρείται η περιοχή της Μεσογείου, της Μικράς Ασίας, του Καυκάσου, της Περσίας και του Τουρκμεκιστάν (Swiader et al., 1992). Οι πρώτες αποδείξεις της καλλιέργειας μαρουλιού εμφανίστηκαν σε επιτύμβιες πλάκες στην Αίγυπτο, περίπου το 4.500 π.Χ. Διαδόθηκε σε πολλές περιοχές, η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία ήταν μια από τις περιοχές της Μεσογείου όπου καλλιεργούνταν ευρέως, τον 7<sup>ο</sup> αιώνα έφτασε στην Κίνα και στο Νέο Κόσμο εισήχθηκε από τους Ισπανούς.

Το μαρούλι είναι το σημαντικότερο φυλλώδες λαχανικό και χρησιμοποιείται στην Ελλάδα ναπό σε σαλάτα, κυρίως από το φθινόπωρο μέχρι την άνοιξη. Είναι κατά κανόνα υπαίθρια καλλιέργεια, αλλά αναπτύσσεται και σε θερμοκήπια. Τα τελευταία χρόνια η θερμοκηπιακή καλλιέργεια παρουσιάζει αύξηση σε περιοχές πιο ψυχρές την περίοδο του χειμώνα, στην οποία παρατηρείται γρήγορος ρυθμός ανάπτυξης και καλύτερης ποιότητας προϊόν. Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα ανάπτυξης φυτών με υδροπονικές καλλιέργειες.

### 1.3.1 Καλλιέργεια μαρουλιού

Το μαρούλι είναι φυτό ψυχρής εποχής και μεγάλης φωτοπεριόδου για την ανθική επαγωγή. Παλιότερα η καλλιέργεια γινόταν κυρίως στον αγρό



ξεκινώντας από νωρίς το φθινόπωρο έως αργά την άνοιξη, αποφεύγοντας την καλοκαιρινή περίοδο των υψηλών θερμοκρασιών. Οι κλιματικές συνθήκες του καλοκαιριού αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Τα τελευταία χρόνια η θερμοκηπιακή καλλιέργεια παρουσιάζει αύξηση σε περιοχές πιο ψυχρές για την περίοδο του χειμώνα, στην οποία και παρατηρείται γρήγορος ρυθμός ανάπτυξης και καλύτερης ποιότητας προϊόν. Επίσης αύξηση παρουσιάζει και η καλλιέργεια μαρουλιού σε υδροπονικά συστήματα.

Λόγω του μεγέθους και της διάταξης των φύλλων το μαρούλι καταναλώνει μέσω της διαπνοής μικρές μόνο ποσότητες νερού, ιδιαίτερα το χειμώνα, όπου κατά κύριο λόγο καλλιεργείται στην Ελλάδα. Γι' αυτό τόσο η συχνότητα του ποτίσματος όσο και η ποσότητα του νερού ανά άρδευση θα πρέπει να είναι περιορισμένες, ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος εμφάνισης ασθενειών που ευνοούνται από την υπερβολική υγρασία.

Η επιφανειακή λίπανση συνήθως γίνεται μέσω παροχής των λιπασμάτων με το νερό της άρδευσης (υδρολίπανση).

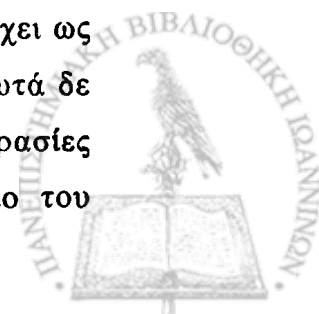
### 1.3.2 Κλιματικές απαιτήσεις

#### 1.3.2.1 Θερμοκρασία

Το μαρούλι είναι φυτό ψυχρής εποχής και αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, αντέχει μέχρι τους  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος στην οποία αναπτύσσεται το μαρούλι είναι από  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Τα καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνονται όταν η θερμοκρασία της νύχτας κυμαίνεται  $5-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  πιο χαμηλά από την αντίστοιχη θερμοκρασία ημέρας. Στην περίπτωση του σπορείου τα φυτάρια χρειάζονται  $2-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  πάνω από τη θερμοκρασία του χώρου ανάπτυξης των φυτών.

Η άριστη θερμοκρασία ημέρας αλλά και νύχτας ποικίλει και εξαρτάται από την εποχή, την ηλικία του φυτού, τον τύπο του μαρουλιού, την ποικιλία, την ένταση του φωτισμού και το επίπεδο του  $\text{CO}_2$  (Δημητράκης, 1998).

Υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν τη γρήγορη ανάπτυξη, αλλά αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή λεπτών και μικρών φυτών, κυρίως όταν τα φυτά δε βρίσκονται στα πρώτα στάδια ανάπτυξής τους. Επίσης υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν κάψιμο των κορυφών ή περιφερειακό κάψιμο του



φύλλου. Γενικά τα μαρούλια την περίοδο που σχηματίζουν την κεφαλή απαιτούν χαμηλές θερμοκρασίες, γιατί στην αντίθετη περίπτωση ενθαρρύνεται ο σχηματισμός ανθοφόρων βλαστών ή σχηματίζουν κεφαλές χαλαρές. Εκτός από τη θερμοκρασία ο σχηματισμός του ανθοφόρου βλαστού επηρεάζεται και από τη μεγάλη φωτοπερίοδο. Επίσης η ένταση του φωτισμού είναι συνδεδεμένη με τη θερμοκρασία και όσο πιο υψηλή είναι, τόσο και το επίπεδο της θερμοκρασίας πρέπει να βρίσκεται υψηλά.

### 1.3.2.2 Φως

Το φως είναι σημαντικός κλιματικός παράγοντας και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή σε καλλιέργεια θερμοκηπίου. Σε χειμερινή καλλιέργεια όπου ο φωτισμός είναι περιορισμένος, πρέπει να αποφευχθούν οι υψηλές θερμοκρασίες, γιατί όπως έχει ήδη αναφερθεί, πρέπει αυτοί οι δύο παράγοντες να βρίσκονται σε ισορροπία.

Οι ποικιλίες του μαρουλιού με βάση τη φωτοπερίοδο για την ανθική επαγωγή διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) ποικιλίες που είναι ουδέτερες ως προς τη φωτοπερίοδο (καλοκαιρινές ποικιλίες) και β) ποικιλίες μεγάλης φωτοπεριόδου (καλλιεργούνται στο θερμοκήπιο για χειμερινή παραγωγή).

Επιπρόσθετα το φως παίζει σημαντικό ρόλο στη βλάστηση των σπόρων μαρουλιού. Όταν ο σπόρος είναι φρέσκος, απαιτείται η παρουσία του φωτός για ομοιόμορφη βλάστηση, αλλά και για την αποφυγή αδύναμων και λεπτών φυταρίων.

### 1.3.3 Τύποι μαρουλιού

Τα καλλιεργούμενα μαρούλια, ανάλογα με τη μορφή και τη διάταξη των φύλλων στο βλαστό καθώς και το σχηματισμό ή όχι της κεφαλής, διακρίνονται σε πέντε κυρίως τύπους, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω.

Κως ή Ρωμάνα (cos ή romaine), *Lactuca sativa L. var longifolia L.*: φέρει μακριά και στενά φύλλα, έχει κατακόρυφη ανάπτυξη, είναι όρθιο και υψηλό με χαλαρή κεφαλή. Τα εξωτερικά φύλλα έχουν σκούρο πράσινο χρώμα και εσωτερικά πιο ανοιχτό. Σε σχέση με το κεφαλωτό είναι περισσότερο ανθεκτικό στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Λείο κεφαλωτό (butterhead), *Lactuca sativa L. var capitata D.C.* Είναι το



B. Ευρωπαϊκό: φέρει φύλλα μαλακά, λεία και ευλύγιστα τα οποία σχηματίζουν μια χαλαρή κεφαλή. Το κεντρικό νεύρο, αλλά και οι ενδιάμεσες νευρώσεις δεν είναι τόσο ευδιάκριτες όσο του κεφαλωτού κατσαρού τύπου. Είναι ευαίσθητο στους χειρισμούς.

Κατσαρό κεφαλωτό (iceberg), *Lactuca sativa L. var. capitata D.C.* Είναι το B. Αμερικάνικο: η κεφαλή του είναι μεγάλη (μέχρι 500 g περίπου) σφιχτή και σχεδόν σφαιρική. Φέρει φύλλα κυματοειδή, τραγανά και εύθραυστα. Το μαρούλι αυτού του τύπου παρουσιάζει ευαισθησία στις υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα η καλλιέργειά του σε θερμές περιοχές να είναι περιοριστική.

Σαλάτα (loose-leaf), *Lactuca sativa L. var. Crispa L.*: τα φύλλα του αναπτύσσονται ελεύθερα και είναι κατσαρά, κυματοειδή ανοιχτού πράσινου χρώματος χωρίς να σχηματίζουν κεφαλή. Μερικές φορές τα εξωτερικά του φύλλα έχουν μια κόκκινη απόχρωση. Δεν είναι ανθεκτικό στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Κινέζικο (stem - lettuce), *Lactuca sativa L. var. asparagina Baily*: καλλιεργείται για το σαρκώδες στέλεχος, το οποίο χρησιμοποιείται νωπό ή μαγειρεμένο, αλλά και για τα τρυφερά του φύλλα.

#### 1.4 Θρεπτικά διαλύματα

Είναι ευρέως γνωστό ότι τα ανώτερα φυτά έχουν ανάγκη από 16 χημικά στοιχεία για να είναι σε θέση να αναπτυχθούν και να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο. Από τα στοιχεία αυτά τα 9 είναι απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες και ονομάζονται μακροστοιχεία, ενώ τα υπόλοιπα 7 είναι απαραίτητα μόνο σε ίχνη, γι' αυτό και ονομάζονται ιχνοστοιχεία.

Τα μακροστοιχεία είναι ο άνθρακας (C), το οξυγόνο (O), το υδρογόνο (H), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το θείο (S), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca) και το μαγνήσιο (Mg).

Τα ιχνοστοιχεία είναι ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), το βόριο (B), το μολυβδαίνιο (Mo) και το χλώριο (Cl).

Εδώ πρέπει ίσως να επισημάνουμε ότι υπάρχουν μερικά στοιχεία, που απαιτούνται από ελάχιστα φυτά σε πάρα πολύ μικρά ποσότητες (π.χ. Na, Co, Si, Va), τα οποία όμως για την πλειονότητα των ανώτερων φυτών δεν είναι απαραίτητα.

Εκτός από τον άνθρακα, όλα τα άλλα θρεπτικά στοιχεία που είναι



απαραίτητα στα φυτά περιέχονται σε διαλυμένη μορφή στο νερό του εδάφους και από εκεί προσλαμβάνονται από τις ρίζες. Αν όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία προστεθούν στο νερό σε κατάλληλες ποσότητες προκύπτει ένα υδατικό διάλυμα το οποίο καλείται θρεπτικό διάλυμα, γιατί μπορεί να καλύψει πλήρως τις θρεπτικές ανάγκες των φυτών (Σάββας, 2000).

Στην υδροπονία χρησιμοποιούνται πλήρη θρεπτικά διαλύματα, τα οποία περιέχουν όλα τα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, εκτός του άνθρακα, τον οποίο το φυτό τον προσλαμβάνει από την ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Το υδρογόνο και το οξυγόνο, είναι συστατικά του νερού οπότε η πρόσληψη γίνεται μέσω αυτού, ενώ οξυγόνο επίσης προσλαμβάνεται και από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το χλώριο εμπεριέχεται σχεδόν πάντοτε σε επαρκείς ποσότητες ως χλωριούχο ανιόν στο νερό άρδευσης που χρησιμοποιείται για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων. Επομένως πρέπει να προστίθενται 12 χημικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων.

Πίνακας 2. Μορφές θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα

Μακροστοιχείο	Χημική Μορφή	Ιχνοστοιχείο	Χημική Μορφή
Άζωτο (N)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Σίδηρος (Fe)	Fe <sup>2+</sup>
Φώσφορος (P)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Μαγγάνιο (Mn)	Mn <sup>2+</sup>
Θείο (S)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ψευδάργυρος (Zn)	Zn <sup>2+</sup>
Κάλιο (K)	K <sup>+</sup>	Χαλκός (Cu)	Cu <sup>2+</sup>
Ασβέστιο (Ca)	Ca <sup>2+</sup>	Βόριο	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
Μαγνήσιο (Mg)	Mg <sup>2+</sup>	Μολυβδαίνιο	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

Για όλα τα στοιχεία (μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία) που αναφέραμε παραπάνω έχουν βρεθεί κατάλληλα χημικά σκευάσματα (λιπάσματα), τα οποία προστιθέμενα στο νερό τα ελευθερώνουν στη μορφή στην οποία τα προσλαμβάνουν τα φυτά.

Σε πολλές περιπτώσεις τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία θρεπτικών διαλυμάτων περιέχουν άκρως διαλυτά ανόργανα άλατα, ενώ ειδικά ο σίδηρος χορηγείται σε μορφή οργανομεταλλικών συμπλόκων (χηλικές ενώσεις σιδήρου) (Wreesman, 1996; Savvas 2001). Ακόμη χρησιμοποιούνται ορισμένα ανόργανα οξέα κυρίως νιτρικά, φωσφορικά και βορικά. Στον ακόλουθο πίνακα αναφέρονται τα λιπάσματα που συνήθως



χρησιμοποιούνται στην παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων, τα χημικά τους ονόματα, οι χημικοί τους τύποι, το ποσοστό θρεπτικών στοιχείων που περιέχουν, τα μοριακά τους βάρη και η διαλυτότητά τους στο νερό.

Πίνακας 3. Συνοπτική περιγραφή των διαλυτών λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται συνήθως στην υδροπονία (Savvas, 2001)

Λίπασμα	Χημικός τύπος	Θρεπτικό στοιχεία	Μοριακό βάρος (g)	Διαλυτότητα (kg L <sup>-1</sup> , 0 °C)
νιτρικό αμμώνιο	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	N:35	80.0	1.18
νιτρικό ασβέστιο	5[Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O]NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	N:15.5,Ca:19	1080.5	1.02
νιτρικό κάλιο	KNO <sub>3</sub>	N:13,K:38	101.1	0.13
νιτρικό μαγνήσιο	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	N:11,Mg:9	256.3	2.79 (20° C)
νιτρικό οξύ	HNO <sub>3</sub>	N:22	63.0	-
ορθοφορικό μονοαμμώνιο	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	N:12,P:27	115.0	0.23
ορθοφορικό μονοκάλιο	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	P:23, K:28	136.1	1.67
ορθοφορικό οξύ	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	P:32	98.0	-
θειικό κάλιο	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K:45,S:18	174.3	0.12
θειικό μαγνήσιο	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	Mg:9.7,S:13	246.3	0.26
βραχικό μονοκάλιο	KHCO <sub>3</sub>	K:39	100.1	1.12
σίδερος	Διαφορετικοί τύποι	Fe: 6-13	-	-
μαγγάνιο	MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	Mn:32	169.0	1.05
ψευδάργυρος	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	Zn:23	287.5	0.62
χαλκός	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	Cu:25	249.7	0.32
βορ	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	B:11	381.2	0.016
οξείδιο βορίου	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	B:17.5	61.8	0.050
βορ	Na <sub>2</sub> B <sub>8</sub> O <sub>13</sub> ·4H <sub>2</sub> O	B:20.5	412.4	0.045
μολυβδαινικό αμμώνιο	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O	Mo:54	1235.3	0.43
μολυβδαινικό νάτριο	NaMoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Mo:40	241.9	0.56

Στον πίνακα φαίνεται ότι τα χρησιμοποιούμενα στην υδροπονία απλά υδατοδιαλυτά λιπάσματα συνίστανται από μία χημική ένωση (με εξαίρεση το νιτρικό ασβέστιο), συνοδευόμενα από νερό είτε σε κρυσταλλική μορφή (άλατα), είτε ως διαλύτη (οξέα με περιεκτικότητα χαμηλότερη από 100%). Επιλέγοντας, λοιπόν, κάθε φορά κατάλληλες αναλογίες ανάμιξης ορισμένων από αυτά τα λιπάσματα, είναι δυνατόν να παρασκευαστεί ένα πλήρες θρεπτικό διάλυμα με



εξατομικευμένες σε μία δεδομένη καλλιέργεια αναλογίες και περιεκτικότητες σε θρεπτικά στοιχεία.

Όλα σχεδόν τα λιπάσματα του Πίνακα 3 που χρησιμοποιούνται ως πηγές μακροστοιχείων κατά την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων, αποτελούνται από δύο ιόντα θρεπτικών στοιχείων, ένα κατιόν και ένα ανιόν. Υδατοδιαλυτά άλατα, των οποίων το ένα ιόν είναι θρεπτικό μακροστοιχείο ενώ το άλλο όχι (π.χ. KCl, NaNO<sub>3</sub> κ.λ.π.) δε χρησιμοποιούνται σχεδόν ποτέ ως λιπάσματα μακροστοιχείων, λόγω της επιβάρυνσης του διαλύματος με ένα ανεπιθύμητο ιόν σε υψηλές σχετικά συγκεντρώσεις. Αντίθετα, για τα ιχνοστοιχεία δεν υφίσταται τέτοιο πρόβλημα, δεδομένου ότι οι ποσότητες λιπασμάτων ιχνοστοιχείων που προστίθενται στο διάλυμα είναι πολύ χαμηλές. Επομένως, το συνοδό ιόν των χημικών ενώσεων που χρησιμοποιούνται για την προσθήκη κάποιου ιχνοστοιχείου σε ένα θρεπτικό διάλυμα δεν είναι απαραίτητο να περιέχει ή να είναι και αυτό κάποιο θρεπτικό στοιχείο. Μπορεί να είναι κάποιο άλλο ιόν (π.χ. Na<sup>+</sup>) χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα, αρκεί να μην είναι επιβλαβές για τα φυτά στη συγκεκριμένη συγκέντρωση.

#### 1.4.1 Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος προσδιορίζεται πλήρως, αν η συνολική συγκέντρωση αλάτων, το pH, οι συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, οι αναλογίες μεταξύ των μακροστοιχείων καθώς και η μεταλλική σύνθεση του νερού είναι γνωστά (Savvas and Adamidis, 1999).

Συνήθως οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που απορροφώνται από τα φυτά ανά λίτρο αναλωθέντος νερού στις υδροπονικές καλλιέργειες τείνουν να αποκλίνουν σημαντικά από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις που επικρατούν στο θρεπτικό διάλυμα (Sonneveld, 1981; Savvas and Lenz, 1995; Savvas, 2001). Κάθε προσπάθεια συσχέτισης των θρεπτικών στοιχείων του παρεχόμενου διαλύματος με την αναλογία των προσλαμβανόμενων θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά έρχεται αντιμέτωπη με δύο σημαντικά προβλήματα.

Πρώτον, οι αναλογίες θρεπτικών στοιχείων στο προσλαμβανόμενο νερό δεν είναι σταθερές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Συνήθως κυμαίνονται έντονα, ακόμη και κατά τη διάρκεια μικρών περιόδων, ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, την ώρα της ημέρας, το στάδιο ανάπτυξης του φυτού και των τρεχουσών θρεπτικών απαιτήσεων του κάθε φυτού ξεχωριστά





(Sonneveld, 1981; Adams & Massey, 1984; Van Goor et al., 1988; Savvas & Lenz, 1995).

Δεύτερον, η παροχή κάποιων δισθενών θρεπτικών ιόντων στην καλλιέργεια, τα οποία δεν απορροφώνται εύκολα από τα φυτά (π.χ.  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $SO_4^{-2}$ ), μειώνεται και μπορεί να καταστεί ανεπαρκής στην προσπάθεια μείωσης των συγκεντρώσεων αυτών των ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα προκειμένου να επιτευχθούν επίπεδα που αντιστοιχούν στις προσλαμβανόμενες από αυτό αναλογίες (Sonneveld, 1981; De Kreij, 1995; Savvas, 2001).

Αφού συνήθως η ποσότητα των θρεπτικών καθώς και άλλων στοιχείων που απορροφώνται από τα φυτά ανά προσλαμβανόμενο λίτρο νερού τείνει να αποκλίνει από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στο θρεπτικό διάλυμα, η σύνθεση του τελευταίου αλλάζει προοδευτικά στο περιβάλλον των ριζών μετά την παροχή του στις καλλιέργειες. Συνεπώς, η ανάπτυξη του φυτού επηρεάζεται άμεσα μόνο από τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος, το οποίο είναι παρόν στο περιβάλλον των ριζών. Πάντως, η σύνθεση του παρεχόμενου στα φυτά θρεπτικού διαλύματος αποτελεί το βασικό παράγοντα που προσδιορίζει τις ιοντικές συγκεντρώσεις στη ζώνη των ριζών, έτσι η ανάπτυξη των φυτών επηρεάζεται έμμεσα από τη σύνθεση του παρεχόμενου θρεπτικού διαλύματος στην καλλιέργεια. Παρόλα αυτά, όταν δίνονται οι συστάσεις που αφορούν τη σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος, θα πρέπει να διευκρινιστεί αν τα προτεινόμενα δεδομένα αναφέρονται στο παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα στα φυτά ή στην περιοχή των ριζών.

Στις υδροπονικές καλλιέργειες, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης που χορηγείται στα φυτά μεταβάλλεται ταχύτατα μόλις βρεθεί στην περιοχή του ριζοστρώματος. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται στην ανάμειξη του διαλύματος άρδευσης με το διάλυμα που προϋπάρχει στην περιοχή των ριζών, σε συνδυασμό με την εκλεκτική απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά. Γι' αυτό το διάλυμα άρδευσης θα πρέπει να έχει διαφορετική σύνθεση από αυτή που αποτελεί στόχο για την περιοχή του ριζοστρώματος των φυτών (Sonneveld, 1981). Ειδικότερα η σύνθεσή του θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε μετά την χορήγησή του, οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα που περιβάλλει τις ρίζες των φυτών να προσεγγίζουν όσο το δυνατό περισσότερο τις τιμές που θεωρούνται ιδανικές για τη θρέψη του συγκεκριμένου καλλιεργούμενου είδους (Sonneveld & Welles, 1984; Savvas, 2001).

Οι συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων που παρατίθενται σε διάφορες



βιβλιογραφικές πηγές ονομάζονται βασικές συνθέσεις. Οι βασικές συνθέσεις χρησιμοποιούνται αυτούσιες για τον υπολογισμό των απαιτούμενων ποσοτήτων λιπασμάτων μόνο στην περίπτωση που το νερό που χρησιμοποιείται είναι απιονισμένο ή βρόχινο με μηδενική πρακτικά συγκέντρωση αλάτων. Τα νερά όμως που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων προέρχονται συνήθως από γεωτρήσεις, φράγματα ή φυσικές πηγές, οπότε περιέχουν σημαντικές ποσότητες ανόργανων στοιχείων (μακροστοιχεία Ca, Mg, θείο σε μορφή  $\text{SO}_4^{-2}$  και άζωτο σε μορφή  $\text{NO}_3^-$ , ενώ από τα ιχνοστοιχεία το Cl, Fe, Mn, Zn, Cu, B) (Savvas, 2001).

Για το λόγο αυτό, από τις ποσότητες λιπασμάτων που θα έπρεπε να προστεθούν σε απεσταγμένο νερό για να προκύψει θρεπτικό διάλυμα μιας δεδομένης σύστασης θα πρέπει να αφαιρούνται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων, οι οποίες περιέχονται στο νερό άρδευσης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Συνεπώς όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω οι συνθέσεις πρέπει να εξατομικεύονται όχι μόνο σύμφωνα με τη σύσταση του νερού σε ανόργανα ιόντα, αλλά θα πρέπει να προσαρμόζονται και σε ορισμένα άλλα χαρακτηριστικά όπως τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης καλλιέργειας, το στάδιο ανάπτυξης των φυτών, το υπόστρωμα καλλιέργειας, οι κλιματικές συνθήκες κ.λ.π. Οι τελικές συνθέσεις που χρησιμοποιούνται μετά την προσαρμογή στα δεδομένα καλούνται τροποποιημένες συνθέσεις (Savvas, 2001).

Άλλα ιόντα που περιέχονται στα νερά άρδευσης σε σημαντικές ποσότητες και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την παρασκευή θρεπτικού διαλύματος είναι το νάτριο (λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων) και τα οξυανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ) (λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της συγκέντρωσης οξέως που απαιτείται για τη ρύθμιση του pH).

Κάθε προτεινόμενη σύνθεση θρεπτικού διαλύματος για να είναι εφαρμόσιμη θα πρέπει να είναι ισοσκελισμένη ως προς τις συγκεντρώσεις ανιόντων και κατιόντων που δίνονται. Θα πρέπει δηλαδή να ισχύει η ισότητα:

$$\Sigma \text{meq/l ανιόντων} = \Sigma \text{meq/l κατιόντων}$$

όπου  $\Sigma$  = άθροισμα

Όταν δίνεται η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων είναι καλύτερα να εκφράζονται σε  $\text{meq L}^{-1}$ , γιατί έτσι διευκολύνεται η εκτέλεση υπολογισμών, ενώ για τα ιχνοστοιχεία δεν υφίσταται



τέτοιο πρόβλημα διότι οι συγκεντρώσεις τους σε σχέση με τα μακροστοιχεία είναι αμελητέες. Γι' αυτό οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων οι οποίες συνήθως δίνονται σε  $\text{mmol L}^{-1}$  ή  $\text{mg L}^{-1}$  (ppm) μετατρέπονται σε  $\text{meq L}^{-1}$  για την εκτέλεση των υπολογισμών.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα δεν παίζουν πρακτικά κανένα ρόλο στο ύψος της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων σ' αυτά, γιατί είναι αμελητέες σε σύγκριση με αυτές των μακροστοιχείων (η συνολική συγκέντρωση ιχνοστοιχείων είναι περίπου το 1/500 αυτής των μακροστοιχείων). Γι' αυτό κατά τον καθορισμό της σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων καθορίζονται ανεξάρτητα από αυτές των μακροστοιχείων (Σάββας, 1998).

#### 1.4.2 Παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων

Αρχικά τα λιπάσματα τοποθετούνται σε μεγάλα δοχεία (βαρέλια) των 100, 500, 1000 ή και περισσότερων λίτρων σε πολλαπλάσιες συγκεντρώσεις (100πλάσιες ή 200πλάσιες) από αυτές που πρέπει να υφίστανται στο διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά. Τα διαλύματα που περιέχονται στα βαρέλια λέγονται μητρικά ή απλά πυκνά διαλύματα. Το διάλυμα που φτάνει στα φυτά προκύπτει από την αραιώση των πυκνών αυτών διαλυμάτων με νερό. Το αραιωμένο διάλυμα που παρέχεται στα φυτά ονομάζεται αραιό διάλυμα (Σάββας, 1998).

Πρέπει να χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο δοχεία πυκνών διαλυμάτων, επειδή το νιτρικό ασβέστιο δεν μπορεί να τοποθετηθεί στο ίδιο δοχείο με φωσφορικά και θειικά λιπάσματα, γιατί κάτι τέτοιο θα είχε σα συνέπεια την κατακρήμνιση  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  και  $\text{CaSO}_4$ , λόγω της χαμηλής διαλυτότητας των δύο αυτών αλάτων. Συνήθως χρησιμοποιείται και ένα τρίτο βαρέλι αποκλειστικά για οξύ (συνήθως  $\text{HNO}_3$ ), για τον έλεγχο του pH του διαλύματος.

Στο πρώτο δοχείο συνήθως προστίθενται νιτρικό ασβέστιο, νιτρική αμμωνία, σίδηρος και ένα μέρος νιτρικού καλίου, ενώ στο δεύτερο νιτρικό μαγνήσιο, θειικό μαγνήσιο, θειικό κάλιο, φωσφορικό μονοκάλιο, φωσφορικό οξύ, μέρος νιτρικού καλίου και ιχνοστοιχεία εκτός του σιδήρου. Αν δεν υπάρχει ξεχωριστό βαρέλι για το νιτρικό οξύ τότε αυτό προστίθεται είτε στο πρώτο, είτε στο δεύτερο, είτε ισόποσα και στα δύο.



Τα δοχεία των πυκνών διαλυμάτων συνδέονται με ένα σύστημα αραιώσης, το οποίο αραιώνει ισόποσα τα δύο μητρικά διαλύματα με νερό. Η αναλογία αραιώσης είναι τόση, όσες φορές πιο πυκνά έχουν παρασκευασθεί τα μητρικά διαλύματα αναφορικά με το αραιό διάλυμα, με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά (συνήθως 1:100 ή 1:200). Η μέγιστη δυνατή συμπύκνωση των πυκνών διαλυμάτων εξαρτάται από τη διαλυτότητα των λιγότερο ευδιάλυτων λιπασμάτων. Το διάλυμα που προκύπτει οδηγείται στο χώρο ανάπτυξης των φυτών με τη βοήθεια μιας αντλίας. Όταν υπάρχει ξεχωριστό δοχείο για το οξύ, το σύστημα μίξης των πυκνών διαλυμάτων διοχετεύει την απαιτούμενη κάθε φορά ποσότητα οξέως στο αραιό διάλυμα είτε μετά από ρύθμιση είτε αυτόματα, ώστε το pH να συγκρατείται μεταξύ 5,5-6,0 (Σάββας, 1998).

