



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΤΜΗΜΑ
**Βιοχημείας &
Βιοτεχνολογίας**
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑΣ & ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συνεισφορά των μικροβιωτών του νερού συζευγμένης και
αποξενωμένης ενυδρειοπονίας στην φύτρωση σπερμάτων και την
ανάπτυξη αρτίβλαστων μαρουλιού και ρόκας**

Μονοβασίου Χρυσούλα του Αριστείδη



**ΣΥΝ-ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΕΣ: ΛΕΒΙΖΟΥ ΕΥΘΥΜΙΑ και
ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ**

ΒΟΛΟΣ, 2023

«Συνεισφορά των μικροβιωτών του νερού συζευγμένης και αποζευγμένης ενυδρειοπονίας στην φύτευση σπερμάτων και την ανάπτυξη αρτίβλαστων μαρουλιού και ρόκας»

«The contribution of water microbiome from coupled and decoupled aquaponics systems to lettuce and rocket seeds germination and seedlings development»

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Λεβίζου Ευθυμία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Επιβλέπουσα

Παπαδοπούλου Καλλιόπη, Καθηγήτρια Βιοτεχνολογίας Φυτών, Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Συνεπιβλέπουσα

Κορμάς Κωνσταντίνος, Καθηγητής Οικολογίας Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που με στήριξαν και που συνέβαλαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Διπλωματική Εργασία. Η εκπόνησή της έγινε στο εργαστήριο Ζιζανιολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θέλω να απευθύνω στην επιβλέπουσα καθηγήτρια κα Λεβίζου Ευθυμία, η οποία με δέχθηκε στο εργαστήριό της, με εμπιστεύτηκε και μου ανέθεσε την διπλωματική εργασία, εισάγοντάς με σε καινούργια για μένα γνωστικά πεδία. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το μέλος της εξεταστικής επιτροπής, κο Κωνσταντίνο Κορμά για την πολύτιμη βοήθειά του στα πρώτα μου βήματα στα εργαστήρια και για την καθοδήγηση που μου προσέφερε. Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην υποψήφια διδάκτορα Ευαγγελία Τσουμαλάκου η οποία ήταν πάντα εκεί, πρόθυμη να με ακούσει και να λύσει οποιαδήποτε απορία μου και να προσφέρει τη βοήθειά της. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης την υποψήφια διδάκτορα Μουραντιάν Αναστασία, η οποία μου παρείχε μέσω των δικών της πειραμάτων, πολύτιμες πρώτες ύλες για την πραγματοποίηση των δικών μου και ήταν πρόθυμη να μου δώσει οποιαδήποτε συμβουλή της ζήτησα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ πρέπει να πω σε φίλους και συναδέλφους που με εμπύχωναν και με στήριξαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Άφησα για το τέλος ένα τεράστιο ευχαριστώ που οφείλω να απευθύνω στην οικογένειά μου και ιδιαιτέρως στον σύζυγό μου και στους γιους μου, που δεν σταμάτησαν ούτε λεπτό, αυτά τα τέσσερα χρόνια των σπουδών μου, να μου δείχνουν την αγάπη τους και να με στηρίζουν. Χωρίς την δική τους βοήθεια όλα θα ήταν πιο δύσκολα!!!

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|--|------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | xi |
| ABSTRACT..... | xiii |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 1 |
| 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ | 1 |
| 1.2 ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ | 2 |
| 1.2.1 Ιστορική Αναδρομή | 4 |
| 1.2.2 Θρεπτικό διάλυμα υδροπονικού συστήματος..... | 4 |
| 1.3 ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ | 7 |
| 1.4 ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑ | 9 |
| 1.4.1 Ιστορική αναδρομή | 10 |
| 1.4.2 Περιγραφή ενυδρειοπονικού συστήματος | 11 |
| 1.4.3 Ψάρια, φυτά και βακτήρια στα συστήματα ενυδρειοπονίας..... | 16 |
| 1.4.4 Συστήματα αποξευγμένης ενυδρειοπονίας | 22 |
| 1.4.5 Θρεπτικό διάλυμα φυτών ενυδρειοπονικού συστήματος | 23 |
| 1.5 ΜΑΡΟΥΛΙ..... | 25 |
| 1.5.1 Γενικά..... | 25 |
| 1.5.2 Ιστορική Αναδρομή | 25 |
| 1.5.3 Βοτανικά χαρακτηριστικά | 26 |
| 1.5.4 Βοτανικοί τύποι..... | 26 |
| 1.5.5 Κλιματικές και Εδαφικές Απαιτήσεις..... | 27 |
| 1.5.6 Θρεπτική αξία | 28 |
| 1.5.7 Χρήσεις | 29 |
| 1.6 ΡΟΚΑ..... | 29 |
| 1.6.1 Γενικά..... | 29 |
| 1.6.2 Ιστορική Αναδρομή | 30 |
| 1.6.3 Βοτανικά χαρακτηριστικά | 30 |
| 1.6.4 Θρεπτική αξία | 32 |
| 1.6.5 Χρήσεις | 33 |
| 1.7 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | 34 |
| 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ..... | 35 |
| 2.1 ΦΥΤΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ..... | 35 |
| Α)Μαρούλι..... | 35 |
| Β)Ρόκα | 35 |

| | |
|---|----|
| 2.2 ΝΕΡΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ..... | 35 |
| 2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ..... | 35 |
| 2.3.1 Προμήθεια και προετοιμασία νερών..... | 36 |
| 2.3.2 Επίστρωση τρυβλίων για μικροβιακή μελέτη των νερών..... | 36 |
| 2.3.3 Μέτρηση pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας..... | 37 |
| ΜΑΡΟΥΛΙ..... | 38 |
| Α΄ ΦΑΣΗ..... | 38 |
| 2.3.4 Τοποθέτηση σπερμάτων μαρουλιού σε τρυβλία..... | 38 |
| 2.3.5 Μέτρηση ποσοστού φύτρωσης..... | 39 |
| 2.3.6 Αναπτυξιακές μετρήσεις..... | 39 |
| Β΄ ΦΑΣΗ..... | 39 |
| 2.3.7 Φύτευση αρτίβλαστων..... | 39 |
| 2.3.8 Αναπτυξιακές μετρήσεις..... | 40 |
| ΡΟΚΑ..... | 40 |
| 2.3.9 Συνοπτική πορεία εργασιών..... | 40 |
| 2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ..... | 41 |
| 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... | 42 |
| 3.1 ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΕΡΩΝ..... | 42 |
| 3.1.1 Μικροβιακή αύξηση στα νερά ποτίσματος Μαρουλιού..... | 42 |
| 3.1.2 Μικροβιακή αύξηση στα νερά ποτίσματος Ρόκας..... | 43 |
| 3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΜΑΡΟΥΛΙ..... | 44 |
| Α΄ ΦΑΣΗ..... | 44 |
| 3.2.1 Μετρήσεις Φυτρωτικότητας..... | 44 |
| 3.2.2 Μετρήσεις μήκους..... | 45 |
| 3.2.3 Μετρήσεις ξηρού βάρους..... | 47 |
| Β΄ ΦΑΣΗ..... | 49 |
| 3.2.4 Μετρήσεις μήκους..... | 49 |
| 3.2.5 Μετρήσεις ξηρού βάρους..... | 51 |
| 3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΡΟΚΑ..... | 53 |
| Α΄ ΦΑΣΗ..... | 53 |
| 3.3.1 Μετρήσεις Φυτρωτικότητας..... | 53 |
| 3.3.2 Μετρήσεις μήκους..... | 54 |
| 3.3.3 Μετρήσεις ξηρού βάρους..... | 56 |
| Β΄ ΦΑΣΗ..... | 58 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 3.3.4 Μετρήσεις μήκους | 58 |
| 3.3.5 Μετρήσεις ξηρού βάρους..... | 60 |
| 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 63 |
| 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 69 |
| 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 70 |
| I. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 70 |
| II. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 75 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1: Απλή μονάδα υδροπονίας (Somerville et al., 2014)..... | 2 |
| Εικόνα 2: Το διάγραμμα Troug παρουσιάζει την μεταβολή της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων ανάλογα με το pH. Όσο πιο πλατιά είναι η λευκή μπάνα, τόσο αυξάνει η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων (www.pda.org.uk)..... | 6 |
| Εικόνα 3: Υδατοκαλλιέργεια επανακυκλοφορίας νερού (RAS) (Somerville et al., 2014) | 9 |
| Εικόνα 4: Τα βιολογικά μέρη ενός συστήματος ενυδρείοπονίας: ψάρια, φυτά και βακτήρια (Somerville et al., 2014)..... | 10 |
| Εικόνα 5: Η διαδικασία της νιτροποίησης σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας (Somerville et al., 2014)..... | 13 |
| Εικόνα 6: Σύστημα Media-based grow beds (Somerville et al., 2014)..... | 14 |
| Εικόνα 7: Απεικόνιση μικρής καλλιέργειας DWC με αυτόνομο σύστημα φιλτραρίσματος (Somerville et al., 2014)..... | 15 |
| Εικόνα 8: Απεικόνιση μικρής μονάδας NFT (Somerville et al., 2014)..... | 15 |
| Εικόνα 9: Συστήματα ενυδρείοπονίας: 1.Media-based grow bed, 2. Deep Water Culture 3. Nutrient Film Technique (Πηγές: 1.aquaponicsalive.blogspot.com 2. Thorarinsdottir, 2015 3. Somerville et al., 2014) | 16 |
| Εικόνα 10: Ο κύκλος του αζώτου σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας (Sace and Fitzsimmons, 2013)..... | 19 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1: Μορφή πρόσληψης θρεπτικών από τα φυτά και σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων σύμφωνα με διάφορους συγγραφείς (Meselmani, 2021)..... | 7 |
| Πίνακας 2: Η μέση σύσταση 100g φρέσκων φύλλων μαρουλιού για τους τύπους Cos ή Romaine, Iceberg ή Crisphead και Butterhead (Θανόπουλος 2008)..... | 29 |
| Πίνακας 3: Η μέση σύσταση 100g φρέσκων φύλλων ρόκας. Αναφέρεται επίσης και το ποσοστό κάλυψης % της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης για το κάθε συστατικό. Ο υπολογισμός έχει γίνει για μια γυναίκα 19-50 ετών (https://vegnt.com/foods/arugula_raw) | 33 |
| Πίνακας 4: Τιμές pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών με τα οποία έγιναν τα ποτίσματα των σπερμάτων και των φυτών μαρουλιού και ρόκας αντίστοιχα. Η κάθε μέτρηση έγινε δύο φορές. Παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των δύο μετρήσεων καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις..... | 38 |
| Πίνακας 5: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις της φυτρωτικότητας των μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές (p<0.05)..... | 45 |
| Πίνακας 6: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή, ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν | |

| | |
|--|----|
| αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$)..... | 55 |
| Πίνακας 16: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του ριζικού τμήματος των αρτίβλαστων ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$)..... | 55 |
| Πίνακας 17: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$)..... | 56 |
| Πίνακας 18: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του ριζικού τμήματος των αρτίβλαστων ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$)..... | 57 |
| Πίνακας 19: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του υπέργειου τμήματος νεαρών φυτών ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$)..... | 58 |
| Πίνακας 20: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του ριζικού τμήματος νεαρών φυτών ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$)..... | 59 |
| Πίνακας 21: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος νεαρών φυτών μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) | 60 |
| Πίνακας 22: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του ριζικού τμήματος νεαρών φυτών ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) | 61 |
| Γράφημα 1: Μικροβιακή αύξηση στις μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το πότισμα του μαρουλιού σε τρεις διαφορετικές αραιώσεις: 1:100, 1:1000, 1:10000. (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$)..... | 43 |
| Γράφημα 2: Μικροβιακή αύξηση στις μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το πότισμα της ρόκας σε τρεις διαφορετικές αραιώσεις: 1:100, 1:1000, 1:10000. (M.O.±SD). Τα διαφορετικά | |

| | |
|---|----|
| γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$)..... | 44 |
| Γράφημα 3: Φυτρωτικότητα μαρουλιού (M.O.±SD). Δεν παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων..... | 45 |
| Γράφημα 4: Μήκος υπέργειου τμήματος μαρουλιού Α' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$)..... | 46 |
| Γράφημα 5: Μήκος ριζικού τμήματος μαρουλιού Α' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$)..... | 47 |
| Γράφημα 6: Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος μαρουλιού Α' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$)..... | 48 |
| Γράφημα 7: Ξηρό βάρος ριζικού τμήματος μαρουλιού Α' φάση (M.O.±SD). Δεν παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων..... | 49 |
| Γράφημα 8: Μήκος υπέργειου τμήματος μαρουλιού Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$)..... | 50 |
| Γράφημα 9: Μήκος ριζικού τμήματος μαρουλιού Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$)..... | 51 |
| Γράφημα 10: Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος μαρουλιού Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$)..... | 52 |
| Γράφημα 11: Ξηρό βάρος ριζικού τμήματος μαρουλιού Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$)..... | 53 |
| Γράφημα 12: Φυτρωτικότητα ρόκας (M.O.±SD). Δεν παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων..... | 54 |
| Γράφημα 13: Μήκος υπέργειου τμήματος ρόκας Α' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$)..... | 55 |
| Γράφημα 14: Μήκος ριζικού τμήματος ρόκας Α' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$)..... | 56 |
| Γράφημα 15: Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος ρόκας Α' φάση (M.O.±SD)). Δεν παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων..... | 57 |
| Γράφημα 16: Ξηρό βάρος ριζικού τμήματος ρόκας Α' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$)..... | 58 |

Γράφημα 17: Μήκος υπέργειου τμήματος ρόκας Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση (p < 0.05).....59

Γράφημα 18: Μήκος ριζικού τμήματος ρόκας Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (p < 0.05), και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση.....60

Γράφημα 19: Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος ρόκας Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση (p < 0.05).....61

Γράφημα 20: Ξηρό βάρος ριζικού τμήματος ρόκας Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση (p < 0.05).....62

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, οι απαιτήσεις για αυξημένη παραγωγή τροφίμων μεγιστοποιούνται και γίνεται επιτακτικότερη η ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών βιώσιμων και αξιόπιστων μεθόδων για την παραγωγή τροφίμων. Μια σχετικά νέα, εναλλακτική τεχνική καλλιέργειας που κινείται προς αυτήν την κατεύθυνση είναι η ενυδρειοπονία. Πρόκειται για σύστημα αγροτικής παραγωγής εκτός εδάφους που συνδυάζει την υδατοκαλλιέργεια και την υδροπονία εξασφαλίζοντας υψηλές αποδόσεις, μειωμένη κατανάλωση νερού και γενικότερα μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να εκτιμηθεί η συνεισφορά των μικροβιωτών του νερού που προέρχεται από συστήματα συζευγμένης AQ και αποζευγμένης ενυδρειοπονίας CAP, σε σύγκριση με το προερχόμενο από υδροπονία HP και γεώτρηση W στα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά αρτίβλαστων και νεαρών φυτών μαρουλιού (*Lactuca sativa*) και ρόκας (*Diplotaxis tenuifolia*) καθώς και στη φυτρωτικότητα των σπερμάτων τους. Τα προαναφερθέντα διαλύματα προήλθαν από πείραμα ενυδρειοπονίας που διεξαγόταν κατά το ίδιο διάστημα στο πιλοτικό θερμοκήπιο ενυδρειοπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η συνεισφορά των μικροβιωτών ελέγχθηκε με τη χρήση αποστειρωμένου νερού διαφορετικής προέλευσης (Ws, HPs, AQs, CAPs). Η μικροβιακή ανάπτυξη σε κάθε μία από τις προκύπτουσες οκτώ μεταχειρίσεις παρακολούθηθηκε σε *in vitro* πειράματα με μακροσκοπική παρατήρηση και παρουσιάστηκε σημαντικά μεγαλύτερη στην W έναντι όλων των άλλων.

Η φυτρωτικότητα των σπερμάτων μαρουλιού και ρόκας δεν επηρεάστηκε ούτε από το είδος της μεταχείρισης, ούτε από τον παράγοντα αποστείρωση. Τα φυτά μαρουλιού της μεταχείρισης W παρουσίασαν τις χαμηλότερες αποδόσεις σε έξι από τους οκτώ αναπτυξιακούς δείκτες. Όμοια ήταν και η εικόνα των φυτών της μεταχείρισης Ws, με εξαίρεση το ξηρό βάρος της ρίζας των νεαρών φυτών που ευνοήθηκε. Τα φυτά μαρουλιού των μεταχειρίσεων CAP και HP είχαν τις καλύτερες αποδόσεις σε όλους τους αναπτυξιακούς δείκτες, χωρίς όμως στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα φυτά της μεταχείρισης AQ, με μοναδική εξαίρεση το ξηρό βάρος του υπέργειου των αρτίβλαστων. Η αποστείρωση δεν ευνόησε την ανάπτυξη των φυτών μαρουλιού. Το ξηρό βάρος της ρίζας των αρτίβλαστων δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ οποιωνδήποτε ομάδων φυτών μαρουλιού. Η ρόκα συνολικά

ευνοήθηκε από την μεταχείριση CAPs, χωρίς όμως σημαντικές διαφορές από τις μεταχειρίσεις HP και HPs που εμφάνισαν επίσης καλές αποδόσεις στους περισσότερους αναπτυξιακούς δείκτες. Τα φυτά της μεταχείρισης AQ υστερούσαν στους 4 από τους οκτώ αναπτυξιακούς δείκτες. Η ρόκα συγκριτικά με το μαρούλι φάνηκε να επηρεάζεται λιγότερο από τα διαφορετικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν όσο και από την παρουσία των μικροβιωτών. Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής συμπεραίνουμε ότι η συνεισφορά των μικροβιωτών των διαφόρων τύπων νερού που ελέγχθηκαν δεν επηρεάζει σημαντικά και με ένα συνεπές πρότυπο τις παραμέτρους ανάπτυξης που μελετήθηκαν στο μαρούλι και την ρόκα.

Λέξεις κλειδιά: Συζευγμένη ενυδραιοπονία, αποζευγμένη ενυδραιοπονία, γεώτρηση, υδροπονία, μικροβίωμα, μαρούλι, ρόκα, φυτρωτικότητα, ξηρό βάρος, μήκος, υπέργειο, ρίζα, αρτίβλαστα, νεαρά φυτά

ABSTRACT

As the world's population grows, the demands for increased food production are maximized and the need to find alternative sustainable and reliable methods for food production gets more urgent. A relatively new, alternative cultivation technique, in this direction, is aquaponics. It is an agricultural production system that utilizes no soil and combines aquaculture and hydroponics ensuring high yields, reduced freshwater demands and a decreased environmental impact.

The aim of the present study was the estimation of the contribution of water microbiome from coupled (AQ) and decoupled (CAP) aquaponics systems to the growth characteristics of seedlings and young plants of lettuce (*Lactuca sativa*) and rocket (*Diplotaxis tenuifolia*), as well as the germination of their seeds. This was accomplished by comparing these characteristics with those of the plants of two other treatments, drilling (W) and hydroponics (HP). All these water solutions were supplied from an aquaponics experiment which was conducted at the same time in the aquaponic pilot greenhouse of University of Thessaly in Velestino. In order to check the contribution of the water microbiome, sterilized water of four different sources was used (Ws, HPs, AQs, CAPs). In vitro experiments were conducted so as to observe macroscopically the microbial growth on each of the eight treatments, and it was found to be the greatest in drilling water (W).

The seed germination, both of lettuce and rocket, was not statistically significantly affected either by the type of treatment or by sterilization. The lettuce plants of W treatment performed the lowest yields in six out of eight growth indices. Plants of Ws treatment had similar performance. The only exception was the dry weight of the root of young plants, which was particularly favored by Ws treatment. The lettuce plants of CAP and HP treatments had the best yields in all growth indices and weren't statistically significantly different from those of AQ treatment except for the shoot dry weight of the seedlings. Sterilization did not favor the growth of lettuce plants. As far as root dry weight of the seedlings is concerned, there weren't any statistically significant differences between the different groups of lettuce plants. Rocket was particularly favored by CAPs treatment, while very good yields in most growth indices were also presented by the plants of HP and HPs treatments. The plants of AQ treatment had very low yields in 4 of the eight growth indices. Rocket, compared to lettuce, seemed to be less affected by the different solutions used and by the presence of

microbes. Based on the results of the present study we conclude that the contribution of water microbiome from the different water solutions that were checked, doesn't influence significantly and in a consistent pattern the growth characteristics which were observed in lettuce and rocket plants.

Keywords: Decoupled aquaponics, coupled aquaponics, drilling, hydroponics, microbiome, lettuce, rocket, germination, dry weight, length, shoot, root, seedlings, young plants

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, οι απαιτήσεις για αυξημένη παραγωγή τροφίμων μεγιστοποιούνται και αυξάνεται η πίεση για διαθέσιμους πόρους, όπως καλλιεργήσιμη γη, νερό και θρεπτικά συστατικά (Conijn et al., 2018, Goddek et al., 2019). Ως ολοένα εντεινόμενο πρόβλημα καταγράφεται η μείωση της καλλιεργήσιμης γης, η έλλειψη γλυκού νερού και αυτά σε ένα ταχέως μεταβαλλόμενο κλίμα (Day et al., 2021). Συγχρόνως η διαδικασία παραγωγής τροφής σχετίζεται άμεσα με εκπομπές και απορροές που επιδεινώνουν την περιβαλλοντική ποιότητα του πλανήτη μας, όπως η έκπλυση θρεπτικών στοιχείων που οδηγεί στον ευτροφισμό φυσικών οικοσυστημάτων και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη (Conijn et al., 2018).

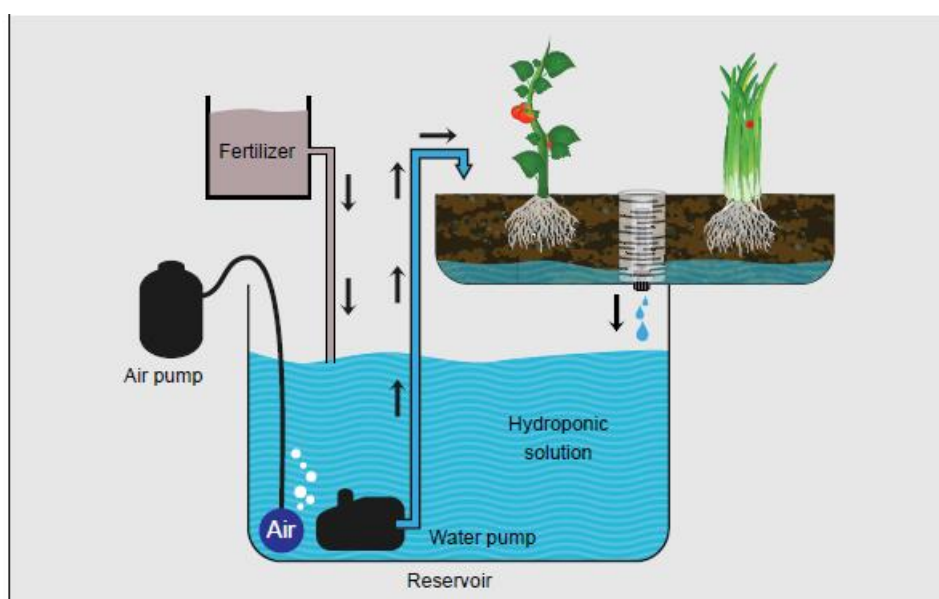
Είναι λοιπόν επιτακτική η ανάγκη και αποτελεί παγκόσμια πρόκληση να βρεθούν εναλλακτικές, βιώσιμες και αξιόπιστες μέθοδοι για την παραγωγή τροφίμων. Λύση προς αυτήν την κατεύθυνση δίνει η αειφόρος αγροτική παραγωγή. Ο όρος αυτός δηλώνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα φυτικής και ζωικής παραγωγής που στόχο έχει την μακροπρόθεσμη ικανοποίηση των διατροφικών αναγκών του πληθυσμού της γης, τόσο των παρόντων όσο και των μελλοντικών γενεών, με πρακτικές φιλικές προς το περιβάλλον που βοηθούν στην ανάπτυξη της οικονομίας, μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητα των μη ανανεώσιμων πόρων και βελτιώνουν την ποιότητα ζωής ολόκληρης της κοινωνίας. Στόχος της αειφόρου αγροτικής παραγωγής είναι δηλαδή το τρίπτυχο: περιβάλλον, οικονομία, κοινωνία (Brodthorn et al., 2011). Προς την κατεύθυνση αυτή εφαρμόζονται νέες τεχνολογίες, διεξάγεται συνεχής έρευνα και αξιοποιούνται καινοτόμες ιδέες.

Στα πλαίσια της αειφόρου αγροτικής παραγωγής γίνονται προσπάθειες για την παραγωγή τροφής με εξοικονόμηση νερού, ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων και μετατροπή των αποβλήτων σε πηγές υψηλής αξίας. (Wongkiew et al., 2017). Μία τεχνική καλλιέργειας που αναπτύσσεται προς αυτή την κατεύθυνση είναι η ενυδρειοπονία, η οποία αποτελεί ένα εναλλακτικό σύστημα αγροτικής παραγωγής εκτός εδάφους που συνδυάζει την υδατοκαλλιέργεια και την υδροπονία (Love et al., 2015). Ο συνδυασμός αυτών των δύο ειδών καλλιέργειας εξασφαλίζει υψηλές αποδόσεις αλλά και αποδοτικότερη χρήση γης και νερού. Αποτελεί δε λύση, για περιοχές άνυδρες ή με εδάφη μη καλλιεργήσιμα καθώς και για καλλιέργεια σε χώρους

εντός των αστικών κέντρων, δηλαδή για παραγωγή τροφής πιο κοντά στις μεγάλες αγορές των πόλεων (Goddek and Körner, 2019). Σήμερα τα συστήματα ενυδρείοπονίας αποτελούν μία ελπιδοφόρα μέθοδο καλλιέργειας για την καταπολέμηση της φτώχειας και του υποσιτισμού, με ταυτόχρονη βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

1.2 ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

Ο όρος υδροπονία αναφέρεται στην καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους. Τα φυτά προσλαμβάνουν νερό και θρεπτικά συστατικά μέσω ενός τεχνητά παρασκευασμένου θρεπτικού διαλύματος. Οι ρίζες των φυτών βρίσκονται είτε εμβυθισμένες απευθείας μέσα στο θρεπτικό διάλυμα είτε μέσα σε υπόστρωμα, το οποίο διαποτίζεται τακτικά με το θρεπτικό διάλυμα (Σάββας, 2016).



Εικόνα 1. Απλή μονάδα υδροπονίας (Somerville et al., 2014)

Στη διεθνή βιβλιογραφία με τον όρο «υδροπονικές καλλιέργειες» χαρακτηρίζονται μόνο οι καλλιέργειες σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα ή σε χημικώς αδρανή υποστρώματα. Αντίθετα οι καλλιέργειες σε υποστρώματα που δεν είναι χημικώς αδρανή είναι μεν καλλιέργειες εκτός εδάφους, αλλά δεν χαρακτηρίζονται «υδροπονικές» (Σάββας, 2016).

Ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης του διαλύματος απορροής, δηλαδή της περίσσειας του θρεπτικού διαλύματος, τα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

1) Κλειστά συστήματα καλλιέργειας, στα οποία η περίσσεια του θρεπτικού διαλύματος συλλέγεται και ξαναχρησιμοποιείται για την επόμενη τροφοδοσία των

φυτών. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν πλεονεκτήματα τόσο σε οικονομικό επίπεδο, λόγω της εξοικονόμησης νερού και λιπασμάτων, όσο και σε περιβαλλοντικό, μέσω της προστασίας των υδάτων από την νιτρορύπανση και τον ευτροφισμό. Παρουσιάζουν εντούτοις σημαντικές δυσκολίες στην εφαρμογή τους και γι' αυτό δεν είναι πολύ διαδεδομένα, τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες. Οι σημαντικότερες δυσκολίες προκύπτουν αφενός από την αναγκαιότητα απολύμανσης του διαλύματος απορροής πριν την επαναχρησιμοποίησή του, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών, αφετέρου από την αναγκαιότητα υπολογισμού κάθε φορά των θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστίθενται ώστε να καλύπτονται επαρκώς οι θρεπτικές ανάγκες των φυτών.

2) Ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας, στα οποία το θρεπτικό διάλυμα που πλεονάζει απομακρύνεται και απορρίπτεται στο περιβάλλον, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα την μεγάλη σπατάλη νερού καθώς και τη ρύπανση του εδάφους και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Το πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών, πέρα από την ευκολία εφαρμογής τους, είναι η δυνατότητα διατήρησης σταθερών συνθηκών θρέψης, καθώς το παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα έχει γνωστή και σταθερή σύνθεση και μπορεί να μεταβληθεί από τον ίδιο τον παραγωγό κατά βούληση (Σάββας, 2016).

Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους θεωρούνται ένα από τα σημαντικότερα επιστημονικά, οικονομικά και τεχνολογικά επιτεύγματα των τελευταίων 200 χρόνων στον τομέα της γεωργίας (Somerville et al., 2014). Οι υδροπονικές καλλιέργειες, αν και έχουν αρκετά μεγάλο κόστος, ειδικά για την αρχική εγκατάστασή τους και απαιτούν ιδιαίτερους χειρισμούς και εξειδικευμένες γνώσεις, έχουν κερδίσει την παγκόσμια αγορά ιδιαίτερα στην παραγωγή οπωροκηπευτικών.

Η υδροπονία θεωρείται η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την καλλιέργεια φυτών σε περιοχές με εδάφη χαμηλής γονιμότητας. Επιπλέον επιτρέπει σε μεγάλο βαθμό την αποφυγή ανάπτυξης παρασίτων και ασθενειών χάρη στην έλλειψη επαφής των φυτών με το χώμα και στην δυνατότητα αποστείρωσης των θρεπτικών διαλυμάτων πριν την επαναχρησιμοποίησή τους. Μερικά υποστρώματα δε, έχουν πολύ μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού και παροχής οξυγόνου στις ρίζες των φυτών. Η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στο ριζικό σύστημα είναι πιο εύκολα ελεγχόμενη, οδηγώντας σε παραγωγές υψηλότερης ποιότητας και ποσότητας. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά και σε συνδυασμό και με την μεγάλη οικονομία στο νερό, λόγω της ανακύκλωσής του,

καθιστούν την υδροπονία ιδιαίτερα δημοφιλή μέθοδο καλλιέργειας (Somerville et al., 2014).

