



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ



ΚΥΠΡΙΑΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ



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

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



Πρωτόκολλο ανάλυσης NO₃- σε τομάτα και μαρούλι

στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος

«ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ 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.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



Αναφορά Προόδου του Έργου *HYDROFLIES*

4.3.4 Πρωτόκολλο ανάλυσης NO_3^- σε τομάτα και μαρούλι

Μαρία Τσεμπερούλη, Μαρία Φουσκάκη, Νίκος Χανιωτάκης

Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας, Τμήμα Χημείας, Παν/μιο Κρήτης

Ηράκλειο, Οκτώβριος 2014

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΝΙΤΡΙΚΑ

A. Εισαγωγή

Τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) – η πιο οξειδωμένη μορφή των ενώσεων που συμμετέχουν στον κύκλο του αζώτου – είναι ευρέως διαδεδομένα σε νερά, εδάφη, φυτά. Η χρήση μεγάλων ποσοτήτων νιτρικών και γενικά αζωτούχων λιπασμάτων τις τελευταίες δεκαετίες συσσωρεύει μεγάλες ποσότητες νιτρικών ιόντων σε νερά, εδάφη και φυτά και δημιουργείται πλέον όχι ένα τοπικό – περιφερειακό πρόβλημα, αλλά ένα διεθνές πρόβλημα αύξησης νιτρικών στο περιβάλλον.

Το πρόβλημα σχετίζεται τόσο με το θέμα του ευτροφισμού που προκαλείται από τα νιτρικά στο περιβάλλον, όσο και με θέματα υγείας των καταναλωτών. Η διαρκώς μεγαλύτερη ποσότητα νιτρικών που προσλαμβάνεται καθημερινά με το νερό και κυρίως με τα φυτικής προέλευσης τρόφιμα, έχει καταστήσει επικίνδυνα τα σχετικώς ακίνδυνα νιτρικά – θανατηφόρος δόση 66 – 300 mg/kg.

Η συσσώρευση των νιτρικών στα φυτικής προέλευσης τρόφιμα και κυρίως στα φυλλώδη λαχανικά, είναι ιδιαίτερα υψηλή. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων σε πολλά από τα συνήθη στο διαιτολόγιο μας φυλλώδη λαχανικά (μαρούλι, σπανάκι, λάχανο κ.ά) μπορεί να φτάσει σε τιμές μέχρι και 40000 – 50000 ppm επί ξηρής ουσίας, ξεπερνώντας κατά πολύ τα ανώτατα επιτρεπτά όρια, που έχουν θεσπιστεί για τα τρόφιμα αυτά. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις Η.Π.Α έχουν οριστεί ανώτατα όρια για τα περισσότερα από τα λαχανικά και φυσικά το νερό. Παράλληλα διεξάγονται εκτεταμένες έρευνες σε πολλές χώρες (Αγγλία, Γερμανία, Ελβετία, κ.λ.π) επί σειρά ετών σχετικές με τη συγκέντρωση των νιτρικών στα φυτικά τρόφιμα και κυρίως στα λαχανικά. Οι έρευνες συνδυάζονται με διαιτολογικές και επιδημιολογικές μελέτες με σκοπό τη συσχέτιση της κατανάλωσης νιτρικών με ορισμένες μορφές καρκίνου, όπως ο καρκίνος του στομάχου.

Ο προσδιορισμός των νιτρικών με αξιόπιστο και ακριβή τρόπο, στα νερά αλλά ιδιαίτερα στα φυτικής προέλευσης τρόφιμα, παραμένει μια δύσκολη διαδικασία. Η ανάλυση των νιτρικών θεωρείται από τις δύσκολες αναλύσεις, για λόγους που αναπτύσσονται και στα πλαίσια της αναφοράς αυτής.

B. Τα νιτρικά ιόντα στα φυτά

1. Γενικά

Η συγκέντρωση των νιτρικών στους φυτικούς ιστούς είναι ένα φυσιολογικό φαινόμενο που συνδέεται με τον μεταβολισμό του αζώτου στα φυτά. Τα φυτά μπορούν να απορροφήσουν το άζωτο με τη μορφή των νιτρικών NO_3^- και αμμωνιακών NH_4^+ ιόντων. Η αμμωνιακή μορφή του αζώτου δεν είναι συσσωρεύσιμη γιατί είναι τοξική στα φυτά, αντίθετα η νιτρική μορφή συγκεντρώνεται στα μιτοχόνδρια των κυττάρων επιτελώντας τρεις φυσιολογικές λειτουργίες:

- αντισταθμίζει τα θετικά φορτία των ιόντων νατρίου, ασβεστίου, καλίου,

μαγνησίου.

- ασκεί ωσμορυθμιστική δράση.
- αποτελεί την απόθετη - αποθησαυριστική μορφή του αζώτου, για το φυτό.

Ενώ τα αμμωνιακά ιόντα που απορροφούνται από τα φυτά χρησιμοποιούνται άμεσα για τη σύνθεση των απαραίτητων αμινοξέων και άλλων αζωτούχων ουσιών, τα νιτρικά ιόντα πρέπει πρώτα να αναχθούν σε αμμωνιακά.

2. Παράγοντες που επιδρούν στη συγκέντρωση των νιτρικών στα φυτά.

Η βοτανική κατάταξη του φυτικού είδους, το κληρονομικό δυναμικό της ποικιλίας, το όργανο και η θέση του ιστού, η ηλικία του φυτού, η ενεργότητα της νιτρικής ρεδουκτάσης είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στη συσσώρευση των νιτρικών στα φυτά. Η συσσώρευση των νιτρικών στα φυτά με την προϋπόθεση ότι τα νιτρικά αποτελούν τη κύρια μορφή του απορροφούμενου αζώτου, εξαρτάται από το βαθμό απορρόφησής τους και την ενεργότητα του ενζύμου της νιτρικής ρεδουκτάσης.

Διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες, που έχουν σχέση με την ανάπτυξη του φυτού όπως, θερμοκρασία, φως, υγρασία, το CO_2 , η αζωτούχος λίπανση, οι αναστολείς της νιτροποίησης, η περιεκτικότητα του εδάφους σε νιτρικά, παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο, στη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων. Γενικά για τα διάφορα φυτικά είδη υπάρχει διαφοροποίηση στη συγκέντρωση των νιτρικών, η οποία δεν είναι καθορισμένη διότι επηρεάζεται πολύ και από τους υπόλοιπους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η φάση της ανάπτυξης είναι η εποχή της μεγαλύτερης συσσώρευσης, ενώ η ωρίμανση συνοδεύεται με μείωση. Συστηματικές μεταβολές παρατηρούνται ακόμα και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μέγιστα έχουμε από τις 4 –8 το πρωί και ελάχιστα στις 4 το απόγευμα. Οι κλιματικοί παράγοντες επηρεάζουν την συγκέντρωση των NO_3^- μακροπρόθεσμα αλλά και βραχυπρόθεσμα. Έτσι, δεν είναι περίεργο που τα επιτρεπτά όρια ορίζονται συχνά με βάση την εποχή του έτους (π.χ. καλοκαίρι, χειμώνας). Μείωση της έντασης του φωτός συνοδεύεται από αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών διότι το ένζυμο νιτρική ρεδουκτάση χάνει την αναγωγική του ικανότητα στο σκοτάδι.

Ανάλογη επίδραση παρατηρείται και με αλλαγές στη θερμοκρασία. Δηλαδή πτώση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της αναγωγικής δράσης του ενζύμου και επομένως αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών. Ο σημαντικότερος όμως παράγοντας που προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών είναι η χρησιμοποίηση των αζωτούχων λιπασμάτων.

3. Τα επιτρεπτά όρια των νιτρικών ιόντων στα φυτά.

Η διαρκώς αυξανόμενη πρόσληψη νιτρικών ιόντων διαμέσου της τροφής και του νερού κυρίως, έχουν επιβάλλει από καιρού την ανάγκη για τη θέσπιση ανώτερων ορίων για την συνολική πρόσληψη νιτρικών, αλλά και ανώτερων ορίων στο πόσιμο νερό και στα λαχανικά που συνιστούν την κύρια πηγή νιτρικών στη διατροφή.

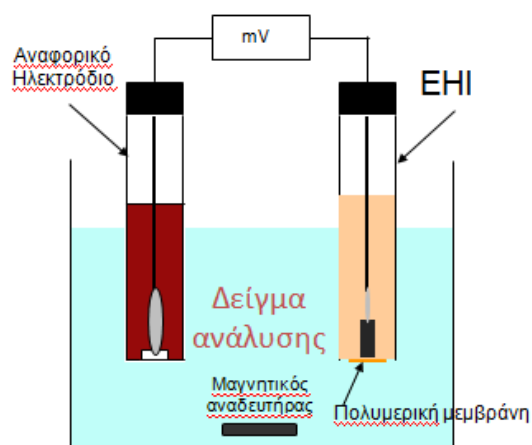
Τα όρια που έχουν προταθεί για πολλά είδη λαχανικών με τον κανονισμό της Ε.Ε (αρ.1258/2011) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Η κατώτερη τιμή του ορίου αναφέρεται σε συγκομιδή το καλοκαίρι (Απρίλιος – Σεπτέμβριος) και η μεγαλύτερη αφορά συγκομιδή το χειμώνα (Οκτώβριος- Μάρτιος). Οι τιμές εκφράζουν τα $\text{mg NO}_3^- / \text{kg}$ νωπής φυτικής ύλης ($\text{ppm NO}_3^- \text{ F.W}$).

Πίνακας 1. Ανώτερα όρια νιτρικών ιόντων σε φυλλώδη λαχανικά

Είδος	Ανώτερα Όρια ($\text{mg NO}_3^- / \text{kg F.W}$)
Μαρούλι	4000 - 5000
Σπανάκι	3000
Ρόκα	6000 - 7000
Μαρούλι τύπου Iceberg	2500

1. Μέτρηση νιτρικών με Επιλεκτικό Ηλεκτρόδιο Ιόντων (ΕΗΙ)

Τα Επιλεκτικά Ηλεκτρόδια Ιόντων (Ε.Η.Ι) είναι χημικοί αισθητήρες που μπορούν να προσδιορίζουν την ενεργότητα ενός συγκεκριμένου ιόντος σε υδατικά διαλύματα. Πιο συγκεκριμένα μετατρέπουν την ενεργότητα του διαλυμένου ιόντος-ανάλυτη σε ηλεκτρικό δυναμικό, το οποίο μπορεί να μετρηθεί με ένα βολτόμετρο ή πεχάμετρο. Το αισθητήριο τμήμα του ΕΗΙ είναι συνήθως μία λιπόφιλη πολυμερική μεμβράνη επιλεκτική ως προς το ιόν-ανάλυτη.