Σε συστήματα με επανακυκλοφορία του διαλύματος μπορεί να υπάρξει κι ένα τέταρτο βαρέλι με  $\text{KHCO}_3$  ή  $\text{KOH}$  για την ανύψωση του pH, όποτε υπάρξει ανάγκη. Στην πράξη όμως αυτό σπάνια είναι αναγκαίο.

Σε μεγάλες και σύγχρονες υδροπονικές μονάδες είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται 10 – 12 δοχεία με πυκνά διαλύματα, ώστε κάθε λίπασμα να τοποθετείται σε ξεχωριστό δοχείο. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν τόσες αντλίες έγχυσης πυκνών διαλυμάτων στον κάδο ανάμιξης, όσα και τα δοχεία πυκνών διαλυμάτων. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα επίτευξης άπειρων συνδυασμών στις συγκεντρώσεις των επιμέρους θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα μέσω κατάλληλου προγραμματισμού του ηλεκτρονικού υπολογιστή και μόνο. Έτσι δεν απαιτείται η σύνθεση νέων πυκνών διαλυμάτων κάθε φορά που είναι απαραίτητη κάποια τροποποίηση στην ιοντική σύνθεση του παρεχόμενου θρεπτικού διαλύματος. Όταν λοιπόν μετά από χημικές αναλύσεις (κυρίως σε κλειστά υδροπονικά συστήματα), οι οποίες διεξάγονται τουλάχιστον 2 φορές το μήνα για τα μακροστοιχεία και 1 φορά για τα ιχνοστοιχεία, προκύπτει ανάγκη τροποποίησης στη σύνθεση του διαλύματος άρδευσης, αυτό μπορεί να γίνει αυτόματα εισάγοντας τα σχετικά δεδομένα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (Σάββας, 1998).

#### 1.4.3 Επιθυμητή σύνθεση και δεδομένα

Για να παρασκευαστεί ένα θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει να καθορισθεί πλήρως η επιθυμητή του σύνθεση με βάση είτε τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του



συγκεκριμένου φυτού σε θρεπτικά στοιχεία, είτε συγκεκριμένες ερευνητικές ή άλλες σκοπιμότητες. Η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος θεωρείται ότι είναι πλήρως καθορισμένη όταν δίνονται επιθυμητές τιμές (τιμές – στόχοι) για τα παρακάτω χαρακτηριστικά του διαλύματος:

1. Η συνολική συγκέντρωση αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα η οποία αντιστοιχεί σε μία δεδομένη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Ec).
2. Επιθυμητή τιμή pH στο διάλυμα.
3. Αμοιβαίες αναλογίες συγκεντρώσεων μεταξύ των τριών μακροκατιόντων (K:Ca:Mg).
4. Αναλογία N:K
5. Αναλογία αμμωνιακού προς συνολικό άζωτο.
6. Αναλογία συγκέντρωσης φωσφορικών προς τη συνολική συγκέντρωση θρεπτικών μακροανιόντων.
7. Επιθυμητές συγκεντρώσεις ( $[G]_{ij}$  όπου  $j=1, \dots, 6$ ) των ιχνοστοιχείων Fe, Mn, Zn, Cu, B και Mo αντίστοιχα.

Εκτός από τις παραπάνω τιμές που είναι επιλεγόμενες, για να υπολογιστούν οι ποσότητες των λιπασμάτων που είναι αναγκαίες για την παρασκευή του συγκεκριμένου θρεπτικού διαλύματος πρέπει να είναι γνωστά και τα εξής δεδομένα:

1. Η περιεκτικότητα του νερού σε όλα τα ανόργανα διαλυτά συστατικά που συσχετίζονται με τη θρέψη του φυτού.
2. Το pH του νερού.
3. Η εκατοστιαία περιεκτικότητα του διαθέσιμου χηλικού σιδήρου σε ανόργανα (Fe (P<sub>Fe</sub>)).
4. Η μορφή προσθήκης ορισμένων στοιχείων.

Τα ανόργανα διαλυτά συστατικά των οποίων οι συγκεντρώσεις στο νερό ενδιαφέρουν, είναι τα θρεπτικά στοιχεία Ca, Mg, K, NH<sub>4</sub> -N, SO<sub>4</sub> - S, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N, P, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, και Cl και τα μη θρεπτικά ιόντα Na<sup>+</sup> και HCO<sup>-3</sup>. Κατά κανόνα όμως οι περιεκτικότητες του νερού σε K και ιδιαίτερα σε NH<sub>4</sub> - N, P και Mo είναι από μικρές έως αμελητέες σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις που επιδιώκονται στα θρεπτικά διαλύματα και γι' αυτό συνήθως η γνώση τους δεν παρουσιάζει πρακτικό ενδιαφέρον. Η περιεκτικότητα του νερού σε ανόργανο σίδηρο, μερικές φορές μπορεί να είναι σημαντική συγκρινόμενη με τις συγκεντρώσεις Fe που επιδιώκονται στα θρεπτικά διαλύματα. Ο σίδηρος αυτός όμως συνήθως καταβυθίζεται και παύει να είναι αφομοιώσιμος για τα



φυτά μόλις προστεθούν φωσφορικά ιόντα στο νερό κατά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος. Γι' αυτό η περιεκτικότητα του νερού σε σίδηρο δε λαμβάνεται υπόψη κατά τους υπολογισμούς των ποσοτήτων χηλικού σιδήρου που θα πρέπει να προστεθούν στο νερό για να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση Fe στο θρεπτικό διάλυμα (Σάββας, 1998).

Όσον αφορά τις μορφές προσθήκης ορισμένων θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάποια από αυτά μπορούν να προστεθούν σε δύο ή περισσότερες εναλλακτικές μορφές χωρίς να επηρεάζεται η τελική σύνθεση του διαλύματος. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να επιλέγεται το λίπασμα που θα χρησιμοποιηθεί ως πηγή του συγκεκριμένου θρεπτικού στοιχείου. Τέτοιες περιπτώσεις είναι κατά κανόνα ο φώσφορος (φωσφορικό μονοκάλιο ή φωσφορικό οξύ), το βόριο (βόρακας, οκταβορικό νάτριο, βορικό οξύ) και το μολυβδαίνιο (μολυβδαινικό νάτριο, επταμολυβδαινικό αμμώνιο).

### **1.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα θρεπτικών διαλυμάτων**

Μέτρο της περιεκτικότητας του νερού άρδευσης σε υδατοδιαλυτά άλατα είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα ή EC (Electrical Conductivity), εκφρασμένη σε mmhos/cm. Σήμερα ως μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει καθιερωθεί διεθνώς το dS/m. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σα φυσικό μέγεθος είναι το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ανά μονάδα μήκους. Στην περίπτωση των ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων, όπως στα θρεπτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει την ικανότητα ενός διαλύματος ευρισκομένου εντός κύβου πλευράς ίσης με τη μονάδα του μήκους να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, αν αυτό μέσω δύο ηλεκτροδίων τεθεί υπό διαφορά δυναμικού.

Στην υδροπονία τα θρεπτικά διαλύματα προετοιμάζονται με τη χρησιμοποίηση νερού άρδευσης, που στις περισσότερες περιπτώσεις, περιέχουν σε αρκετά μεγάλο ποσοστό ανόργανα ιόντα. Επομένως, εκτός από τα προστιθέμενα λιπάσματα, τα θρεπτικά διαλύματα περιέχουν επίσης και μερικά ανεπιθύμητα άλατα (κυρίως NaCl) σε συγκεντρώσεις οι οποίες εξαρτώνται από την ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται. Συνεπώς κατά τη μέτρηση της συνολικής ιοντικής συγκέντρωσης σε ένα υδροπονικό θρεπτικό διάλυμα η



αποκτηθείσα τιμή εν μέρει μπορεί να οφείλεται στα άλατα του νερού άρδευσης και όχι μόνο στα προστιθέμενα θρεπτικά στοιχεία.

Σε παλαιότερες μελέτες η συνολική συγκέντρωση αλάτων στα υδροπονικά θρεπτικά διαλύματα εκφράστηκε κυρίως ως ωσμωτική πίεση (Steiner, 1961, 1966) και λιγότερο συχνά ως συνολικό βάρος των αλάτων ανά λίτρο διαλύματος (Pardosi et al., 1987). Τις τελευταίες όμως δεκαετίες, σε όλες σχεδόν τις αναφορές σχετικά με τις καλλιέργειες εκτός εδάφους, η συνολική συγκέντρωση αλάτων εκφράζεται με τον όρο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC σε  $\text{dS m}^{-1}$ ), επειδή αυτή η ποσότητα μπορεί εύκολα και με ακρίβεια να μετρηθεί ακόμη και στο θερμοκήπιο χρησιμοποιώντας φορητά όργανα (αγωγιμόμετρα).

Από στοιχεία που παρουσιάζονται από το US Salinity Laboratory Staff (1954) καταλήγουμε, ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα των διαλυμάτων συσχετίζεται σχεδόν γραμμικά με την αντίστοιχη ισοδύναμη συγκέντρωση άλατος ( $\text{meq L}^{-1}$ ), σε αυτά. Οι γραμμικές σχέσεις που ισχύουν για κάθε άλας δεν είναι ίδιες, όμως οι διαφορές στη σύνθεση των περισσότερων θρεπτικών διαλυμάτων που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες εκτός εδάφους δεν είναι πολύ εκτενείς (De Rijck and Schrevels, 1998c; Savvas and Adamidis, 1999). Επομένως για τα περισσότερα ισορροπημένα υδροπονικά θρεπτικά διαλύματα μια ενιαία γραμμική σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρακτικά, ώστε να μετατρέπεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC,  $\text{dS m}^{-1}$  σε ολική συγκέντρωση άλατος C ( $\text{meq L}^{-1}$ ) και αντίθετα (Savvas, 1999):

$$C = 9,819E - 1,462 \quad (1)$$

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των χρησιμοποιούμενων θρεπτικών διαλυμάτων (1) που λαμβάνεται, κυμαίνεται μεταξύ 0,8 και 4,0  $\text{dS m}^{-1}$ . Συνεπώς η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο σ' αυτή την περιοχή ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Βέβαια σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να εμφανιστεί μια μικρή απόκλιση μεταξύ της πραγματικής ολικής συγκέντρωσης αλάτων και της τιμής που υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης (1). Παρόλα αυτά στην υδροπονία τέτοιες μικρές αποκλίσεις είναι αποδεκτές.

Όταν ένα ορισμένο επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας θεωρείται το βέλτιστο για μια υδροπονική καλλιέργεια, πρέπει να σημειωθεί αν αυτή η τιμή αναφέρεται στο θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται στα φυτά ή σ' αυτό που περιβάλλει τις ρίζες.

Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας χαμηλότερες από ένα κατώτατο όριο υποδηλώνουν ότι η περιεκτικότητα του διαλύματος σε ορισμένα τουλάχιστον



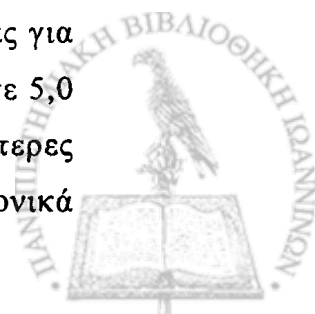
θρεπτικά στοιχεία είναι ανεπαρκής. Ανάλογα, πολύ υψηλές τιμές EC πάνω από ένα ανώτατο όριο σημαίνουν ότι η περιεκτικότητα του διαλύματος σε άλατα (θρεπτικών στοιχείων και μη) είναι τόσο μεγάλη, ώστε τα φυτά υφίστανται αλατούχο καταπόνηση ανάλογη με αυτή στην οποία είναι εκτεθειμένα όταν καλλιεργούνται σε αλατούχα εδάφη.

## 1.6 Βέλτιστη διακύμανση pH στην υδροπονία

Είναι γνωστό ότι οι κύριες επιδράσεις του pH στην καλλιέργεια και ανάπτυξη των φυτών προκύπτουν από τη θρεπτική διαθεσιμότητα στο ριζικό περιβάλλον, ανεξάρτητα από το αν η καλλιέργεια του φυτού πραγματοποιείται στο έδαφος (Marschner, 1995) ή με τη μέθοδο της υδροπονίας (Islam et al., 1980; Jones, 1982; Graves, 1983; Schwarz, 1995). Από άποψη φυσιολογίας του φυτού φαίνεται ότι η αξία του pH είναι το ίδιο σημαντική, τόσο για τα καλλιεργούμενα στο έδαφος φυτά, όσο και για αυτά που καλλιεργούνται εκτός εδάφους. Τα περισσότερα εδάφη όμως περιέχουν διάφορες ουσίες, οι οποίες δε χρησιμοποιούνται από τα φυτά, αλλά μπορούν να επηρεάσουν έμμεσα τη θρεπτική διαθεσιμότητα. Για παράδειγμα τα περισσότερα εδάφη περιέχουν φυσικούς χηλικούς παράγοντες και χουμικές ουσίες, οι οποίες επηρεάζουν έντονα τη λήψη των ιχνοστοιχείων και ειδικότερα το Fe, Mn, Zn και το Cu. Επιπλέον οι αλλαγές του pH στο έδαφος είναι βαθμιαίες και όχι ιδιαίτερα εκτεταμένες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και αυτό οφείλεται στο μεγάλο όγκο του εδάφους ανά φυτό, καθώς επίσης και στις διαδικασίες ανταλλαγής ιόντων μεταξύ των κολλοειδών του εδάφους και του εδαφικού διαλύματος (ρυθμιστική ικανότητα).

Αντίθετα στα υδροπονικά συστήματα μεγάλες αλλαγές του pH μπορεί να εμφανιστούν ακόμη και μέσα σε λίγες ώρες στο ριζικό περιβάλλον, οι οποίες οφείλονται στο χαμηλό όγκο του υποστρώματος ανά φυτό και στην έλλειψη ρυθμιστικής ικανότητας ιδιαίτερα στα χημικά αδρανή υποστρώματα. Έτσι στα υδροπονικά συστήματα το pH στο ριζικό περιβάλλον πρέπει να διατηρηθεί μέσα σε μια στενή περιοχή γύρω από μια τιμή στόχο.

Συνήθως το pH που φαίνεται να είναι ιδανικό στην περιοχή της ρίζας για τις υδροπονικές καλλιέργειες κυμαίνεται μεταξύ 5,5 – 6,0. Τιμές ανάμεσα σε 5,0 – 5,5 και 6,5 – 7,0 πιθανόν να μην προκαλέσουν προβλήματα στις περισσότερες καλλιέργειες (Islam et al., 1980; Graves, 1983). Παρόλα αυτά, στα υδροπονικά

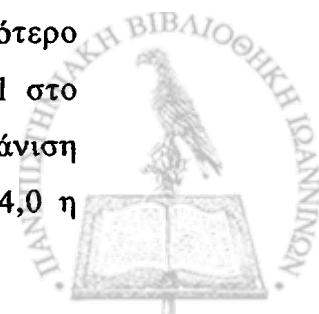




συστήματα, όταν διατηρούνται οι οριακές τιμές της περιοχής του βέλτιστου pH ο κίνδυνος του να ξεπεραστούν ή να πέσουν κάτω απ' αυτές κατά τη διάρκεια κάποιων περιόδων της ημέρας αυξάνεται εξαιτίας των λόγων που εκτέθηκαν παραπάνω. Στα περισσότερα φυτά όταν παρέχονται θρεπτικά διαλύματα με pH μεγαλύτερο του 7,0 ή χαμηλότερο του 4,8 – 5,0, πρέπει αυτό να αντιμετωπιστεί σαν περιοριστικός παράγοντας της ανάπτυξης των φυτών (Islam et al., 1980; Jones, 1982).

Τιμές του pH πάνω από 7,0, μπορούν να καταλήξουν σε ανεπαρκή πρόσληψη P, Fe και Mn και συμπτώματα τροφοπενίας σε Cu και Zn. Η έλλειψη P όταν η τιμή του pH υπερβαίνει το 6,5 – 7,0, αποδίδεται στην αυξημένη μετατροπή του  $H_2PO_3^-$  σε  $HPO_3^{2-}$  (De Rijck and Schrevens, 1997a), αφού το τελευταίο ιόν δεν προσλαμβάνεται εύκολα από τα φυτά (Hendrix, 1967). Επιπλέον η καταβύθιση του φωσφορικού ασβεστίου όταν η τιμή του pH υπερβαίνει το 6,2 είναι άλλος ένας παράγοντας να διατηρηθεί το pH κάτω από αυτό το επίπεδο στο ριζικό περιβάλλον στα φυτά που αναπτύσσονται υδροπονικά (Sonneveld, 1989; De Rijck and Schrevens, 1998b). Η εμφάνιση ανεπάρκειας σε Fe, Mn, Zn και Cu, όταν το pH υπερβαίνει το 6,5 – 7,0 σχετίζεται με την αυξημένη κατακρήμνιση αυτών των θρεπτικών ιόντων. Ένα ακόμη ιχνοστοιχείο το οποίο εμφανίζει χαμηλή διαλυτότητα σε υψηλό pH στο ριζικό περιβάλλον είναι ο σίδηρος. Στα διαλύματα των καλλιεργειών, τα ελεύθερα ιόντα σιδήρου κατακρημνίζονται σε τιμές pH κάτω από 6,5, κυρίως σε μορφή φωσφορικού σιδήρου. Επομένως, ο Fe πρέπει να προστίθεται σε μορφή χηλικών ενώσεων σιδήρου, κατά προτίμηση ως Fe-DTPA ή Fe-EDDHA (Wreelman, 1996).

Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους η ανάπτυξη των περισσότερων φυτών βλάπτεται σημαντικά όταν η τιμή του pH στο θρεπτικό διάλυμα είναι χαμηλότερη από 4,5 - 5,0. Χαμηλές τιμές pH μπορεί να καταστρέψουν τη δομή του υποστρώματος, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των ινών του πετροβάμβακα. Αν οι τιμές του pH είναι χαμηλότερες από 4,0, αυτό έχει σα συνέπεια τον άμεσο τραυματισμό των ριζών (Islam et al., 1980). Επιπρόσθετα, οι διάφορες μορφές αδιάλυτων οξειδίων και υδροξειδίων των Mn και Al, τα οποία είναι παρόντα στο υπόστρωμα μπορούν να διαλυθούν σε pH χαμηλότερο του 5. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, η συγκέντρωση ιόντων Mn και Al στο θρεπτικό διάλυμα αυξάνεται δραστικά καταλήγοντας στην εμφάνιση τοξικοτήτων Mn και Al στα φυτά. Συμπληρωματικά, όταν το pH είναι 4,0 η



πρόσληψη των Ca, Mg και K από τα φυτά φαίνεται να περιορίζεται σε σύγκριση με την πρόσληψή τους από τα φυτά σε pH 5,5 (Islam et al., 1980). Έτσι σε σχετικά χαμηλά επίπεδα pH η ανάπτυξη των φυτών μπορεί επίσης να εξασθενίσει από ανεπαρκή τροφοδότηση με Ca, Mg και K. Η κατασταλτική επίδραση των χαμηλών επιπέδων pH στη θρεπτική πρόσληψη κατιόντων εν μέρει αποδίδεται στην παρουσία  $\text{NH}_4^+$  σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις (Willumsen, 1980).

Η συγκέντρωση του  $\text{NH}_4^+$  στο θρεπτικό διάλυμα επίσης επηρεάζεται από το pH του διαλύματος. Όταν το αμμώνιο προστίθεται στο θρεπτικό διάλυμα, σχεδόν ολόκληρη η ποσότητα θα βρίσκεται σε μορφή  $\text{NH}_4^+$ , υπό τον όρο ότι το pH είναι χαμηλότερο από 7,5 (De Rijck and Schrevens, 1997a). Αν το pH αυξηθεί πάνω από αυτή την κλίμακα, το  $\text{NH}_4^+$  βαθμιαία αντικαθίσταται από  $\text{NH}_3$  λόγω της υδρόλυσης που ακολουθεί:



Επομένως, αφού οι τιμές του pH στις οποίες αποβλέπουν οι καλλιέργειες στην υδροπονία δεν ξεπερνούν το 6,5, ουσιαστικά όλο το αμμωνιακό άζωτο που προστίθεται όταν ετοιμάζεται ένα θρεπτικό διάλυμα είναι παρόν σε μορφή  $\text{NH}_4^+$ .

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, είναι φανερό ότι το άμεσο αποτέλεσμα της προσθήκης  $\text{NH}_4^+$  στο pH ενός θρεπτικού διαλύματος είναι πολύ μικρό, εφόσον το pH του τελευταίου είναι χαμηλότερο του 7-7,5. Παρόλα αυτά το  $\text{NH}_4^+$  στα θρεπτικά διαλύματα μετατρέπεται βαθμιαία σε  $\text{NO}_2^-$  από το αντίτροφο βακτηρίδιο *Nitrosomonas* sp. και στη συνέχεια γρήγορα σε  $\text{NO}_3^-$  από άλλο βακτηρίδιο (*Nitrobacter* sp.) μέσω της διαδικασίας νιτροποίησης, η οποία συνοψίζεται στην παρακάτω σχέση:



Αυτή η διαδικασία λαμβάνει μέρος βαθμιαία στο θρεπτικό υλικό της ρίζας και καταλήγει στη μείωση του pH, εξαιτίας του σχηματισμού του  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Έτσι το  $\text{NH}_4^+$  είναι το μόνο θρεπτικό ιόν που έχει μακροπρόθεσμη επίδραση στο pH του θρεπτικού διαλύματος, η οποία οφείλεται σε μια βραδεία απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου. Αυτή η ιδιότητα είναι πολύ σημαντική για τη διατήρηση του επιθυμητού pH στο ριζικό περιβάλλον ειδικά στις καλλιέργειες υποστρωμάτων όπου δεν απαιτείται συνεχής επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος.



### 1.6.1 Συντήρηση του pH στη ζώνη της ρίζας

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος στη ζώνη της ρίζας αλλάζει βαθμιαία κυρίως εξαιτίας της επιλεκτικής απορρόφησης ιόντων σύμφωνα με τις θρεπτικές απαιτήσεις (Steiner, 1980; Morard and Benavides, 1990). Σε περιόδους εντατικής ανάπτυξης και επαρκούς έντασης φωτισμού, η πρόσληψη ανιόντων συνήθως υπερβαίνει αυτή των κατιόντων εξαιτίας αυξημένης απορρόφησης νιτρικών και χρησιμοποίησής τους στο μεταβολισμό των φυτών. Εξαιτίας της ηλεκτροχημικής ισορροπίας μια αυξημένη πρόσληψη ανιόντων που υπερβαίνει αυτή των κατιόντων αντισταθμίζεται με απελευθέρωση  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{OH}^-$  από τις ρίζες των φυτών (Ben-Zioni et al. 1971, Graves, 1983). Σαν αποτέλεσμα, το pH του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον της ρίζας αυξάνει. Ωστόσο, κάτω από συνθήκες χαμηλής έντασης φωτισμού αυτή η κατάσταση μπορεί να αντιστραφεί. Πιο συγκεκριμένα, κάτω από συνθήκες φτωχού φωτισμού η δραστηριότητα της ρεδουκτάσης των νιτρικών μειώνεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μειωμένο μεταβολισμό των νιτρικών μέσα στους ιστούς των φυτών. Αυτή η κατάσταση οδηγεί σε μειωμένη πρόσληψη νιτρικού αζώτου. Συνεπώς, η διαφορά μεταξύ της πρόσληψης ανιόντος και κατιόντος μειώνεται και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να γίνει αρνητική. Ξανά για λόγους διατήρησης της ηλεκτροχημικής ισορροπίας, η πιο γρήγορη πρόσληψη κατιόντων από αυτή των ανιόντων αντισταθμίζεται με απελευθέρωση  $\text{H}^+$  από τις ρίζες (Graves, 1983). Γι' αυτό, στις υδροπονικές καλλιέργειες και κάτω από συνθήκες φτωχού φωτισμού, το pH στο περιβάλλον των ριζών δεν αυξάνεται πολύ σε σχέση με την τιμή του διαλύματος τροφοδοσίας, ενώ σε μερικές περιπτώσεις μπορεί και να τείνει να μειωθεί.

Σε σπάνιες περιπτώσεις, όταν το pH του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον της ρίζας πέφτει κάτω από την επιθυμητή τιμή, συνιστάται η χορήγηση  $\text{KOH}$  (Graves, 1983),  $\text{KHCO}_3$  (Sonneveld, 1989), ή  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (De Kreij and Van der Hoeven, 1996) με στόχο τη διατήρησή του στα επιθυμητά επίπεδα. Όπως διαπιστώθηκε από τον Sonneveld (1989) εάν είναι απαραίτητο να αυξηθεί το pH στο περιβάλλον της ρίζας, το  $\text{KHCO}_3$  θα πρέπει να περιέχεται σε μορφή πυκνού διαλύματος (1-2 mM) σε ένα ξεχωριστό δοχείο και όχι μαζί με τα άλλα πυκνά διαλύματα λιπασμάτων και να χορηγείται ξεχωριστά από τα τελευταία στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας. Εάν το  $\text{HCO}_3^-$  προστεθεί στα πυκνά διαλύματα των λιπασμάτων, το pH αυτών γίνεται απότομα πολύ υψηλό,



με συνέπεια την ιζηματοποίηση των φωσφορικών και ανθρακικών ιόντων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο έλεγχος του pH στο περιβάλλον της ρίζας των φυτών που καλλιεργούνται εκτός εδάφους, απαιτεί μετρήσεις που αποβλέπουν στην παρεμπόδιση της υπερβολικής ανόδου του pH. Για να επιτευχθεί αυτό, το χορηγούμενο θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει να έχει pH κάπως χαμηλότερο από το στόχο του pH στο περιβάλλον της ρίζας. Έτσι, αν το επιθυμητό pH στο περιβάλλον της ρίζας είναι 6, το pH του χορηγούμενου θρεπτικού διαλύματος πρέπει να είναι 5,5. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό και το pH αυξηθεί πάνω από μια αποδεκτή τιμή ( π.χ. 6,3), το pH του χορηγούμενου διαλύματος μπορεί να μειωθεί ακόμη περισσότερο (μέχρι 5). Εναλλακτικά, αν το ποσοστό του διαλύματος της αποστράγγισης είναι σχετικά χαμηλό η συχνότητα και / ή η δόση του νερού σε κάθε κύκλο άρδευσης μπορεί να αυξηθεί . Ωστόσο συχνά αυτά τα μέτρα δεν είναι επαρκή για τον έλεγχο του pH στο περιβάλλον της ρίζας. Η προσθήκη μέρους του αζώτου σε μορφή  $\text{NH}_4^+$  έχει μακροπρόθεσμη επίδραση στη μείωση του pH στο περιβάλλον της ρίζας εξαιτίας της αργής απελευθέρωσης ιόντων υδρογόνου που παράγονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας νιτροποίησης καθώς και της αλλαγής στην ισορροπία απορρόφησης ανιόντων και κατιόντων. Η προσθήκη του 5 -15% του συνολικού αζώτου ενός θρεπτικού διαλύματος σε μορφή  $\text{NH}_4^+$  -N συνήθως παρέχει επαρκή έλεγχο του pH στο περιβάλλον της ρίζας εφόσον το pH του χορηγούμενου διαλύματος κυμαίνεται μεταξύ 5 - 6. Η ακριβής αναλογία αμμωνιακού προς συνολικό άζωτο εξαρτάται από την ιδιαίτερη ευαισθησία της συγκεκριμένης καλλιέργειας στην παροχή αμμωνίας διαμέσου του θρεπτικού διαλύματος.

Όπως υποστηρίζουν οι De Krij και Van der Hoeven (1996), εκτός από την αμμωνία μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και χουμικές ουσίες για την επίτευξη αποτελεσματικού ελέγχου στο pH του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον της ρίζας. Σύμφωνα με τους παραπάνω συγγραφείς, για τον ίδιο σκοπό μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και οργανικά ρυθμιστικά διαλύματα του pH, όπως π.χ. το μεθυλ—σουλφονικό— μεθάνιο. Εντούτοις, η χρήση τέτοιων ουσιών δεν έδειξε να υπερτερεί ως προς την αποτελεσματικότητα ρύθμισης του pH στο περιβάλλον των ριζών ή ως προς το ύψος της συγκομιζόμενης παραγωγής σε μία υδροπονική καλλιέργεια χρυσάνθεμων σε σύγκριση με την παροχή αμμωνιακού αζώτου σε κατάλληλη αναλογία. Έτσι, η τελική απόφαση σχετικά με τον τρόπο και τα μέσα ρύθμισης



του pH στο περιβάλλον της ρίζας στις υδροπονικές καλλιέργειες φαίνεται ότι εξαρτάται κυρίως από το κόστος των ουσιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σκοπό αυτό.

### 1.6.2 pH και πρόσθεση $\text{NH}_4^+$

Το pH του θρεπτικού διαλύματος στο ριζικό περιβάλλον, όπως προαναφέρθηκε, είναι ένας σημαντικός παράγοντας ρύθμισης της πρόσληψης των θρεπτικών ουσιών από τα φυτά. Οι αλλαγές του pH στο ριζικό περιβάλλον επηρεάζονται από την αναλογία μεταξύ των προσλαμβανόμενων ανιόντων και κατιόντων (Sonneveld, 2002).