1.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτη καταγεγραμμένη προσπάθεια για ανάπτυξη φυτών εκτός εδάφους ήταν οι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας που χτίστηκαν περίπου το 600 π.Χ.. Εμπνευστής τους ήταν ο Βαβυλώνιος βασιλιάς Ναβουχοδονόσωρ Β΄(605-562 π.Χ.). Έναν πρωτοποριακό τρόπο καλλιέργειας είχαν αναπτύξει και οι Αζτέκοι στις όχθες της λίμνης Tenochtitlan. Όταν δεν είχαν πρόσβαση σε γόνιμα εδάφη καλλιεργούσαν φυτά σε επιπλέουσες κατασκευές στις οποίες τοποθετούσαν ιλύ από την λίμνη. Αυτές οι σχεδίες ονομάστηκαν chinampas (1150-1350 μ.Χ.) (Yurina et al., 2020).

Η απαρχή της σύγχρονης υδροπονίας θεωρείται το 1860, οπότε ο Wilhelm Knor, καθηγητής Γεωργικής Χημείας και επικεφαλής του Γεωργικού Ερευνητικού Κέντρου της Λειψίας και ο Bonn Julius Sacks, καθηγητής Βοτανολογίας στο πανεπιστήμιο της Βόννης ετοίμασαν θρεπτικά διαλύματα για την ανάπτυξη φυτών χωρίς χώμα. Για πολλά χρόνια στα ερευνητικά εργαστήρια χρησιμοποιούνταν γλαστράκια με φυτά μέσα σε θρεπτικά διαλύματα. Η πρώτη μεγάλης κλίμακας παραγωγή φυτών, προς βρώση, μεγαλωμένων σε νερό αποδίδεται στον William F. Gericke, καθηγητή Φυσιολογίας Φυτών στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας. Δημοσίευσε τα αποτελέσματα των πειραμάτων του το 1929 και αυτά βρήκαν εφαρμογή κατά τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο όταν οι στρατιώτες που βρίσκονταν σε βραχώδη νησιά, προκειμένου να εξασφαλίσουν την τροφή τους, καλλιεργούσαν φυτά σε κοιλότητες που δημιουργούσαν πάνω στους βράχους με την χρήση εκρηκτικών. Ο Gericke ήταν αυτός που χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τον όρο «υδροπονία». Την δεκαετία του 1940 υδροπονικές καλλιέργειες δημιουργήθηκαν και από επιστήμονες σε αρκετές χώρες της Βόρειας Ευρώπης (Yurina et al, 2020). Από τη δεκαετία του '80 η υδροπονία άρχισε να θεωρείται ως κερδοφόρα εμπορική μέθοδος παραγωγής λαχανικών και καλλωπιστικών φυτών (Jones, 2005) και τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει σημειώσει πολύ σημαντική ανάπτυξη.

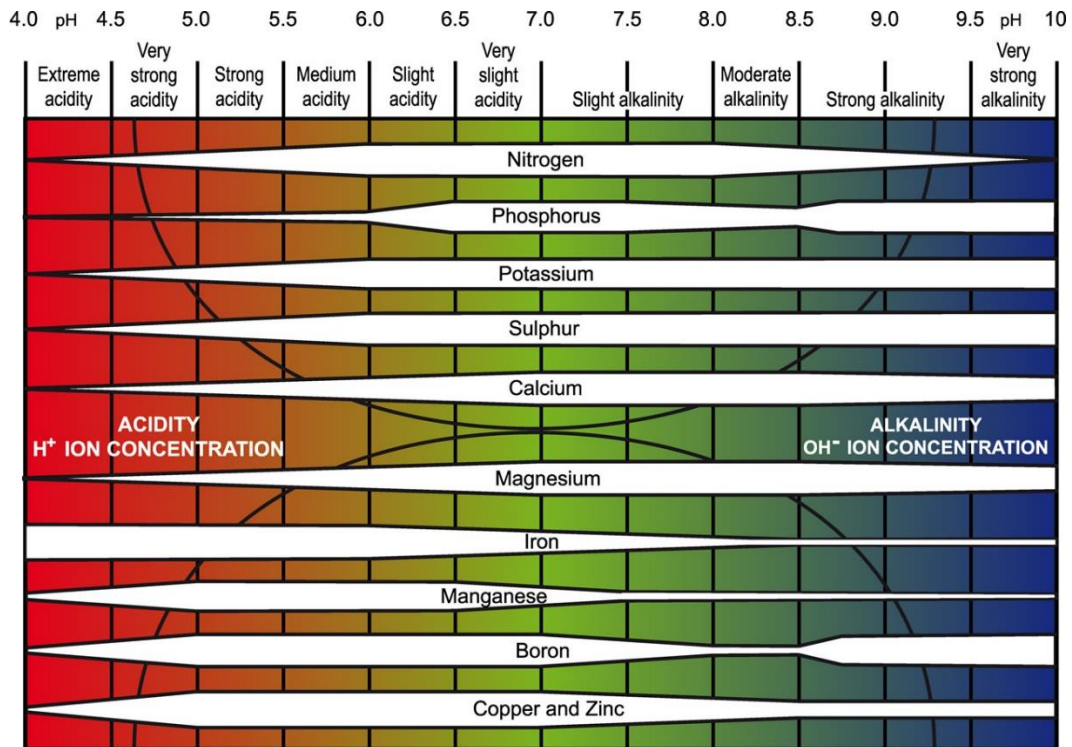
1.2.2 Θρεπτικό διάλυμα υδροπονικού συστήματος

Ένα θρεπτικό διάλυμα που προορίζεται για φυτά υδροπονικού συστήματος είναι ουσιαστικά ένα υδατικό διάλυμα που περιέχει κυρίως ανόργανα ιόντα διαλυτών αλάτων, απαραίτητων στοιχείων και ενίοτε κάποιες οργανικές ενώσεις, όπως χηλικά άλατα σιδήρου. Τα φυτά απαιτούν 17 βασικά στοιχεία χωρίς τα οποία δεν είναι σε θέση να αναπτυχθούν ικανοποιητικά. Τα θρεπτικά αυτά στοιχεία είναι τα εξής: άνθρακας,

υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο, φώσφορος, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, θείο, σίδηρος, χαλκός, ψευδάργυρος, μαγγάνιο, μολυβδαίνιο, βόριο, χλώριο και νικέλιο (Trejo-Tellez and Gomez-Merino, 2012). Τα εννέα πρώτα ονομάζονται μακροστοιχεία γιατί τα φυτά τα απαιτούν σε μεγάλες ποσότητες, ενώ τα επόμενα οκτώ ονομάζονται μικροστοιχεία ή ιχνοστοιχεία επειδή τα φυτά τα έχουν μεν ανάγκη αλλά σε μικρότερες ποσότητες.

Με εξαίρεση τον άνθρακα και το οξυγόνο, τα οποία τα φυτά τα προμηθεύονται από την ατμόσφαιρα, τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία προέρχονται από το μέσο ανάπτυξης. Υπάρχουν και άλλα στοιχεία, όπως νάτριο, πυρίτιο, βανάδιο, σελήνιο, κοβάλτιο, αργίλιο, ιώδιο κ.α., που θεωρούνται επωφελή για τα φυτά, καθώς είτε διευκολύνουν την ανάπτυξη των φυτών, είτε μειώνουν τις τοξικές επιδράσεις άλλων στοιχείων (Trejo-Tellez and Gomez-Merino, 2012). Τα πιο βασικά θρεπτικά διαλύματα περιέχουν άζωτο, φώσφορο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο και θείο και συμπληρώνονται με μικροθρεπτικά συστατικά (Trejo-Tellez and Gomez-Merino, 2012), ανάλογα με το είδος του καλλιεργούμενου φυτού.

Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος καθορίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα και το ωσμωτικό δυναμικό του διαλύματος. Καθοριστικό για το θρεπτικό διάλυμα είναι το pH. Οι μεταβολές του pH επηρεάζουν την σύστασή του θρεπτικού διαλύματος και την κατανομή των στοιχείων στις διάφορες χημικές τους μορφές (αν δηλαδή βρίσκονται σε μορφή ιόντων, διαλυτών συμπλόκων, χηλικών ενώσεων, σε στερεή ή αέρια κατάσταση καθώς και την οξειδωτική τους κατάσταση). Κατ' αυτόν τον τρόπο το pH επηρεάζει την βιοδιαθεσιμότητά των θρεπτικών στοιχείων (Trejo-Tellez and Gomez-Merino, 2012). Κάθε θρεπτικό στοιχείο παρουσιάζει διαφορετική απόκριση στις μεταβολές του pH, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.



Εικόνα 2. Το διάγραμμα Troug παρουσιάζει την μεταβολή της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων ανάλογα με το pH. Όσο πιο πλατιά είναι η λευκή μπάντα, τόσο αυξάνει η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. (www.pda.org.uk)

Σύμφωνα με τους Trejo-Tellez and Gomez-Merino (2012) το κάλιο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο είναι διαθέσιμα στα φυτά σε ένα μεγάλο εύρος pH. Ωστόσο, η παρουσία άλλων ιόντων μπορεί να επηρεάσει την διαθεσιμότητά τους λόγω της δημιουργίας ενώσεων με διαφορετικό βαθμό διαλυτότητας. Οι Jensen and Thomas (2010) διατυπώνουν την άποψη πως το άζωτο, το κάλιο και το θείο είναι τα θρεπτικά στοιχεία που επηρεάζονται λιγότερο από τις μεταβολές του pH, ενώ ο φώσφορος είναι από τα πιο ευμετάβλητα καθώς τόσο σε όξινο pH όσο και σε pH>7,5 δημιουργεί δυσδιάλυτες ενώσεις με άλλα στοιχεία. Τα περισσότερα από τα υπόλοιπα στοιχεία είναι περισσότερο διαθέσιμα σε ελαφρώς όξινο pH.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί από διάφορους συγγραφείς ποικίλες βασικές συστάσεις θρεπτικών διαλυμάτων, όπως φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Μορφή πρόσληψης θρεπτικών από τα φυτά και σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων σύμφωνα με διάφορους συγγραφείς (Meselmani, 2021)

| Element | Form taken up by plants | Hoagland & Arnon (1938) | Hewitt (1966) | Cooper (1979) | Steiner (1984) |
|--------------------|---|-------------------------|---------------|---------------|----------------|
| mg L ⁻¹ | | | | | |
| N | NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ | 210 | 168 | 200–236 | 168 |
| P | HPO ₄ ⁻² , H ₂ PO ₄ ⁻ | 31 | 41 | 60 | 31 |
| K | K ⁺ | 234 | 156 | 300 | 273 |
| Ca | Ca ⁺² | 160 | 160 | 170–185 | 180 |
| Mg | Mg ⁺² | 34 | 36 | 50 | 48 |
| S | SO ₄ ⁻² | 64 | 48 | 68 | 336 |
| Fe | Fe ⁺² , Fe ⁺³ | 2.5 | 2.8 | 12 | 2–4 |
| Cu | Cu ⁺² | 0.02 | 0.064 | 0.1 | 0.02 |
| Zn | Zn ⁺² | 0.05 | 0.065 | 0.1 | 0.11 |
| Mn | Mn ⁺² , Mn ⁺⁴ | 0.5 | 0.54 | 2 | 0.62 |
| B | H ₃ BO ₃ , BO ₃ ⁻ , B ₄ O ₇ ⁻² | 0.5 | 0.54 | 0.3 | 0.14 |
| Mo | MoO ₄ ⁻² | 0.01 | 0.04 | 0.2 | Not considered |

Τα παραπάνω θρεπτικά διαλύματα είναι ενδεικτικά. Το θρεπτικό διάλυμα παρασκευάζεται με προσθήκη θρεπτικών σε νερό απιονισμένο, βρόχινο ή άρδευσης. Τα θρεπτικά στοιχεία προστίθενται σε ποσότητες κατάλληλες για τα εκάστοτε καλλιεργούμενα φυτά, με βάση τις ιδιαίτερες απαιτήσεις τους, το είδος τους, το στάδιο ανάπτυξής τους, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και την ποσότητα των αλάτων του νερού της υδροπονικής καλλιέργειας, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί απιονισμένο.

1.3 ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

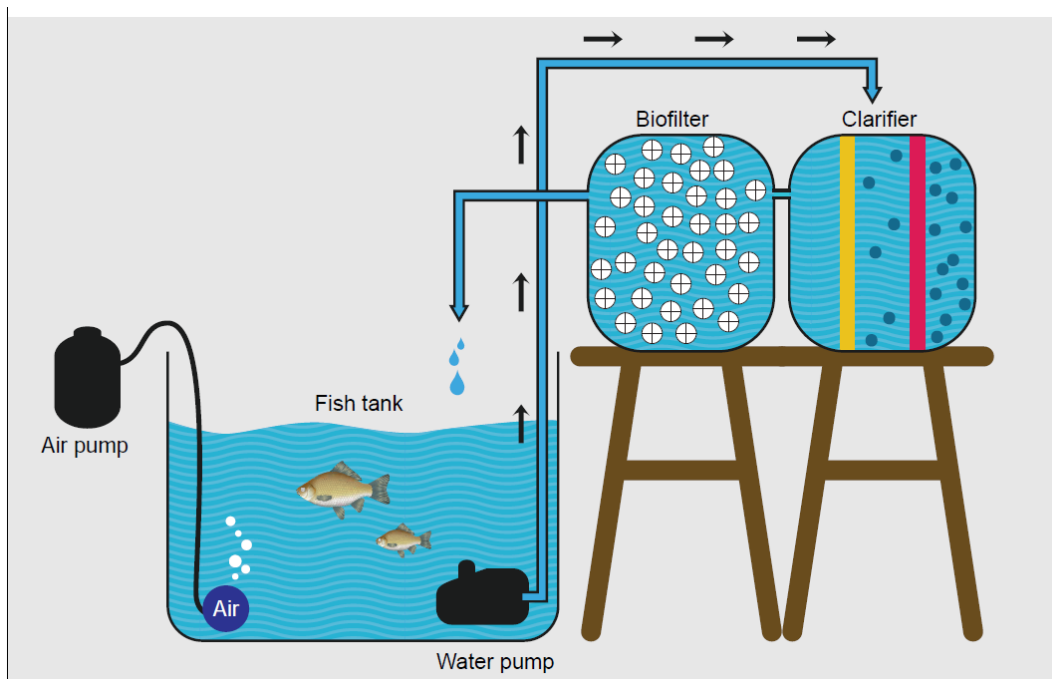
Σύμφωνα με το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, «υδατοκαλλιέργεια είναι η εκτροφή ή η καλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών με τη χρήση διαφόρων τεχνικών, με σκοπό την αύξηση της παραγωγής των εν λόγω οργανισμών, πέραν των φυσικών ικανοτήτων του περιβάλλοντος. Οι οργανισμοί αυτοί παραμένουν στην κυριότητα του καλλιεργητή/φορέα της μονάδας υδατοκαλλιέργειας, φυσικού ή νομικού προσώπου, καθ' όλη τη διάρκεια εκτροφής ή καλλιέργειάς τους και μέχρι και την συγκομιδή τους». Στους υδρόβιους οργανισμούς περιλαμβάνονται τα ψάρια, τα μαλάκια, τα καρκινοειδή και τα υδρόβια φυτά (Philips et al., 2016).

Οι υδατοκαλλιέργειες ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, το περιβάλλον της καλλιέργειας, την ένταση της παραγωγής και τα συστήματα παραγωγής. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η υδατοκαλλιέργεια αποτελείται από τρεις υποκατηγορίες: την οστρακοκαλλιέργεια, την θαλασσοκαλλιέργεια και την υδατοκαλλιέργεια εσωτερικών υδάτων. Η τελευταία διακρίνεται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

- την ιχθυοκαλλιέργεια σε υδατοσυλλογές, μέθοδος σε χρήση ήδη από τον μεσαίωνα
- την ιχθυοκαλλιέργεια σε συστήματα ανοιχτής ροής όπου το νερό διέρχεται μέσα από την μονάδα και στη συνέχεια επιστρέφει στον υδάτινο αποδέκτη
- τις υδατοκαλλιέργειες σε κλωβούς, σε εσωτερικές λίμνες και ποτάμια και
- τις υδατοκαλλιέργειες επανακυκλοφορίας νερού (RAS) που αποτελούν χερσαία συστήματα όπου το νερό επαναχρησιμοποιείται μετά από μηχανική, χημική και βιολογική επεξεργασία (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018).

Η υδατοκαλλιέργεια είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη τεχνολογία παραγωγής τροφίμων, παρέχοντας μεγαλύτερη παραγωγή σε σχέση με την ελεύθερη αλιεία (Edwards et al., 2019). Συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό στην εξασφάλιση τροφής, ειδικά σε περιοχές του πλανήτη με έλλειψη τροφίμων, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζει τον βιοπορισμό εκατοντάδων εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο.

Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός ολοένα αυξάνεται, οι υδατοκαλλιέργειες δίνουν λύση στο επισιτιστικό πρόβλημα του πλανήτη καθώς εξασφαλίζουν μια σημαντική πηγή πρωτεΐνης. Ωστόσο καθώς οι υδατοκαλλιέργειες παράγουν σημαντικά ποσά αποβλήτων που περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια, αζωτούχες ενώσεις, φώσφορο, ορμόνες και συχνά αντιβιοτικά, ρυπαίνοντας έτσι τα υδάτινα οικοσυστήματα, κρίνεται απαραίτητο να αναπτυχθούν αποτελεσματικές μέθοδοι διαχείρισης των αποβλήτων (Turcios et al., 2014, Effendi et al., 2017). Τα συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού (RAS) συμβάλλουν σημαντικά στην αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών. Αν και δεν αποτελούν την φθηνότερη επιλογή συστημάτων παραγωγής, μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την παραγωγικότητα ανά μονάδα επιφάνειας γης και θεωρούνται ως η πιο αποτελεσματική μέθοδος στην εξοικονόμηση νερού (Somerville et al., 2014).



Εικόνα 3. Υδατοκαλλιέργεια επανακυκλοφορίας νερού (RAS) (Somerville et al., 2014)

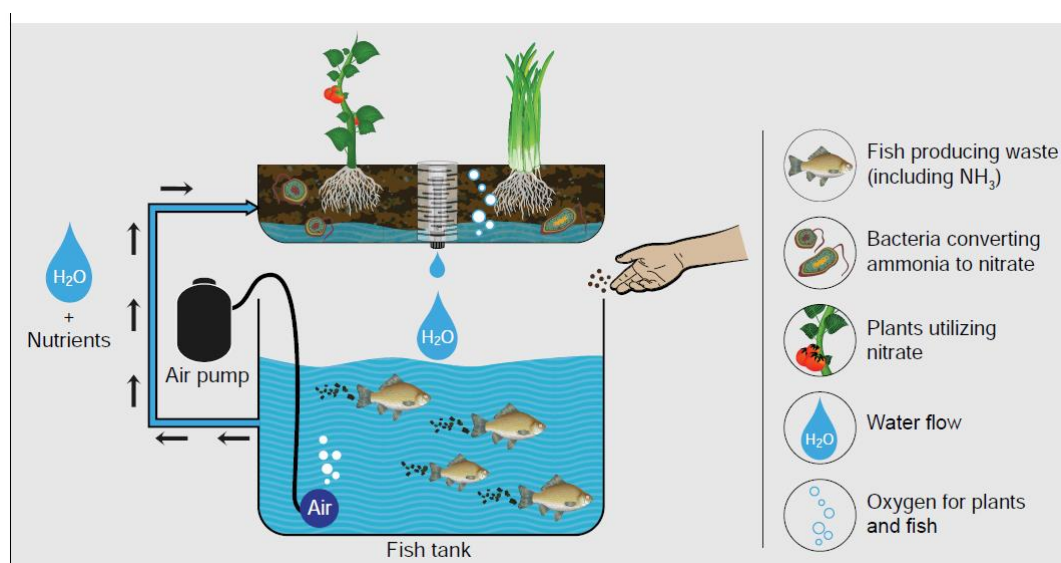
1.4 ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑ

Η ενυδρείοπονία αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα καλλιέργειας που συνδυάζει την υδροπονία και την υδατοκαλλιέργεια με επανακυκλοφορία νερού. Αυτό το σύστημα παραγωγής τροφίμων υπόσχεται μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα καλλιέργειας (Delaide et al., 2018, Somerville et al., 2014).

Σε μια μονάδα ενυδρείοπονίας το νερό από τη δεξαμενή των ψαριών αφού περάσει μέσα από φίλτρα, χρησιμοποιείται για το πότισμα των υδροπονικών φυτών και επιστρέφει ξανά στα ψάρια. Αρχικά το νερό των ψαριών, το οποίο περιέχει τα προϊόντα του μεταβολισμού τους, περνάει μέσα από ένα μηχανικό φίλτρο που απομακρύνει τα στερεά απόβλητα και στην συνέχεια από ένα βιολογικό φίλτρο. Το φίλτρο αυτό φιλοξενεί βακτήρια που μετατρέπουν την αμμωνία, η οποία εκκρίνεται από τα ψάρια και είναι τοξική γι' αυτά, σε νιτρικά ιόντα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται νιτροποίηση. Το νερό διοχετεύεται στην συνέχεια στα φυτά της υδροπονικής μονάδας τα οποία προσλαμβάνουν τα νιτρικά ιόντα και τελικά επιστρέφει καθαρισμένο στα ψάρια (Somerville et al., 2014).

Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την συμβιωτική ευδοκίμηση και συνεργασία ψαριών, φυτών και βακτηρίων και την δημιουργία ενός υγιούς περιβάλλοντος ανάπτυξης γι' αυτά, υπό την προϋπόθεση ότι το σύστημα είναι ισορροπημένο (Somerville et al., 2014). Μέσω αυτής της συμβίωσης αδυναμίες των επιμέρους συστημάτων υδροπονίας

και υδατοκαλλιέργειας μετατρέπονται σε σημαντικά πλεονεκτήματα στην ενυδραιοπονία (Goddek et al., 2015).



Εικόνα 4. Τα βιολογικά μέρη ενός συστήματος ενυδραιοπονίας: ψάρια, φυτά και βακτήρια (Somerville et al., 2014)

1.4.1 Ιστορική αναδρομή

Η χρήση των αποβλήτων των ψαριών ως λίπασμα για την καλλιέργεια φυτών εφαρμοζόταν εδώ και χιλιετίες τόσο στην Ασία όσο και στην Νότια Αμερική (Somerville et al., 2014). Οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι εξέτρεφαν την τιλάπια του Νείλου μέσα σε δεξαμενές με φυτά, ενώ στην Νότια Κίνα και γενικά σε ολόκληρη την Νοτιοανατολική Ασία, υπήρχαν ορυζώνες με παράλληλη εκτροφή ψαριών (Yang et al., 2001). Αυτά, ωστόσο, τα συστήματα καλλιέργειας ψαριών που εφαρμόστηκαν σε πολλές χώρες της Άπω Ανατολής δεν αποτελούσαν ουσιαστικά συστήματα ενυδραιοπονίας αλλά ολοκληρωμένα συστήματα υδατοκαλλιέργειας (Goddek et al., 2019).

Τον 20^ο αιώνα οι πρώτες προσπάθειες δημιουργίας αποτελεσματικών και ολοκληρωμένων συστημάτων παράλληλης παραγωγής ψαριών και λαχανικών έγιναν την δεκαετία του '70 από τους Lewis και Naegel (Goddek et al., 2019) και ακολούθησαν λίγο αργότερα και οι Waten and Busch το 1984 και ο Rakocy το 1989 (Palm et al. 2018). Στα τέλη της δεκαετίας του '70 οι ερευνητές Zweig, Todd και Wolfe του New Alchemy Institute του πανεπιστημίου της Βόρειας Καρολίνας των ΗΠΑ έθεσαν τη βάση της σύγχρονης ενυδραιοπονίας, εφαρμόζοντας μεθόδους αιεφόρου καλλιέργειας στις υδατοκαλλιέργειες και επιχειρώντας να συνδέσουν την υδροπονία

με την υδατοκαλλιέργεια (Love et al., 2014). Σημαντική ήταν και η συμβολή του Mark McMurtry, ερευνητή από το North Carolina State University, ο οποίος λίγο αργότερα συνδύασε υδατοκαλλιέργεια με αμμώδεις κλίνες καλλιέργειας λαχανικών, οι οποίες λειτουργούσαν παράλληλα ως βιοφίλτρο (Love et al., 2014, McMurtry et al., 1990). Τις δεκαετίες 1990 και 2000 ο Dr. James Rakocy και οι συνεργάτες του στο University of the Virgin Islands εφάρμοσαν τη χρήση κλινών υδροπονικής καλλιέργειας βαθέων υδάτων (Love et al., 2014). Κατέληξαν σε σημαντικούς υπολογισμούς και αναλογίες που επέτρεψαν την μεγιστοποίηση της παραγωγής ψαριών και λαχανικών, διατηρώντας παράλληλα ισορροπία στο οικοσύστημα (Somerville et al., 2014) Τέλος, έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στον χώρο της ενυδρείοπονίας (Love et al., 2014).

1.4.2 Περιγραφή ενυδρείοπονικού συστήματος

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα ενυδρείοπονίας είναι τα εξής:

- Δεξαμενή ψαριών
- Μηχανικό φίλτρο
- Βιολογικό φίλτρο
- Αντλία νερού – Σωληνώσεις
- Υδροπονική κλίνη

Δεξαμενή ψαριών

Αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο του ενυδρείοπονικού συστήματος. Καθώς τα ψάρια απαιτούν κατάλληλες συνθήκες για να επιβιώσουν και να ευημερήσουν, η επιλογή της δεξαμενής είναι πολύ σημαντική. Το σχήμα της είναι προτιμότερο να είναι στρογγυλό και ο πάτος της επίπεδος καθώς έτσι διευκολύνεται η ομοιόμορφη κυκλοφορία του νερού και η μεταφορά των στερεών αποβλήτων προς το κέντρο της δεξαμενής. Τα υλικά κατασκευής που προτιμώνται περισσότερο είναι το πλαστικό και ο υαλοβάμβακας καθώς είναι ανθεκτικά και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Η δεξαμενή είναι προτιμότερο να είναι ανοιχτόχρωμη και ιδανικά λευκή ώστε να γίνεται ευκολότερα η παρατήρηση των ψαριών. Επιπλέον το λευκό χρώμα αντανακλά το φως διατηρώντας το νερό δροσερό. Αναλόγως με τον χώρο τοποθέτησης είναι πιθανώς απαραίτητη η κάλυψη της δεξαμενής, συνήθως με δίχτυ, ώστε να αποτραπεί η είσοδος σκουπιδιών και η έξοδος των ψαριών και παράλληλα να προστατευτούν τα ψάρια από εχθρούς (Somerville et al., 2014).

Μηχανικό φίλτρο

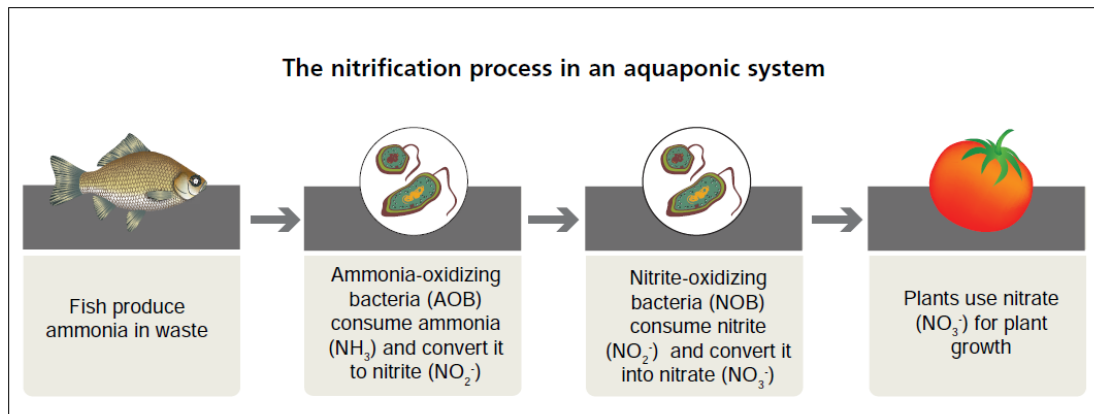
Είναι απαραίτητο για την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων (Goddek et al., 2015), δηλαδή των αποβλήτων των ψαριών καθώς και των υπολειμμάτων της τροφής. Αν δεν απομακρύνονται σωστά υπάρχει ο κίνδυνος αφενός απόφραξης των σωληνώσεων, αφετέρου δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών που ευνοούν την ανάπτυξη αναερόβιων βακτηρίων τα οποία απελευθερώνουν αέρια τοξικά για τα ψάρια (Somerville et al., 2014).

Υπάρχουν διάφορα είδη μηχανικών φίλτρων ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας. Για μικρές μονάδες μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία σίτα ή δεξαμενή με αιωρούμενα σωματίδια. Για μεγάλες μονάδες χρησιμοποιούνται δεξαμενές καθίζησης, φίλτρα άμμου, φίλτρα τυμπάνου κ.α. (Somerville et al., 2014, Goddek et al., 2019).

Βιολογικό φίλτρο

Αποτελεί πολύ σημαντικό τμήμα ενός ενυδρειοπονικού συστήματος καθώς σε αυτό αναπτύσσονται τα βακτήρια που μετατρέπουν μέσω οξειδωσης την παραγόμενη από τα ψάρια τοξική αμμωνία σε μη επιβλαβή νιτρικά ιόντα (Goddek et al., 2019). Σε αυτό καταλήγει το νερό το οποίο έχει προηγουμένως περάσει από το μηχανικό φίλτρο και έχει απαλλαχθεί από στερεά σωματίδια. Το βιολογικό φίλτρο αποτελεί τον κυρίως χώρο αποικισμού από τα βακτήρια, παρέχοντάς τους μεγάλες επιφάνειες, κατάλληλη θερμοκρασία, κατάλληλα επίπεδα pH και διαλυμένου οξυγόνου (Nelson, 2008).

Τα νιτροποιητικά, όπως ονομάζονται, βακτήρια είναι ζωτικής σημασίας για την όλη λειτουργία μιας μονάδας ενυδρειοπονίας. Δύο κύριες ομάδες βακτηρίων παίρνουν μέρος στην διαδικασία της νιτροποίησης. Πρόκειται για τα βακτήρια AOB (ammonia-oxidizing bacteria) τα οποία μετατρέπουν την αμμωνία σε νιτρώδη ιόντα και τα βακτήρια NOB (nitrite-oxidizing bacteria) τα οποία μετατρέπουν τα νιτρώδη σε νιτρικά ιόντα (Somerville et al., 2014).



Εικόνα 5. Η διαδικασία της νιτροποίησης σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας (Somerville et al., 2014)

Οι σημαντικότερες παράμετροι για την ανάπτυξη των βακτηρίων σε ένα βιοφίλτρο είναι η επαρκής επιφάνεια και οι κατάλληλες συνθήκες του νερού. Η συνολική διαθέσιμη επιφάνεια καθορίζει την ποσότητα της αμμωνίας την οποία μεταβολίζουν. Ανάλογα με την συνολική βιομάζα των ψαριών και την σχεδίαση του συστήματος οι ρίζες των φυτών και τα τοιχώματα της δεξαμενής μπορούν να προσφέρουν την απαιτούμενη επιφάνεια. Στην περίπτωση που η πυκνότητα των ψαριών είναι μεγάλη απαιτείται χρήση αδρανών υλικών που αυξάνουν την συνολική επιφάνεια, όπως διευρυμένη άργιλος, χαλίκι, τόφος κ.α. (Somerville et al., 2014).