Εικόνα 1: Σύστημα Μέτρησης Νιτρικών ιόντων με ΕΗΙ

Τα νιτρικά ιόντα προσδιορίζονται ποτενσιομετρικά, χρησιμοποιώντας ένα επιλεκτικό ηλεκτρόδιο ιόντων στερεάς επαφής (ΕΗΙ) σε σύνδεση με ένα αναφορικό ηλεκτρόδιο Ag/AgCl διπλής γέφυρας και ένα ηλεκτρόμετρο υψηλής εμπέδησης ($R > 10^{12} \Omega$) όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Τα αναλυτικά χαρακτηριστικά του ΕΗΙ νιτρικών φαίνονται στον Πίνακα 2. Το ηλεκτρόδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των νιτρικών τόσο σε θρεπτικά διαλύματα όσο και σε προϊόντα (κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας) υδροπονικών καλλιεργειών.

Πίνακας 2. Αναλυτικά Χαρακτηριστικά ΕΗΙ Νιτρικών

Εύρος απόκρισης:	10^{-5} - 0.1 M
Χρόνος απόκρισης	< 10 s
Εύρος pH:	2.5 to 11
Αντίσταση Ηλεκτροδίου	100 KΩ
Επαναληψιμότητα	2%
Μετρούμενο δείγμα	Υδατικό
Χρόνος ζωής	> 8 μήνες

Οι παρεμποδίσεις από άλλα ιόντα (κυρίως Cl^- , HCO_3^- , NO_2^-), αντιμετωπίζονται επιτυχώς με τη προσθήκη στα εξεταζόμενα δείγματα κατάλληλων διαλυμάτων καταστολής των παρεμποδίσεων, που μειώνουν την επίδρασή τους στο μετρούμενο δυναμικό. Για την ανάλυση σε φυτικούς ιστούς, συνήθως προστίθεται στο δείγμα κατάλληλο διάλυμα ρύθμισης της ιονικής ισχύος (Ion Strength Adjustor, ISA), προκειμένου να μειωθούν οι παρεμποδίσεις από άλλα ιόντα και να διατηρηθεί σταθερή η σχέση ανάμεσα στην ενεργότητα και στη συγκέντρωση του ιόντος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης χημικών αισθητήρων για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων είναι:

- Η απλότητα και ο μικρός αριθμός των σταδίων προετοιμασίας του δείγματος.
- Η ταχύτητα της ανάλυσης.

Η μεγάλη γραμμική απόκριση του ηλεκτροδίου. Πρακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκεντρώσεις από 0.2 έως 5000 ppm NO_3^- .

Χρησιμοποιούνται απλά και φτηνά αντιδραστήρια.

Εύκολη αντιμετώπιση των παρεμποδίσεων από διάφορα ιόντα που υπάρχουν σε νερά, φυτικούς ιστούς και εδάφη, όπως Cl^- , NO_2^- , HCO_3^- , οργανική ύλη, με προσθήκη κατάλληλων ρυθμιστικών διαλυμάτων, τα οποία παίζουν παράλληλα το ρόλο του ρυθμιστή της ιονικής ισχύος (ISA).

- Η μέθοδος δεν επηρεάζεται από έγχρωμα ή θολά διαλύματα.
- Είναι μη καταστρεπτική μέθοδος ανάλυσης.
- Μικρό σχετικά κόστος των ηλεκτροδίων, ενώ υπάρχει η δυνατότητα ελαχιστοποίησης του μεγέθους τους.
- Απλή και προσιτή οργανολογία.
- Δυνατότητα αυτοματοποίησης για τη συνεχή παρακολούθηση δειγμάτων συνεχούς ροής σε βιομηχανικές και κλινικές εφαρμογές.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- Η μικρή αναπαραγωγικότητα των μετρήσεων που δεν είναι καλύτερη από 1%. Απόκλιση 1 mV στη μέτρηση του δυναμικού ισοδυναμεί με 4% απόκλιση στον υπολογισμό της ενεργότητας των NO_3^- .
- Ο σχετικά μικρός χρόνος ζωής και η ποιότητα των εμπορικά διαθέσιμων αισθητήρων.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΕ ΜΑΡΟΥΛΙ ΚΑΙ ΦΥΛΛΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΙΟΝΤΩΝ (ΕΗΙ) ΝΙΤΡΙΚΩΝ

Η προτεινόμενη μέθοδος προσδιορισμού νιτρικών με επιλεκτικό ηλεκτρόδιο νιτρικών ιόντων (Ε.Η.Ι. νιτρικών) βασίζεται στη δημοσιευμένη από το ΕΑΧ μέθοδο, που περιγράφεται στο άρθρο Ε. Geniatakis, Μ. Fouskaki, and Ν.Α. Chaniotakis, *Direct Potentiometric Measurement of Nitrate in Seeds and Produce*, Communications in soil science and Plant Analysis, Vol.34, pp. 571-579, **2003**.

1. Μέθοδος Ανάλυσης

Τα νιτρικά ιόντα προσδιορίζονται ποτενσιομετρικά, χρησιμοποιώντας ένα επιλεκτικό ηλεκτρόδιο ιόντων στερεάς επαφής σε σύνδεση με ένα αναφορικό ηλεκτρόδιο Ag/AgCl διπλής γέφυρας και ένα ηλεκτρόμετρο υψηλής εμπέδησης ($R > 10^{12} \Omega$).

Η πορεία που ακολουθείται, κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι η εξής:

- Συλλογή και κατεργασία δειγμάτων.
- Προετοιμασία ηλεκτροδίου και έλεγχος καλής λειτουργίας αυτού βάσει των οδηγιών του κατασκευαστή.
- Παρασκευή πρότυπων διαλυμάτων και πραγματοποίηση καμπύλης βαθμονόμησης.
- Μέτρηση δειγμάτων
- Άμεσος προσδιορισμός της συγκέντρωσης νιτρικών.

Οργανολογία

- Επιλεκτικό Ηλεκτρόδιο Νιτρικών Στερεάς Επαφής, *Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας, Τμήμα Χημείας, Παν/μιο Κρήτης Ηράκλειο*.
- Αναφορικό ηλεκτρόδιο Ag/AgCl διπλής γέφυρας.
- Πεχάμετρο ή Ηλεκτρόμετρο Υψηλής Εμπέδησης
- Ζυγός 4 δεκαδικών ψηφίων
- Θερμαινόμενος Μαγνητικός Αναδευτήρας
- Πιπέτες Ακριβείας, διακριβωμένες
- Αναμικτήρας, Blender
- Ογκομετρικές φιάλες class A
- Ηλεκτρόδιο pH

Αντιδραστήρια

- Απιονισμένο νερό για την παρασκευή όλων των διαλυμάτων με ειδική αγωγιμότητα $> 18 \text{ M}\Omega\text{m}$.

- Νιτρικό κάλιο (KNO_3 , MW= 101,10), min 99%, για την παρασκευή των πρότυπων διαλυμάτων.
- Θεικό αργίλιο ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), min99%, MW=666,42
- Σουλφαμικό οξύ, ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$), min99%, MW=97,09
- Βορικό οξύ, (H_3BO_3), min99%, MW=61,83
- Θειικός άργυρος, (Ag_2SO_4), min99%, MW=311,80
- Χλωριούχο Κάλιο (KCl), min99%, MW=74,55
- Υδροξείδιο του νατρίου (NaOH), min99%, MW=40,00

Πειραματική πορεία

- Συλλογή και κατεργασία δείγματος

Το δείγμα των νωπών φυτικών ιστών που χρησιμοποιείται (περίπου 100- 200g), πολτοποιείται σε blender. Στη συνέχεια τοποθετείται ο πολτός σε πλαστικό δοχείο και φυλάσσεται στους 4 °C, μέχρις ότου αναλυθεί. Ο χρόνος παραμονής του πολτοποιημένου δείγματος στη συντήρηση δεν θα πρέπει να ξεπερνά της δυο (2) μέρες.

Πριν την ανάλυση ζυγίζονται σε ποτήρι ζέσεως 7-8 g πολτοποιημένου δείγματος, καταγράφεται η ακριβής μάζα τους και στη συνέχεια προστίθεται απιονισμένο νερό μέχρι η μάζα να γίνει 50 g. Το μίγμα αναδεύεται για 1 h προκειμένου να εκχυλιστούν τα νιτρικά και στη συνέχεια τοποθετείται στο blender και προστίθενται 50 mL διαλύματος ISA (βλέπε παρασκευή διαλύματος ρύθμισης ιονικής ισχύος) με ογκομετρική φιάλη ξεπλένοντας το ποτήρι όπου πραγματοποιήθηκε η ζύγιση. Το διάλυμα πολτοποιείται για 1-2 min στη μεσαία ταχύτητα του blender και είναι έτοιμο προς ανάλυση.

- Παρασκευή διαλυμάτων

Για την παρασκευή όλων των διαλυμάτων χρησιμοποιείται απιονισμένο νερό.

Το **πρότυπο διάλυμα** KNO_3 , 0,1M (6200 ppm) παρασκευάζεται διαλύοντας 1.0100g KNO_3 σε απιονισμένο νερό. Ο τελικός όγκος του διαλύματος ρυθμίζεται σε 100 ml σε ογκομετρική φιάλη. Το πρότυπο διάλυμα KNO_3 διατηρείται σε θερμοκρασία δωματίου το πολύ για τρεις (3) μήνες.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων νιτρικών με EHI μπορεί να επηρεάζονται σημαντικά από την παρουσία άλλων ανιόντων. Στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο οι επιδράσεις αυτές εξαλείφονται με τη χρήση κατάλληλου διαλύματος ρύθμισης ιονικής ισχύος (ISA), που χρησιμοποιείται κατά την προετοιμασία των προς ανάλυση δειγμάτων.

Ως διάλυμα ρύθμισης ιονικής ισχύος (ISA) χρησιμοποιείται το εξής:

- 0.02 M $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, (13,328 g)
- 0.01 M Ag_2SO_4 , (3,118 g)
- 0.02 M H_3BO_3 , (1,237 g)

- 0.02 M $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$, (1,942 g)
ρυθμισμένο σε pH 3.0 με διάλυμα NaOH.

Οι μάζες αναφέρονται σε 1 L διαλύματος.

Το διάλυμα αυτό εξουδετερώνει τα κυριότερα παρεμποδιστικά ιόντα που εκχυλίζονται από τους φυτικούς ιστούς, όπως τα ιόντα Cl^- , HCO_3^- , RCOO^- , NO_2^- , και τα οποία μπορούν να επιφέρουν σημαντικό σφάλμα στα πειραματικά αποτελέσματα.

Συγκεκριμένα το θειικό αργίλιο ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) διασπά τα ιόντα HCO_3^- και καταβυθίζει την οργανική ύλη. Ο θειικός άργυρος (Ag_2SO_4) εξουδετερώνει τα ιόντα Cl^- , Br^- , I^- , ενώ το σουλφαμικό οξύ ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$) εξουδετερώνει τα ιόντα NO_2^- . Το βορικό οξύ (H_3BO_3) βοηθάει στη ρύθμιση του pH και μειώνει την παρεμπόδιση από ιόντα όπως CN^- , S^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , φωσφορικά. Επίσης έχει αντιβακτηριακή δράση και χρησιμοποιείται συχνά ως συντηρητικό. Η αναλογία νερού / ISA στα διαλύματα είναι 50/50 (v/v). Το διάλυμα ISA διατηρείται σε θερμοκρασία δωματίου το πολύ για τρεις (3) μήνες.

