



Η Πράξη συγχρηματοδοτείται
από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΤΠΑ)
και από Εθνικούς Πόρους
της Ελλάδας και της Κύπρου



Πρόγραμμα Διασυνοριακής Συνεργασίας
Ελλάδα - Κύπρος 2007-2013
ΕΠΕΝΔΥΟΥΜΕ ΣΤΟ ΚΟΙΝΟ ΜΑΣ ΜΕΛΛΟΝ



Οδηγός καλλιέργειας τομάτας και μαρουλιού σε υδροπονία στην Κύπρο

στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος

«ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ»

HYDROFLIES

<http://web.cut.ac.cy/hydroflies/>

Το έργο εντάχθηκε βάση της Κ3_01_03 στις 15-10-2012 στο πρόγραμμα Διασυνοριακής Συνεργασίας Ελλάδα- Κύπρος 2007-2013, με συγχρηματοδότηση κατά 80% από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΤΠΑ) και κατά 20% από Εθνικούς Πόρους της Ελλάδας και της Κύπρου. Σκοπός του έργου είναι η ανάπτυξη συστημάτων υδροπονίας σε θερμοκήπια για δύο σημαντικά λαχανικά, την τομάτα και το μαρούλι, η ανάπτυξη συστήματος μαζικής εκτροφής δύο σημαντικών ωφελίμων εντόμων, καθώς και η εκπαίδευση των γεωργών στη χρήση του.



1. Εισαγωγή

Το παραδοτέο περιλαμβάνει μελέτες που γίνονται τόσο στην Κύπρο όσο και στην Κρήτη, σε υλικά και τεχνικές που εφαρμόζονται από τους παραγωγούς ενώ εφαρμόζονται μελέτες αντίστοιχα και σε νέα συστήματα στα όποια ο παραγωγός έχει την δυνατότητα να αξιολογήσει και πιθανόν να τα εισαγάγει στην καλλιεργητική του πρακτική.

Το παραδοτέο περιλαμβάνει:

- Την προετοιμασία και εγκατάσταση των διαφορετικών συστημάτων υδροπονίας για το μαρούλι και την τομάτα
- Ανάπτυξη των καλλιεργειών και συλλογή δεδομένων ανάπτυξης, παραγωγής, θρεπτικής κατάστασης, και ποιότητας των νωπών προϊόντων
- Ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων και στατιστική επεξεργασία αυτών
- Τα δεδομένα αυτά θα αποτελέσουν υλικό για την συγγραφή του οδηγού καλλιέργειας τομάτας και μαρουλιού σε υδροπονία στην Κύπρο και Κρήτη

Στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις τόσο της Κύπρου όσο και της Κρήτης πραγματοποιήθηκαν μελέτες σχετικά με την καλλιέργεια και προσαρμοστικότητα στις κλιματικές συνθήκες της τομάτας και του μαρουλιού. Η επιλογή των καλλιεργειών αυτών έγινε λόγω ότι αποτελούν τις πιο διαδεδομένες υδροπονικές καλλιέργειες σε καρποφόρα φυτά (π.χ. τομάτα) και σε φυλλώδη (π.χ. μαρούλι).

2. Πειραματικές μελέτες

Στο Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου (ΤΕΠΑΚ) πραγματοποιήθηκαν: 1) συγκριτική μελέτη καλλιέργειας τομάτας σε ανόργανο υπόστρωμα (π.χ. περλίτης και ελαφρόπετρα) σε κλειστό υδροπονικό σύστημα (δηλ. το θρεπτικό διάλυμα μετά την άρδευση επαναχρησιμοποιείται) και σε θρεπτικό διάλυμα λεπτής στοιβάδας ροής (σύστημα NFT όπου το θρεπτικό διάλυμα συλλέγεται, διορθώνεται και επαναχρησιμοποιείται) σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. 2) συγκριτική μελέτη 2 υδροπονικών συστημάτων σε καλλιέργεια μαρουλιού, του συστήματος λεπτής στοιβάδας ροής θρεπτικού διαλύματος (NFT) σε οριζόντια διάταξη και του συστήματος πυραμίδας σε κάθετη διάταξη, όπου το θρεπτικό διάλυμα συλλέγεται, διορθώνεται και επαναχρησιμοποιείται, με σκοπό την χωροταξική αξιολόγηση ενός θερμοκηπίου.

Στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων (ΜΑΙΧ) πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη καλλιέργειας τομάτας σε αδρανές υπόστρωμα (π.χ. περλίτης το οποίο αποτελεί εγχώριο αδρανές υλικό για την Ελλάδα) σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα (δηλ. το θρεπτικό διάλυμα μετά την άρδευση δεν θα επαναχρησιμοποιείται). Στο συγκεκριμένο πείραμα μελετήθηκαν 2 επίπεδα (κανονική και αυξημένη

συγκέντρωση) NO_3^- σε 2 επίπεδα αλατότητας (μελετώντας την χρήση υποβαθμισμένης ποιότητας νερού).

Στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Ινστιτούτου Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών Χανίων (ΕΛΓΟ) πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη καλλιέργειας μαρουλιού και προσαρμοστικότητα στις κλιματικές συνθήκες του μαρουλιού, η οποία περιλάμβανε: 1) Καλλιέργεια μαρουλιού σε επιπλέουσα υδροπονία (σύστημα DFT όπου το θρεπτικό διάλυμα, στατικά, οξυγονώνεται σε λεκάνες ύψους 20 εκ.) σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. 2) Καλλιέργεια μαρουλιού σε θρεπτικό διάλυμα λεπτής στοιβάδας ροής (σύστημα NFT όπου το θρεπτικό διάλυμα συλλέγεται, διορθώνεται και επαναχρησιμοποιείται). Στα συγκεκριμένα πειράματα, μελετήθηκαν 2 επίπεδα (κανονική και αυξημένη συγκέντρωση) NO_3^- , 2 επίπεδα αλατότητας (μελετώντας την χρήση υποβαθμισμένης ποιότητας νερού). Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν επιλεκτικά ηλεκτρόδια ιόντων (NO_3^-) καθώς και ηλεκτρόδια pH και αγωγιμότητας. Στα πειράματα έγινε χρήση ηλεκτρονικού λογισμικού (προγράμματος) ελέγχου και διόρθωσης θρεπτικού διαλύματος όπου είναι εφικτό.

2.1. Πειραματικές μελέτες στο ΤΕΠΑΚ

2.1.1. Καλλιέργεια τομάτας

2.1.1.1. Εισαγωγή

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο (BN προσανατολισμού). Δύο υποστρώματα, ελαφρόπετρα και περλίτης χρησιμοποιήθηκαν για να συγκριθούν με το σύστημα NFT.

2.1.1.2. Προετοιμασία και τοποθέτηση σποροφύτων τομάτας

Φυτά τομάτας, ποικιλίας 'Belladonna' αναπτυγμένα σε κύπελλα με φυτόχωμα και στο στάδιο της εμφάνισης της πρώτης ανθοταξίας τοποθετήθηκαν στους σάκους. Εννέα πλαστικοί σάκοι διπλής όψης (άσπρο-μαύρο) χωρητικότητας 16 λίτρων (2 φυτά/σάκο) τοποθετήθηκαν πάνω σε κανάλια/σειρά με 1,2 μ. απόσταση μεταξύ των καναλιών και 0,4 μ. μεταξύ των φυτών. Από τα 18 φυτά σε κάθε σειρά, εννέα αποτέλεσαν μια μεταχείριση ($3^\circ - 11^\circ$ φυτό). Σταλακτήρες άρδευσης τοποθετήθηκαν στη βάση κάθε μονοστέλεχου φυτού ενώ οι σάκοι είχαν σχισμές στο κατώτατο σημείο για να επιτρέψουν την στράγγιση. Αισθητήρες θερμοκρασίας μέσα στο υπόστρωμα κατέγραφαν την θερμοκρασία.

2.1.1.3. Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος

Για τις θρεπτικές ανάγκες της καλλιέργειας, χρησιμοποιήθηκαν βασικό πυκνό (1/100 κ.ο) θρεπτικό υδροπονικό διάλυμα, το οποίο διαχωριζόταν σε δύο δοχεία, το δοχείο Α και το δοχείο Β χωρητικότητας 10 lit έκαστο. Τα χημικά λιπάσματα ή στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος ήταν για το δοχείο Α: Calcium nitrate (Νιτρικό ασβέστιο), Potassium nitrate (Νιτρικό κάλιο), Ammonium nitrate (Νιτρικό αμμώνιο), Fe-chelate (Χηλικός σίδηρος) και για το δοχείο Β: Potassium nitrate (Νιτρικό κάλιο), Magnesium sulphate (Θειικό μαγνήσιο), Potassium sulphate (Θειικό κάλιο), Phosphoric acid (Φωσφορικό οξύ), Manganese sulphate (Θειικό μαγγάνιο), Zinc sulphate (Θειικός ψευδάργυρος), Copper sulphate (Θειικός χαλκός), Boric acid (Βορικό οξύ), Ammonium heptamolydate (Αμμωνιακό μολυβδαίνιο) και Nitric acid (Νιτρικό οξύ). Επομένως το βασικό θρεπτικό διάλυμα είχε την παρακάτω σύσταση; $\text{NO}_3\text{-N}=9.6$, $\text{K}=6.8$, $\text{PO}_4\text{-P}=1.7$, $\text{Ca}=4.0$, $\text{Mg}=2.8$ και $\text{Na}=1.3 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, αντίστοιχα; και $\text{B}=27$, $\text{Fe}=73$, $\text{Mn}=17$, $\text{Cu}=3.6$, $\text{Zn}=6.6$, και $\text{Mo}=1.2 \text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, αντίστοιχα με επιθυμητή τιμή pH 6,0 και EC 2,2 dS/m.

2.1.1.4. Καλλιεργητικές φροντίδες

Το θρεπτικό διάλυμα στο κλειστό υδροπονικό σύστημα (50 L δεξαμενές συλλογής) εχορηγείτο με σταλακτήρες από τη δεξαμενή ανακύκλωσης του επί 5 λεπτά/ώρα (ποσοστό ροής $100 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$) μέσω αντλίας ενεργοποιούμενης με χρονοδιακόπτη. Καθημερινά γινόταν διόρθωση του pH και EC με προσθήκη 5% HNO_3 και πυκνού θρεπτικού διαλύματος αντίστοιχα ενώ οι πραγματικές τιμές pH του θρεπτικού διαλύματος που συλλέχθηκε στις δεξαμενές συλλογής κυμάνθηκαν μεταξύ 6,7 και 7,8 ενώ η EC ήταν μεταξύ 1,77-2,72 dS/m. Η μέγιστη, ελάχιστη και μέση θερμοκρασία, αλλά και η σχετική υγρασία καταγράφηκαν κάθε 30 λεπτά, καθώς επίσης καταγράφηκε και η φωτοσυνθετική ενεργός ακτινοβολία (PAR).

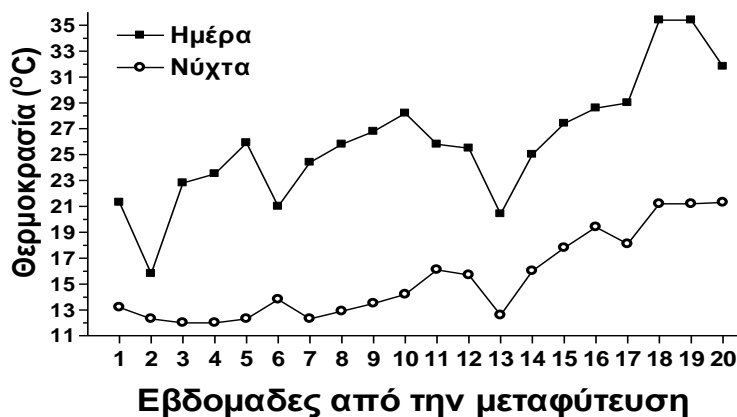
2.1.1.5. Μετρήσεις και προσδιορισμοί

Τέσσερις εβδομάδες από τη μεταφύτευση, το ύψος φυτών, αριθμός φύλλων, αριθμός καρπών καταγράφηκε δύο φορές το μήνα μέχρι την τελική συγκομιδή. Η περίοδος συγκομιδής διάρκεσε 60 ημέρες. Η παραγωγική περίοδος διαιρέθηκε σε τρεις υποπεριόδους: α) 20/3 - 6/4 (πρόωρη παραγωγή) β) 6/4 - 4/5 (μέση-παραγωγή) γ) 4/5 - 20/5 (όψιμη παραγωγή). Η ποιοτική ανάλυση συμπεριλάμβανε το νωπό βάρος καρπών, αντοχή σάρκας, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), συνολικά διαλυτά στερεά (TSS), οξύτητα (TA; Τιτλοδότηση με NaOH), βιταμίνη C (πιπλοδότηση με 2,6-Dichloroindophenol) και λυκοπένιο, β-καροτίνη και λουτεΐνη με υγρή χρωματογραφία (HPLC). Εβδομαδιαία δείγματα του θρεπτικού διαλύματος αναλύθηκαν με (ICP-OES)

για K, Ca, Mg, P, Na, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, και B, για N/NO₃ φασματοφωτομετρικά και N/NH₄ με ηλεκτρόδιο NH₄. Δείγματα φύλλων και καρπών αναλύθηκαν ομοίως με ICP-OES και με τη μέθοδο Kjeldahl για το N.

2.1.1.7. Αποτελέσματα

Οι θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας κυμάνθηκαν κατά την καλλιεργητική περίοδο με μια απότομη μείωση στο τέλος του Μαρτίου (13^η εβδομ.) συνοδευόμενη από μείωση της PAR, ενώ μετά σημειώθηκε σταδιακή αύξηση την 18^η εβδομ. μέχρι τέλος του πειράματος, από $5 \times 10^4 \text{ E} \cdot \text{m}^{-2}$ και 21°C σε $28 \times 10^4 \text{ E} \cdot \text{m}^{-2}$ και 26°C, αντίστοιχα (Εικ. 2.1.1 και 2.1.2). Τα φυτά σε όλες τις μεταχειρίσεις αναπτύχθηκαν φυσιολογικά και κανένα σύμπτωμα ανεπάρκειας δεν παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος.



Εικόνα 2.1.1. Θερμοκρασία (°C) ημέρας και νύχτας στο θερμοκήπιο κατά την διάρκεια καλλιεργητικής περιόδου σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

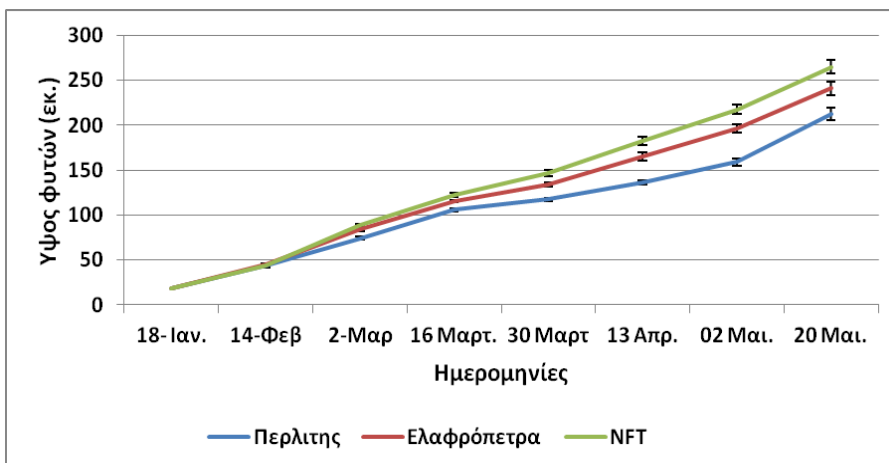


Εικόνα 2.1.2. Φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (E.m⁻²) κατά την διάρκεια καλλιεργητικής περιόδου σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

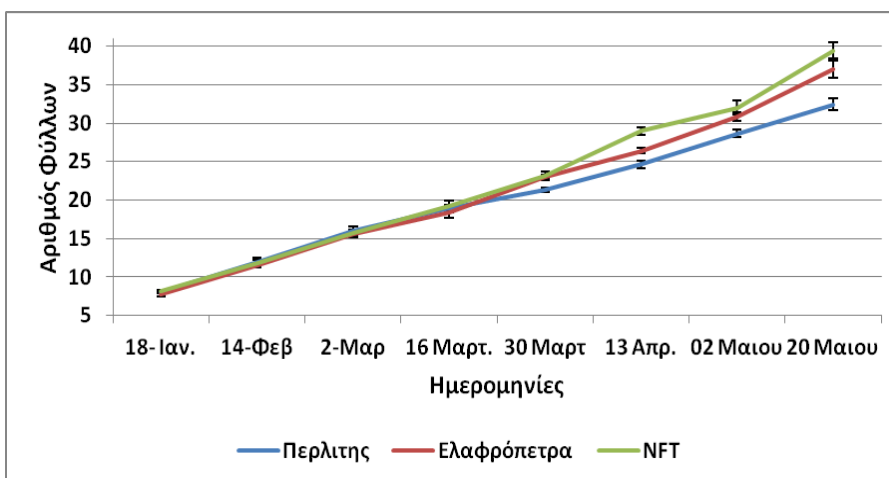
Φυτά που αναπτύχθηκαν σε NFT ήταν υψηλότερα έως και μισό μέτρο σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά που αναπτύχθηκαν σε περλίτη, ενώ ταυτόχρονα παρήγαγαν μεγαλύτερο (κατά 22%) αριθμό φύλλων σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε

περλίτη (Εικ. 2.1.3 και 2.1.4). Ο αριθμός των ανθέων που σχηματίστηκαν, διαφοροποιήθηκε κατά την διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας ανάμεσα στις μεταχειρίσεις, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε NFT σχημάτισαν περισσότερα άνθη συνολικά σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα (Εικ. 2.1.5).

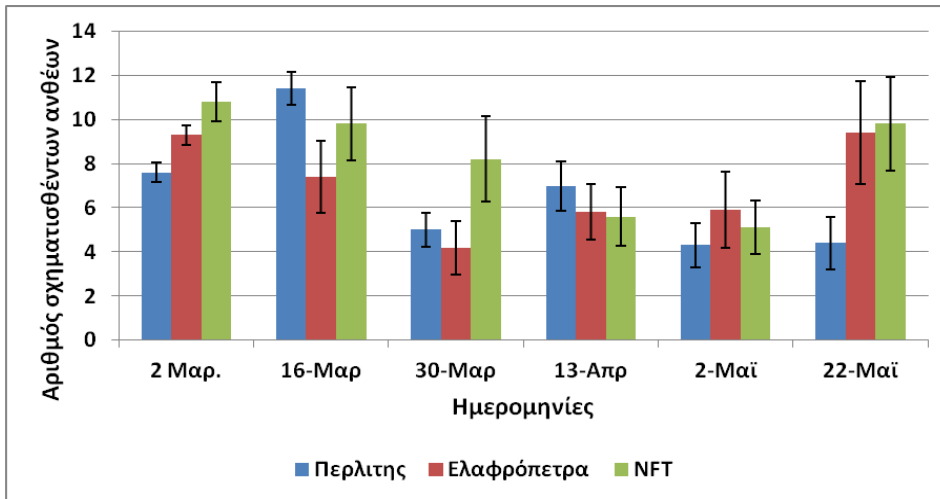
Αύξηση στην παραγωγή (κιλά/φυτό) σημειώθηκε στην καλλιέργεια στο NFT σε σχέση με τις αντίστοιχες καλλιέργειες σε περλίτη και ελαφρόπετρα (Εικ. 2.1.6). Η αύξηση αυτή οφείλεται στον μεγαλύτερο αριθμό καρπών που ωρίμασαν και συγκομίστηκαν εφόσον δεν βρέθηκαν διαφορές στο νωπό βάρος των καρπών. Μεταξύ των καλλιεργειών σε περλίτη και σε ελαφρόπετρα, δεν βρέθηκαν διαφορές στην παραγωγή, στον αριθμό των συγκομισθέντων καρπών αλλά και στο νωπό βάρος των καρπών.