Οι βέλτιστες συνθήκες νερού είναι οι εξής:

- Το ιδανικό pH για τα νιτροποιητικά βακτήρια είναι 7-8,5. Εντούτοις όταν το pH κυμαίνεται από 6 έως 7 είναι ευνοϊκότερο για την ανάπτυξη των φυτών και των ψαριών.
- Η ιδανική θερμοκρασία για την ανάπτυξη και παραγωγικότητα των βακτηρίων είναι 17-34 °C.
- Τα ιδανικά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (DO) ώστε να διατηρούνται υψηλά τα επίπεδα παραγωγικότητας των βακτηρίων είναι 4-8 mg/L.
- Τα επίπεδα της υπεριώδους ακτινοβολίας πρέπει να είναι χαμηλά σε ένα νέο σύστημα ενυδρείοπονίας έως ότου δημιουργηθούν οι αποικίες των βακτηρίων, καθώς τα βακτήρια είναι φωτοευαίσθητα. Συνίσταται η κάλυψη της δεξαμενής των ψαριών και των φίλτρων με υλικό προστατευτικό έναντι της ακτινοβολίας UV, μέχρι να δημιουργηθούν οι βακτηριακές αποικίες.

Αντλία νερού

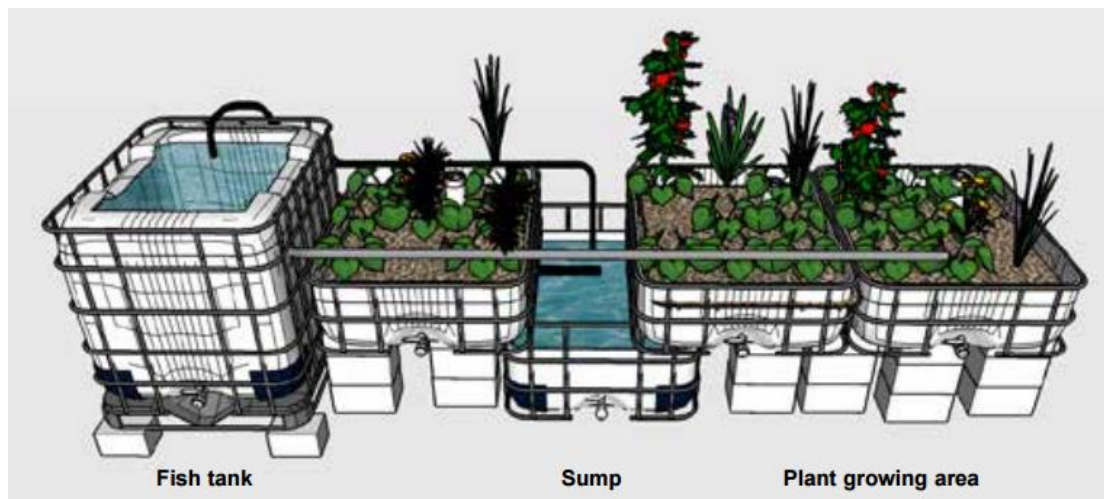
Το νερό, που έχει περάσει από τα φίλτρα και έχει καθαριστεί και εμπλουτιστεί με νιτρικά ιόντα, πολύτιμα για την ανάπτυξη των φυτών, καταλήγει στη δεξαμενή με την

αντλία νερού. Η αντλία προωθεί το νερό στην υδροπονική κλίνη και στη δεξαμενή των ψαριών.

Υδροπονική κλίνη

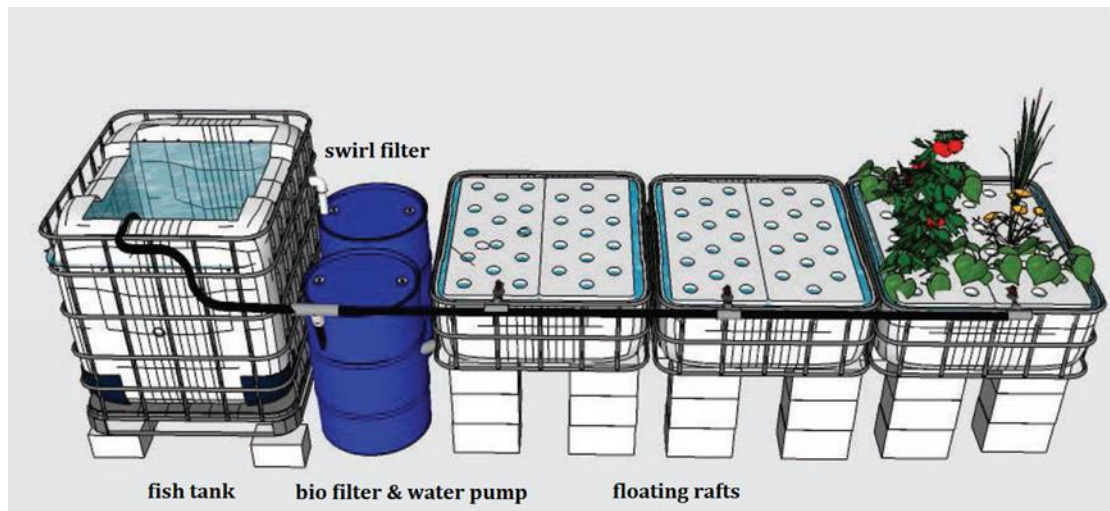
Στα συστήματα ενυδρειοπονίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υδροπονικών κλινών. Κριτήριο διάκρισης των υδροπονικών συστημάτων και κατ' επέκταση και των αντίστοιχων ενυδρειοπονικών, αποτελεί τόσο ο τρόπος διάθεσης του θρεπτικού διαλύματος στις ρίζες των φυτών όσο και η παρουσία ή όχι υποστρώματος για την ανάπτυξη των φυτών (Maucieri et al., 2018). Οι κυριότεροι τύποι είναι οι εξής:

- **Media-based grow beds:** Τα φυτά μεγαλώνουν σε κλίνες που περιέχουν αδρανή υποστρώματα (π.χ. διογκωμένη άργιλο, περλίτη, ελαφρόπετρα, χαλίκι) τα οποία παρέχουν στήριξη στο ριζικό σύστημα των φυτών καθώς και μικροβιακό υπόστρωμα. Το νερό των ψαριών διοχετεύεται και απομακρύνεται περιοδικά στις κλίνες των φυτών, εξασφαλίζοντας εναλλασσόμενη θρέψη και αερισμό (Goddek et al., 2015, Thorarinsdottir, 2015).



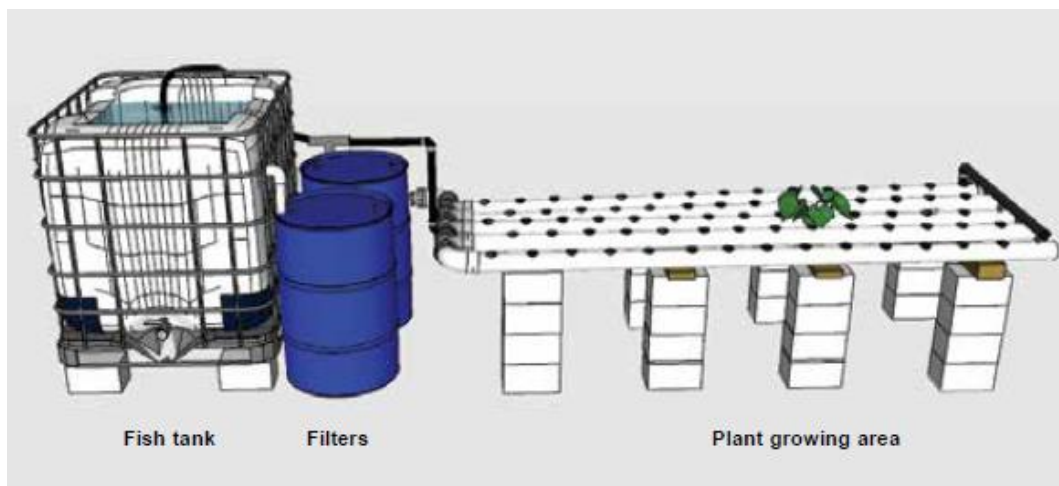
Εικόνα 6. Σύστημα Media-based grow beds (Somerville et al., 2014)

- **Deep Water Culture (DWC):** Τα φυτά βρίσκονται πάνω από την δεξαμενή με το θρεπτικό διάλυμα, στερεωμένα σε μια πλωτή σχεδία. Η σχεδία φέρει ανοίγματα μέσα στα οποία τοποθετούνται γλαστράκια με τα φυτά, οι ρίζες των οποίων κρέμονται ελεύθερες μέσα στο νερό (Goddek et al., 2015, Thorarinsdottir, 2015, Somerville et al., 2014).



Εικόνα 7. Απεικόνιση μικρής καλλιέργειας DWC με αυτόνομο σύστημα φιλτραρίσματος (Somerville et al., 2014)

- Nutrient Film Technique (NFT): Τα φυτά είναι τοποθετημένα μέσα σε οπές οριζόντιων καναλιών, μέσα από τα οποία περνάει το θρεπτικό διάλυμα. Οι ρίζες των φυτών είναι μερικώς βυθισμένες σε ένα λεπτό στρώμα του θρεπτικού διαλύματος. Σε αυτή την τεχνική περιορίζεται πολύ η εξάτμιση του νερού καθώς αυτό είναι τελείως προστατευμένο από τον ήλιο. (Goddek et al., 2015, Somerville et al., 2014).



Εικόνα 8. Απεικόνιση μικρής μονάδας NFT (Somerville et al., 2014)



Εικόνα 9. Συστήματα ενυδρείοπονίας: 1. Media-based grow bed, 2. Deep Water Culture 3. Nutrient Film Technique (Πηγές: 1.aquaponicsalive.blogspot.com 2. Thorarinsdottir, 2015 3. Somerville et al., 2014)

1.4.3 Ψάρια, φυτά και βακτήρια στα συστήματα ενυδρείοπονίας

Σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας συνυπάρχουν τρεις διαφορετικές καλλιέργειες, των ψαριών, των φυτών και των βακτηρίων (Nelson, 2008).

1.4.3.1 Επιλογή φυτών για συστήματα ενυδρείοπονίας

Τα είδη των φυτών που καλλιεργούνται σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας επιλέγονται με βάση το χρησιμοποιούμενο σύστημα υδροπονίας (Somerville et al., 2014), το είδος των ψαριών (Knaus & Palm, 2017), την ιχθυοπυκνότητα και την συνεπακόλουθη συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών (Blidariu & Grozea, 2011, Somerville et al., 2014). Για παράδειγμα το μαρούλι, τα αρωματικά βότανα και τα μικρολαχανικά (microgreens) έχουν από μικρές έως μέτριες απαιτήσεις σε θρεπτικά και προσαρμόζονται εύκολα στα ενυδρείοπονικά συστήματα, ενώ τα καρποφόρα φυτά όπως οι τομάτες, οι πιπεριές και οι αγγουριές έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε θρεπτικά και αποδίδουν καλύτερα σε συστήματα με μεγάλη ιχθυοπυκνότητα (Blidariu & Grozea, 2011).

Σύμφωνα με τους Somerville et al. (2014) περισσότερα από 150 είδη λαχανικών, αρωματικών φυτών, ανθοκομικών φυτών και μικρών δένδρων έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε συστήματα ενυδρείοπονίας. Οι πιο δημοφιλείς καλλιέργειες φυτών σε συστήματα ενυδρείοπονίας είναι αυτές του βασιλικού, του κουνουπιδιού, του μαρουλιού, της αγγουριάς, της μελιτζάνας, της πιπεριάς, της τομάτας, της φασολιάς και του αρακά, του λάχανου, του μπρόκολου, του σέσκουλου και του μαϊντανού.

1.4.3.2 Επιλογή ψαριών για συστήματα ενυδρείοπονίας

Σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας, τα ψάρια παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο καθώς παράγουν τα φυσικά λιπάσματα που χρειάζονται τα φυτά για να ευδοκιμήσουν. Για να είναι ωστόσο επιτυχημένο το σύστημα ενυδρείοπονίας, θα πρέπει να γίνει σωστή

επιλογή των ψαριών ώστε αυτά να μπορούν να αναπτυχθούν καλά στο κλίμα και τις συνθήκες της περιοχής. Διαφορετικά είδη ψαριών απαιτούν διαφορετικές θερμοκρασίες νερού και επίπεδα pH.

Αρκετά είδη ψαριών έχουν παρουσιάσει εξαιρετικούς ρυθμούς ανάπτυξης σε συστήματα ενυδρείοπονίας. Μπορούν να αναπτυχθούν καλά τα περισσότερα ψάρια του γλυκού νερού τα οποία αντέχουν σε μεγάλες ιχθυοπυκνότητες καθώς και σε αυξημένα επίπεδα καλίου και φωσφόρου που προστίθενται στο νερό για την προαγωγή της ανάπτυξης των φυτών (Rakocy et al., 2006).

Κατάλληλα είδη για ενυδρείοπονική καλλιέργεια είναι η τιλάπια, ο κυπρίνος, ο ασημοκυπρίνος, η αυστραλιανή πέρκα, τα είδη Barramundi, η ιριδίζουσα πέστροφα, το μεγαλόστομο λαβράκι, το γατόψαρο, ο σολωμός, ο μπακαλιάρος Murray, ο ασιατικός κυπρίνος (koi) (Rakocy et al., 2006, Somerville et al., 2014). Ωστόσο τα πιο εμπορικά ενυδρείοπονικά συστήματα εκτρέφουν τιλάπια. Πρόκειται για ψάρι της ανατολικής Αφρικής, ανθεκτικό σε παθογόνα και παράσιτα. Παρουσιάζει ανοχή σε ποικίλες συνθήκες ποιότητας νερού και αναπτύσσεται καλά σε ζεστά νερά. Η ιδανική θερμοκρασία νερού για την τιλάπια είναι 26-30° C (Somerville et al., 2014).

Για την βέλτιστη λειτουργία ενός συστήματος ενυδρείοπονίας πρέπει να προσδιορίζεται η ιδανική αναλογία μεταξύ ψαριών και φυτών ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ της παραγωγής θρεπτικών από τα ψάρια και της πρόσληψης αυτών από τα φυτά (Goddek et al., 2015). Η αναλογία αυτή βασίζεται στην αναλογία ρυθμού σίτισης, δηλαδή στην ποσότητα τροφής που τροφοδοτείται στα ψάρια καθημερινά ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας καλλιέργειας φυτών (Rakocy, 2007)

1.4.3.3 Βακτήρια στα συστήματα ενυδρείοπονίας

Νιτροποιητικά βακτήρια

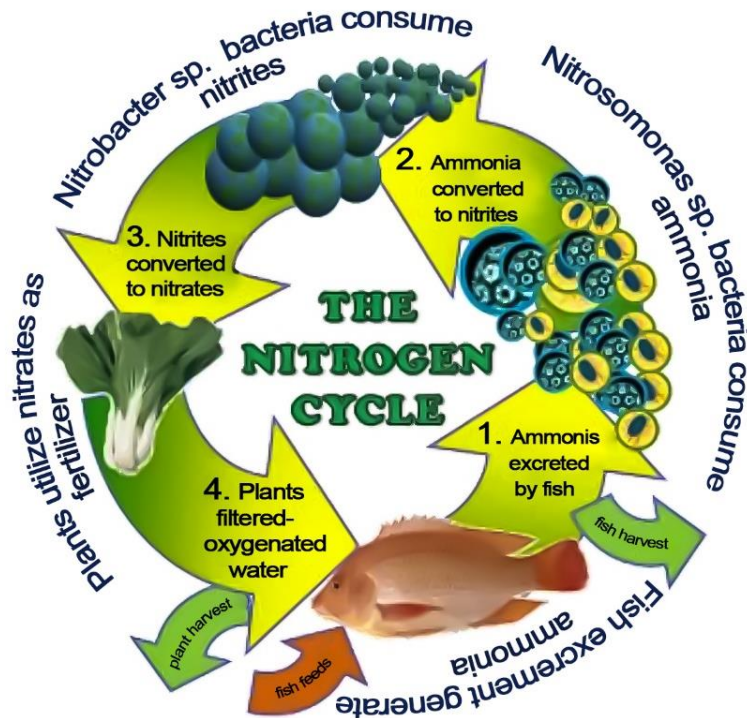
Στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας και ενυδρείοπονίας, σημαντικό περιοριστικό παράγοντα για την αύξηση των επιπέδων παραγωγής ψαριών αποτελεί η συσσώρευση αμμωνίας-αζώτου από τις απεκκρίσεις των ψαριών και από το μεταβολισμό των ιχθυοτροφών. Η αμμωνία παράγεται ως κύριο τελικό μεταβολικό προϊόν κατά τον καταβολισμό των πρωτεϊνών και απεκκρίνεται μέσω των βραγχίων των ψαριών. Η αμμωνία βρίσκεται στο νερό στην μη ιονισμένη της μορφή NH₃ και στην ιονισμένη της μορφή, αυτή του αμμωνίου NH₄⁺. Η σχετική αναλογία αυτών είναι συνάρτηση του pH, της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Το άθροισμα των δύο (NH₄⁺ + NH₃) αναφέρεται συνήθως ως TAN (Total Ammonium Nitrogen) ή απλά αμμωνία (Ebeling et al., 2006).

Τα βακτήρια που φιλοξενούνται στο βιολογικό φίλτρο παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στα συστήματα ενυδρειοπονίας, καθώς απομακρύνουν την αμμωνία μέσω της διαδικασίας της νιτροποίησης, δηλαδή της μετατροπής της αμμωνίας σε νιτρώδη και στην συνέχεια σε νιτρικά ιόντα. Η αμμωνία και τα νιτρώδη ιόντα είναι τοξικά για τα ψάρια, ενώ τα νιτρικά ιόντα είναι σχετικά ακίνδυνα και είναι η μορφή αζώτου που αφομοιώνουν ευκολότερα τα φυτά (Rakocy, 2006). Σύμφωνα με τους Randall και Tsui (2002) η τοξικότητα της αμμωνίας οδηγεί στο θάνατο των κυττάρων του κεντρικού νευρικού συστήματος των ψαριών και επιφέρει σπασμούς, κώμα και θάνατο.

Δύο φυλογενετικά διακριτές ομάδες βακτηρίων συμμετέχουν στην νιτροποίηση. Πρόκειται για αυτότροφα χημειοσυνθετικά και υποχρεωτικά αερόβια βακτήρια καθώς συνθέτουν την τροφή τους αντλώντας ενέργεια από ανόργανες ενώσεις και απαιτούν οξυγόνο για να αναπτυχθούν (Ebeling et al., 2006).

- Τα βακτήρια AOB (Ammonia Oxidizing Bacteria) αντλούν ενέργεια οξειδώνοντας την αμμωνία (NH_3) σε νιτρώδη ιόντα, διαδικασία γνωστή ως νιτρωδοποίηση. Κύριο εκπρόσωπο αυτής της κατηγορίας αποτελούν τα βακτήρια του γένους *Nitrosomonas* (Rodriguez-Caballero et al., 2013, Ebeling et al., 2006).
- Τα βακτήρια NOB (Nitrite Oxidizing Bacteria) αντλούν ενέργεια οξειδώνοντας τα νιτρώδη ιόντα σε νιτρικά, διαδικασία γνωστή ως νιτρικοποίηση. Κύριο εκπρόσωπο αυτής της κατηγορίας αποτελούν τα βακτήρια του γένους *Nitrobacter* (Rodriguez-Caballero et al., 2013, Ebeling et al., 2006).

Τα νιτροποιητικά βακτήρια αναπαράγονται και σχηματίζουν αποικίες σχετικά αργά απαιτώντας ημέρες έως και εβδομάδες μερικές φορές. Σε πολλά συστήματα ενυδρειοπονίας έχουν παρατηρηθεί δυσκολίες λόγω της προσθήκης μεγάλου αριθμού ψαριών πριν την πλήρη ανάπτυξη της βακτηριακής αποικίας (Somerville et al., 2014).



Εικόνα 10. Ο κύκλος του αζώτου σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας (Sace and Fitzsimmons, 2013)

Ετερότροφα βακτήρια

Υπάρχει ακόμη μία σημαντική ομάδα βακτηρίων που εμπλέκονται στην ενυδρείοπονία. Πρόκειται για τα ετερότροφα βακτήρια τα οποία χρησιμοποιούν οργανικό άνθρακα για την σύνθεση της τροφής τους και εμπλέκονται κυρίως στην αποδόμηση στερεών αποβλήτων που προέρχονται από απεκκρίσεις των ψαριών, υπολείμματα της τροφής τους, νεκρούς φυτικούς οργανισμούς του συστήματος καθώς και νεκρά βακτηριακά κύτταρα. Τα βακτήρια αυτά μεταβολίζουν τα στερεά αυτά απόβλητα, σε μια διαδικασία γνωστή ως ανοργανοποίηση, καθιστώντας τα μικροθρεπτικά συστατικά διαθέσιμα για τα φυτά. Αποικίζουν όλα τα μέρη ενός ενυδρείοπονικού συστήματος αλλά αφθονούν εκεί που συσσωρεύονται στερεά απόβλητα. Αναπτύσσονται σε παρόμοιες συνθήκες με τα νιτροποιητικά βακτήρια αλλά με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα. Χωρίς την διαδικασία της ανοργανοποίησης τα φυτά του συστήματος θα εμφάνιζαν ελλείψεις σε θρεπτικά συστατικά και θα χρειάζονταν συμπληρωματικό λίπασμα. (Somerville et al., 2014)

Θειοαναγωγικά βακτήρια – Απονιτροποιητικά βακτήρια

Στα ενυδρείοπονικά συστήματα εκτός από τα ωφέλιμα και απαραίτητα βακτήρια, υπάρχουν και κάποια που είναι επιβλαβή για τα ψάρια και για τα φυτά. Τα θειοαναγωγικά βακτήρια, τα οποία απαντώνται σε συνθήκες ανοξίας, αντλούν ενέργεια από οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, χρησιμοποιώντας θείο. Μέσω αυτής της

διαδικασίας παράγεται υδρόθειο που είναι τοξικό για τα ψάρια. Συνθήκες ανοξίας που ευνοούν την ανάπτυξή τους δημιουργούνται κυρίως σε συστήματα με μεγάλη ιχθυοπυκνότητα, όπου ο όγκος των αποβλήτων είναι πολύ μεγάλος και τα ετερότροφα βακτήρια δεν μπορούν να τα επεξεργαστούν επαρκώς και να τα ανοργανοποιήσουν. Σε αναερόβιες συνθήκες αναπτύσσονται επίσης και τα απονιτροποιητικά βακτήρια τα οποία μετατρέπουν τα πολύτιμα για τα φυτά νιτρικά ιόντα σε ατμοσφαιρικό άζωτο, το οποίο όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά.

Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB)

Στα συστήματα ενυδρειοπονίας τα βακτήρια, πέρα από τον πολύ σημαντικό ρόλο που παίζουν μέσω της συμμετοχής τους στις διαδικασίες της νιτροποίησης και της ανοργανοποίησης, μπορεί να επιτελούν και πλήθος άλλων πολύ χρήσιμων λειτουργιών. Συγκεκριμένα, κάποια βακτήρια παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διαλυτοποίηση θρεπτικών συστατικών τα οποία είναι δεσμευμένα σε στερεά σύμπλοκα, όπως για παράδειγμα το φυτικό οξύ και στην πρόσληψή τους από τα φυτά.

Άλλα βακτήρια συμμετέχουν σε διαδικασίες που προάγουν την ανάπτυξη ή την προστασία των φυτών, όπως για παράδειγμα ο βιολογικός έλεγχος και η βελτίωση της ριζικής ανάπτυξης (Eck et al., 2019). Πρόκειται για βακτήρια που χαρακτηρίζονται ως «βακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών» (Plant Growth-Promoting Bacteria -PGPB) και τα οποία έχουν κατά κόρον μελετηθεί σε εδαφικές καλλιέργειες. Ελάχιστες μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τον ρόλο τους και τις εφαρμογές που μπορεί να έχουν σε συστήματα υδροπονίας και ενυδρειοπονίας.

Σε σχετικά πρόσφατη έρευνα οι Schmautz et al (2017) εξέτασαν και εν τέλει προσδιόρισαν τις μικροβιακές κοινότητες στα διαφορετικά τμήματα ενός ενυδρειοπονικού συστήματος. Τα νιτροποιητικά βακτήρια, αν και σαφώς ήταν παρόντα στο βιοφίλτρο, εντούτοις δεν αποτελούσαν την πολυπληθέστερη ομάδα τόσο στο βιοφίλτρο όσο και στα υπόλοιπα τμήματα του ενυδρειοπονικού συστήματος. Το βακτηριακό φύλο που ήταν σε μεγαλύτερη αφθονία στα περισσότερα τμήματα ήταν τα Πρωτεοβακτήρια, τα οποία περιλαμβάνουν πολλά βακτήρια που μπορούν να προάγουν την ανάπτυξη των φυτών, όπως για παράδειγμα βακτήρια που ανήκουν στα γένη *Pseudomonas*, *Acidovorax*, και *Sphingobium*.

Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα μελέτης των Sanchez et al. (2019) που εξέτασαν το νερό εκτροφής τιλάπιας σε σύστημα υδατοκαλλιέργειας επανακυκλοφορίας νερού (RAS) και διαπίστωσαν ότι ήταν πλούσιο σε βακτήρια που μπορούν να προάγουν την ανάπτυξη των φυτών (PGPB). Τα συστήματα αυτά είναι τα πιο δημοφιλή στην

ενυδρειοπονία. Αναγνωρίστηκαν για παράδειγμα βακτήρια *Bacillus cereus* τα οποία σύμφωνα με τους Kloepper et al. (2004) βοηθούν στην μείωση της σοβαρότητας διαφόρων ασθενειών σε αρκετά φυτά. Κάποια στελέχη *Bacillus* spp θεωρούνται PGPB καθώς προφυλάσσουν τα φυτά από την ανάπτυξη μυκήτων. Ανιχνεύτηκαν επίσης βακτήρια που ταυτοποιήθηκαν ως *Chromobacterium rhizoryzae* και τα οποία σύμφωνα με έρευνα των Zhou et al. (2016) απομονώνονται στις ρίζες ρυζιού προφυλάσσοντας το φυτό από την ανάπτυξη μυκήτων *Magnaporthe oryzae*. Παρόντα ήταν και άλλα στελέχη βακίλων, όπως τα *Myroides xuanwuensis*, που συνήθως εντοπίζονται σε δασικά εδάφη και έχουν την ιδιότητα να διασπών τον βιοτίτη, απελευθερώνοντας και κάνοντας προσβάσιμα για τα φυτά πυρίτιο, αργίλιο και σίδηρο.

Στην ίδια κατεύθυνση κινείται και η μελέτη των Bartelme et al. (2018) που διατύπωσαν την θέση πως στα ενυδρειοπονικά συστήματα καθοριστικό ρόλο στην ικανότητα των φυτών να προσλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά, όπως ο σίδηρος, μπορεί να παίζουν ορισμένα PGPB, όπως για παράδειγμα τα *Pseudomonas fluorescens Pf-5* και *Chryseobacterium C138*, τα οποία αυξάνουν την βιοδιαθεσιμότητα του σιδήρου στα φυτά, παράγοντας σιδηροφόρα (Bartelme et al., 2018, Radzki et al., 2013, Wang, 2021).

Βακτήρια του γένους *Flavobacterium* που βρίσκονται σε αφθονία στην φύση και που ανιχνεύονται στις ρίζες φυτών, συμμετέχουν σε ποικίλες διαδικασίες που προάγουν την ανάπτυξη και την προστασία των φυτών, όπως διαλυτοποίηση φωσφόρου, παραγωγή σιδηροφόρων, αυξίνης και προστασία έναντι του μύκητα *Phytophthora infestans*. Βακτήρια του γένους *Lysobacter* έχουν επίσης αναγνωριστεί ως PGPB καθώς συμμετέχουν στην προστασία φυτών από ασθένειες μέσω της παραγωγής αντιβιοτικών (Eck et al., 2019).

Η ανίχνευση όλων των προαναφερθέντων βακτηρίων και πλήθος άλλων, σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας επανακυκλοφορίας νερού και ενυδρειοπονίας ισχυροποιεί την άποψη ότι τα PGPB μπορούν να συμβάλλουν στην υγιή ανάπτυξη των φυτών και να αποτελέσουν μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση έναντι των χημικών πρόσθετων (Bartelme et al., 2018). Ωστόσο, καθώς οι έρευνες για τα PGPB σε ενυδρειοπονικά συστήματα είναι περιορισμένες, πρέπει να γίνει πιο ενδελεχής έρευνα προκειμένου η επιστημονική κοινότητα να οδηγηθεί σε ασφαλέστερα συμπεράσματα.

1.4.4 Συστήματα αποζευγμένης ενυδραιοπονίας

Τα συστήματα ενυδραιοπονίας, ανάλογα με τον τρόπο που συνδέονται τα επιμέρους τμήματά τους, διακρίνονται σε συζευγμένα και αποζευγμένα. Τα κλασσικά συστήματα ενυδραιοπονίας, όπου η μονάδα της υδατοκαλλιέργειας και αυτή της υδροπονίας είναι διατεταγμένα σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου και το νερό επανακυκλοφορεί συνέχεια μεταξύ των δύο μονάδων, χαρακτηρίζονται ως συζευγμένα (coupled aquaponic systems) (Rakocy et al., 2004, Monsees et al., 2016). Στα συστήματα αυτά παρέχεται νερό με τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά (π.χ. pH) τόσο στην καλλιέργεια των φυτών όσο και των ψαριών, παρόλο που οι απαιτήσεις είναι διαφορετικές (Monsees et al., 2016).

Εξέλιξη αυτών των συστημάτων αποτελούν τα συστήματα αποζευγμένης ενυδραιοπονίας που ξεπερνούν αυτό το μειονέκτημα. Είναι γνωστά ως decoupled aquaponic systems ή double recirculating aquaponics system (DRAPS). Σε αυτά τα συστήματα οι μονάδες της υδατοκαλλιέργειας και της υδροπονίας είναι διατεταγμένες σε δύο ξεχωριστούς βρόχους. Το νερό κυκλοφορεί ανεξάρτητα μέσα στον κάθε ένα βρόχο, επιτρέποντας τον καλύτερο έλεγχο και την προσαρμογή του στις διαφορετικές απαιτήσεις των ψαριών και των φυτών (Kloas et al., 2015).