Αλλάζοντας την αναλογία μεταξύ  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{NO}_3^-$  στο θρεπτικό διάλυμα προσφέρεται μια άριστη δυνατότητα να ελεγχθεί η σχετική πρόσληψη ανιόντων και κατιόντων. Μία υψηλότερη αναλογία  $\text{NH}_4^+/\text{N}$  αυξάνει την πρόσληψη κατιόντων και ελαττώνει την πρόσληψη ανιόντων, αν η ολική πρόσληψη N παραμείνει η ίδια. Για τις περισσότερες καλλιέργειες είναι αρκετό να προσθέσουμε περίπου 10% του ολικού N σαν  $\text{NH}_4^+$ , αλλά αυτή η ποσότητα διαφέρει ανάλογα με την καλλιέργεια, το στάδιο και τις συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας. Στις περισσότερες καλλιέργειες προστίθεται στο θρεπτικό διάλυμα 1-1,25 mmol l<sup>-1</sup>  $\text{NH}_4^+$ , το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο 10% του ολικού χορηγούμενου N. Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας, η συγκέντρωση  $\text{NH}_4^+$  προσαρμόζεται εξαρτώμενη από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του pH στο ριζικό περιβάλλον. Για καλό έλεγχο του pH στο ριζικό περιβάλλον, οι αναλογίες  $\text{NH}_4^+ / \text{N}$  σπάνια ξεπερνούν το 0,15 (Sonneveld, 2002).

Μεγάλες συγκεντρώσεις  $\text{NH}_4^+$  μπορεί να είναι τοξικές στα φυτά και ο βαθμός ανεκτικότητας εξαρτάται από την καλλιέργεια και τις συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας (Barker and Mills, 1980). Η τοξικότητα  $\text{NH}_4^+$  καθίσταται εντονότερη σε ένα υψηλό pH (Bennet, 1974). Με χαμηλό απαραίτητο απόθεμα  $\text{NH}_4^+$  για να ελεγχθεί το pH σε καλλιέργειες πετροβάμβακα, η απόδοση συχνά αυξήθηκε, όπως είναι φανερό από τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν στο Ερευνητικό σταθμό λουλουδιών και λαχανικών θερμοκηπίων στο Naaldwijk της Ολλανδίας (Sonneveld, 2002). Η αύξηση στην απόδοση μπορεί να εξηγηθεί κυρίως από τη μείωση της χλώρωσης των φύλλων, εξαιτίας του χαμηλού pH στο ριζικό περιβάλλον από την προσθήκη  $\text{NH}_4^+$ . Αυτό βρέθηκε ειδικά σε καλλιέργειες, οι οποίες ήταν ευαίσθητες στη χλώρωση, όπως το αγγούρι



(Sonneveld and Voogt, 1994a), η ζέρμπερα (Sonneveld and Voogt, 1997) και η τριανταφυλλιά (Voogt, 1992a). Ένα μέρος της αύξησης της απόδοσης μπορεί να αποδοθεί σε μία περισσότερο επαρκή χρήση ενέργειας από τα φυτά, ένα αποτέλεσμα όχι ακόμη κατανοητό (Mengel and Kirkby, 1987). Η μείωση ανάπτυξης από την προσθήκη  $\text{NH}_4^+$  βρέθηκε κυρίως όταν η προσθήκη  $\text{NH}_4^+$  ξεπέρασε το 0,25 του ολικού N (Ingestad, 1972; Ikeda and Osawa, 1983; Feigen et al, 1984). Έτσι η προτεινόμενη προσθήκη  $\text{NH}_4^+$  σχεδόν στο 15% του ολικού N φαίνεται να είναι ασφαλής, με τον όρο ότι η καλλιέργεια δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην έλλειψη ασβεστίου. Το τελευταίο μπορεί να εμφανιστεί για παράδειγμα σε μερικές καλλιέργειες λαχανικών σε μεγάλη κλίμακα, με μια υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα του εξωτερικού διαλύματος και κάτω από συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες (Ehret and Ho, 1986; Ho and Adams, 1989;).

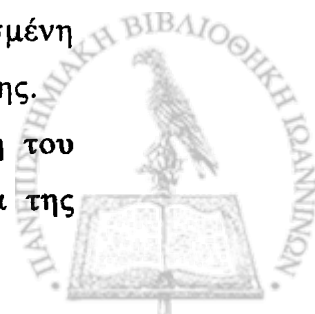
### 1.7 Αφομοίωση αζώτου

Το άζωτο είναι από τα πιο διαδομένα στοιχεία στη φύση αφού υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε ποσοστό περίπου 78%. Τα μεγαλύτερα ποσά αυτού του στοιχείου είναι δεσμευμένα στο στερεό φλοιό της γης και στα ιζήματα, αλλά από αυτά ελάχιστα ποσά ελευθερώνονται και είναι διαθέσιμα στα φυτά, αφού προηγούμενα μετατραπούν σε αφομοιώσιμο άζωτο. Η αφομοίωση του αζώτου είναι δυνατή με τους εξής τρόπους:

- Αφομοίωση του ατμοσφαιρικού αζώτου από μικροοργανισμούς που ζουν συμβιωτικά στις ρίζες φυτών.
- Αφομοίωση του ατμοσφαιρικού αζώτου από μικροοργανισμούς του εδάφους ελεύθερης διαβίωσης και από οργανισμούς που ζουν πάνω στα φύλλα μερικών τροπικών φυτών.
- Αφομοίωση του ατμοσφαιρικού αζώτου υπό μορφή οξειδίων που σχηματίστηκαν κατά την εκκένωση ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών φορτίων.
- Απορρόφηση  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  ή  $\text{CN}_2^{2-}$  παραγόμενων από συνθετικά αζωτούχα λιπάσματα.

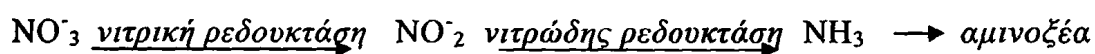
Ακόμη εμπλουτισμός του εδάφους με άζωτο γίνεται, σε περιορισμένη κλίμακα, από φυτικά και ζωικά υπολείμματα σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης.

Οι δύο πρώτες περιπτώσεις αναφέρονται στη βιολογική δέσμευση του αζώτου και αφορούν το οργανικό άζωτο, το οποίο κατά τη διαδικασία της



αμμωνιοποίησης (μετατροπή του οργανικού αζώτου σε ανόργανες μορφές  $\text{NH}_4^+$  ή  $\text{NH}_3$ ) και νιτροποίησης (οξείδωση των  $\text{NH}_4^+$  προς  $\text{NO}_3^-$ ) μετατρέπεται σε ανόργανο για να απορροφηθεί από τα φυτά. Οι δύο επόμενες αναφέρονται στον εμπλουτισμό του εδάφους με ανόργανο άζωτο άμεσα αφομοιώσιμο από τα φυτά, υπό μορφή κυρίως ανόργανων αλάτων (Δροσόπουλος, 1992).

Η διαδικασία της αφομοίωσης του αζώτου ονομάζεται αναγωγή και λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια: α) αναγωγή του  $\text{NO}_3^-$  σε  $\text{NO}_2^-$  και β) αναγωγή του  $\text{NO}_3^-$  σε  $\text{NH}_3$ . Τα δύο ένζυμα που συμμετέχουν στη διαδικασία αυτή είναι η νιτρική ρεδουκτάση και η νιτρώδης ρεδουκτάση. Το πρώτο ένζυμο καταλύει την αναγωγή των  $\text{NO}_3^-$  σε  $\text{NO}_2^-$  η οποία πραγματοποιείται μέσα στο κυτόπλασμα. Η επόμενη αναγωγή των  $\text{NO}_2^-$  σε  $\text{NH}_3$  γίνεται στους χλωροπλάστες από την νιτρώδη ρεδουκτάση. Τα δύο ένζυμα λειτουργούν διαδοχικά το ένα μετά το άλλο και έτσι αποφεύγεται η συσσώρευση νιτρώδων αλάτων.



Στην παραπάνω σχηματική αναπαράσταση των αναγωγών καταλήγουμε σε αμινοξέα γιατί η  $\text{NH}_3$  είναι τοξική για τα φυτικά κύτταρα και για το λόγο αυτό δεσμεύεται με αναγωγική αμίνωση με κετονοξέα για να σχηματίσει τελικά αμινοξέα ή αμίδια.

Στην αναγωγή που καταλύεται από τη νιτρώδη ρεδουκτάση, δότης ηλεκτρονίων είναι η ανηγμένη φερροδοξίνη (η οποία είναι το πρώτο σταθερό οξειδοαναγωγικό συστατικό της φωτοσυνθετικής αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων). Η φερροδοξίνη αναγεννάτε παρουσία φωτός στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Ως απόρροια των παραπάνω, η ηλιακή ενέργεια παίζει σπουδαίο ρόλο στην αφομοίωση των  $\text{NO}_3^-$ . Έχει διαπιστωθεί ότι αν μεταφερθούν φυτά από το φως στο σκοτάδι, μειώνεται η δραστηριότητα της νιτρικής ρεδουκτάσης με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση νιτρικών αλάτων στα κύτταρα των φύλλων, γεγονός που θεωρείται επιβλαβές για τα φυτά (Καράταγλης, 1995).

### 1.7.1 Ο φυσιολογικός ρόλος των νιτρικών στα φυτά

Τα νιτρικά μεταφέρονται από τις ρίζες στο βλαστό διαμέσου του ιστού ξύλου «xylem» στα ανώτερα όργανα. Μερικά φυτικά είδη συσσωρεύουν νιτρικά και στις ρίζες.

Στο κύτταρο τα νιτρικά διανέμονται σε δύο θέσεις, τη μεταβολική και την αποθηκευτική θέση. Στην πρώτη, τα νιτρικά συγκεντρώνονται στο



κυτταρόπλασμα και στη δεύτερη συγκεντρώνονται στο χυμοτόπιο. Η μεταβολική θέση έχει να κάνει με τις πρωτεΐνες. Η συγκέντρωση των νιτρικών στη μεταβολική θέση είναι μικρότερη, συγκρινόμενη με την υψηλότερη συγκέντρωση που παρατηρείται στην αποθησαυριστική θέση. Τα πιο παλιά συσσωρευμένα νιτρικά στην αποθησαυριστική θέση δεν είναι άμεσα διαθέσιμα για αναγωγή, ενώ τα πιο πρόσφατα μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο άμεσα (Bloom-Zandstra, 1989).

Η συγκέντρωση νιτρικών στα χυμοτόπια μειώνεται με την αύξηση της έντασης του φωτός. Σε πειράματα με μαρούλια (Bloom-Zandstra and Lampe, 1985) διαπιστώθηκε μια αντίστροφη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων των νιτρικών και των συγκεντρώσεων των οργανικών οξέων και των σακχάρων. Τα οργανικά οξέα και τα σάκχαρα παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην ωσμωτική ρύθμιση. Η αντίστροφη σχέση μεταξύ των νιτρικών και των οργανικών στοιχείων υποδηλώνει ότι τα νιτρικά επίσης παίζουν ρόλο ως ρυθμιστές ώσμωσης. Το γεγονός αυτό ίσως εξηγεί ότι τα νιτρικά δεν είναι άμεσα διαθέσιμα για αναγωγή στη μεταβολική θέση.

Τα νιτρικά χρησιμοποιούνται στο μεταβολισμό των κυττάρων για τη σύνθεση των αμινοξέων και εν συνεχεία των πρωτεϊνών. Οι υδρογονάνθρακες οι οποίοι παράγονται στα φύλλα μέσω της φωτοσύνθεσης, χρησιμοποιούνται στη δημιουργία δομικών συστατικών των κυττάρων, στην αναπνοή ή αποθηκεύονται ως οργανικά οξέα και σάκχαρα στα χυμοτόπια. Οι πρωτεΐνες και τα δομικά συστατικά χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του φυτού. Η αποθησαυριστική ουσία, ως ένα ενεργό ωσμωτικό διάλυμα, επίσης συμβάλλει στην άμεση ανάπτυξη του φυτού.

Το φως καθορίζει την παραγωγή των υδρογονανθράκων τόσο, όσο επηρεάζει τη συγκέντρωση των νιτρικών, διαμέσω του ενζύμου της νιτρικής ρεδοκτάσης και ίσως αυτό να επηρεάζει τη διαφυγή των νιτρικών από το χυμοτόπιο. Σε χαμηλής έντασης φωτισμό η παραγωγή των οργανικών ενώσεων είναι χαμηλή εξαιτίας του χαμηλού ρυθμού φωτοσύνθεσης, επομένως λίγα οργανικά στοιχεία είναι διαθέσιμα για αποθήκευση στα χυμοτόπια (Bloom-Zandstra, 1989). Τα νιτρικά, σ' αυτή την περίπτωση, λειτουργούν εναλλακτικά αντί των οργανικών ενώσεων. Η διαδικασία απορρόφησης των νιτρικών και η αποθήκευσή τους στα χυμοτόπια, απαιτεί λιγότερη ενέργεια από αυτή που απαιτείται για την παραγωγή και συγκέντρωση των οργανικών στοιχείων, και προέρχεται από δεσμευμένη ενέργεια ATP. Έτσι η διαθεσιμότητα των





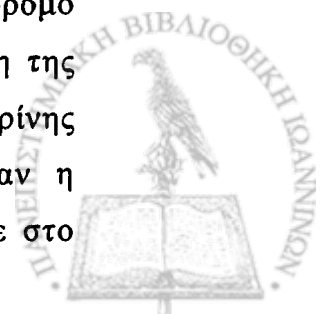
οργανικών ενώσεων για αποθήκευση θα επηρεάσει τη χρήση των νιτρικών ως ρυθμιστές ώσμωσης και αυτό με τη σειρά του τη συγκέντρωση των νιτρικών. Επομένως ο λόγος μεταξύ της συγκέντρωσης οργανικών ενώσεων και της συγκέντρωσης νιτρικών εξαρτάται από το φως.

### 1.7.2 Επίδραση των νιτρικών στην ανθρώπινη υγεία

Τα νιτρικά είναι φυσικό συστατικό των φρούτων και των λαχανικών. Επίσης τα νιτρικά βρίσκονται στο πόσιμο νερό και προστίθενται ως συντηρητικό, σε μορφή  $\text{NO}_2^-$ , σε μερικά προϊόντα κρέατος και ψαριού. Όμως η είσοδος μεγάλων ποσοτήτων νιτρικών στον ανθρώπινο οργανισμό, μέσω της διατροφής, έθεσε την ανθρώπινη υγεία σε κίνδυνο (Duncan et al., 1997).

Τα τελευταία 20 χρόνια κυρίως, τα νιτρικά μέσω της διατροφής ενοχοποιούνται για το σχηματισμό της μεθαιμοσφαιρίνης και των καρκινικών νιτροαμινών στον ανθρώπινο οργανισμό. Το γεγονός αυτό οδήγησε στον περιορισμό των επιπέδων νιτρικών και νιτροδών στα τρόφιμα και στο πόσιμο νερό. Δεν υπάρχει απόδειξη επιδημιολογίας ομάδων πληθυσμού με κατανάλωση λαχανικών υψηλής συγκέντρωσης νιτρικών, στους οποίους να παρατηρείται αυξημένος κίνδυνος γαστρικού ή εντερικού καρκίνου. Ακόμη η μετατροπή των νιτρικών σε οξείδια του αζώτου εμποδίζει το σχηματισμό των καρκινικών νιτροαμινών (Duncan et al., 1997).

Η ρύπανση του υπογείου νερού από τα νιτρικά, μέσω του οποίου η πλειονότητα των κατοίκων του πλανήτη μας έχει πρόσβαση σε πόσιμο νερό, φέρεται να είναι υπεύθυνη για την πρόκληση σοβαρών ασθενειών στον άνθρωπο και κυρίως στα βρέφη. Η σύνδεση της ρύπανσης του πόσιμου νερού από νιτρικά και της μεθαιμοσφαιριναιμίας έγινε το 1945 στην Iowa των Η.Π.Α. Το πρόβλημα δημιουργείται από τη μετατροπή των νιτρικών σε νιτροδών, μία διαδικασία η οποία συμβαίνει στο ανθρώπινο σάλιο και στο γαστρικό υγρό των εμβρύων. Όταν τα νιτροδών είναι παρόν αντιδρούν με την οξυαιμοσφαιρίνη για να παραχθεί η μεθαιμοσφαιρίνη, η οποία δεν μπορεί να μεταφέρει οξυγόνο. Το σύμπτωμα της μεθαιμοσφαιριναιμίας είναι η κυάνωση ή αλλιώς το σύνδρομο των μπλε μωρών, η οποία αρχίζει να γίνεται ορατή όταν η συγκέντρωση της μεθαιμοσφαιρίνης πλησιάζει τα 10 g/l (το 5-10% της συνολικής αιμοσφαιρίνης είναι στη μορφή μεθαιμοσφαιρίνης). Οι συνέπειες είναι σοβαρές όταν η συγκέντρωση είναι 30 g/l και ίσως να επέλθει ο θάνατος όταν φτάσουμε στο



επίπεδο των 60 g/l (Duncan et al., 1997). Η μεθαιμοσφαιρίνη μετατρέπεται και πάλι σε αιμοσφαιρίνη με τη βοήθεια του ενζύμου ρεδουκτάση της αιμοσφαιρίνης, παρουσία των ερυθρών αιμοσφαιρίων και το επίπεδο της μεθαιμοσφαιρίνης διατηρείται μεταξύ 1 και 2 %. Στους υγιείς ενήλικες αυτό το ένζυμο μετατρέπει τη μεθαιμοσφαιρίνη και πάλι σε αιμοσφαιρίνη, όμως στα νεογέννητα (και σε κάποιους ενήλικες που ακολουθούν συγκεκριμένη θεραπευτική αγωγή ή πάσχουν από συγκεκριμένες ασθένειες), είναι λιγότερο δραστικό να κάνει αυτή τη μετατροπή (Follet et al., 1991).

Τα περιστατικά μεθαιμοσφαιριναιμίας σε νήπια που παρουσιάστηκαν κατά το χρονικό διάστημα 1993-1998 στην Bizkaia της Ισπανίας, αποδόθηκαν σε κατανάλωση διαφόρων λαχανικών. Ο μέσος όρος ηλικίας των νηπίων ασθενών ήταν περίπου 8 μηνών. Τα άτομα αυτά τρεφόταν με πουρέ μείγματος λαχανικών, το οποίο ήταν προπαρασκευασμένο και διατηρημένο για κάποιες ώρες στο ψυγείο. Το κύριο χρησιμοποιούμενο λαχανικό ήταν το σπανάκι. Το επίπεδο της μεθαιμοσφαιρίνης, στα βρέφη κυμαίνονταν από 10-58% και παρουσίασαν κυάνωση. Στην περιοχή αυτή το σπανάκι είχε την υψηλότερη συγκέντρωση νιτρικών από όλα τα λαχανικά (3.200 ppm). Επίσης η συγκέντρωση νιτρικών στο πόσιμο νερό κυμαίνονταν από 3-6 ppm (Sanchez-Echaniz et al., 2001). Τα νιτρικά και τα νιτρώδη άλατα έχουν κατηγορηθεί και για το ότι προκαλούν καρκίνο του στομάχου, αλλά μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν αποδείξεις για το μηχανισμό της δράση τους, αν αυτός βέβαια υφίσταται. Υπάρχουν βέβαια ερευνητές που συνδέουν τη συγκέντρωση των νιτρικών με την πρόκληση καρκίνου του στομάχου και άλλοι που σε επιδημιολογικές μελέτες τους δεν έχουν βρει συσχέτιση των νιτρικών με την πρόκληση καρκίνου (Barret et al., 1998). Αυτό που παρατηρήθηκε στην ίδια μελέτη ήταν ότι ο καρκίνος του εγκεφάλου και του κεντρικού νευρικού συστήματος παρουσιάστηκε σε υψηλότερη συχνότητα στις περιοχές με τα υψηλότερα επίπεδα νιτρικών.

Επίσης η υποψία για αρνητική επίδραση των νιτρικών (σε νιτρώδη και αμμωνιακή μορφή) στην ανθρώπινη υγεία διαμέσου του σχηματισμού των καρκινογενών νιτροαμιμών στο στομάχι, οφείλεται κυρίως από τα νιτρώδη και δευτερευόντως από τις αμίνες. Το 80-90% των νιτρικών που εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό προέρχονται από τα λαχανικά και κυρίως από τα φυλλώδη λαχανικά. Σε πείραμα που έγινε, για τις πιθανότητες να αναπτύξουν καρκίνο του εντέρου, μεταξύ χορτοφάγων και μη χορτοφάγων διαπιστώθηκε ότι οι



χορτοφάγοι παρουσίασαν μικρότερο ποσοστό. Το γεγονός αυτό εξηγήθηκε ως εξής, στα φρούτα και τα λαχανικά υπάρχουν στοιχεία όπως το αντιοξειδωτικό ασκορβικό οξύ που παρεμποδίζει το σχηματισμό των νιτροαμινών και έτσι η υψηλή εισροή νιτρικών μέσω της διατροφής δεν είναι τόσο επιβλαβής (Duncan et al., 1997). Επίσης η είσοδος νιτρικών στο στομάχι το οποίο παρουσιάζει κανονική οξύτητα, εμφανίζει γρήγορη μετατροπή αυτών σε οξείδια του αζώτου τα οποία δε σχηματίζουν καρκινογενή νιτροστοιχεία.

Εκτός βέβαια από τον άνθρωπο τα νιτρικά φέρονται να βλάπτουν και την υγεία των κατοικίδιων ζώων. Τα ζώα κινδυνεύουν από την πόση νερού που περιέχει υψηλή συγκέντρωση νιτρικών καθώς και αν τραφούν με φυτά τα οποία περιέχουν υψηλή συγκέντρωση νιτρικών. Ιδιαίτερα ευαίσθητα είναι τα μηρυκαστικά και κυρίως οι αγελάδες και τα πρόβατα (Follet et al., 1991).

### **1.7.3 Ρύπανση του εδάφους, του επιφανειακού και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα από νιτρικά**

Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα, που είναι άμεσα συναρτώμενο με την ανθρώπινη δραστηριότητα και κυρίως τη γεωργία, είναι το πρόβλημα της μεγάλης συγκέντρωσης των νιτρικών στο έδαφος που μπορεί να προέρχεται:

- Από τη μικροβιακή αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας, της ζωικής κόπρου και των φυτικών υπολειμμάτων.
- Από τις προσθήκες από την ατμόσφαιρα.
- Από τα λιπάσματα νιτρικού-αμμωνιακού ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) αζώτου.

Το αμμωνιακό άζωτο μετατρέπεται σε νιτρικό με τη μικροβιακή οξείδωση (νιτροποίηση).

Παρότι τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) είναι η κυριότερη μορφή που παρουσιάζεται το άζωτο στα υπόγεια ύδατα, μπορεί να απαντηθεί και ως αμμώνιο ( $\text{NH}_4^+$ ), ως νιτρώδες ( $\text{NO}_2^-$ ), ως άζωτο ( $\text{N}_2$ ), ως οξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και ως οργανικό άζωτο.

Το νιτρικό ανιόν, όντας αρνητικά φορτισμένο, δε συγκρατείται από τα κολλοειδή της αργίλου και παραμένει στο εδαφικό διάλυμα από όπου ή προσλαμβάνεται από τα φυτά ή εκπλύνεται προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους και επιβαρύνει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα ή με την επιφανειακή απορροή μεταφέρεται στους ποταμούς και στις λίμνες. Η ποσότητα των νιτρικών που εκπλύνεται - και κατά συνέπεια η συγκέντρωση των νιτρικών στα υπόγεια



νερά ή στις παρακείμενες υδατοσυλλογές - εξαρτάται από τη μάζα του νερού που διέρχεται από το έδαφος και τη συγκέντρωση των νιτρικών στο εδαφικό διάλυμα. Επομένως οι μεγαλύτερες απώλειες νιτρικών συμβαίνουν στα αμμώδη εδάφη, σε περιοχές και εποχές στις οποίες οι βροχοπτώσεις είναι υψηλές ή γίνεται άρδευση με υπερβολικές ποσότητες νερού και βέβαια όπου προστίθενται μεγάλες ποσότητες αζωτούχων λιπασμάτων.

Η παρουσία των νιτρικών στα νερά στράγγισης δεν είναι επιθυμητή διότι:

- Αντιπροσωπεύει οικονομική ζημία για το γεωργό.
- Ρυπαίνει τα πόσιμα νερά με μεγάλους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία.
- Προκαλεί εντροφισμό των λιμνών, των ποταμών ή και των θαλασσών.

Από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας θεωρείται ακατάλληλο το πόσιμο νερό στο οποίο η συγκέντρωση των νιτρικών είναι μεγαλύτερη από 50 mg/l. Υπάρχουν βέβαια και χώρες που έχουν θεσπίσει πιο χαμηλά όρια, όπως η Σλοβενία, η οποία έχει θεσπίσει ως όριο για να θεωρηθεί ένα νερό κατάλληλο τα 46 mg/l (Maticic, 1999).

Αν και η μορφολογία του εδάφους παίζει ρόλο για το ποσοστό του αζώτου που καταλήγει στο νερό, ο ανθρώπινος παράγοντας είναι αυτός που επιβαρύνει περισσότερο το σύστημα. Η παραγωγή και η χρήση των λιπασμάτων που περιέχουν άζωτο έχει αυξηθεί αλματωδώς, κυρίως μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο, όταν δημιουργήθηκαν υβρίδια φυτών τα οποία απαιτούσαν εκτός των φυτοφαρμάκων και υψηλές ποσότητες λιπασμάτων για να δώσουν τις μεγάλες αποδόσεις που υπόσχονταν.

Έτσι η παγκόσμια παραγωγή αζωτούχων λιπασμάτων παρουσιάζει μία τεράστια ανάπτυξη φτάνοντας από τους 9,5 εκατομμύρια τόνους το 1959-1960 τους 57,2 το 1979-1980, τους 79,2 το 1989-1990 και το 1999-2000 έφτασε να υπάρχει μία παγκόσμια παραγωγή της τάξης των 90,9 εκ. τόνων (FAO, 2001). Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό αυτή η αυξημένη χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων είναι που δημιουργεί αρκετά από τα προβλήματα που σχετίζονται με τα νιτρικά και τις επιπτώσεις που επιφέρουν στο περιβάλλον.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η παραγωγή καθώς και η χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων. Είναι γεγονός ότι στις αρχές της δεκαετίας του '90 παρουσιάστηκε μία μείωση στην παραγωγή των αζωτούχων λιπασμάτων, η οποία όμως δεν ήταν ανάλογη σε όλο τον κόσμο. Στην Ευρώπη παρουσιάστηκε



μία μεγάλη μείωση αυτή τη χρονική περίοδο, γιατί ευαισθητοποιήθηκε η κοινή γνώμη ως προς τη ρύπανση του περιβάλλοντος και ως προς την επίδραση των χημικών ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.

Ο Οργανισμός για την Ανάπτυξη και Συνεργασία στην Ευρώπη (ΟΑΣΑ) αναφέρει ότι το 1990 οι χώρες που αντιμετώπιζαν τα σπουδαιότερα προβλήματα με τη συγκέντρωση των νιτρικών στα επιφανειακά ύδατα ήταν η Ολλανδία, το Βέλγιο, η Γαλλία, η Ιταλία και η Σουηδία (Burt et al., 1993). Σε έρευνες που έγιναν στη Μεγάλη Βρετανία κατά την πρώτη πενταετία του '80, εννέα από τους είκοσι πέντε ποταμούς που μελετήθηκαν, παρουσίασαν υψηλότερες συγκεντρώσεις από την προηγούμενη περίοδο. Από πολλές έρευνες που έχουν λάβει χώρα σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι γεγονός ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων από νιτρικά, αλλά και γενικότερα, φέρεται να παρουσιάζεται στη Δυτική Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική. Είναι περιοχές στις οποίες ασκείται εντατικής μορφής καλλιέργεια. Οι περιοχές της Ασίας, Αφρικής και Νοτίου Αμερικής φαίνεται να μην αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα.

Σε μελέτη που έγινε στη χώρα μας, στη Βόρεια Ελλάδα, για το χρονικό διάστημα 1997-1998 και αφορούσε τους κυριότερους ποταμούς αυτής της περιοχής, διαπιστώθηκε ότι και εδώ το πρόβλημα δεν είναι τόσο σοβαρό όσο στις βορειότερες χώρες της Ε.Ε. (Voutsas et al., 2001).

#### **1.7.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συσσώρευση νιτρικών στο μαρούλι**

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν τη συσσώρευση νιτρικών στους φυτικούς ιστούς, σε μια προσπάθεια να περιορίσουμε το μέγεθος αυτής της συσσώρευσης. Είναι αποδεκτό σήμερα ότι η συσσώρευση νιτρικών συμβαίνει όταν ο ρυθμός απορρόφησής τους από τα φυτά είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό αφομοίωσής τους από το φυτικό οργανισμό για το σχηματισμό πρωτεϊνών (Bloom-Zandstra, 1989).

Η συσσώρευση των νιτρικών στα φυτά εξαρτάται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία, η φωτοπερίοδος και η ένταση του φωτός. Εκτός από το περιβάλλον επιδρά και το γενετικό υπόβαθρο του φυτού. Μεταξύ του γενετικού και του περιβαλλοντικού παράγοντα υπάρχει αλληλεπίδραση (Bloom-Zandstra, 1989). Επίσης επηρεάζει η παροχή νερού και η λίπανση, η ποσότητα και η σύσταση της αζωτούχου λίπανσης, η χρήση



βιορρυθμιστών, οι αλλαγές στο θρεπτικό διάλυμα υδροπονικών καλλιεργειών όπως η αλλαγή στην αναλογία  $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ , η μείωση της χρήσης των  $\text{NO}_3^-$  πριν τη συγκομιδή και η εισαγωγή του ιόντος  $\text{Cl}^-$  στην ισορροπία του θρεπτικού διαλύματος.