- *Προετοιμασία και έλεγχος καλής λειτουργίας του ηλεκτροδίου*

Αρχικά το αναφορικό ηλεκτρόδιο γεμίζεται εσωτερικά με το αναφορικό διάλυμα που συστήνεται από τον κατασκευαστή και εξωτερικά με πρότυπο διάλυμα KCl 0.01M.

Το επιλεκτικό ηλεκτρόδιο ιόντων βυθίζεται, πριν από τη χρήση του, σε υδατικό διάλυμα KNO_3 , συγκέντρωσης 0,001 M για τουλάχιστον 1 ώρα.

Για τον έλεγχο καλής λειτουργίας του επιλεκτικού ηλεκτροδίου ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- i. Το ηλεκτρόδιο νιτρικών και το εξωτερικό αναφορικό ηλεκτρόδιο συνδέονται στις κατάλληλες υποδοχές του ηλεκτρόμετρου.
- ii. Σε ποτήρι ζέσεως των 100ml τοποθετούνται 25 ml νερού τύπου I και 25ml διαλύματος ρύθμισης ιονικής ισχύος (ISA) και στο διάλυμα που προκύπτει βυθίζονται τα ηλεκτρόδια, αφού πρώτα ξεπλυθούν με νερό τύπου I. Το διάλυμα τίθεται σε ήπια ανάδευση 300rpm (μαγνητάκι μεγέθους 20mm).
- iii. Στο διάλυμα αυτό προστίθεται 500μl υδατικού διαλύματος KNO_3 , συγκέντρωσης 0,1M και καταγράφεται η ένδειξη του ηλεκτρόμετρου.
- iv. Ακολουθεί επιπλέον προσθήκη 5ml του διαλύματος KNO_3 (0,1M), ανάδευση και καταγραφή της νέας ένδειξης του ηλεκτρόμετρου.
- v. Η διαφορά των δύο μετρήσεων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 50 – 65 mV. Σε διαφορετική περίπτωση η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

- *Πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης*

Η καμπύλη βαθμονόμησης πραγματοποιείται μετρώντας το δυναμικό (mV) του ηλεκτροδίου σε διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης νιτρικών. Σε ποτήρι ζέσεως των 50ml τοποθετούνται με πιπέτα ακριβείας των 10mL, 10 mL απιονισμένου νερού και 10 mL

διαλύματος ρύθμισης ιονικής ισχύος (ISA) και στο διάλυμα που προκύπτει βυθίζονται τα ηλεκτρόδια, αφού πρώτα ξεπλυθούν με απιονισμένο νερό. Το διάλυμα τίθεται σε ήπια ανάδευση 300rpm (μαγνητάκι μεγέθους 20mm). Στη συνέχεια πραγματοποιούνται 4 καθορισμένες προσθήκες (Πίνακας 3) του πρότυπου διαλύματος KNO₃ ενώ ταυτόχρονα καταγράφεται η ένδειξη του ηλεκτρόμετρου. Η καταγραφή του δυναμικού, μετά από κάθε προσθήκη, γίνεται αφού σταθεροποιηθεί το σήμα. Ο μέσος χρόνος αναμονής είναι συνήθως 1min.

Πίνακας 3: Προσθήκες από πρότυπο διάλυμα 0,1 M (6200 ppm) NO₃⁻ σε τελικό όγκο 20 mL.

Volume added (ml)	Final Concentration (M)	Final Concentration (ppm)
0,020	$1,00 \times 10^{-4}$	6,20
0,200	$1,09 \times 10^{-3}$	67,46
0,800	$4,85 \times 10^{-3}$	300,85
1,000	$9,17 \times 10^{-3}$	568,76

Η καμπύλη βαθμονόμησης είναι η γραφική παράσταση του μετρούμενου δυναμικού ως προς το λογάριθμο της συγκέντρωσης νιτρικών (σε mol/L ή ppm). Η σχέση του μετρούμενου δυναμικού E (Y) με το λογάριθμο της συγκέντρωσης νιτρικών σε ppm (X) είναι γραμμική, οπότε από την καμπύλη βαθμονόμησης υπολογίζεται η κλίση (B) και η τομή της ευθείας με τον άξονα των Y (A).

$$E = A + B \log [\text{NO}_3^-]$$

Για τον υπολογισμό των παραπάνω τα δεδομένα των μετρήσεων (μετρούμενο δυναμικό για κάθε συγκέντρωση νιτρικών του πίνακα 3) εισάγονται σε υπολογιστικό φύλλο excel και κατασκευάζουμε καμπύλη βαθμονόμησης.

Η κλίση της καμπύλης βαθμονόμησης πρέπει να κυμαίνεται, όταν η μέτρηση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία δωματίου (20-25 °C), από -50 ως -65 mV ανά μονάδα log συγκέντρωσης. Σε αντίθετη περίπτωση είτε το ηλεκτρόδιο είτε τα διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν, δεν προετοιμάστηκαν σωστά και η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί.

- Προσδιορισμός συγκέντρωσης νιτρικών σε πραγματικά δείγματα

Αλλαγές στη θερμοκρασία μπορεί να επηρεάζουν την τιμή του δυναμικού, που καταγράφεται. Για το λόγο αυτό οι μετρήσεις των δειγμάτων αλλά και η καμπύλη βαθμονόμησης πρέπει να πραγματοποιούνται στην ίδια θερμοκρασία (+/- 1°C). Για την πραγματοποίηση της μέτρησης, το ηλεκτρόδιο βυθίζεται στο διάλυμα του δείγματος και καταγράφεται η ένδειξη του δυναμικού στο ηλεκτρόμετρο. Ο μέσος χρόνος αναμονής που απαιτείται, για τη σταθεροποίηση του σήματος κατά τη μέτρηση ενός πραγματικού

δείγματος είναι 2 min. Το ηλεκτρόδιο ξεπλένεται πάντα με απιονισμένο νερό, τόσο πριν, όσο και μετά από κάθε μέτρηση.

- Υπολογισμός συγκέντρωσης νιτρικών στο δείγμα

Από την καμπύλη βαθμονόμησης, υπολογίζεται αρχικά ο λογάριθμος της άγνωστης συγκέντρωσης νιτρικών στα δείγματα (X) και αντιλογαριθμώντας, λαμβάνεται η συγκέντρωση νιτρικών στο διάλυμα $C_{\delta/\text{τος}}$ (σε ppm). Τελικά, η συγκέντρωση των νιτρικών στο δείγμα λαχανικού $C_{\text{δείγματος}}$ σε ppm (mg/Kg) δίνεται από τον τύπο

$$C_{\text{δείγματος}} = C_{\delta/\text{τος}} \times V_{\delta/\text{τος}} / m_{\text{δείγματος}}$$

όπου $V_{\delta/\text{τος}} = 100 \text{ mL}$.

Όλοι οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται εισάγοντας τα δεδομένα σε υπολογιστικό φύλλο excel.

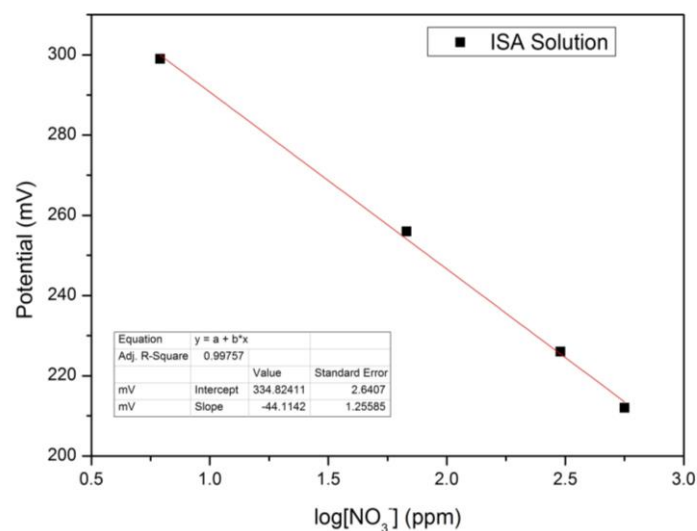
2. Μετρήσεις πεδίου για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων σε μαρούλι θερινής υδροπονικής καλλιέργειας Μάιος- Ιούνιος 2013 (ΕΛΓΟ).

Το πρωτόκολλο ανάλυσης νιτρικών με επιλεκτικό ηλεκτρόδιο νιτρικών εφαρμόστηκε σε δείγματα μαρουλιού της θερινής υδροπονικής καλλιέργειας (Μάιος- Ιούνιος 2013) στον εταίρο ΕΛΓΟ. Τα δείγματα μαρουλιού που αναλύθηκαν προέρχονταν τόσο από επιτλέουσα υδροπονική καλλιέργεια DFT όσο και από κλειστό σύστημα υδροπονίας NFT. Οι επεμβάσεις του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των φυτών (3 επαναλήψεις από κάθε επέμβαση) αναφέρονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Επεμβάσεις Θρεπτικού Διαλύματος Υδροπονίας (ΕΛΓΟ). Θερινή καλλιέργεια Μάιος- Ιούνιος 2013

Θρεπτικό Διάλυμα Υδροπονίας	Θεωρητικές Τιμές			
	[NO ₃ ⁻] (meq/l)		[NaCl] (meq/l)	
1	normal	11.8	low	-
2	normal	11.8	high	15
3	high	15.5	low	-
4	high	15.5	high	15

Ακολουθήθηκε η διαδικασία ανάλυσης, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 1. Η γραφική παράσταση που προέκυψε από την καμπύλη βαθμονόμησης του επιλεκτικού ηλεκτροδίου νιτρικών, παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 1. Καμπύλη βαθμονόμησης Ε.Η.Ι. νιτρικών σε διάλυμα ρύθμισης ιονικής ισχύος (ISA).

Στη συνέχεια μετρήθηκαν τα δείγματα μαρουλιού που αναπτύχθηκαν με τις διάφορες συστάσεις θρεπτικού διαλύματος και τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα μετρήσεων σε δείγματα μαρουλιού από κλειστό σύστημα υδροπονίας NFT, με Επιλεκτικό Ηλεκτρόδιο Νιτρικών.

Δείγμα Μαρουλιού	Δυναμικό (mV)	[NO ₃ ⁻] (ppm)
NFT1	248,0	1235,58
NFT2	258	721,97
NFT3	256,0	797,04
NFT4	246	1360,77
NFT5	258	726,97
NFT6	255	846,35
NFT7	251	1044,19
NFT8	257	744,72
NFT9	249	1153,54
NFT10	265	504,11
NFT11	256	812,98
NFT12	247	1302,26

Πίνακας 6. Αποτελέσματα μετρήσεων σε δείγματα μαρουλιού από επιπλέουσα υδροπονική καλλιέργεια DFT, με Επιλεκτικό Ηλεκτρόδιο Νιτρικών.

<i>Δείγμα Μαρουλιού</i>	<i>Potential (mV)</i>	<i>[NO₃⁻] (ppm)</i>
DFT1	236	2306,32
DFT2	243	1601,90
DFT3	238	2053,25
DFT4	242	1679,87
DFT5	245	1405,08
DFT6	239	1917,29
DFT7	239	1967,52
DFT8	241,0	1407,93
DFT9	238,0	1857,95
DFT10	238,0	1638,02
DFT11	238,0	1602,85
DFT12	241,0	1367,94

Πίνακας 7. Αποτελέσματα μετρήσεων σε δείγματα μαρουλιού από επιπλέουσα υδροπονική καλλιέργεια DFT, με Επιλεκτικό Ηλεκτρόδιο Νιτρικών. Συσχέτιση με τη σύσταση του θρεπτικού διαλύματος.

<i>Θρεπτικό Διάλυμα Υδροπονίας</i>		<i>Αποτελέσματα μετρήσεων (N=3)</i>	
[NO₃⁻] (meq/l)	[Cl⁻] (meq/l)	Μέση μάζα μαρουλιού (gr)	Μέση [NO₃⁻] mg NO₃⁻ / kg plant (ppm)
normal	low	406.2	1761.8
normal	high	350.8	1537.6
high	low	382.8	1863.8
high	high	251.5	1772.1

Πίνακας 8. Αποτελέσματα μετρήσεων σε δείγματα μαρουλιού από κλειστό σύστημα υδροπονίας NFT, με Επιλεκτικό Ηλεκτρόδιο Νιτρικών. Συσχέτιση με τη σύσταση του θρεπτικού διαλύματος.

<i>Θρεπτικό Διάλυμα Υδροπονίας</i>		<i>Αποτελέσματα μετρήσεων (N=3)</i>	
[NO₃⁻] (meq/l)	[Cl⁻] (meq/l)	Μέση μάζα μαρουλιού (gr)	Μέση [NO₃⁻] mg NO₃⁻ / kg plant (ppm)
normal	low	330.4	969.7
normal	high	237.7	759.9
high	low	315.6	1863.8
high	high	270.3	892.5

3. Μετρήσεις πεδίου για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων σε μαρούλι χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας Δεκέμβριος 2013-14 (ΕΛΓΟ).

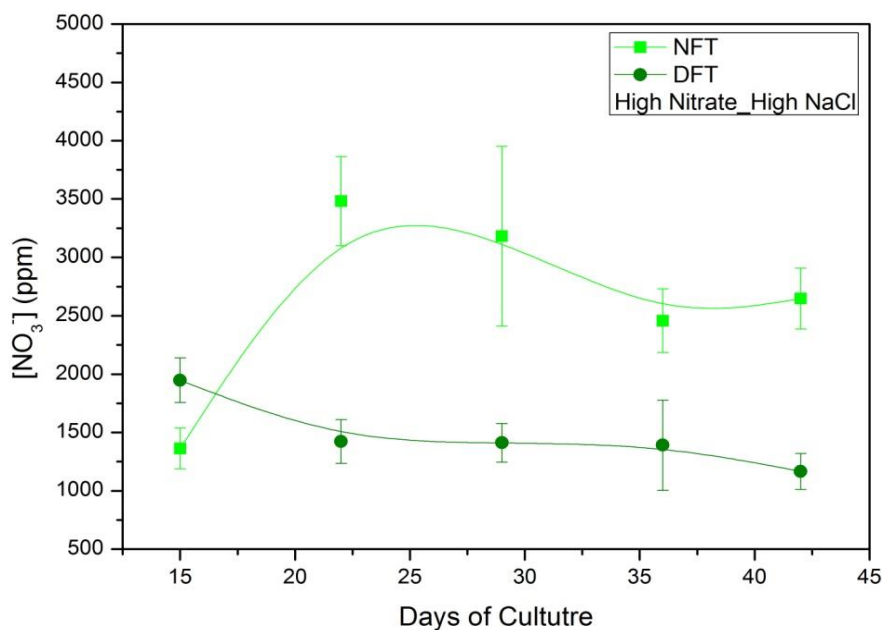
Το πρωτόκολλο ανάλυσης νιτρικών με επιλεκτικό ηλεκτρόδιο νιτρικών εφαρμόστηκε σε δείγματα μαρουλιού της χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας (Δεκέμβριος 2013- Ιανουάριος 2014) στον εταίρο ΕΛΓΟ. Τα δείγματα μαρουλιού που αναλύθηκαν προέρχονταν τόσο από επιπλέουσα υδροπονική καλλιέργεια DFT όσο και από κλειστό σύστημα υδροπονίας NFT. Οι επεμβάσεις του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των φυτών(3 επαναλήψεις από κάθε επέμβαση) αναφέρονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9. Επεμβάσεις Θρεπτικού Διαλύματος Υδροπονίας (ΕΛΓΟ). Χειμερινή καλλιέργεια Δεκέμβριος 2013- Ιανουάριος 2014.

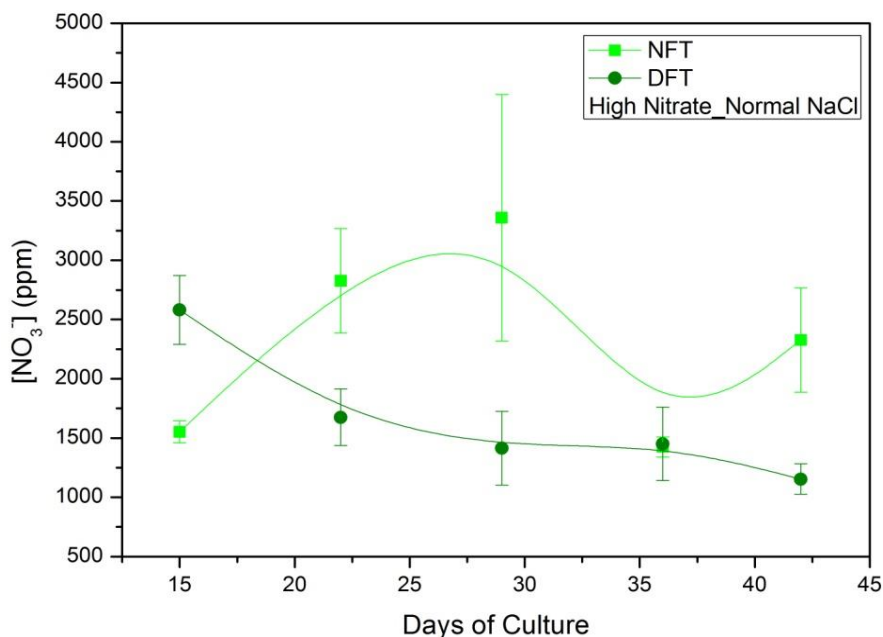
Θρεπτικό Διάλυμα Υδροπονίας	Θεωρητικές Τιμές			
	[NO ₃ ⁻] (meq/l)		[NaCl] (meq/l)	
1	normal	15.3	low	-
2	normal	15.3	high	15
3	high	25	low	-
4	high	25	high	15

Ακολουθήθηκε η διαδικασία ανάλυσης που περιγράφεται στη ενότητα 1. Η διάρκεια της συγκεκριμένης καλλιέργειας ήταν 42 ημέρες και πραγματοποιήθηκε εβδομαδιαία δειγματοληψία φύλλων μαρουλιού και ανάλυσή τους με το επιλεκτικό ηλεκτρόδιο νιτρικών για την παρακολούθηση της τάσης απορρόφησης των νιτρικών ιόντων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στα ακόλουθα γραφήματα.

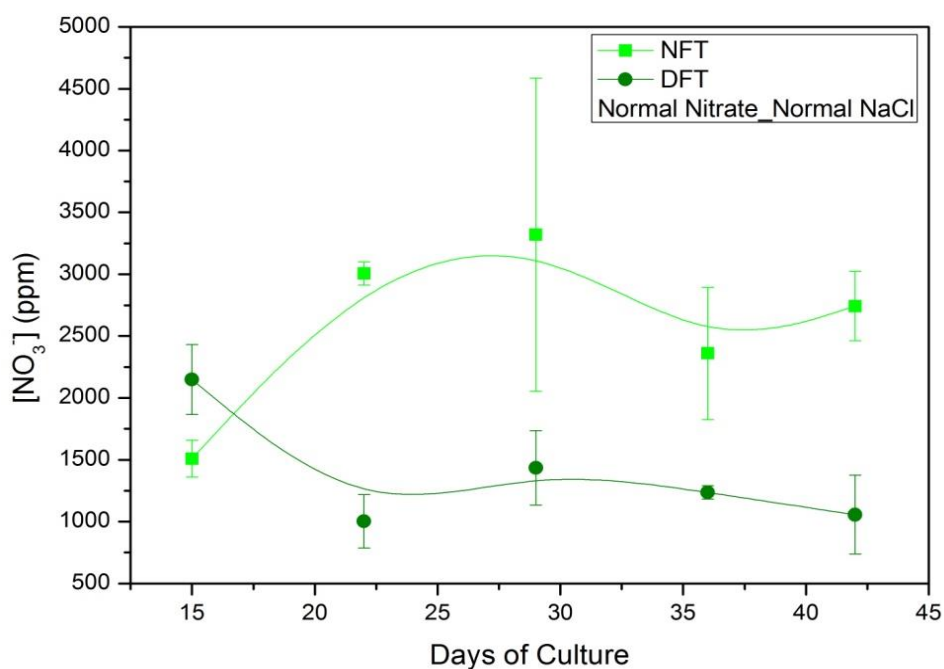
Σχήμα 2. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 42 ημερών, σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT και σε κλειστό σύστημα NFT. Το θρεπτικό που χρησιμοποιήθηκε είχε υψηλή $[\text{NO}_3^-] = 25 \text{ meq/L}$ και υψηλή αλατότητα.



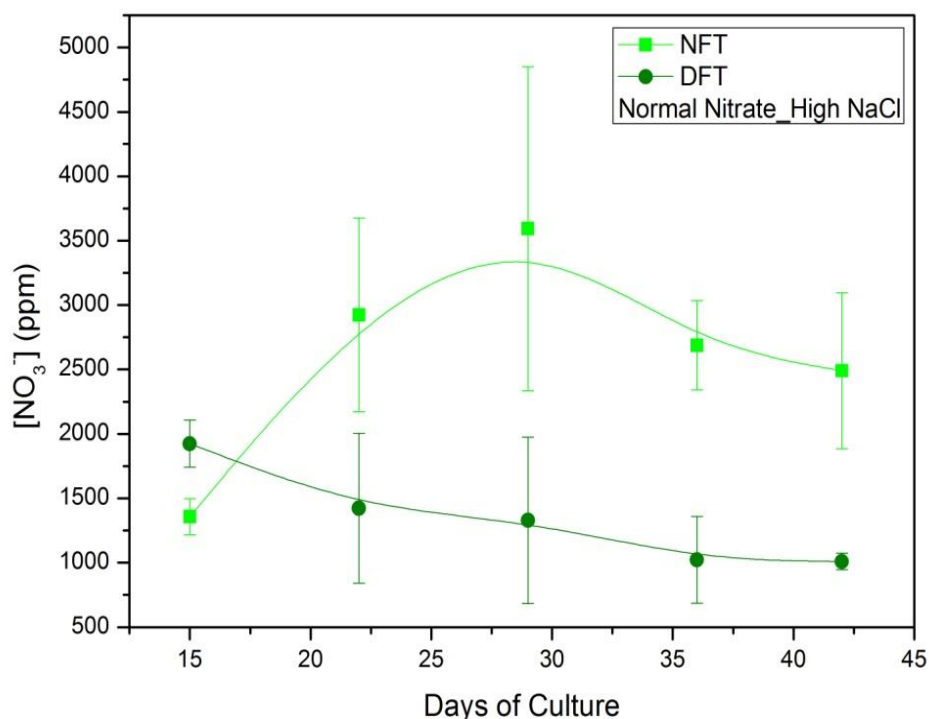
Σχήμα 3. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 42 ημερών, σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT και σε κλειστό σύστημα NFT. Το θρεπτικό που χρησιμοποιήθηκε είχε υψηλή $[\text{NO}_3^-] = 25 \text{ meq/L}$ και κανονική αλατότητα.



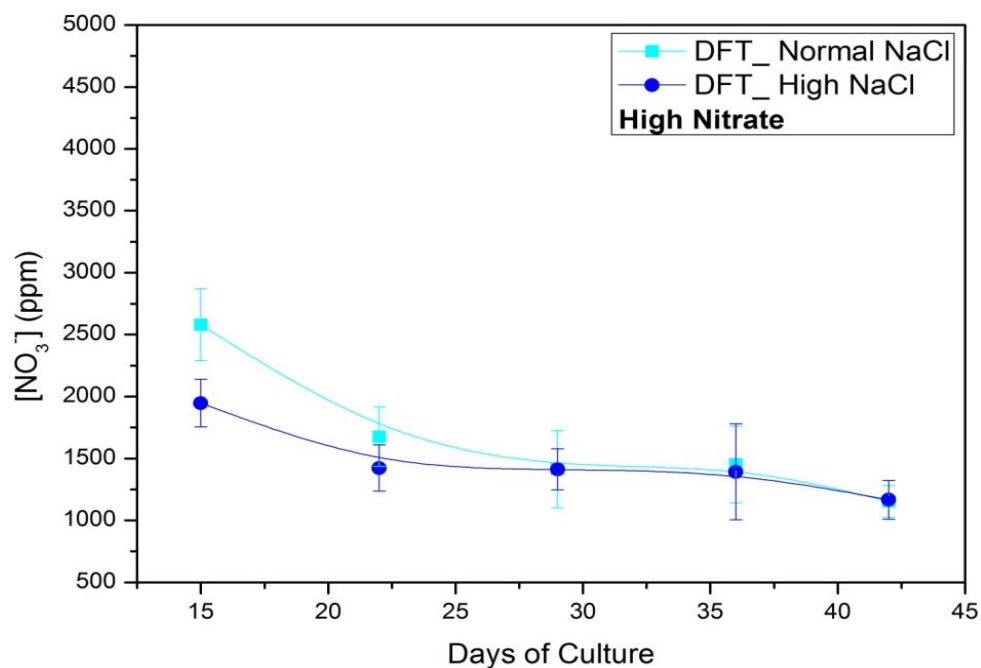
Σχήμα 4. Συγκριτική απεικόνιση τη τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 42 ημερών, σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT και σε κλειστό σύστημα NFT. Το θρεπτικό που χρησιμοποιήθηκε είχε κανονική $[\text{NO}_3^-] = 15.3 \text{ meq/L}$ και κανονική αλατότητα.



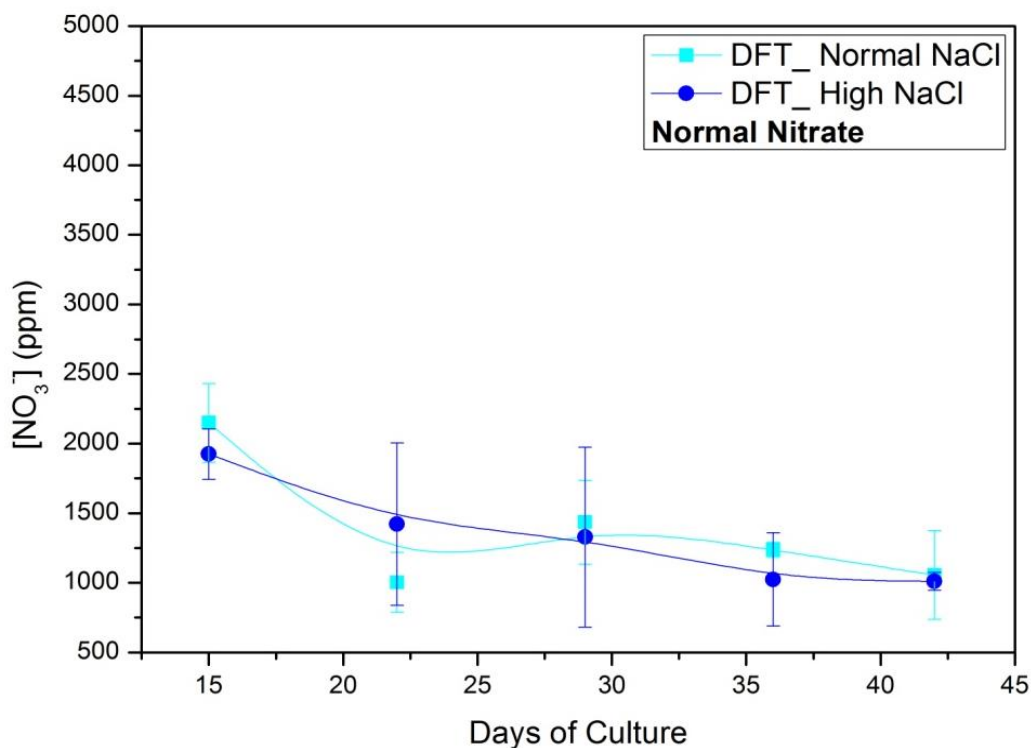
Σχήμα 5. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 42 ημερών, σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT και σε κλειστό σύστημα NFT. Το θρεπτικό που χρησιμοποιήθηκε είχε κανονική $[\text{NO}_3^-] = 25 \text{ meq/L}$ και υψηλή αλατότητα.



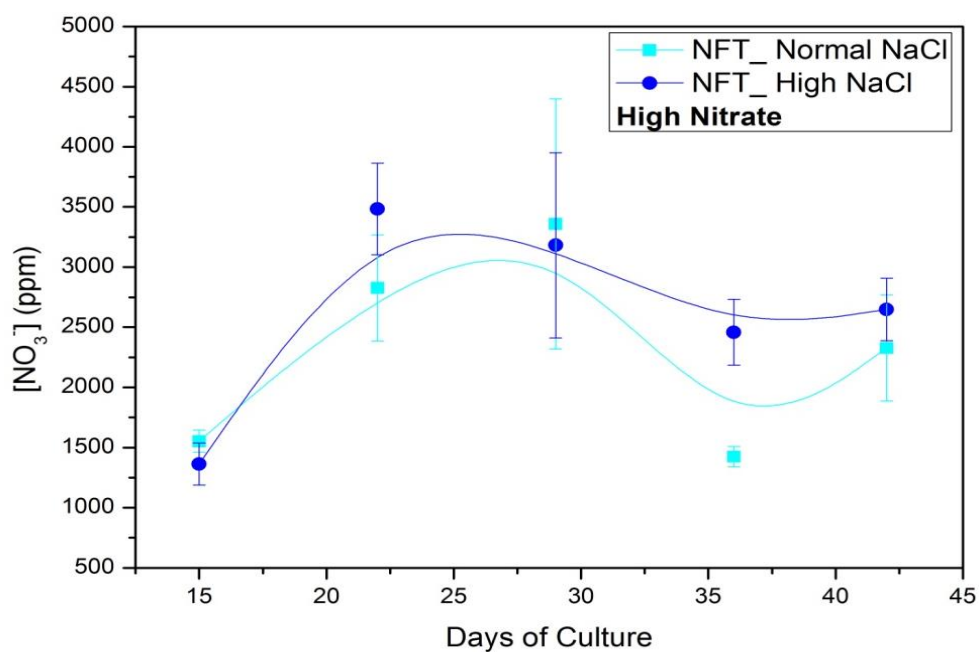
Σχήμα 6. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 42 ημερών, σε συνθήκες χαμηλής και υψηλής αλατότητας και υψηλό επίπεδο νιτρικών σε επιπλέον καλλιέργεια DFT.



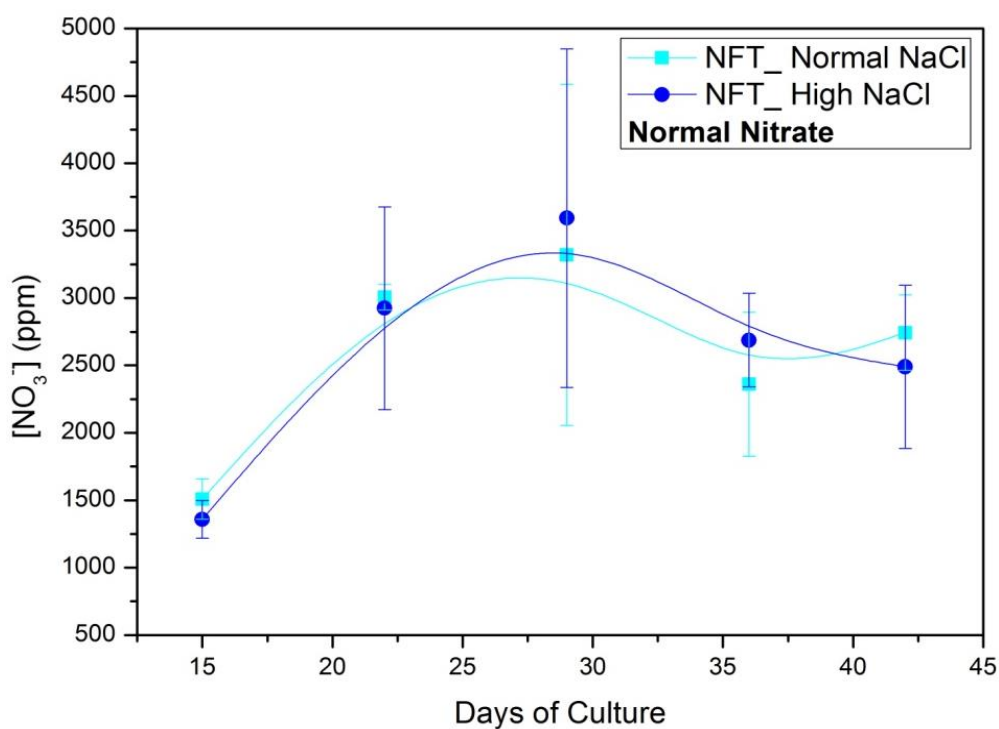
Σχήμα 7. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 42 ημερών, σε συνθήκες χαμηλής και υψηλής αλατότητας και κανονικό επίπεδο νιτρικών σε επιπλέον καλλιέργεια DFT.



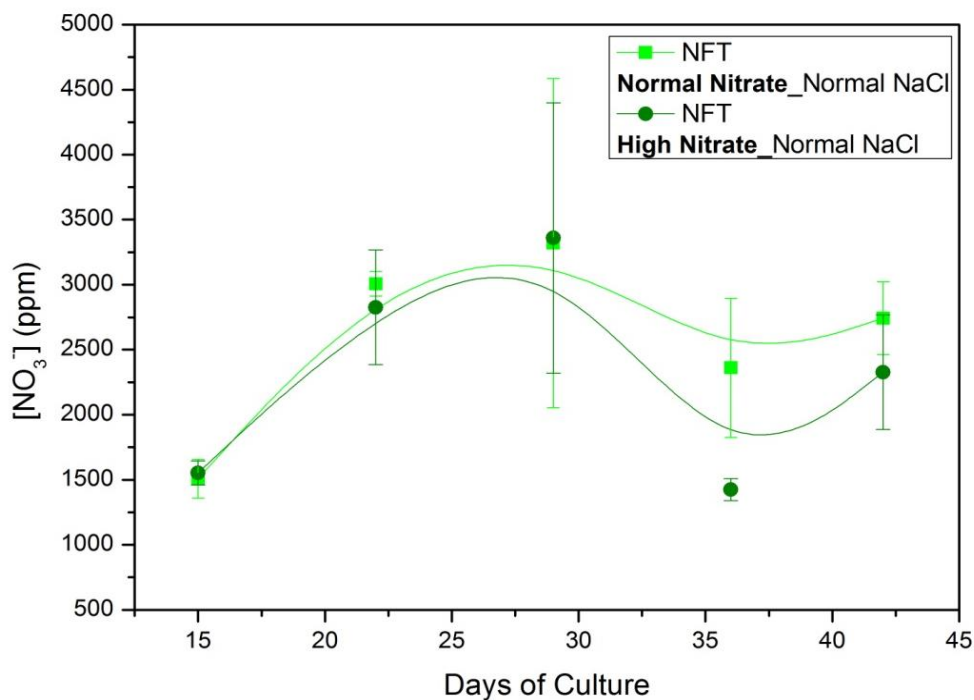
Σχήμα 8. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 42 ημερών, σε συνθήκες χαμηλής και υψηλής αλατότητας και υψηλό επίπεδο νιτρικών σε κλειστό σύστημα NFT.



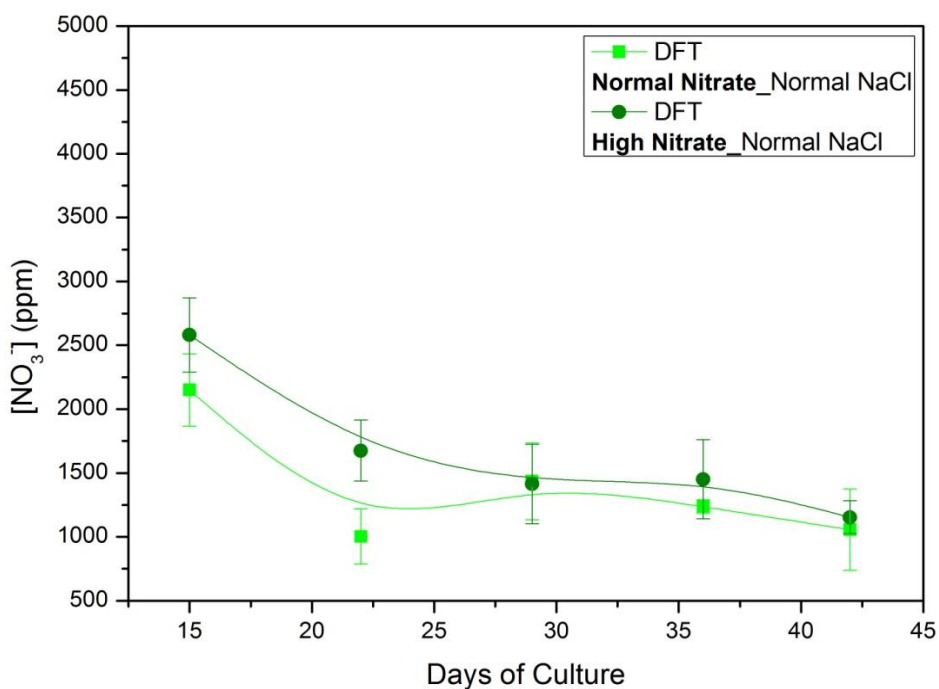
Σχήμα 9. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού χειμερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 42 ημερών, σε συνθήκες χαμηλής και υψηλής αλατότητας και κανονικό επίπεδο νιτρικών σε κλειστό κύκλωμα NFT.



Σχήμα 10. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού που αναπτύσσονται σε κλειστό σύστημα υδροπονίας NFT και σε θρεπτικά κανονικής αλατότητας με υψηλά και κανονικά επίπεδα νιτρικών. Χειμερινή καλλιέργεια διάρκεια 42 ημερών.



Σχήμα 11. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού που αναπτύσσονται σε επιπλέουσα υδροπονία DFT και σε θρεπτικά κανονικής αλατότητας με υψηλά και κανονικά επίπεδα νιτρικών. Χειμερινή καλλιέργεια διάρκεια 42 ημερών.



4. Μετρήσεις πεδίου για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων σε μαρούλι θερινής υδροπονικής καλλιέργειας Απρίλιος- Μάιος 2014 (ΕΛΓΟ).

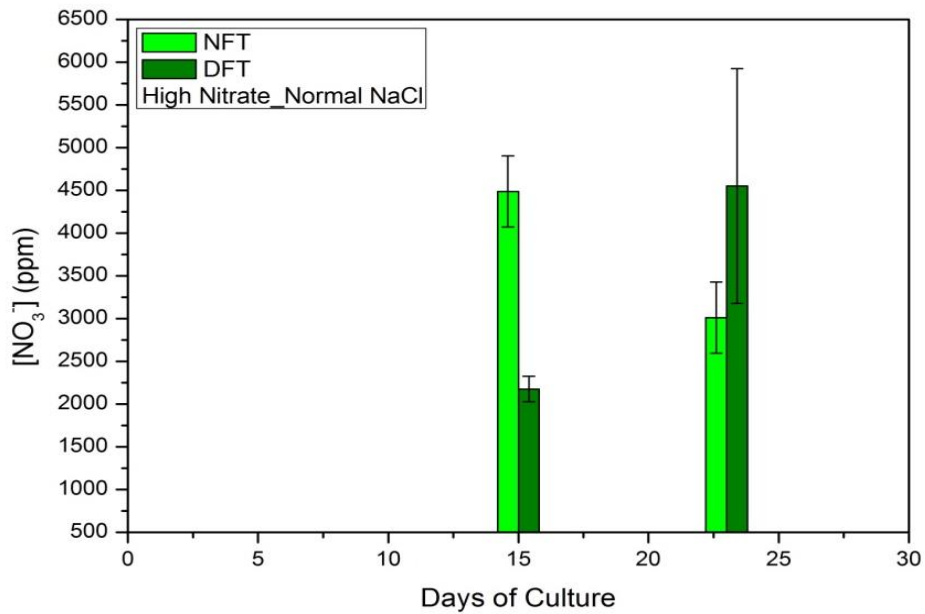
Το πρωτόκολλο ανάλυσης νιτρικών με επιλεκτικό ηλεκτρόδιο νιτρικών εφαρμόστηκε σε δείγματα μαρουλιού της θερινής υδροπονικής καλλιέργειας (Απρίλιος- Μάιος 2014) στον εταίρο ΕΛΓΟ. Τα δείγματα μαρουλιού που αναλύθηκαν προέρχονταν τόσο από επιπλέουσα υδροπονική καλλιέργεια DFT όσο και από κλειστό σύστημα υδροπονίας NFT. Οι επεμβάσεις του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των φυτών(3 επαναλήψεις από κάθε επέμβαση) αναφέρονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10. Επεμβάσεις Θρεπτικού Διαλύματος Υδροπονίας (ΕΛΓΟ). Θερινή καλλιέργεια Απρίλιος- Μάιος 2014.

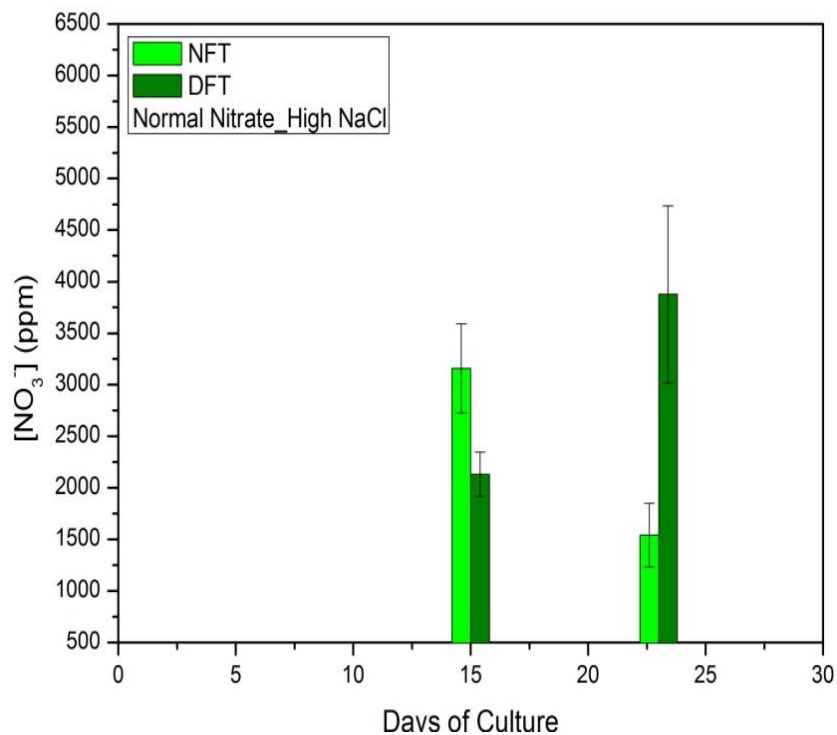
Θρεπτικό Διάλυμα Υδροπονίας	Θεωρητικές Τιμές			
	[NO ₃ ⁻] (meq/l)		[NaCl] (meq/l)	
1	normal	15.3	low	-
2	normal	15.3	high	15
3	high	25	low	-
4	high	25	high	15

Ακολουθήθηκε η διαδικασία ανάλυσης, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 1. Η διάρκεια της συγκεκριμένης καλλιέργειας ήταν 42 ημέρες και πραγματοποιήθηκε εβδομαδιαία δειγματοληψία φύλλων μαρουλιού και ανάλυση τους με το επιλεκτικό ηλεκτρόδιο νιτρικών για την παρακολούθηση της τάσης απορρόφησης των νιτρικών ιόντων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στα ακόλουθα γραφήματα.