Το νερό από τις δεξαμενές των ψαριών, αφού περάσει μέσα από το μηχανικό και βιολογικό φίλτρο αναλύεται για να προσδιοριστεί η περιεκτικότητά του σε θρεπτικά στοιχεία. Οι Tyson et al. (2008) αναφέρουν πως τα συστήματα ενυδραιοπονίας που στηρίζονται μόνο στα απόβλητα των ψαριών για την παροχή θρεπτικών στα φυτά παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα φωσφόρου, καλίου, σιδήρου, μαγγανίου, ενώ σύμφωνα με τους Seawright et al. (1998) χαμηλά επίπεδα φωσφόρου, θείου, καλίου και σιδήρου. Έτσι για την βελτίωση της φυτικής παραγωγής είναι απαραίτητη η χρήση λιπασμάτων (Rakocy et al., 1997). Εντούτοις αν διατηρηθεί το pH σε επίπεδα που ευνοούν την δραστηριότητα των νιτροποιητικών βακτηρίων, η ποσότητα των προστιθέμενων λιπασμάτων μπορεί να μειωθεί (Tyson et al., 2008).

Μετά την ποιοτική ανάλυση του νερού των ψαριών καθορίζεται ποιες προσθήκες σε θρεπτικά πρέπει να γίνουν ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες των φυτών, ανάλογα με την εκάστοτε καλλιέργεια. Το εμπλουτισμένο πλέον νερό στην συνέχεια προωθείται στην υδροπονική μονάδα αλλά δεν κλείνει ο κύκλος του νερού, καθώς δεν επιστρέφει στην δεξαμενή των ψαριών. Η τακτική αυτή μοιάζει με αυτήν που εφαρμόζεται σε ένα κλειστό σύστημα υδροπονίας. Ωστόσο έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνεται η ποσότητα

των προστιθέμενων λιπασμάτων καθώς το νερό εμπεριέχει ήδη θρεπτικά στοιχεία από την υδατοκαλλιέργεια (Τσιρόπουλος, 2022).

Μειονέκτημα της αποξυγμένης ενυδρειοπονίας θεωρείται το μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης των συστημάτων. Επιπρόσθετα απαιτείται να προστίθενται μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στον υδροπονικό βρόχο, καθώς το νερό που προέρχεται από την υδατοκαλλιέργεια εξαρτάται κατά βάση από την εξατμισοδιαπνοή των φυτών. Παράλληλα απαιτείται περιοδική απομάκρυνση και αντικατάσταση του νερού, καθώς συσσωρεύονται μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στο σύστημα της υδατοκαλλιέργειας, όταν τα επίπεδα εξατμισοδιαπνοής είναι χαμηλά. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπισθούν με την εφαρμογή πρόσθετων βρόχων ώστε να μειωθεί η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται στο σύστημα (Goddek et. al., 2019).

Θεωρητικά η αποξυγμένη ενυδρειοπονία παρουσιάζει πλεονεκτήματα έναντι της συζευγμένης. Σύμφωνα με έρευνα των Monsees et al. (2017) η παραγωγή τομάτας ήταν 36% μεγαλύτερη στο αποξυγμένο σύστημα ενυδρειοπονίας σε σχέση με το συζευγμένο και ήταν αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη η διαχείριση του pH και των λιπασμάτων, ενώ η ιχθυοπαραγωγή ήταν συγκρίσιμη στα δύο συστήματα. Σύμφωνα με άλλη έρευνα των Monsees et al.(2019) στο αποξυγμένο σύστημα ενυδρειοπονίας η απόδοση των φυτών, σε σχέση με το κλασικό σύστημα υδροπονίας, ήταν η ίδια. Εντούτοις απαιτήθηκαν 62,8% λιγότερα λιπάσματα, γεγονός που απέφερε 72% ετήσια μείωση σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας από την παραγωγή των αντίστοιχων λιπασμάτων).

Ωστόσο, είναι απαραίτητο να γίνουν περισσότερες μελέτες σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής καθώς στην πλειονότητά τους οι μελέτες έχουν γίνει σε εργαστηριακό επίπεδο (Monsees et al., 2017).

1.4.5 Θρεπτικό διάλυμα φυτών ενυδρειοπονικού συστήματος

Σε αντίθεση με την υδροπονία όπου η τροφοδοσία των φυτών με τα απαραίτητα θρεπτικά γίνεται μέσω της προσθήκης λιπασμάτων, στα συστήματα ενυδρειοπονίας χρησιμοποιείται το νερό της υδατοκαλλιέργειας που είναι πλούσιο σε απόβλητα ψαριών και τα οποία παρέχουν απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον, σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα πρέπει να υπάρχει μέριμνα όχι μόνο για την υγιή ανάπτυξη και ευδοκίμηση των φυτών αλλά και για την αρμονική συμβίωση φυτών, ψαριών και μικροοργανισμών.

Στα συστήματα ενυδρειοπονίας, το νερό που καταλήγει στις υδροπονικές κλίνες και προέρχεται από τις δεξαμενές ψαριών περιέχει διαλυμένα απορρίμματα ψαριών (απεκκρίσεις βραγχίων, ούρα και κόπρανα) καθώς και υπολείμματα ιχθυοτροφής, που παρέχουν θρεπτικά συστατικά που αφομοιώνονται από τα φυτά (Goddek et al., 2015). Ωστόσο, οι ιχθυοτροφές είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να παρέχουν τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη και την υγεία των ψαριών (Rakocy, 2007). Η σύστασή τους ποικίλει ανάλογα με το είδος των ψαριών, αν είναι δηλαδή φυτοφάγα, σαρκοφάγα ή παμφάγα (Bittsanszky et al., 2016). Οι διατροφικές απαιτήσεις των ψαριών όμως, δεν συμπίπτουν πλήρως με τις απαιτήσεις των φυτών (Rakocy, 2007). Συγκεκριμένα οι ιχθυοτροφές δεν περιέχουν επαρκή επίπεδα ασβεστίου, καλίου και σιδήρου ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των φυτών σε αυτά τα στοιχεία (Rakocy, 2007).

Σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα με έναν επαρκή αριθμό ψαριών μπορούν να αναπτυχθούν επιτυχώς, χωρίς προσθήκη επιπλέον θρεπτικών στοιχείων, μη καρποφόρα φυτά με μικρό βιολογικό κύκλο, όπως για παράδειγμα τα φυλλώδη λαχανικά. Αντίθετα, τα καρποφόρα φυτά χρειάζονται επιπρόσθετα θρεπτικά στοιχεία. προκειμένου να αναπτυχθούν επαρκώς (Bittsanszky et al., 2016). Είναι απαραίτητο λοιπόν, να γίνεται τακτικά έλεγχος του θρεπτικού διαλύματος και να συμπληρώνονται τα θρεπτικά στοιχεία που υπολείπονται. Συνήθως το ασβέστιο και το κάλιο προστίθενται με την μορφή βασικών αλάτων. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ταυτόχρονα και διόρθωση του pH το οποίο, λόγω της βακτηριακής μετατροπής της διαλυμένης αμμωνίας σε νιτρικά με ταυτόχρονη παραγωγή ιόντων υδρογόνου, γίνεται αρκετά όξινο. Ο σίδηρος συνήθως προστίθεται με την μορφή χηλικών αλάτων του (Rakocy et al., 2006).

Στα συστήματα αποζευγμένης ενυδρειοπονίας, όπου το νερό που καταλήγει στα φυτά δεν επιστρέφει στα ψάρια, υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμογή του θρεπτικού διαλύματος στις ανάγκες των φυτών, ώστε να επιτευχθεί βέλτιστη ανάπτυξη και απόδοση των φυτικών καλλιεργειών.

Πολύ σημαντικό στα συστήματα ενυδρειοπονίας, συζευγμένης και αποζευγμένης, είναι να γίνεται χημική ανάλυση του νερού που αρχικά γεμίζει την δεξαμενή των ψαριών και εν συνεχεία διοχετεύεται στα φυτά, ώστε να διαπιστώνεται η ακριβής σύστασή του και να προσαρμόζεται αναλόγως η προσθήκη των συμπληρωματικών θρεπτικών στοιχείων.

1.5 ΜΑΡΟΥΛΙ

1.5.1 Γενικά

Το μαρούλι είναι ένα ετήσιο φυτό της οικογένειας των Σύνθετων (Asteraceae). Το καλλιεργούμενο μαρούλι (*Lactuca sativa* L.) θεωρείται ότι κατά πάσα πιθανότητα προήλθε είτε από το άγριο αυτοφυές φυτό *Lactuca serriola* L. το οποίο διασταυρώνεται εύκολα με το *L. sativa* και το οποίο συναντάται ως ζιζάνιο σε πολλές περιοχές της Ευρώπης, είτε από διασταυρώσεις με τα άγρια είδη *L. saligna* L. και *L. virosa* L. Υπάρχουν πάνω από 100 είδη στο γένος *Lactuca*, πολλά από τα οποία καταναλώνονται από τον άνθρωπο, ενώ άλλα αποτελούν ζιζάνια.

1.5.2 Ιστορική Αναδρομή

Ως χώροι προέλευσης του μαρουλιού θεωρούνται οι περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, Μικράς Ασίας, Καυκάσου, Περσίας και Τουρκιστάν, ενώ το μαρούλι τύπου *Cos* πιστεύεται ότι έχει διαδοθεί από την Ελλάδα (το όνομα του προέρχεται από την νήσο Κω της Δωδεκανήσου). Υπάρχουν αναφορές ότι στην Περσία το μαρούλι καλλιεργούνταν ήδη από τον 6ο αιώνα π.Χ.. Σύμφωνα με τον Lindqvist (1960), ο Tackholm το 1951 αναφέρθηκε σε Αιγυπτιακές επιτύμβιες απεικονίσεις μαρουλιού με μακριά φύλλα που χρονολογούνται περίπου το 4.500 π.Χ., ενώ ο Keimner το 1924 κατατάσσει τα μαρούλια που καλλιεργούνταν στην αρχαία Αίγυπτο στον τύπο *Cos*.

Πιστεύεται ότι σε τόσο πρόωρες εποχές το μαρούλι χρησιμοποιούνταν κυρίως για τις φαρμακευτικές του ιδιότητες (ναρκωτικές, παυσίπονες, τονωτικές, διουρητικές).

Ως λαχανικό για τη διατροφή του ανθρώπου το μαρούλι χρησιμοποιήθηκε περίπου πριν 2000 χρόνια. Στην αρχαία Ελλάδα το μαρούλι αποτελούσε λαχανεύομενο είδος και αναφέρεται από τον Θεόφραστο και τον Ηρόδοτο ως «Θρίδαξ» και από τον Διοσκουρίδη ως «Θρίδαξ η ήμερος». Οι Κύπριοι το ονόμαζαν «Βρένθις» ενώ οι Ρωμαίοι «Λακτούκα». Ο Θεόφραστος το περιγράφει ως λαχανικό «επίσπορο», που μπορεί δηλαδή να σπαρθεί πολλές φορές μέσα σε ένα έτος και μάλιστα περιγράφει τέσσερα διαφορετικά είδη. Στην Κίνα μεταφέρθηκε μεταξύ 600 και 900 μ.Χ. Επίσης, ήταν ένα από τα πρώτα λαχανικά που εισήχθησαν στο Νέο Κόσμο από τον Κολόμβο (Μου, 2008). Στην Αγγλία αναφέρεται για πρώτη φορά το κεφαλωτό μαρούλι το 1543. Στη Γαλλία και ιδιαίτερα στην περιοχή του Παρισιού, για εκατοντάδες χρόνια εφαρμοζόταν μια εξειδικευμένη μέθοδος καλλιέργειας μαρουλιού σε τζάκια με θερμοστρωμένες από ζυμούμενη κοπριά (Ολύμπιος, 2019).

1.5.3 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το καλλιεργούμενο μαρούλι, είναι φυτό ποώδες και μονοετές. Είναι διπλοειδές και έχει 18 χρωμοσώματα ($2n=18$). Σε κανονικές συνθήκες είναι φυτό μακράς ημέρας, δηλαδή εφόσον η διάρκεια της ημέρας δεν ξεπεράσει τις 12 ώρες φωτός δεν παράγει ανθικό στέλεχος και άνθη.

Ο βλαστός είναι πολύ κοντός κατά τη διάρκεια της βλαστικής φάσης και φέρει τα φύλλα υπό μορφή ροζέτας, πολύ πυκνά. Αναπτύσσεται σημαντικά κατά τη φάση της αναπαραγωγής, δηλαδή όταν σχηματίζεται ανθοφόρος βλαστός.

Τα φύλλα είναι πλατιά, με επιφάνεια λεία ή κυματοειδή, χρώματος πράσινου ή πρασινοκίτρινου και σε μερικές ποικιλίες με απόχρωση κόκκινη, ενώ το μέγεθος και το σχήμα διαφοροποιείται ανάλογα με την ποικιλία. Εμφανίζονται πάνω στον βλαστό σε σπειροειδή διάταξη. Είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο και αλληλεπικαλύπτονται σχηματίζοντας την κεφαλή.

Κατά την εποχή της αναπαραγωγής το στέλεχος του φυτού επιμηκύνεται φτάνοντας συνήθως το ύψος των 0,6-1,2 m και σχηματίζει διακλαδώσεις, οι οποίες καταλήγουν σε ταξιανθίες με 15-25 ερμαφρόδιτα άνθη η καθεμιά. Τα άνθη είναι μικρά, κίτρινα ή λευκοκίτρινα με στεφάνη αποτελούμενη από 5 ενωμένα πέταλα και 5 στήμονες που σχηματίζουν σωλήνα γύρω από το στύλο. Τα άνθη ανοίγουν σχεδόν ταυτόχρονα και τα στίγματα είναι επιδεικτικά επικονίασης μόνο για μερικές ώρες το πρωί. Το μαρούλι αυτογονιμοποιείται, ενώ σπάνια συμβαίνει σταυρεπικονίαση.

Ο σπόρος είναι αχαίνιο, μικρός, ωοειδής, επιμήκης, ενώ το χρώμα διαφοροποιείται ανάλογα την ποικιλία και φέρει πάππο από λεπτές λευκές ή καφέ τρίχες. Διατηρεί τη βλαστική του ικανότητα για 4-5 χρόνια.

Η ρίζα του είναι πασσαλώδης, και αναπτύσσεται σε βάθος μέχρι 80-100 cm, ενώ οι πλάγιες ρίζες αναπτύσσονται επιφανειακά. Κατά τη μεταφύτευση η κεντρική ρίζα καταστρέφεται και αργότερα αναπτύσσεται ένα επιφανειακό θυσσανώδες ριζικό σύστημα (Ολύμπιος, 2019).

1.5.4 Βοτανικοί τύποι

Ανάλογα με τη μορφή και τη διάταξη των φύλλων στον κοντό βλαστό και το σχηματισμό ή την απουσία κεφαλής, τα καλλιεργούμενα μαρούλια διακρίνονται στις ακόλουθες ομάδες:

- Κως ή Ρωμάνια (Cos ή Romaine) *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. (συν. *Lactuca sativa* var. *romana* D.C.)

- Λείο, κεφαλωτό (Butterhead) *Lactuca sativa* var. *capitata* D.C.
- Κατσαρό κεφαλωτό (Crisphead, Iceberg ή Curly) *Lactuca sativa* var. *capitata* D.C.
- «Χαλαρό ανοικτό φύλλωμα» (Looseleaf) *Lactuca sativa* var. *crispa*
- «Κινέζικο μαρούλι» (Stem lettuce ή Celtuce) *Lactuca sativa* var. *asparagina* L.H.Bailey

Καθώς το μαρούλι είναι πολύ δημοφιλές λαχανικό με ευρεία κατανάλωση, στην αγορά κυκλοφορούν εκατοντάδες ποικιλίες. Οι διάφοροι τύποι μαρουλιού διαθέτουν ποικιλίες κατάλληλες για τις διάφορες εποχές και για τις διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες και ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής. Στην Ελλάδα προτιμάται κυρίως ο τύπος «Ρωμάννα».

1.5.5 Κλιματικές και Εδαφικές Απαιτήσεις

Θερμοκρασία

Σε γενικές γραμμές, το μαρούλι χρειάζεται δροσερό καιρό για να ευδοκιμήσει καθώς είναι φυτό ψυχρής εποχής. Στην Ελλάδα ευδοκιμεί καλύτερα από το φθινόπωρο έως την άνοιξη. Ιδανικές θερμοκρασίες για την ανάπτυξη του φυτού είναι 19-23°C τη ημέρα και 7-11°C την νύχτα. Καλής ποιότητας μαρούλια παράγονται όταν επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες την νύχτα. Σε θερμοκρασίες άνω των 30°C είναι δυνατόν το φυτό να περάσει στην αναπαραγωγική φάση και να ανθίσει, η γεύση των φύλλων να είναι υπόπικρη και στους κεφαλωτούς τύπους να μην σχηματιστεί κεφαλή ή αν σχηματιστεί να είναι μικρού μεγέθους.

Φως

Το μαρούλι είναι φυτό μεγάλης ημέρας και το φως είναι σημαντικός παράγοντας στην ανάπτυξή του, ιδιαίτερα στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Στις καλλιέργειες αυτές πρέπει να υπάρχει μία ισορροπία μεταξύ της έντασης του φωτός, της θερμοκρασίας και του ποτίσματος. Για παράδειγμα το χειμώνα που η ένταση του φωτός είναι μικρή, δεν χρειάζονται υψηλές θερμοκρασίες γιατί το φυτό δεν μπορεί να τις αξιοποιήσει. Όταν όμως η ένταση του φωτός είναι μεγάλη, θα πρέπει να αυξάνεται η θερμοκρασία και να εμπλουτίζεται η ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου με CO₂. Το πότισμα θα πρέπει να προσαρμόζεται αναλόγως, ώστε να διαμορφώνονται ιδανικά επίπεδα για όλους τους παράγοντες και να επιτυγχάνεται έτσι η βέλτιστη ανάπτυξη του φυτού. Συνήθως για την ρύθμιση των παραγόντων αυτών χρησιμοποιούνται Η/Υ και

ειδικοί αισθητήρες που μετρούν την ηλιακή ακτινοβολία, την θερμοκρασία, την υγρασία και ανάλογα προσαρμόζονται οι ρυθμίσεις.

Εδαφος

Ιδανικά για την καλλιέργεια του μαρουλιού θεωρούνται τα γόνιμα εδάφη που είναι πλούσια σε οργανική ουσία, με καλή αποστράγγιση και ικανότητα συγκράτησης νερού. Τα πιο κατάλληλα θεωρούνται τα αμμοπηλώδη εδάφη, πλούσια σε οργανική ουσία. Το pH του εδάφους πρέπει να κυμαίνεται από 6 έως 7,5. Τα όξινα εδάφη δεν είναι ευνοϊκά για το μαρούλι και πρέπει να διορθώνονται με ενσωμάτωση της αναγκαίας ποσότητας ασβεστίου. Τα πολύ αλκαλικά εδάφη πρέπει επίσης να αποφεύγονται καθώς τα φυτά μπορεί να παρουσιάσουν χλώρωση. Η συγκέντρωση των αλάτων πρέπει να είναι μικρή καθώς το μαρούλι είναι ευαίσθητο στην υψηλή αλατότητα.

1.5.6 Θρεπτική αξία

Το φύλλο του μαρουλιού είναι πιο θρεπτικό από ότι η κεφαλή του, κυρίως εξαιτίας των υψηλών ποσοστών βιταμίνης A και C (Βασιλειάδης 2011). Το θρεπτικό περιεχόμενο ποικίλει και εξαρτάται από την ποικιλία, το στάδιο ωρίμανσης καθώς και το χρώμα των φύλλων (Kim et al., 2018). Τα εξωτερικά φύλλα πράσινου χρώματος έχουν περισσότερη αξία από τα υπόλευκα εσωτερικά. Υψηλή είναι η περιεκτικότητα του μαρουλιού και σε φυτικές ίνες. Υπολογίζεται πως σε μια μερίδα μαρουλιού περιέχονται πάνω από 2,1 g φυτικών ινών. Το μαρούλι, ιδιαίτερα οι ποικιλίες με κοκκινόχρωμα φύλλα, περιέχει σημαντικές ποσότητες καροτενοειδών (α- και β-καροτένιο, λουτεΐνη, βιολαξανθίνη, λουτεοξανθίνη και ζεαξανθίνη) (Kim et al., 2018). Επιδημιολογικές έρευνες σε όλο τον κόσμο συσχέτισαν την υψηλή διαιτητική πρόσληψη αυτών των καροτενοειδών με μειωμένα επεισόδια καρκίνων του πνεύμονα, μαστού, τραχήλου, δέρματος και στομάχου (Βασιλειάδης 2011). Αποτελεί επίσης σημαντική πηγή φολικού οξέος και πολυφαινολών, ενώ οι ποικιλίες με κοκκινόχρωμα φύλλα συσσωρεύουν σημαντική ποσότητα ανθοκυανινών. Οι ανθοκυανίνες έχουν συσχετιστεί με την πρόληψη της καρδιαγγειακής νόσου, της αθηροσκλήρωσης, ενώ φαίνεται να έχουν αντικαρκινική και αντιμεταλλαξιογόνο δράση, αλλά και αντιοξειδωτικές ικανότητες (de Pascual-Teresa and Sanchez-Ballesta 2008, Kim et al., 2018, Assefa et al., 2021). Η θρεπτική αξία του μαρουλιού φαίνεται συγκεντρωτικά στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Η μέση σύσταση 100g φρέσκων φύλλων μαρουλιού για τους τύπους Cos ή Romaine, Iceberg ή Crisphead και Butterhead (Θανόπουλος 2008)

| Θρεπτική αξία | Τύπος Cos ή Romaine | Τύπος Iceberg ή Crisphead | Τύπος Butterhead | |
|------------------|---------------------|---------------------------|------------------|--------|
| | Νερό | 95g | 96g | 96g |
| | Υδατάνθρακες | 3.3 g | 3 g | 2.2 g |
| | Πρωτεΐνες | 1.2 g | 0.9 g | 1.3 g |
| | Φυτικά έλαια | 0,3 g | 0,1 g | 0,2 g |
| Βιταμίνες | Βιταμίνη Α | 436 µg | 25 µg | 166µg |
| | Βιταμίνη C | 24 mg | 2.8 mg | 3.7 mg |
| | Βιταμίνη E | 0.1 mg | 0.2 mg | 0.2 mg |
| | Βιταμίνη K | 103 µg | 24.1 µg | 102 µg |
| Άλατα | Ασβέστιο (Ca) | 33 mg | 18 mg | 35 mg |
| | Σίδηρος (Fe) | 1 mg | 0,4 mg | 1.2 mg |
| | Μαγνήσιο (Mg) | 14 mg | 7 mg | 13 mg |
| | Φώσφορος (P) | 30 mg | 20 mg | 33 mg |
| | Κάλιο (K) | 247 mg | 141 mg | 238 mg |
| | Νάτριο (Na) | 8 mg | 10 mg | 5 mg |
| | Ψευδάργυρος (Zn) | 0.2 mg | 0.2 mg | 0.2 mg |
| | Χαλκός (Cu) | 0 mg | 0 mg | 0 mg |
| Μαγγάνιο (Mn) | 0.2 mg | 0.1 mg | 0.2 mg | |

1.5.7 Χρήσεις

Το μαρούλι καταναλώνεται νωπό σε σαλάτες, αλλά και μαγειρεμένο. Από το μαρούλι παράγεται το latex με πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία. Ο γαλακτώδης χυμός που λαμβάνεται με τομή του ανθοφόρου βλαστού του ήμερου μαρουλιού *L. sativa* και των *L. virosa* και *L. capitata*, περιέχει αρκετές λακτόνες, με κυριότερη την λακτουκίνη και τη λακτουκοπικρίνη, οι οποίες έχουν αναλγητική και αναισθητική δράση. Με απόσταξη δε των φύλλων του μαρουλιού λαμβάνεται το «θρυδάκιον ύδωρ», που έχει επίσης φαρμακευτικές χρήσεις, ενώ με σύνθλιψη του ανθοφόρου βλαστού λαμβάνεται η “θριδακία” που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σαπουνιού «tridace».

1.6 ΡΟΚΑ

1.6.1 Γενικά

Η ρόκα είναι φυτό ποώδες, μικρού μεγέθους που έχει εισαχθεί στην καλλιέργεια τις τελευταίες δυο-τρεις δεκαετίες. Η ρόκα ανήκει στην οικογένεια των Κραμβοειδών (Brassicaceae) ή Σταυρανθών (Cruciferae) με βασικούς εκπροσώπους της τα είδη,

Eruca sativa (ήμερη ρόκα), που είναι μονοετές φυτό και *Diplotaxis tenuifolia* (άγρια ρόκα) που είναι πολυετές.

Το όνομά της προέρχεται από το λατινικό *Eruca* το οποίο με την σειρά του προέρχεται από το Ρωμαϊκό «*urege*» που σημαίνει καίω και προσδιορίζει την πικάντικη γεύση της. Υπάρχει βέβαια και η αναφορά πως το όνομά της (ρόκα, rocket, rughetta, rucola, roquette) προήλθε από την λατινική λέξη *roc* που αρχικά σήμαινε σκληρός, τραχύς, παραπέμποντας στην πικάντικη και πικρή γεύση των φύλλων της (Pignone 1997).

1.6.2 Ιστορική Αναδρομή

Η καταγωγή της καλλιεργήσιμης ρόκας είναι από την νοτιοανατολική Ασία. Στην Ελλάδα τους σπόρους ρόκας έφεραν οι προσφυγές της Κωνσταντινούπολης και της Θράκης.

Η ρόκα ήταν γνωστή από την αρχαιότητα. Οι αρχαίοι Έλληνες την αποκαλούσαν «εύζωμον» που σημαίνει «με καλό χυμό». Αναφορές σε αυτήν κάνει τόσο ο Διουσκουρίδης όσο και ο Γαληνός. Στα ρωμαϊκά χρόνια την χρησιμοποιούσαν σαν παυσίπονο. Σε αρχαία Ιουδαϊκά κείμενα (*Mishna* και *Talmud*) γίνονται αναφορές για την χρήση της ρόκας ως άρτυμα, αλλά και ως φάρμακο. Πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι η ρόκα είναι το φυτό που αναφέρεται στην Βίβλο ως «*Oroth*» (Yaniv et al., 1998).

Αναφορές για την χρήση της ως φάρμακο συναντώνται σε αρχαία κείμενα. Θεωρούταν ότι είχε αφροδισιακές ιδιότητες και είναι πολλές οι σχετικές αναφορές. Μεταξύ άλλων σε αυτές της τις ιδιότητες αναφέρεται ο Βιργίλιος, ο *Lucius Columella*, ο Πλίνιος ο πρεσβύτερος, και άλλοι (Barillari et al., 2005).

1.6.3 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Δύο είναι οι κύριοι τύποι ρόκας: η ήμερη που ανήκει στο γένος *Eruca* και η άγρια του γένους *Diplotaxis*. Στο κάθε γένος ανήκουν αρκετά είδη

Eruca sativa

Η ήμερη ρόκα είναι μονοετές, ποώδες φυτό, μικρού μεγέθους. Παρουσιάζει όρθια ανάπτυξη με ύψος που φτάνει τα 20-50 cm. Πρόκειται για χειμωνιάτικο φυτό, που ανθίζει από τον Μάρτιο έως τον Ιούνιο (Σάββας, 2016)

Τα φύλλα είναι λειροειδή, βαθιά λοβωτά με τέσσερις έως δέκα μικρούς πλαϊνούς οδοντωτούς λοβούς που καταλήγουν σε έναν μεγάλο κορυφαίο λοβό. Το χρώμα τους είναι θαμπό πράσινο και έχουν γεύση πικάντικη και καυτερή.

Ανθικό στέλεχος σχηματίζεται κατά την επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών και σε ημέρες με μεγάλο μήκος. Τα άνθη εμφανίζονται σε ταξιανθία κορύμβου.

Σχηματίζει το χαρακτηριστικό άνθος των σταυρανθών, τέσσερα πέταλα με λευκό ή κίτρινο χρώμα, και ιώδεις ραβδώσεις, στίγμα δίλοβο, με κίτρινους στήμονες. Ο κάλυκας αποτελείται από σέπαλα όρθια που είναι μικρότερα από τον ποδίσκο του άνθους. Το άνθος έχει διάμετρο 2-4 cm (Ολύμπιος 2019). Το φυτό αποβάλλει τα σέπαλα του αμέσως μετά την άνθιση.

Ο καρπός είναι μικρός, κωνικός και ραμφοειδής με μέγεθος 12-35 mm και περιέχει αρκετά σπέρματα κίτρινου χρώματος, τα οποία είναι εδώδιμα. Ο σπόρος είναι ωοειδής, σχετικά μικρός και καστανός.

Αναπτύσσει μια κύρια κεντρική ρίζα που είναι λεπτή με πολλά δευτερεύοντα ριζίδια.

Diplotaxis tenuifolia

Το είδος *Diplotaxis tenuifolia*, η άγρια ρόκα δηλαδή, είναι κατά κανόνα διπλοειδές πολυετές φυτό, με ρίζες που αντέχουν σε χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν νέους βλαστούς την άνοιξη. Ανθίζει από αργά την άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο και τα σπέρματά του είναι έτοιμα για συγκομιδή το φθινόπωρο. Είναι ένα είδος πολύ καλά προσαρμοζόμενο σε αντίξοα περιβάλλοντα και φτωχά εδάφη και συχνά μπορεί να ανταγωνιστεί πολύ καλά άλλα είδη σε ασβεστούχα και ρηχά εδάφη.

Το φυτό έχει χαρακτηριστικό άρωμα και γεύση, διαθέτει δε, χυμώδη φύλλα και γι' αυτό εκτιμάται πολύ στη γαστρονομία.

Στο γένος *Diplotaxis* απαντάται μεγάλο εύρος αριθμού χρωμοσωμάτων, όπως για παράδειγμα το είδος *Diplotaxis erucoides* με $n=7$ ή το *Diplotaxis muralis* με $n=21$ (το οποίο θεωρείται και αλλοπολυπλοειδές). Το είδος *Diplotaxis tenuifolia* έχει έντεκα ζεύγη χρωμοσωμάτων ($2n=22$) (Padulosi 1994).

Το φυτό παρουσιάζει κατακόρυφη ανάπτυξη, με έντονες διακλαδώσεις και μεγάλο αριθμό βλαστών, οι οποίοι είναι μεν ορατοί αλλά το βασικό στέλεχος είναι συνήθως ψηλότερο.

Το ανθικό στέλεχος είναι ξυλώδες στη βάση του, άτριχο, σχηματίζει κλαδιά στα οποία φέρονται φύλλα πυκνά και ακραίες ταξιανθίες.

Τα φύλλα του έχουν χρώμα βαθύ πράσινο, είναι λεπτά, επιμήκη, έλλοβα με βαθιές εγκοιλώσεις.