Η απορρόφηση του αζώτου από τις ρίζες είναι σε ισορροπία με τις λειτουργίες του ριζικού συστήματος και του βλαστού, κατά τη βλαστική ανάπτυξη. Η απορρόφηση του αζώτου εξαρτάται από τη συνεχή ροή των υδρογονανθράκων από το βλαστό στη ρίζα. Είναι γεγονός ότι η φωτοσύνθεση, η ανάπτυξη των βλαστών, η κίνηση των υδρογονανθράκων, η απαίτηση σε θρεπτικά στοιχεία, η αναπνοή, η ανάπτυξη των ριζών και η απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων, βρίσκονται σε μια αλληλεπίδραση με το φως.

### 1.7.5 Χορήγηση αζώτου

Η λίπανση του αζώτου έχει συνεισφέρει τα μέγιστα σε σχέση με άλλες τεχνικές ανάπτυξης για την αύξηση στην αγροτική παραγωγή. Η ικανότητα χρήσης αζώτου των φυτών, αν και είναι συνήθως χαμηλή, ποικίλει ανάλογα με το είδος, την καλλιέργεια, το χώμα, τις κλιματολογικές συνθήκες και τη διαθεσιμότητα του αζώτου στο χώμα. Οι ανόργανες μορφές του αζώτου στο χώμα, οι οποίες είναι διαθέσιμες για τα φυτά είναι το αμμώνιο ( $\text{NH}_4^+$ ), το οποίο απορροφάται μερικώς από τα κολλοειδή συστατικά του χώματος και το νιτρικό ιόν ( $\text{NO}_3^-$ ), το οποίο παραμένει διαλυμένο στο νερό που περιβάλλει τις ρίζες (Elia et al., 1996).

Τα τελευταία χρόνια, η εισαγωγή της υδροπονίας, επέτρεψε τον καλύτερο έλεγχο της απορρόφησης αζώτου από τα φυτά. Τα περισσότερα φυτά μπορούν να χρησιμοποιήσουν και τις δύο διαθέσιμες μορφές αζώτου, όμως η αποτελεσματικότητα και η προτίμηση για την κάθε μορφή, εξαρτάται από το είδος, την ηλικία του φυτού, τις περιβαλλοντικές συνθήκες (όπως το pH), την αναλογία των δύο μορφών και τη συγκέντρωση άλλων θρεπτικών συστατικών.

Τα δύο παραπάνω ιόντα αζώτου εισχωρούν στα κύτταρα των ριζών μέσω ενεργής μεταφοράς (Forde and Clarkson, 1999). Λόγω της τοξικότητάς του, το  $\text{NH}_4^+$  δεν μπορεί να συγκεντρωθεί στους ιστούς των φυτών. Έτσι αφομοιώνεται άμεσα σε οργανικές αζωτούχες μορφές με ασθενή τοξικότητα πριν μεταφερθεί σε περιοχές χρήσης, πράγμα το οποίο συνεπάγεται κάποια κατανάλωση ενέργειας από το φυτό.



Όταν το  $\text{NH}_4^+$  είναι η μόνη διαθέσιμη πηγή αζώτου, διάφορα ανώτερα φυτά αναπτύσσονται με δυσκολία και επιδεικνύουν νέκρωση φύλλων, αναστολή σύνθεσης αμύλου (Puritch and Barker, 1967) και συγκέντρωση του  $\text{NH}_4^+$  στα φύλλα (Haynes and Koh, 1978).

Η εμφάνιση τοξικών συμπτωμάτων του φυτού οφείλεται κατά ένα μέρος στην οξίνιση του μέσου ανάπτυξης, η οποία ακολουθεί την απορρόφηση αμμωνίου (Findenegg et al., 1986) και μειώνει την απορρόφηση ανόργανων θρεπτικών κατιόντων (Islam et al., 1980).

Πειραματικές μελέτες που διεξήχθησαν σε υδροπονικά συστήματα έδειξαν ότι η πρόσθεση μικρού μέρους του N σε μορφή  $\text{NH}_4^+$  σε θρεπτικά διαλύματα οδήγησαν σε αύξηση της βιομάζας (Kirkby and Mengel, 1967; Etebhi and Wilcox, 1990), της ικανότητας χρήσης αζώτου και σε μείωση των απαιτήσεων σε νερό (Salsac et al., 1987) και της περιεκτικότητας σε άζωτο στα βρώσιμα μέρη των φυτών (Santamaria et al., 1995).

#### 1.7.6 Υδροπονικές καλλιέργειες και χορήγηση αζώτου

Σε υδροπονικές καλλιέργειες διαπιστώθηκε ότι το επίπεδο  $\text{NO}_3^-$  - N στα λαχανικά συμπεριλαμβανομένου και του μαρουλιού, μπορεί να μειωθεί εάν επαρκής ποσότητα  $\text{NH}_4^+$  βρίσκεται στο θρεπτικό διάλυμα. Όμως τα υψηλά επίπεδα αμμωνίου μπορούν να προκαλέσουν φυτοτοξικότητα και μείωση της παραγωγής, όταν στο υπόστρωμα τα νιτρικά και τα κατιόντα, κυρίως του K, είναι χαμηλά (Haynes, 1986). Προσπάθειες ελέγχου των συγκεντρώσεων  $\text{NH}_4^+$  και της αναλογίας  $\text{NO}_3^-$  :  $\text{NH}_4^+$  στο διάλυμα του υποστρώματος μπορούν να επιτευχθούν με σωστή διαχείριση της αζωτούχου λίπανσης.

Μια μέθοδος που μελετήθηκε για τη μείωση της συσσώρευσης των νιτρικών στο μαρούλι και σε άλλα φυλλώδη λαχανικά, με ή χωρίς αλλαγές στην παραγωγή, ήταν η υδροπονική καλλιέργεια. Οι Urrestarazu et al., (1998) μελέτησαν τη συμπεριφορά διαφόρων ποικιλιών μαρουλιού, αντικαθιστώντας την τελευταία εβδομάδα πριν τη συγκομιδή από το θρεπτικό διάλυμα το N ( $\text{NO}_3^-$ ) με το χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ). Το πείραμα αυτό έγινε σε συνθήκες θερμοκηπίου, σε NFT και χρησιμοποιήθηκαν τρεις ποικιλίες μαρουλιού (Domino, Elnira, Daguan). Τα αποτελέσματα ήταν θετικά και για τις τρεις ποικιλίες, η Daguan είχε τη μικρότερη συγκέντρωση νιτρικών σε νωπό δείγμα κατά τη συγκομιδή την 61<sup>η</sup> ημέρα, ακολουθούσε η Elnira και μετά η Domino. Στο ίδιο πείραμα



παρατηρήθηκε και μια άλλη σημαντική παράμετρος, στην καλλιέργεια-μάρτυρα, που δεν αντικαταστάθηκε το  $\text{NO}_3^-$ , στις ποικιλίες Domino και Daguan η συγκέντρωση των νιτρικών αυξανόταν γραμμικά κατά την τελευταία εβδομάδα πριν την συγκομιδή (55<sup>η</sup> έως 61<sup>η</sup> ημέρα), ενώ η Elnira παρουσίασε μια απότομη αύξηση από την 55<sup>η</sup> μέχρι την 58<sup>η</sup> ημέρα και μια σημαντική μείωση την 61<sup>η</sup>. Έτσι η ποικιλία Elnira σε θρεπτικό διάλυμα που περιέχει  $\text{NO}_3^-$  παρουσιάζει την υψηλότερη συγκέντρωση την 58<sup>η</sup> ημέρα και τη μικρότερη την 61<sup>η</sup>. Αυτό αποδεικνύει το σημαντικό ρόλο που παίζει ο χρόνος συγκομιδής του φυτού.

Σε υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιού σε NFT, μελετήθηκε η ανάπτυξη της καλλιέργειας και η συσσώρευση των στοιχείων N, P και K στα φύλλα, όταν μειώνονταν οι χορηγούμενες ποσότητες των τριών αυτών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα (Chen et al., 1997). Ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε η υψηλότερη συγκέντρωση των παραπάνω στοιχείων, δηλαδή το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιείται στην πράξη. Όταν μειώθηκαν οι συγκεντρώσεις N, P και K στο θρεπτικό διάλυμα, αυτό δεν είχε καμιά επίδραση στην ανάπτυξη και στο ρυθμό αφομοίωσης των N, P και K. Το συμπέρασμα που βγήκε ήταν ότι σε ανακυκλούμενο υδροπονικό σύστημα οι συγκεντρώσεις των N, P και K μπορούν να μειωθούν κατά το 1/10 των συγκεντρώσεων του μάρτυρα, ενώ σε μη ανακυκλωμένο μπορούν να μειωθούν κατά το 1/100 σε σχέση με το μάρτυρα.

Ο Kanaan (1991) σε υδροπονική NFT καλλιέργεια μαρουλιού μελέτησε τη μείωση της συσσώρευσης νιτρικών, όταν το θρεπτικό διάλυμα της καλλιέργειας, λίγες μέρες (3-14 μέρες) πριν τη συγκομιδή, αντικαταστάθηκε είτε με νερό βρύσης, είτε με διάλυμα χαμηλότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, είτε με διάλυμα ελεύθερο νιτρικών, χωρίς σημαντική μείωση της παραγωγής. Η μικρότερη συγκέντρωση νιτρικών παρατηρήθηκε στην περίπτωση του νερού βρύσης, αν και οι δύο άλλες περιπτώσεις παρουσίασαν σημαντική μείωση, σε σχέση με το εμπορικό διάλυμα που χρησιμοποιείται για καλλιέργεια NFT. Τα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας θρεπτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται στο εμπόριο, ίσως παρεμποδίζουν την αφομοίωση του N και έτσι οδηγούν στη συγκέντρωση των νιτρικών στους φυτικούς ιστούς. Η κλίμακα των διαλυμάτων ως προς την ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν 2,0 έως 3,0 mS/cm, ενώ διαφορετικής αγωγιμότητας διαλύματα, δεν είχαν καμιά επίδραση στο νωπό και ξηρό βάρος των φυτών, ενώ είχαν μεγάλη επίδραση στην αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών και στο ξηρό βάρος των ριζών.

Συμπερασματικά σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων που





παρατέθηκαν προηγούμενα, διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση των νιτρικών σε υδροπονική καλλιέργεια είναι αρκετά υψηλότερη από τη συγκέντρωση αντίστοιχης καλλιέργειας στον αγρό.

### 1.8 Σκοπός της παρούσης εργασίας

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας ήταν να μελετηθούν οι απαιτήσεις του μαρουλιού σε  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικό-N όταν τα φυτά αναπτύσσονται σε ένα αδρανές υπόστρωμα (ελαφρόπετρα) κάτω από τους μεσογειακούς κλιματολογικούς όρους και την πλήρη ανακύκλωση του διαλύματος απορροής.

Για να κατανοηθούν καλύτερα οι μηχανισμοί που κρύβονται κάτω από τις επιδράσεις του  $\text{NH}_4^+$  και του  $\text{NO}_3^-$  στην αύξηση μαρουλιού, η παρούσα μελέτη εστιάζει όχι μόνο στην ανάπτυξη των φυτών και στις συγκεντρώσεις νιτρικών στους ιστούς, αλλά και στη θρεπτική κατάσταση στο ριζόστρωμα καθώς και στη λήψη θρεπτικών ουσιών.



## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Υλικά

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο σύγχρονο υαλόφρακτο θερμοκήπιο Υδροπονικών καλλιεργειών του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου στην Άρτα (Γεωγραφικό Πλάτος 39°7'N, Γεωγραφικό Μήκος 20° 56'E), τη χρονική περίοδο Ιανουαρίου 2005 – Μαΐου 2005. Η πρώτη καλλιεργητική περίοδος διήρκησε από 18/1/2005 έως 5/4/2005, ενώ η δεύτερη από 24/3/2005 έως 25/5/2005. Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με ένα σύστημα αυτόματης παρασκευής, χορήγησης και ανακύκλωσης θρεπτικού διαλύματος ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή (φωτ.1).

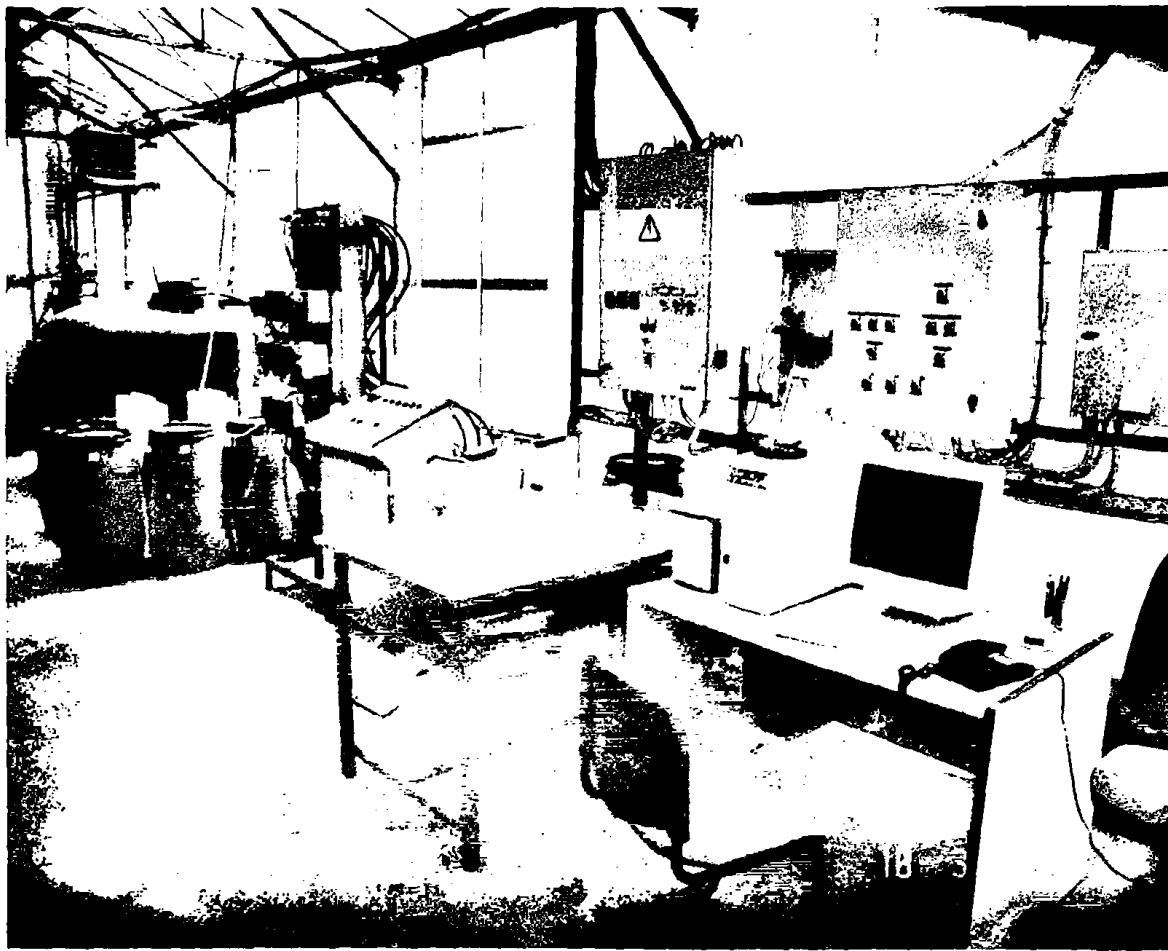
Μελετήθηκε μαρούλι (*Lactuca sativa*) ποικιλίας 'Vardac', τύπου Batavia, σε δύο διαδοχικά πειράματα.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε 12 ανεξάρτητα υδροπονικά συστήματα επιτρέποντας την πλήρη ανακύκλωση του διαλύματος απορροής, η οποία αντιστοιχούσε στις 12 πειραματικές μονάδες. Κάθε πειραματική μονάδα περιελάμβανε δύο κανάλια, μήκους 5 μέτρων και πλάτους 0,25 μέτρων. Τα κανάλια καλύφθηκαν με φύλλα πλαστικού πολυαιθυλενίου διπλής όψεως (λευκό εξωτερικά και μαύρο εσωτερικά) και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σ' αυτά ελαφρόπετρα κοκκομετρικών διαστάσεων 0 - 5 mm, της εταιρίας LABA A.E. μέχρι του ύψους των 8 εκατοστών. Σε κάθε κανάλι φυτεύτηκαν 40 φυτά και, ως εκ τούτου, ο όγκος του υποστρώματος ανά φυτό ήταν 2,5 λίτρα. Σε όλα τα κανάλια έγινε τέτοια διαμόρφωση, ώστε να υπάρξουν οι απαιτούμενες κλίσεις για καλή στράγγιση και συλλογή του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος και κατόπιν τα κανάλια καλύφθηκαν με τα μαυρόασπρα φύλλα πολυαιθυλενίου, ώστε να αποφευχθεί και η εξάτμιση ύδατος.

Εφαρμόστηκαν τέσσερις διαφορετικές μεταχειρίσεις θρεπτικού διαλύματος με χορήγηση του αζώτου σε τέσσερις διαφορετικές αναλογίες  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικό-N ( $\text{N}_r$ ) μέσω του ανακυκλωμένου θρεπτικού διαλύματος και συγκεκριμένα 0,0, 0,1, 0,2 και 0,3 σε γραμμομοριακή βάση, αντίστοιχα. Η συνολική παροχή αζώτου (N) ήταν ίδια, δηλαδή 11,7 mM σε όλες τις μεταχειρίσεις του θρεπτικού διαλύματος. Οι τέσσερις διαφορετικές μεταχειρίσεις του θρεπτικού διαλύματος τοποθετήθηκαν σε ένα τυχαίο πλήρες σχέδιο καναλιών με τρία κανάλια.



Οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων θρεπτικών στοιχείων σε όλες τις μεταχειρίσεις του διαλύματος άρδευσης ήταν οι ακόλουθες: 9,2 mM κάλιο (K), 2,0 mM ασβέστιο (Ca), 1,0 mM Μαγνήσιο (Mg), 1,3 mM Φώσφορος (P), 4 mM Σίδηρος (Fe), 5 μM Μαγγάνιο (Mn), 4 μM Ψευδάργυρος (Zn), 0,75 μM Χαλκός (Cu), 30 μM Βόριο (B) και 0,5 μM Μολυβδαίνιο (Mo). Για να επιτευχθούν ίδιες συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, συνολικού-N και P σε όλες τις μεταχειρίσεις, οι αλλαγές στο  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικό-N εξισορροπήθηκαν με αντίστοιχη ανύψωση της συγκέντρωσης των θεικών ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) από 0,8 έως 4,1 mM και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του θρεπτικού διαλύματος από 1,71 έως 1,90, 2,02 και 2,14  $\text{dS m}^{-1}$ , στις τρεις μεταχειρίσεις που το θρεπτικό διάλυμα περιείχε  $\text{NH}_4$ .



Φωτ. 1. Σύγχρονη μονάδα επεξεργασίας θρεπτικού διαλύματος (κλειστό υδροπονικό σύστημα)

## 2 Χορήγηση θρεπτικού διαλύματος

Το θρεπτικό διάλυμα χορηγήθηκε αυτόματα μέσω ενός συστήματος ελεγχόμενης στάγδην άρδευσης σε ένα ποσοστό 0,12 lit ανά φυτό σε κάθε δόκιμο και σε διαστήματα ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία ελέγχονταν χρησιμοποιώντας ένα πυρανόμετρο. Κάθε άρδευση

πραγματοποιούνταν με στόχο τη διατήρηση του ποσοστού ξηρότητας στα φυτά μέσα σε ένα εύρος τιμών 35 έως 50%. Μ' αυτόν τον τρόπο χορηγήθηκαν 3 έως 8 εφαρμογές άρδευσης ανά ημέρα σε κάθε πειραματική μονάδα ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Το θρεπτικό διάλυμα που παρασχέθηκε στην καλλιέργεια και αποτέλεσε στη συνέχεια το διάλυμα άρδευσης, παρασκευάστηκε με ανάμιξη ολόκληρου του ποσού του διαλύματος απορροής, το οποίο συλλέγονταν μετά από κάθε πότισμα, με καινούργιο θρεπτικό διάλυμα, ενώ κατά τη διάρκεια της μίξης προστέθηκε και νιτρικό οξύ για ρύθμιση του pH στο 5,6. Για την ανάμιξη του καινούργιου θρεπτικού διαλύματος με το διάλυμα απορροής χρησιμοποιήθηκε μια πλήρως αυτοματοποιημένη εγκατάσταση (φωτ. 1), παρασκευάζοντας ένα σταθερό όγκο (40 ή 80 λίτρα), ρυθμίζοντας το pH και χορηγώντας το στη συνέχεια στα φυτά. Η ανωτέρω διαδικασία εκτελέστηκε χωριστά για κάθε μια από τις 12 πειραματικές μονάδες σε μια διαδοχική ακολουθία.

### **2.3 Μέθοδοι**

Το πείραμα όπως προαναφέρθηκε περιλάμβανε δύο καλλιέργειες, την πρώιμη ανοιξιιάτικη και την όψιμη ανοιξιιάτικη καλλιέργεια, ενώ οι μεταχειρίσεις και των δύο ήταν ακριβώς ίδιες. Η δεύτερη καλλιέργεια δηλαδή είχε σα στόχο τον έλεγχο της δυνατότητας αναπαραγωγής των αποτελεσμάτων που επιτεύχθηκαν στην πρώτη.

### **2.4 Πρώιμη ανοιξιιάτικη & Όψιμη ανοιξιιάτικη καλλιέργεια**

Η σπορά έγινε σε δίσκους από πλαστικό με ατομικές θέσεις (φωτ.2). Σε κάθε ατομική κυκλική θέση, της οποίας η διάμετρος ήταν 5 cm, τοποθετήθηκε τύρφη και ελαφρόπετρα σε αναλογία 2:1 και σπάρθηκαν δύο με τρεις σπόροι μαρουλιού ανά θέση. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε μια λεπτή στρώση τύρφης, περίπου 0,5 cm, για την κάλυψη των σπόρων και ποτίστηκαν προσεχτικά για να μην παρασυρθούν. Η έκπτυξη των φυταρίων παρατηρήθηκε τρεις μέρες μετά τη σπορά. Δύο μέρες μετά την έκπτυξη έγινε αραίωση και σε κάθε θέση παρέμεινε ένα φυτάριο. Το πότισμα γινόταν με ποτιστήρι ανά τακτά χρονικά διαστήματα όταν παρατηρούνταν ότι η υγρασία του υποστρώματος μειωνόταν. Μέχρι τη μεταφύτευση οι δίσκοι παρέμειναν σε πάγκους στο χώρο του θερμοκηπίου.



Εργασίες	Πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια	Όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια
Σπορά	18/1/2005	24/3/2005
Έκπτυξη	21/1/2005	27/3/2005
Αραίωση	23/1/2005	29/3/2005
Μεταφύτευση	21/2/2005	21/4/2005
Συγκομιδή	5/4/2005	25/5/2005

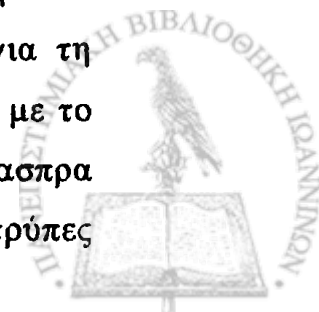


Φωτ.2. Δίσκοι σποράς μαζί με νεαρά σπορόφυτα μαρουλιού

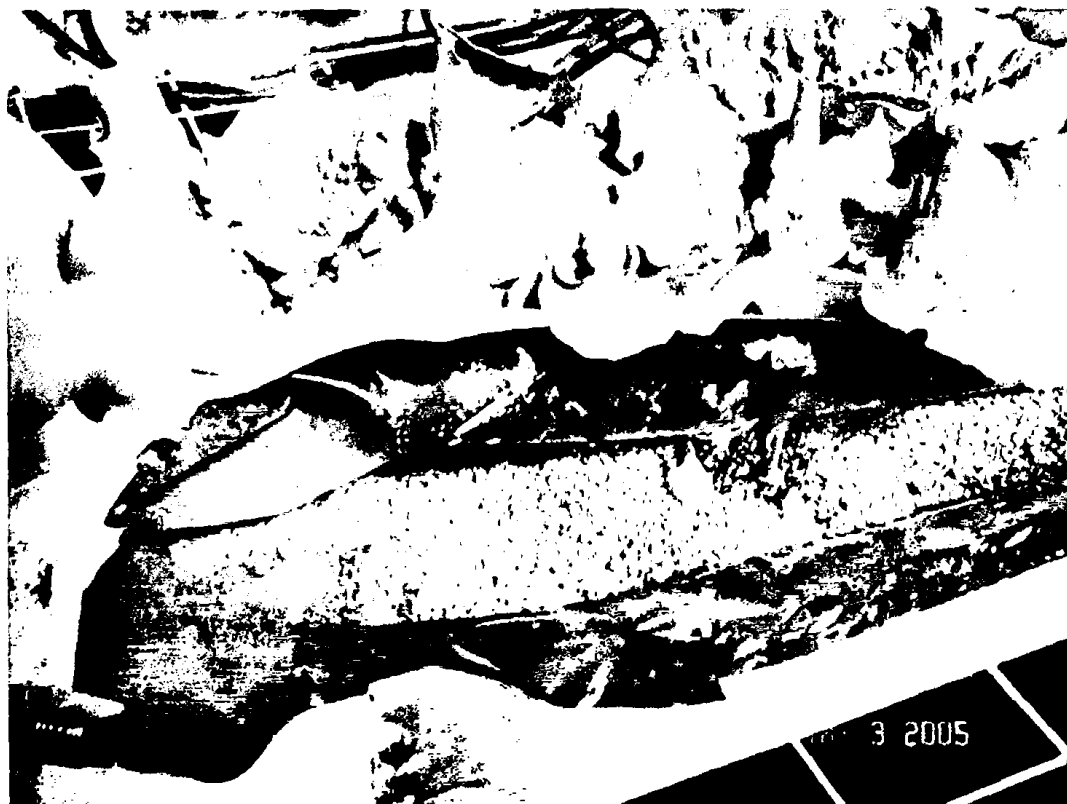
### 2.4.1 Μεταφύτευση

Η μεταφύτευση έγινε όταν τα φυτάρια απέκτησαν τρία πραγματικά φύλλα. Όπως έχει αναφερθεί τοποθετήθηκαν σε κανάλια με υπόστρωμα ελαφρόπετρας, η οποία πριν τη μεταφύτευση ξεπλύθηκε με άφθονο νερό και στη συνέχεια υδρόθετήθηκε δύο συνεχόμενες ημέρες με θρεπτικό διάλυμα.

Κατά τη διαδικασία της μεταφύτευσης αφαιρούνταν το κάθε φυτάριο με προσοχή από τη θέση του στο δίσκο και μαζί με τη μπάλα τύρφης – ελαφρόπετρας μεταφυτεύονταν στα κανάλια. Μετά την τοποθέτηση του φυταρίου στην τελική του θέση πιέστηκε το έδαφος γύρω από αυτό για τη σταθεροποίησή του και την καλύτερη επαφή του ριζικού του συστήματος με το υπόστρωμα. Στη συνέχεια το υπόστρωμα σκεπάστηκε με τα μαυρόασπρα φύλλα πολυαιθυλενίου, αφού προηγουμένως κατασκευάστηκαν σ' αυτό τρύπες



ιου οιαμετρηματος με τους δισκους σποράς και τοποθετήθηκαν οι σταλ (φωτ. 3). Αμέσως μετά τη φύτευση οι μεταχειρίσεις κάθε επεξεργ τροφοδοτήθηκαν με το αντίστοιχο θρεπτικό διάλυμα. Το πότισμα προαναφέρθηκε ήταν ανάλογο με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολί ανακύκλωση του διαλύματος απορροής άρχισε τρεις ημέρες από τη μεταφύ με αυτόματη ανάμιξη του θρεπτικού διαλύματος κάθε επεξεργασίας, αντίστοιχο διάλυμα απορροής, όπως περιγράφετε και παραπάνω και συνεχίστηκε μέχρι το τέλος του πειράματος.



Φωτ. 3. Φυτά μαρουλιού σε κανάλι φύτευσης. Διακρίνονται οι σταλάκτες, η ελαφρόπετρα και τα φύλλα πολυαιθυλενίου

#### 2.4.2 Μετρήσεις

1. Το pH και η EC του διαλύματος απορροής μετριόταν κάθε ημέρα α 10:00 π.μ, χρησιμοποιώντας ένα φορητό πεχάμετρο (CyberScan 10-pH) και φορητό αγωγιμόμετρο (CyberScan 10-Con). Εκτός της χειροκίνητης καταγραφ το pH του διαλύματος απορροής, το οποίο θεωρήθηκε και δείκτης για κατάσταση του pH στο ριζόστρωμα, μετρήθηκε και καταγράφηκε αυτόματα μια βάση δεδομένων Access<sup>®</sup>, κάθε φορά που προετοιμαζόταν το καινούρ θρεπτικό διάλυμα. Οι μέσες τιμές EC στο διάλυμα απορροής κυμάνθηκαν α 1,84 έως 2,32 dS μ<sup>-1</sup> στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια και από 1,92 έ 2,44 dS μ<sup>-1</sup> στην όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια. Σύμφωνα με τους Shannon

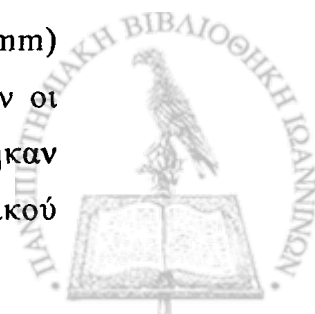
Griene (1999), οι διαφορές στην EC μέσα σε αυτό το εύρος τιμών στο ριζόστρωμα δεν αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά την αύξηση του μαρουλιού και ως εκ τούτου οποιεσδήποτε σημαντικές διαφορές πρέπει να αποδοθούν στις μεταχειρίσεις N<sub>r</sub>.

2. Στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια, η εσωτερική θερμοκρασία αέρα (T) κυμάνθηκε από 14 έως 18 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας και από 15 έως 27 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ η ελάχιστη και μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο ήταν αντίστοιχα 156 και 3398 Wh·m<sup>2</sup>, με ένα μέσο όρο 1707 Wh·m<sup>2</sup>. Στην όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια η εσωτερική θερμοκρασία αέρα (T) κυμάνθηκε από 16 έως 22 °C τη νύχτα και από 17 έως 29 °C την ημέρα, ενώ η ελάχιστη και μέγιστη καθημερινή ηλιακή ακτινοβολία ήταν 743 και 3788 Wh·m<sup>2</sup>, με ένα μέσο όρο 2425 Wh·m<sup>2</sup>. Η μέση θερμοκρασία στη ρίζα ήταν 16,5 °C για την πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια και 20,7 °C για την όψιμη. Και στα δύο πειράματα τα φυτά συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας (πλήρης σχηματισμός κεφαλής) σύμφωνα με την κοινή πρακτική αυτής της ποικιλίας.

3. Σε κανονισμένα χρονικά διαστήματα (μία φορά την εβδομάδα), τρία (3) δείγματα του διαλύματος απορροής επιλέγονταν από κάθε μεταχείριση (μία ανά πειραματική μονάδα) και χρησιμοποιούνταν για τη φωτομετρική μέτρηση με τη μέθοδο Phenate της συγκέντρωσης NH<sub>4</sub><sup>+</sup> στα 640 nm, καθώς και της συγκέντρωσης NO<sub>3</sub><sup>-</sup> στα 540 nm μετά από αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη μέσα από στήλη καδμίου.

4. Για να ελεγχθεί η θρεπτική κατάσταση στο ριζόστρωμα, πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες προς μέτρηση των συγκεντρώσεων των μεταλλικών θρεπτικών στοιχείων (K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe, Cu), καθώς και του P στο διάλυμα απορροής. Ο μεν φώσφορος προσδιορίστηκε φωτομετρικά ως φωσφομολυβδαινικό μπλε σύμπλοκο στα 880 nm, ενώ τα υπόλοιπα μεταλλικά κατιόντα μετρήθηκαν με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

5. Δύο (2) ολόκληρα φυτά επιλέχτηκαν τυχαία από κάθε κανάλι και αφού διαιρέθηκαν σε ρίζες και φύλλωμα, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε ξηρό φούρνο στους 65 °C μέχρι σταθερού βάρους. Οι ρίζες χωρίστηκαν από το υπόστρωμα με την τοποθέτησή τους σε κόσκινο (μέγεθος πλέγματος 6,35 mm) και πλύσιμο με νερό βρύσης σε χαμηλή πίεση προκειμένου να αφαιρεθούν οι κολλημένοι κόκκοι ελαφρόπετρας. Μετά την ξήρανση κονιοροποιήθηκαν ξεχωριστά σε μύλο, έγινε εκχύλιση χρησιμοποιώντας 10 ml υδροχλωρικού





οξέως (HCl) 1 N και μετρήθηκαν τα εξής: συνολικό N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu. Ο προσδιορισμός του συνολικού αζώτου στο φυτικό υλικό βασίστηκε στη μέθοδο Kjeldahl (Milles and Jones, 1996).

6. Επιπλέον τέσσερα πρόσθετα φυτά επιλέχθηκαν τυχαία από κάθε επεξεργασία, χωρίστηκαν στα νέα εσωτερικά φύλλα (50 g ανά δείγμα των νεώτερων φύλλων) και στα εξωτερικά φύλλα (50 g ανά δείγμα των παλαιότερων φύλλων) και χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών με τη φασματοφωτομετρική μέθοδο προσδιορισμού και νιτροποίηση του σαλικιλικού οξέως όπως περιγράφεται από τους Cataldo et al (1975).

7. Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου όλα τα φυτά από κάθε πειραματική μονάδα συγκομίστηκαν και το βάρος τους καταγράφηκε ξεχωριστά. Τα φυτά που συλλέχθηκαν από κάθε κανάλι χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογίσουν ένα μέσο νωπό βάρος ανά φυτό και έτσι για κάθε μεταχείριση υπολογίστηκε ένας μέσος όρος έξι (6) τιμών.

#### 2.4.3 Μέθοδος Phenate – Προσδιορισμός αμμωνιακού αζώτου, νιτρικών και φωσφόρου

Στους τέσσερις τομείς των υδροπονικών καλλιεργειών μαρουλιού (12 κανάλια ανά πείραμα) μετρήθηκε η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου, των νιτρικών και του φωσφόρου. Αυτό έγινε με την μέθοδο 'Continuous Flow Analyzer'. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε ένα αυτοματοποιημένο μηχάνημα, προγραμματιζόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή της εταιρίας Skalar, ο οποίος αποτελείται από τρία μέρη:

1) τον Controller που είναι η διασύνδεση του μηχανήματος με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή

2) τον Autosampler που είναι αυτόματος δειγματολήπτης

3) το κυρίως τμήμα στο οποίο γίνεται η ανάλυση

Πιο συγκεκριμένα, ένα υγρό ρεύμα από αντιδραστήρια και δείγματα περνούν μέσα από ένα σύστημα από σωληνίσκους ώστε τελικά να αναμιχθούν, να θερμανθούν και να αραιωθούν όταν χρειασθεί. Αυτό το ρεύμα διαχωρίζεται σε τμήματα με την παρεμβολή φυσαλίδων αέρα για να ελαχιστοποιηθεί η μόλυνση που μπορεί να συμβεί εξαιτίας της ανάμιξης διαφορετικών αντιδραστηρίων. Τελικά το προϊόν των αντιδρώντων μετά τις παραπάνω διεργασίες εισάγεται σε κελί ανάλυσης όπου προσδιορίζεται φωτομετρικά η



απορρόφησης του σε αντίστοιχα μήκη κύματος.

## ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του αμμωνιακού αζώτου, των νιτρικών και του φωσφόρου είναι τα εξής:

- Αυτόματος Αναλυτής της εταιρίας Skalar (Μοντέλο Santy 1050)
- Πεχάμετρο (Wt W 8120)
- Ζυγός (model Mark 800)
- Μαγνητικός αναδευτήρας (Velp Scientific)

Για κάθε μέτρηση ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Έγινε η παραλαβή των δειγμάτων, ακολούθησε διήθηση με πτυχωτό ηθμό κάτω από την επίδραση της βαρύτητας, και τέλος τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες όπου μετρήθηκε με την ανωτέρω μέθοδο το αμμωνιακό, το νιτρικό άζωτο και ο φώσφορος.

### A. Προσδιορισμός αμμωνίας

Αρχή της μεθόδου

Η διαδικασία για τον προσδιορισμό της αμμωνίας βασίζεται στην τροποποιημένη αντίδραση Berthelot. Η αμμωνία χλωριώνεται σε μονοχλωροαμίνη, η οποία αντιδρά με τα σαλικυλικά δίνοντας σαν προϊόν 5-αμινοσαλικυλικά. Μετά από οξείδωση σχηματίζεται ένα σύμπλοκο πράσινου χρώματος. Το μήκος κύματος του φωτομετρικού προσδιορισμού του σχηματιζόμενου συμπλόκου είναι τα 640 nm.

Αντιδραστήρια

A/A	Ονοματολογία	Χημικός τύπος
1.	Τετραϋδρικό τρυγικό καλιονάτριο	$C_4H_4O_6KNa \cdot 4H_2O$
2.	Ένυδρο κιτρικό νάτριο	$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 4H_2O$
3.	Brij 35 (30%), (Τασιενεργό)	
4.	Υδροξείδιο του νατρίου	NaOH
5.	Σαλικυλικό νάτριο	$C_7H_5NaO_3$
6.	Υδροχλωρικό οξύ	HCl (37%)
7.	Ένυδρο νιτροπρωσικό νάτριο	$Na_2[Fe(CN)_5NO] \cdot 2H_2O$
8.	Ένυδρο διχλωροϊσοκυανουρικό νάτριο	$C_3N_3O_3Cl_2Na \cdot 2H_2O$
9.	Χλωριούχο αμμώνιο	$NH_4Cl$
10.	Απεσταγμένο νερό (Ηλεκτρική αγωγιμότητα 0,05 $\mu S$ )	$H_2O$

## Διαλύματα

Τα αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό της αμμωνίας ήταν τέσσερα (4) και παρασκευάστηκαν ως εξής:

### 1. Ρυθμιστικό διάλυμα

Αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-33 gr ένυδρο τρυγικό καλιονάτριο -24 gr κιτρικό νάτριο -3 ml Βrij -υδροχλωρικό οξύ -νερό	Ζυγίστηκαν 33 gr ένυδρου τρυγικού καλιονατρίου και προστέθηκαν σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Στη συνέχεια προστέθηκαν 24 gr κιτρικού νατρίου. Το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή, προστέθηκαν 3 ml Βrij και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανάμιξη. Στη συνέχεια ρυθμίστηκε το pH του διαλύματος με υδροχλωρικό οξύ στην τιμή $5,2 \pm 0,1$ . Το διάλυμα παραμένει σταθερό για μια εβδομάδα.

### 2. Διάλυμα σαλικυλικού νατρίου

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-25 gr υδροξείδιο του νατρίου -80 gr σαλικυλικό νάτριο -νερό	Ζυγίστηκαν 25 gr υδροξειδίου του νατρίου και διαλύθηκαν σε 50 ml απεσταγμένου νερού. Προστέθηκαν 800 ml απεσταγμένου νερού και 80 gr σαλικυλικού νατρίου. Το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση. Στη συνέχεια αποθηκεύτηκε σε σκούρο δοχείο και παραμένει σταθερό για μία εβδομάδα.

### 3. Διάλυμα νιτροπρωσσικού νατρίου

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-1 gr ένυδρο νιτροπρωσσικό νάτριο -νερό	Ζυγίστηκε 1 gr ένυδρου νιτροπρωσσικού νατρίου και διαλύθηκε σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση. Στη συνέχεια αποθηκεύτηκε σε σκούρο δοχείο και παραμένει σταθερό για μία εβδομάδα.



#### 4. Διάλυμα διχλωροϊσοκυανουρικού νατρίου

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-2 gr ένυδρο διχλωροϊσοκυανουρικό νάτριο -νερό	Ζυγίστηκαν 2 gr ένυδρου διχλωροϊσοκυανουρικού νατρίου και διαλύθηκαν σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση. Το διάλυμα παραμένει σταθερό για μία εβδομάδα.

#### Πρότυπα

Παρασκευή πρότυπου διαλύματος χλωριούχου αμμωνίου (stock solution)

1000 ppm

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-3,8190 gr χλωριούχο αμμώνιο -νερό	Ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας 3,8190 gr χλωριούχου αμμωνίου και διαλύθηκαν σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση. Το διάλυμα παραμένει σταθερό για ένα μήνα σε ψυγείο στους 4-8 °C.

#### B. Προσδιορισμός νιτρικών

Η διαδικασία για τον προσδιορισμό των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) βασίζεται στην αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) με στήλη καδμίου (Cd). Πιο συγκεκριμένα το δείγμα διέρχεται μέσω μιας στήλης που περιέχει κόκκους Cu - Cd (χαλκού - καδμίου) οπότε ανάγονται τα νιτρικά ιόντα σε νιτρώδη. Τα νιτρώδη στη συνέχεια διαζωνιώνονται με σουλφανιλαμίδιο και συμπλοκοποιούνται με α-ναφθυλενοδιαμινοδιχλωρίδιο. Σχηματίζεται έτσι ένα αζώχρωμα του οποίου μετρείται η ένταση μέσω φωτομετρικού προσδιορισμού στα 540 nm.

#### Αντιδραστήρια

A/A	Ονοματολογία	Χημικός τύπος
1.	Χλωριούχο αμμώνιο	$\text{NH}_4\text{Cl}$
2.	Αμμωνία (25%)	$\text{NH}_4\text{OH}$
3.	Brij 35 (30%)	
4.	Ορθοφωσφορικό οξύ (85%)	$\text{H}_3\text{PO}_4$
5.	Σουλφανιλαμίδιο	$\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$
6.	α- ναφθυλενοδιαμινοδιχλωρίδιο	$\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$
7.	Νιτρικό νάτριο	$\text{NaNO}_3$
8.	Απεσταγμένο νερό	$\text{H}_2\text{O}$

## Διαλύματα

Τα αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό των νιτρικών είναι δύο (2) και παρασκευάστηκαν ως εξής:

### 1. Ρυθμιστικό διάλυμα

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-50 gr χλωριούχο αμμώνιο -3ml Brij 35 -νερό	Ζυγίστηκαν 50 gr χλωριούχου αμμωνίου και διαλύθηκαν σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Το pH του διαλύματος ρυθμίστηκε στην τιμή 8,2 με προσθήκη αμμωνίας. Στη συνέχεια το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή, προστέθηκαν 3ml Brij 35 και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση.

### 2. Διάλυμα σχηματισμού έγχρωμου συμπλόκου

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-150 ml ορθοφω- σφορικό οξύ - 10 gr σουλφα- νιλαμίδιο -0,5 gr α- ναφθυλενοδιαμινο διχλωρίδιο -νερό	150 ml ορθοφωσφορικού οξέως διαλύθηκαν σε 700 ml απεσταγμένο νερό. Προστέθηκαν 10 gr σουλφανιλαμίδιο και 0,5 gr α-ναφθυλενοδιαμινοδιχλωρίδιο. Το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση. Στη συνέχεια αποθηκεύτηκε σε σκούρο δοχείο.

### Πρότυπα

Παρασκευή πρότυπου διαλύματος νιτρικού νατρίου (stock solution) 1000 ppm

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-6,068 gr νιτρικό νάτριο -νερό	Ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας 6,068 gr νιτρικού νατρίου και διαλύθηκαν σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, και συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση. Το διάλυμα παραμένει σταθερό για ένα μήνα σε ψυγείο στους 4-8 °C.



### Γ. Προσδιορισμός Φωσφόρου

Η διαδικασία για τον προσδιορισμό των φωσφορικών βασίζεται στην ακόλουθη αντίδραση: Μολυβδαινικό αμμώνιο και τρυγικό καλιοαντιμόνιο αντιδρούν σε όξινο περιβάλλον με υδατικά διαλύματα φωσφορικών προς σχηματισμό ενός συμπλόκου. Το σύμπλοκο αυτό ανάγεται με ασκορβικό οξύ σε ένα μπλε σύμπλοκο. Η απορρόφησή του μετριέται στα 880 nm.

A/A	Ονοματολογία	Χημικός τύπος
1.	Θειικό οξύ	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (97%)
2.	Τετραενυδρομολυβδενικό αμμώνιο	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O
3.	FFD <sub>6</sub>	
4.	Ενυδροτρυγικό καλιοαντιμόνιο	K(SbO)C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> ·0,5H <sub>2</sub> O
5.	Ασκορβικό οξύ	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>
6.	Δισοξινοφωσφορικό κάλιο	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
7.	Απεσταγμένο νερό (Ηλεκτρική αγωγιμότητα 0,05 μS)	H <sub>2</sub> O

#### Διαλύματα

Τα αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό των φωσφορικών ήταν τέσσερα (4) και παρασκευάστηκαν ως εξής:

#### 1. Διάλυμα θειικού οξέως

Αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-40 ml θειικού οξέως -2 ml FFD <sub>6</sub> -νερό	40 ml θειικού οξέως διαλύθηκαν σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή, προστέθηκαν 2 ml FFD <sub>6</sub> και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση.

#### 2. Διάλυμα μολυβδαινικού αμμωνίου

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-40 ml θειικού οξέως -4,8 gr μολυβδαινικού αμμωνίου -2 ml FFD <sub>6</sub> -νερό	40 ml θειικού οξέως διαλύθηκαν σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Προστίθενται 4,8 gr μολυβδαινικού αμμωνίου και στη συνέχεια το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή, προστέθηκαν 2 ml FFD <sub>6</sub> και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση.



### 3. Διάλυμα τρυγικού καλιοαντιμμωνίου (stock solution)

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-0,3 gr ένυδρου τρυγικού καλιοαντιμμωνίου -νερό	Ζυγίστηκαν 0,3 gr ένυδρου τρυγικού καλιοαντιμμωνίου και διαλύθηκαν σε 80 ml απεσταγμένο νερό. Στη συνέχεια το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση. Το διάλυμα αποθηκεύτηκε σε ψυγείο στους 4 °C.

### 4. Διάλυμα ασκορβικού οξέως

αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-18 gr ασκορβικού οξέως 20 ml διαλύματος τρυγικού καλιοαντιμμωνίου -νερό	Ζυγίστηκαν 18 gr ασκορβικού οξέως και διαλύθηκαν σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Προστέθηκαν 20 ml διαλύματος τρυγικού καλιοαντιμμωνίου και στη συνέχεια το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση. Το διάλυμα παραμένει σταθερό για μια εβδομάδα στους 4 °C.

### Πρότυπα

Παρασκευή πρότυπου διαλύματος δισοξινοφωσφορικού καλίου (stock solution) 1000 ppm

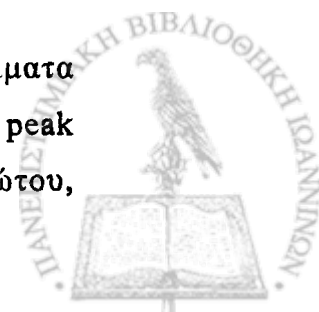
αντιδρώντα	Διαδικασία παρασκευής
-4,394 gr δισοξινοφωσφορικού καλίου -νερό	Ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας 4,394 gr δισοξινοφωσφορικού καλίου και διαλύθηκαν σε 800 ml απεσταγμένο νερό. Το διάλυμα μεταγγίστηκε σε ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου, συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ακολούθησε ομογενοποίηση του διαλύματος με ανακίνηση.

### Πρότυπα διαλύματα (working standards ή standars)

Η μέτρηση των νιτρικών, της αμμωνίας του φωσφόρου έγινε ταυτόχρονα με τη χρήση προτύπων διαλυμάτων (working standards ή standars).

### Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε ως εξής. Από τα διαγράμματα αναλογικά με τα πρότυπα διαλύματα που παρουσιάζονται στα πέντε πρώτα peak προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού και του νιτρικού αζώτου, καθώς και του φωσφόρου.



#### 2.4.4 Μέθοδος προσδιορισμού θρεπτικών στοιχείων

Μετά από την ξήρανση (όπως προαναφέρθηκε σε φούρνο στους 65 °C) τα δείγματα του φυλλώματος κονιορτοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας ένα μύλο σφαιρών. Στη συνέχεια τα δείγματα κοσκινίστηκαν (μέγεθος πλέγματος 40), ζυγίστηκαν 500 mg από κάθε δείγμα σε χωνευτήρια και τοποθετήθηκαν σε ξηρή αποτέφρωση στους 550°C για πέντε (5) ώρες. Αφού αφέθηκαν να κρυσώσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε η εκχύλιση των: συνολικό N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu χρησιμοποιώντας 10 ml υδροχλωρικού οξέως (HCl) 1 N. Στη συνέχεια τα χωνευτήρια ξεπλένονται με απεσταγμένο νερό και τα εναιωρήματα διηθούνται σε κωνικές φιάλες Erlenmeyer των 50 ml μέχρι συμπλήρωσής τους. Κατόπιν οι συγκεντρώσεις του K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu στα εκχυλίσματα μετρήθηκαν με ένα φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer, Analyst 100). Για τη μέτρηση του χρώματος τα δείγματα τοποθετούνται σε κυψελίδα [(103UV), διαστάσεων 1cm x 1 cm x 4,5 cm] και εισάγονται στο φασματοφωτόμετρο, το οποίο είναι ρυθμισμένο στα 410 nm. Από το φασματοφωτόμετρο παίρνουμε μια ένδειξη απορρόφησης για κάθε δείγμα. Μετά από κάθε δέκα περίπου δείγματα, το όργανο μηδενίζεται με διαλύματα standards που κατασκευάζονται παράλληλα και με ανάλογο τρόπο με τα δείγματα.

#### 2.4.5 Μέθοδος προσδιορισμού των νιτρικών σε φυτικούς ιστούς

Χρησιμοποιήθηκε η φασματοφωτομετρική μέθοδος προσδιορισμού των νιτρικών στους φυτικούς ιστούς, με νιτροποίηση του σαλικιλικού οξέος (Cataldo et al., 1975). Η μέθοδος περιγράφει τον γρήγορο προσδιορισμό των νιτρικών σε φυτικά εκχυλίσματα. Το τελικό διάλυμα του δείγματος που σχηματίζεται με νιτροποίηση του σαλικιλικού οξέος κάτω από υψηλά όξινες συνθήκες, μετράτε σε φασματοφωτόμετρο στα 410 nm, αφού το pH με προσθήκη NaOH διορθωθεί στο 12. Η απορρόφηση των διαλυμάτων είναι ανάλογη της ποσότητας των νιτρικών που περιέχουν. Τα ιόντα αμμωνίου, τα νιτρώδη ιόντα και τα ιόντα χλωρίου δεν αλληλοεπηρεάζονται.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε μετά την ξήρανση των δειγμάτων ήταν η εξής: από κάθε ξηρό δείγμα λήφθηκαν 100 mg, με ζυγαριά ακριβείας (Mettler,





type PM 100), και τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα, στον οποίο προστέθηκαν 10 ml απιονισμένο νερό. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες με τα εναιωρήματα που περιείχαν, τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο (ελληνικής κατασκευής, εταιρίας ΕΛΒΕΜ) για επώαση στους 45 °C για 1 ώρα. Μετά την επώαση, τα εναιωρήματα «πέρασαν» από φίλτρα (Filtrak, Rundfilter, d=150mm, 80 gr/m<sup>2</sup>, sorte:289) και το διάλυμα που προέκυψε, δηλαδή το εκχύλισμα, οδηγήθηκε για παραπέρα ανάλυση.

Από το εκχύλισμα του κάθε δείγματος, που αντιπροσωπεύει τα εξωτερικά ή τα εσωτερικά φύλλα της κάθε επέμβασης, ελήφθησαν 0,2 ml με πιπέτα και τοποθετήθηκαν σε κωνική φιάλη Erlenmeyer 50 ml. Αμέσως μετά προστέθηκαν 0,8 ml σαλικιλικού οξέως 5% (w/v) σε πυκνό θειικό οξύ (SA-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Το εκχύλισμα και το σαλικιλικό οξύ αφέθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για 20 min, στη συνέχεια προστέθηκαν αργά 19 ml NaOH 2N με πιπέτα, ενώ το διάλυμα αναδεύονταν συνεχώς. Αυτή η τελευταία προσθήκη αυξάνει το pH πάνω από 12, το οποίο πρέπει να μετρηθεί για να εξακριβωθεί. Τα δείγματα-διαλύματα που προκύπτουν μετά την προσθήκη των αντιδραστηρίων αφήνονται για λίγο σε θερμοκρασία δωματίου για να μειωθεί η θερμοκρασία τους και στη συνέχεια οδηγούνται για τη μέτρηση της απορρόφησης. Για να μετρηθεί η απορρόφηση του δείγματος τοποθετείται μέρος αυτού σε κυψελίδα [(103 UV), διαστάσεων (1 cm x 1 cm x 4,5 cm)] και εισάγεται στο φασματοφωτόμετρο (Perkin-Elmer, Lambda A, UV/VIS Spectrophotometer), το οποίο είναι ρυθμισμένο στα 410 nm. Το φασματοφωτόμετρο για κάθε δείγμα δίνει μια ένδειξη απορρόφησης (absorbance).

Βάση κάποιων διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης νιτρικών (μάρτυρες=standards), μετά από μέτρηση αυτών στο φασματοφωτόμετρο και λαμβάνοντας τις αντίστοιχες ενδείξεις απορρόφησης του οργάνου, υπολογίζεται μια εξίσωση. Τα διαλύματα των προτύπων έχουν συγκεντρώσεις 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200 και 300 ppm υπό μορφή νιτρική (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> N). Βάση αυτής της εξίσωσης τα διαλύματα του πειράματος των οποίων οι συγκεντρώσεις ήταν άγνωστες μέχρι αυτή τη στιγμή, με τις αντίστοιχες ενδείξεις του φασματοφωτομέτρου και την αντικατάσταση αυτών στην εξίσωση μπορούμε να υπολογίσουμε τις συγκεντρώσεις νιτρικών των διαλυμάτων. Αρχικά υπολογίζουμε τη συγκέντρωση νιτρικών στο ξηρό βάρος, ενώ στη συνέχεια με



την κατάλληλη αναγωγή υπολογίζουμε τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις νιτρικών για τα νωπά βάρη του προϊόντος.

#### 2.4.6 Μέθοδος προσδιορισμού του ολικού αζώτου με τη μέθοδο Kjeldahl

Η μέθοδος προσδιορισμού του ολικού αζώτου (%) βασίζεται στη διαδικασία της υγρής καύσης – πέψης (Kjeldahl) του αζώτου των φυτικών ιστών και τη μετατροπή του σε αμμώνιο ( $\text{NH}_4^+$ ) με την κατεργασία πυκνού  $\text{H}_2\text{SO}_4$  σε υψηλές θερμοκρασίες. Η παραγόμενη  $\text{NH}_3$  με απόσταξη (steam distillation) μετά τη δέσμευσή της με βορικό οξύ προσδιορίζεται με τιτλοδότηση  $\text{HCl}$ .

##### Υγρή καύση - πέψη

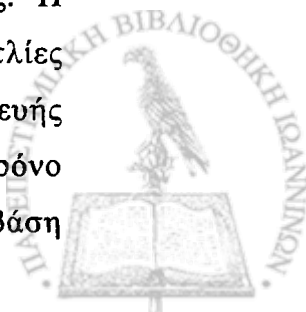
Μετά την προετοιμασία των φυτικών δειγμάτων (όπως προαναφέρθηκε) ζυγίζονται 1gr ( $\pm 0,001$ ) ξηρής ουσίας από τους φυτικούς ιστούς και μεταφέρονται στον ειδικό σωλήνα πέψης Kjeldahl της υγρής καύσης με μια ταμπλέτα σεληνίου. Στη συνέχεια στο σωλήνα προστίθενται 7ml πυκνού  $\text{H}_2\text{SO}_4$  και αναδεύεται με προσοχή το περιεχόμενο. Οι σωλήνες πέψης τοποθετούνται στο σύστημα απαγωγής και ανοίγεται η μέγιστη ροή του αέρα για να γίνει η καύση με έντονο ρυθμό. Κατόπιν το σύστημα απαγωγής με τους σωλήνες της υγρής καύσης – πέψης τοποθετείται στη συσκευή που έχει προθερμανθεί στους  $420^\circ\text{C}$ .

Η πέψη συνεχίζεται για 3 – 4 min με τη μέγιστη ροή απαγωγής και στη συνέχεια ρυθμίζεται η απαγωγή ώστε να περιέχονται ελάχιστοι καπνοί, οι προερχόμενοι από την καύση του δείγματος με πυκνό  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , για να ελεγχθεί η καύση. Η υγρή καύση συνεχίζεται για 20 – 45 min μέχρις ότου το υγρό γίνει διαυγές. Αφαιρείται το σύστημα απαγωγής και οι σωλήνες τοποθετούνται στην ειδική βάση (stand) για ψύξη πλησίον της συσκευής πέψης.

Μετά την ψύξη των σωλήνων πέψης προστίθενται σε κάθε ένα σωλήνα 75ml χλιαρό αποσταγμένο νερό και αναδεύεται καλά.

##### Απόσταξη

Η συσκευή απόσταξης ρυθμίζεται αφού προστεθούν 25 ml διαλύματος βορικού οξέως 4% σε κάθε φιάλη υποδοχής της συσκευής απόσταξης. Η συσκευή απόσταξης είναι εφοδιασμένη με ειδικές μαγνητικές αντλίες εφοδιασμού  $\text{NaOH}$  40% και αποσταγμένου νερού. Το πρόγραμμα της συσκευής απόσταξης ρυθμίζει τις ποσότητες του  $\text{NaOH}$ , το χρόνο απόσταξης και το χρόνο ατμού. Οι σωλήνες που είναι στη βάση ψύξης μεταφέρονται στην ειδική βάση



βρασμού για απόσταξη. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για το τυφλό ή λευκό διάλυμα αμμωνίου. Στη συνέχεια με σιφόνιο μεταφέρονται 10 ml από το διάλυμα της πέψης στη φιάλη απόσταξης.

#### Τιτλοδότηση

Μετά την απόσταξη το απόσταγμα τιτλοδοτείται με διάλυμα HCl 0,01M στη συσκευή τιτλοδότησης. Η τιτλοδότηση αρχίζει με το τυφλό και σημειώνονται τα ml του οξέως που καταναλώθηκαν για κάθε δείγμα για το μεταχρωματισμό από διαυγές πράσινο σε έντονο ερυθρό χρώμα. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται μετά την απόσταξη για όλα τα δείγματα.