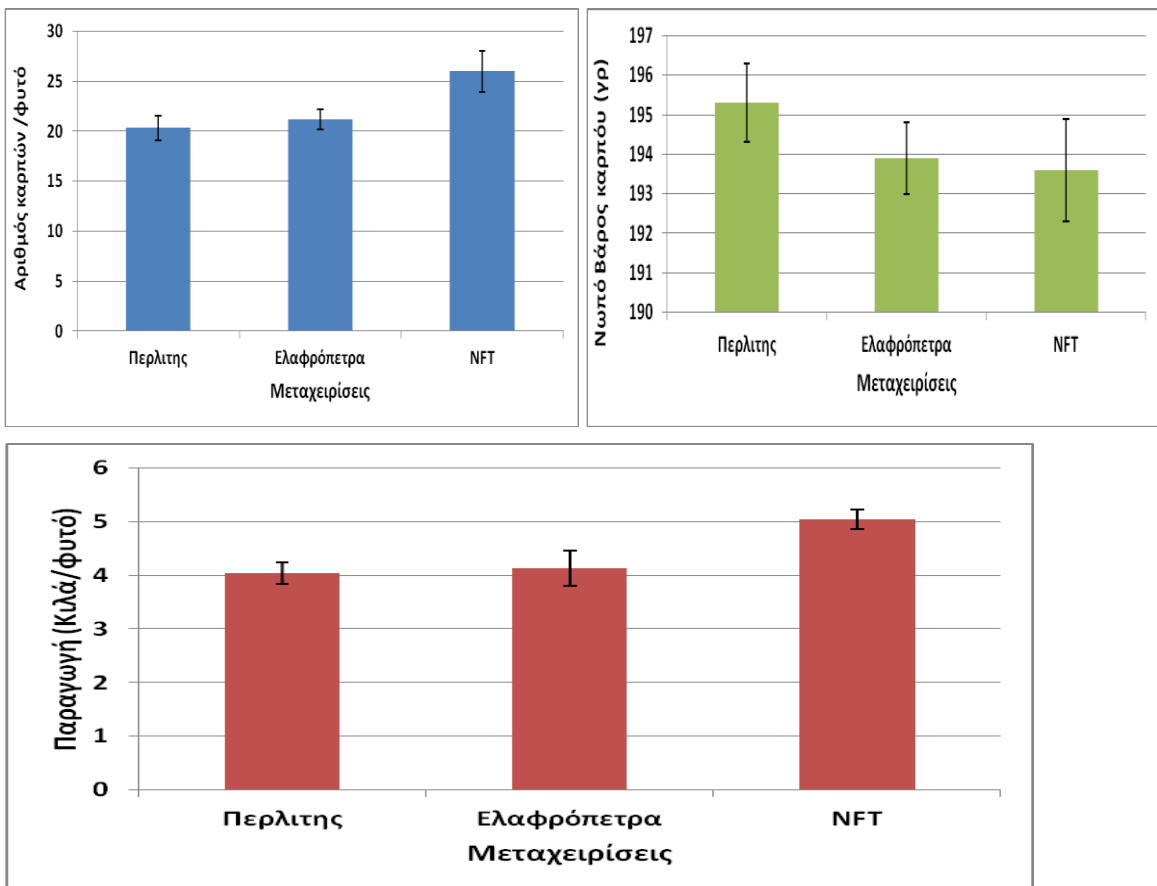
Εικόνα 2.1.3. Επίδραση υποστρώματος ή συστήματος NFT στο ύψος των φυτών σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.



Εικόνα 2.1.4. Επίδραση υποστρώματος ή συστήματος NFT στον αριθμό φύλλων των φυτών σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.



Εικόνα 2.1.5. Επίδραση υποστρώματος ή συστήματος NFT στον αριθμό των ανθέων των φυτών σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

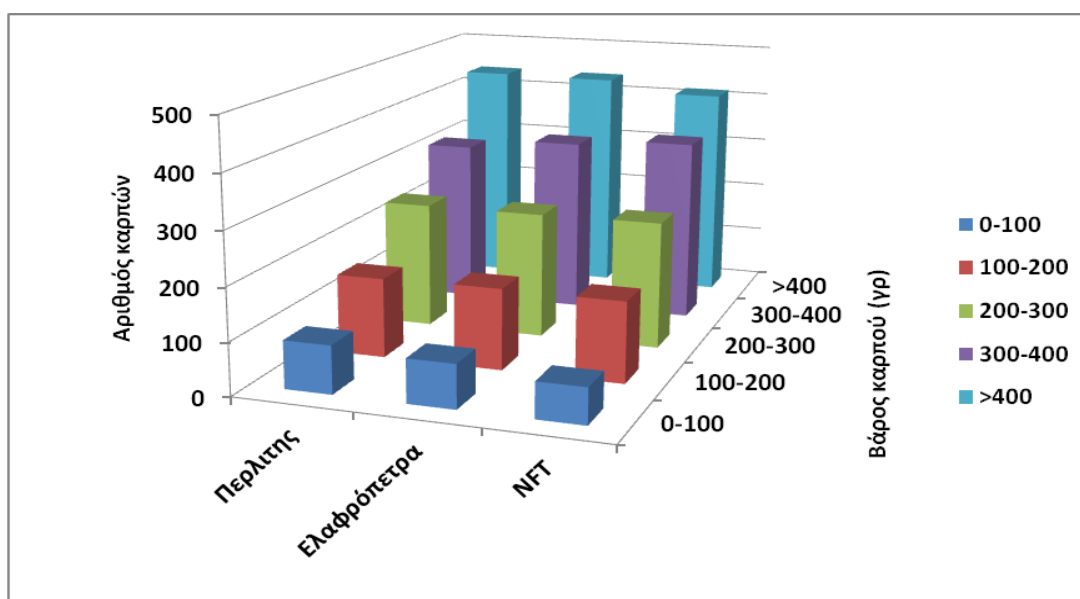


Εικόνα 2.1.6. Επίδραση υποστρώματος ή συστήματος NFT στον αριθμό καρπών/φυτό, στο μέσο νωπό βάρος καρπού και στην παραγωγή (κιλά/φυτό) σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

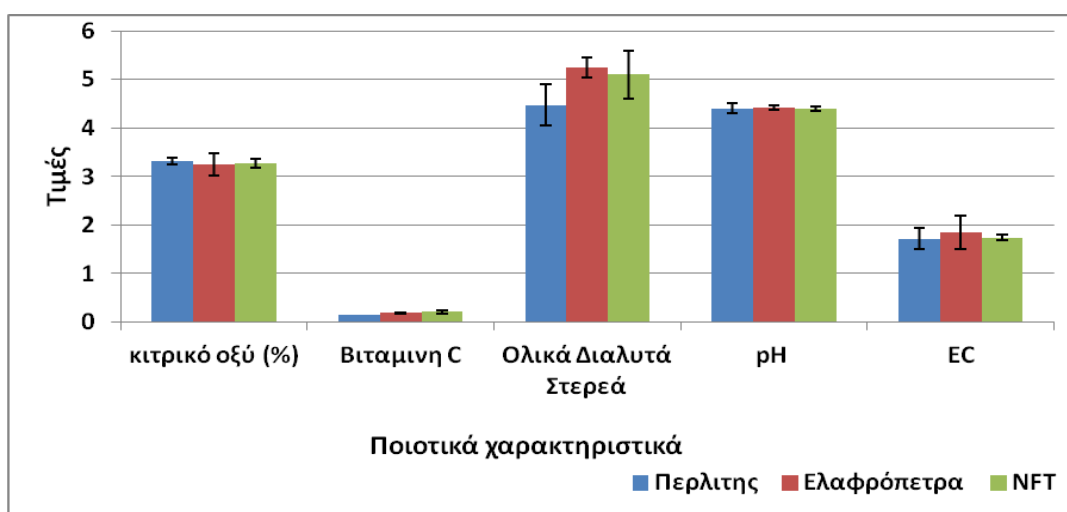
Μελετώντας την διαβάθμιση του νωπού βάρους των καρπών, παρατηρείται ότι περισσότεροι καρποί που προήλθαν από καλλιέργεια σε περλίτη ή σε ελαφρόπετρα

ζύγηζαν > 400 γρ, ενώ στην αμεσως μικροτερη διαβάθμιση, περισσότεροι καρποί που προέρχονταν από καλλιέργεια NFT ζύγηζαν από 300-400 γρ (Εικ. 2.1.7).

Δεν βρέθηκαν γενικότερα διαφορές σε ποιοτικά χαρακτηριστικά σε καρπούς που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα και σε NFT, και συγκεκριμένα δεν βρέθηκαν διαφορές στην ολική οξύτητα των καρπών (περιεκτικότητα σε κιτρικό οξύ), στην βιταμίνη C, στα ολικά διαλυτά στερεά, στο pH και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα αντίστοιχα (Εικ. 2.1.8). Καρποί από την καλλιέργεια NFT είχαν μικροτερη περιεκτικότητα σε λυκοπένιο, λουτεΐνη και β-καροτενιο σε σχέση με τους καρπούς από την καλλιέργεια σε περλιτη και σε ελαφρόπετρα, χαρακτηριστικό που υποβαθμίζει την θρεπτική/διαιτητική τους αξία (Πίνακας 2.1.1).



Εικόνα 2.1.7. Διαβάθμιση νωπού βάρους σε καρπούς τομάτας που αναπτύχθηκαν σε διαφορετικά υποστρώματα ή σε σύστημα NFT σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.



Εικόνα 2.1.8. Επίδραση υποστρώματος ή συστήματος NFT στην περιεκτικότητα κιτρικού οξέος (%), στην βιταμίνη C (mg/g NB), στα ολικά διαλυτά στερεά (°Brix), στο pH και στην EC (mS/cm) σε χυμό από καρπούς σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

Πίνακας 2.1.1. Επίδραση υποστρώματος ή συστήματος NFT στην περιεκτικότητα β-καροτένιου (μg/g NB), λουτεΐνης (μg/g NB) και λυκοπενίου (μg/g NB) σε καρπούς σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

Υποστρώματα	β-καροτένιο	Λουτεΐνη	Λυκοπένιο
Περλίτης	2,92	3,16	64,38
Ελαφρόπετρα	3,18	3,50	53,52
NFT	2,48	2,08	38,33

Η στοιχειομετρική ανάλυση τόσο των καρπών (3^η και 4^η ταξικαρπία) όσο και των φύλλων δείχνουν ότι η συγκεντρωση των διαφορετικών στοιχείων είναι μεγαλύτερη σε καρπούς και φύλλα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε NFT, σε σχέση με την καλλιέργεια που αναπτύχθηκε σε περλίτη και ελαφρόπετρα, γεγονός που αποδεικνύει την καλύτερη θρεπτική ισορροπία και απορρόφηση στην καλλιέργεια NFT (Πίνακες 2.1.2 και 2.1.3).

Σε συμφωνία με τα παραπάνω είναι και η μεγαλύτερη κατανάλωση νερού (Εικ. 2.1.9) και θρεπτικού διαλύματος από την καλλιέργεια στο NFT σε σχέση με τις καλλιέργειες στα υποστρώματα. Η κατανάλωση αυτή στο NFT όμως αιτιολογείται λόγω της αντίστοιχης μεγαλύτερης παραγωγής, εφόσον ο συντελεστής απόδοτηκότητας χρήσης νερού-WUE) ήταν 27.7 Lt νερού/Kg νωπού βάρους, ενώ στον περλίτη ήταν 27,8 και στην ελαφρόπετρα ήταν 30,7 Lt νερού/Kg νωπού βάρους, αντίστοιχα.

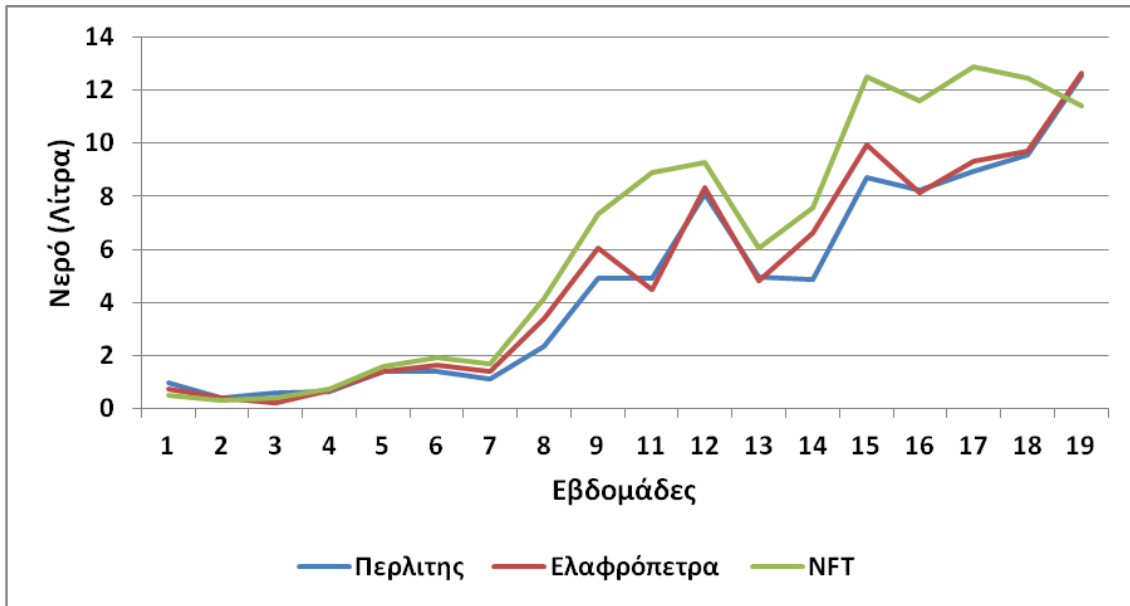
Πίνακας 2.1.2. Επίδραση υποστρώματος ή συστήματος NFT στην συγκέντρωση (ppm) σε θρεπτικά στοιχεία στην 3^η και 4^η ταξικαρπία σε καρπούς σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

3η	Θρεπτικά στοιχεία	Περλίτης	Ελαφρόπετρα	NFT
	N	20591	22900	23681
	K	28600	29100	30500
	Ca	1840	1910	2010
	Mg	1970	2190	2090
	P	5980	5850	6180
	Cu	11,3	15,2	8,3
	Mn	19,7	19,3	24,0
	Zn	23,3	27,1	30,3
	Mo	0,5	0,9	0,0
	Fe	41,7	48,0	40,6
	Na	1260	1440	938

4η	Θρεπτικά στοιχεία	Περλίτης	Ελαφρόπετρα	NFT
	N	19744	20263	18616
	K	27000	27000	27400
	Ca	1690	1550	1650
	Mg	1850	1710	1810
	P	5180	4790	5190
	Cu	10,3	8,5	6,5
	Mn	18,1	14,6	19,9
	Zn	22,8	22,0	22,4
	Mo	0,6	0,3	0,0
	Fe	43,0	41,7	36,3
	Na	1190	1310	809

Πίνακας 2.1.3. Επίδραση υποστρώματος ή συστήματος NFT στην συγκέντρωση (ppm) σε θρεπτικά στοιχεία σε φύλλα σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

Θρεπτικά στοιχεία	Περλίτης	Ελαφρόπετρα	NFT
N	29711	30210	33600
K	22800	23200	25000
Na	3560	3080	1080
Ca	40900	42600	43600
Mg	9320	8310	9940
P	5230	4020	4780
Cu	13	14	14
Mn	229	190	337
Zn	25	29	375
B	50	49	49
Fe	76	84	70



Εικόνα 2.1.9. Εβδομαδιαία κατανάλωση νερού (λίτρα) σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας σε διαφορετικά υποστρώματα ή σε σύστημα NFT.

2.1.2. Καλλιέργεια μαρουλιού

2.1.2.1. Εισαγωγή

Η πειραματική μελέτη αναφέρεται στην κατασκευή και λειτουργία πυραμίδας υδροπονίας και συστήματος NFT (Nutrient Film Technique) ή τεχνική λεπτής στοιβάδας θρεπτικού διαλύματος για την υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιού. Πραγματοποιήθηκαν, η προετοιμασία και η εγκατάσταση των υποδομών του πειράματος, η ανάπτυξη της καλλιέργειας και οι μετρήσεις των φυτών (ο αριθμός των φύλλων και μήκος μεγαλύτερου φύλλου, τα επίπεδα χλωροφύλλης και φθορισμού των φύλλων, το νωπό και ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος, η διακύμανση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του διαλύματος, η προσθήκη πυκνού θρεπτικού διαλύματος και οξύος (για την ρύθμιση του pH). Επιπλέον προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα των θρεπτικών στοιχείων (N, K, Na, P) στα φύλλα και στις ρίζες.

2.1.2.2 Προετοιμασία και τοποθέτηση σποροφύτων μαρουλιού

Σπόροι μαρουλιού *Lactuca sativa* (ποικιλίας, VERDEDE GLIORTOLANI (SEL. INGRIO) τοποθετήθηκαν σε φυτόχωμα (Typical Brill) και περλίτη αναλογίας 4:1 και τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς δίσκους πολλαπλών θέσεων 48 X 28,5 cm. Σε κάθε θέση τοποθετήθηκαν 2 με 3 σπόροι ώστε να αποφευχθούν τυχόν 'κενές' θέσεις εφόσον κάποιοι σπόροι θα μπορούσαν να μη βλαστήσουν/εκπτυχθούν (Εικ. 2.1.10). Οι δίσκοι παρέμειναν σε σπορείο (ειδικά διαμορφωμένο χώρο) στο θερμοκήπιο, με σκοπό την ανάπτυξη των σποροφύτων και αρδεύονταν καθημερινά κατά την διάρκεια της ημέρας. Όταν τα σπορόφυτα απέκτησαν κατάλληλο μέγεθος, πραγματοποιήθηκε αραίωμα αυτών, όπου και παρέμεινε ένα μόνο φυτό ανά θέση.



Εικόνα 2.1.10. Σπορόφυτα μαρουλιού.

2.1.2.3 Προετοιμασία συστημάτων NFT και πυραμίδα υδροπονίας

Προετοιμάστηκαν τα συστήματα NFT και το σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας σε πυραμίδα, χρησιμοποιήθηκαν κανάλια διαστάσεων μήκους 3m, πλάτους 7.5 cm και ύψους 5.0 cm. Σε κάθε κανάλι δημιουργήθηκαν 14 θέσεις (κάθε 20 cm) φυτών. Χρησιμοποιήθηκε αντλία (RESUN, SP-980,9W) για την ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος σε δεξαμενή (βαρέλι 70 Lt) ανακύκλωσης.

Για το σύστημα πυραμίδας, πραγματοποιήθηκε η συναρμολόγηση των μεταλλικών δοκών (διαστάσεων 2m), όπου τοποθετήθηκαν 4 μεταλλικοί δοκοί για τη βάση, 4 στις πλευρές και 2 στην κορυφή. Ομοίως, χρησιμοποιήθηκαν τα παραπάνω κανάλια.

2.1.2.4 Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος

Για τις θρεπτικές ανάγκες της καλλιέργειας, χρησιμοποιήθηκαν βασικό πυκνό (1/100 κ.ο) θρεπτικό υδροπονικό διάλυμα, το οποίο διαχωριζόταν σε δύο δοχεία, το δοχείο Α και το δοχείο Β χωρητικότητας 10 lit έκαστο. Τα χημικά λιπάσματα ή στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος ήταν για το δοχείο Α: Calcium nitrate (Νιτρικό ασβέστιο), Potassium nitrate (Νιτρικό κάλιο), Ammonium nitrate (Νιτρικό αμμώνιο), Fe-chelate (Χηλικός σίδηρος) και για το δοχείο Β: Potassium nitrate (Νιτρικό κάλιο), Magnesium sulphate (Θειικό μαγνήσιο), Potassium sulphate (Θειικό κάλιο), Phosphoric acid (Φωσφορικό οξύ), Manganese sulphate (Θειικό μαγγάνιο), Zinc sulphate (Θειικός ψευδάργυρος), Copper sulphate (Θειικός χαλκός), Boric acid (Βορικό οξύ), Ammonium heptamolybdate (Αμμωνιακό μολυβδαίνιο) και Nitric acid (Νιτρικό οξύ). Επομένως το βασικό θρεπτικό διάλυμα είχε την παρακάτω σύσταση; $\text{NO}_3\text{-N}=14,29$, $\text{K}=10,23$, $\text{PO}_4\text{-P}=0,97$, $\text{Ca}=7,48$, $\text{Mg}=5,76$, $\text{SO}_4\text{-S}=1,56$ και $\text{Na}= 1,30$ mmol/L και $\text{B}=18,52$, $\text{Fe}=71,56$, $\text{Mn}=18,21$, $\text{Cu}=4,72$, $\text{Zn}=1,53$ και $\text{Mo}=0,52$ $\mu\text{mol/L}$ αντίστοιχα με επιθυμητή τιμή pH 6,0 και EC 2,0 dS/m.

2.1.2.5 Καλλιεργητικές φροντίδες

Μετά την τελική εγκατάσταση των φυτών στα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας πυραμίδας NFT και συστήματος NFT πραγματοποιήθηκε καταγραφή του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος με φορητό πεχάμετρο / αγωγιμόμετρο (HANNA, USA). Οι μετρήσεις αυτές γίνονταν κάθε 1 ή 2 ημέρες. Στόχος αυτών των μετρήσεων ήταν η διατήρηση του pH στο 6,0 και της EC στο 2,0 dS/m. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας παρατηρήθηκε «κάψιμο κορυφής» (Εικ. 2.1.11) που οφείλεται σε έλλειψη ασβεστίου στα φύλλα της κορυφής ή και στις αυξημένες θερμοκρασίες που επικράτησαν.



Εικόνα 2.1.11. Κάψιμο κορυφής σε μαρούλι.

2.1.2.6 Μετρήσεις και προσδιορισμοί

Για τη μελέτη της κατασκευής και λειτουργίας πυραμίδας υδροπονίας και συστήματος NFT για την υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιού μετρήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι.

- Αριθμός φύλλων
- Μήκος μεγαλύτερου φύλλου και μήκος της ρίζας
- Νωπό και ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος/ρίζας
- Φθορισμός φύλλων
- Προσδιορισμός pH και EC και απορρόφηση θρεπτικού διαλύματος
- Προσδιορισμός θρεπτικών στοιχείων (Κ-φλογοφωτομετρία, Na-φλογοφωτομετρία, Ρ-φασματοφωτομετρία, N- Kjeldahl).