Η ταξιανθία εμφανίζεται υπό μορφή βότρυ. Είναι ερμαφρόδιτο και η επικονίαση γίνεται με έντομα.

Τα άνθη έχουν κίτρινο χρώμα και μήκος συνήθως 15-18mm. Επισυνάπτονται στο στέλεχος με ένα σχετικά μακρύ ποδίσκο (2-3 φορές το μήκος του άνθους). Η στεφάνη αποτελείται από 4 πέταλα και ο κάλυκας από 4 σέπαλα διατεταγμένα διαγωνίως σε σχήμα σταυρού. Διαθέτει 6 τετραδύναμους στήμονες και την ωοθήκη η οποία βρίσκεται διογκωμένη στη βάση του άνθους, με στύλο που καταλήγει σε στίγμα πάνω από το ύψος των στημόνων (υπόγυνο).

Ο καρπός είναι αχαίνιο χωρίς πάππο, μήκους 25-35mm και πλάτους 2mm με χλωμό πράσινο χρώμα. Περιέχει 32-60 σπόρους μεγέθους 1-2mm, σχήματος σφαιρικού προς οβάλ με ένα μικρό βαθούλωμα και χρώματος καφέ κοκκινωπού.

Το ριζικό σύστημα του φυτού είναι πασσαλώδες. Η κύρια ρίζα είναι μία ενιαία, κυρίαρχη, μεγάλη δομή που παρουσιάζει φθίνουσα διάταξη από την οποία προκύπτει ένα δίκτυο μικρότερων ριζών.

1.6.4 Θρεπτική αξία

Η ρόκα αποτελεί ένα δημοφιλές φυλλώδες λαχανικό τα τελευταία χρόνια, τόσο στην ελληνική όσο και στην παγκόσμια κουζίνα. Η διατροφική της αξία είναι μεγάλη και ήταν γνωστή ήδη από την αρχαιότητα. Έχει πολύ μικρή θερμιδική αξία, που αντιστοιχεί σε 25 θερμίδες ανά 100g. Ωστόσο προσφέρει σημαντική ποσότητα φυτικών ινών, 1,6g/100g, που αντιστοιχούν σε 6% περίπου της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης.

Αποτελεί εξαιρετική πηγή βιταμίνης K, ενώ προσφέρει και σημαντικά ποσά βιταμίνης A, C, φολικού οξέος, Ω3 λιπαρών οξέων, ασβεστίου, μαγνησίου, μαγγανίου, καλίου και φωσφόρου. Η περιεκτικότητά της σε υδατάνθρακες και λίπη είναι πολύ μικρή.

Τόσο τα φύλλα όσο και τα σπέρματα της ρόκας περιέχουν γλυκοζινολίτες, οι οποίοι κατά την μάσηση των ωμών φύλλων υδρολύονται μέσω του ενζύμου β-θειογλυκοσιδάση με αποτέλεσμα να προκύπτουν μια σειρά δραστικών ενώσεων μεταξύ των οποίων και ισοθειοκυανικές ενώσεις. Οι τελευταίες προσδίδουν την χαρακτηριστική πικάντικη γεύση στην ρόκα και εμφανίζονται να έχουν δράση αντιφλεγμονώδη καθώς και βιοκτόνο έναντι διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών όπως μυκήτων, βακτηρίων, διαφόρων εντόμων και παρασίτων (Vig et al., 2009).

Έρευνες έχουν δείξει δε, και τη σημαντική συμβολή τους τόσο στην πρόληψη έναντι διαφόρων τύπων καρκίνου όσο και στην μείωση του οξειδωτικού στρες (Alqasoumi et al., 2009, Hedges and Lister 2005).

Πίνακας 3. Η μέση σύσταση 100g φρέσκων φύλλων ρόκας. Αναφέρεται επίσης και το ποσοστό κάλυψης % της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης για το κάθε συστατικό. Ο υπολογισμός έχει γίνει για μια γυναίκα 19-50 ετών (https://vegnt.com/foods/arugula_raw.html)

| Μακροθρεπτικά συστατικά | | | Βιταμίνες | | | Μέταλλα | | |
|-------------------------|---------|------|--------------|----------|------|-------------|----------|------|
| | | % | | | % | | | % |
| Ενέργεια | 25 kcal | 1.14 | Βιταμίνη Α | 119 µg | 17 | Ασβέστιο | 160 mg | 16 |
| Λίπη | 0,66 g | 0.9 | Θειαμίνη | 0,044 mg | 4 | Χαλκός | 0,076 mg | 8.44 |
| Πρωτεΐνες | 2,58 g | 5.6 | Βιταμίνη Β2 | 0,086 mg | 7.8 | Σίδηρος | 1,46 mg | 8.1 |
| Υδατάνθρακες | 3,65 g | 2.8 | Βιταμίνη Β3 | 0,31 mg | 2.18 | Μαγνήσιο | 47 mg | 14.7 |
| Σάκχαρα | 2,05 g | 3.73 | Βιταμίνη Β6 | 0,073 mg | 5.6 | Μαγγάνιο | 0,32 mg | 18 |
| Φυτικές Ίνες | 1,6 g | 6.4 | Βιταμίνη Β12 | 0 µg | 0 | Φώσφορος | 52 mg | 7.43 |
| Χοληστερόλη | 0 mg | 0 | Βιταμίνη C | 15 mg | 20 | Κάλιο | 369 mg | 14 |
| Κορεσμένα λιπαρά | 0,086 g | 0.36 | Βιταμίνη D | 0 IU | 0 | Σελήνιο | 0.3 µg | 0.55 |
| Ωμέγα 3 | 0,17 g | 15.5 | Βιταμίνη Ε | 0,43 mg | 2.87 | Νάτριο | 27 mg | 1.8 |
| Ωμέγα 6 | 0,13 g | 1.1 | Βιταμίνη Κ | 109 µg | 121 | Ψευδάργυρος | 0,47 mg | 5.88 |
| Νερό | 92 g | 3.4 | Φολικό οξύ | 97 µg | 24.3 | | | |

1.6.5 Χρήσεις

Τα τελευταία χρόνια η ρόκα έχει κατακτήσει μια σημαντική θέση στις κουζίνες των περισσότερων λαών. Χρησιμοποιείται ευρέως σε σαλάτες, σε διάφορους συνδυασμούς με άλλα φυλλώδη και μη λαχανικά, σε σούπες, σε σάλτσες πέστο, ενώ όταν κατά το μαγείρεμα θερμανθεί ήπια χάνει την πικρή της γεύση και αποκτά μια πιο λεπτή γεύση που συνδυάζεται πολύ καλά με ζυμαρικά, ριζότο και πίτσα.

Στην Δυτική Ασία, την Βόρεια Ινδία και το Πακιστάν τα σπέρματα της ήμερης ρόκας (*Eruca sativa*) συμπιέζονται για να εξαχθεί ένα λάδι γνωστό ως «taramira» ή «jamba», που χρησιμοποιείται στην μαγειρική, την κοσμετολογία, την φαρμακευτική καθώς και ως λιπαντικό και φωτιστικό έλαιο. Τα υπολείμματα των σπερμάτων μετά την διεργασία εξαγωγής του λαδιού χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφή.

Πάρα πολλές είναι και οι χρήσεις της ρόκας στον τομέα της φαρμακευτικής και της θεραπευτικής. Το λάδι που λαμβάνεται από τα σπέρματά της χρησιμοποιείται για την καταπολέμηση της βρογχίτιδας, τον περιορισμό της φλεγμονής στο λαιμό και τους βλεννογόνους και την μείωση της καταρροής που προκαλεί το συνάχι.

Τα φύλλα της εμφανίζουν διουρητικές, τονωτικές, καθαρτικές, στυπτικές όπως και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία των μολύνσεων των οφθαλμών και των πεπτικών και νεφρικών προβλημάτων. Σημαντική είναι η δράση της ως αντιοξειδωτικό, αντικαρκινικό, αφροδισιακό, καθώς και για την καταπολέμηση του έλκους του στομάχου, της παχυσαρκίας και του διαβήτη. Ευεργετική είναι η δράση της και στα οστά, αφενός λόγω της σημαντικής ποσότητας βιταμίνης Κ που περιέχει και που βελτιώνει την απορρόφηση του ασβεστίου, αφετέρου γιατί η ρόκα συνεισφέρει σημαντικά στην καθημερινή μας ανάγκη σε ασβέστιο, αφού στα 100 g περιέχει 160 mg ασβεστίου.

Η ρόκα που χρησιμοποιείται για φαρμακευτικούς και θεραπευτικούς σκοπούς πρέπει να συγκομίζεται κατά την ανθοφορία του φυτού.

1.7 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι να εκτιμηθεί η συνεισφορά των μικροβιωτών του νερού που προέρχεται από συστήματα συζευγμένης (AQ) και αποζευγμένης ενυδρειοπονίας (CAP), σε σύγκριση με το προερχόμενο από υδροπονία (HP) και γεώτρηση (W), στα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά αρτίβλαστων και νεαρών φυτών μαρουλιού (*Lactuca sativa*) και ρόκας (*Diplotaxis tenuifolia*) καθώς και στη φυτρωτικότητα των σπερμάτων τους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ζιζανιολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κατά το διάστημα 14/04/2022 έως 09/07/2022.

2.1 ΦΥΤΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ

A) Μαρούλι

Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν σπέρματα μαρουλιού (*Lactuca sativa*) της ποικιλίας Fanfare.

B) Ρόκα

Χρησιμοποιήθηκαν σπέρματα άγριας ρόκας (*Diplotaxis tenuifolia*) της ποικιλίας Rucola Coltivata της εταιρείας La Semiorto Sementi, προέλευσης Ιταλίας.

2.2 ΝΕΡΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Προκειμένου να ελεγχθεί η επίδραση του μικροβιώματος του νερού στα υπό μελέτη φυτά, το κάθε είδος νερού χρησιμοποιούταν είτε χωρίς καμία παρέμβαση, ή αποστειρωμένο (βλ. 2.3.1) για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών.

Οι μεταχειρίσεις του πειράματος ήταν οι εξής:

- 1) Νερό γεώτρησης (W)
- 2) Νερό γεώτρησης αποστειρωμένο (Ws)
- 3) Νερό υδροπονίας (HP)
- 4) Νερό υδροπονίας αποστειρωμένο (HPs)
- 5) Νερό συζευγμένης ενυδραιοπονίας (AQ)
- 6) Νερό συζευγμένης ενυδραιοπονίας αποστειρωμένο (AQs)
- 7) Νερό αποζευγμένης ενυδραιοπονίας (CAP)
- 8) Νερό αποζευγμένης ενυδραιοπονίας αποστειρωμένο (CAPs)

2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα πειράματα των φυτών πραγματοποιήθηκαν σε δύο φάσεις. Κατά την 1^η φάση διεξήχθησαν τα πειράματα εφαρμογής των διαφορετικών νερών στη φύτευση σπερμάτων, με τις επακόλουθες μετρήσεις που λεπτομερώς αναφέρονται στο αντίστοιχο υποκεφάλαιο. Στην 2^η φάση, μέρος των φυτρωμένων σπερμάτων μεταφυτεύθηκαν σε γλαστράκια και η ανάπτυξη των αρτίβλαστων που ποτίζονταν με τα αντίστοιχα με τα σπέρματα νερά παρακολούθηθηκε για αρκετές ημέρες.

2.3.1 Προμήθεια και προετοιμασία νερών

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία του πειράματος έγινε η προμήθεια των διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης, που προήλθαν από πείραμα ενυδρειοπονίας που διεξαγόταν ταυτοχρόνως στο πιλοτικής κλίμακας, ενυδρειοπονικό θερμοκήπιο στο αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος στο Βελεστίνο. Για κάθε ένα από τα δύο φυτά, τρία λίτρα νερού από κάθε είδος αποστειρώθηκε στο εργαστήριο Γενετικής του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η αποστείρωση έγινε σε αυτόκαυστο κλίβανο στους 121°C για 15 λεπτά.

2.3.2 Επίστρωση τρυβλίων για μικροβιακή μελέτη των νερών

Η πειραματική διαδικασία για την μικροβιακή μελέτη των νερών ξεκίνησε στις 14/04/2022. Ως θρεπτικό υλικό για το γέμισμα των τρυβλίων επιλέχθηκε το R2A καθώς είναι ένα θρεπτικό μέσο κατάλληλο για γλυκά νερά. Σε αυτό προστέθηκε και άγαρ. Αρχικά παρασκευάστηκε το θρεπτικό υλικό και τοποθετήθηκε στον αυτόκαυστο κλίβανο στους 121°C για 15 λεπτά, ώστε να αποστειρωθεί.

Στην συνέχεια προετοιμάστηκαν τα τρυβλία, σημειώνοντας πάνω τους τον κατάλληλο χαρακτηρισμό ανάλογα με το νερό με το οποίο θα γινόταν ο εμβολιασμός και την αραιώση. Για κάθε περίπτωση έγιναν 3 επαναλήψεις.

Όλες οι εργασίες που ακολούθησαν έγιναν σε θάλαμο νηματικής ροής. Τοποθετήθηκε το θρεπτικό υλικό στα τρυβλία και αφέθηκε να σταθεροποιηθεί. Στην συνέχεια έγινε ο εμβολιασμός των τρυβλίων με κατάλληλη ποσότητα νερού. Συγκεκριμένα έγινε εμβολιασμός:

- 3 τρυβλίων με 20ml νερού γεώτρησης (W)
- 3 τρυβλίων με 20ml νερού γεώτρησης αποστειρωμένου (Ws)
- 3 τρυβλίων με 20ml νερού υδροπονίας (HP)
- 3 τρυβλίων με 20ml νερού υδροπονίας αποστειρωμένου (HPs)
- 3 τρυβλίων με 20ml νερού συζευγμένης ενυδρειοπονίας (AQ)
- 3 τρυβλίων με 20ml νερού συζευγμένης ενυδρειοπονίας αποστειρωμένου (AQs)
- 3 τρυβλίων με 20ml νερού αποζευγμένης ενυδρειοπονίας (CAP)
- 3 τρυβλίων με 20ml νερού αποζευγμένης ενυδρειοπονίας αποστειρωμένου (CAPs)
- 3 τρυβλίων με 100ml νερού γεώτρησης (W)
- 3 τρυβλίων με 100ml νερού γεώτρησης αποστειρωμένου (Ws)

- 3 τρυβλίων με 100μl νερού υδροπονίας (HP)
- 3 τρυβλίων με 100μl νερού υδροπονίας αποστειρωμένου (HPs)
- 3 τρυβλίων με 100μl νερού συζευγμένης ενυδριοπονίας (AQ)
- 3 τρυβλίων με 100μl νερού συζευγμένης ενυδριοπονίας αποστειρωμένου (AQs)
- 3 τρυβλίων με 100μl νερού αποζευγμένης ενυδριοπονίας (CAP)
- 3 τρυβλίων με 100μl νερού αποζευγμένης ενυδριοπονίας αποστειρωμένου (CAPs)

Τα τρυβλία μεταφέρθηκαν την επόμενη ημέρα στον χώρο που βρίσκονταν και τα τρυβλία με τα σπέρματα του μαρουλιού, δηλαδή στο Εργαστήριο Ζιζανιολογίας. Η θερμοκρασία του χώρου ήταν περίπου 22 °C.

Για διάστημα τριών ημερών παρατηρήθηκαν μακροσκοπικά τα τρυβλία για την ανάπτυξη μικροοργανισμών και έγινε κατάμετρηση των αποικιών.

Τα τρυβλία με τα αποστειρωμένα νερά δεν ανέπτυξαν μικροοργανισμούς, όπως ήταν αναμενόμενο. Στα τρυβλία με τα μη αποστειρωμένα νερά είχαν αναπτυχθεί τόσες πολλές αποικίες που ήταν αδύνατο να γίνει καταμέτρησή τους. Κρίθηκε έτσι απαραίτητο να επαναληφθεί η όλη διαδικασία με νερά σε τρεις διαφορετικές αραιώσεις. Αυτή την φορά έγινε εμβολιασμός με 100μl μόνο μη αποστειρωμένων νερών σε αραιώσεις 1:100, 1:1000 και 1:10000. Για κάθε μία αραιώση και κάθε είδος νερού εμβολιάστηκαν 3 τρυβλία.

Τις επόμενες μέρες έγινε μακροσκοπική παρατήρηση των τρυβλίων και καταμέτρηση και καταγραφή των πληθυσμών των μικροοργανισμών που αναπτύχθηκαν στα τρυβλία με τα διαφορετικά νερά και τις διαφορετικές αραιώσεις τους.

Η ίδια διαδικασία, με τις ίδιες αραιώσεις επαναλήφθηκε στις 21/6 για τα αντίστοιχα νερά με τα οποία ποτίστηκαν τα σπέρματα και τα φυτά της ρόκας. Ομοίως ακολούθησε μακροσκοπική παρατήρηση και καταγραφή των αποικιών των μικροοργανισμών που αναπτύχθηκαν στα νερά.

2.3.3 Μέτρηση pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Κατά την έναρξη του πειράματος του μαρουλιού (31/5/2022) και αντίστοιχα κατά την έναρξη του πειράματος της ρόκας (6/7/2022) έγινε μέτρηση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών με τα οποία ποτίστηκαν τα αντίστοιχα σπέρματα και τα φυτά. Για τις μετρήσεις (πίνακας 4) χρησιμοποιήθηκε ο πολυπαραμετρικός αναλυτής Consort C5010.

Πίνακας 4. Τιμές pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών με τα οποία έγιναν τα ποτίσματα των σπερμάτων και των φυτών μαρουλιού και ρόκας αντίστοιχα.

| Μεταχειρίσεις | Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/cm) | | pH | |
|---------------|----------------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| | Μαρούλι (31/5/2022) | Ρόκα (6/7/2022) | Μαρούλι (31/5/2022) | Ρόκα (6/7/2022) |
| W | 0,66 | 0,66 | 7,67 | 7,41 |
| Ws | 0,49 | 0,45 | 7,45 | 7,64 |
| HP | 2,88 | 2,36 | 5,47 | 5,49 |
| HPs | 2,98 | 2,31 | 5,43 | 5,39 |
| AQ | 0,90 | 1,04 | 5,78 | 6,33 |
| AQs | 0,93 | 1,04 | 6,78 | 6,15 |
| CAP | 3,29 | 2,50 | 5,53 | 5,27 |
| CAPs | 3,27 | 2,49 | 5,27 | 5,66 |

ΜΑΡΟΥΛΙ

Α' ΦΑΣΗ

2.3.4 Τοποθέτηση σπερμάτων μαρουλιού σε τρυβλία

Η πειραματική διαδικασία για τα φυτά ξεκίνησε στις 15/04/2022. Αρχικά ζυγίστηκαν 20 σπέρματα μαρουλιού ούτως ώστε να υπολογιστεί αναλογικά το βάρος των 720 σπερμάτων που θα χρησιμοποιούνταν. Η κατάλληλη ποσότητα σπερμάτων (0,8g) τοποθετήθηκε σε χωνί με διηθητικό χαρτί κάτω από τρεχούμενο νερό βρύσης, ήπιας ροής, με σκοπό την ελαφριά απολύμανση από το χλώριο του νερού.

Στο διάστημα αυτό προετοιμάστηκαν τα τρυβλία στα οποία θα τοποθετούνταν τα σπέρματα. Για κάθε μεταχείριση ετοιμάστηκαν 6 τρυβλία, επομένως συνολικά 48 τρυβλία. Στο κάθε τριβλίο τοποθετήθηκε διηθητικό χαρτί και διαποτίστηκε με 5 ml από το αντίστοιχο νερό της μεταχείρισης. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν 15 σπέρματα μαρουλιού σε κάθε τριβλίο προσπαθώντας να ισαπέχουν, όσο ήταν δυνατό. Τα τρυβλία σκεπάστηκαν με το καπάκι τους ώστε να μειωθεί η απώλεια νερού μέσω εξάτμισης.

Τα τρυβλία τοποθετήθηκαν σε φυσικό φως. Η θερμοκρασία στο εργαστήριο σε όλη την διάρκεια του πειράματος ήταν περίπου 22°C.

Κάθε μέρα, για τις επόμενες 6 ημέρες, τα τρυβλία ποτίζονταν με την κατάλληλη ποσότητα νερού ώστε το χαρτί να είναι πάντα υγρό και βέβαια με το κατάλληλο για κάθε ομάδα τρυβλίων νερό.

2.3.5 Μέτρηση ποσοστού φύτευσης

Την 7η ημέρα μετρήθηκε το ποσοστό φύτευσης των σπερμάτων κάθε τρυβλίου. Ως φυτρωμένα μετρούνταν τα σπέρματα στα οποία το ριζίδιο είχε διαρρήξει το σπερματικό περίβλημα.

2.3.6 Αναπτυξιακές μετρήσεις

Φωτογραφήθηκε το κάθε τριβλίο στο σύνολό του. Η φωτογράφιση έγινε με χρήση τρίποδα ώστε να εξασφαλιστεί η φωτογράφιση όλων των τρυβλίων από την ίδια απόσταση. Ακολούθησαν οι αναπτυξιακές μετρήσεις στα αρτίβλαστα, δηλαδή μετρήσεις μήκους ριζικού και υπέργειου τμήματος και ξηρό βάρος ριζικού και υπέργειου τμήματος αντίστοιχα.

➤ Μετρήσεις μήκους

Σε κάθε τριβλίο αφέθηκαν 5 αρτίβλαστα για να χρησιμοποιηθούν στην επόμενη (B) φάση του πειράματος, ενώ τα υπόλοιπα τοποθετήθηκαν σε κατάλληλη επιφάνεια και φωτογραφήθηκαν ώστε στην συνέχεια να γίνει η μέτρηση του μήκους της ρίζας και του υπέργειου τμήματος.

Η μέτρηση του μήκους έγινε με το πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας ImageJ (Open-source software, ImageJ.net/ver. ImageJ 1.51j).

➤ Μετρήσεις ξηρού βάρους

Μετά την φωτογράφισή τους τα αρτίβλαστα διαχωρίστηκαν με λεπίδα στο ύψος του υποκοτύλιου, σε ριζικό και υπέργειο τμήμα. Το ριζικό τμήμα, και αντίστοιχα και το υπέργειο, από τα φυτά κάθε τριβλίου τοποθετήθηκε σε ξηραντήριο για 24 ώρες στους 80°C.

B' ΦΑΣΗ

2.3.7 Φύτευση αρτίβλαστων

Την επόμενη ημέρα (22-04-2022), τα 5 αρτίβλαστα που είχαν παραμείνει σε κάθε τριβλίο, επομένως 30 φυτά ανά μεταχείριση, φυτεύτηκαν σε δίσκο σποράς 30 θέσεων. Οι θέσεις σποράς (κυψελίδες) ήταν γεμάτες με αποστειρωμένο περλίτη (Hydroperl, NORDIA AGRO, Athens, Greece) . Χρησιμοποιήθηκε περλίτης και όχι χώμα ώστε να μην υπάρχει η επίδραση του μικροβιώματος του χώματος στην ανάπτυξη των φυτών.

Παράλληλα ο περλίτης έχει ουδέτερο pH, ευνοεί τον καλό αερισμό και απορροφά ικανοποιητικές ποσότητες νερού.

Κάθε δίσκος υποδέχθηκε τα αρτίβλαστα από τα 6 τρυβλία της ίδιας μεταχείρισης. Έτσι τελικά ετοιμάστηκαν 8 δίσκοι (ένας για κάθε μεταχείριση). Ο κάθε δίσκος ήταν τοποθετημένος σε δικό του πιάτο, και σε μεγάλη απόσταση από τους υπόλοιπους, ώστε τα φυτά να μην έρχονται σε επαφή με άλλο νερό πέρα από αυτό με το οποίο ποτίζονταν. Τα φυτά των δίσκων ποτίστηκαν με αρκετή ποσότητα του κατάλληλου νερού ώστε να διαβραχεί καλά ο περλίτης. Ακολούθησε καθημερινή παρακολούθηση και πότισμα των φυτών με το αντίστοιχο νερό. Παράλληλα εναλλάσσονταν τακτικά οι θέσεις των δίσκων πάνω στον πάγκο για να αποφευχθεί η επίδραση της μικροθέσης.

2.3.8 Αναπτυξιακές μετρήσεις

Στις 04/05/2022, δηλαδή την 13^η ημέρα από την φύτευσή των αρτίβλαστων, φωτογραφήθηκαν τα γλαστράκια, το καθένα στο σύνολό του. Στην συνέχεια τα νεαρά φυτά εξάχθηκαν με προσοχή από τον περλίτη ώστε να μετρηθεί το μήκος της ρίζας και του υπέργειου τμήματος και να ζυγιστεί και να υπολογιστεί το ξηρό βάρος της ρίζας και του υπέργειου αντίστοιχα.

➤ Μετρήσεις μήκους

Τα φυτά τοποθετήθηκαν σε κατάλληλη επιφάνεια και φωτογραφήθηκαν ώστε να ακολουθήσει η μέτρησή του μήκους της ρίζας και του υπέργειου τμήματος με το πρόγραμμα ImageJ.

➤ Μετρήσεις ξηρού βάρους

Στην συνέχεια τα φυτά διαχωρίστηκαν σε ριζικό και υπέργειο τμήμα και με την διαδικασία που περιγράφηκε και παραπάνω τοποθετήθηκαν για ξήρανση για 24 ώρες στους 80°C. Την επόμενη ημέρα καταγράφηκε το ξηρό βάρος του ριζικού και του υπέργειου τμήματος των νεαρών φυτών.

ΡΟΚΑ

2.3.9 Συνοπτική πορεία εργασιών

Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για την ρόκα. Αφού έγινε η προμήθεια των νερών, περίπου τρία λίτρα από το κάθε ένα αποστειρώθηκε.

Στις 20/06/2022 τοποθετήθηκαν 15 σπέρματα ρόκας σε κάθε τριβλίο. Για την κάθε μεταχείριση, όπως και για το μαρούλι, υπήρχαν 6 επαναλήψεις.

Την 5^η ημέρα, δηλαδή στις 24/06/2022 έγινε η μέτρηση του ποσοστού φύτευσης των σπερμάτων ρόκας. Επειδή τα ποσοστά ήταν χαμηλότερα σε σχέση με το μαρούλι και κρίθηκε πως τα φυτά μπορεί να μην επαρκούσαν για τις αναπτυξιακές μετρήσεις και των δύο φάσεων, αποφασίστηκε πως θα χρησιμοποιούνταν όλα για τις μετρήσεις της Α' φάσης. Έτσι την ίδια μέρα (24/06/2022) τοποθετήθηκαν εκ νέου σπέρματα ρόκας σε νέα τρυβλία για να χρησιμοποιηθούν για τις αναπτυξιακές μετρήσεις της Β' φάσης.

Ακολούθησαν οι αναπτυξιακές μετρήσεις της Α' φάσης, ακολουθώντας ακριβώς το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε στο μαρούλι.

Στις 29/06/2022 τα αρτίβλαστα από την δεύτερη σειρά σπερμάτων ρόκας, που είχαν τοποθετηθεί σε τρυβλία στις 24/06, φυτεύτηκαν σε δίσκο ομαδικής σποράς 31 θέσεων με περλίτη. Τα φυτά ποτίζονταν με το κατάλληλο νερό σε καθημερινή βάση.

Στις 08/07/2022 έγινε φωτογράφιση της κάθε γλάστρας χωριστά. Ακολούθως τα φυτά απομακρύνθηκαν προσεχτικά από την γλάστρα και ακολούθησαν οι αναπτυξιακές μετρήσεις της Β' φάσης, με το ίδιο πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε στο μαρούλι.

2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για τον έλεγχο των διαφορών που παρουσιάζουν οι παράμετροι που μετρήθηκαν στα φυτά, μεταξύ των μεταχειρίσεων χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση Two-way ANOVA, ακολουθούμενη από Tukey Post Hoc test. Για τον έλεγχο των διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων σε ότι αφορά τις μετρήσεις των μικροοργανισμών των νερών πραγματοποιήθηκε One-way ANOVA και Tukey Post Hoc test. Στις περιπτώσεις όπου δεν ικανοποιούνταν οι προϋποθέσεις για ANOVA χρησιμοποιήθηκε το μη παραμετρικό Kruskal-Wallis και το Dunn's post-hoc test. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο 5% ($p \leq 0.05$). Η στατιστική ανάλυση έγινε με την χρήση του στατιστικού πακέτου JASP (Version 0.16.3.0).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, και τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης. Κύριος στόχος, είναι να μελετηθούν και να συγκριθούν οι τυχόν διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των κύριων μεταχειρίσεων, η επίδραση της εφαρμογής της αποστείρωσης των νερών καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο παραγόντων (Διάλυμα*Αποστείρωση).

3.1 ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΕΡΩΝ

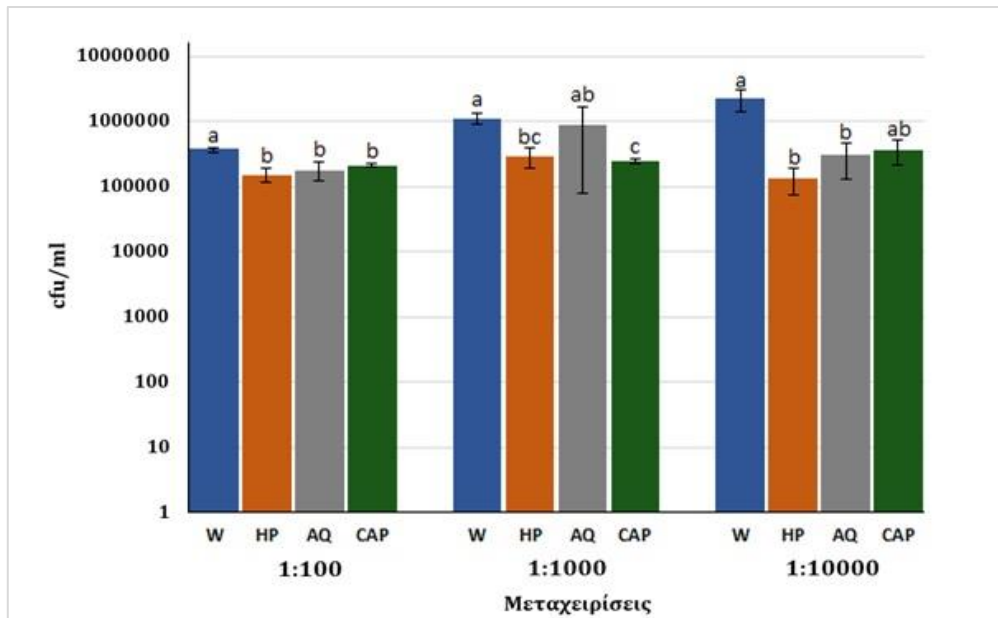
3.1.1 Μικροβιακή αύξηση στα νερά ποτίσματος Μαρουλιού

Στο γράφημα 1 παρουσιάζεται η μικροβιακή αύξηση στις μεταχειρίσεις W, HP, AQ και CAP που χρησιμοποιήθηκαν για τα ποτίσματα των σπερμάτων και των φυτών του μαρουλιού. Απεικονίζονται τα γραφήματα και για τις τρεις αραιώσεις που έγιναν, δηλαδή 1:100, 1:1000 και 1:10000.