#### Υπολογισμοί

Η ποσότητα του ολικού αζώτου (%) υπολογίζεται ως εξής:

$$N = \frac{14,01 \cdot ml \text{ HCl για την ογκομέτρηση δείγματος} - 0,01 ml \cdot 0,01M \text{ HCl τυφλού}}{g \text{ δείγματος} \cdot 10}$$

#### 2.4.7 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Το πείραμα αξιολογήθηκε στατιστικά ως μονοπαραγοντικό, με τέσσερις μεταχειρίσεις. Το στατιστικό πρόγραμμα εργασίας που χρησιμοποιήθηκε και για τη στατιστική ανάλυση και για τη σχεδίαση των γραφικών παραστάσεων ήταν το PlotIT3.2<sup>®</sup>. Η σημαντικότητα των διαφορών μεταξύ των τεσσάρων διαφορετικών μεταχειρίσεων αξιολογήθηκε μέσω ανάλυσης της διασποράς (ANOVA).

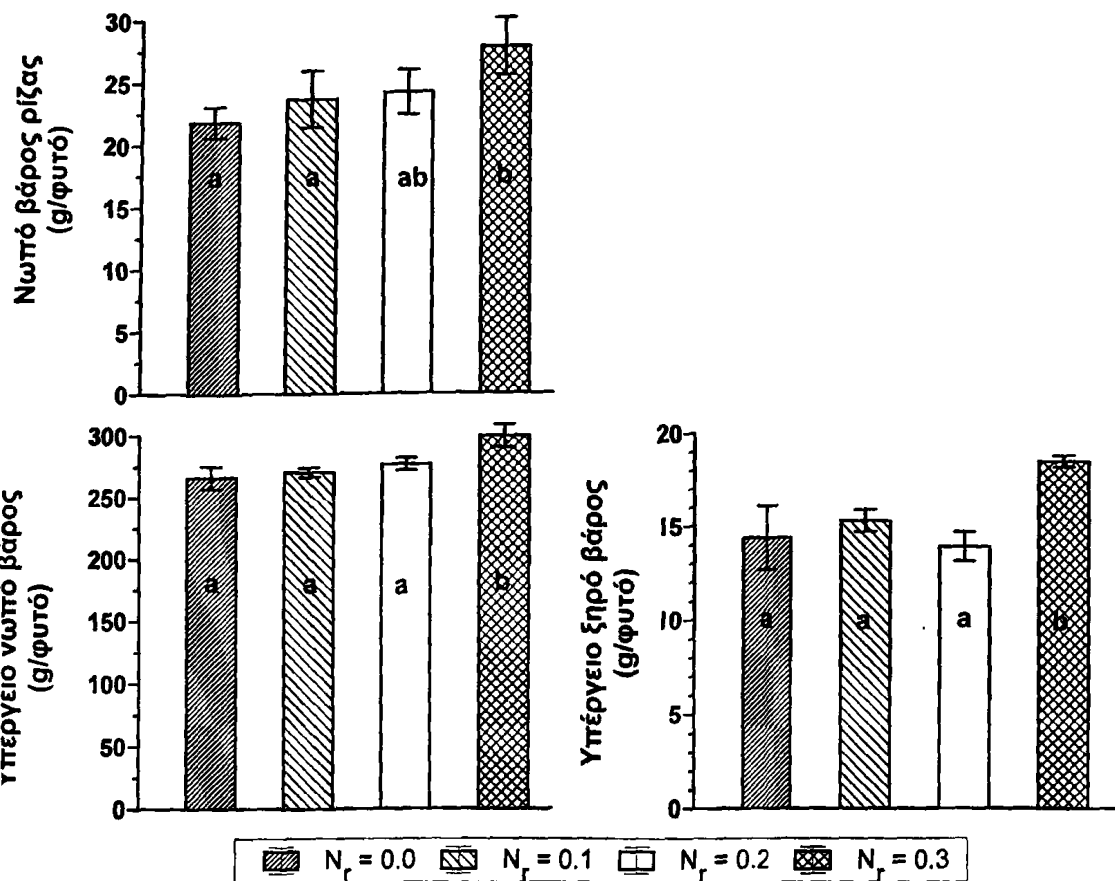


### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

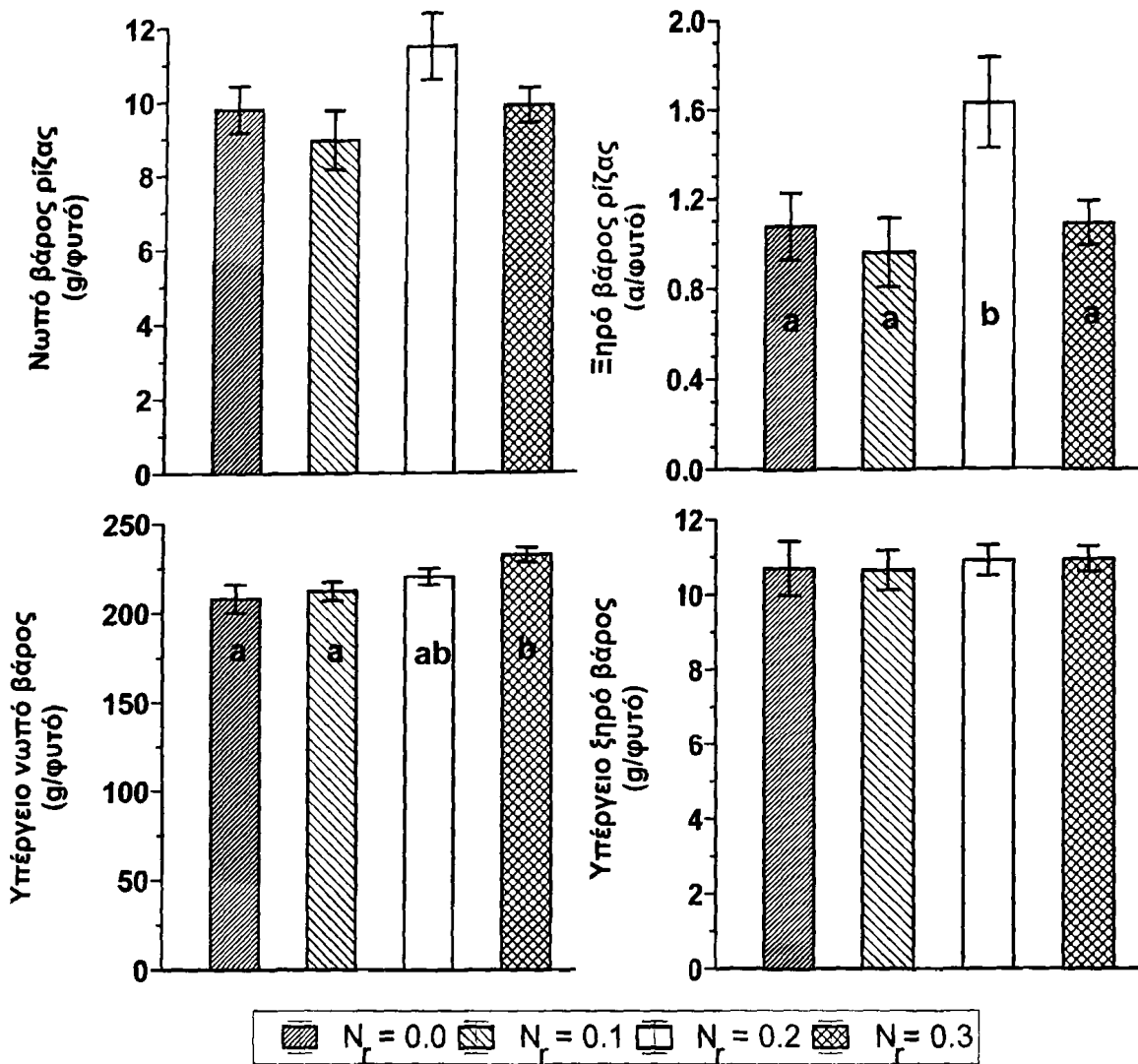
#### Επίδραση του $N_r$ στην ανάπτυξη των φυτών

Η χορήγηση 10% ( $N_r = 0,1$ ) ή 20% ( $N_r = 0,2$ ) του συνολικού αζώτου με μορφή αμμωνίου στο μαρούλι, το οποίο αναπτύχθηκε σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα δεν είχε καμία επίδραση στο υπέργειο και ξηρό βάρος των φυτών στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας σε σύγκριση μόνο με τη θρέψη με νιτρικά (σχ. 1 και 2). Η περαιτέρω αύξηση του ποσοστού αμμωνίου σε 30% ( $N_r = 0,3$ ) αύξησε σημαντικά και το νωπό και το ξηρό βάρος των φυτών του μαρουλιού στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια, ενώ στην όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια μόνο το νωπό βάρος ενισχύθηκε σημαντικά. Η αύξηση του  $NH_4-N$  / συνολικό- $N$  στο θρεπτικό διάλυμα σε 0,3 ενίσχυσε επίσης το νωπό βάρος ρίζας στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια σε σύγκριση με την τροφοδοσία 0, 0,1, και 0,2 του συνολικού  $N$  με τη μορφή του  $NH_4^+$ , ενώ το ξηρό βάρος ρίζας δεν μετρήθηκε σε εκείνο το πείραμα (σχ. 1). Επιπλέον, στην όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια, τα αποτελέσματα σχετικά με το νωπό βάρος ρίζας δεν επιβεβαιώθηκαν, ενώ το μεγαλύτερο ξηρό βάρος ρίζας μετρήθηκε όταν το  $N_r$  ήταν 0,2 (σχ. 2) (Savvas et al., 2006).





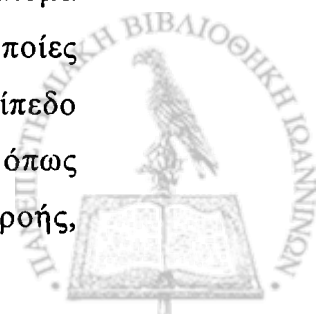
Σχ.1.Νωπό και ξηρό βάρος του μαρουλιού μετά την επίδραση του  $NH_4-N$  / συνολικό-N ( $N_r$ ) στο θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα των μεταχειρίσεων. Τα στοιχεία προέρχονται από την πρώτη ανοιξιάτικη καλλιέργεια. Σε κάθε γραφική παράσταση τα ραβδογράμματα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά ( $P = 0,05$ ).



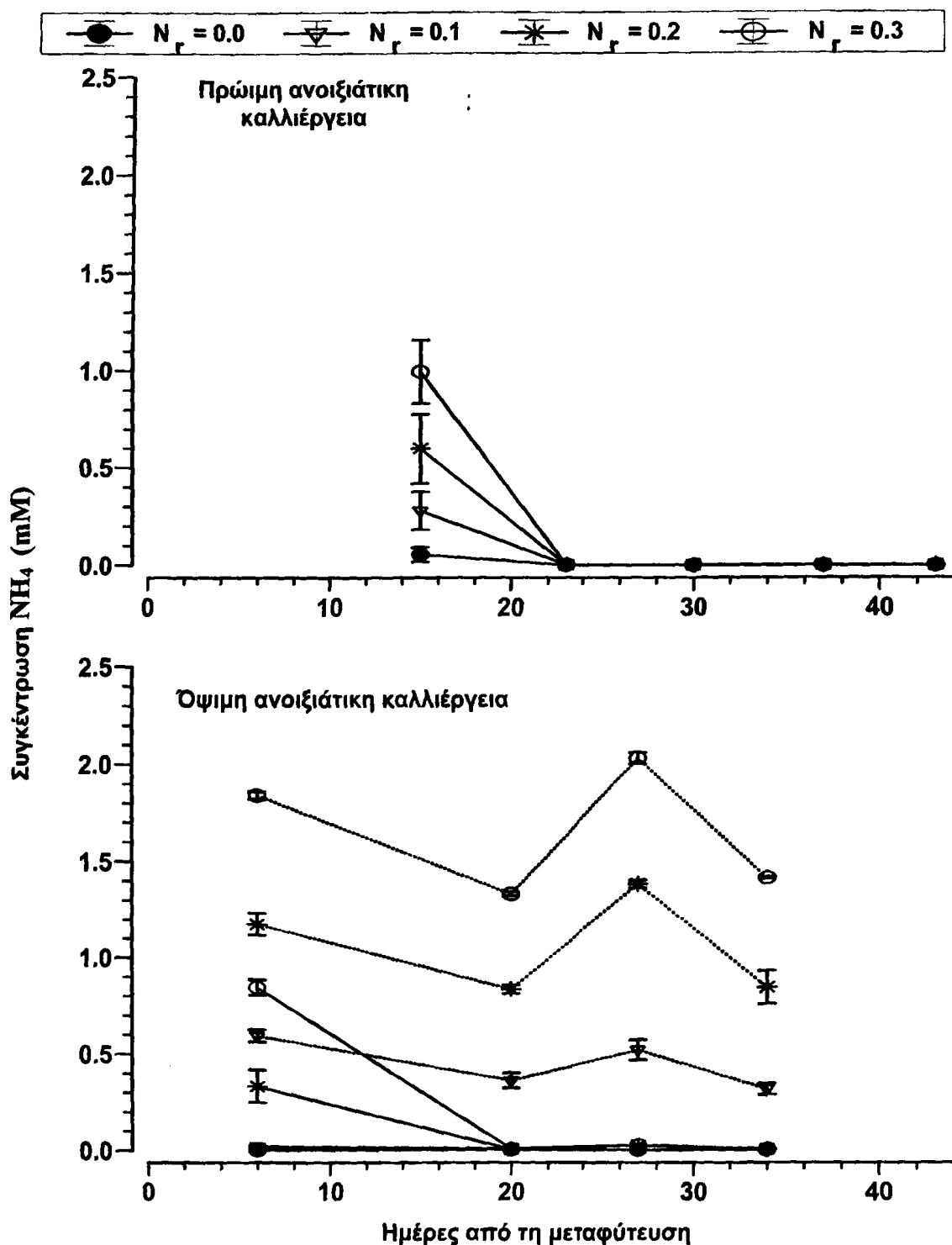
Σχ.2. Νωπό και ξηρό βάρος του μαρουλιού μετά την επίδραση του  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικό-N ( $N_r$ ) στο θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα των μεταχειρίσεων. Τα στοιχεία προέρχονται από την όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια. Σε κάθε γραφική παράσταση τα ραβδογράμματα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά ( $P = 0,05$ ).

### Επίδραση του $N_r$ στη συγκέντρωση $\text{NH}_4^+$ στο ριζόστρωμα

Η συγκέντρωση του αμμωνίου στο διάλυμα απορροής, που δείχνει το επίπεδο του  $\text{NH}_4^+$  στο ριζόστρωμα, κυμάνθηκε ανάμεσα σε 0 και 1,1 mM την 15<sup>η</sup> ημέρα μετά από τη φύτευση στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια, αναλογικά προς τις χορηγούμενες ποσότητες (σχ. 3). Παρόλα αυτά από την 23<sup>η</sup> ημέρα της φύτευσης και ακολούθως, οι συγκεντρώσεις του  $\text{NH}_4^+$  στο διάλυμα απορροής μειώθηκαν σε σχεδόν μηδέν σε όλες τις μεταχειρίσεις, στις οποίες χορηγήθηκε μέρος του ολικού N με μορφή  $\text{NH}_4^+$ , ανεξάρτητα από το επίπεδο του  $N_r$ . Μια μείωση του  $\text{NH}_4^+$  στο χώρο των ριζών του μαρουλιού, όπως υποδεικνύεται από τις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στο διάλυμα απορροής,



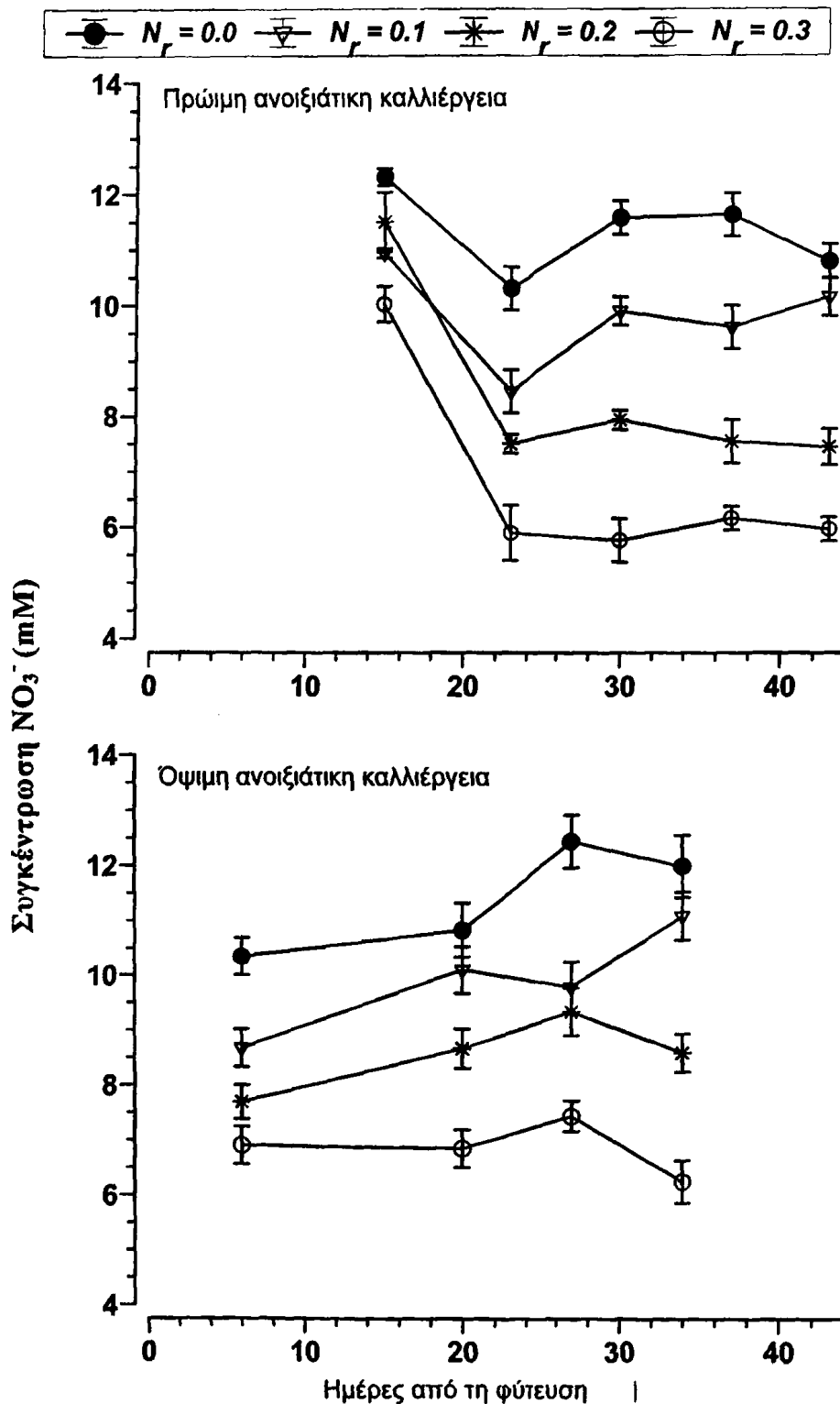
παρατηρήθηκε επίσης στην όψιμη ανοιξιότικη καλλιέργεια, παρότι χορηγήθηκε ένα σταθερό  $\text{NH}_4^+$  στα φυτά μέσω του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης στις τρεις από τις τέσσερις επεξεργασίες και το οποίο ήταν ανάλογο προς το  $N_r$  (σχ. 3) (Savvas et al., 2006).



Σχ. 3. Επίδραση του  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικού- $\text{N}$  ( $N_r$ ) στο θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα θρεπτικών ουσιών και ύδατος από το μαρούλι στη συγκέντρωση  $\text{NH}_4$  i) στο διάλυμα απορροής (3α και 3β, στις γραμμές χωρίς κενά) και ii) στο θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται στη συγκομιδή (που προετοιμάζεται με τη μίξη του θρεπτικού διαλύματος με το διάλυμα απορροής).



Η συγκέντρωση των  $\text{NO}_3^-$  στο διάλυμα απορροής μειώθηκε με την ίδια συνέπεια και στις δύο καλλιέργειες (πρώιμη και όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια), καθώς το  $N_r$  αυξανόταν (σχ. 4) Οι συγκεντρώσεις των μεταλλικών θρεπτικών στοιχείων και του P στο διάλυμα απορροής δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ των επεξεργασιών (Savvas et al., 2006).



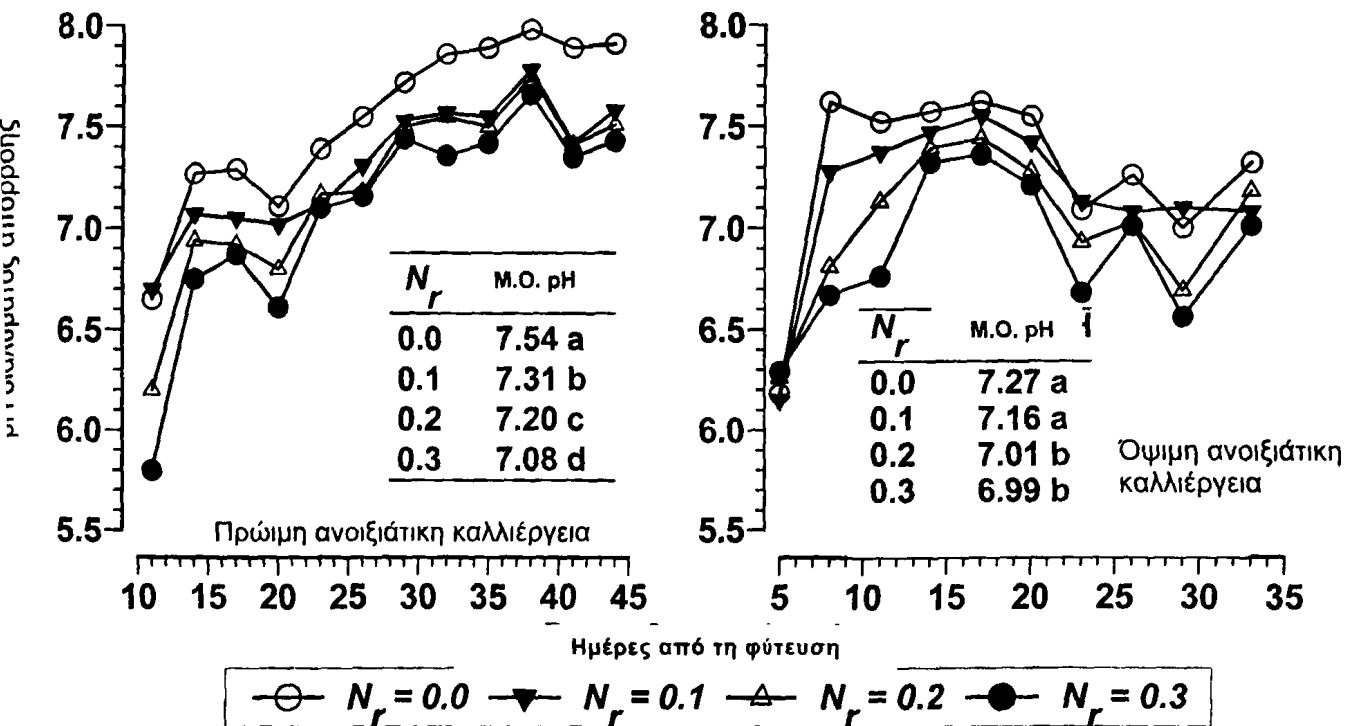
Σχ. 4. Επίδραση του  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικού-N ( $N_r$ ) στο θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα θρεπτικών ουσιών και ύδατος από το μαρούλι στη συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  στο διάλυμα απορροής.





Το pH στο διάλυμα απορροής μειώθηκε και στα δύο πειράματα, καθώς αυξανόταν το  $N_r$  (σχ. 5). Παρόλα αυτά, το pH αυξήθηκε σε επίπεδα επάνω από 6,5 την 14<sup>η</sup> ημέρα (πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια) και την 8<sup>η</sup> ημέρα (όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια) μετά από τη φύτευση ακόμη και στις δύο υψηλότερες επεξεργασίες  $N_r$  και παρέμεινε σ' αυτά τα επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Savvas et al., 2006).

Οι μέσες τιμές pH οι οποίες υπολογίστηκαν από ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο ήταν σημαντικά χαμηλότερες καθώς αυξανόταν τα επίπεδα συγκεντρώσεων του  $N_r$  με ένα σαφή διαχωρισμό μεταξύ των μέσων τιμών των τεσσάρων συγκεντρώσεων στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια και ένα διαχωρισμό των δύο χαμηλότερων συγκεντρώσεων  $N_r$  από τις δύο υψηλότερες στην όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια (Savvas et al., 2006).

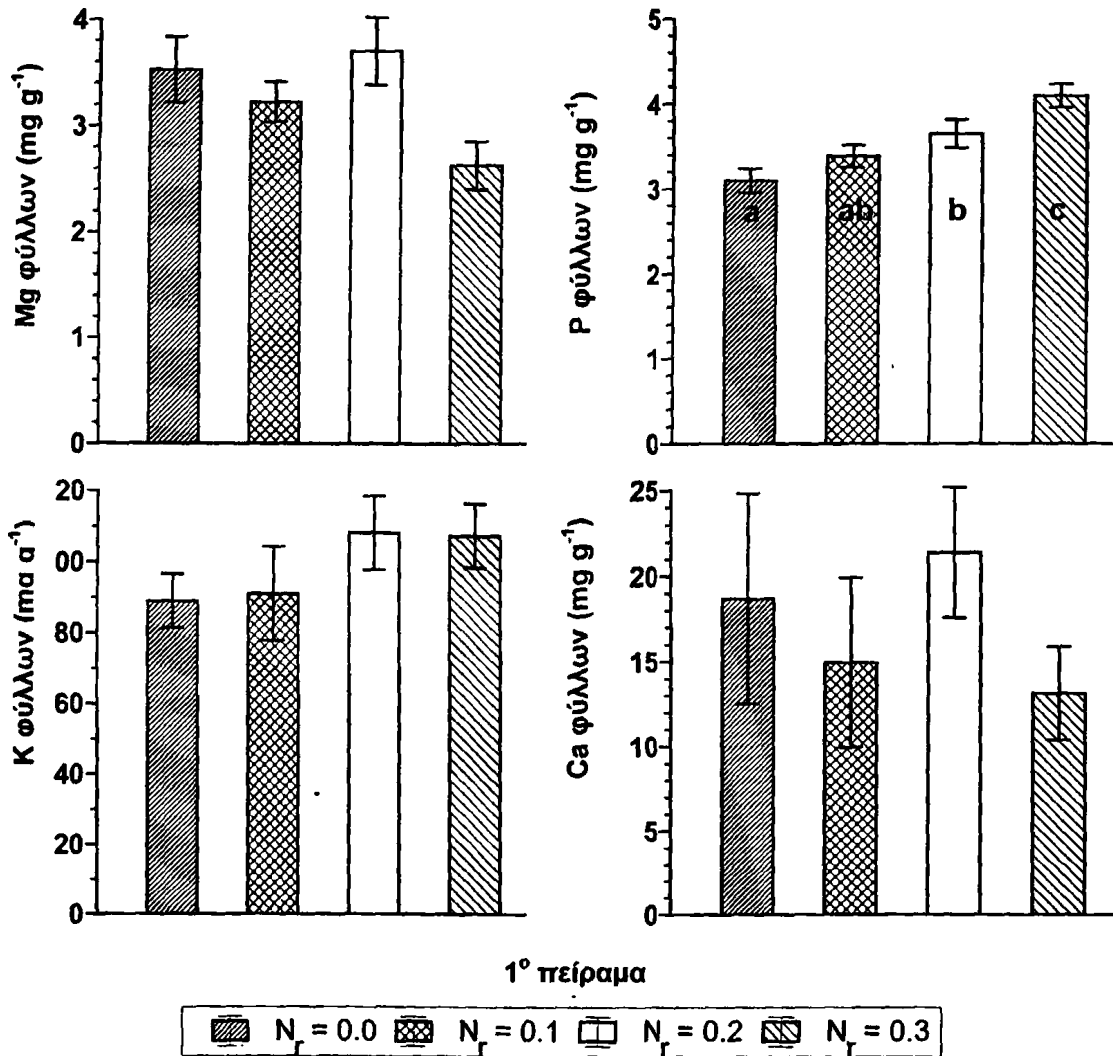


Σχ. 5. Επίδραση του αμμωνίου στη συνολική ποσότητα αζώτου  $N_r$  στο φρέσκο θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει την προσλαμβανόμενη ποσότητα θρεπτικών ουσιών και ύδατος από το μαρούλι στο pH του διαλύματος μετρημένο καθημερινά στις 10:00 π.μ.