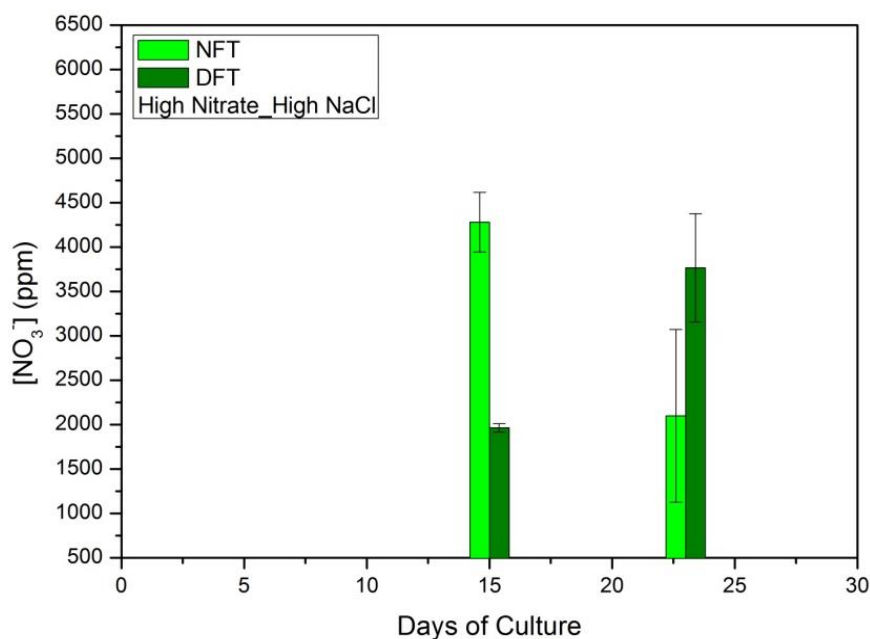
Σχήμα 12. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού θερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 23 ημερών, σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT και σε κλειστό σύστημα NFT. Το θρεπτικό που χρησιμοποιήθηκε είχε υψηλή $[\text{NO}_3^-] = 25 \text{ meq/L}$ και κανονική αλατότητα.



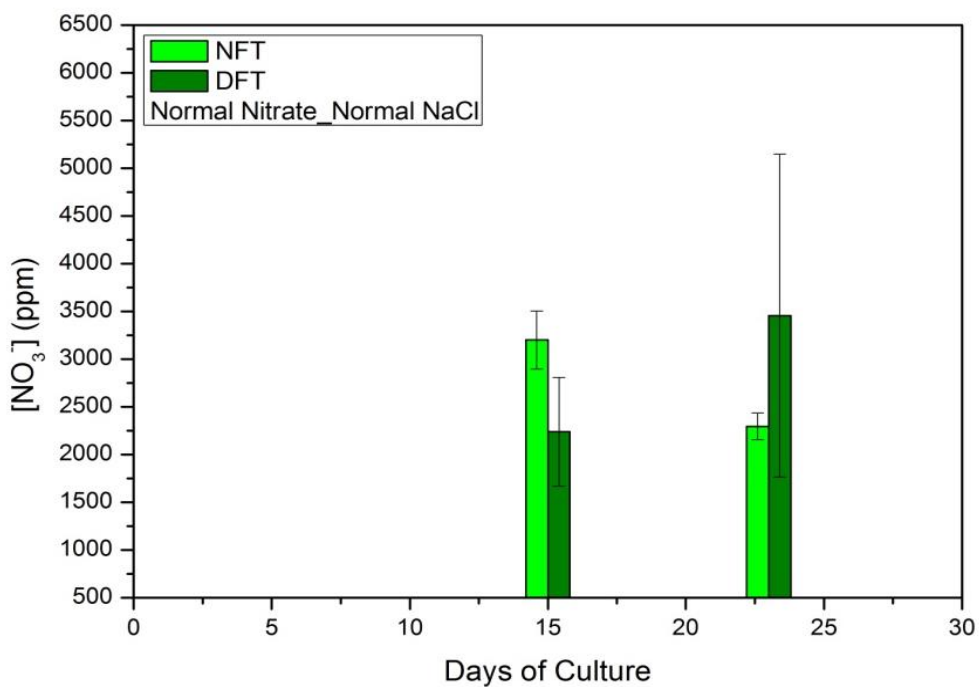
Σχήμα 13. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού θερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 23 ημερών, σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT και σε κλειστό σύστημα NFT. Το θρεπτικό που χρησιμοποιήθηκε είχε κανονική $[\text{NO}_3^-] = 15.3 \text{ meq/L}$ και υψηλή αλατότητα.



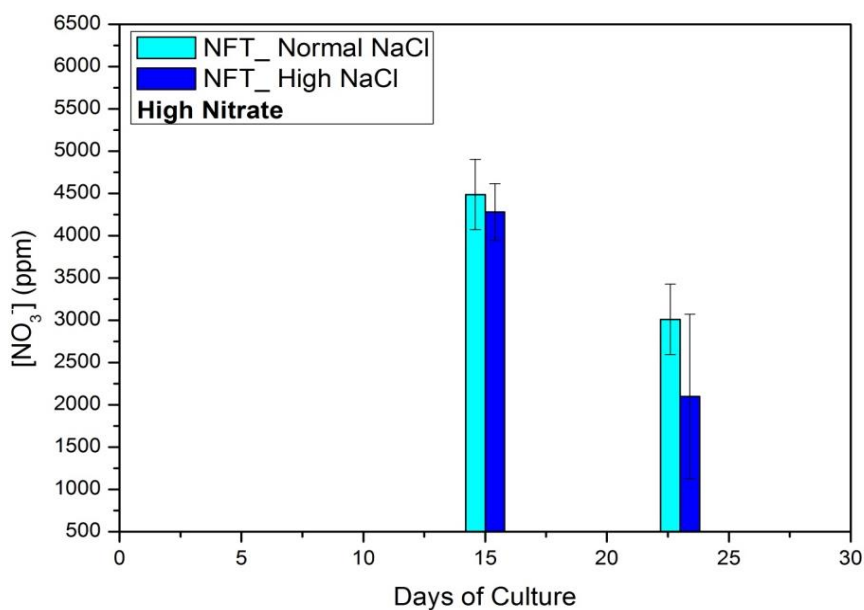
Σχήμα 14. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού θερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 23 ημερών, σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT και σε κλειστό σύστημα NFT. Το θρεπτικό που χρησιμοποιήθηκε είχε υψηλή $[\text{NO}_3^-] = 25 \text{ meq/L}$ και υψηλή αλατότητα.



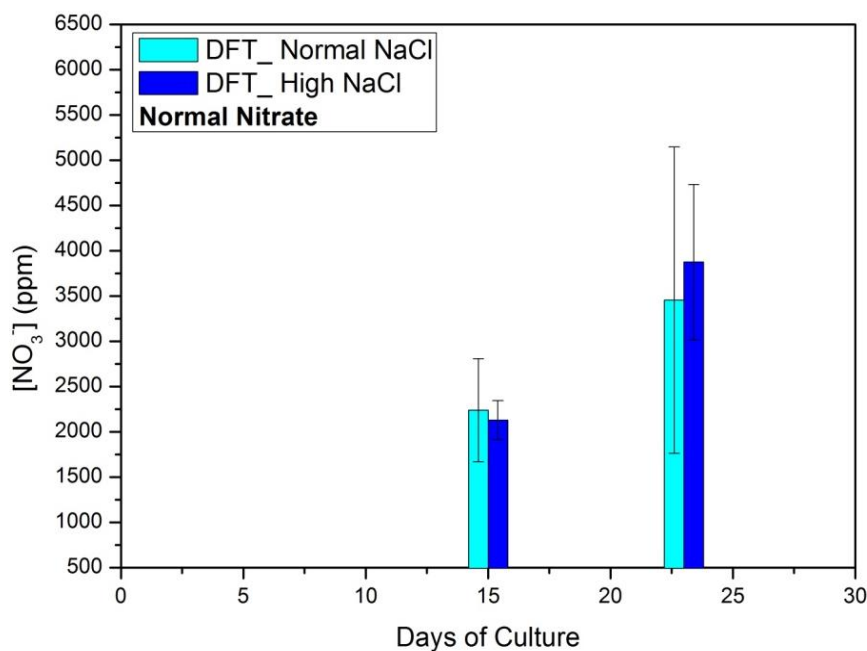
Σχήμα 15. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού θερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 23 ημερών, σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT και σε κλειστό σύστημα NFT. Το θρεπτικό που χρησιμοποιήθηκε είχε κανονική $[\text{NO}_3^-] = 15.3 \text{ meq/L}$ και κανονική αλατότητα.



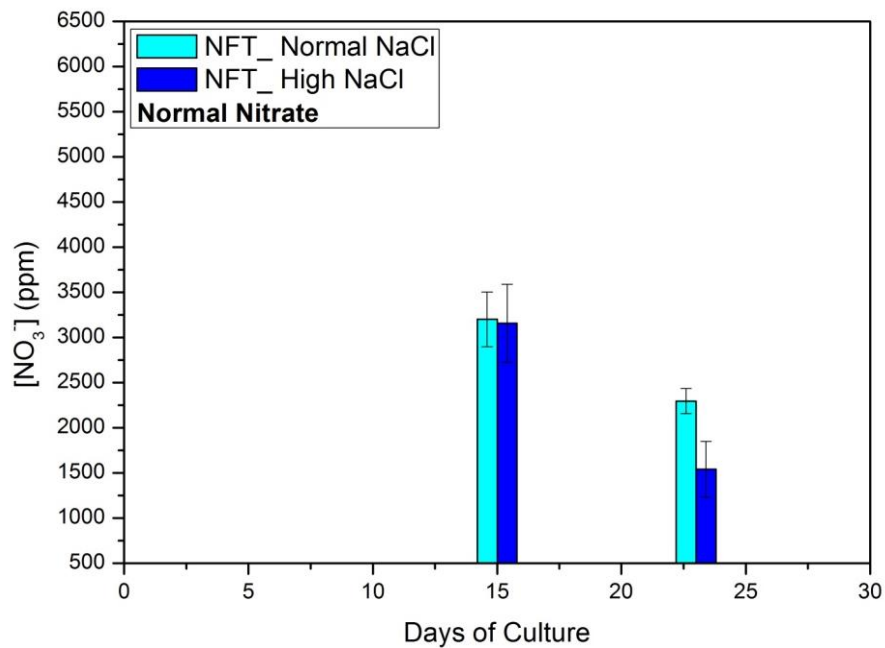
Σχήμα 16. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού θερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 23 ημερών, σε συνθήκες χαμηλής και υψηλής αλατότητας και υψηλό επίπεδο νιτρικών σε κλειστό σύστημα NFT.



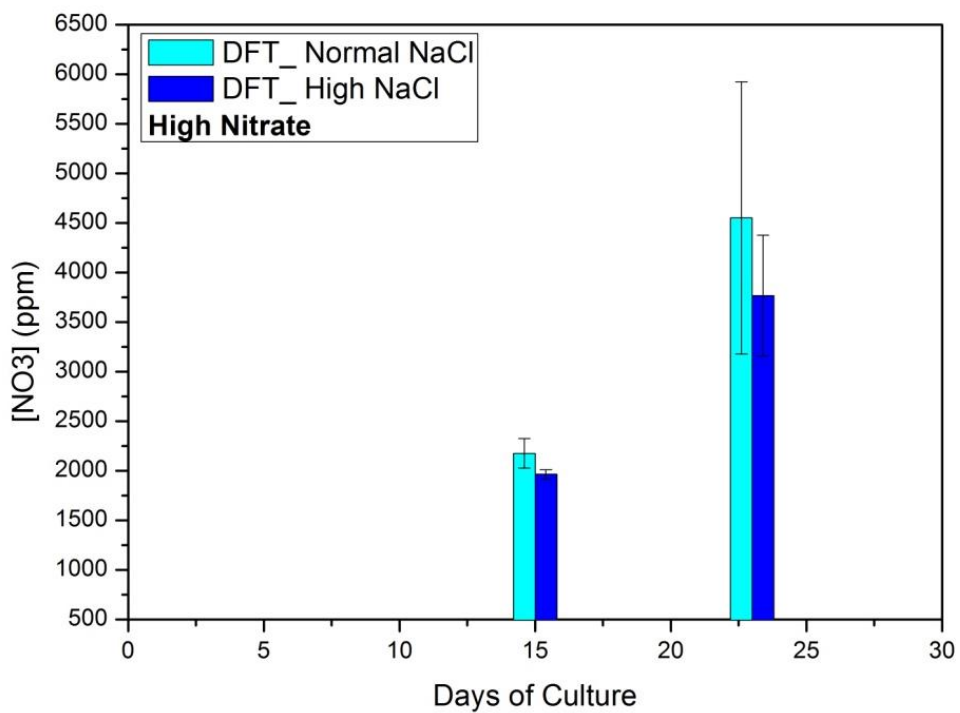
Σχήμα 17. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού θερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 23 ημερών, σε συνθήκες χαμηλής και υψηλής αλατότητας και κανονικό επίπεδο νιτρικών σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT.



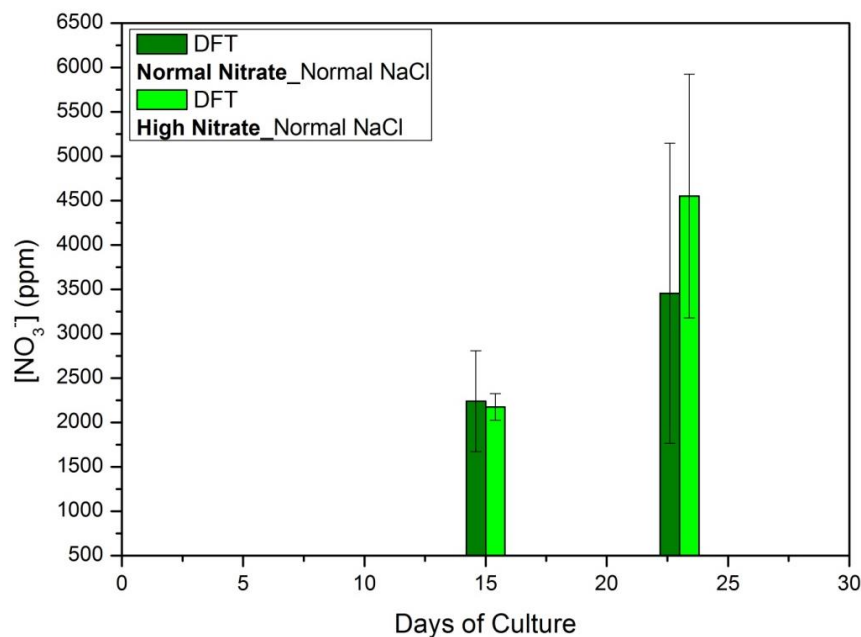
Σχήμα 18. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού θερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 23 ημερών, σε συνθήκες χαμηλής και υψηλής αλατότητας και κανονικό επίπεδο νιτρικών σε κλειστό σύστημα NFT.



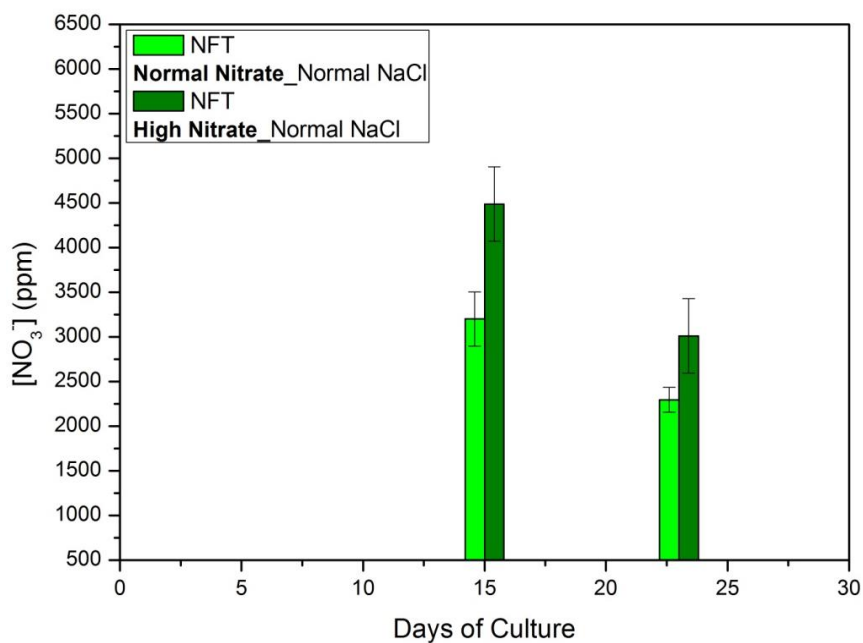
Σχήμα 19. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού θερινής υδροπονικής καλλιέργειας διάρκειας 23 ημερών, σε συνθήκες χαμηλής και υψηλής αλατότητας και υψηλό επίπεδο νιτρικών σε επιπλέουσα καλλιέργεια DFT.



Σχήμα 20. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού που αναπτύσσονται σε επιπλέουσα υδροπονία DFT και σε θρεπτικά κανονικής αλατότητας με υψηλά και κανονικά επίπεδα νιτρικών. Θερμική καλλιέργεια διάρκεια 23 ημερών.

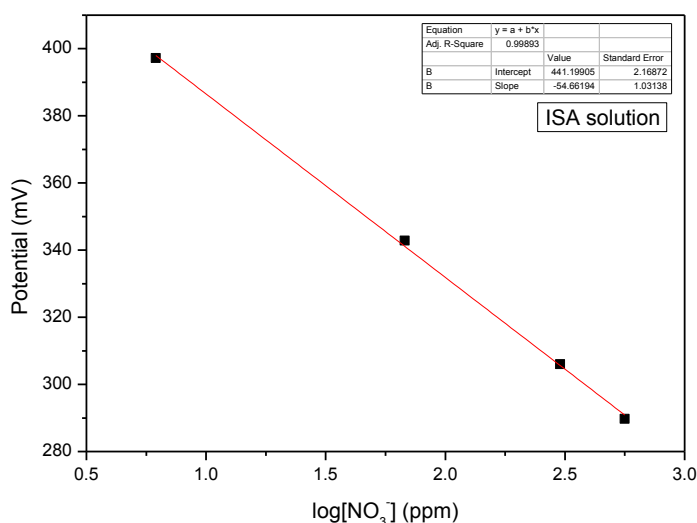


Σχήμα 21. Συγκριτική απεικόνιση της τάσης απορρόφησης νιτρικών σε δείγματα μαρουλιού που αναπτύσσονται σε κλειστό σύστημα υδροπονίας NFT και σε θρεπτικά κανονικής αλατότητας με υψηλά και κανονικά επίπεδα νιτρικών. Θερμική καλλιέργεια διάρκεια 23 ημερών.



2. Μετρήσεις πεδίου για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων σε φύλλα τομάτας (Μ.Α.Ι.Χ.)

Το πρωτόκολλο ανάλυσης νιτρικών με επιλεκτικό ηλεκτρόδιο νιτρικών εφαρμόστηκε σε δείγματα από φύλλα τομάτας στον εταίρο Μ.Α.Ι.Χ. Ακολουθήθηκε η διαδικασία ανάλυσης, η οποία έχει στην ενότητα 1. Η γραφική παράσταση που προέκυψε από την καμπύλη βαθμονόμησης του επιλεκτικού ηλεκτροδίου νιτρικών, παρουσιάζεται στο σχήμα 22 και τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον πίνακα 11.



Σχήμα 22. Καμπύλη βαθμονόμησης Ε.Η.Ι. νιτρικών σε διάλυμα ρύθμισης ιονικής ισχύος (ISA).

Πίνακας 11. Αποτελέσματα μετρήσεων σε δείγματα από φύλλα τομάτας με Επιλεκτικό Ηλεκτρόδιο Νιτρικών.

Δείγμα Φύλλου Τομάτας	Potential (mV)	[NO ₃ ⁻] (ppm)
Φ1α	312,0	3062,47
Φ1β	320,3	2317,42
Φ1γ	307,8	3695,35
Φ2α	310,3	3460,48
Φ2β	309,6	3446,76
Φ2γ	306,8	3919,48
Φ3α	308,0	3470,82
Φ3β	309,0	3739,75
Φ3γ	307,6	3897,43

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρακάτω συνοψίζονται τα γενικότερα συμπεράσματα των συγκριτικών μετρήσεων νιτρικών με το ΕΗΙ σε μαρούλια που έχουν αναπτυχθεί σε διαφορετικούς τύπους υδροπονικής καλλιέργειας και με θρεπτικά διαλύματα διαφορετικής σύστασης.

1. Η αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα δε φαίνεται να επηρεάζει την απορρόφηση νιτρικών από το φυτό η οποία εξαρτάται πολύ και από τις καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες της καλλιέργειας.
2. Η αυξημένη αλατότητα (τουλάχιστον στα επίπεδα που εξετάστηκαν) επίσης δεν εμποδίζει την απορρόφηση νιτρικών και την ανάπτυξη των φυτών.