Στην πρώτη αραιώση, 1:100, παρατηρήθηκε ότι μόνο η μεταχείριση W διέφερε στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες και ήταν αυτή που παρουσίασε την μεγαλύτερη μικροβιακή αύξηση, τόσο σε αυτήν όσο και στις άλλες δύο αραιώσεις.

Στην δεύτερη αραιώση, 1:1000, η μεταχείριση W παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την HP και την CAP, όχι όμως με την AQ. Η μεταχείριση AQ δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές ούτε επίσης με την HP, παρά μόνο με την CAP. Η CAP παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές με όλες τις μεταχειρίσεις εκτός της HP.

Στην τρίτη αραιώση, 1:10000, παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ της μεταχείρισης W και των HP και AQ.



Γράφημα 1. Μικροβιακή αύξηση στις μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το πότισμα του μαρουλιού σε τρεις διαφορετικές αραιώσεις: 1:100, 1:1000, 1:10000. (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$).

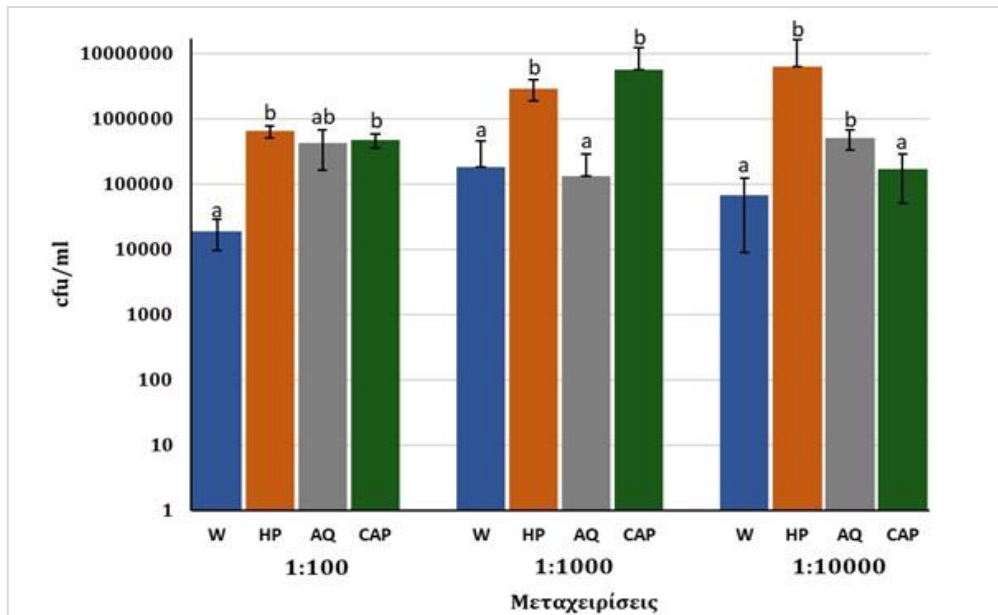
3.1.2 Μικροβιακή αύξηση στα νερά ποτίσματος Ρόκας

Στο γράφημα 2 παρουσιάζεται η μικροβιακή αύξηση στις μεταχειρίσεις W, HP, AQ και CAP που χρησιμοποιήθηκαν για τα ποτίσματα των σπερμάτων και των φυτών της ρόκας. Απεικονίζονται τα γραφήματα και για τις τρεις αραιώσεις που έγιναν, δηλαδή 1:100, 1:1000 και 1:10000.

Στην πρώτη αραιώση, 1:100, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ της μεταχείρισης W και των HP και CAP. Η μεγαλύτερη μικροβιακή αύξηση παρατηρήθηκε στην HP και η μικρότερη στην W.

Στην δεύτερη αραιώση, 1:1000, η μεταχείριση W και η AQ παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την HP και την CAP, όχι όμως και μεταξύ τους. Ομοίως η HP και η CAP παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις, όχι όμως και μεταξύ τους. Η μεγαλύτερη μικροβιακή αύξηση παρατηρήθηκε στην CAP και η μικρότερη στην AQ.

Στην τρίτη αραιώση, 1:10000, τόσο η μεταχείριση HP όσο και η AQ παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την W και την CAP, όχι όμως μεταξύ τους. Ομοίως η W και η CAP παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις, όχι όμως και μεταξύ τους. Η μεγαλύτερη μικροβιακή αύξηση παρατηρήθηκε στην HP και η μικρότερη στην W.



Γράφημα 2. Μικροβιακή αύξηση στις μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το πότισμα της ρόκας σε τρεις διαφορετικές αραιώσεις: 1:100, 1:1000, 1:10000. (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$).

Στις παρακάτω υποενότητες των αποτελεσμάτων οι διαφορετικές μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκαν θα αναφέρονται εφεξής ως:

Νερό γεώτρησης → W

Νερό υδροπονίας → HP

Νερό συζευγμένης ενυδριοπονίας → AQ

Νερό αποζευγμένης ενυδριοπονίας → CAP

Νερό γεώτρησης αποστειρωμένο → Ws

Νερό υδροπονίας αποστειρωμένο → HPs

Νερό συζευγμένης ενυδριοπονίας αποστειρωμένο → AQs

Νερό αποζευγμένης ενυδριοπονίας αποστειρωμένο → CAPs

3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΜΑΡΟΥΛΙ

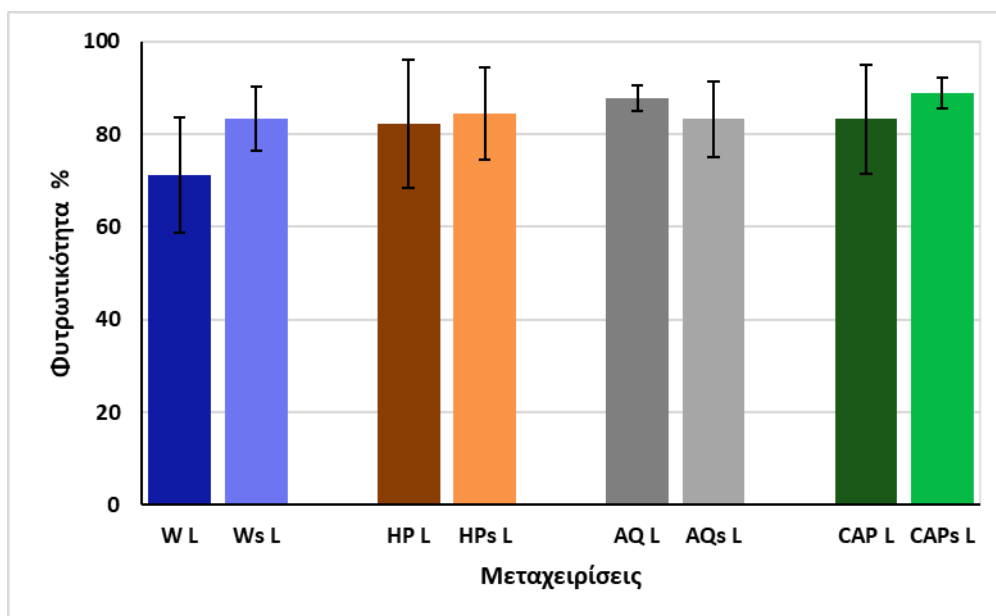
Α' ΦΑΣΗ

3.2.1 Μετρήσεις Φυτρωτικότητας

Στο γράφημα 3 παρουσιάζονται τα ποσοστά φύτευσης των σπερμάτων του μαρουλιού. Δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων των φυτών. Το χαμηλότερο ποσοστό φύτευσης παρουσίασαν τα φυτά που ποτίζονταν με W.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις της φυτρωτικότητας των σπερμάτων μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | 0,100 |
| Αποστείρωση | 0,162 |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,200 |



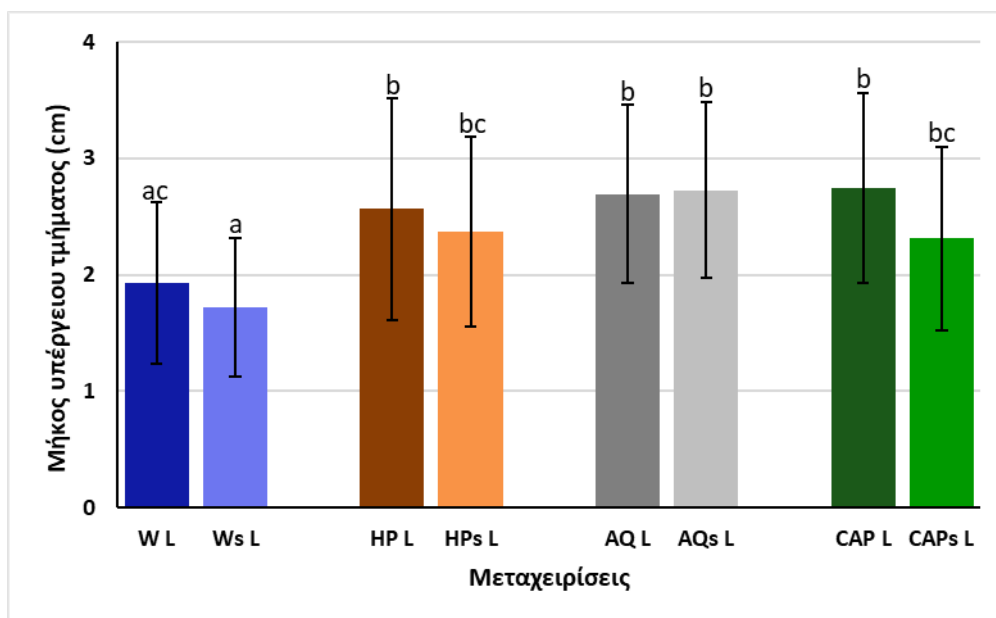
Γράφημα 3. Φυτρωτικότητα μαρουλιού (M.O.±SD). Η απουσία σημάτων στατιστικής υποδηλώνει μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

3.2.2 Μετρήσεις μήκους

Στο γράφημα 4 παρουσιάζεται το μήκος του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού όπως προέκυψε από την Α' φάση του πειράματος. Η ομάδα των φυτών που ποτίζονταν με Ws παρουσίασαν την μικρότερη αύξηση του μήκους του υπέργειου τμήματος συγκριτικά με τις υπόλοιπες ομάδες. Παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτών αυτών και όλων των υπολοίπων, εκτός εκείνων που ποτίστηκαν με W. Τα φυτά που ποτίστηκαν με W παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα ποτιζόμενα με HP, AQ, AQLs και CAP. Δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα φυτά που ποτίστηκαν με CAPs, HPs και όπως προαναφέρθηκε Ws.

Πίνακας 6. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | 0,017 |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,244 |

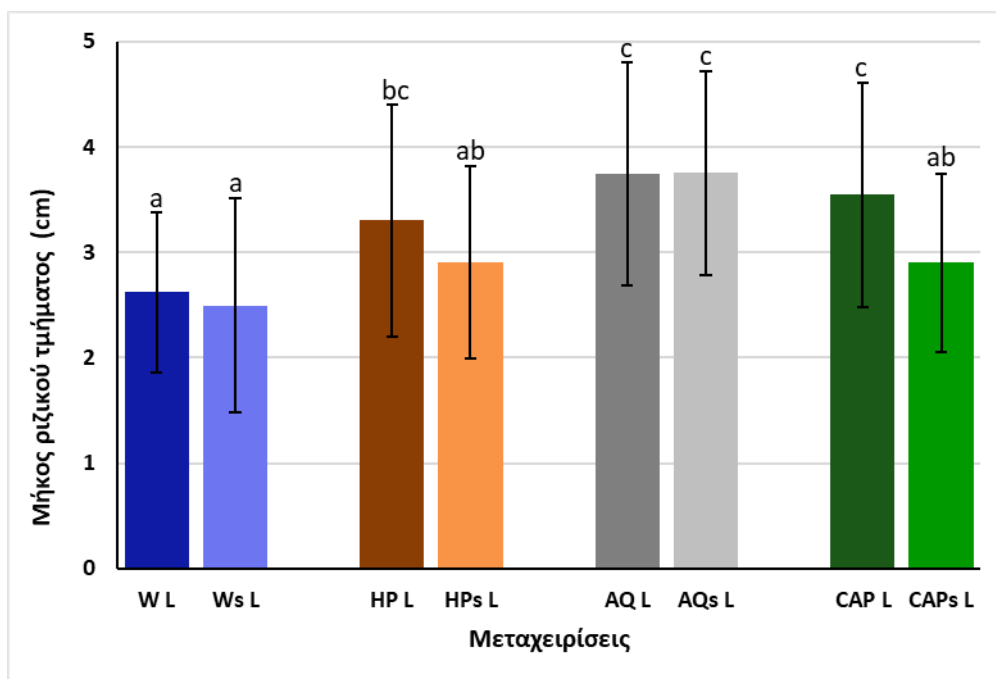


Γράφημα 4. Μήκος υπέργειου τμήματος μαρουλιού Α' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$).

Στο γράφημα 5 παρουσιάζεται το μήκος του ριζικού τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού στην Α' φάση του πειράματος. Περισσότερο θετική επίδραση στην αύξηση του μήκους της ρίζας είχε η μεταχείριση AQs ενώ την λιγότερο θετική επίδραση είχε η Ws. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτών που ποτίστηκαν αντίστοιχα με AQs, AQ και CAP. Και οι τρεις αυτές ομάδες φυτών δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ούτε με τα φυτά που ποτίστηκαν με HP, ενώ καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών αυτών ομάδων φυτών και αυτών που ποτίστηκαν με W, Ws, HPs και CAPs. Τόσο τα φυτά της μεταχείρισης W, όσο και της Ws παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές επιπρόσθετα και με τα φυτά της μεταχείρισης HP.

Πίνακας 7. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του ριζικού τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | * |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,109 |



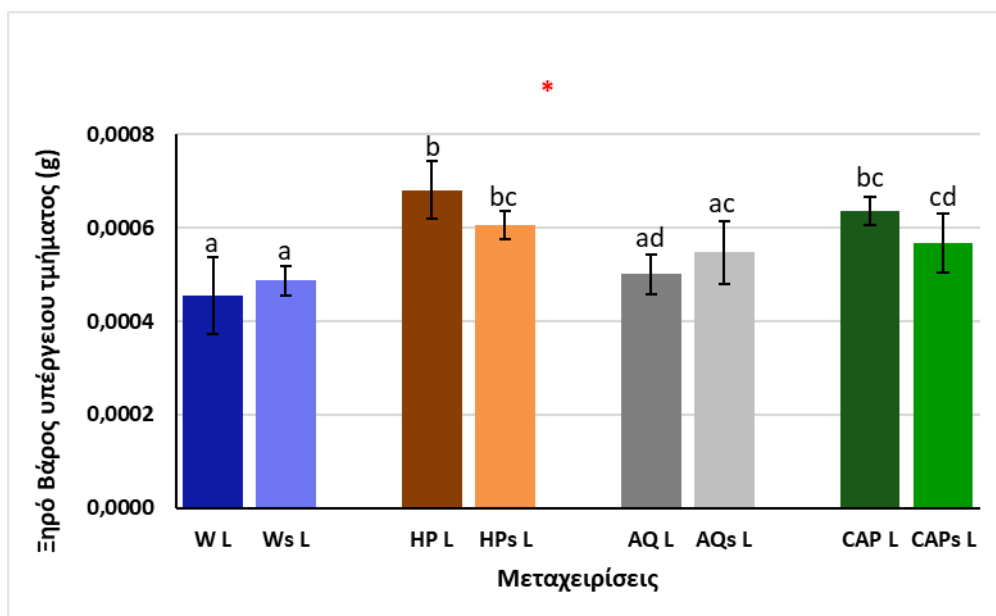
Γράφημα 5. Μήκος ριζικού τμήματος μαρουλιού A' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$).

3.2.3 Μετρήσεις ξηρού βάρους

Στο γράφημα 6 παρουσιάζεται το ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού. Καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων και φαίνεται ότι η ομάδα των φυτών που ποτίζονταν με HP υπερέχει στατιστικώς σημαντικά από τα φυτά που ποτίζονταν με W, Ws, AQ, AQLs και CAPs. Αντίθετα δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα φυτά που ποτίζονταν με CAP και HPLs. Παρατηρήθηκε επίσης πως την λιγότερο θετική επίδραση στην αύξηση του βάρους του υπέργειου τμήματος του μαρουλιού είχε η μεταχείριση W.

Πίνακας 8. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | 0,284 |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | * |

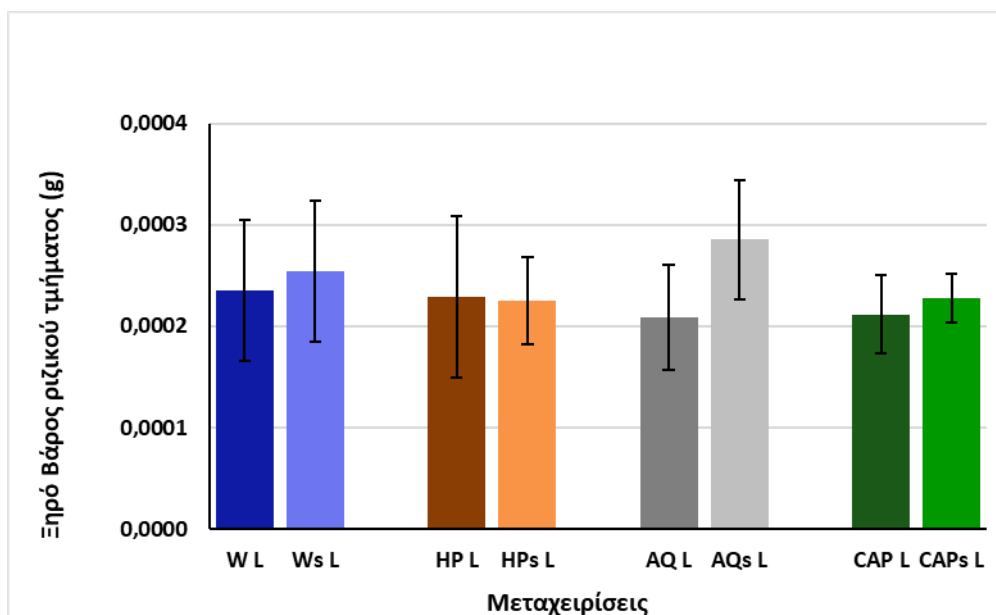


Γράφημα 6. Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος μαρουλιού A' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$).

Στο γράφημα 7 παρουσιάζεται το ξηρό βάρος του ριζικού τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού. Την μεγαλύτερη ανάπτυξη ρίζας παρουσίασαν τα φυτά της μεταχείρισης AQLs και την μικρότερη τα φυτά της AQL. Ωστόσο δεν υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων ομάδων.

Πίνακας 9. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του ριζικού τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | 0,611 |
| Αποστείρωση | 0,108 |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,362 |



Γράφημα 7. Ξηρό βάρος ριζικού τμήματος μαρουλιού Α' φάση (Μ.Ο.±SD). Η απουσία σημάτων στατιστικής υποδηλώνει μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων

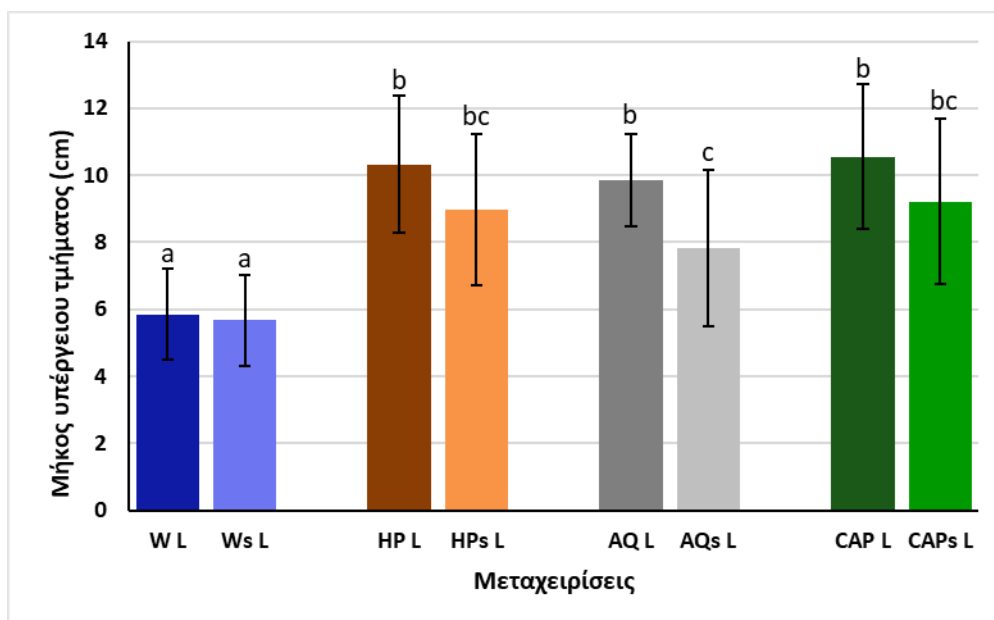
Β' ΦΑΣΗ

3.2.4 Μετρήσεις μήκους

Στο γράφημα 8 παρουσιάζεται το μήκος του υπέργειου τμήματος των νεαρών φυτών μαρουλιού όπως προέκυψε από την Β' φάση του πειράματος. Καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Η ομάδα των φυτών που ποτίζονταν με Ws παρουσίασε την μικρότερη αύξηση μήκους του υπέργειου τμήματος συγκριτικά με τις υπόλοιπες ομάδες. Παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τόσο των φυτών της μεταχείρισης Ws όσο και αυτών της W με τα φυτά όλων των υπολοίπων ομάδων, αλλά όχι όμως μεταξύ τους. Μεγαλύτερη θετική επίδραση στην αύξηση του υπέργειου τμήματος είχε η μεταχείριση CAP. Η ομάδα των φυτών που ποτίζονταν με CAP όσο και εκείνα που ποτίζονταν με HP και AQ δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ούτε μεταξύ τους, ούτε με τα φυτά που ποτίζονταν με HPs και CAPs. Αντιθέτως παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα φυτά των μεταχειρίσεων AQLs, W και Ws. Παρατηρήθηκαν επίσης στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τόσο των φυτών της μεταχείρισης HPs όσο και αυτών της CAPs με τα φυτά των μεταχειρίσεων W και Ws, αλλά όχι με τα φυτά των υπολοίπων ομάδων.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του υπέργειου τμήματος νεαρών φυτών μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | * |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,083 |

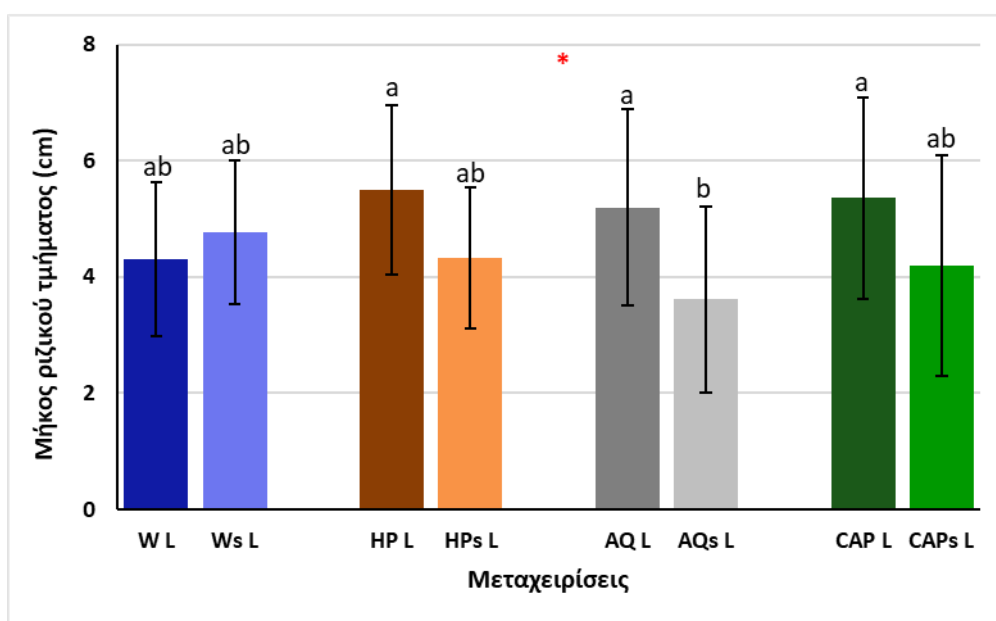


Γράφημα 8. Μήκος υπέργειου τμήματος μαρουλιού Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$).

Το μήκος του ριζικού τμήματος των νεαρών φυτών του μαρουλιού στην Β' φάση (γράφημα 9) ευνοήθηκε λιγότερο από την μεταχείριση AQs και περισσότερο από την HP. Δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων εκτός από τα φυτά που ποτίζονταν με AQs. Η συγκεκριμένη ομάδα παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα φυτά που ποτίζονταν με AQ, HP και CAP αλλά όχι με τα υπόλοιπα.

Πίνακας 11. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του ριζικού τμήματος νεαρών φυτών μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | 0,307 |
| Αποστείρωση | * |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | * |



Γράφημα 9. Μήκος ριζικού τμήματος μαρουλιού Β' φάση (M.O.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$).

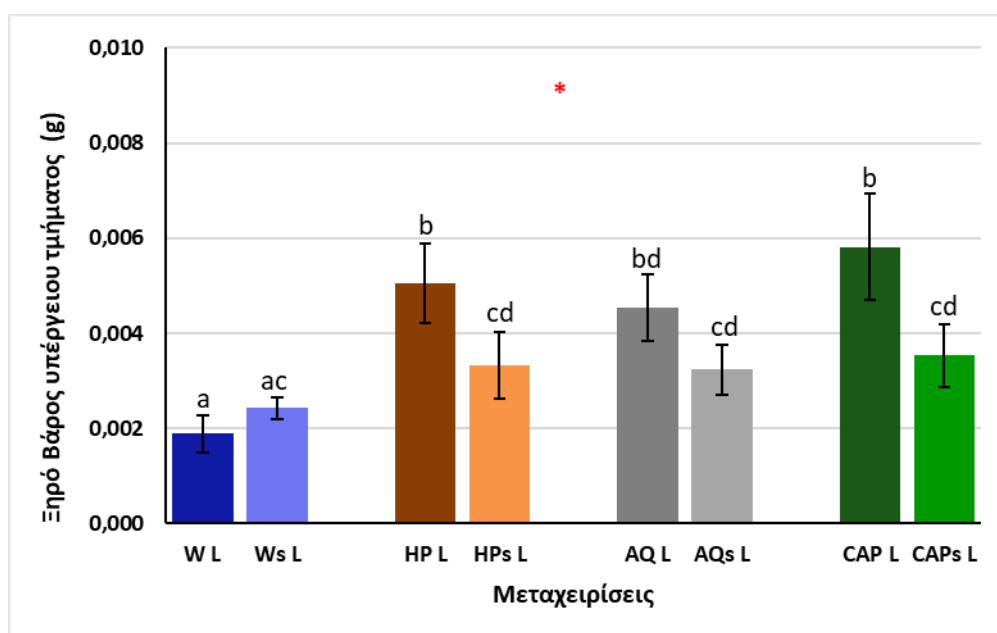
3.2.5 Μετρήσεις ξηρού βάρους

Στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των περισσότερων ομάδων παρατηρήθηκαν και σε σχέση με το ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος στην Β' φάση του πειράματος (γράφημα 10). Οι υψηλότερες τιμές ξηρού βάρους υπέργειου παρατηρήθηκαν στα φυτά που ποτίζονταν με CAP. Τα φυτά αυτά όπως και τα φυτά της ομάδας HP παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με όλες τις υπόλοιπες ομάδες πλην των φυτών AQ και μεταξύ τους. Τα φυτά δε, που ποτίζονταν με AQ παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μόνο με τα φυτά που ποτίζονταν με W και Ws. Οι χαμηλότερες τιμές ξηρού βάρους υπέργειου παρατηρήθηκαν στα φυτά που ποτίζονταν με W, τα οποία παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με όλα τα

φυτά πλην αυτών που ποτίζονταν με Ws. Τα τελευταία διέφεραν στατιστικώς σημαντικά με τις ομάδες που ποτίζονταν με HP, AQ, και CAP.

Πίνακας 12. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος νεαρών φυτών μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-----|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | * |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | * |

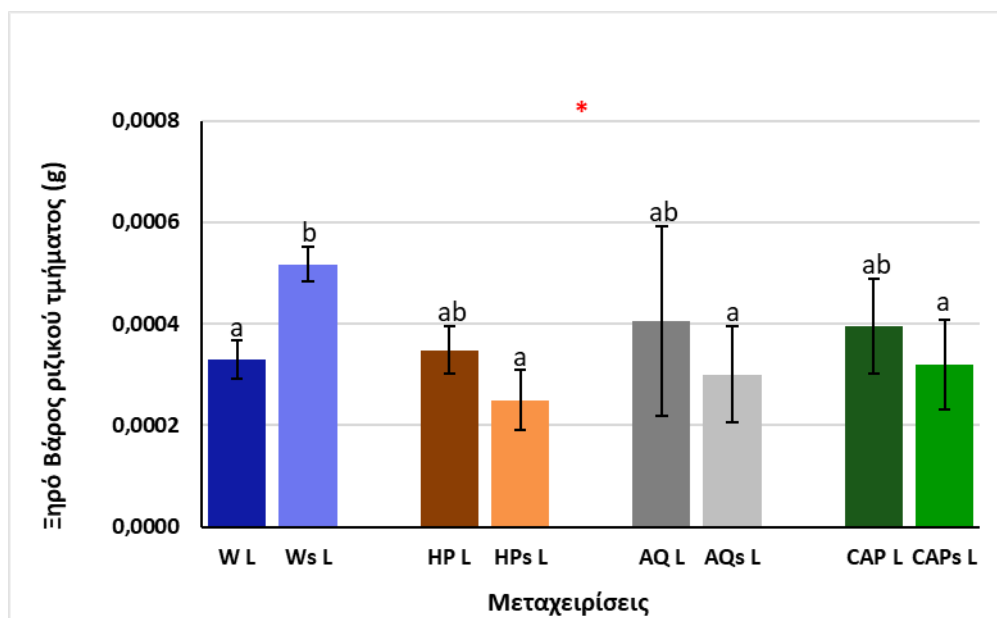


Γράφημα 10. Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος μαρουλιού Β' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$).