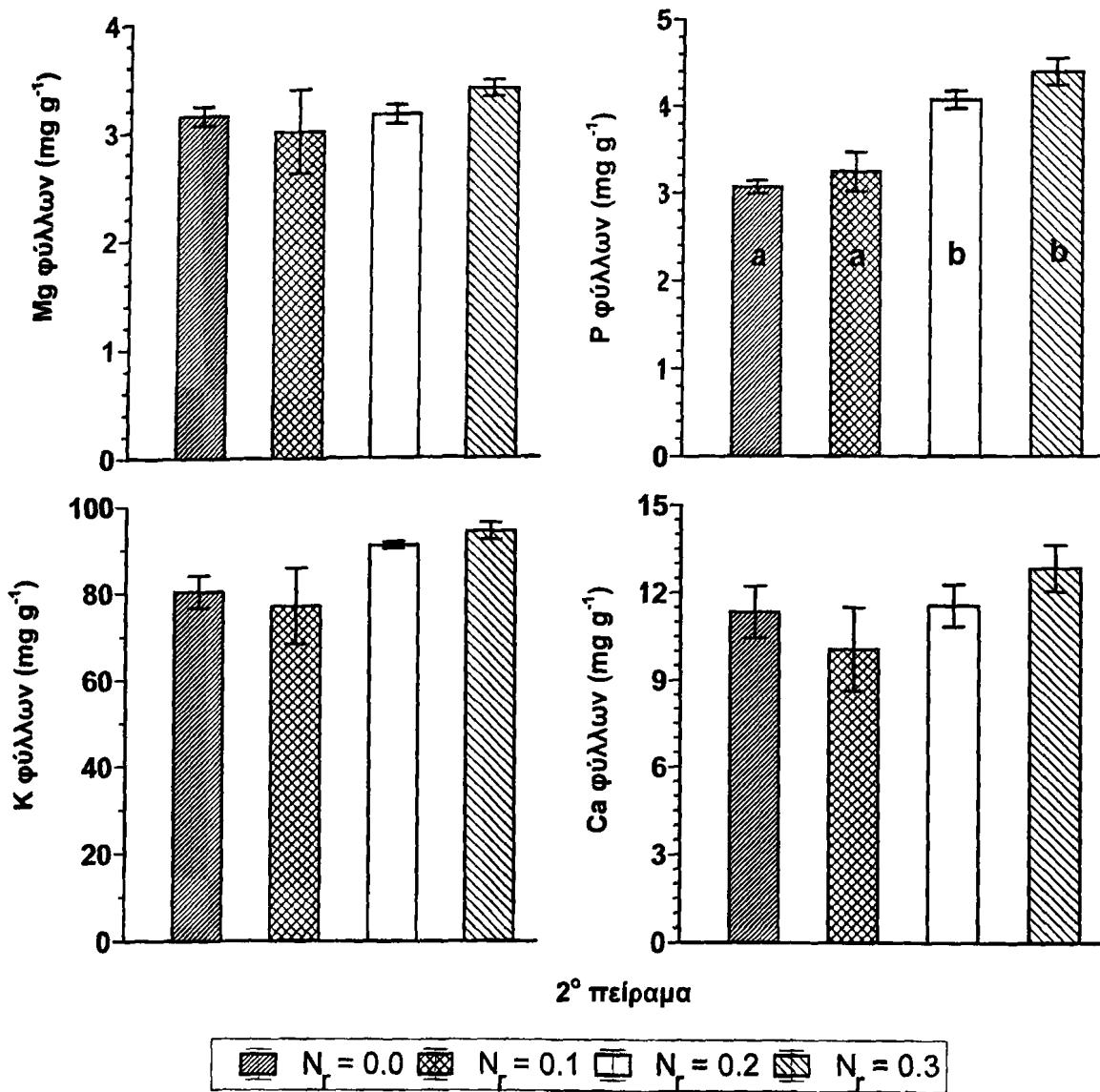
## Επίδραση του $N_r$ στα θρεπτικά στοιχεία των φύλλων

Και στα δύο πειράματα, η αυξανόμενη χορήγηση του αμμωνίου δεν είχε καμία επίδραση στις συγκεντρώσεις των βασικών θρεπτικών κατιόντων στα φύλλα του μαρουλιού (σχ. 6 και 7). Εντούτοις, η συγκέντρωση P στα φύλλα ενισχύθηκε καθώς το  $N_r$  αυξήθηκε σε επίπεδα επάνω από 0 και 0,1 στην πρώιμη ανοιξιάτικη και στην όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια, αντίστοιχα.



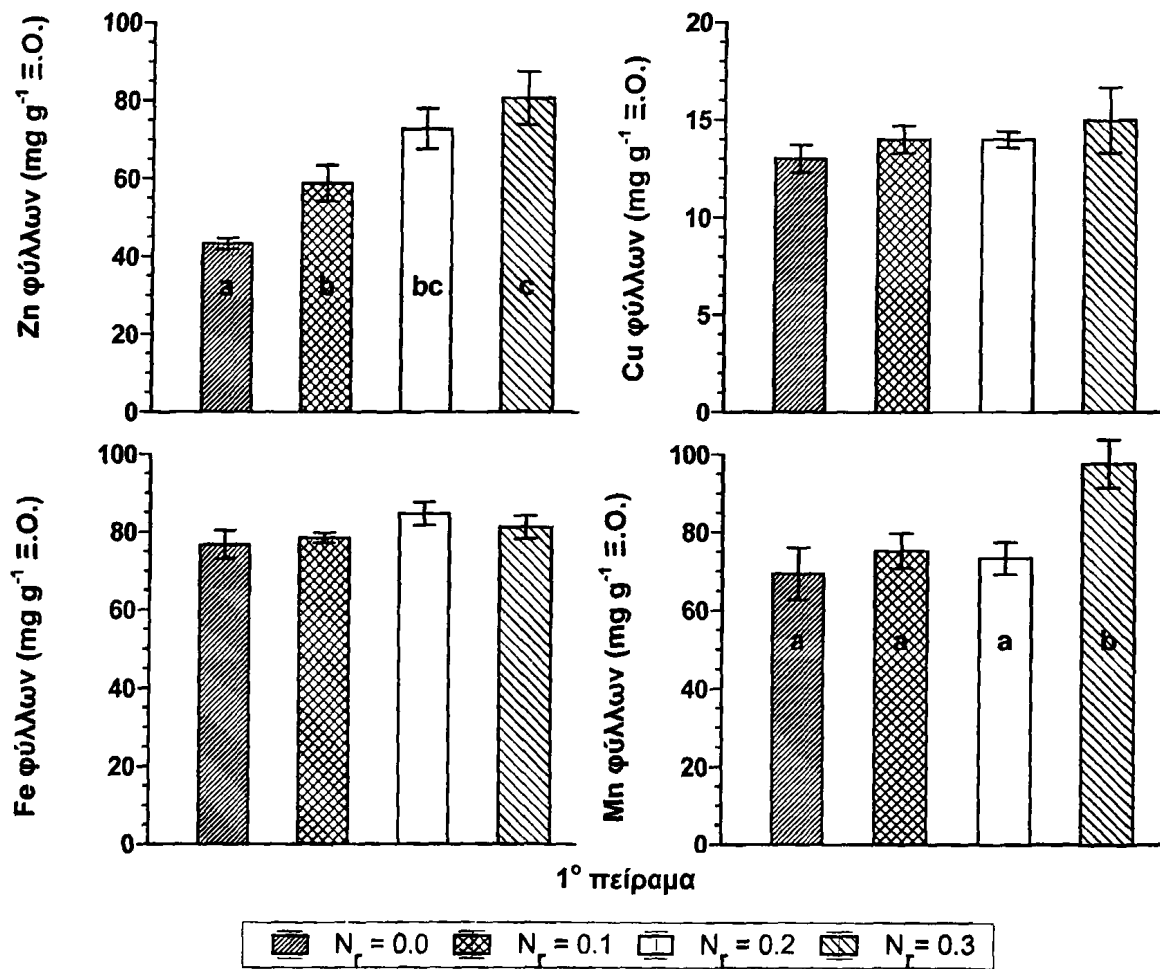
Σχ. 6. Συγκεντρώσεις του K, του Ca, του Mg και του P στα φύλλα του μαρουλιού μετά την επίδραση του  $NH_4-N$  / συνολικό-N ( $N_r$ ) στο θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα θρεπτικών ουσιών και ύδατος από τα φυτά. Τα στοιχεία προέρχονται από την πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια. Σε κάθε γραφική παράσταση τα ραβδογράμματα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά ( $P = 0,05$ ).





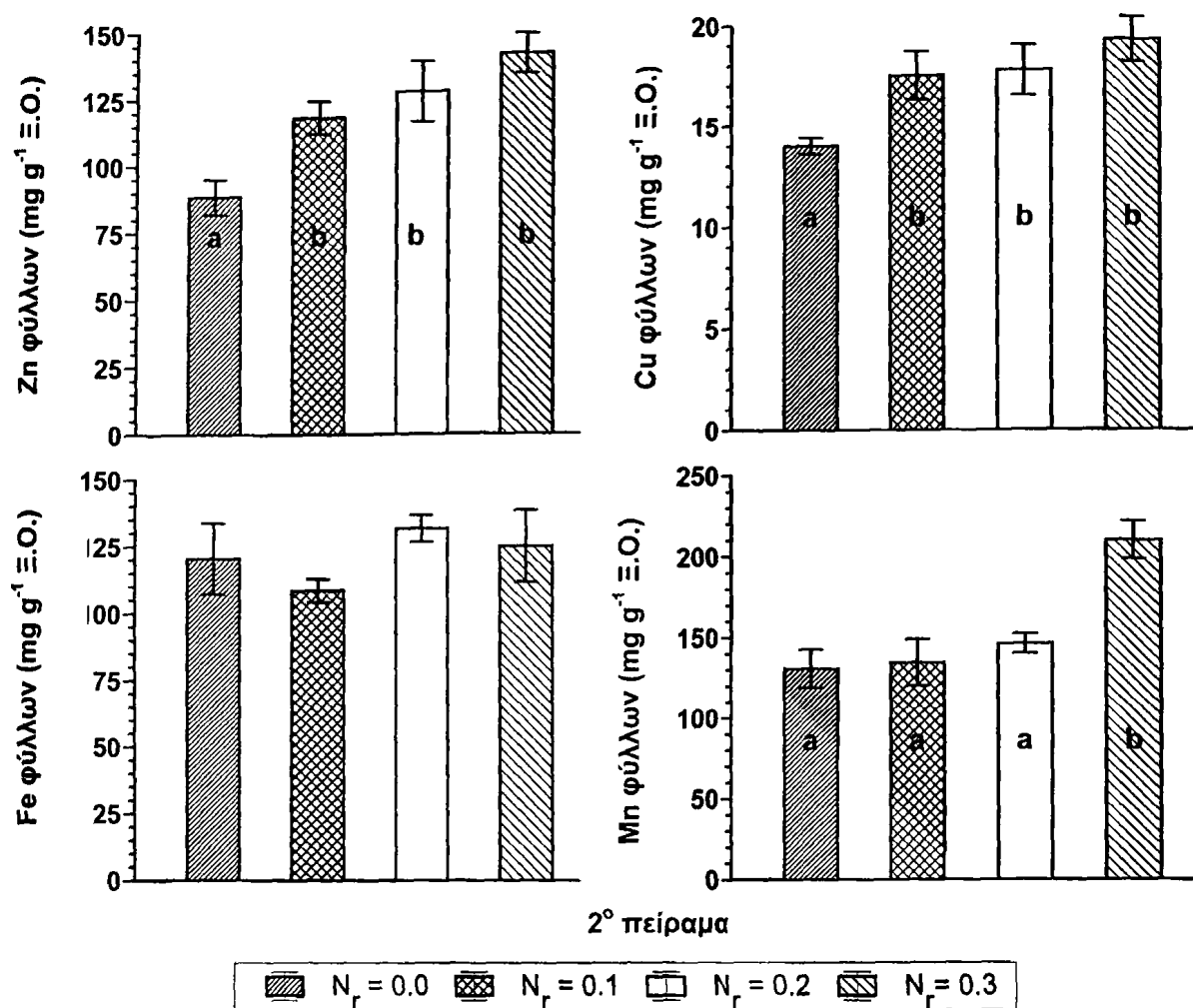
Σχ. 7. Συγκεντρώσεις του K, του Ca, του Mg και του P στα φύλλα του μαρουλιού μετά την επίδραση του NH<sub>4</sub>-N / συνολικό-N (N<sub>x</sub>) στο θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα θρεπτικών ουσιών και ύδατος από τα φυτά. Τα στοιχεία προέρχονται από την όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια. Σε κάθε γραφική παράσταση τα ραβδογράμματα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά (P = 0,05).

Όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία και μάλιστα τα κατιόντα, η αύξηση της χορήγησης του  $\text{NH}_4^+$  δεν είχε επιπτώσεις στη συγκέντρωση Fe στα φύλλα σε κανένα από τα δύο πειράματα, όπως και του Cu των φύλλων στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια, ενώ τα επίπεδα του Zn και του Mn στα φύλλα ενισχύθηκαν και στα δύο πειράματα από την άνοδο του  $\text{N}_r$  (σχ. 8 και 9).



Σχ. 8. Συγκεντρώσεις των κατιόντων των ιχνοστοιχείων στα φύλλα του μαρουλιού μετά την επίδραση του  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικό-N ( $\text{N}_r$ ) στο θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα θρεπτικών ουσιών και ύδατος από τα φυτά. Τα στοιχεία προέρχονται από την πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια. Σε κάθε γραφική παράσταση τα ραβδογράμματα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά ( $P = 0,05$ ).





Σχ. 9. Συγκεντρώσεις των κατιόντων των ιχνοστοιχείων στα φύλλα του μαρουλιού μετά την επίδραση του  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικό-N ( $N_r$ ) στο θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα θρεπτικών ουσιών και ύδατος από τα φυτά. Τα στοιχεία προέρχονται από την όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια. Σε κάθε γραφική παράσταση τα ραβδογράμματα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά ( $P = 0,05$ ).

Ειδικότερα, η συγκέντρωση Cu στα φύλλα στην όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια ενισχύθηκε από τη χορήγηση 10% του N με μορφή  $\text{NH}_4^+$  ( $N_r = 0,1$ ) σε σύγκριση με την παροχή μόνο με  $\text{NO}_3^-$ , ενώ η περαιτέρω αύξηση του  $N_r$  σε 0,2 και 0,3 δε βελτίωσε παραπάνω το επίπεδο Cu στα φύλλα. Ο Zn των φύλλων ενισχύθηκε και στα δύο πειράματα καθώς το  $N_r$  αυξήθηκε από 0 σε 0,1, αλλά για την περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης Zn στα φύλλα απαιτήθηκε συγκέντρωση  $N_r$  0,3 στην πρώιμη καλλιέργεια, ενώ στο επόμενο πείραμα στα τέλη της άνοιξης καμία πρόσθετη αύξηση του Zn δεν παρατηρήθηκε, καθώς το  $N_r$  αυξήθηκε περαιτέρω σε 0,2 και 0,3. Και στα δύο πειράματα, η συγκέντρωση Mn στα φύλλα δεν επηρεάστηκε από την αύξηση του  $N_r$  από 0 σε 0,1 ή 0,2 αλλά η περαιτέρω ανύψωση του  $N_r$  σε 0,3 ενίσχυσε σημαντικά τα επίπεδα Mn στα



φύλλα.

Η αύξηση του  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικό-N από 0 σε 0,3 στο θρεπτικό διάλυμα που εισήχθη στο κλειστό σύστημα για να εξισορροπήσει τα ποσά θρεπτικών ουσιών και ύδατος που λήφθηκαν από τα φυτά μείωσε τη συγκέντρωση των νιτρικών στα εσωτερικά νέα φύλλα του μαρουλιού στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια, ενώ στην όψιμη καμία σημαντική διαφορά δεν μπόρεσε να αναδειχθεί (πίνακας 2). Η αυξανόμενη χορήγηση  $\text{NH}_4^+$  στα φυτά δεν είχε καμία επίδραση στη συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  στα παλαιά εξωτερικά φύλλα του μαρουλιού και αυτό το αποτέλεσμα ήταν ίδιο και στα δύο πειράματα. Το ολικό N στα φύλλα του μαρουλιού μειώθηκε σημαντικά στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια καθώς το  $\text{N}_t$  ενισχύθηκε αλλά στην όψιμη καμία σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν μπόρεσε να αναδειχθεί (Savvas et al., 2006).

Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις στα φύλλα των νιτρικών και του οργανικού N όπως επηρεάζεται από την αναλογία του αμμωνίου στο συνολικό άζωτο που παρέχεται στο μαρούλι μέσω του θρεπτικού διαλύματος που εισάγεται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα για να εξισορροπήσει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα θρεπτικών ουσιών και ύδατος. Οι τιμές είναι ο μέσος όρος τεσσάρων μετρήσεων.\*

$\text{NH}_4/\text{total-N}$ (mol basis)	Πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια			Όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια		
	$\text{NO}_3$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ Νωπό βάρος)		Οργανικό-N Ξηρό βάρος	$\text{NO}_3$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ Νωπό βάρος)		Οργανικό -N Ξηρό βάρος
	Εσωτερικά φύλλα	Εξωτερικά φύλλα	( $\text{mg g}^{-1}$ )	Εσωτερικά φύλλα	Εξωτερικά φύλλα	( $\text{mg g}^{-1}$ )
0.0	1621 a	5348 a	50.72 a	1601 a	4028 a	44.16 a
0.1	1611 ab	5448 a	47.22 b	1237 a	4774 a	43.41 a
0.2	1471 b	5185 a	47.11 b	1531 a	4697 a	43.68 a
0.3	1296 c	4926 a	45.71 b	1448 a	4651 a	41.15 a

\* Σε κάθε στήλη, οι τιμές που ακολουθούνται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά για  $P \leq 0,05$ .

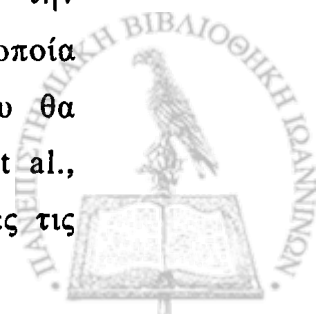
(Δοκιμασία Duncan).



#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

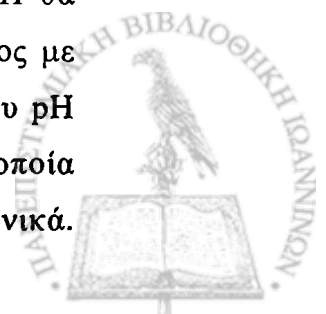
Πολλοί ερευνητές έχουν αναφέρει μια διεγερτική επίδραση του  $\text{NH}_4 - \text{N}$  στην αύξηση και παραγωγή των φυτών, όταν το αμμώνιο δεν ήταν η βασική πηγή του N για τα φυτά (Gerendas and Sattelmacher, 1990; Gerendas et al., 1997; Savvas et al., 2003; Sonneveld, 2002). Τα περισσότερα φυτά παρουσιάζουν μείωση της αύξησης και σοβαρά συμπτώματα τοξικότητας εάν το αμμώνιο είναι η κυρίαρχη ή η μόνη μορφή παρεχόμενου αζώτου (Gerendas et al., 1997; Guo et al., 2002; Raab and Terry, 1994). Στην περίπτωση που το αμμώνιο δεν είναι η κυρίαρχη πηγή του N, η ανάπτυξη πολλών φυτικών ειδών μπορεί να περιοριστεί όταν η αναλογία  $\text{NH}_4\text{-N} / \text{συνολικό-N}$  ( $N_r$ ) υπερβαίνει ένα ανώτατο όριο (0,10 – 0,15 στα υδροπονικά θρεπτικά διαλύματα) (Bar - Tal et al., 2001; Sonneveld, 2002). Διαφορετικά φυτικά είδη όμως, δεν αποκρίνονται ομοίως σε ίδιο  $N_r$  (Beevers and Hageman, 1983; Claussen and Lenz, 1999; Stensvand and Gislerod, 1992). Επιπλέον, οι απαιτήσεις ενός συγκεκριμένου φυτικού είδους, στο  $N_r$ , εξαρτώνται από το υπόστρωμα στο οποίο βρίσκονται οι ρίζες (Magalhaes and Wilcox, 1984), τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου της ρίζας (Frota and Tucker, 1972; Ganmore and Kafkafi, 1980), και τα επίπεδα pH στο ριζόστρωμα (Chaillou et Al., 1991; Claussen and Lenz, 1999; Marschner, 1995).

Το μέσο στο οποίο αναπτύσσονται οι ρίζες (χώμα, υποκατάστατα εδάφους, καθαρό θρεπτικό διάλυμα) επηρεάζει την απόκριση των φυτών στην αναλογία τροφοδοσίας  $\text{NH}_4 - \text{N} / \text{συνολικό} - \text{N}$ , η οποία οφείλεται κυρίως στις χημικές ιδιότητές του και συγκεκριμένα στην ιοντοανταλλακτική ικανότητα κατιόντων, η οποία μπορεί να αλλάξει τη διαθεσιμότητα  $\text{NH}_4^+$  στο περιβάλλον της ρίζας (Magalhaes and Wilcox, 1984) και το pH στο ριζόστρωμα (Chaignon et al., 2002). Στα πειράματά μας όμως, το καλλιεργούμενο μέσο ήταν το ίδιο σε όλες τις μεταχειρίσεις και επομένως οι διαφορές στη βλαστική ανάπτυξη δεν μπορούν να αποδοθούν σε αυτό. Η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα συνδέεται με μία μεγαλύτερη ευπάθεια των φυτών στην τροφοδοσία με αυξημένες συγκεντρώσεις  $\text{NH}_4^+$ . Αυτό πιθανά δικαιολογείται από την αυξημένη κατανάλωση υδατανθράκων κατά την αναπνοή των ριζών, η οποία μπορεί να μειώσει τη διαθεσιμότητα των ανθρακικών αλυσίδων που θα χρησιμοποιηθούν κατά την αποτοξικοποίηση της αμμωνίας (Gerendas et al., 1997; Kafkafi 1990). Η θερμοκρασία των ριζών ήταν παρόμοια σε όλες τις



μεταχειρίσεις των πειραμάτων στην παρούσα μελέτη, αλλά γενικά ήταν υψηλότερη στην όψιμη καλλιέργεια συγκριτικά με την πρώιμη. Στις διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες μεταξύ των δύο πειραμάτων μπορεί να αποδοθούν οι διαφορές απόκρισης του μαρουλιού σε  $\text{NH}_4^+$  στην όψιμη καλλιέργεια, σε σύγκριση με εκείνες που παρατηρούνται στην πρώιμη καλλιέργεια. Όσον αφορά την επίδραση που έχει το pH του ριζοστρώματος στη θρέψη των φυτών με  $\text{NH}_4\text{-N}$ , επίπεδα κοντά στο 6 είναι τα ιδανικότερα για την ανάπτυξη των φυτών (Wiesler, 1997). Χαμηλότερα επίπεδα pH παρεμποδίζουν τη βιοσύνθεση του  $\text{NH}_4^+$  σε οργανική ύλη (αμινοξέα, πρωτεΐνες) στη ρίζα, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τη διακίνηση του «ελεύθερου» αμμωνίου στο βλαστό με καταστρεπτικές συνέπειες για το μεταβολισμό των φυτών (Barker et al., 1966). Αλκαλικές τιμές pH στο ριζόστρωμα είναι επίσης επιβλαβείς στη θρέψη των φυτών με  $\text{NH}_4^+$  λόγω της υψηλής μετατροπής του  $\text{NH}_4^+$  σε αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), η οποία είναι ιδιαίτερα τοξική για τα κύτταρα της ρίζας (Marschner, 1995).

Είναι σημαντικό να τονιστεί η αμφίδρομη σχέση μεταξύ των επιπέδων pH στην περιοχή του ριζοστρώματος και της αναλογίας  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικό-N στο χορηγούμενο θρεπτικό διάλυμα. Στα πειράματα εκείνα που θέλουμε να αποκλείσουμε τις δευτερεύουσες επιπτώσεις του  $\text{NH}_4^+$  στα φυτά, καθώς και την επίδρασή τους στο pH του ριζοστρώματος, πρέπει τα επίπεδα του pH να διατηρούνται σταθερά καθόλη τη διάρκεια των πειραμάτων (Claussen and Lenz, 1999 Guo et al., 2002). Δεδομένου ότι τα πειράματά μας είχαν σα στόχο τη μελέτη της επίδρασης του χορηγούμενου  $\text{NH}_4^+$  στο κλειστό υδροπονικό σύστημα σύμφωνα με τις συνθήκες των παραγωγών, το pH ρυθμιζόταν μόνο στο θρεπτικό διάλυμα άρδευσης που χορηγήθηκε στα φυτά. Κατά συνέπεια, οι διαφορές στην αναλογία λήψης ανιόντων - κατιόντων που επήλθαν από το επίπεδο του χορηγούμενου  $\text{NH}_4^+$  απεικονίστηκαν στις αντίστοιχες διαφορές του pH στο ριζόστρωμα. Στην παρούσα μελέτη η αυξημένη ανάπτυξη των φυτών στα υψηλότερα επίπεδα του N, πιθανότατα να οφείλεται στις ευνοϊκότερες τιμές pH στην περιοχή του ριζοστρώματος. Οι πιθανοί μηχανισμοί που κρύβονται πίσω από τη βελτίωση της ανάπτυξης των φυτών η οποία σχετίζεται με το pH θα συζητηθούν κατωτέρω. Ακόμη όμως και η χορήγηση θρεπτικού διαλύματος με τα υψηλότερα επίπεδα  $\text{NH}_4^+$  δεν ήταν επαρκής για να μειώσει τις τιμές του pH στην περιοχή του ριζοστρώματος του μαρουλιού μεταξύ 5 και 6, τα οποία θεωρούνται βέλτιστη τιμή για τα περισσότερα φυτά που αυξάνονται υδροπονικά.





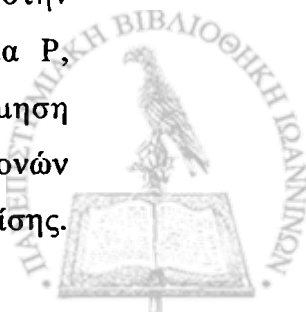
(Adams, 2002; Sonneveld, 2002). Η επικράτηση των σχετικά υψηλών επιπέδων pH σε όλες τις μεταχειρίσεις και στα δύο πειράματα ήταν προφανώς αποτέλεσμα της μείωσης του  $\text{NH}_4^+$  στην περιοχή του ριζοστρώματος.

Σύμφωνα με τον Sonneveld (2002), η χορήγηση 10-15% του συνολικού N υπό μορφή  $\text{NH}_4^+$  είναι βέλτιστη για τις περισσότερες υδροπονικές καλλιέργειες, ενώ ένα  $N_r$  πάνω από 0,15-0,20 συνδέεται με έναν αυξανόμενο κίνδυνο τοξικότητας από  $\text{NH}_4^+$ . Στα πειράματά μας, ακόμη και η χορήγηση 30% του συνολικού N με μορφή του  $\text{NH}_4^+$  δεν ήταν επιβλαβής, αλλά μάλλον ευεργετική για το μαρούλι. Και στα δύο πειράματα, η συγκέντρωση αμμωνίου στο ριζόστρωμα ήταν εξαιρετικά χαμηλή μετά την παρέλευση των 2-3 πρώτων εβδομάδων της ανάπτυξης των φυτών, παρά τις υψηλότερες συγκεντρώσεις που παρασχέθηκαν στην καλλιέργεια μέσω του θρεπτικού διαλύματος. Η μετατροπή του αμμωνίου σε αμμωνία είναι αμελητέα σε τιμές pH χαμηλότερες από 7,5 και έτσι η μείωση του  $\text{NH}_4^+$  λόγω απωλειών σε αέρια μορφή ( $\text{NH}_3\uparrow$ ) θεωρείται απίθανη. Η μείωση του  $\text{NH}_4^+$  στο διάλυμα απορροής παρατηρήθηκε ακόμη και όταν το  $N_r$  ήταν 0,3, παρόλο που το pH στο ριζόστρωμα ήταν συνεχώς κάτω από 7,5, ιδιαίτερα δε στην όψιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια. Η νιτροποίηση του  $\text{NH}_4^+$  μπορεί θεωρητικά να είχε εμφανιστεί σε έναν ορισμένο βαθμό, αλλά αυτό δεν ήταν πιθανά ο κύριος λόγος μείωσης του αμμωνίου από το ριζόστρωμα. Πράγματι η συγκέντρωση νιτρικών στο διάλυμα απορροής μειωνόταν αυξανόμενη της συγκέντρωσης αμμωνίου στο διάλυμα άρδευσης (σχ. 3). Παρόλα αυτά, η πλήρης μικροβιακή μετατροπή του  $\text{NH}_4^+$  σε νιτρικά θα είχε σαν αποτέλεσμα παρόμοιες συγκεντρώσεις νιτρικών στο διάλυμα απορροής όλων των μεταχειρίσεων, δεδομένου ότι η τροφοδοσία του συνολικού N ήταν ταυτόσημη σε όλες τις μεταχειρίσεις και η συγκέντρωση του αζώτου στους βλαστούς των φυτών ήταν πανομοιότυπη ή και χαμηλότερη στο υψηλό  $N_r$ . Η μείωση του  $\text{NH}_4^+$  στο διάλυμα απορροής λόγω της προσρόφησης από την ελαφρόπετρα δεν είναι επίσης πιθανή, επειδή το συγκεκριμένο υπόστρωμα έχει πολύ χαμηλή ιοντοανταλλακτική ικανότητα κατιόντων (Gizas et al., 1999; Ravin et al., 2002). Κατά συνέπεια, από αυτό φαίνεται ότι το μαρούλι ανήκει σε εκείνα τα είδη που είναι ικανά να απορροφούν πιο γρήγορα  $\text{NH}_4^+$  σε σχέση με τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) από ένα θρεπτικό διάλυμα που περιέχει μίγμα  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$  (Forde and Clarkson, 1999). Η μείωση του  $\text{NH}_4^+$  στο διάλυμα απορροής παρατηρήθηκε επίσης σε καλλιέργεια ζέρμπερας η οποία αναπτύχθηκε σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα (Savvas and Gizas, 2002). Όταν ένα είδος φυτού



καλλιεργείται σε κλειστό υδροπονικό σύστημα και εμφανίζει εκλεκτική απορρόφηση ως προς το  $\text{NH}_4^+$  τότε το  $N_r$  θα πρέπει να αυξηθεί σε πιο υψηλά επίπεδα από εκείνα που προτείνονται για τα ανοιχτά συστήματα για να αποτραπεί η μείωση του  $\text{NH}_4^+$  στο ριζόστρωμα, η οποία θα είχε σαν επακόλουθο πολύ υψηλά επίπεδα pH στο περιβάλλον της ρίζας.

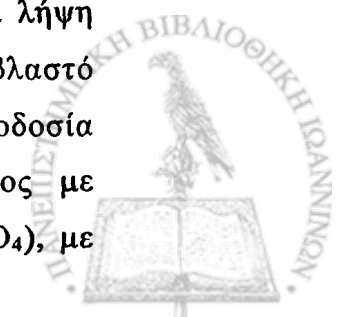
Πολλοί ερευνητές, που ασχολούνται με τις επιπτώσεις της θρέψης των φυτών με  $\text{NH}_4^+$  έχουν αναφέρει τη μειωμένη πρόσληψη σημαντικών κατιόντων (K, Ca, Mg) σε σχέση με τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις  $\text{NH}_4^+$  στο ριζόστρωμα (Chance et al., 1999; Pill and Lambeth, 1977; Wiesler, 1997). Στην παρούσα μελέτη όμως, αμέσως μετά την έναρξη της ανακύκλωσης του διαλύματος απορροής η συγκέντρωση του αμμωνίου στο ριζόστρωμα μειώθηκε στο ελάχιστο, χωρίς να ανταγωνίζεται την πρόσληψη K, Ca ή Mg. Κατά συνέπεια οι συγκεντρώσεις τους δε μειώθηκαν σημαντικά στα φύλλα του μαρουλιού από την αυξημένη χορήγηση αμμωνίου. Αντίθετα, παρατηρήθηκε αύξηση των συγκεντρώσεων του φωσφόρου, του μαγγανίου και του ψευδαργύρου στα φύλλα του μαρουλιού στις υψηλότερες συγκεντρώσεις του αμμωνίου. Είναι κοινά παραδεκτό, ότι μειώνεται η διαλυτότητα των ανωτέρω θρεπτικών στοιχείων καθώς αυξάνονται τα επίπεδα του pH, η δε μείωση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τιμές πάνω από 6,0 (Adams, 2002; Marschner, 1995). Συνεπώς η αύξηση στα φύλλα του μαρουλιού των συγκεντρώσεων του P, Mn, Zn και του Cu στο δεύτερο πείραμα, στις μεταχειρίσεις με υψηλό αμμώνιο, οφειλόταν στη μείωση του pH στο περιβάλλον της ρίζας. Παρά την υψηλή τιμή pH στο ριζόστρωμα, οι συγκεντρώσεις του Mn, του Zn και του Cu στα φύλλα του μαρουλιού ήταν σε όλες τις μεταχειρίσεις σημαντικά πιο υψηλές από τα κρίσιμα επίπεδα τροφοπενίας (Marschner, 1995; Mills and Jones, 1996). Παρόλα αυτά, όταν το  $N_r$  ήταν 0 ή 0,1, η συγκέντρωση του P στα φύλλα ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη από  $3 \text{ mg g}^{-1}$  ξηρής ουσίας, το οποίο και θεωρείται κρίσιμο επίπεδο για την τροφοπενία P (Marschner, 1995), ενώ στη μεταχείριση με την υψηλότερη τροφοδοσία  $\text{NH}_4\text{-N}$  / συνολικό-N ο P στα φύλλα ήταν σημαντικά υψηλότερος ( $4,1$  και  $4,4 \text{ mg g}^{-1}$  ξηρής ουσίας στην πρόιμη και στην όσιμη καλλιέργεια, αντίστοιχα). Πιθανότατα η ευεργετική επίδραση του  $\text{NH}_4^+$  στην αύξηση του μαρουλιού να συνδέεται με μία αποδοτικότερη τροφοδοσία P, εξαιτίας ενός ευνοϊκότερου pH στο ριζόστρωμα, αν και η εξοικονόμηση ενέργειας (Raab and Terry, 1994) και οι αλλαγές στην ισορροπία φυτοορμονών (Smiciklas and Below, 1992; Wiesler, 1997) μπορεί να συμβάλλουν επίσης.



Αφού η χορήγηση θρεπτικού διαλύματος με υψηλότερες ποσότητες αμμωνίου δεν οδήγησε σε αύξηση της συγκέντρωσης του οργανικού N στο βλαστό του μαρουλιού, η μεγαλύτερη ανάπτυξη που παρατηρήθηκε στα υψηλότερα επίπεδα  $N_r$  δεν οφειλόταν στη βελτιωμένη αζωτούχο λίπανση.

Η μείωση των συγκεντρώσεων των νιτρικών στα φύλλα του μαρουλιού, καθώς αυξήθηκε η αναλογία του  $NH_4-N$  / συνολικό-N, έχει παρατηρηθεί επίσης από τον Van der Boon et al., (1990). Ο Gent (2003) επίσης αναφέρει αυξημένα επίπεδα συγκεντρώσεων νιτρικών σε φύλλα μαρουλιού, που καλλιεργείται σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα, αντίστοιχα με τα αυξημένα επίπεδα  $NO_3^-$  στο θρεπτικό διάλυμα. Παρόλα αυτά, στην παρούσα μελέτη, παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης των  $NO_3^-$  μόνο στα εσωτερικά (νεότερα) φύλλα και μόνο στην πρώιμη ανοιξιάτικη καλλιέργεια, καθώς το  $N_r$  αυξήθηκε. Δεδομένου ότι τα νιτρικά μεταφέρονται μέσω του ρεύματος διαπνοής στα φύλλα και συσσωρεύονται στα χυμοτόπια (Pate, 1980), φαίνεται ότι η αποθηκευτική ικανότητα των νιτρικών στα παλαιά φύλλα έφτασε σε κορεσμό λόγω της παρατεταμένης διαπνοής. Η διαφορετική συμπεριφορά του μαρουλιού στο  $N_r$ , σε σχέση με τη συσσώρευση των  $NO_3^-$  στα φύλλα που παρατηρήθηκε μεταξύ πρώιμης και όψιμης καλλιέργειας, φαίνεται να οφείλεται στην αλλαγή των εποχιακών συνθηκών, ιδιαίτερα δε στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία παίζει σπουδαίο ρόλο στην ενεργοποίηση της νιτρικής ρεδουκτάσης (Marschner, 1995) και στη θερμοκρασία, η οποία επιταχύνει τη νιτροποίηση και το μεταβολισμό των φυτών. Οι Van der Boon et al (1990) βρήκαν επίσης μεγαλύτερη επιρροή του  $N_r$  στη συγκέντρωση  $NO_3^-$  στα φύλλα του μαρουλιού σε μια χειμερινή καλλιέργεια σε σύγκριση με μια θερινή.

Η υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιού, συμπερασματικά, δεν είναι ευαίσθητη στην τροφопενία των ιχνοστοιχείων, εάν τα νιτρικά είναι η μόνη πηγή αζωτούχου λίπανσης, μολονότι υπό αυτές τις συνθήκες μπορεί να επικρατήσουν στην περιοχή του ριζοστρώματος τιμές pH υψηλότερες από 7,0. Το μαρούλι λαμβάνει κατά προτίμηση το  $NH_4-N$  σε σχέση με το  $NO_3-N$ , και αυτό μπορεί να μειώσει τις συγκεντρώσεις νιτρικών στα εσωτερικά φύλλα, αν και αυτό εξαρτάται από την εποχή ανάπτυξης του φυτού. Παρόλα αυτά, η ταχεία λήψη του  $NH_4-N$  από το μαρούλι δεν ενισχύει το επίπεδο του οργανικού N στο βλαστό όταν η αναλογία  $NH_4-N$  / συνολικό-N αυξάνεται, αλλά η τροφοδοσία συνολικού-N παραμένει σταθερή. Η χορήγηση θρεπτικού διαλύματος με τουλάχιστον 30% του συνολικού N με μορφή θειικού αμμωνίου ( $NH_4SO_4$ ), με

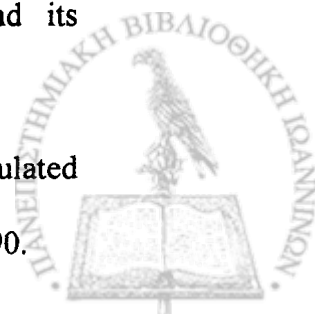


την ταυτόχρονη διατήρηση της συνολικής συγκέντρωσης N και όλων των άλλων θρεπτικών στοιχείων εκτός των θεικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) στα τυποποιημένα προτεινόμενα επίπεδα φαίνεται να ενισχύει την ανάπτυξη μαρουλιού στην ελαφρόπετρα, όταν ανακυκλώνεται το διάλυμα απορροής. Η υποκίνηση από το  $\text{NH}_4^+$  της ανάπτυξης του μαρουλιού πιθανά να συνδέεται με την αυξημένη πρόσληψη φωσφόρου, λόγω της επικράτησης ευνοϊκότερων επιπέδων pH στην περιοχή του ριζοστρώματος.



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams P. and D.M. Massey, 1984. Nutrient uptake by tomatoes from recirculating solutions, In: Proceedings, 6th International Congress on Soilless Culture, ISOSC, Wageningen, The Netherlands. Pp. 71 – 79.
- Adams, P. 2002. Nutritional control in hydroponics, pp. 211-261. In: D. Savvas and H.C. Passam (eds.). Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publ., Athens, Greece.
- Barker A.V., and Mills H.A., 1980. Ammonium and nitrate nutrition of horticultural crops, Hort. Rev., 2:395-423.
- Barker, A.V., R.J. Volk and W.A. Jackson. 1966. Root environment acidity as a regulatory factor in ammonium assimilation by the bean plant. Plant Physiol. 41:1193-1199.
- Barrett J.H., R.C. Parslow, P.A. McKinney, G.R. Law and D. Forman, (Abs.), 1998. Nitrate in drinking water and the incidence of gastric, esophageal, and brain cancer in Yorkshire, England. Cancer Causes and Control, Vol. 9 (2).
- Bar-Tal, A., B. Aloni, L. Karni and R. Rosenberg. 2001. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and  $\text{NO}_3:\text{NH}_4$  ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. HortScience 36:1252-1259.
- Beever, L. and R.H. Hageman. 1983. Uptake and reduction of nitrate: Bacteria and higher plants, pp. 351-375. In: A. Läuchli and R.L. Bielecki (eds.). Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 15A. Springer Verlag, Berlin, New York.
- Bennet A.C., 1974. Toxic effects of aqueous ammonia, copper, zinc lead, boron and manganese on root growth, In: Carson E.W., (ed), The Plant Root and its Environment, University of Virginia, Charlottesville, U.S.A., pp.669-683.
- Ben-Zioni A.Y., Vaadia Y. and S.H. Lips, 1971. Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products of the shoots, Physiologia Plantarum 24: 288 – 290.



- Blaabjerg, J., 1983. Physical and chemical compositions of the inactive growing medium Grodan and its fields of application and extension. *Acta Hort.*, 133:53-57.
- Bloom-Zandstra M. and J.E.M. Lampe, 1985. the role of nitrate in the osmoregulation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in different light intensities. *J. Exp. Bot.* 36: 1043-1052.
- Bloom-Zandstra M., 1989. Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Ann. Appl. Biol.*, 115: 553-561.
- Burt T.P., A.L. Heathwaite and S.T. Trudgill, 1993. *Nitrate Processes, Patterns and Management*. John Willey & Sons Ltd, England: 3-429.
- Chaignon, V., F. Bedin and P. Hinsinger. 2002. Copper bioavailability and rhizosphere pH changes as affected by nitrogen supply for tomato and oilseed rape cropped on an acidic and a calcareous soil. *Plant Soil* 243:219-228.
- Chaillou, S., J.K. Vessey, J.F. Morot-Gaudry, C.D. Raper Jr., L.T. Henry and J.P. Boutin. 1991. Expression of characteristics of ammonium nutrition as affected by pH of the root medium. *J. Exp. Bot.* 42:189-196.
- Chance, W.O., Z.C. Somda and H.A. Mills. 1999. Effect of nitrogen form during the flowering period on zucchini squash growth and nutrient element uptake. *J. Plant Nutr.* 22:597-607.
- Chen X.G., C. Gastaldi, M.Y. Siddiqi and A.D.M. Glass, 1997. Growth of a lettuce crop at low ambient nutrient concentrations: a strategy designed to limit the potential for eutrophication. *Journal of Plant Nutrition*, 20 (10): 1403-1417.
- Claussen, W. and F. Lenz. 1999. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. *Plant Soil* 208:95-102.
- Cooper, A.J., 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. *Sci. Hort.*, 3:251-258.



- Cooper, A.J., 1979. The ABC of NFT. Grower Books, London.
- De Kreij C. and B. Van der Hoeven, 1996. Effect of humic substances, pH and its control on growth of chrysanthemum in aeroponics, In: Proceedings, 9th International Congress on Soilless Culture, ISOSC, Wageningen, The Netherlands, pp. 207 – 230.
- De Kreij C., 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation, *Acta Horticulturae* 408: 47 – 61.
- De Kreij C., W Voogt and R. Baas, 1999. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. Brochure 196. Research Station For Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG), Naaldwijk, The Netherlands.
- De Kreij C., W Voogt, A.L. Van Den Bos and R. Baas, 1999. Voedingsoplossingen gesloten teeltsystemem (Nutrient solutions for closed cultivation systems). Research Station For Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG), Naaldwijk, The Netherlands.
- De Rijck G. and E. Schrevens, 1997a. Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to dissociation reactions, *Journal of Plant Nutrition* 20: 901 – 910.
- De Rijck G. and E. Schrevens, 1998b. Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to precipitation reactions, *Journal of Plant Nutrition* 21: 2103 – 2113.
- De Rijck G. and E. Schrevens, 1998c. Composition of the mineral composition of twelve standard nutrient solutions, *Journal of Plant Nutrition* 21: 2115 – 2125.
- Duncan C, H. Li, R. Dykhuizen, R. Frazer, P. Johnston, G. MacKnight, L. Smith, K-Lamza, H. McKenzie, L. Batt, D. Kelly, M. Golden, N. Benjamin and C. Leifert, 1997. Protection against oral and gastrointestinal diseases: importance of dietary nitrate intake, oral nitrate reduction and enterosalivary nitrate circulation. *Comp. Biochem. Physiol.*, 118A (4): 939-948.

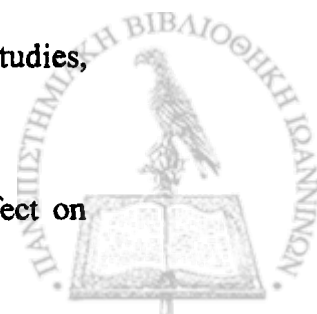


- Ehret D.L., and Ho L.C., 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann. Bot.*, 58:679-688.
- Elia A., Conversa G., Serio F., Santamaria P., 1996. Response of egg plant to NH<sub>4</sub>:NO<sub>3</sub> ratio, *Isosc Proceedings*, pp:167-189.
- Errebhi M., Wilcox G.E., 1990. Tomato growth and nutrition uptake pattern as influenced by nitrogen form ratio, *J. Plant Nutr.* 13:1031-1043.
- Feigen A., Ginzburg C., Ackerman A., and Gilead S., 1984. Response of roses in a volcanic rock substrate to different NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> ratios in the nutrient solution. In: *Proc. 6th Internat. Congr. Soilless Culture, Lunteren, 1984, ISOSC, Wageningen, The Netherlands*:pp.207-214.
- Follet R.F., D.R. Keeney and R.M. Cruse, 1991. Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. *Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.*: 1-7, 165-255.
- Forde, B.G. and D.T. Clarkson. 1999. Nitrate and ammonium nutrition of plants: Physiological and molecular perspectives. *Adv. Bot. Res.* 30:1-90.
- Frota, J.N.E. and T.C. Tucker. 1972. Temperature influence on ammonium and nitrate absorption by lettuce. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36:97-100.
- Gent, M. 2003. Solution electrical conductivity and ratio of nitrate to other nutrients affect accumulation of nitrate in hydroponic lettuce. *HortScience* 38:222-227.
- Gerandás, J. and B. Sattelmacher. 1990. Influence of nitrogen form and concentration on growth and ionic balance of tomato (*Lycopersicum esculentum*) and potato (*Solanum tuberosum*), pp. 33-37. In: *Plant Nutrition – Physiology and Applications*. M.L. van Beusichem (ed.). Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- Gerendás, J., Z. Zhu, R. Bendixen, R.G. Ratcliffe and B. Sattelmacher. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 160:239-251.





- Gizas, G., D. Savvas and I. Mitsios. 1999. Availability of macrocations in perlite and pumice as influenced by the application of nutrient solutions having different cation concentration ratios. *Acta Hort.* 548:277-284.
- Graves C.J., 1983. The nutrient film technique, *Horticultural Reviews* 5: 1 – 44.
- Guo S, H. Brück and B. Sattelmacher. 2002. Effects of supplied nitrogen form on growth and water uptake of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Plant Soil* 239:267-275.
- Hanan J.J., 1998. *Greenhouses: Advanced Technology for Protected Cultivation*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Haynes R.J., 1986. Uptake and assimilation of mineral nitrogen by plants. Mineral nitrogen in the plant-soil system. In. Montemurro F., G.Capotorti, G. Lacertosa and D. Palazzo, 1998. Effects of urease and nitrification inhibitors application on urea fate in soil and nitrate accumulation in lettuce. *Journal of Plant Nutrition*, 21 (2): 245-252.
- Hendrix J.E., 1967. The effect of pH on the uptake and accumulation of phosphate and sulphate ions by bean plants, *American Journal of Botany* 54: 560 – 564.
- Ho L.C., and Adams P., 1989. Calcium deficiency – a matter of inadequate to rapidly growing organs. *Plants Today*, 2:202-207.
- Ingestad T., 1972. Mineral nutrition requirements of cucumber seedlings. *Plant Physiol.* 52:332-338.
- Islam A.K.M.S., Edwards D.G. and C.J. Asher, 1980. pH optima for crop growth, Results of a flowing solution culture experiment with six species, *Plant and Soil* 54: 339 – 357.
- Jones (Jr) J.B., 1982. Hydroponics: its history and use in plant nutrition studies, *Journal of Plant Nutrition* 5: 1003 – 1030.
- Kafkafi, U. 1990. Root temperature, concentration and ratio  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  effect on



- plant development. *J. Plant Nutr.* 13:1291-1306.
- Kanaan S.S., 1991. The influence of root zone nutrient supply in NFT on tissue NO<sub>3</sub> content of lettuce, (*Lactuca sativa* L. cv. Cobra). Master of Science in Horticulture. Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Greece.
  - Kirkby E.A., Mengel K., 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition, *Plant Physiol.* 42:6-14.
  - Knop, W., 1859. Ein Vegetationsversuch. Die Landwirtschaftlichen Versuchs – Stationen 1: 181-202.
  - Magalhaes, J.R. and G.E. Wilcox. 1984. Growth, free amino acids, and mineral composition of tomato plants in relation to nitrogen form and growing media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:406-411.
  - Marschner H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd Edition, Academic Press, London, UK.
  - Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, London.
  - Maticic B., 1999. The impact of agriculture on ground water quality in Slovenia: standards and strategy. *Agricultural Water Management*, 40 (2-3): 235-247.
  - Mengel K., and Kirkby E.A., 1987. *Principles of Plant Nutrition* (4th edition), Section 7.2.2 Intern. Potash Inst., Bern, Switzerland:pp.366-370.
  - Mills, H.A. and J. Jones Jr. 1996. *Plant Analysis Handbook II. MicroMacro* Publishing, Inc., Athens, GA, USA. 422 p.
  - Morard P. and B. Benavides, 1990. Relative accumulation of macronutrient ions in different parts of cucumber (*Cucumis sativus*), *Scientia Horticulturae* 44: 17 – 30.
  - Ottosson, L., 1977. Vegetable production on mineral wool. *Acta Hort.*, 58:147-152.



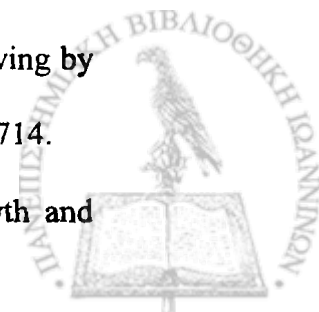
- Pardossi A., Tognoni F. and G. Bertero, 1987. The influence of nutrient solution concentration on growth, mineral uptake and yield of tomato plants grown in NFT, *Advances in Horticultural Science* 1:55 – 60.
- Pate, J.S. 1980. Transport and partitioning of nitrogenous solutes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 31:313-340.
- Pill, W.G. and V.N. Lambeth. 1977. Effects of  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$  nutrition with and without pH adjustment on tomato growth, ion composition and water relations. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102:78-81.
- Raab, T.K. and N. Terry. 1994. Nitrogen-source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. *Plant Physiol.* 105:1159-1166.
- Raviv, M., R. Wallach, A. Silber and A. Bar-Tal. 2002. Substrates and their analysis, pp. 25-101. In: D. Savvas and H.C. Passam (eds.). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publ., Athens, Greece.
- Resh, H.M., 1997. *Hydroponic Food Production* (5th Edition). Woodbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, California.
- Sachs, J., 1861. Vegetationsversuch mit Ausschluss des Bodens, ueber die Naehrstoffe und sonstigen Ernaehrungsbedingungen non Mais, Bohnem und anderen Pflanzen. *Die Landwirtschaftlichen Versuchs – Stationen* 3: 30-44.
- Salsac L., Chaillou S., Morot-Gaudry J.F., Leisaint C., Jolivet E., 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants, *Plant Physiol. Biochem.* 25:805-812.
- Sanchez-Echaniz j., J. Benito-Fernandez and S. Mintegui-Raso, (Abs.), 2001. Methemoglobinemia and consumption of vegetables in infants. *Pediatrics*, 107 (5): 1024-1028.
- Savvas D. and F. Lenz, 1995, Nahrstoffaufnahme von Aubergine (*Solanum melongena* L.) in Hydrokultur, *Gartenbauwissenschaft* 60: 29 – 33.



- Savvas D. and K. Adamidis, 1999. Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH and nutrient concentration ratios, *Journal of Plant Nutrition* 22: 1415 – 1432.
- Savvas D., 2001. *Nutritional management of Vegetables and Ornamental Plants in Hydroponics*, Science Publishers, Inc. Plymouth, USA.
- Savvas, D., V. Karagianni, A. Kotsiras, V. Demopoulos, I. Karkamisi and P. Pakou, 2003. Interactions between ammonium and pH of the nutrient solution supplied to gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in soilless culture. *Plant Soil* 254:393-402.
- D. Savvas, E. Nasi, E. Moustaka, N. Mantzos, P. Barouchas, H.C. Passam, and C. Olympios, 2006. Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system.
- Schwarz M., 1995. *Soilless Culture Management, Advanced Series in Agricultural Sciences*, Vol. 24, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Smiciklas, K.D. and F.E. Below. 1992. Role of cytokinin in enhanced productivity of maize supplied with  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$ . *Plant Soil* 142:307-313.
- Sonneveld C. and G.W.H. Welles, 1984. Growing vegetables in substrates in the Netherlands, In: *Proceedings, 6th International Congress on Soilless Culture*. ISOSC, Wageningen, The Netherlands, pp. 613 – 631.
- Sonneveld C., 1981. Items for application of macro-elements in soilless culture, *Acta Horticulturae* 126: 187 – 195.
- Sonneveld C., 1989. Rockwool as a substrate in protected cultivation, *Chronica Horticulturae* 29: 33 – 36.
- Sonneveld C., 2002. *Composition of Nutrient Solutions*, Savvas D., And Passam H., (eds), *Hydroponic of Vegetables and Ornamentals*, pp.25-101, Embryo Publications, pp179-210, Athens, Greece.

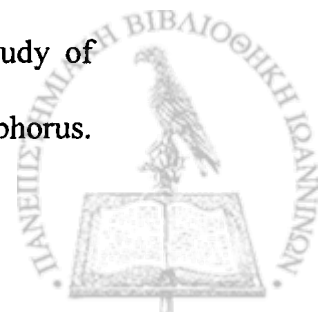


- Sonneveld C., and Voogt W., 1994a. Effects of calcium and ammonium on the appearance of secondary shoot chlorosis in rockwool grown cucumbers, Proc. Simo Intern. Coll. Soilless Culture, Hangzou, China, 1994:pp. 88-94.
- Sonneveld C., Voogt W., 1997. Effects of pH value and Mn application on yield and nutrient absorption with rockwool grown gerbera, Acta Hort., 450:139-147.
- Stanghellini Cecilia, 2000. "TRANSPARATION WATER NEED AND CLOSED IRRIGATION SYSTEMS", Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Netherlands.
- Steiner A.A., 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition, Plant and Soil 15: 134 – 154.
- Steiner A.A., 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants, Plant and Soil 24: 454 – 466.
- Steiner A.A., 1980. The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution, Acta Horticulturae 98: 87 – 97.
- Steiner, AA., 1997. Foreword. In: Proc. 9th Internat. Congr. Soilless Culture, Jersey, 1996. ISOSC, Wageningen, The Netherlands: pp. 13-19.
- Stensvand, A. and H.R. Gislerød. 1992. The effect of the NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> ratio of the nutrient solution on growth and mineral uptake in *Chrysanthemum x morifolium*, *Passiflora caerulea*, and *Cordyline fruticosa*. Gartenbauwissenschaft 57:193-198.
- Swiader J.M., G.W. Ware and J.P. McCollum, 1992. Producing Vegetable Crops. Edition: Interstate Publishers, Inc.(four edition), Illinois, U.S.A.: 341-352.
- Urrestarazu M., A. Postigo, M. Salas, A. Sanchez and G. Carrasco, 1998. Nitrate accumulation reduction using chloride in the nutrient solution on lettuce growing by NFT in semiarid climate conditions. Journal of Plant Nutrition, 21(8): 1705-1714.
- Van der Boon, J.W., J.W. Steenhuizen and E.G. Steingröver. 1990. Growth and



nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration,  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$  ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *J. Hort. Sci.* 65:309-321.

- Van Goor B.J., De Jager A. and W. Voogt, 1988. Nutrient uptake by some horticultural crops during the growing period, In: Proceedings, 7th International Congress on Soilless Culture, ISOSC, Wageningen, The Netherlands, pp. 163 – 176.
- Van Os Erik, 1999. “Closed soilless growing systems: a sustainable solution for dutch greenhouse horticulture”, *Water Science Technology* Vol.39, No 5.
- Van Os Erik, 2001. “New developments in ecirculation systems and disinfection methods for greenhouse crops”, *Horticultural Engineering* Volume 16 No. 2.
- Van Os, E.A., 1982. Dutch developments in soilless culture. *Outlook on Agriculture*, 11:165-171.
- Verwer, F.L.J.A.W., 1976. Growing horticultural crops in rockwool and nutrient film. In: Proc. 4th Internal. Congr. Soilless Culture. IWOSC, Wageningen, The Netherlands: pp. 107-119.
- Verwer, F.L.J.A.W., 1978. Research and results with horticultural crops in rockwool and nutrient film. *Acta Hort.*, 82:141-147.
- Voogt W., 1992a. Rozen op steenwol verkiezen lagere pH, *Vakblad voor de Bloemisterij* 47 no 39:34-35.
- Voogt, W. and C. Sonneveld. 1997. Nutrient management in closed growing systems for greenhouse production, pp. 83-102. In: E. Goto, K. Kurata, M. Hayashi and S. Sase (eds.). *Plant Production in Closed Ecosystems*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- Voutsas D., E. Manoli, C. Samara, M. Sofoniou and I. Stratis, 2001. A study of surface water quality in Macedonia, Greece: Speciation of nitrogen and phosphorus. *Water, Air and Soil Pollution*, 129:13-32.



- Wiesler, F. 1997. Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 160:227-238.
- Willumsen J., 1980. pH of the flowing nutrient solution, *Acta Horticulturae* 98: 191 – 199.
- Wreesmann C., 1996. Chelated micro-nutrients for soilless culture, In: *Proceedings, 9th International Congress on Soilless Culture, ISOSC, Wageningen, The Netherlands*, pp. 559 – 572.
- Αρβανίτης Κ, Πασγιάνος Γ, 2002. «Δυνατότητες ελέγχου άρδευσης, αγωγιμότητας, pH και συνταγής», ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ : «Σύγχρονες τεχνολογίες στα θερμοκήπια και την υδροπονία», ΚΑΛΑΜΑΤΑ.
- Δημητράκης Κ.Λ., 1998. Λαχανοκομία. Εκδόσεις: Αγροτύπος, Αθήνα. Σελ. 304-316.
- Μπράτη Νατάσα, Αναστασίου Αχιλλέας, 2001. «ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ, ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ», ΦΑΡΜ consulting, εκδόσεις Γεωργική Τεχνολογία.
- Σάββας Δημήτριος, 1998. «Η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ», ΓΕΩΡΓΙΑ & ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ, Τεύχος 4.
- Σάββας Δημήτριος, 1998. «ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ ΚΑΛΛΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΦΥΤΩΝ», Τ.Ε.Ι ΗΠΕΙΡΟΥ, ΑΡΤΑ. 1998.
- Σάββας Δημήτριος, 2000. Θρέψη φυτών, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

#### ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<http://www.FAO.org>