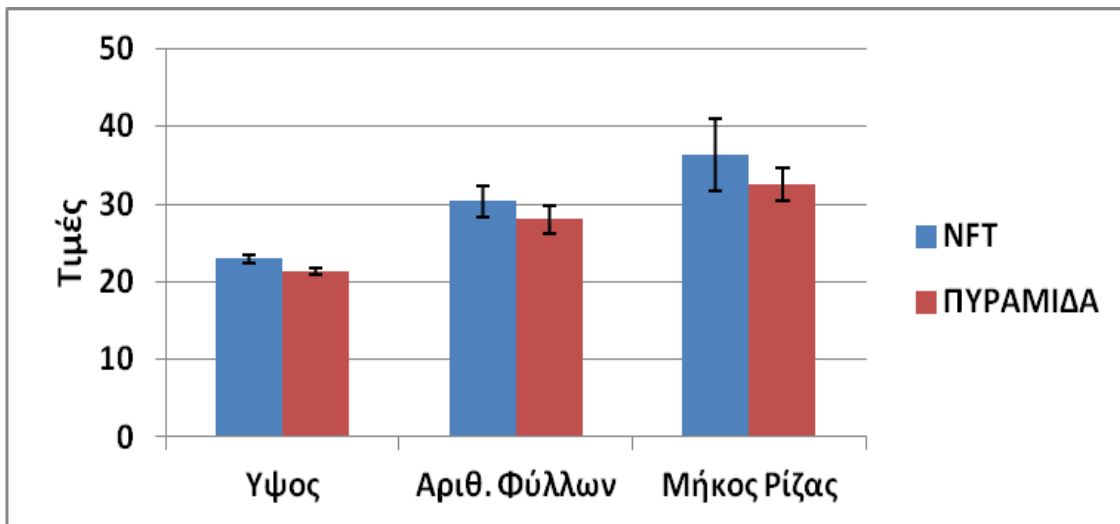
2.1.2.7. Αποτελέσματα

2.1.2.7.1. Συγκριτική μελέτη ανάπτυξης μαρουλιού σε 2 υδροπονικά συστήματα

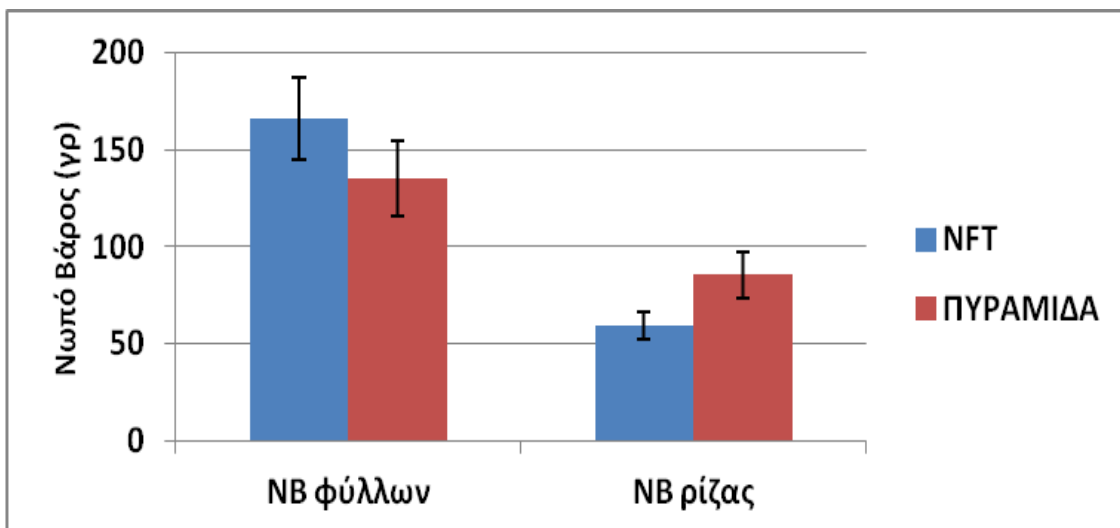
Φυτά μαρουλιού που αναπτύχθηκαν σε NFT και σε σύστημα πυραμίδας, δεν διέφεραν ως προς το ύψος τους (μήκος μεγαλύτερου φύλλου), τον αριθμό των φύλλων που παρήγαγαν αλλά και το μήκος της ρίζας τους (Εικ. 2.1.12). Τα φυτά δεν διέφεραν μεταξύ των δυο συστημάτων ως προς το νωπό τους βάρος, ενώ τα μαρούλια που αναπτύχθηκαν σε σύστημα πυραμίδας, είχαν αυξημένο ξηρό βάρος (Εικ. 2.1.13 και 2.1.14), και αυτό συνδυάζεται με τις αυξημένες τιμές φθορισμού (Εικ. 2.1.15) των φύλλων, όπου αποτελεί δείκτη της καλύτερης φωτοσυνθετικής τους ικανότητας. Το γεγονός αυτό, οφείλεται κυρίως στην εντονότερη ηλιακή ακτινοβολία που δέχονταν τα μαρούλια στο σύστημα πυραμίδας σε σχέση με αυτά στο NFT, λόγω χωροθέτησής τους. Το παραπάνω επιβεβαιώνεται και με τις υψηλότερες τιμές στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες (χλωροφύλλη α, χλωροφύλλη β, ολικές χλωροφύλλες) των μαρουλιών στο σύστημα πυραμίδας (Εικ. 2.1.16).

Τα φυτά μαρουλιού που αναπτύχθηκαν στο σύστημα πυραμίδας είχαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα N και K, και αντίστοιχα μικρότερη περιεκτικότητα Na –τόσο στα φύλλα όσο και στην ρίζα – σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε σύστημα NFT (Εικ. 2.1.17 και 2.1.18). Δεν βρέθηκαν διαφορές στην περιεκτικότητα σε P μεταξύ των 2 υπό μελέτη υδροπονικών συστημάτων, ούτε σε φύλλα ούτε σε ρίζα.

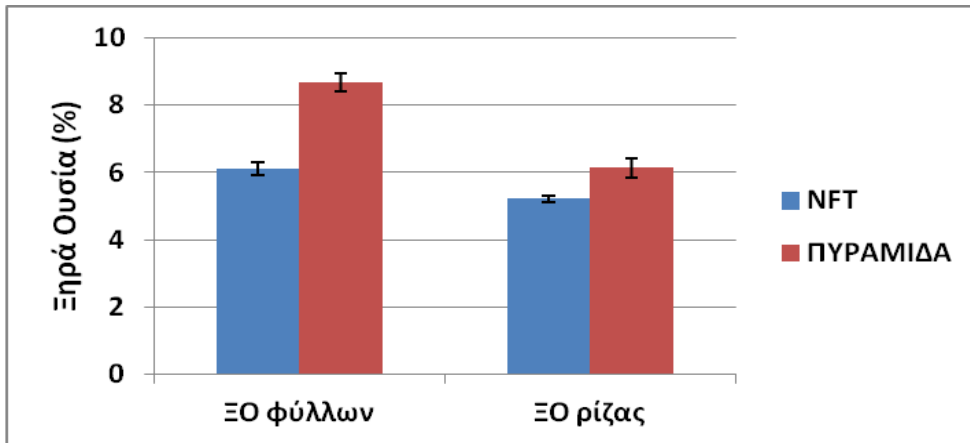
Η διακύμανση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσιάζεται στα διαγράμματα 2.1.19 και 2.1.20.



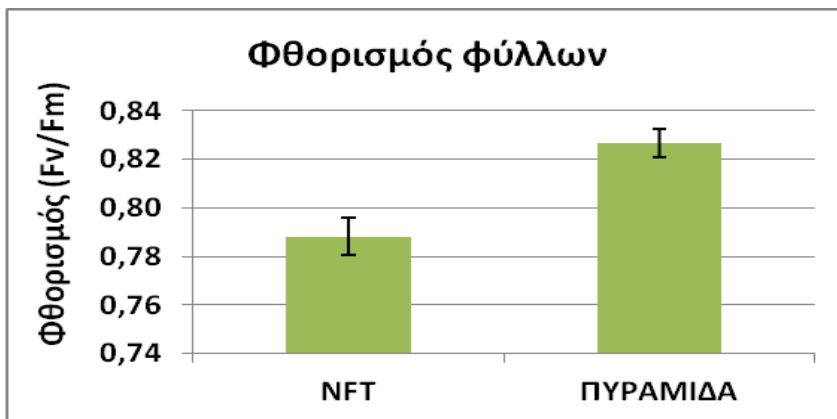
Εικόνα 2.1.12. Επίδραση συστήματος υδροπονίας στην ανάπτυξη φυτών μαρουλιού, σε κλειστό σύστημα.



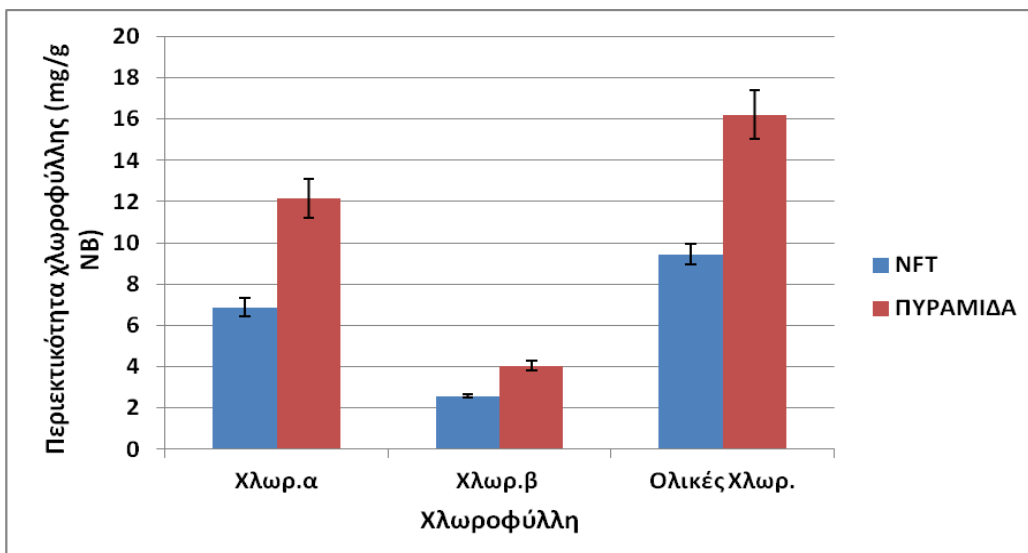
Εικόνα 2.1.13. Επίδραση συστήματος υδροπονίας στο νωπό βάρος των φύλλων και της ρίζας σε φυτά μαρουλιού, σε κλειστό σύστημα.



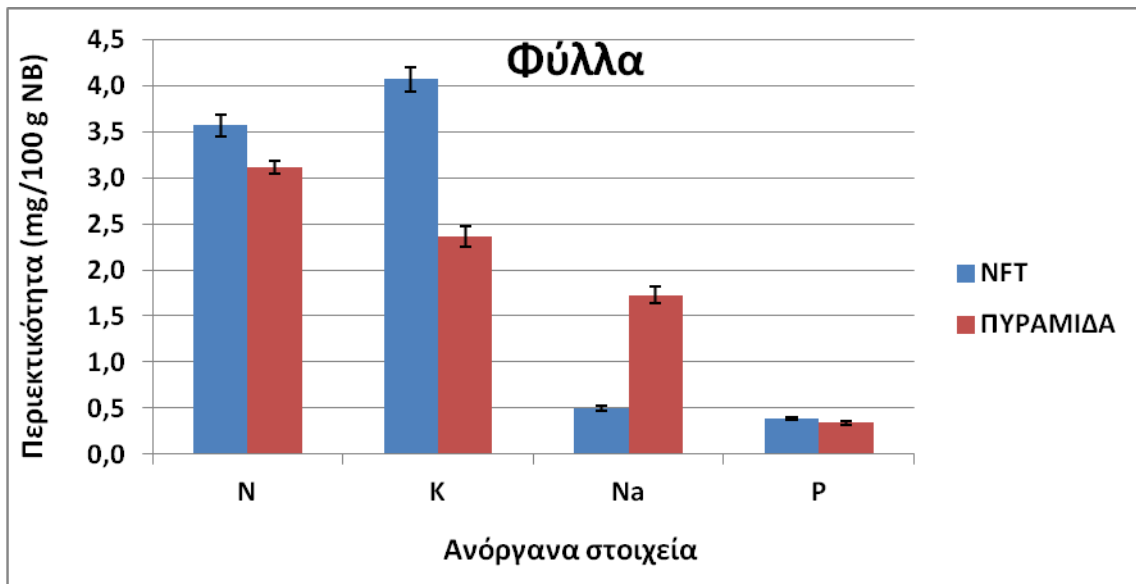
Εικόνα 2.1.14. Επίδραση συστήματος υδροπονίας στην επί τοις εκατό ξηρά ουσία των φύλλων και της ρίζας σε φυτά μαρουλιού, σε κλειστό σύστημα.



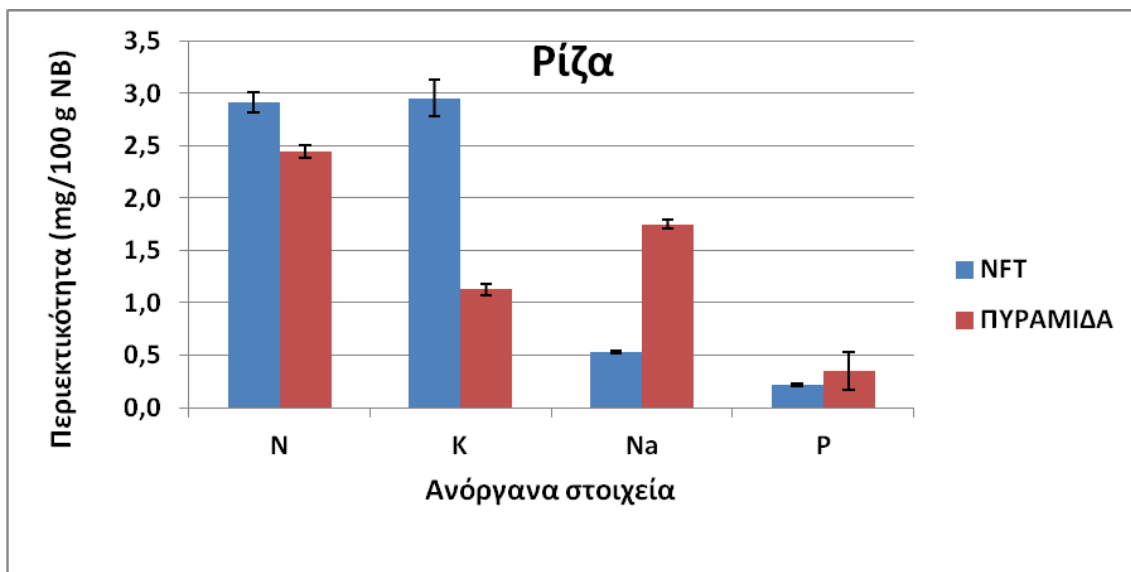
Εικόνα 2.1.15. Επίδραση συστήματος υδροπονίας στο φθορισμό των φύλλων σε φυτά μαρουλιού, σε κλειστό σύστημα.



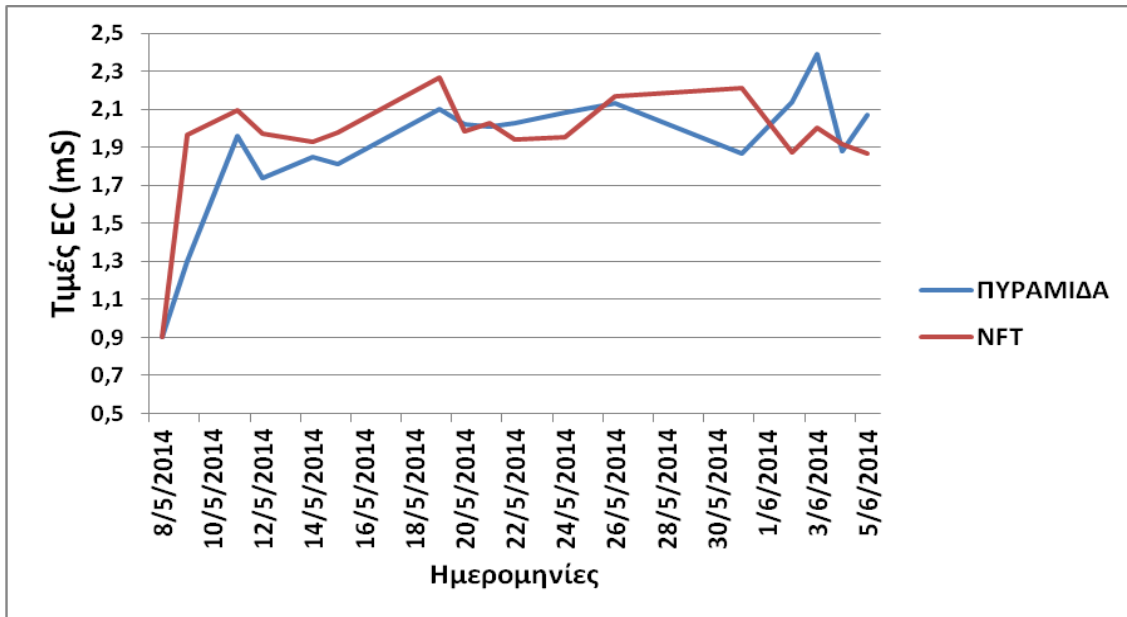
Εικόνα 2.1.16. Επίδραση συστήματος υδροπονίας στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α, χλωροφύλλη β, και σε ολικές χλωροφύλλες σε φυτά μαρουλιού, σε κλειστό σύστημα.



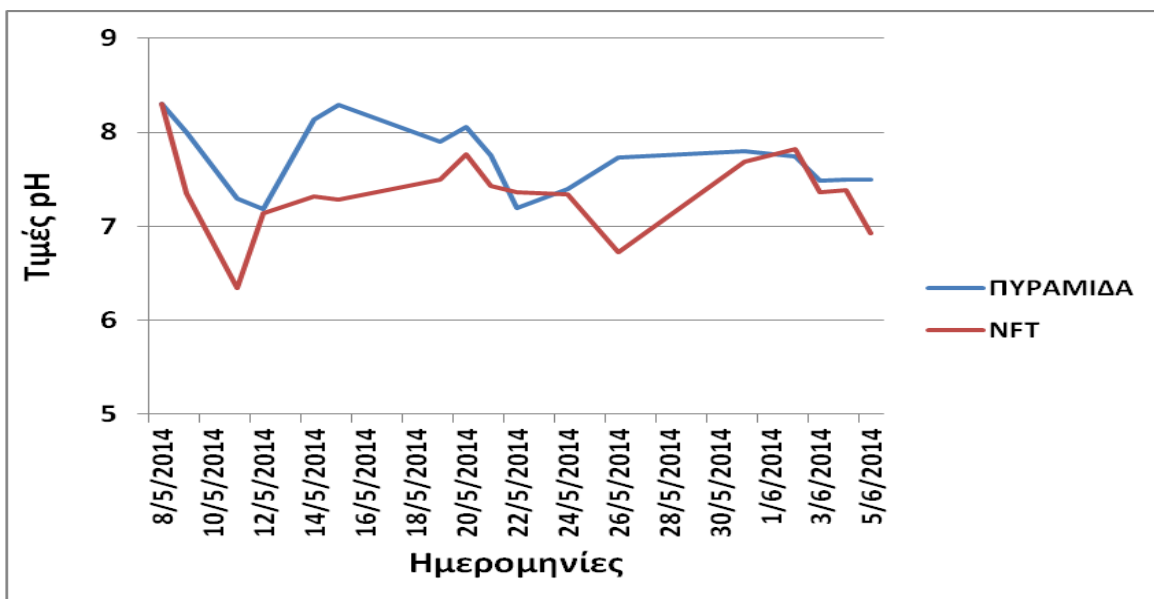
Εικόνα 2.1.17. Επίδραση συστήματος υδροπονίας στην περιεκτικότητα σε N, K, Na και P σε φύλλα μαρουλιού, σε κλειστό σύστημα.



Εικόνα 2.1.18. Επίδραση συστήματος υδροπονίας στην περιεκτικότητα σε N, K, Na και P σε ρίζα μαρουλιού, σε κλειστό σύστημα.



Εικόνα 2.1.19. Επίδραση συστήματος υδροπονίας στην περιεκτικότητα σε N, K, Na και P σε ρίζα, σε κλειστό σύστημα.



Εικόνα 2.1.20. Επίδραση συστήματος υδροπονίας στην περιεκτικότητα σε N, K, Na και P σε ρίζα μαρουλιού, σε κλειστό σύστημα.

2.1.2.7.2. Οικονομοτεχνική ανάλυση ανάπτυξης μαρουλιού σε 2 υδροπονικά συστήματα

Παρακάτω παρουσιάζεται η οικονομοτεχνική μελέτη των δυο υδροπονικών συστημάτων (Πίνακες 2.1.4 και 2.1.5).

Η δομική μονάδα του συστήματος NFT κόστισε 65,53 €, ενώ χρησιμοποιήθηκαν 3 δομικές μονάδες, καταλαμβάνοντας εμβαδόν περίπου 7,5 m² και κόστος 196,59 € (= 3*65,53). Για την κατασκευή του συστήματος, χρειάστηκαν 2 ημερομίσθια (2*40= 80 €). Το συνολικό κόστος επομένως είναι 276,59 € (=196,59 + 80).

Η δομική μονάδα του συστήματος πυραμίδας κόστισε 401,89 €, και χρησιμοποιήθηκε 1 δομική μονάδα, καταλαμβάνοντας το ίδιο εμβαδόν περίπου 7,5 m². Για την κατασκευή του συστήματος, χρειάστηκαν 4 ημερομίσθια (4*40= 160 €). Το συνολικό κόστος επομένως είναι 561,89 € (=401,89 + 160).

Τα δυο συστήματα είχαν σχεδόν την ίδια κατανάλωση πυκνού θρεπτικού διαλύματος για την ρύθμιση των θρεπτικών αναγκών των καλλιεργειών, που κυμάνθηκε στα 7,5 ml/l νερού στο NFT και 7,8 ml/l νερού στην πυραμίδα.

Πίνακας 2.1.4. Οικονομοτεχνική ανάλυση συστήματος NFT.

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ
1. Τριπόδι	⇒ 2	⇒ € 14,00
2. Πλαστικά κανάλια	⇒ 2	⇒ € 21,80
3. Πλαστικό τύπου «Τ»	⇒ 1	⇒ € 0,34
4. Πλαστικές Γωνιές	⇒ 2	⇒ € 0,42
5. Αντλία	⇒ 1	⇒ € 12,00
6. Λάστιχο Φ16	⇒ Σύνολο= 3,95m	⇒ € 0,86
7. Βαρέλι πλαστικό (70 Lt)	⇒ 1	⇒ € 16,11
		ΣΥΝΟΛΟ= € 65,53

Πίνακας 2.1.5. Οικονομοτεχνική ανάλυση συστήματος Πυραμίδας.

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ
1. Μεταλλικές Γωνιές	⇒ 45	⇒ € 15,18
2. Βίδες	⇒ 121	⇒ € 18,45
3. Μέταλλο	⇒ Σύνολο μετάλλου = 31,11m	⇒ € 177,63
4. Πλαστικά κανάλια	⇒ 14	⇒ € 152,60
5. Αντλία	⇒ 1	⇒ € 12,00
6. Βαρέλια πλαστικά (70 Lt)	⇒ 1	⇒ € 16,11
7. Λάστιχο Φ16	⇒ Σύνολο = 6,85m	⇒ € 1,49
8. Λάστιχο Φ20	⇒ Σύνολο = 3,2m	⇒ € 0,86
9. Πλαστικές Γωνιές	⇒ 4	⇒ € 0,84
10. Πλαστικό τύπου «Τ»	⇒ 1	⇒ € 0,34
11. Σιλικόνη	⇒ 1 DEN Braven Sealants Silicone-1001 U	⇒ € 1,99
12. Υγρή κόλα	⇒ 2 Bison	⇒ € 4,40
ΣΥΝΟΛΟ=		€ 401,89

Στο σύστημα NFT, παράχθηκαν $14 \times 6 = 84$ φυτά σε $7,5 \text{ m}^2$ με αρχικό κόστος κατασκευής 3,29 € ανά φυτό.

Στο σύστημα πυραμίδας, παράχθηκαν $14 \times 14 = 196$ φυτά σε $7,5 \text{ m}^2$ με αρχικό κόστος κατασκευής 2,86 € ανά φυτό.

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι ακόμα και το αρχικό κόστος κατασκευής της πυραμίδας είναι οικονομικότερο από το κόστος κατασκευής του NFT για την παραγωγή μαρουλιού στην 1^η καλλιέργεια, για το συγκεκριμένο εμβαδόν του θερμοκηπίου. Δεδομένου ότι το σύστημα της πυραμίδας είναι 2,3 φορές πιο παραγωγικό σε κάθε καλλιέργεια σε σχέση με το αντίστοιχο του NFT, το κέρδος για τον παραγωγό πολλαπλασιάζεται. Αναλυτικότερη μελέτη μπορεί να γίνει σχετικά με την συνολική κατανάλωση λιπασμάτων, νερού και τον χρόνο απόσβεσης των δύο συστημάτων.



Φωτογραφία 2.1.1. Καλλιέργεια μαρουλιού σε NFT.



Φωτογραφία 2.1.2. Καλλιέργεια μαρουλιού σε πυραμίδα.

2.2. Πειραματικές μελέτες στο MAIX

2.2.2.1. Εισαγωγή

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο BN προσανατολισμού στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων. Το πείραμα διήρκεσε από τα μέσα Οκτωβρίου του 2013 μέχρι και το τέλος Μαρτίου 2014. Μελετήθηκαν δυο αναλογίες αμμωνιακών προς ολικό άζωτο σε δυο επίπεδα αλατότητας χρησιμοποιώντας περλίτη ως υπόστρωμα.

2.2.2.2. Προετοιμασία και τοποθέτηση σποροφύτων τομάτας

Δεκαέξι κανάλια τοποθετήθηκαν στο θερμοκήπιο σε διπλή σειρά σε αποστάσεις 0,8 μ. μεταξύ των διπλών γραμμών και 1,2 μ. μεταξύ τους. Δυο πλαστικοί σάκοι διπλής όψης (άσπρο-μαύρο) χωρητικότητας 50 λίτρων (3 φυτά/σάκο) τοποθετήθηκαν πάνω στα κανάλια. Φυτά τομάτας, ποικιλίας 'Belladonna' αναπτυγμένα σε δίσκους με μίγμα τύρφη και περλίτη στο στάδιο εμφάνισης των δυο πρώτων φύλλων τοποθετήθηκαν στους σάκους. Τοποθετήθηκαν τέσσερις δεξαμενές χωρητικότητας 300 λτ και από την κάθε μια εγκαταστάθηκε αρδευτικό δίκτυο με τέτοιο τρόπο ώστε η κάθε δεξαμενή να αρδεύει τέσσερα κανάλια τυχαίοποιημένα στο χώρο. Σταλακτήρες άρδευσης τοποθετήθηκαν στη βάση κάθε μονοστέλεχου φυτού ενώ οι σάκοι είχαν σχισμές στο κατώτατο σημείο για να επιτρέψουν την στράγγιση. Αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο κατέγραφαν τις συνθήκες του χώρου ανά 1,5 ώρα.

2.2.2.3. Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος

Για τις θρεπτικές ανάγκες της καλλιέργειας, συνδέθηκαν σε υδροπονική κεφαλή 6 δοχεία χωρητικότητας 40 λτ. Κατά τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικές υδροπονικές συνταγές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- 1) NH_4^+/N ολικό= 0,05 και ηλεκτρική αγωγιμότητα 2,2 dS/m
- 2) NH_4^+/N ολικό= 0,15 και ηλεκτρική αγωγιμότητα 2,2 dS/m
- 3) NH_4^+/N ολικό= 0,05 και ηλεκτρική αγωγιμότητα 7,5 dS/m
- 4) NH_4^+/N ολικό= 0,15 και ηλεκτρική αγωγιμότητα 7,5 dS/m.

Σε όλες τις παραπάνω συνταγές ο λόγος N/K κρατήθηκε σταθερός και ίσος με 1,8 όπως σταθερός κρατήθηκε και ο λόγος K:Ca:Mg που ήταν 0,46:0,38:0,16. Για την παρασκευή της πρώτης και της δεύτερης συνταγής χρησιμοποιήθηκαν τρία δοχεία. Το δοχείο A που περιείχε Calcium nitrate (Νιτρικό ασβέστιο), Potassium nitrate (Νιτρικό κάλιο), Ammonium nitrate (Νιτρικό αμμώνιο), Fe-chelate (Χηλικός σίδηρος) το δοχείο B που περιείχε Potassium nitrate (Νιτρικό κάλιο), Magnesium sulphate (Θειικό μαγνήσιο), Potassium

sulphate (Θειικό κάλιο), Monopotassium phosphate (Φωσφορικό μονοκάλιο), Manganese sulphate (Θειικό μαγγάνιο), Zinc sulphate (Θειικός ψευδάργυρος), Copper sulphate (Θειικός χαλκός), Borax (Βόρακας), Sodium heptamolybdate (Επταμολυβδαινικό νάτριο). Σε κάθε συνταγή το pH ρυθμίζονταν στο 5,6 με ένα τρίτο δοχείο 40 λτ που περιείχε 0,517 λτ Νιτρικού οξέος καθαρότητας 68%. Στις δυο συνταγές υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας προσθέτονταν 6,975 λτ διαλύματος χλωριούχου νατρίου 2 M πριν από την τελική αραιώση των θρεπτικών διαλυμάτων.

2.2.2.4. Καλλιεργητικές φροντίδες

Το θρεπτικό διάλυμα στο υδροπονικό σύστημα χορηγείτο με σταλακτήρες από τη δεξαμενή άρδευσης του επί 5 λεπτά/ώρα (ποσοστό ροής $100 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) μέσω αντλίας ενεργοποιούμενης με χρονοδιακόπτη. Τα φυτά κλαδεύονταν σε μονοστέλεχη μορφή ανά 10 ημέρες ενώ από την πρώτη εβδομάδα στηρίχτηκαν με σπάγκο από σύρματα τα οποία είχαν απλωθεί στο θερμοκήπιο σε ύψος 2,2 μ.

2.2.2.5. Μετρήσεις και προσδιορισμοί

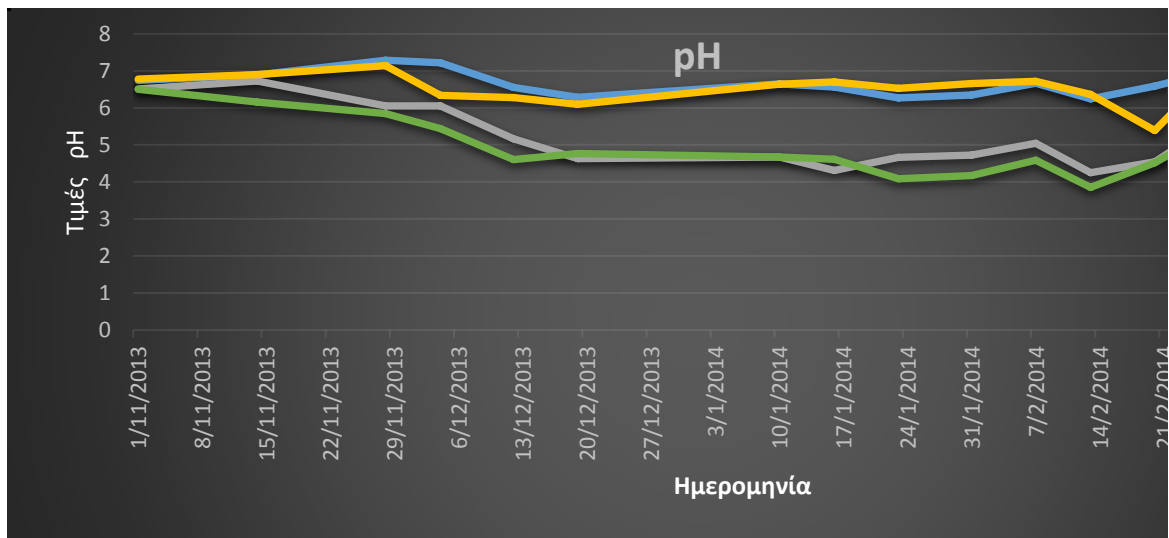
Εβδομαδιαία σε δείγματα του θρεπτικού διαλύματος απορροής γινόταν μετρήσεις pH, E.C και συγκέντρωσης νιτρικών φασματοφωτομετρικά ενώ μια φορά το μήνα μετρήθηκαν με (ICP-OES) οι συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, P, Na, Fe, Cu, Mn, Zn, B. Δείγματα καρπών αναλύθηκαν για ολικό άζωτο με συσκευή Kjeldahl ενώ η ανάλυση για K, Ca, Mg, P, Na, Fe, Cu, Mn, Zn, B έγινε με ξηρή καύση στους 550°C και προσδιορισμός τους με ICP-OES.

Οκτώ εβδομάδες από τη μεταφύτευση, το ύψος φυτών, αριθμός φύλλων και αριθμός καρπών καταγράφηκε σε μηνιαία βάση. Η περίοδος συγκομιδής διάρκεσε τέσσερις μήνες. Στην δεύτερη ταξικαρπία έγιναν μετρήσεις ποιοτικής ανάλυσης οι οποίες περιλάμβαναν το νωπό βάρος καρπών, αντοχή σάρκας στην πίεση, ολικά διαλυτά στερεά (TSS), ολικές πρωτεΐνες, ολικές φαινόλες, περιεκτικότητα σε βιταμίνη C (πιπλοδότηση με 2,6-Dichloroindophenol) καθώς και περιεκτικότητα σε λυκοπένιο και β-καροτένιο με φασματοσκοπία.

2.2.2.6. Αποτελέσματα

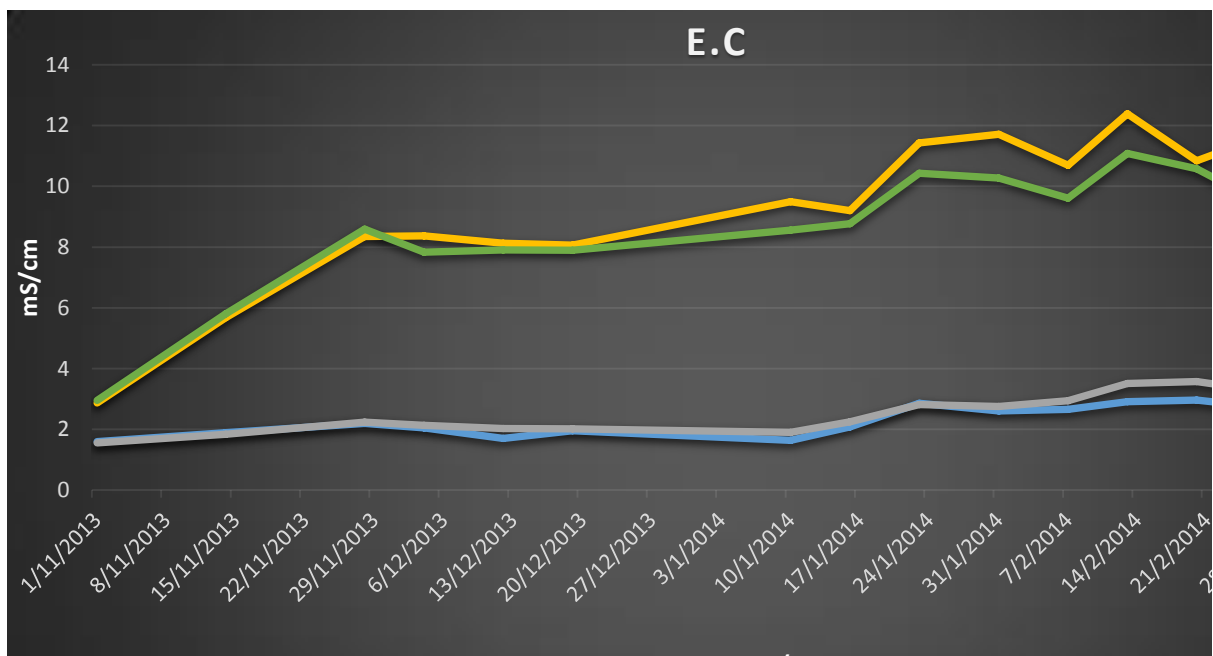
Οι μετρήσεις pH, E.C και νιτρικών στα θρεπτικά διαλύματα απορροής έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

A) Μετά τα μέσα Δεκεμβρίου όπου άρχισε και η πτώση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο το pH επηρεάστηκε από τη συγκέντρωση αμμωνιακών αλλά όχι και από την υψηλή αλατότητα. Αναλυτικότερα ενώ στην αναλογία NH_4^+/N ολικό=0.05 οι τιμές pH ήταν μεταξύ 6,5 και 7,8 στην αναλογία NH_4^+/N ολικό=0.15 έφτασαν μέχρι και 3,8 ενώ δεν ανήλθαν άνω του 5,2 από τα μέσα Δεκεμβρίου και μετά (Εικ. 2.2.1).



Εικόνα 2.2.1. Διακύμανση του pH του διαλύματος απορροής κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας.

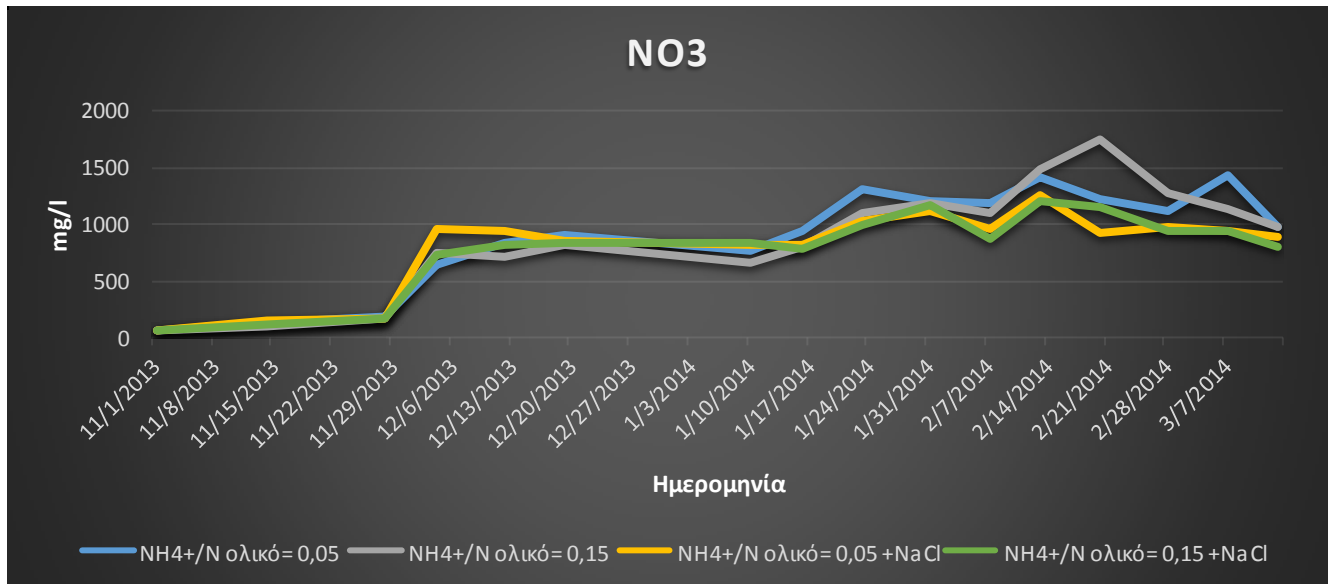
Β) Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στις μεταχειρίσεις χαμηλής αλατότητας δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την αναλογία NH_4^+/N ολικό. Αντίθετα στις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν υψηλότερη στην αναλογία NH_4^+/N ολικό=0,05 (Εικ. 2.2.2)



Εικόνα 2.2.2. Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας.

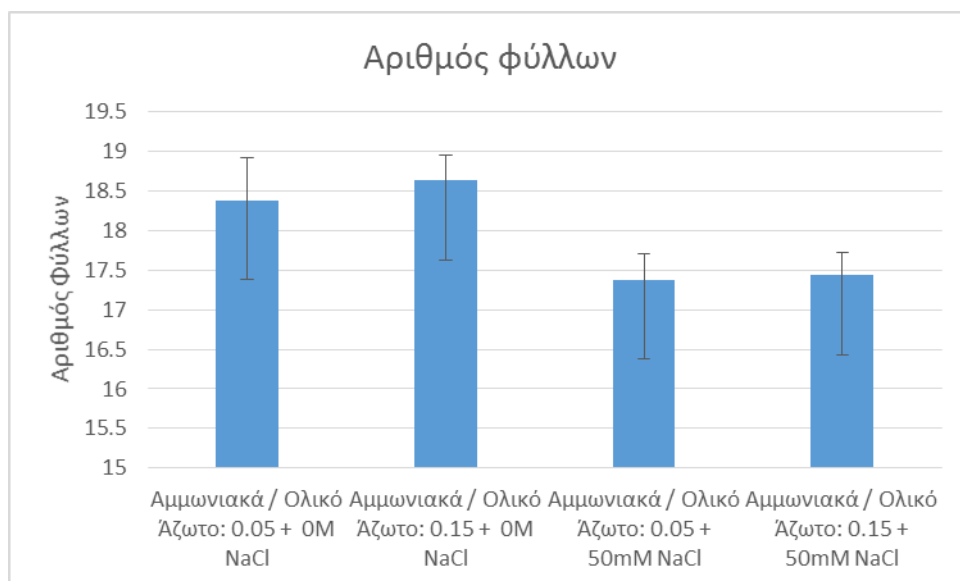
Γ) Δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στη συσσώρευση νιτρικών στο υπόστρωμα μεταξύ των μεταχειρίσεων μέχρι και τα τέλη Νοεμβρίου. Από τις αρχές μέχρι

τα μέσα Νοεμβρίου παρατηρήθηκε μια πρώτη συσσώρευση νιτρικών στη μεταχείριση με αναλογία $\text{NH}_4^+/\text{Νολικό}=0,05$ σε υψηλή αλατότητα η οποία παρατηρήθηκε και στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις από τα μέσα Δεκεμβρίου και μετά. Εντονότερη ήταν η συσσώρευση νιτρικών μετά τα μέσα Φεβρουαρίου στην μεταχείριση με αναλογία $\text{NH}_4^+/\text{Νολικό}=0,15$ σε συνθήκες χαμηλής αλατότητας.



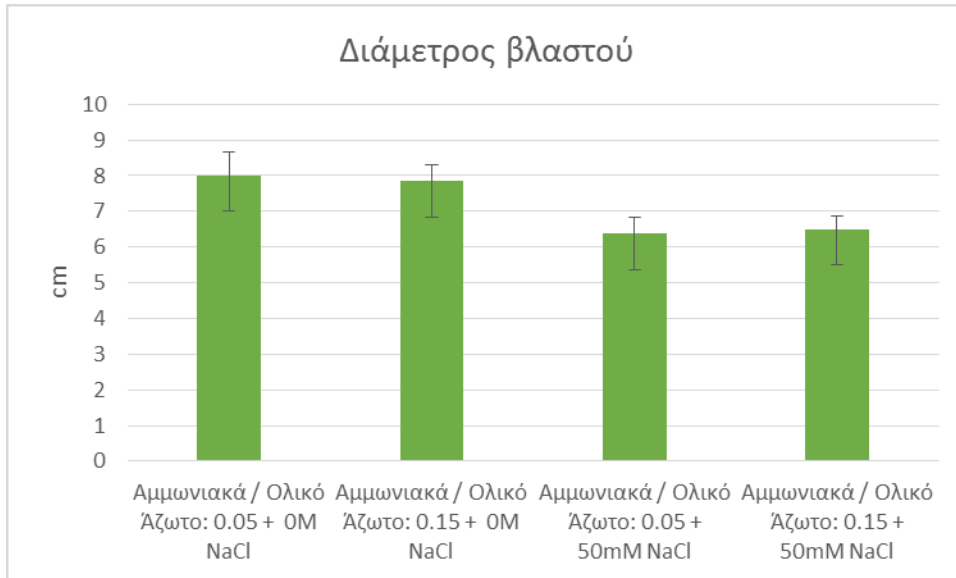
Εικόνα 2.2.3. Διακύμανση της συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων του διαλύματος απορροής κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας.

Στις μετρήσεις που έγιναν οκτώ εβδομάδες μετά τη μεταφύτευση φάνηκε ότι ο αριθμός φύλλων επηρεάστηκε σημαντικά από την παρουσία αλατότητας μειώνοντάς τον σημαντικά, ενώ δεν επηρέασε η αναλογία $\text{NH}_4^+/\text{Νολικό}$ (Εικ. 2.2.4).



Εικόνα 2.2.4. Αριθμός φύλλων φυτών τομάτας δύο μήνες μετά τη μεταφύτευση.

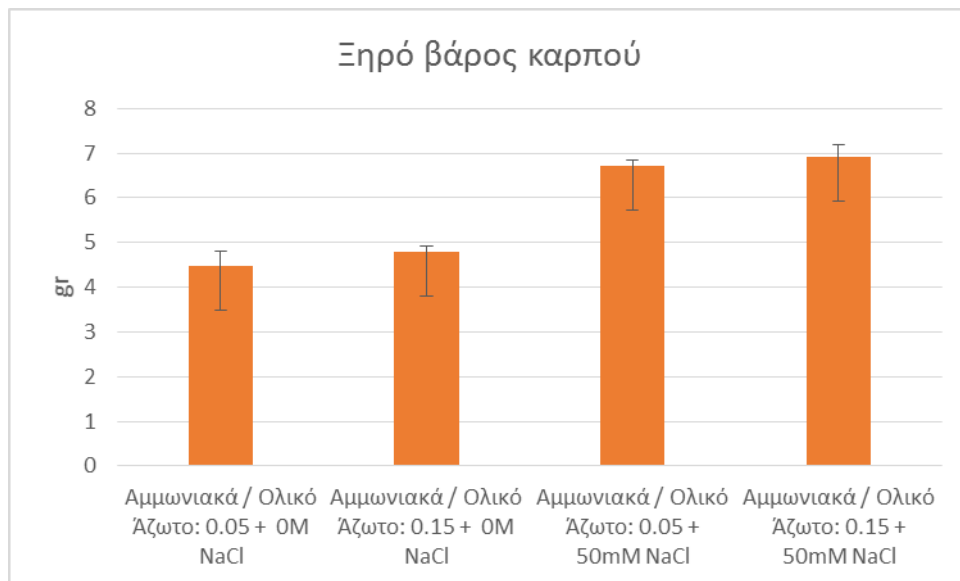
Στις μετρήσεις που έγιναν στη διάμετρο του βλαστού η αλατότητα φάνηκε να επηρεάζει αρνητικά το πάχος του βλαστού. Η αύξηση της αναλογίας NH_4^+ /Νολικό φάνηκε να επηρεάζει αρνητικά στις συνθήκες χαμηλής αλατότητας και θετικά σε συνθήκες υψηλής αλλά όχι στατιστικώς σημαντικά.



Εικόνα 2.2.5. Διάμετρος βλαστού φυτών τομάτας δύο μήνες μετά τη φύτευση.

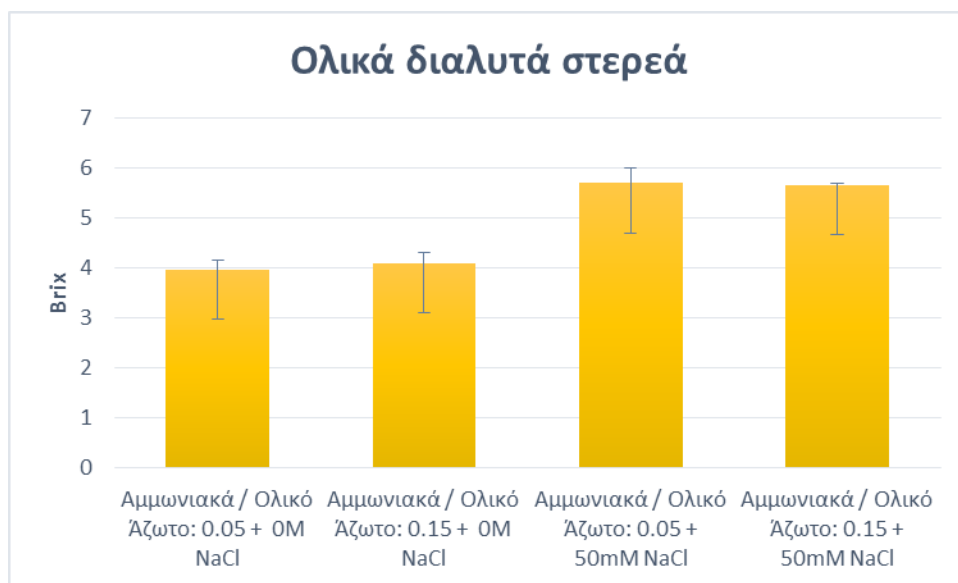
Οι υπόλοιπες μετρήσεις που αφορούσαν τη βλαστική ανάπτυξη δεν έδωσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Οι αναλύσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών που έγιναν στους καρπούς της δεύτερης ταξικαρπίας έδειξαν ότι η ποιότητα των καρπών επηρεάζεται τόσο από την αναλογία NH_4^+ /Νολικό όσο και από την αλατότητα του θρεπτικού διαλύματος. Αναλυτικότερα ξηρό βάρος καρπού αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά από την παρουσία αλατότητας αλλά δεν επηρεάστηκε από την αναλογία NH_4^+ /Νολικό (Εικ. 2.2.6).



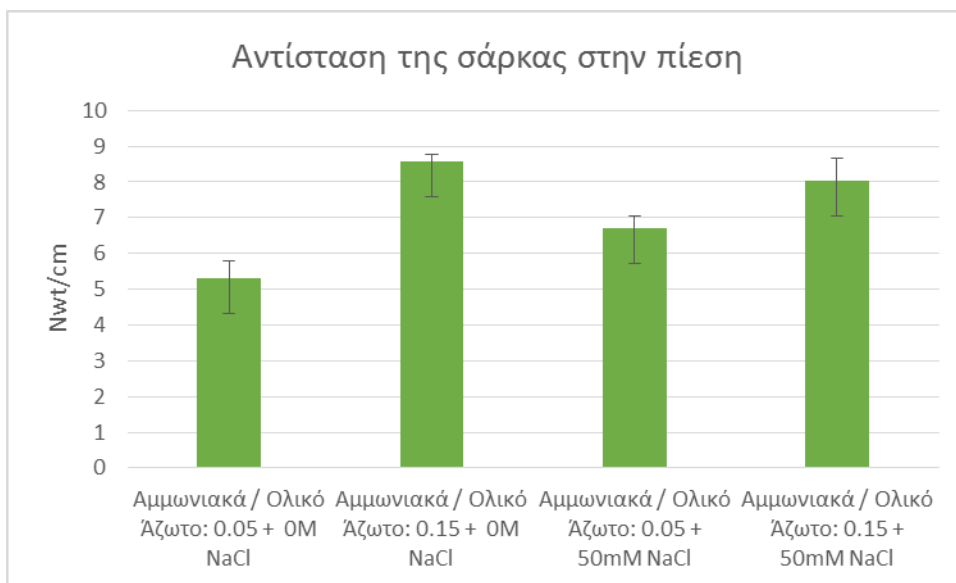
Εικόνα 2.2.6. Ξηρό βάρος καρπού σε γραμμάρια.

Αντίστοιχα επηρεάστηκαν και τα ολικά διαλυτά στερεά όπου σε συνθήκες υψηλής αλατότητας ήταν στατιστικά σημαντικά αυξημένα σε σχέση με τη χαμηλή (Εικ. 2.2.7)



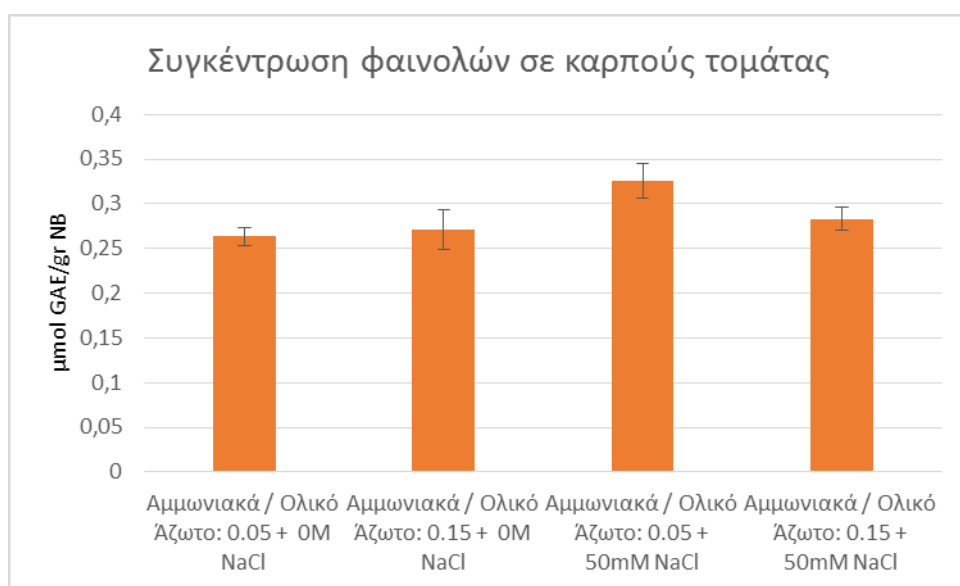
Εικόνα 2.2.7. Περιεκτικότητα καρπών σε ολικά διαλυτά στερεά.

Η αύξηση της αναλογίας NH_4^+ /Νολικό επηρεάζει σημαντικά την αντίσταση της σάρκας εις την πίεση τόσο σε χαμηλή όσο και σε υψηλή αλατότητα (Εικ. 2.2.7). Η αλατότητα φάνηκε να αυξάνει την αντίσταση της σάρκας εις την πίεση μόνο στην περίπτωση όπου η αναλογία NH_4^+ /Νολικό κρατήθηκε στο 0,05.



Εικόνα 2.2.7. Αντίσταση της σάρκας καρπού τομάτας στην πίεση σε Nwt/cm.

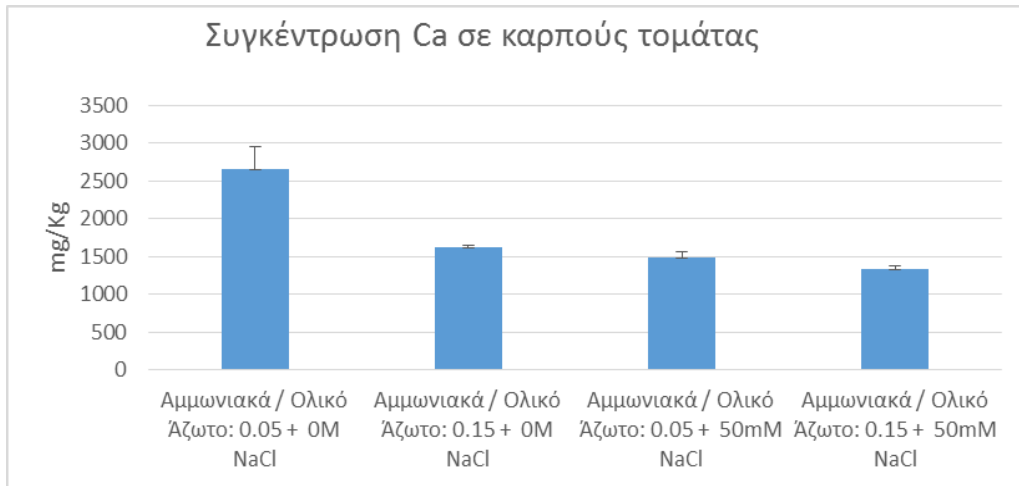
Η αύξηση της αλατότητας επίσης αυξάνει σημαντικά τη συγκέντρωση φαινολών στους καρπούς τομάτας. Η αναλογία NH_4^+ /Νολικό επηρέασε θετικά σε συνθήκες χαμηλής αλατότητας και αρνητικά σε συνθήκες υψηλής αλλά όχι στατιστικώς σημαντικά.



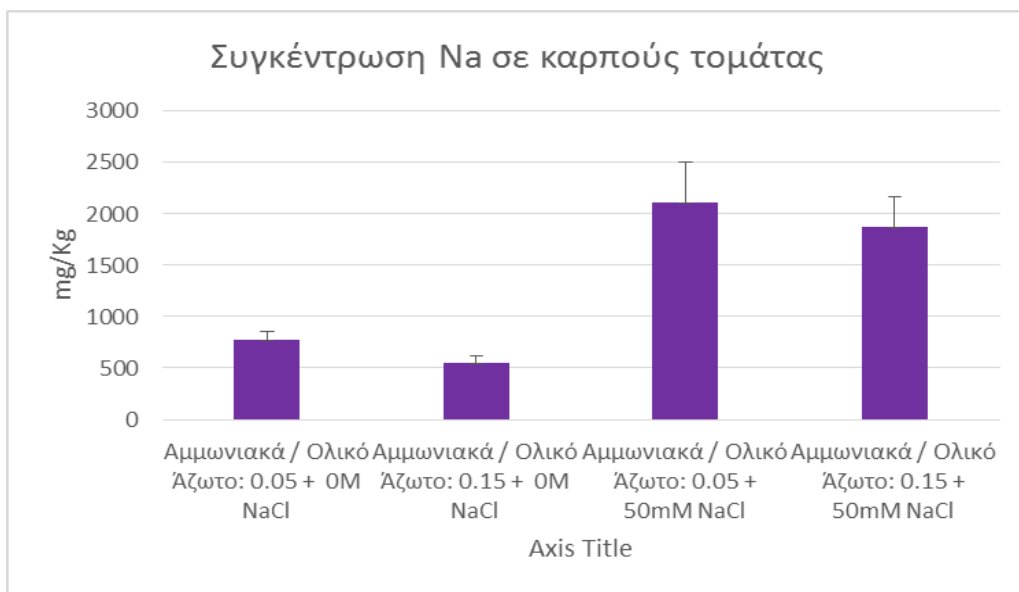
Εικόνα 2.2.8. Συγκέντρωση φαινολών σε καρπούς τομάτας σε μmol GAE/gr NB.

Η ανάλυση ανόργανων στοιχείων στο χυμό από τους καρπούς της δεύτερης ταξικαρπίας έδειξε ότι η συγκέντρωση τους επηρεάζεται τόσο από την αναλογία NH_4^+ /Νολικό αλλά και από την παρουσία ή όχι χλωριούχου νατρίου στο θρεπτικό διάλυμα. Η συγκέντρωση ασβεστίου ήταν σημαντικά υψηλότερη στην αναλογία NH_4^+ /Νολικό=0,05 στη μεταχείριση χαμηλής αλατότητας. Στις ίδιες συνθήκες αυξάνοντας την συγκέντρωση

αμμωνιακών ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα μειώνεται η συγκέντρωση Ca στους καρπούς πράγμα που δηλώνει την ανταγωνιστική δράση απορρόφησης των αμμωνιακών ιόντων έναντι των ιόντων ασβεστίου. Σε συνθήκες υψηλής αλατότητας ο ανταγωνισμός μεταξύ NH_4^+ και Ca^{+2} δεν παρατηρήθηκε (Εικ 2.2.9). Παρατηρήθηκε όμως έντονος ανταγωνισμός μεταξύ Na^+ και Ca^{+2} (Εικ.2.2.10).

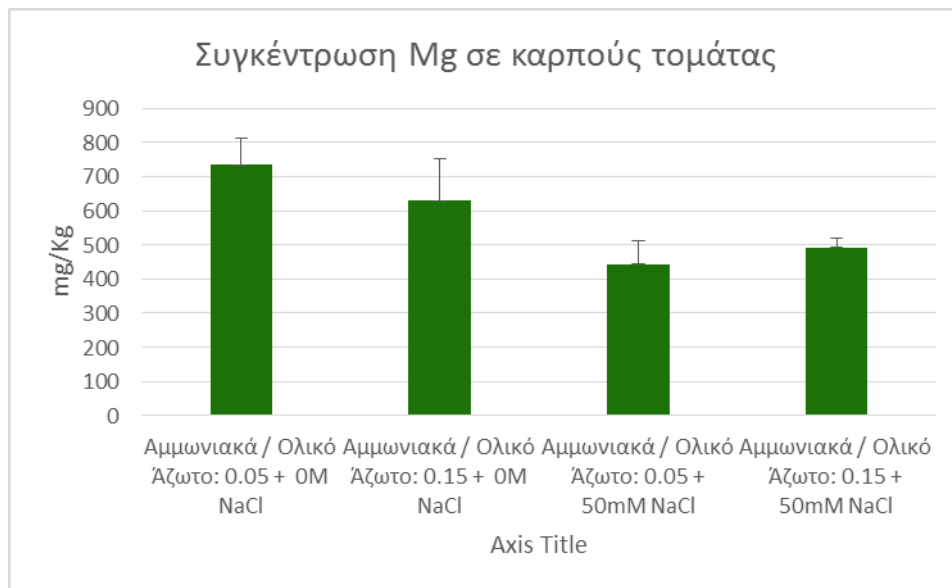


Εικόνα 2.2.9. Συγκέντρωση ασβεστίου σε καρπούς τομάτας σε mg/Kg.



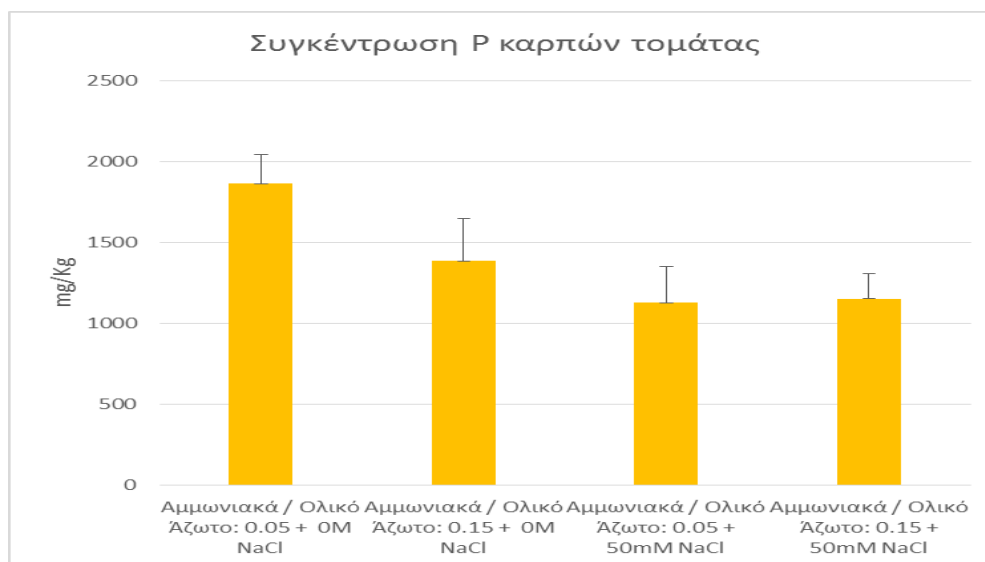
Εικόνα 2.2.10. Συγκέντρωση νατρίου σε καρπούς τομάτας σε mg/Kg.

Αντίστοιχα αποτελέσματα έδωσε και η συγκέντρωση μαγνησίου στους ίδιους καρπούς. Παράλληλα με το ασβέστιο τα αμμωνιακά ιόντα φαίνεται να ανταγωνίζονται την πρόσληψη μαγνησίου, φαινόμενο το οποίο μειώνεται σε μη στατιστικά σημαντικά επίπεδα σε συνθήκες υψηλής αλατότητας (Εικ. 2.2.11).

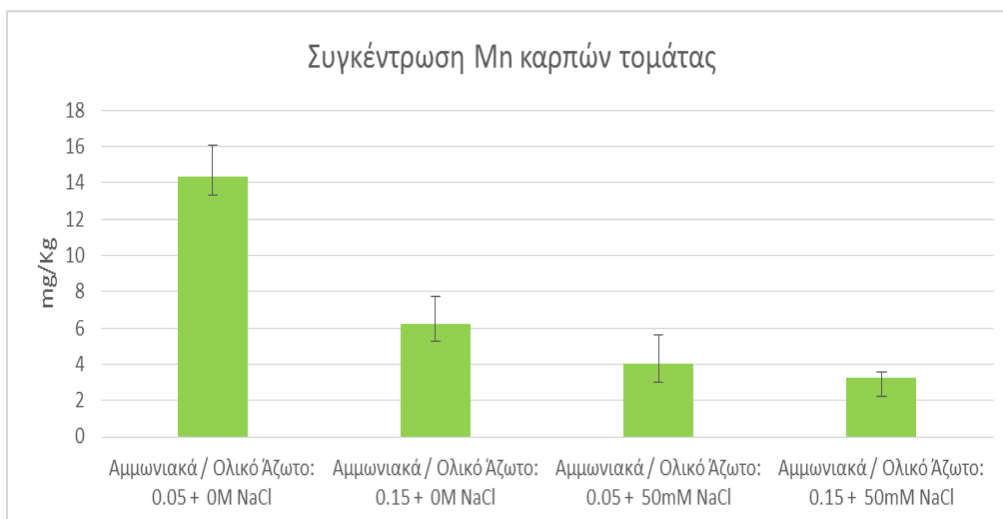


Εικόνα 2.2.11. Συγκέντρωση μαγνησίου σε καρπούς τομάτας σε mg/Kg.

Στατιστικώς σημαντική ήταν η επίδραση του pH του διαλύματος απορροής στην απορρόφηση του φωσφόρου από τους καρπούς τομάτας στις μεταχειρίσεις χαμηλής αλατότητας. Η πτώση του pH επηρέασε αρνητικά την συγκέντρωση φωσφόρου στους καρπούς σε συνθήκες χαμηλής αλατότητας φαινόμενο το οποίο δεν παρουσιάστηκε σε συνθήκες υψηλής αλατότητας παρά του γεγονότος ότι και εκεί παρατηρήθηκε αντίστοιχη πτώση του pH (Εικ. 2.2.12). Αντίστοιχα συμπεράσματα διεξάγονται και από την συγκέντρωση μαγγανίου στους ίδιους καρπούς (Εικ. 2.2.13).

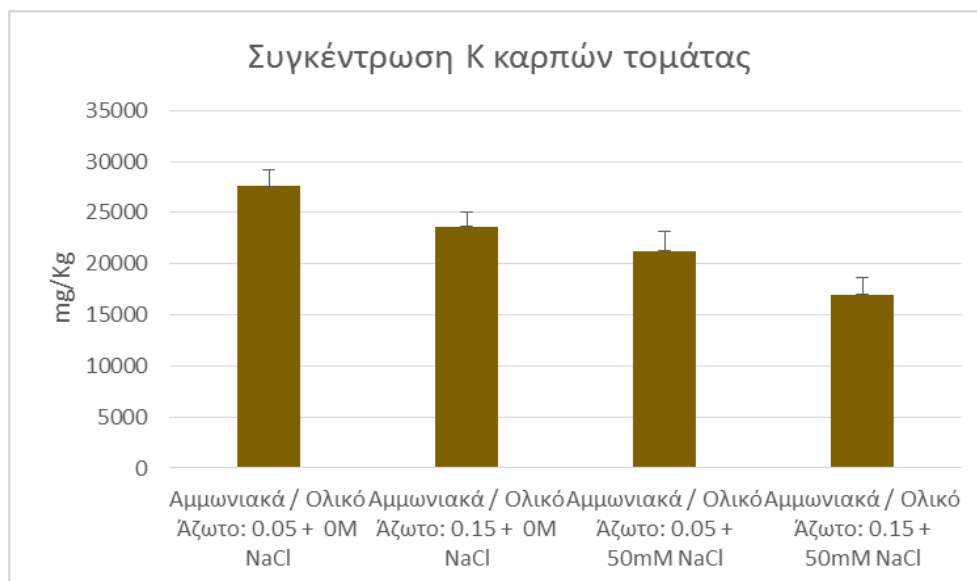


Εικόνα 2.2.12. Συγκέντρωση φωσφόρου σε καρπούς τομάτας σε mg/Kg.



Εικόνα 2.2.13. Συγκέντρωση μαγγανίου σε καρπούς τομάτας σε mg/k.

Όσον αφορά τη συγκέντρωση καλίου στους καρπούς, επηρεάστηκε από την αναλογία NH_4^+ /Νολικό. Επίσης μειωμένη ήταν η συγκέντρωση καλίου σε συνθήκες υψηλής αλατότητας, φαινόμενο το οποίο ήταν ακόμα πιο έντονο όταν η αναλογία NH_4^+ /Νολικό ήταν υψηλή.



Εικόνα 2.2.13. Συγκέντρωση καλίου σε καρπούς τομάτας σε mg/k.

Στα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στους καρπούς.

2.2.2.6. Συμπεράσματα

Η αναλογία NH_4^+ /Νολικό στο θρεπτικό διάλυμα είναι φαίνεται να έχει πολύ μεγάλη σημασία τόσο για την ανάπτυξη του φυτού όσο και για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των

καρπών που παράγονται. Η συγκεκριμένη αναλογία φαίνεται να έχει διαφορετική συμπεριφορά σε χαμηλή και σε υψηλή αλατότητα παρά του γεγονότος ότι επηρεάζει τη διακύμανση του pH αντίστοιχα. Επίσης οι επιπτώσεις της συγκεκριμένης αναλογίας φαίνεται να επηρεάζονται τόσο από τις καιρικές συνθήκες όσο και από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Αντίστοιχα πειράματα θα πρέπει να γίνουν και με διαφορετικά είδη καθώς και σε διαφορετικές συνθήκες ώστε να καταλήξουμε σε ακόμα πιο ασφαλή συμπεράσματα.



Φωτογραφία 2.2.1. Καλλιέργεια τομάτας σε περλίτη.

2.3. Πειραματικές μελέτες στον ΕΛΓΟ

2.3.1. Καλλιέργεια μαρουλιού με το σύστημα NFT και με το σύστημα επίπλευσης

2.3.1.1. Εισαγωγή

Τα πειράματα που έγιναν στον ΕΛΓΟ αφορούσαν την προσαρμοστικότητα υδροπονικής καλλιέργειας μαρουλιού στις συνθήκες της Κρήτης. Έτσι έγινε καλλιέργεια μαρουλιού με το σύστημα επίπλευσης (DFT) και καλλιέργεια με το σύστημα λεπτής στοιβάδας θρεπτικού διαλύματος (NFT). Μελετήθηκαν δύο επίπεδα νιτρικών σε συνδυασμό με δύο επίπεδα αλατότητας. Επίσης, έγινε χρήση επιλεκτικών ηλεκτροδίων νιτρικών για τον έλεγχο της συγκέντρωσης των νιτρικών στο θρεπτικό διάλυμα και στα φύλλα.

Η μελέτη έγινε με την διεξαγωγή τριών πειραμάτων και στα δύο παραπάνω συστήματα καλλιέργειας. Στο 1^ο πείραμα εφαρμόστηκαν δύο επίπεδα νιτρικών (κανονική και μέτρια υψηλή συγκέντρωση) με δύο επίπεδα αλατότητας στο νερό άρδευσης, ενώ στα επόμενα πειράματα έγινε εφαρμογή πάλι δύο επιπέδων νιτρικών αλλά σε αυτή την περίπτωση κανονική και υψηλή συγκέντρωση με δύο επίπεδα αλατότητας (χαμηλό και υψηλό). Η μόνη διαφοροποίηση μεταξύ του 2^{ου} και του 3^{ου} πειράματος ήταν η εποχή καλλιέργειας (χειμώνας και τέλος άνοιξης αντίστοιχα).

Το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο πείραμα είχε κανονική και αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών στο θρεπτικό διάλυμα για να διερευνηθεί εάν με την αυξημένη συγκέντρωση έχουμε υπέρβαση των ορίων νιτρικών στα φύλλα.

Από τα αποτελέσματα του πρώτου πειράματος διαπιστώθηκε ότι δεν έχουμε υπέρβαση των ορίων με την αυξημένη συγκέντρωση 15 mmol/l στο θρεπτικό διάλυμα και στα επόμενα πειράματα εφαρμόστηκε συγκέντρωση αρκετά υψηλότερη στο επίπεδο των 25 mmol/l.

Συνολικά, πραγματοποιήθηκε η προετοιμασία και η εγκατάσταση των υποδομών του πειράματος, η ανάπτυξη της καλλιέργειας και οι μετρήσεις των φυτών (η συγκέντρωση των νιτρικών στα φύλλα και στο θρεπτικό διάλυμα με την χρήση εκλεκτικών ηλεκτροδίων, ο αριθμός των φύλλων και μήκος μεγαλύτερου φύλλου, το νωπό και ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος, οι παράμετροι ανταλλαγής αερίων, η διακύμανση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του διαλύματος, η προσθήκη πυκνού θρεπτικού διαλύματος και οξέος. Επιπλέον προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα των θρεπτικών στοιχείων (K, Na, P, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu) στα φύλλα τις ρίζες και το θρεπτικό διάλυμα.

2.3.1.2 Προετοιμασία και τοποθέτηση σποριόφυτων μαρουλιού

Στο πρώτο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 1152 έτοιμα σπορόφυτα μαρουλιού *Lactuca sativa* (ποικιλίας Κως Ρωμάνα) τα οποία μεταφυτεύτηκαν απευθείας στην οριστική τους θέση στα συστήματα καλλιέργειας (NFT και επιπλέουσα). Στο 2^ο και το 3^ο πείραμα

χρησιμοποιήθηκαν σπορόφυτα μαρουλιού της ίδιας ποικιλίας, η οποία ως επί το πλείστον καλλιεργείται στην Κρήτη, τα οποία προέρχονταν από σπόρο που τοποθετήθηκε σε πλαστικούς δίσκους πολλαπλών θέσεων 48x28,5 cm στους οποίους είχε προστεθεί φυτόχωμα. Οι δίσκοι παρέμειναν σε σπορείο εντός του θερμοκηπίου, με σκοπό την ανάπτυξη των σποροφύτων και αρδεύονταν καθημερινά κατά την διάρκεια της ημέρας. Όταν τα σπορόφυτα απέκτησαν κατάλληλο μέγεθος έγινε η μεταφύτευση στις τελικές θέσεις στα δύο συστήματα καλλιέργειας.



Εικόνα 2.3.1. Σπορόφυτα μαρουλιού

2.3.1.3 Προετοιμασία συστημάτων NFT και επιπλέουσας υδροπονίας

Για το σύστημα NFT χρησιμοποιήθηκαν 24 κανάλια από λευκό PVC διαστάσεων μήκους 6 m, πλάτους 10 cm και ύψους 6 cm. Σε κάθε κανάλι δημιουργήθηκαν 24 θέσεις (κάθε 25 cm). Τα κανάλια τοποθετήθηκαν σε ύψος 1 m από το δάπεδο του θερμοκηπίου με κλίση 2% πάνω σε μεταλλικές δοκούς και με μεταξύ τους απόσταση 25 cm ώστε οι θέσεις φύτευσης να σχηματίζουν ρόμβο διαστάσεων 25x25 cm. Η τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος γινόταν από το πάνω άκρο των καναλιών όπου με φυσική ροή επέστρεφε στο δοχείο τροφοδοσίας 60 lt. Κάθε δοχείο τροφοδοτούσε δύο κανάλια με αποτέλεσμα από τα 24 κανάλια να δημιουργούνται 12 αυτόνομα υδροπονικά συστήματα με 48 φυτά έκαστο. Η ανακύκλωση του

διαλύματος γινόταν με την βοήθεια υποβρύχιας αντλίας η οποία είχε τοποθετηθεί στο δοχείο συλλογής και επανατροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος.

Για το σύστημα DFT κατασκευάστηκαν δεξαμενές από κησιρότουβλα με επικάλυψη πλαστικού φύλου πολυαιθυλενίου πάχους 500 μικρών. Οι διαστάσεις κάθε δεξαμενής ήταν 5,20 μήκος, πλάτος 55 εκ. και βάθους 30 εκ.. Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν ίδιο με αυτό του NFT. Τα μαρούλια τοποθετήθηκαν πάνω σε πλάκες διογκωμένου πολυστυρένιου που επέπλεαν στο θρεπτικό διάλυμα, με οπές φύτευσης 25 επί 25 σε ρομβοειδή διάταξη.

2.3.1.4 Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος

Για την κάλυψη των θρεπτικών αναγκών της καλλιέργειας, χρησιμοποιήθηκαν δύο πυκνά διαλύματα Α και Β τα οποία αραιώνονταν με νερό σε αναλογία 1:100 πριν την χορήγησή τους στην καλλιέργεια. Τα χημικά λιπάσματα ή στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος ήταν για το δοχείο Α: Νιτρικό ασβέστιο, Νιτρικό κάλιο, Νιτρικό αμμώνιο, Χηλικός σίδηρος 8% και για το δοχείο Β: Νιτρικό κάλιο, Θειικό μαγνήσιο, Θειικό κάλιο, Φωσφορικό οξύ, Θειικό μαγγάνιο, Θειικός ψευδάργυρος, Θειικός χαλκός, Βορικό οξύ, Αμμωνιακό μολυβδαίνιο και Νιτρικό οξύ. Στους Πίνακες 2.3.1 και 2.3.2 φαίνεται η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος για το 1^ο και τα δύο επόμενα πειράματα αντίστοιχα.

Πίνακας 2.3.1 Σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος για το 1^ο πείραμα.

A. Χαμηλή συγκέντρωση νιτρικών EC=2,04 dS/m

Μακροστοιχείο	(mmol l ⁻¹)	Ιχνοστοιχείο	(μmol l ⁻¹)
Ca ²⁺	9,50	Fe	35,0
Mg ²⁺	3,70	Mn	10,00
K ⁺	5,40	Zn	1,50
NH ₄ ⁺	0,80	Cu	1,60
SO ₄ ²⁻	5,17	B	46,0
NO ₃ ⁻	11,80	Mo	0,5
H ₂ PO ₄ ⁻	1,60		

B. Κανονική συγκέντρωση νιτρικών EC=2,04 dS/m

Μακροστοιχείο	(mmol l ⁻¹)	Ιχνοστοιχείο	(μmol l ⁻¹)
Ca ²⁺	9,50	Fe	35,0
Mg ²⁺	3,70	Mn	10,00
K ⁺	5,40	Zn	1,50
NH ₄ ⁺	0,80	Cu	1,60
SO ₄ ²⁻	5,17	B	46,0
NO ₃ ⁻	15,50	Mo	0,5
H ₂ PO ₄ ⁻	1,60		

Πίνακας 2.3.2 Σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος για το 2^ο και το 3^ο πείραμα.

A. Κανονική συγκέντρωση νιτρικών EC= 2,04 dS/m

Μακροστοιχείο	(mmol l ⁻¹)	Ιχνοστοιχείο	(μmol l ⁻¹)
Ca ²⁺	9,50	Fe	35,0
Mg ²⁺	3,70	Mn	10,00
K ⁺	5,40	Zn	1,50
NH ₄ ⁺	0,80	Cu	1,60
SO ₄ ²⁻	5,17	B	46,0
NO ₃ ⁻	11,8	Mo	0,5
H ₂ PO ₄ ⁻	1,60		

B. Υψηλή συγκέντρωση νιτρικών EC= 3,28 dS/m

Μακροστοιχείο	(mmol l ⁻¹)	Ιχνοστοιχείο	(μmol l ⁻¹)
Ca ²⁺	9,50	Fe	35,0
Mg ²⁺	3,70	Mn	10,00
K ⁺	5,40	Zn	1,50
NH ₄ ⁺	0,80	Cu	1,60
SO ₄ ²⁻	5,17	B	46,0
NO ₃ ⁻	24,0	Mo	0,5
H ₂ PO ₄ ⁻	1,60		

Η επιθυμητή τιμή pH ήταν 5,6 σε όλες τις επεμβάσεις.

2.3.1.5. Καλλιεργητικές φροντίδες

Μετά την τοποθέτηση των σπορόφυτων στην τελική τους θέση στα δύο υδροπονικά συστήματα γινόταν καταγραφή του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος με φορητό πεχάμετρο / αγωγιμόμετρο (Metler Toledo, USA). Οι μετρήσεις γίνονταν κάθε 1 ή 2 ημέρες. Στόχος αυτών των μετρήσεων ήταν η διατήρηση του pH στο 5,6 και της EC στα 2,0 dS/m για το πρώτο πείραμα. Στο 2^ο και 3^ο πείραμα στις επεμβάσεις με χρήση καλής ποιότητας νερού γινόταν προσθήκη πυκνών διαλυμάτων A και B με βάση τις τιμές στόχο 2,0 και 3,3 για την κανονική και την υψηλή συγκέντρωση νιτρικών αντίστοιχα. Στις επεμβάσεις με χρήση χαμηλής ποιότητα νερού η διόρθωση γινόταν με βάση την συγκέντρωση νιτρικών με στόχο να διατηρηθούν στα αρχικά επίπεδα υπό την προϋπόθεση ότι η αγωγιμότητα δεν θα υπερβαίνει το όριο των 5,0 dS/m. Έτσι, αρχικά η διόρθωση γινόταν με βάση την μετρούμενη με το ηλεκτρόδιο συγκέντρωση νιτρικών και όταν η αγωγιμότητα έφτανε στο όριο (λόγω συσσώρευσης αλάτων) σταματούσε η προσθήκη πυκνών διαλυμάτων. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας παρατηρήθηκε «κάψιμο κορυφής» (Εικ. 2.1.11) που οφείλεται σε έλλειψη ασβεστίου στα φύλλα της κορυφής η οποία προκαλείται από τις αυξημένες θερμοκρασίες της άνοιξης σε συνδυασμό με την υψηλή αγωγιμότητα στο θρεπτικό διάλυμα.

2.3.1.6 Μετρήσεις και προσδιορισμοί

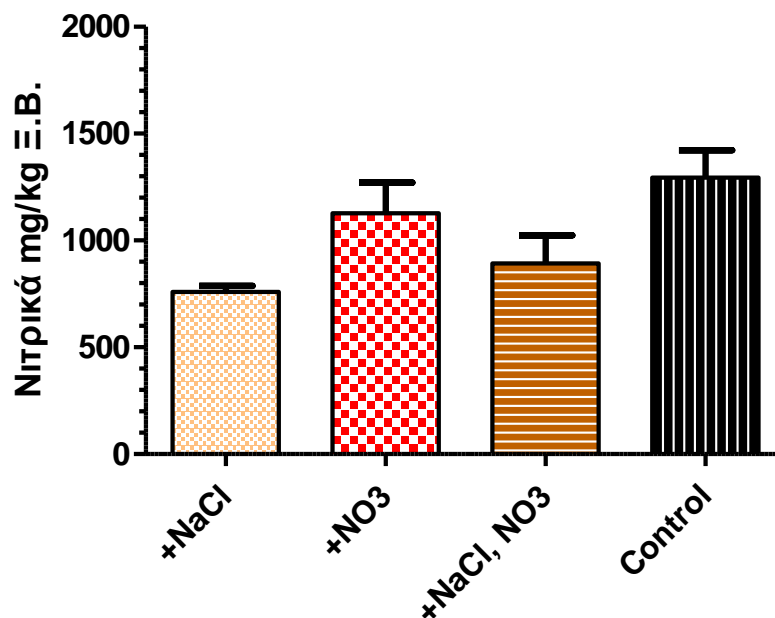
Το 1^ο πείραμα ήταν προκαταρτικό για την δοκιμή και επιδιόρθωση ατελειών των συστημάτων και μετρήθηκαν μόνο οι αποδόσεις σε νωπό και ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών και τα επίπεδα των νιτρικών στα φύλλα. Στο 2^ο και το 3^ο πείραμα μετρήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

- Συγκέντρωση νιτρικών στο θρεπτικό διάλυμα
- Συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα
- Αριθμός φύλλων
- Μήκος μεγαλύτερου φύλλου και μήκος της ρίζας
- Νωπό και ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος/ρίζας
- Ανταλλαγή αερίων
- Προσδιορισμός pH και EC και απορρόφηση θρεπτικού διαλύματος
- Προσδιορισμός θρεπτικών στοιχείων (Κ-φλογοφωτομετρία, Να-φλογοφωτομετρία, Ρ-φασματοφωτομετρία, Ν- Kjeldahl)

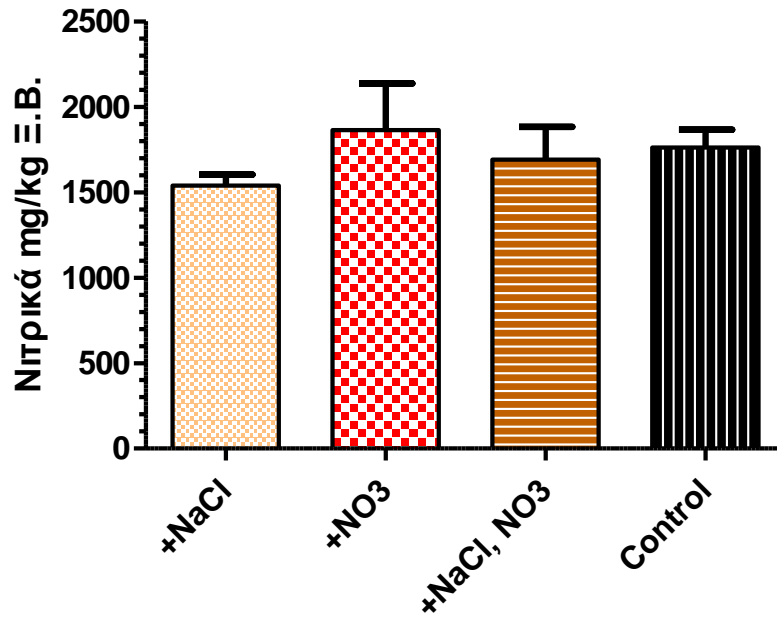
2.3.1.7. Αποτελέσματα

2.3.1.7.1. Πείραμα πρώτο. Η επίδραση της συγκέντρωσης των νιτρικών και της ποιότητας του νερού στην απόδοση και στην συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα του μαρουλιού.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών από 11,8 σε 15 mmol/l δεν επηρέασε σημαντικά την περιεκτικότητα σε νιτρικά στα φύλλα των μαρουλιών και στα δύο συστήματα (NFT και DFT) ενώ ήταν και πολύ χαμηλότερα από το επιτρεπτό όριο (5000 mg/kg Ξ.Β.). Ωστόσο, εάν συγκρίνουμε τα δύο συστήματα μεταξύ του, τα νιτρικά στο σύστημα επίπλευσης ήταν περίπου κατά 700 mg/kg υψηλότερα στο σύστημα επίπλευσης. Όταν χρησιμοποιήθηκε νερό χαμηλής ποιότητας (15 mmol/l NaCl) οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ήταν σημαντικά χαμηλότερες στο σύστημα NFT. Στο σύστημα επίπλευσης οι διαφορές δεν ήταν σημαντικές ακόμα και με αυξημένη περιεκτικότητα σε χλωριούχο νάτριο καθώς, λόγω μεγαλύτερης αναλογίας θρεπτικού διαλύματος ανά φυτό, η συσσώρευση NaCl να γίνεται με βραδύτερο ρυθμό σε σχέση με το NFT με αποτέλεσμα και η επίδραση στη συγκέντρωση των νιτρικών να είναι μικρότερη (Εικ. 2.3.2 και 2.3.3).

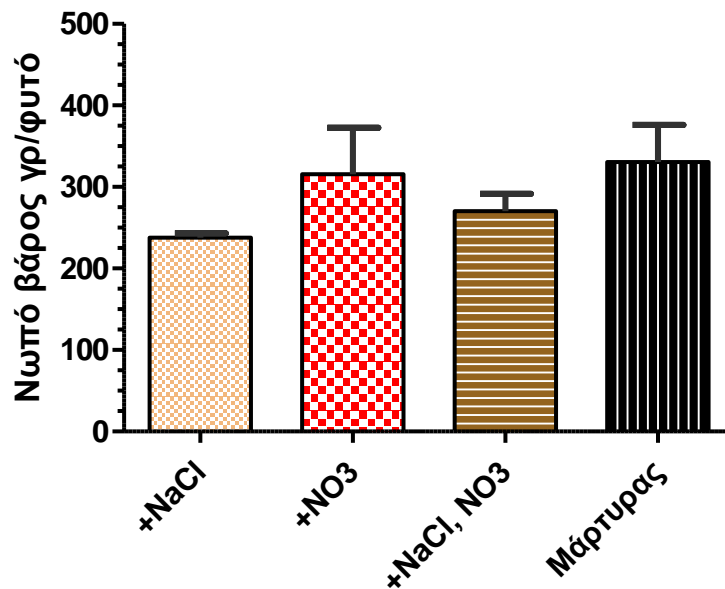


Εικόνα 2.3.2. Η επίδραση της προσθήκης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στη συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα του μαρουλιού στο σύστημα NFT.

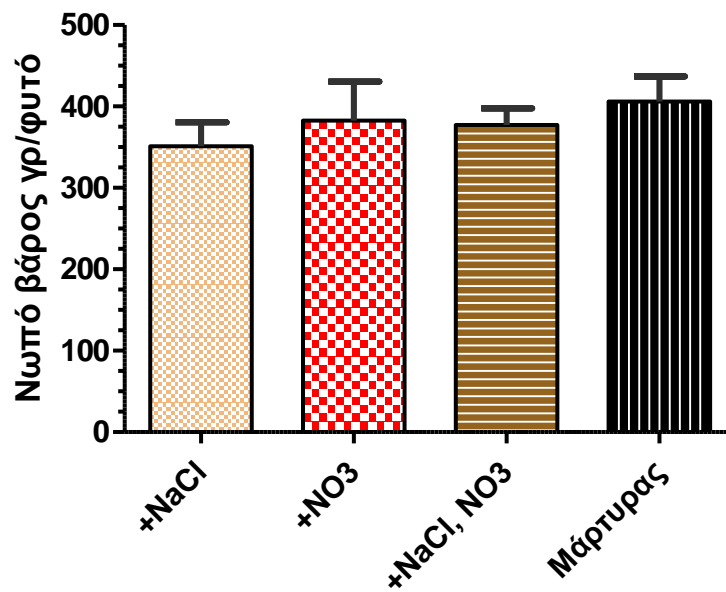


Εικόνα 2.3.3. Η επίδραση της προσθήκης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στη συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα του μαρουλιού στο σύστημα DFT.

Η συγκέντρωση νιτρικών μέχρι το επίπεδο των 15 mmol/l δεν επηρέασε σημαντικά το νωπό βάρος των μαρουλιών σε κανένα από τα δύο συστήματα που μελετήθηκαν (Εικ. 2.3.4 και 2.3.5).



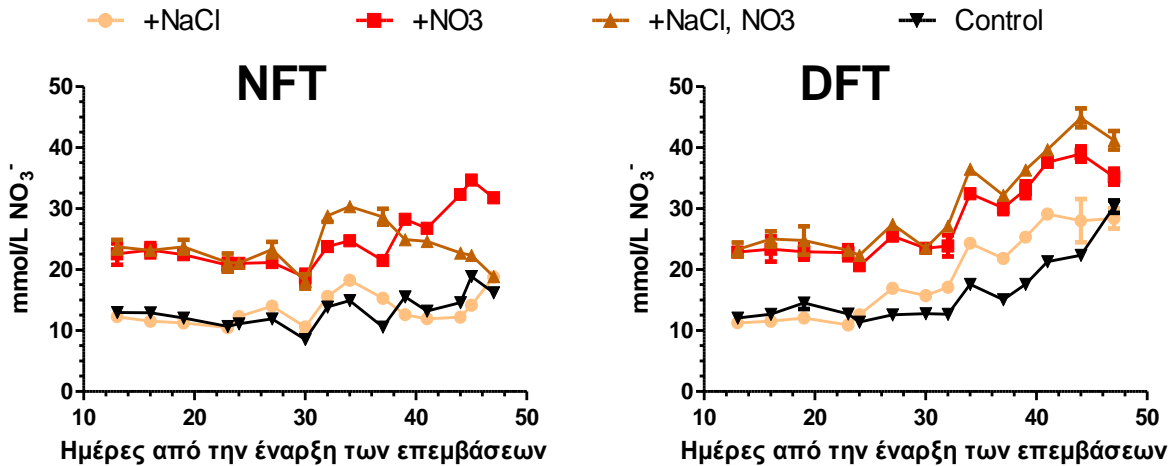
Εικόνα 2.3.4. Η επίδραση της προσθήκης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στο μέσο νωπό βάρος ανά φυτό μαρουλιού στο σύστημα NFT.



Εικόνα 2.3.5. Η επίδραση της προσθήκης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στο μέσο νωπό βάρος ανά φυτό μαρουλιού στο σύστημα DFT.

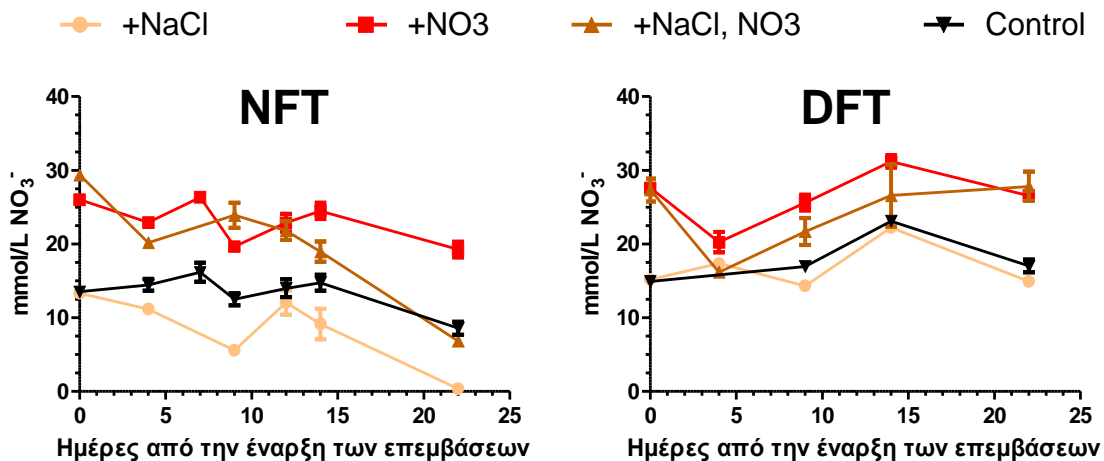
2.3.1.7.2. Πείραμα δεύτερο και τρίτο. Η επίδραση της συγκέντρωσης των νιτρικών και της ποιότητας του νερού στην απόδοση και την ποιότητα του μαρουλιού σε χειμερινή και ανοιξιιάτικη καλλιέργεια.

Το χρονικό διάστημα από την μεταφύτευση μέχρι την συγκομιδή την χειμερινή περίοδο ήταν 47 ημέρες ενώ την ανοιξιιάτικη (Απρίλιος) το αντίστοιχο διάστημα ήταν 23 ημέρες. Την χειμερινή περίοδο η συγκέντρωση των νιτρικών στο θρεπτικό διάλυμα ήταν σταθερή τις πρώτες 30 ημέρες σε όλες τις επεμβάσεις με αυξητική τάση αργότερα, που σημαίνει ότι η απορρόφηση από τα φυτά ήταν μειωμένη μετά τις πρώτες 30 ημέρες από τη μεταφύτευση (Εικ. 2.3.6).



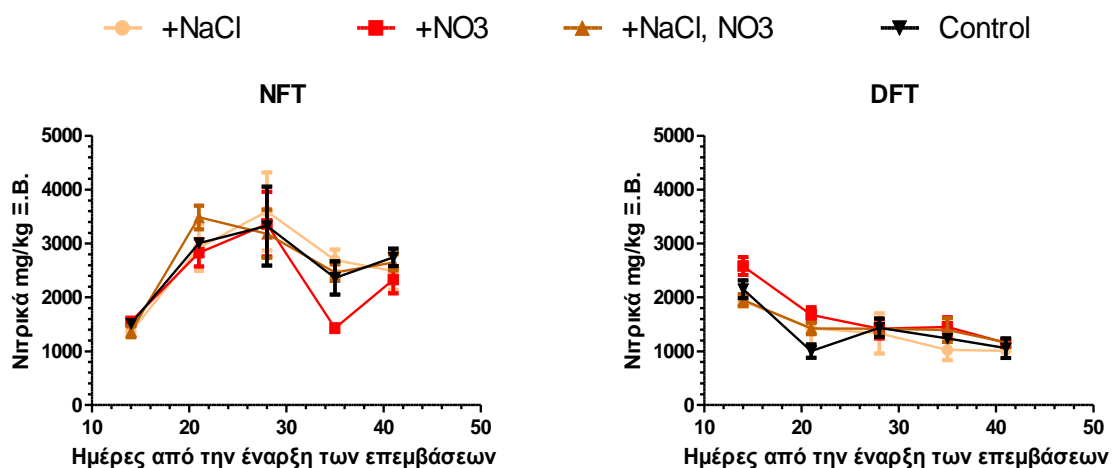
Εικόνα 2.3.6. Η εξέλιξη της συγκέντρωσης νιτρικών στο θρεπτικό διάλυμα όπως επηρεάζεται από το συνδυασμό δύο επιπέδων νιτρικών και δύο επιπέδων χλωριούχου νατρίου σε σύστημα NFT και DFT την χειμερινή περίοδο.

Την ανοιξιάτικη περίοδο, η οποία ήταν πολύ πιο σύντομη, η συγκέντρωση των νιτρικών στο θρεπτικό διάλυμα ήταν σχετικά σταθερή τις πρώτες 15 ημέρες με πτωτική τάση αργότερα στο σύστημα NFT. Στις επεμβάσεις με χρήση αλατούχου νερού η πτώση ήταν μεγαλύτερη καθώς σταμάτησε η προσθήκη πυκνού διαλύματος λόγω υπερβολικής αύξησης της αγωγιμότητας. Στο σύστημα DFT η συγκέντρωση των νιτρικών σε όλη την διάρκεια της καλλιέργειας ήταν σταθερή με σχετικά μικρές διακυμάνσεις (Εικ. 2.3.7).



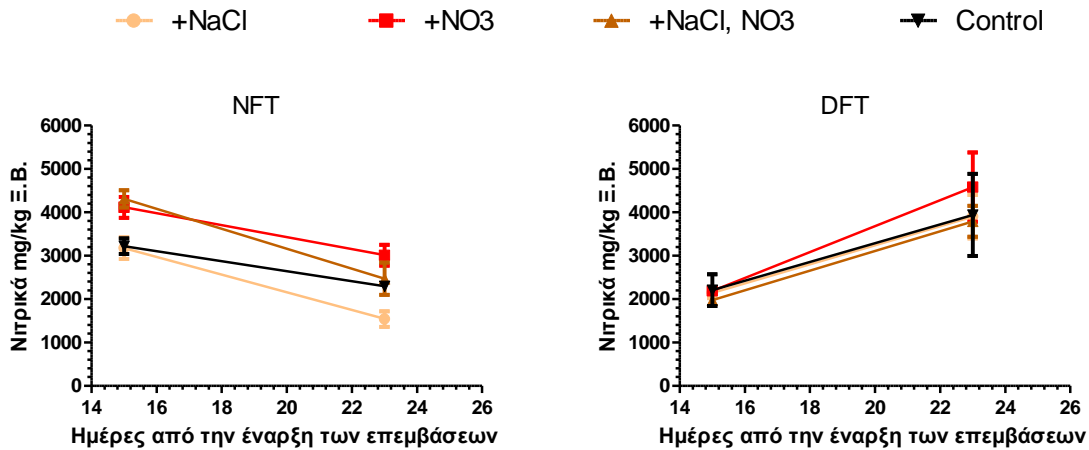
Εικόνα 2.3.7. Η εξέλιξη της συγκέντρωσης νιτρικών στο θρεπτικό διάλυμα όπως επηρεάζεται από το συνδυασμό δύο επιπέδων νιτρικών και δύο επιπέδων χλωριούχου νατρίου σε σύστημα NFT και DFT την ανοιξιάτικη περίοδο.

Η περιεκτικότητα των μαρουλιών σε νιτρικά την χειμερινή περίοδο δεν ξεπέρασε το όριο των 5000 mg/kg (ppm) σε καμία επέμβαση παρόλο που εφαρμόστηκαν υψηλά επίπεδα νιτρικών (25 mmol/l) στο θρεπτικό διάλυμα. Η πορεία της συγκέντρωσης των νιτρικών ήταν παρόμοια σε όλες τις επεμβάσεις. Στο σύστημα NFT η περιεκτικότητα σε νιτρικά διπλασιάστηκε από την 12^η έως την 28^η ημέρα ενώ αργότερα σταθεροποιήθηκε στα 2600 ppm περίπου. Στο σύστημα DFT η πορεία ήταν παρόμοια σε όλες τις επεμβάσεις αλλά διαφορετική από το σύστημα NFT. Η πορεία ήταν αρχικά πτωτική ενώ μετέπειτα σταθεροποιήθηκε στα 1200 ppm (Εικ. 2.3.8).



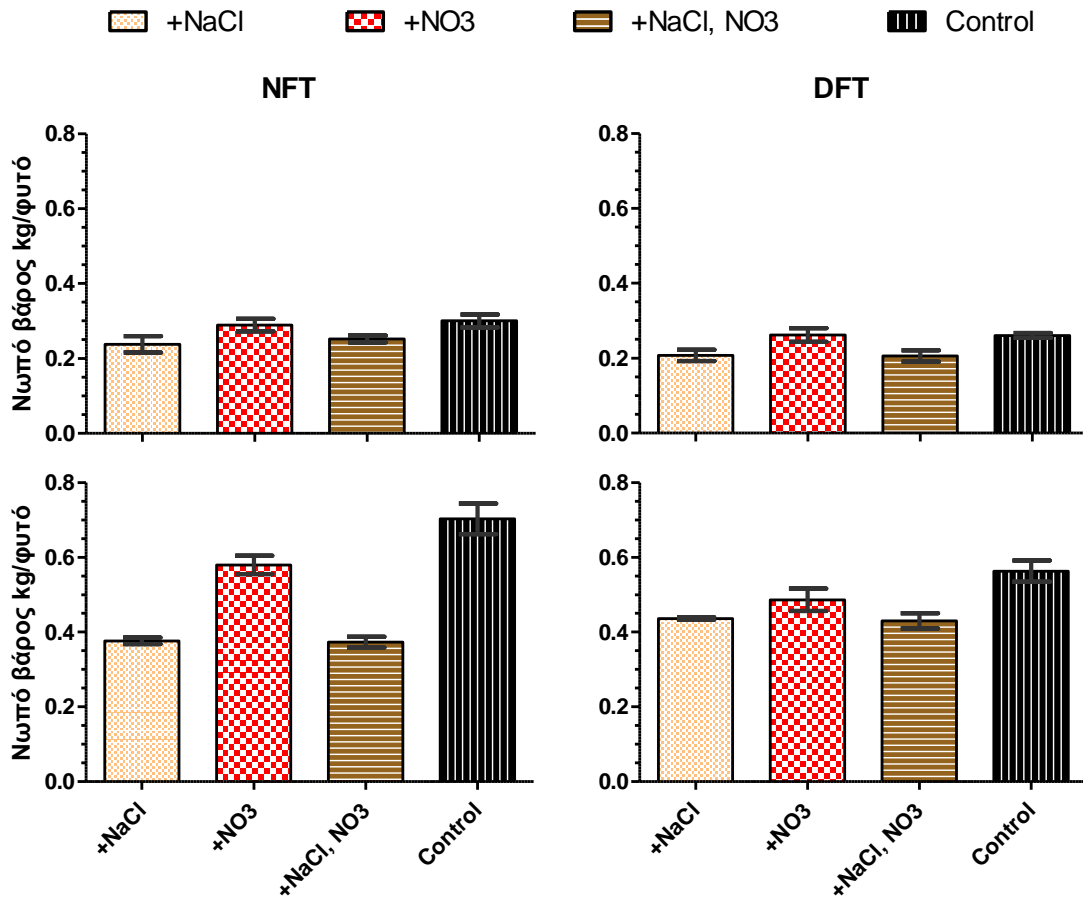
Εικόνα 2.3.8. Η περιεκτικότητα μαρουλιών σε νιτρικά όπως επηρεάζεται από το συνδυασμό δύο επιπέδων νιτρικών και δύο επιπέδων χλωριούχου νατρίου σε σύστημα NFT και DFT την χειμερινή περίοδο.

Η περιεκτικότητα των μαρουλιών σε νιτρικά την ανοιξιάτικη περίοδο δεν ξεπέρασε το όριο των 5000 ppm σε όλες τις επεμβάσεις και στα δύο συστήματα. Στο σύστημα NFT την 15^η ημέρα από την μεταφύτευση η συγκέντρωση νιτρικών ήταν αυξημένη στις επεμβάσεις με υψηλά νιτρικά ενώ την 23^η ημέρα είχε μειωθεί σε όλες τις επεμβάσεις και ιδιαίτερα στις επεμβάσεις με χρήση αλατούχου νερού όπου είχε σταματήσει η προσθήκη πυκνών διαλυμάτων. Στο σύστημα επίπλευσης η περιεκτικότητα σε νιτρικά αυξήθηκε σημαντικά από την 15^η έως την 23^η ημέρα καθώς κατά την διάρκεια της καλλιέργειας η συγκέντρωση νιτρικών στο θρεπτικό διάλυμα ήταν σχεδόν σταθερή λόγω μεγάλης αναλογίας όγκου θρεπτικού διαλύματος ανά φυτό (Εικ. 2.3.9).



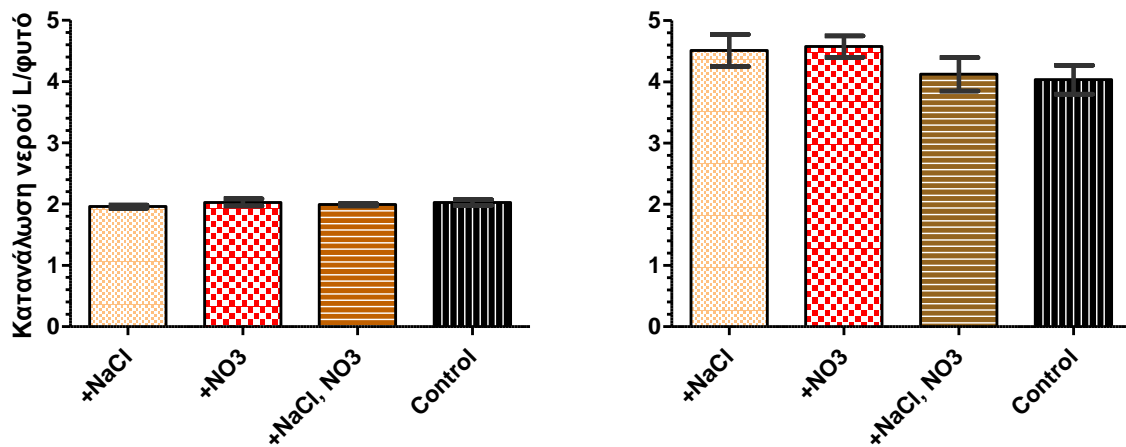
Εικόνα 2.3.9. Η περιεκτικότητα μαρουλιών σε νιτρικά όπως επηρεάζεται από το συνδυασμό δύο επιπέδων νιτρικών και δύο επιπέδων χλωριούχου νατρίου σε σύστημα NFT και DFT την ανοιξιάτικη περίοδο.

Η υψηλή συγκέντρωση νιτρικών στο θρεπτικό διάλυμα μείωσε σημαντικά το νωπό βάρος των μαρουλιών την ανοιξιάτικη περίοδο καλλιέργειας και στα δύο συστήματα καλλιέργειας. Την χειμερινή περίοδο δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχη μείωση (Εικ. 2.3.10). Η χρήση αλατούχου νερού μείωσε σημαντικά (40%) το νωπό βάρος ανά φυτό στο σύστημα NFT την ανοιξιάτικη περίοδο ενώ η αντίστοιχη μείωση για το σύστημα επίπλευσης ήταν περίπου 20%. Την χειμερινή περίοδο οι μειώσεις ήταν περίπου 20% και στα δύο συστήματα, λόγω μειωμένης κατανάλωσης νερού την περίοδο αυτή με αποτέλεσμα να εισέρχεται μικρότερη ποσότητα άλατος στα συστήματα.



Εικόνα 2.3.10. Η επίδραση της προσθήκης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στο μέσο νωπό βάρος ανά φυτό μαρουλιού σε συστήματα NFT, DFT για καλλιέργεια σε δύο εποχές (πάνω χειμερινή, κάτω ανοιξιάτικη).

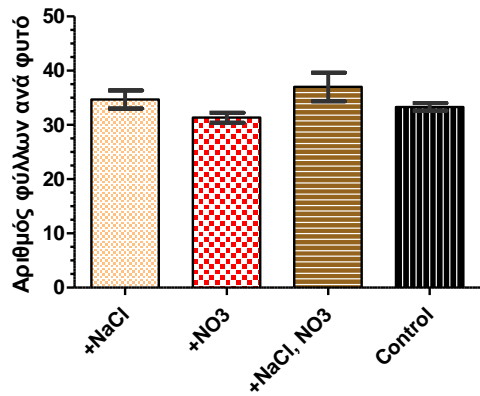
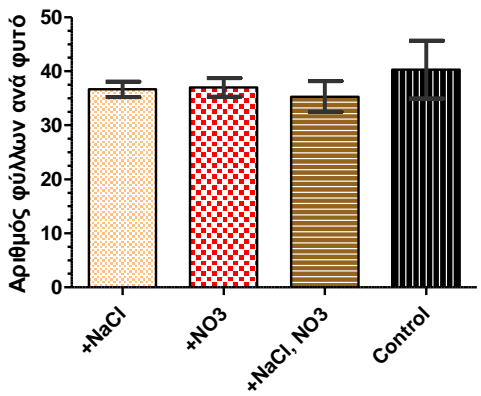
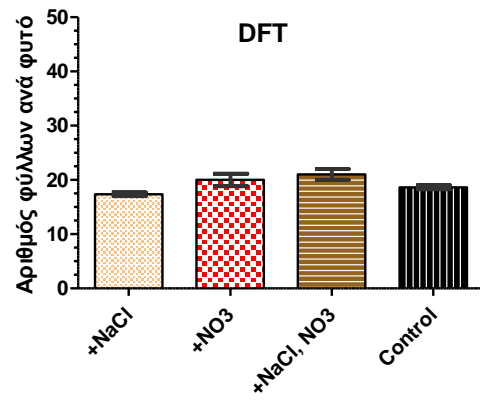
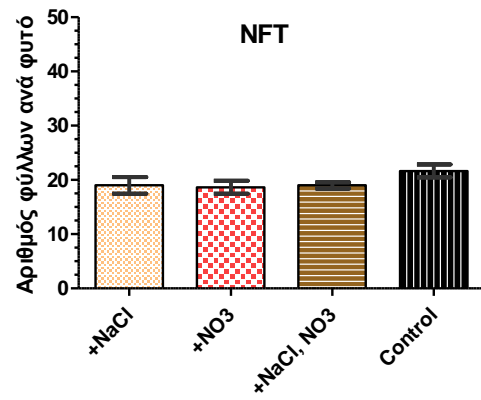
Η αθροιστική κατανάλωση νερού ανά φυτό και στα δύο συστήματα την ανοιξιάτικη περίοδο ήταν τουλάχιστον διπλάσια από την χειμερινή (Εικ. 2.3.11).



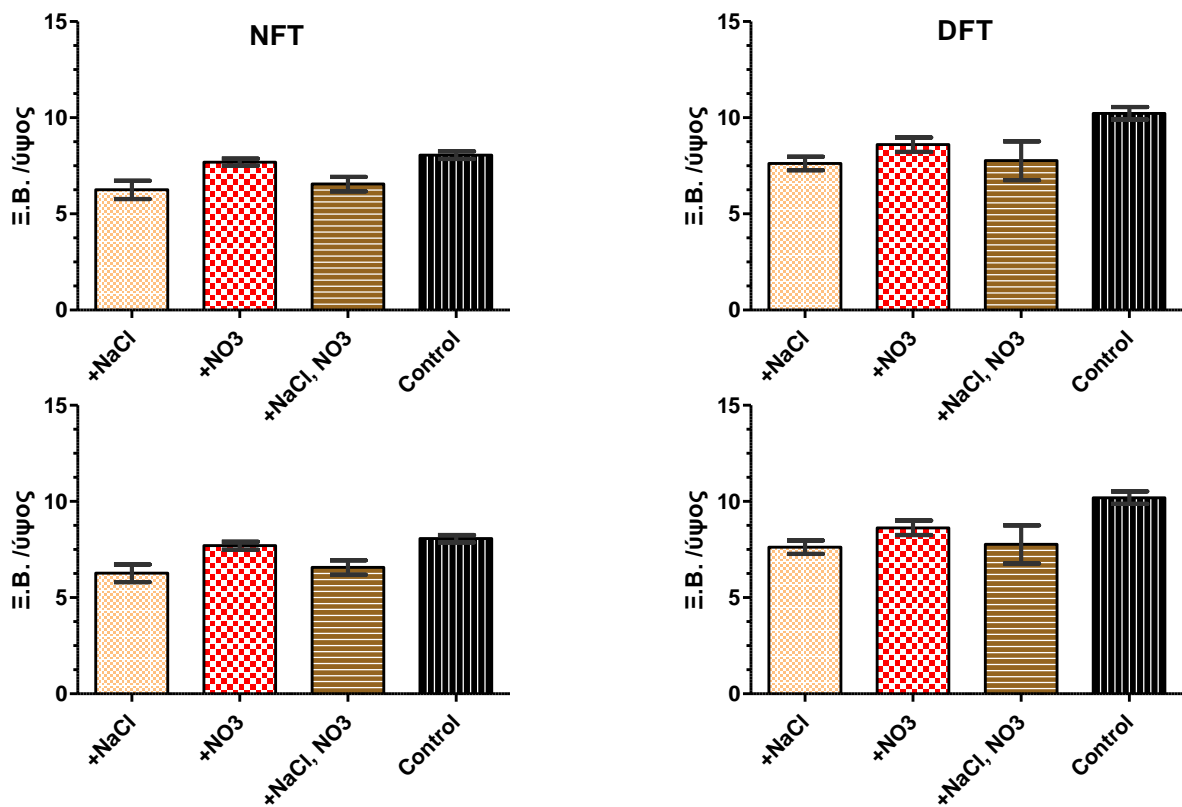
Εικόνα 2.3.11. Η επίδραση της αυξημένης συγκέντρωσης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στην συνολική κατανάλωση ανά φυτό μαρουλιού σε σύστημα NFT, για καλλιέργεια σε δύο εποχές (αριστερά χειμερινή, δεξιά ανοιξιάτικη).

Τα αυξημένα επίπεδα νιτρικών δεν επηρέασαν σημαντικά τον αριθμό φύλλων ανά φυτό στα δύο συστήματα κατά την χειμερινή περίοδο καλλιέργειας. Την ανοιξιάτικη περίοδο ο αριθμός φύλλων ήταν μεγαλύτερος κατά 10 % περίπου στις επεμβάσεις με χρήση αλατούχου νερού στο σύστημα επίπλευσης (Εικ. 2.3.12).

Η ζηρηρότητα, που είναι μέτρο του ξηρού βάρους σε σχέση με το ύψος, ήταν σημαντικά μειωμένη στις επεμβάσεις με χρήση αλατούχου νερού στο σύστημα NFT και τις δύο περιόδους καλλιέργειας. Ωστόσο, στο σύστημα επίπλευσης οι ίδιες επεμβάσεις δεν είχαν σημαντικές διαφορές καθώς η μεγαλύτερη αναλογία θρεπτικού διαλύματος ανά φυτό είχε ως αποτέλεσμα πιο αργή συσσώρευση άλατος NaCl στο διάλυμα με συνέπεια και οι επιπτώσεις της αλατότητας να είναι μικρότερες. Τα αυξημένα επίπεδα νιτρικών δεν επηρέασαν την ζηρηρότητα των μαρουλιών σε όλες τις επεμβάσεις και στα δύο συστήματα (Εικ. 2.3.13).

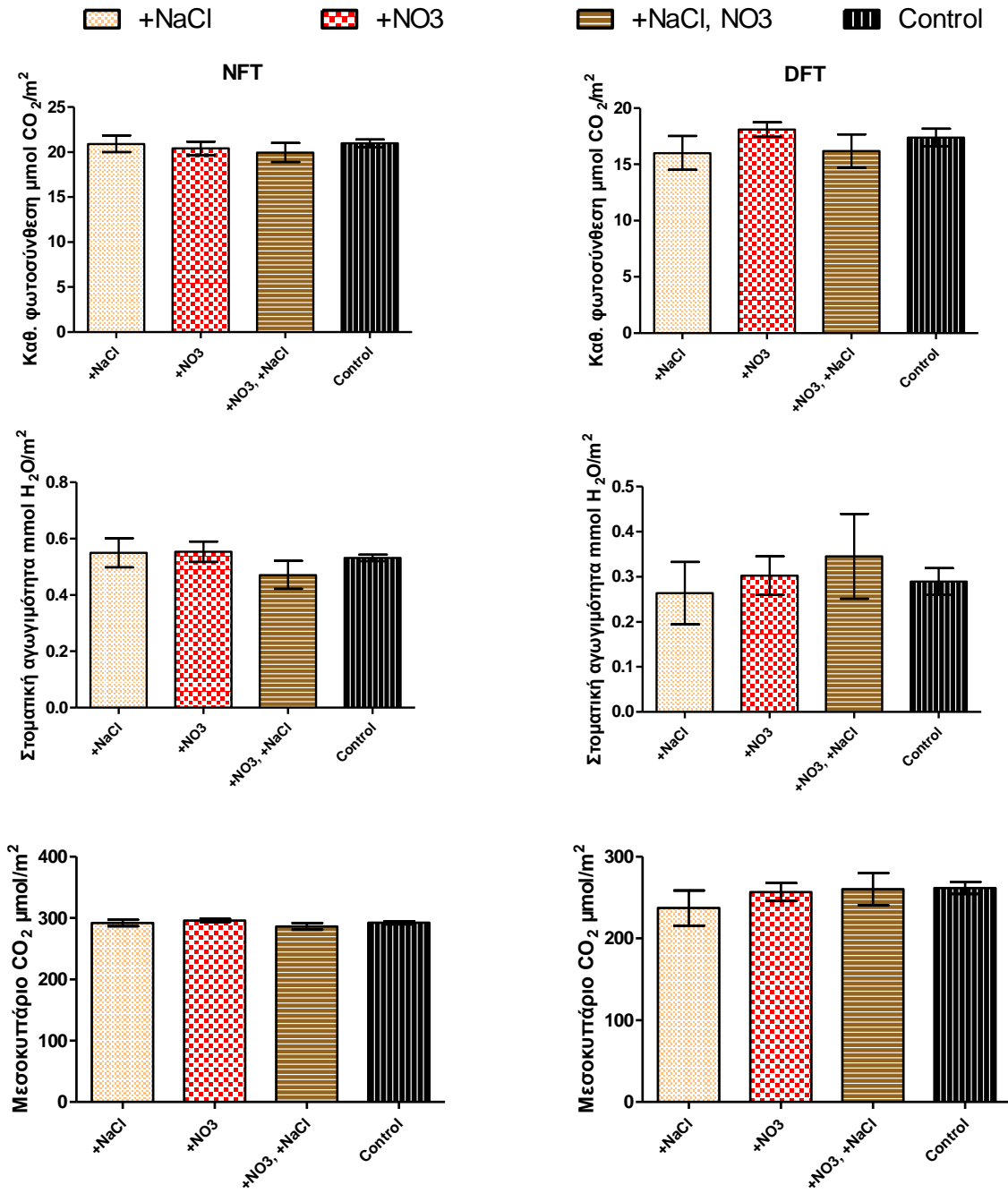


Εικόνα 2.3.12. Η επίδραση της αυξημένης συγκέντρωσης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στον αριθμό φύλλων ανά φυτό μαρουλιού σε σύστημα NFT, για καλλιέργεια σε δύο εποχές (πάνω χειμερινή, κάτω ανοιξιάτικη).

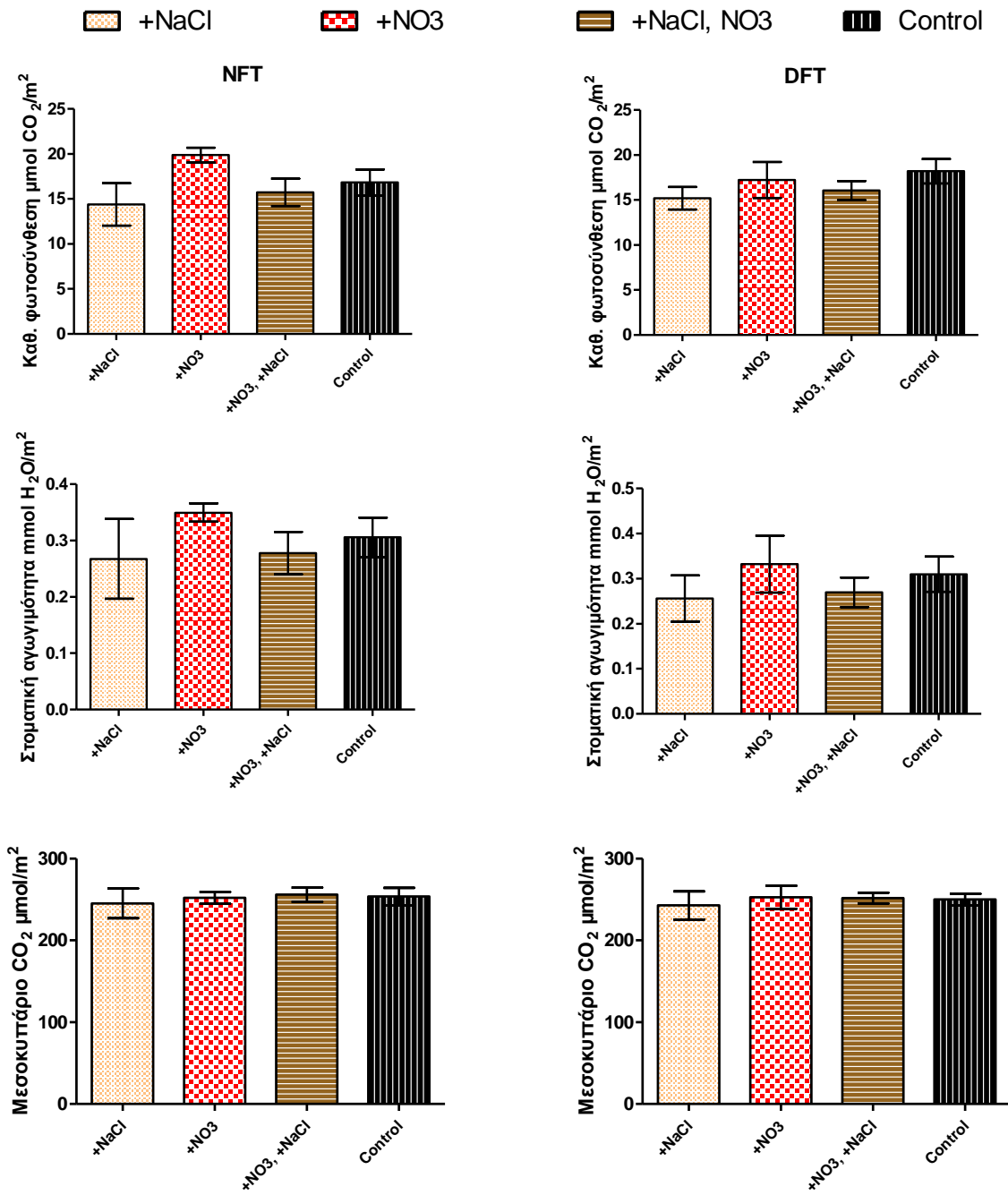


Εικόνα 2.3.13. Η επίδραση της προσθήκης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στην ζωηρότητα φυτών (ξηρό βάρος/ύψος) μαρουλιού σε σύστημα NFT, για καλλιέργεια σε δύο εποχές (πάνω χειμερινή, κάτω ανοιξιάτικη).

Η καθαρή φωτοσύνθεση, η στοματική αγωγιμότητα και το μεσοκυττάριο διοξείδιο του άνθρακα δεν επηρεάστηκαν στατιστικά σημαντικά από τις επεμβάσεις ανεξάρτητα από το σύστημα και την περίοδο καλλιέργειας (Εικ. 2.3.14 και 2.3.15). Ωστόσο, διαφαίνεται μια τάση για μείωση της καθαρής φωτοσύνθεσης στις επεμβάσεις με χρήση αλατούχου νερού την ανοιξιάτικη περίοδο καλλιέργειας.



Εικόνα 2.3.14. Η επίδραση της προσθήκης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στην καθαρή φωτοσύνθεση, την στοματική αγωγιμότητα και το μεσοκυττάριο CO_2 στα δύο συστήματα υδροπονίας την χειμερινή περίοδο καλλιέργειας



Εικόνα 2.3.15. Η επίδραση της προσθήκης νιτρικών και της ποιότητας του νερού στην καθαρή φωτοσύνθεση, την στοματική αγωγιμότητα και το μεσοκυττάριο CO₂ στα δύο συστήματα υδροπονίας την ανοιξιάτικη περίοδο καλλιέργειας

2.3.2. Οικονομοτεχνική ανάλυση ανάπτυξης μαρουλιού σε 2 υδροπονικά συστήματα

Παρακάτω παρουσιάζεται η οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος NFT και του συστήματος επίπλευσης ανά στρέμμα καλλιέργειας (Πίνακες 2.3.3 και 2.3.4).

Πίνακας 2.3.3. Οικονομοτεχνική ανάλυση συστήματος NFT για καλλιέργεια μαρουλιού ανά στρέμμα (25.000 φυτά/στρ.)

Είδος	Ποσότητα – τιμή μονάδας	Κόστος
Υδρορροές 6x10 cm για 25.000 φυτά/στρ	3€/μ. x 5.000 μ./στρ	15.000
Στήριξη υδρορροών με μεταλλικά στηρίγματα		1.000
Πλαστικό φύλλο εδαφοκάλυψης	1000 τ.μ.	500
Αντλίες ανακύκλωσης θρεπτικού διαλύματος, Η/Ζ	2	500
Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος	1	1000
Δίκτυο σωλήνων ανακύκλωσης Θ.Δ.		1.000
Δεξαμενή ανακύκλωσης – παροχής Θ.Δ.	8 κ.μ. /στρ.	1.000
Εργασία	20 ημερομίσθια x 40 €	800
ΣΥΝΟΛΟ		20.800,00 €

Κεφαλή υδροπονίας (προαιρετική) 8.000 €

Πίνακας 2.3.4. Οικονομοτεχνική ανάλυση συστήματος επίπλευσης ανά στρέμμα (25.000 φυτά/στρ.)

Είδος		Ποσότητα – τιμή μονάδας	Κόστος
Διογκωμένη πολυστερίνη πάχους 5 cm		4€/τ.μ	4.000
Πλαστικό φύλλο 500 μικρά		2,5€/τ.μ	2.500
Στήριξη πλαστικού φύλλου σχηματισμός λεκανών			2.000
Αερισμός συστήματος			1.000
Εργασία		20 ημερομίσθια x 40 €	800
ΣΥΝΟΛΟ			10.300,00 €

Κεφαλή υδροπονίας (προαιρετική) 8.000 €



Φωτογραφία 2.3.1. Καλλιέργεια μαρουλιού σε NFT.



Φωτογραφία 2.3.2. Καλλιέργεια μαρουλιού σε επιπλέουσα υδροπονία.