Το ξηρό βάρος του ριζικού τμήματος στην Β' φάση (γράφημα 11) ευνοήθηκε περισσότερο από την μεταχείριση Ws, με τα φυτά αυτά να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με τις ομάδες που ποτίζονταν με W, HPs, AQs και CAPs. Μεταξύ των υπολοίπων ομάδων δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Την λιγότερο θετική επίδραση στο ξηρό βάρος της ρίζας παρουσίασε η μεταχείριση HPs.

Πίνακας 13. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του ριζικού τμήματος νεαρών φυτών μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | 0,426 |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | * |



Γράφημα 11. Ξηρό βάρος ριζικού τμήματος μαρουλιού Β' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$).

3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΡΟΚΑ

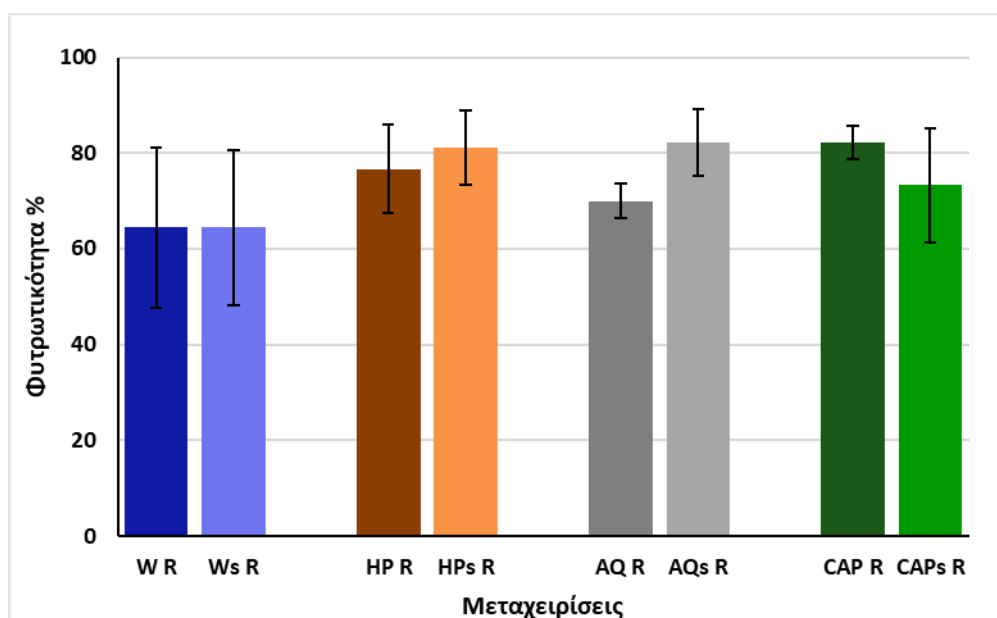
Α' ΦΑΣΗ

3.3.1 Μετρήσεις Φυτρωτικότητας

Όπως προκύπτει από το γράφημα 12 τα ποσοστά φύτρωσης των σπερμάτων της ρόκας δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Το χαμηλότερο ποσοστό φύτρωσης παρουσίασαν τα φυτά που ποτίζονταν με νερό γεώτρησης χωρίς ο παράγοντας αποστείρωσης να φαίνεται να επηρεάζει το αποτέλεσμα στο νερό αυτό.

Πίνακας 14. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις της φυτρωτικότητας των σπερμάτων ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | 0,529 |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,118 |



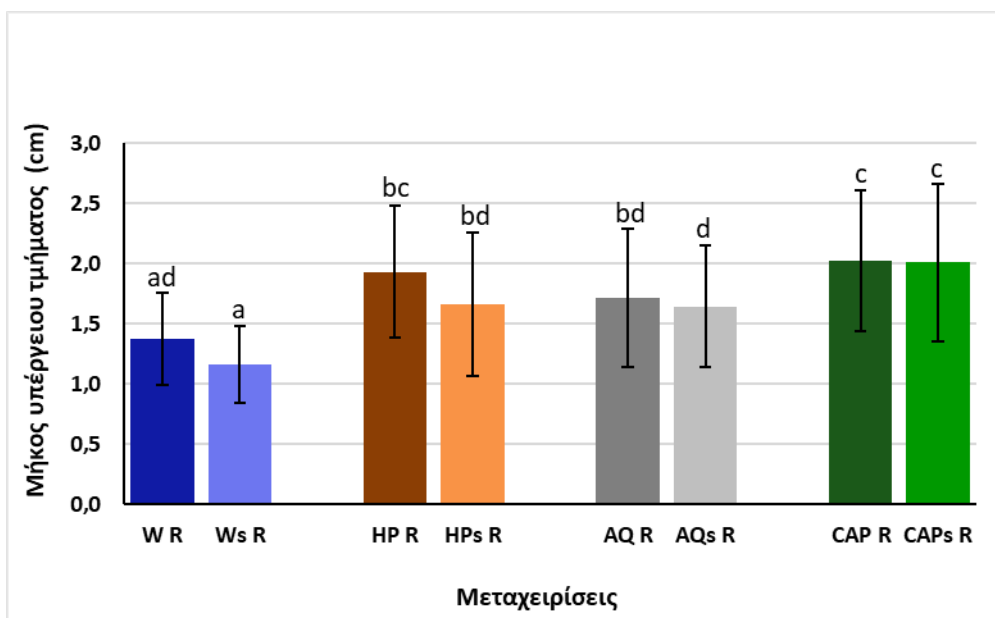
Γράφημα 12. Φυτρωτικότητα ρόκας (M.O.±SD). Η απουσία σημάτων στατιστικής υποδηλώνει μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων

3.3.2 Μετρήσεις μήκους

Στην Α' φάση του πειράματος το μήκος του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων της ρόκας, όπως φαίνεται στο γράφημα 13, ευνοήθηκε περισσότερο από το νερό αποζευγμένης ενυδρείοπονίας, ανεξαρτήτου αποστείρωσης (CAP και CAPs). Καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων αυτών και όλων των υπολοίπων πλην των φυτών της μεταχείρισης HP. Λιγότερο ευνοημένη παρουσιάστηκε η ομάδα των φυτών της μεταχείρισης Ws. Τα φυτά αυτά παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με όλες τις ομάδες εκτός από αυτά της W. Τα τελευταία παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα φυτά των μεταχειρίσεων HP, CAP και CAPs. Τα φυτά της μεταχείρισης AQs δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα φυτά των μεταχειρίσεων W, AQ και HPs.

Πίνακας 15. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | * |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,184 |

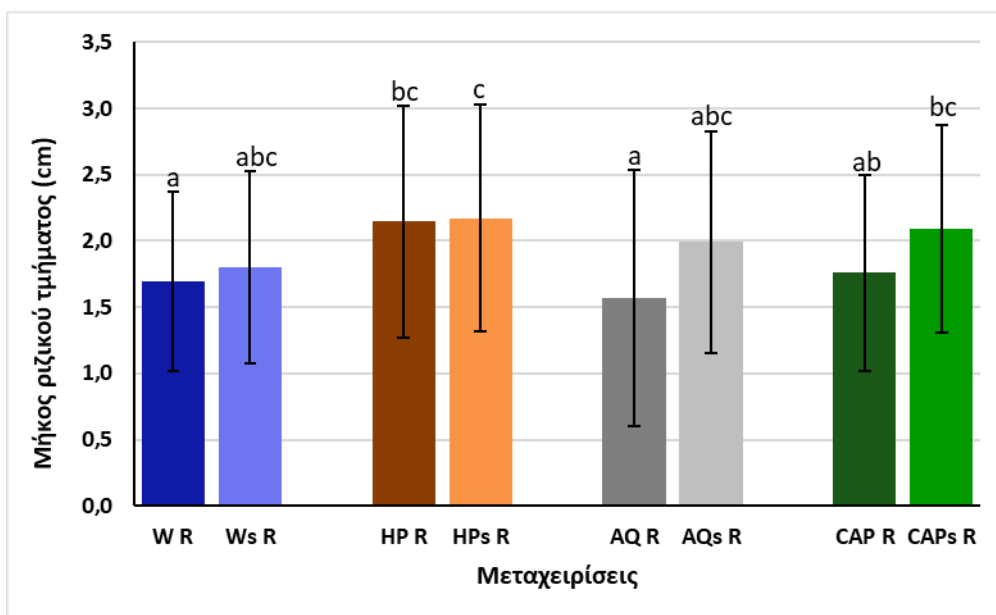


Γράφημα 13. Μήκος υπέργειου τμήματος ρόκας Α' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$).

Σε σχέση με το μήκος του ριζικού τμήματος στην Α' φάση (γράφημα 14) τόσο τα φυτά της μεταχείρισης AQ, όσο και της W παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με εκείνα των μεταχειρίσεων HP, HPs και CAPs. Τα φυτά της μεταχείρισης HPs διέφεραν στατιστικώς σημαντικά, επιπρόσθετα και με αυτά της CAP.

Πίνακας 16. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του ριζικού τμήματος των αρτίβλαστων ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | * |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,147 |



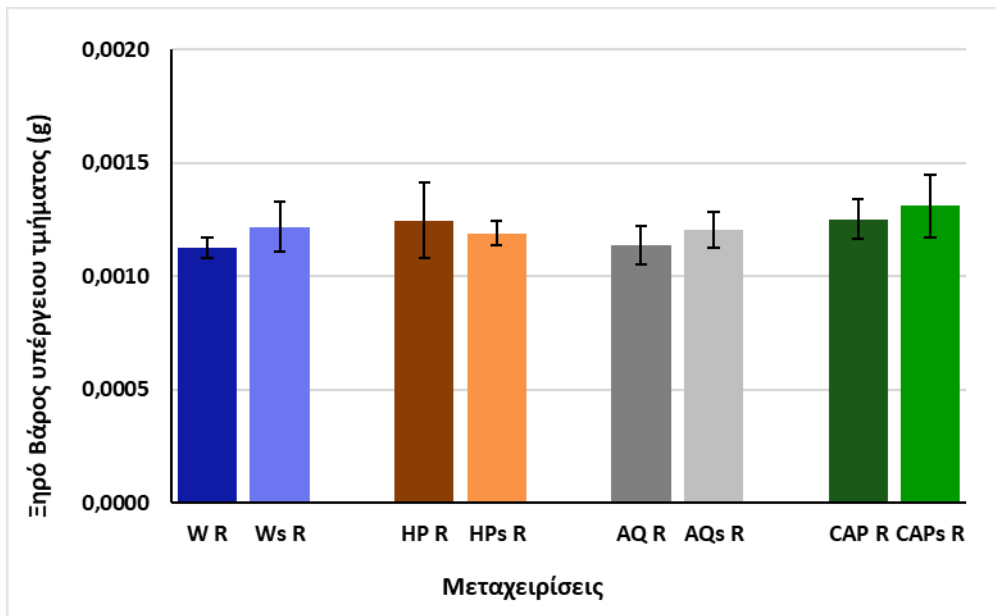
Γράφημα 14. Μήκος ριζικού τμήματος ρόκας Α' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$).

3.3.3 Μετρήσεις ξηρού βάρους

Στο γράφημα 15 παρουσιάζεται το ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος των φυτών της ρόκας στην Α' φάση του πειράματος. Δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων.

Πίνακας 17. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | 0,169 |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,310 |

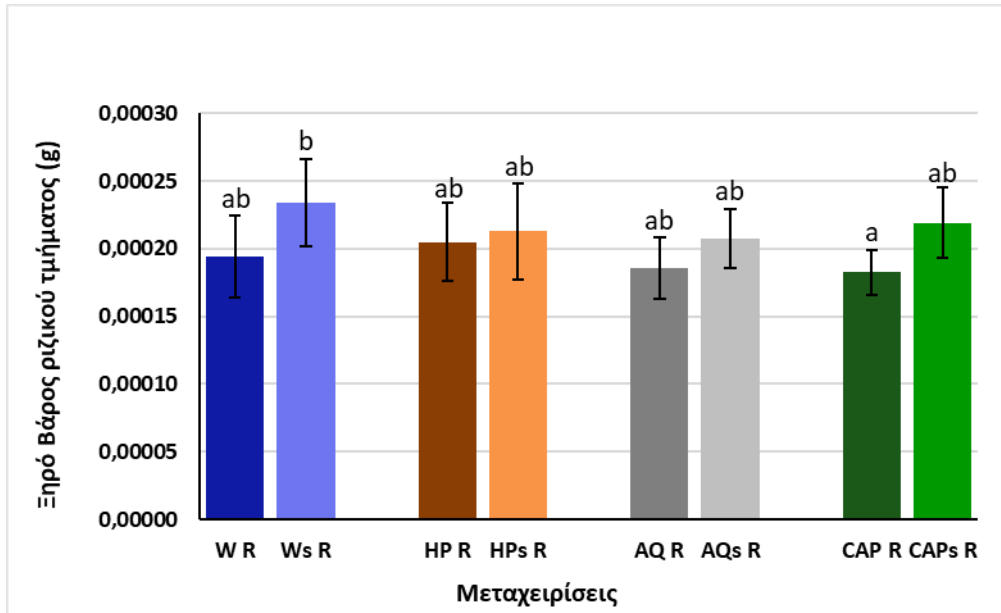


Γράφημα 15. Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος ρόκας Α' φάση (Μ.Ο.±SD). Η απουσία σημάτων στατιστικής υποδηλώνει μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων

Σε σχέση με το ξηρό βάρος του ριζικού τμήματος των αρτίβλαστων της ρόκας στην Α' φάση (γράφημα 16) στατιστικώς σημαντικές διαφορές καταγράφηκαν μόνο μεταξύ των φυτών των μεταχειρίσεων CAP και Ws. Η πρώτη ομάδα παρουσίασε την μικρότερη θετική επίδραση και η δεύτερη την μεγαλύτερη.

Πίνακας 18. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του ριζικού τμήματος των αρτίβλαστων ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | 0,331 |
| Αποστείρωση | * |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | 0,425 |



Γράφημα 16. Ξηρό βάρος ριζικού τμήματος ρόκας Α' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$).

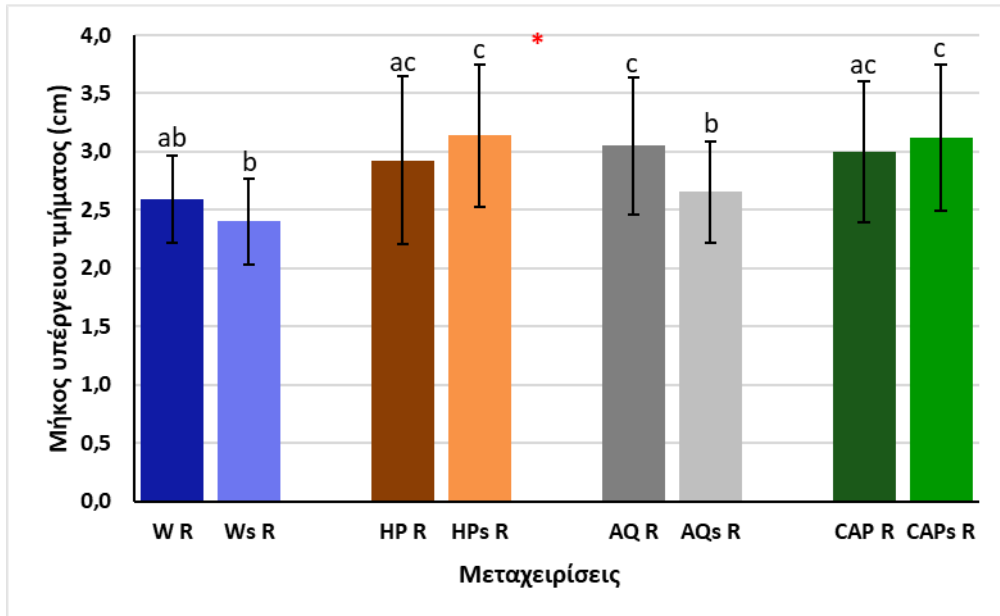
Β' ΦΑΣΗ

3.3.4 Μετρήσεις μήκους

Στην Β' φάση του πειράματος το μήκος του υπέργειου τμήματος των νεαρών φυτών της ρόκας (γράφημα 17) παρουσίασε την μικρότερη αύξηση στα φυτά της μεταχείρισης Ws. Τόσο τα εν λόγω φυτά όσο και αυτά της AQs παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τις υπόλοιπες ομάδες εκτός μεταξύ τους και με εκείνα της W. Περισσότερο ευνοήθηκαν τα φυτά της μεταχείρισης HPs. Τόσο αυτά όσο και εκείνα των μεταχειρίσεων CAPs και AQ παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα φυτά των μεταχειρίσεων W, Ws και AQs.

Πίνακας 19. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του υπέργειου τμήματος νεαρών φυτών ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | 0,368 |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | * |

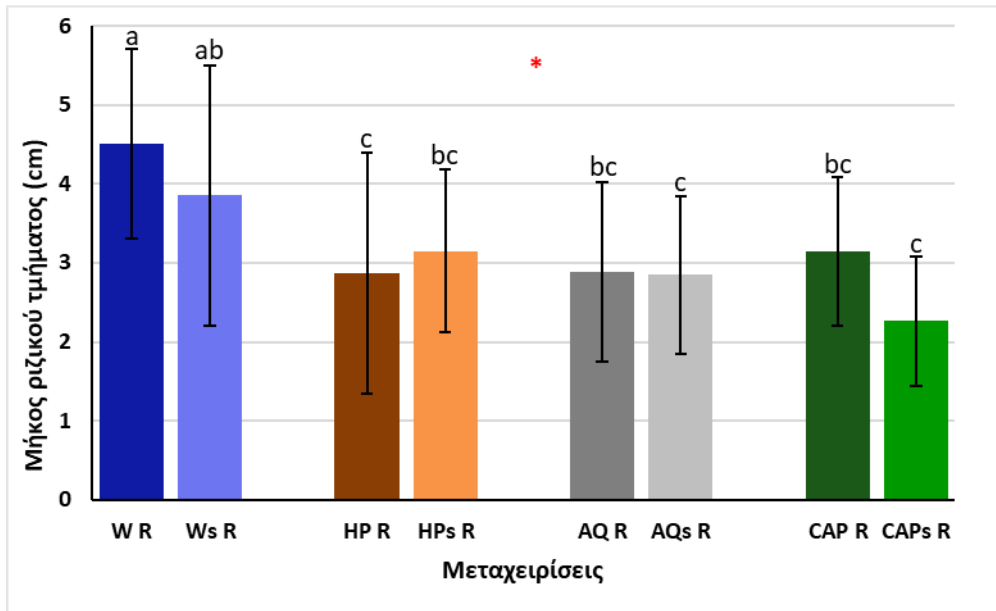


Γράφημα 17. Μήκος υπέργειου τμήματος ρόκας Β' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$).

Όπως φαίνεται στο γράφημα 18 και το μήκος του ριζικού τμήματος στην Β' φάση παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Η μεταχείριση W ευνόησε περισσότερο την ανάπτυξη της ρίζας και τα φυτά αυτά παρουσίασαν διαφορές με $p < 0.05$ με όλες τις υπόλοιπες ομάδες εκτός από αυτά της Ws. Τα τελευταία δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά ούτε και με τα φυτά των μεταχειρίσεων HPs, AQ και CAP ενώ καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ αυτών και των φυτών των ομάδων HP, AQRs και CAPs. Μεταξύ των υπολοίπων ομάδων, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Λιγότερο ευνοϊκή για την ανάπτυξη της ρίζας παρουσιάζεται η μεταχείριση CAPs.

Πίνακας 20. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του μήκους του ριζικού τμήματος νεαρών φυτών ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-----|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | * |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | * |



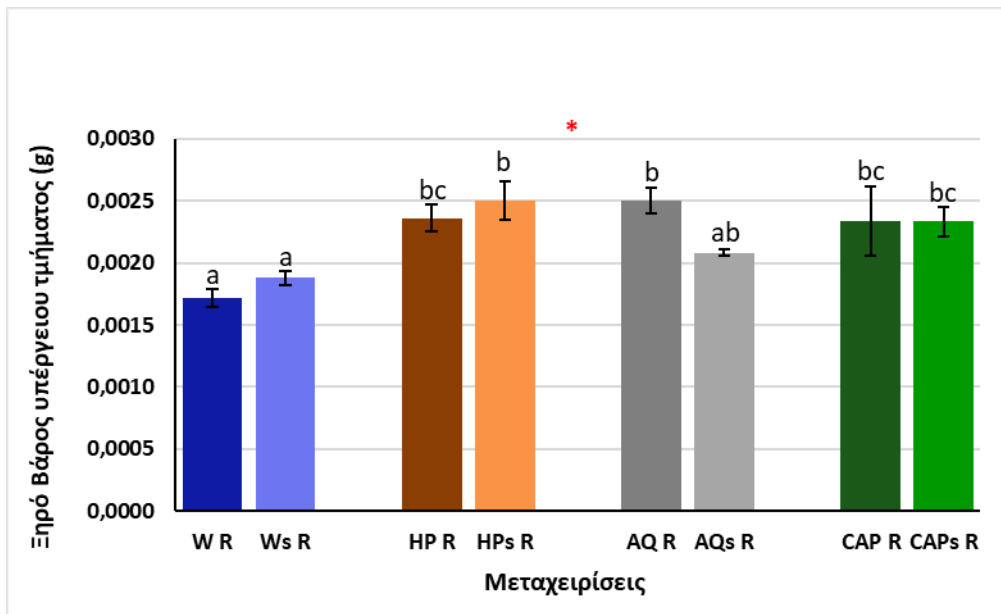
Γράφημα 18. Μήκος ριζικού τμήματος ρόκας Β' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p < 0.05$), και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση.

3.3.5 Μετρήσεις ξηρού βάρους

Για το ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος στην Β' φάση (γράφημα 19) καταγράφηκαν χαμηλότερες τιμές στα φυτά της μεταχείρισης W. Τα φυτά αυτά καθώς και εκείνα της Ws, δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μόνο με τα φυτά της AQs. Μεταξύ των υπολοίπων ομάδων δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Την θετικότερη επίδραση στο ξηρό βάρος του υπέργειου είχαν οι μεταχειρίσεις HPs και AQ.

Πίνακας 21. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος νεαρών φυτών μαρουλιού. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-------|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | 0,568 |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | * |

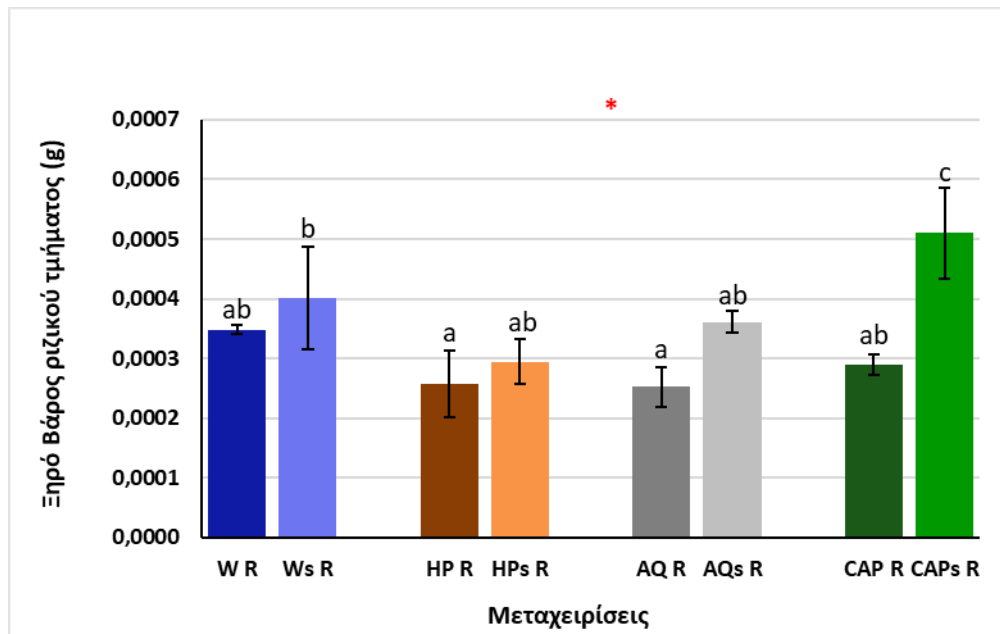


Γράφημα 19. Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος ρόκας Β' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$).

Στο γράφημα 20 παρουσιάζεται το ξηρό βάρος του ριζικού τμήματος των νεαρών φυτών της ρόκας όπως προέκυψε από την Β' φάση του πειράματος. Ο παράγοντας αποστείρωση παρουσιάζεται ευνοϊκός για όλες τις ομάδες των φυτών και ιδιαίτερα για τα φυτά της ομάδας της αποξηραμένης ενυδρείου ενυδρείου τα οποία σημείωσαν τις υψηλότερες τιμές και διέφεραν στατιστικώς σημαντικά από όλες τις ομάδες. Τις χαμηλότερες επιδόσεις παρουσίασαν τα νερά της μεταχείρισης AQ τα οποία, όπως και τα φυτά της μεταχείρισης HP διέφεραν στατιστικώς σημαντικά και με τα φυτά της Ws. Μεταξύ των υπολοίπων ομάδων δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 22. Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Two-way ANOVA σε μετρήσεις του ξηρού βάρους του ριζικού τμήματος νεαρών φυτών ρόκας. Συγκρίνονται οι διαφορές που έχουν τα διαλύματα νερού μεταξύ τους, η εφαρμογή ή μη, αποστείρωσης, καθώς και η τυχόν αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων. Στον πίνακα παρατίθενται με αστερίσκο (*) οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

| | Sig |
|-----------------------|-----|
| Διάλυμα | * |
| Αποστείρωση | * |
| Διάλυμα * Αποστείρωση | * |



Γράφημα 20. Ξηρό βάρος ριζικού τμήματος ρόκας Β' φάση (Μ.Ο.±SD). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και το * αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων νερό και αποστείρωση ($p < 0.05$).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στη συγκεκριμένη έρευνα μελετήθηκε η επίδραση του μικροβιώματος νερού που προέρχεται από διάφορες μεταχειρίσεις στην φύτρωση των σπερμάτων μαρουλιού και ρόκας και στην ανάπτυξη των αρτίβλαστων. Η συγκριτική μελέτη αφορούσε αναπτυξιακούς δείκτες των αρτίβλαστων και νεαρών φυτών, όπως αυτοί επηρεάστηκαν από τα διαλύματα υδροπονίας (HP), συζευγμένης ενυδριοπονίας (AQ), αποζευγμένης ενυδριοπονίας (CAP), νερού γεώτρησης (W), και τα αντίστοιχα αποστειρωμένα (HPs, AQs, CAPs, Ws). Ως δείκτες ανάπτυξης των φυτών εξετάστηκαν το ξηρό βάρος και το μήκος του υπέργειου και του ριζικού τμήματος τόσο των αρτίβλαστων, όσο και των νεαρών φυτών.

Η φυτρωτικότητα των σπερμάτων τόσο του μαρουλιού όσο και της ρόκας δεν επηρεάστηκε ιδιαίτερα ούτε από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις, ούτε από τον παράγοντα αποστείρωση, καθώς δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η βλαστικότητα των σπερμάτων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, (Kleeman et al., 2007, Sakcali and Serin, 2009) και η ποικιλία (Hall et al., 2015). Οι παράγοντες αυτοί ήταν ίδιοι για τα φυτά όλων των μεταχειρίσεων καθώς αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα στον ίδιο χώρο και όλα τα σπέρματα ήταν της ίδιας ποικιλίας και της ίδιας σοδιάς.

Εξετάζοντας τις επιδράσεις του μικροβιώματος των διαφόρων διαλυμάτων σε σχέση με την ανάπτυξη του μαρουλιού, αυτή που παρουσίασε την μεγαλύτερη ανάπτυξη μικροοργανισμών, όπως φάνηκε από την μακροσκοπική παρατήρηση των τρυβλίων, ήταν το νερό της γεώτρησης. Τα φυτά της μεταχείρισης W παρουσίασαν σε γενικές γραμμές τις χαμηλότερες επιδόσεις. Εντούτοις αυτό δεν φαίνεται να οφείλεται στην παρουσία μεγάλου πλήθους μικροοργανισμών καθώς παρόμοια ανάπτυξη παρουσίασαν και τα φυτά που ποτίστηκαν με αποστειρωμένο νερό γεώτρησης. Πιθανότερο είναι η υστέρηση αυτή στην ανάπτυξη να οφείλεται στη μειωμένη συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών στο νερό της γεώτρησης. Μεταξύ δε των ομάδων των φυτών των μεταχειρίσεων W και Ws δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στους δείκτες ανάπτυξης με εξαίρεση το ξηρό βάρος της ρίζας των νεαρών φυτών που ευνοήθηκε περισσότερο από την Ws.

Σε ότι αφορά το μήκος του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων οι μεταχειρίσεις CAP, HP και AQ επέδρασαν με παρόμοιο τρόπο χωρίς να εμφανιστούν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, με την εξαίρεση των χαμηλότερων τιμών της γεώτρησης (W και

Ws). Η αποστείρωση δεν επέφερε σημαντικές διαφορές σε καμία ομάδα. Τα διαλύματα της γεώτρησης προκάλεσαν σημαντικές μειώσεις και στο μήκος της ρίζας, ενώ η συνεισφορά των μικροβιωτών καταγράφηκε ως σημαντική μόνο στη μεταχείριση της CAP, με το αποστειρωμένο διάλυμα να παρουσιάζει μικρότερες τιμές.

Το ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων μαρουλιού, ενώ δεν επηρεάστηκε από την αποστείρωση ευνοήθηκε ιδιαίτερα από τις μεταχειρίσεις HP, HPs και CAP. Τα φυτά των μεταχειρίσεων αυτών υπερέιχαν στατιστικώς σημαντικά, ως προς την παράμετρο αυτή, σε σχέση με τα φυτά των μεταχειρίσεων W, Ws, και AQ. Το ξηρό βάρος της ρίζας δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ οποιωνδήποτε ομάδων φυτών. Τα αποτελέσματα δεν είναι σε συμφωνία με εκείνα της έρευνας των Yamane et al. (2021) οι οποίοι θέλοντας να δουν την συμβολή των ψαριών στην παροχή θρεπτικών στα φυτά, καλλιέργησαν μαρούλι σε υδροπονικά και ενυδρειοπνικά συστήματα, όπου ως πηγή αζώτου και φωσφόρου χρησιμοποιήθηκε η τροφή των ψαριών. Τα φυτά τις δύο πρώτες βδομάδες ανέπτυξαν μεγαλύτερο μήκος υπέργειου, νωπό βάρος υπέργειου και νωπό βάρος ρίζας στο ενυδρειοπνικό σύστημα, χάρη στην βακτηριακή αποικοδόμηση της ιχθυοτροφής που προσέφερε στα φυτά πιο άμεση πρόσβαση στα θρεπτικά.

Στην Β' φάση του πειράματος όπου έγιναν οι αντίστοιχες αναπτυξιακές μετρήσεις στα νεαρά φυτά μαρουλιού, τόσο σε σχέση με το μήκος του υπέργειου όσο και σε σχέση με το μήκος της ρίζας, η αποστείρωση επέφερε στατιστικώς σημαντικές μειώσεις μόνο στα φυτά της ενυδρειοπνίας. Το μήκος του υπέργειου ευνοήθηκε ιδιαίτερα από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις που περιείχαν θρεπτικά CAP, CAPs, AQ, HP και HPs και οι χαμηλότερες μετρήσεις καταγράφηκαν στα φυτά που ποτίζονταν με νερό γεώτρησης, χωρίς λίπανση (W και Ws). Τα μεγαλύτερα μήκη ρίζας καταγράφηκαν στα φυτά της μεταχείρισης HP που όμως διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μόνο με αυτά της AQs. Αντίστοιχη εικόνα εμφανίστηκε και στο ξηρό βάρος του υπέργειου, με την διαφορά ότι το μικροβίωμα σε CAP και HP ευνόησε το μέγεθος αυτό. Αντίθετα, το ξηρό βάρος της ρίζας παρουσιάστηκε ιδιαίτερα αυξημένο στα φυτά της μεταχείρισης Ws τα οποία ήταν τα μόνα που επηρεάστηκαν από την αποστείρωση του νερού.

Σε συμφωνία με τα αποτελέσματα είναι τα συμπεράσματα της έρευνας των Yang & Kim (2020), όπου φάνηκε ότι το ξηρό βάρος τόσο του υπέργειου όσο και του ριζικού

τμήματος των φυτών μαρουλιού δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτών της υδροπονίας και της ενυδραιοπονίας.

Συμφωνία υπάρχει και με τα αποτελέσματα της έρευνας των Goddek & Vermeulen (2018). Στα πειράματά τους, φυτά μαρουλιού αναπτύχθηκαν σε συστήματα αποξευγμένης ενυδραιοπονίας με προσθήκη θρεπτικών και σε υδροπονικά συστήματα. Στο αποξευγμένο ενυδραιοπονικό σύστημα το νερό αποτελούταν κατά 30% από διάλυμα συστήματος υδατοκαλλιέργειας επανακυκλοφορίας νερού (RAS) και κατά 70% από νερό βροχής, ενώ στο υδροπονικό σύστημα εξολοκλήρου από νερό βροχής. Και στα δύο συστήματα είχε γίνει προσθήκη θρεπτικών. Το ξηρό βάρος του υπέργειου των φυτών της αποξευγμένης ενυδραιοπονίας ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό των φυτών της υδροπονίας, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Εντούτοις, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δεν συνάδουν με εκείνα των Delaide et al. (2016), οι οποίοι πραγματοποίησαν έρευνα σχετικά με την καλλιέργεια μαρουλιού με τρεις μεταχειρίσεις: HP, AQ, και CAP. Διαπίστωσαν ότι τα φυτά των μεταχειρίσεων AQ και HP δεν διέφεραν ως προς το βάρος του υπέργειου, ενώ τα φυτά της μεταχείρισης CAP υπερτερούσαν στατιστικώς σημαντικά των άλλων δύο. Το βάρος της ρίζας, δεν διέφερε μεταξύ των μεταχειρίσεων AQ και CAP, ενώ στα φυτά της μεταχείρισης HP ήταν πολύ χαμηλότερο ($p < 0,05$).

Διαφορές παρατηρούνται και με τα αποτελέσματα της έρευνας των Wielgosz et al. (2017) οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση του μικροβιώματος του νερού ενυδραιοπονίας στην ανάπτυξη φυτών μαρουλιού. Σύμφωνα με τα πορίσματά τους το νερό υδροπονίας και το αποστειρωμένο νερό ενυδραιοπονίας δεν επέφεραν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των αντίστοιχων φυτών σε σχέση με το νωπό και το ξηρό βάρος του υπέργειου. Τα φυτά της υδροπονίας υπερέιχαν στατιστικώς σημαντικά σε σχέση με τα φυτά της ενυδραιοπονίας. Οι ερευνητές εικάζουν πως η πολύ μεγαλύτερη μικροβιακή κοινότητα του νερού ενυδραιοπονίας μπορεί είτε να καταναλώνει σημαντική ποσότητα από τα θρεπτικά του διαλύματος, περιορίζοντας έτσι την διαθεσιμότητά τους στα φυτά, είτε να αυξάνει το ενεργειακό κόστος για την μεταφορά των θρεπτικών στις ριζικές επιφάνειες. Παρατηρείται και μία συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης και αυτών της έρευνας των Wielgosz et al., αφού και στις δύο περιπτώσεις δεν διέφερε το ξηρό βάρος του

υπέργειου των φυτών που ποτίζονταν με νερό ενυδρειοπονίας και αυτών που ποτίζονταν με αποστειρωμένο νερό ενυδρειοπονίας.

Η συνολική εικόνα σε ότι αφορά το μαρούλι είναι ότι οι περισσότεροι αναπτυξιακοί δείκτες για τα φυτά του μαρουλιού παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές στα φυτά των μεταχειρίσεων CAP και HP. Τα αντίστοιχα αποστειρωμένα νερά δεν επέφεραν παρόμοια υψηλές τιμές δεικτών. Επομένως για τις συγκεκριμένες μεταχειρίσεις στα φυτά μαρουλιού η παρουσία μικροοργανισμών ευνόησε την ανάπτυξη των φυτών. Η ανάπτυξή τους προφανώς ευνοήθηκε και από την προσθήκη θρεπτικών στο διάλυμα. Ωστόσο τα φυτά των μεταχειρίσεων αυτών, στους περισσότερους δείκτες, δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ούτε με τα φυτά της μεταχείρισης AQ, παρά μόνο στο ξηρό βάρος του υπέργειου των αρτίβλαστων.

Οι παρατηρήσεις αυτές που μαρτυρούν την υπεροχή των μη αποστειρωμένων νερών υδροπονίας, συζευγμένης και αποζευγμένης ενυδρειοπονίας έναντι των αντίστοιχων αποστειρωμένων, στην ανάπτυξη των φυτών μαρουλιού, είναι συμβατές με τα πορίσματα αρκετών ερευνών που αναδεικνύουν την επωφελή δράση βακτηρίων που εντοπίζονται σε υδροπονικά συστήματα, και κυρίως αυτών που εντοπίζονται σε ενυδρειοπονικά συστήματα. Σύμφωνα με έρευνα των Radzki et al. (2013) βακτηριακά στελέχη *Chryseobacterium* C138, παράγοντας σιδηροφόρα, αύξησαν την βιοδιαθεσιμότητα του σιδήρου σε φυτά τομάτας που καλλιεργήθηκαν σε υδροπονικά συστήματα και είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση στις τιμές των αναπτυξιακών δεικτών των φυτών. Οι Sanchez et al. (2019) εξέτασαν το νερό εκτροφής τιλάπιας σε σύστημα υδατοκαλλιέργειας επανακυκλοφορίας νερού (RAS) και διαπίστωσαν ότι ήταν πλούσιο σε βακτήρια που μπορούν να προάγουν την ανάπτυξη των φυτών (plant growth promoting bacteria). Τέτοια συστήματα αποτελούν συστατικό στοιχείο της ενυδρειοπονίας. Σύμφωνα με τους Eck et al. (2019) τα βακτήρια που εντοπίζονται στα ενυδρειοπονικά συστήματα αποικοδομώντας τα υπολείμματα ιχθυοτροφής και τα προϊόντα απέκκρισης των ψαριών κάνουν βιοδιαθέσιμα για τα φυτά διάφορα θρεπτικά στοιχεία. Επίσης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην διαλυτοποίηση θρεπτικών στοιχείων και συμμετέχουν σε διάφορες οδούς προώθησης της υγείας και της ανάπτυξης των φυτών. Για παράδειγμα βακτήρια του γένους *Lysobacter* συμμετέχουν στην προστασία φυτών από ασθένειες μέσω της παραγωγής αντιβιοτικών. Έρευνα που διεξήγαγαν οι Sirakov et al. (2016) έδειξε ότι μικροοργανισμοί που ανιχνεύθηκαν σε ενυδρειοπονικό σύστημα επέδειξαν ανταγωνιστική δράση έναντι τόσο στον μύκητα

Pythium ultimum που είναι παθογόνος για τα φυτά, όσο και στον μύκητα *Saprolegnia parasitica* που είναι παθογόνος για τα ψάρια.

Εξετάζοντας τις διαφορετικές μεταχειρίσεις στα φυτά ρόκας, παρατηρήθηκε πως την συγκεκριμένη χρονική στιγμή που έγινε η μακροσκοπική μικροβιακή παρατήρηση των τρυβλίων, το νερό της γεώτρησης παρουσίασε την μικρότερη αύξηση μικροοργανισμών. Μεγαλύτερη μικροβιακή ανάπτυξη παρουσιάστηκε στις υπόλοιπες τρεις μεταχειρίσεις. Στους περισσότερους δείκτες τα αποστειρωμένα νερά επέφεραν υψηλότερες τιμές χωρίς όμως ο παράγοντας αποστείρωση να επιφέρει στατιστικώς σημαντικές διαφορές, με ελάχιστες εξαιρέσεις.

Το μήκος του υπέργειου τμήματος των αρτίβλαστων της ρόκας ευνοήθηκε από τις μεταχειρίσεις CAP, CAPs και HP, ενώ το μήκος του ριζικού τμήματος παρουσίασε τις υψηλότερες μετρήσεις στα φυτά της μεταχείρισης HPs χωρίς όμως να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από εκείνα των μεταχειρίσεων HP, CAPs, AQs και Ws.

Το ξηρό βάρος του υπέργειου δεν επηρεάστηκε από την αποστείρωση αλλά ούτε και από το διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε καθώς δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν για το ξηρό βάρος της ρίζας, με την μοναδική διαφορά να παρατηρείται μεταξύ των μεταχειρίσεων Ws και CAP. Η πρώτη ομάδα παρουσίασε την μεγαλύτερη θετική επίδραση και η δεύτερη την μικρότερη.

Στην Β' φάση του πειράματος το μήκος του υπέργειου των νεαρών φυτών της ρόκας ευνοήθηκε από τις μεταχειρίσεις CAPs, HPs, AQ, CAP και HP. Το μήκος της ρίζας ευνοήθηκε ιδιαίτερα από την μεταχείριση W που δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά από τα φυτά της μεταχείρισης Ws, ενώ διέφερε από όλες τις υπόλοιπες ομάδες. Αντιθέτως οι δυο αυτές μεταχειρίσεις επέφεραν τις μικρότερες τιμές ξηρού βάρους υπέργειου, ενώ οι υπόλοιπες ομάδες δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Το ξηρό βάρος του ριζικού τμήματος των φυτών της μεταχείρισης CAPs υπερέχει στατιστικώς σημαντικά όλων των υπολοίπων.

Τα αποτελέσματα δεν είναι απόλυτα σε συμφωνία με εκείνα της έρευνας των Lennard et al. (2019) που συνέκριναν την ανάπτυξη μαρουλιού και άλλων λαχανικών, μεταξύ των οποίων και ρόκας, σε καλλιέργειες υδροπονικού NFT και ενυδραιοπονικού NFT συστήματος. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι ενώ στην περίπτωση του μαρουλιού υπερετερούσε ξεκάθαρα το ενυδραιοπονικό σύστημα, στην περίπτωση της ρόκας στις μισές περιπτώσεις παρατηρήθηκε ελαφρώς καλύτερη ανάπτυξη στα φυτά του

ενυδρειοπονικού συστήματος, ενώ στις άλλες μισές υπερτερούσαν τα φυτά του υδροπονικού συστήματος με πολύ μεγάλη διαφορά. Διατυπώθηκε έτσι η άποψη πως η ρόκα πιθανότατα δεν προσαρμόζεται πολύ καλά στην ενυδρειοπονική καλλιέργεια.

Τα αποτελέσματα επίσης δεν συμφωνούν με εκείνα των Rodgers et al. (2022), οι οποίοι έκαναν πειράματα ανάπτυξης βασιλικού σε αποζευγμένα ενυδρειοπονικά συστήματα, αποζευγμένα με προσθήκη θρεπτικών συστατικών και συμβατικά υδροπονικά. Στα δύο τελευταία υπερείχαν σημαντικά τόσο η νωπή όσο και η ξηρή βιομάζα του υπέργειου τμήματος, ενώ αντίθετα, βρέθηκε ίδιο το μήκος του. Το τελευταίο αποτέλεσμα συμφωνεί με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης σε σχέση με το μήκος του υπέργειου τμήματος των φυτών, τόσο στην Α' όσο και στην Β' φάση.

Οι περισσότεροι αναπτυξιακοί δείκτες για τα φυτά της ρόκας παρότι παρουσίασαν τάση για υψηλότερες τιμές στα φυτά της μεταχείρισης CAPs, δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφορές με τη μεταχείριση CAP, με μόνη εξαίρεση το ξηρό βάρος της ρίζας των νεαρών φυτών. Επίσης, ιδιαίτερα ευνοϊκές ήταν και οι μεταχειρίσεις HPs και HP. Και στην περίπτωση της ρόκας η προσθήκη θρεπτικών στο διάλυμα παίζει αρκετά σημαντικό ρόλο και μάλιστα τα φυτά της συζευγμένης ενυδρειοπονίας υστερούν σε αρκετούς δείκτες σε σχέση με εκείνα της αποζευγμένης ενυδρειοπονίας και της υδροπονίας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ☉ Η φυτρωτικότητα των σπερμάτων τόσο στο μαρούλι όσο και στην ρόκα δεν επηρεάστηκε ούτε από το είδος της μεταχείρισης, ούτε από την αποστείρωση.
- ☉ Τα φυτά μαρουλιού της μεταχείρισης W παρουσίασαν τις χαμηλότερες αποδόσεις στους έξι από τους οκτώ αναπτυξιακούς δείκτες. Όμοια ήταν και η εικόνα των φυτών της μεταχείρισης Ws, με εξαίρεση το ξηρό βάρος της ρίζας των νεαρών φυτών που ευνοήθηκε ιδιαίτερα από την μεταχείριση Ws.
- ☉ Τα φυτά μαρουλιού των μεταχειρίσεων CAP και HP εμφάνισαν τάση για καλύτερες αποδόσεις σε όλους τους αναπτυξιακούς δείκτες, χωρίς να παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τα φυτά της μεταχείρισης AQ, με μοναδική εξαίρεση το ξηρό βάρος του υπέργειου των αρτίβλαστων.
- ☉ Η αποστείρωση δεν ευνόησε την ανάπτυξη των φυτών μαρουλιού.
- ☉ Το ξηρό βάρος της ρίζας των αρτίβλαστων μαρουλιού δεν επηρεάστηκε από τις μεταχειρίσεις.
- ☉ Η ρόκα ευνοήθηκε ιδιαίτερα από την μεταχείριση CAPs, ενώ αντίστοιχα καλές αποδόσεις στους περισσότερους αναπτυξιακούς δείκτες παρουσίασαν και τα φυτά των μεταχειρίσεων HP και HPs.
- ☉ Το ξηρό βάρος του υπέργειου των αρτίβλαστων ρόκας δεν επηρεάστηκε από τις μεταχειρίσεις.
- ☉ Το μήκος της ρίζας των νεαρών φυτών ευνοήθηκε ιδιαίτερα από τις μεταχειρίσεις W και Ws.
- ☉ Η ρόκα, συγκριτικά με το μαρούλι, φάνηκε να επηρεάζεται λιγότερο από τα διαφορετικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν όσο και από την παρουσία των μικροβιωτών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

I. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alqasoumi S., Al-Sohaibani M., Al-Howiriny T., Al-Yahya M., Rafatullah S., 2009. Rocket “*Eruca sativa*”: a salad herb with potential gastric anti-ulcer activity. *World Journal Gastroenterology*, 15(16):1958-1965
2. Assefa A.D., Hur, O.-S., Hahn B.-S., Kim B., Ro N.-Y., Rhee J.-H., 2021. Nutritional Metabolites of Red Pigmented Lettuce (*Lactuca sativa*) Germplasm and Correlations with Selected Phenotypic Characters. *Foods*, 10(10):2504
3. Barillari J., Canistro D., Paolini M., Ferroni F., Pedulli G.F., Iori R., Valgimigli L., 2005. Direct antioxidant activity of purified glucoerucin, the dietary secondary metabolite contained in rocket (*Eruca sativa* Mill.) seeds and sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 2475-2482
4. Bartelme R.P., Oyserman B.O., Blom J.E., Sepulveda-Villet O.J. and Newton R.J., 2018. Stripping Away the Soil: Plant Growth Promoting Microbiology Opportunities in Aquaponics. *Frontiers in Microbiology*, 9:8
5. Bittsanszky A., Uzinger N., Mathis A., Gunlai G., 2016. Nutrient supply of plants in aquaponic systems. *Ecocycles*, 2(2):17-20
6. Blidariu F., Grozea A., Blidariu F., Grozea A., 2011. Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics - Review. *Animal Science and Biotechnologies*, 44: 1–8
7. Brodt S., Six J., Feenstra G., Ingels C., Campbell D., 2011. Sustainable Agriculture. *Nature Education Knowledge*, 3(10):1
8. Conijn J.G., Bindraban P.S., Schröder J.J., Jongschaap R.E.E., 2018. Can our global food system meet food demand within planetary boundaries? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 251:244–256
9. Day J.A., Diener C., Otwell A.E., Tams K.E., Bebout B., Detweiler A.M., Lee M.D., Scott M.T., Ta W., Ha M., Carreon S.A., Tong K., Ali A.A., Gibbons S.M., Baliga N.S., 2021. Lettuce (*Lactuca sativa*) productivity influenced by microbial inocula under nitrogen-limited conditions in aquaponics. *PLoS One*, 16(2):e0247534
10. de Pascual-Teresa S., Sanchez-Ballesta M.T., 2008. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry Reviews*, 7: 281–299
11. Delaide B., Goddek S., Gott J., Soyeurt H., Jijakli M.H., 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Sucrine) Growth Performance in Complemented Aquaponic Solution Outperforms Hydroponics. *Water*, 8(10):467
12. Delaide B., Goddek S., Keesman K. J., Jijakli M. H. M., 2018. A methodology to quantify the aerobic and anaerobic sludge digestion performance for nutrient recycling in aquaponics. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 22: 106–112
13. Ebeling J., Michael T., Bisogni J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257: 346–358

14. Eck M., Sare A.R., Massart S., Schmautz Z., Junge R., Smits T.H.M., Jijakli M.H., 2019. Exploring Bacterial Communities in Aquaponic Systems. *Water*,11:260
15. Edwards P., Zhang W., Belton B., Little D., 2019. Misunderstandings, myths and mantras in aquaculture: Its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Marine Policy*, 106:103547
16. Effendi H., Wahyuningsih S., Wardiatno Y., 2017. The use of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa*L. var. longifolia) in water recirculation system. *Applied Water Science*, 7:3055–3063
17. FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
18. Goddek S., Delaide B., Mankasingh U., Ragnarsdottir K., Jijakli H., Thorarinsdottir R., 2015. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability*, 7(4):4199–4224
19. Goddek S., Joyce A., Kotzen B., Burnell G.M., 2019. *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. Springer International Publishing, Cham
20. Goddek S., & Korner O., 2019. A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: A case study for system sizing in different environments. *Agricultural Systems*, 171: 143-154
21. Goddek S., & Vermeulen T., 2018. Comparison of *Lactuca sativa* growth performance in conventional and RAS-based hydroponic systems. *Aquaculture International*, 26:1377–1386
22. Hall M., Jobling J., Rogers G., 2015. The Germination of Perennial Wall Rocket (*Diplotaxis Tenuifolia* (L.) D.C.) and Annual Garden Rocket (*Eruca Sativa* Mill.) Under Controlled Temperatures. *Plant Breeding and Seed Science*, 65(2012):15-28
23. Hedges L., Lister C., 2005. Nutritional attributes of salad vegetables. *Crop & Food Research Confidential Report*, No 1473
24. Jensen, Dr. Thomas L., 2010. Soil pH and the Availability of Plant Nutrients. International Plant Nutrition Institute, *Plant Nutrition TODAY*, No. 2., www.ipni.net/pnt, Accessed on 06/11/2022
25. Jones J., 2005. *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton.
26. Kim D.E., Shang X., Assefa A.D., Keum Y.S., Saini R.K., 2018. Metabolite profiling of green, green/red, and red lettuce cultivars: Variation in health beneficial compounds and antioxidant potential, *Food Research International*, 105:361-370
27. Kleeman S.G.L., Chauhan B.S., Gill G.S., 2007. Factors Affecting Seed Germination of Perennial Wall Rocket (*Diplotaxis Tenuifolia*) in Southern Australia. *Weed Science*, 55(5):481-485
28. Kloas W., Groß R., Baganz D., Graupner J., Monsees H., Schmidt U., Staaks G., Suhl J., Tschirner M., Wittstock B., Wuertz S., Zikova A., Rennert B., 2015. A

- new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquaculture Environment Interactions*, 7:179-192
29. Kloepper J.W., Ryu C.M., Zhang S., 2004. Induced Systemic Resistance and Promotion of Plant Growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94(11):1259-66
 30. Knaus U., Palm H.W., 2017. Effects of fish biology on ebb and flow aquaponical cultured herbs in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture*, 466: 51–63
 31. Lennard W. and Ward J., 2019. A Comparison of Plant Growth Rates between an NFT Hydroponic System and an NFT Aquaponic System. *Horticulturae*, 5(2):27-42
 32. Lindqvist K., 1960. On the origin of cultivated lettuce. Hilleshog Sugar Beet Breeding Institute, Landskrona, Sweden
 33. Love D.C., Fry J.P., Genello L., Hill E.S., Frederick J.A., Li X., Semmens K., 2014. An International Survey of Aquaponics Practitioners. *PLoS ONE*, 9(7): e102662
 34. Love D.C., Fry J.P., Li X., Hill E.S., Genello L., Semmens K., Thompson R.E., 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435:67-74
 35. Maucieri C., Nicoletto C., Junge R., Schmautz Z., Sambo P., Borin M., 2018. Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13:1012
 36. McMurtry M.R., Nelson P.V., Sanders D.C., Hodges L., 1990. Sand culture of vegetables using recirculated aquacultural effluents. *Applied Agricultural Research*, 5(4):280-284
 37. Monsees H., Kloas W., Wuertz S., 2017. Decoupled systems on trial: Eliminating bottlenecks to improve aquaponic processes. *PloS ONE*, 12(9): e0183056
 38. Monsees H., Suhl J., Paul M., Kloas W., Dannehl D., Wurtz S., 2019. Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. *PLoS ONE* 14(6): e0218368
 39. Monsees H., Kloas W., Wuertz S., 2016. Comparisson of Coupled and decoupled aquaponics - Implications for future system design. Abstract from *Aquaculture Europe*, Edinburgh, Scotland
 40. Mou B., 2008. Lettuce. In: Prohens J., Nuez F. (eds) *Vegetables I. Handbook of Plant Breeding*, vol 1 Springer, New York
 41. Nelson R.L., 2008. Aquaponic Equipment: The Bio Filter. *Aquaponics Journal*, 48
 42. Padulosi S., 1995. Rocket Genetic Resources Network. Report of the First Meeting, 13-15 November 1994, Lisbon, Portugal. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
 43. Padulosi S. and Pignone D. (Eds), 1997. Rocket: a Mediterranean crop for the world. Report of a workshop, 13-14 December 1996, Legnaro (Padova), Italy. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

44. Palm H.W., Knaus U., Appelbaum S., Goddek S., Strauch S.M., Vermeulen T., Jijakli M.H., Kotzen B., 2018. Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International* 26(3):813–842
45. Philips M., Subasinghe R.P., Tran N., Kassam L., Chan C.Y., 2016. Aquaculture Big Numbers. In: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 601, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
46. Pignone D., 1997. Present Status of Rocket Genetic Resources and Conservation Activities. In: Padulosi S. and Pignone D. (Eds), *Rocket: a Mediterranean crop for the world*. Report of a workshop, 13-14 December 1996, Legnaro (Padova), Italy. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
47. Radzki W., Gutierrez Mañero F.J., Algar E., Lucas García J.A., García-Villaraco A., Ramos Solano B., 2013. Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 104(3):321-30
48. Rakocy J.E., Bailey D.S., Shultz K.A., Cole W.M., 1997. Development of an Aquaponic System for the Intensive Production of Tilapia and Hydroponic Vegetables. *Aquaponics Journal* 12-13
49. Rakocy J.E., Shultz R.C., Bailey D.S., Thoman E.S., 2004. Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae*. 648: 63-69
50. Rakocy J.E., Masser M.P., Losordo T.M., 2006. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture*. Southern Regional Aquaculture Center Publication, 454
51. Rakocy J.E., 2007. Ten Guidelines for Aquaponic Systems. *Aquaponics Journal*.
52. Randall D. J. and Tsui T. K. N., 2002. Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45:17–23
53. Rodgers D., Won E., Timmons M.B., Mattson N., 2022. Complementary Nutrients in Decoupled Aquaponics Enhance Basil Performance. *Horticulturae*, 8:111
54. Rodriguez-Caballero A., Ribera A., Balcázar J.L., Pijuan M., 2013. Nitrification versus full nitrification of ammonium-rich wastewater: Comparison in terms of nitrous and nitric oxides emissions. *Bioresource Technology*, 139:195-202
55. Sackali M.S. and Serin M., 2009. Seed germination behaviour of *Diplotaxis Tenuifolia*. *EurAsian Journal of BioSciences* 3:107-112
56. Sanchez F.A., Vivian-Rogers V.R., Urakawa H., 2019. Tilapia recirculating aquaculture systems as a source of plant growth promoting bacteria. *Aquaculture Research*, 50:2054–2065
57. Schmutz Z., Graber A., Jaenicke S., Goesmann A., Junge R., Smits T.H.M., 2017. Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. *Archives of Microbiology*, 199:613–620
58. Seawright D.E., Stickney R.R., Walker R.B., 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture*, 160: 215–237.

59. Sirakov I., Lutz M., Graber A., Mathis A., Staykov Y., Smits T.H.M., Junge R., 2016. Potential for Combined Biocontrol Activity against Fungal Fish and Plant Pathogens by Bacterial Isolates from a Model Aquaponic System. *Water*, 8(11):518
60. Somerville C., Cohen M., Pantanella E., Stankus A., Lovatelli A., 2014. Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. In: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 589, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
61. Thorarinsdottir R., 2015. Aquaponics guidelines. Reykjavik, Iceland: Haskolaprent, University of Iceland
62. Trejo-Tellez L.I., Gomez-Merino F.C., 2012. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. In: Asao T. (Ed.), *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, InTech, Rijeka, Croatia, pp.1-22
63. Turcios A.E., Papenbrock J., 2014. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents—What Can We Learn from the Past for the Future? *Sustainability*, 6:836-856
64. Tyson R.V., Simonne E.H., Treadwell D.D., Davis M., White J.M., 2008. Effect of Water pH on Yield and Nutritional Status of Greenhouse Cucumber Grown in Recirculating Hydroponics. *Journal of Plant Nutrition*, 31(11): 2018-2030
65. Vig A.P., Rampal G., Thind T.S., Arora S., 2009. Bio-protective effects of glucosinolates – A review. *LWT - Food Science and Technology*, 42:1561-1572
66. Wang Y.J., 2021. The Effects of Microbiomes on Food Crop Yield and Quality in Aquaponic Systems. Purdue University Graduate School. Thesis
67. Wielgosz Z.J., Anderson T.S., Timmons M.B., 2017. Microbial Effects on the Production of Aquaponically Grown Lettuce. *Horticulturae*, 3:46
68. Wongkiew S., Hu Z., Chandran K., Lee J.W., Khanal S.K., 2017. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76:9-19
69. Yamane K., Kimura Y., Takahashi K., Maeda I., Iigo M., Ikeguchi A., Kim H-J., 2021 The Growth of Leaf Lettuce and Bacterial Communities in a Closed Aquaponics System with Catfish. *Horticulturae*, 7(8):222
70. Yang H., Fang Y., Chen Z., 2001. Integrated grass-fish farming systems in China. In: *Integrated agriculture-aquaculture: A primer*. FAO Fisheries Technical Paper 407, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
71. Yang T. and Kim H.J., 2020. Characterizing Nutrient Composition and Concentration in Tomato-, Basil-, and Lettuce-Based Aquaponic and Hydroponic Systems. *Water*, 12:1259
72. Yaniv Z., Schafferman D., Amar Z., 1998. Tradition uses and Biodiversity of rocket (*Eruca Sativa*, Brassicaceae) in Israel. *Economic Botany*, 52(4):394–400
73. Yurina N.A., Yurin D.A., Maksim E.A., Osepchuk D.V., Ustjuzhaninova T.A., 2020. Advanced Developments in Aquaponics, Proceedings of the International Conference on Policies and Economics Measures for Agricultural Development. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 147:431-435

74. Zhou S., Guo X., Wang H., Kong D., Wang Y., Zhu J., Dong W., He M., Hu G., Zhao B., Zhao B., Ruan Z., 2016. *Chromobacterium rhizoryzae* sp. nov., isolated from rice roots. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(10):3890-3896

II. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

75. Βασιλειάδης Λ., 2011. Συγκριτική μελέτη της Επίδρασης των Θεϊκών Ανιόντων στην Συσσώρευση Νιτρικών και Οργανικού Αζώτου, σε Φυτά Μαρουλιού. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Χημείας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα
76. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018. Υδατοκαλλιέργεια και Natura 2000, Έγγραφο Καθοδήγησης, Ευρωπαϊκή Ένωση, Λουξεμβούργο
77. Θανόπουλος Χ., 2008. Τεχνικές Βιολογικής Καλλιέργειας Φυλλωδών Λαχανικών: Μαρούλι. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών
78. Ολύμπιος Μ. Χ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα
79. Ολύμπιος Μ.Χ., 2019. Η Τεχνική της Καλλιέργειας των Υπαίθριων Κηπευτικών. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα
80. Σάββας Δ., 2011. Καλλιέργειες Εκτός Εδάφους, Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγρο Τύπος Α.Ε., Μαρούσι
81. Σάββας Δ., 2016. Γενική Λαχανοκομία. Εκδόσεις Πεδίο Α.Ε., Αθήνα
82. Τσιρόπουλος Γ., 2022. Συγκριτική μελέτη της καλλιέργειας τομάτας σε ενυδρειοπονικό και υδροπονικό σύστημα. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
83. Χα Ιμπραχίμ-Αβραάμ, Πετρόπουλος Σπύρος, 2014. Γενική Λαχανοκομία & Υπαίθρια Καλλιέργεια Λαχανικών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος