

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Τεχνολογίες και Διαχείριση Θερμοκηπίων και Θερμοκηπιακών
Καλλιεργειών»



UNIVERSITY OF
THESSALY

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

«Συγκριτική μελέτη της καλλιέργειας τομάτας σε ενυδρειοπονικό και υδροπονικό σύστημα»

Τσιρόπουλος Γεώργιος

Βόλος, Ιανουάριος 2022

«Συγκριτική μελέτη της καλλιέργειας τομάτας σε ενυδρειοπονικό και υδροπονικό σύστημα»

Τσιρόπουλος Γεώργιος

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. **Λεβίζου Ευθυμία**, Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
2. **Κατσούλας Νικόλαος**, Καθηγητής Γεωργικών Κατασκευών με έμφαση στα Θερμοκήπια, Τμήμα Γεωπονίας Φυτική Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
3. **Πετρόπουλος Σπυρίδων**, Αναπληρωτής Καθηγητής Λαχανοκομίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Copyright © ΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, 2022.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά κα. Λεβίζου Ευθυμία για την πολύτιμη καθοδήγησή της κατά την διάρκεια του πειράματος καθώς και τις υποψήφιες διδάκτορες Μουρατιάν Αναστασία, Ασλανίδου Μαρία και προπτυχιακό φοιτητή Κολορίζο Αργύρη για την βοήθειά τους κατά την εκπόνηση του πειράματος.

Περίληψη

Η ενυδραιοπονία είναι μία μέθοδος ταυτόχρονης παραγωγής φυτών και ψαριών, βάση της οποίας είναι η κυκλική ροή του νερού μεταξύ των συστημάτων ιχθυοκαλλιέργειας και υδροπονικής καλλιέργειας φυτών. Με τη διαμεσολάβηση κατάλληλων βακτηρίων τα προϊόντα του μεταβολισμού των ψαριών που κυκλοφορούν στο νερό μετατρέπονται σε αφομοιώσιμες από τα φυτά μορφές απαραίτητων θρεπτικών και υποστηρίζουν την ανάπτυξή τους. Η μηδενική χρήση λιπασμάτων και η σημαντική εξοικονόμηση νερού αποτελούν τα βασικά πλεονεκτήματα της ενυδραιοπονίας. Εντούτοις, η έλλειψη του συστήματος σε συγκεκριμένα και κρίσιμα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών θρεπτικά, όπως το K και ο Fe, οδήγησε σε προσπάθειες βελτιστοποίησης. Η αποξυγμένη ενυδραιοπονία ερευνάται τελευταία προς αυτή την κατεύθυνση καθώς περιλαμβάνει προσθήκη μικρών ποσοτήτων λιπασμάτων ως ενίσχυση του νερού που κυκλοφορεί από τα ψάρια προς τα φυτά. Στην παρούσα εργασία έγινε σύγκριση ανάμεσα σε τρεις μεθόδους καλλιέργειας εκτός εδάφους στο πιλοτικό θερμοκήπιο ενυδραιοπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Μελετήθηκε η απόκριση αναπτυξιακών και βιοχημικών χαρακτηριστικών των φυτών τομάτας καθώς και της ποιότητας των καρπών της στις μεταχειρίσεις υδροπονίας (HP), συζευγμένης ενυδραιοπονίας (AQ) και αποξυγμένης ενυδραιοπονίας (CAP). Συγκεκριμένα μετρήθηκαν το νωπό βάρος και η ξηρή βιομάζα των φύλλων καθώς και το περιεχόμενο τους σε νερό, σε τακτά χρονικά διαστήματα καθόλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Κατά την τακτική αυτή δειγματοληψία μετρούνταν και οι συγκεντρώσεις των φωτοσυνθετικών χρωστικών και ολικών φαινολικών των φύλλων. Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών τομάτας μετρήθηκαν σε τρεις ταξικαρπίες, ώστε να εκτιμηθεί η εμπορικότητα και ελκυστικότητα προς κατανάλωση της τομάτας των διαφόρων μεταχειρίσεων. Το βάρος και το μέγεθος του καρπού, καθώς και η σκληρότητα της σάρκας, η οξύτητα και το pH του χυμού, η συγκέντρωση των ολικών διαλυτών στερεών και του λυκοπένιου καταγράφηκαν στις τρεις ταξικαρπίες για κάθε μεταχείριση. Στην πλειονότητα των παραμέτρων που μετρήθηκαν, τα φυτά της AQ υστερούσαν σημαντικά από τα φυτά των άλλων μεταχειρίσεων, με την HP και CAP να εμφανίζουν τις περισσότερες ομοιότητες. Η ανάπτυξη των φυτών της AQ, όπως καταγράφηκε από τα νωπά και ξηρά βάρη των φύλλων, ήταν σημαντικά μικρότερη από της HP και CAP σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Οι διαφορές μεγεθύνθηκαν προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, με την AQ να καταλήγει στο 1/3 των βαρών των άλλων δύο μεταχειρίσεων. Τα φύλλα των μεταχειρίσεων HP και CAP είχαν σημαντικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε φωτοσυνθετικές χρωστικές σε σχέση με εκείνα της AQ. Οι αυξημένες τιμές του λόγου χλωροφύλλης a/χλωροφύλληb που καταγράφηκαν στα φυτά της AQ υποδεικνύουν καλύτερη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, πιθανώς λόγω μικρότερης ανάπτυξης και αντίστοιχης αρχιτεκτονικής του φυτού. Επίσης, βρέθηκαν μειωμένες τιμές του λόγου ολικών χλωροφυλλών/καροτενοειδή που πιθανώς αποτελούν ένδειξη καταπόνησης στα φυτά της AQ. Η αυξημένη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών στα φύλλα της AQ σε σχέση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις καθόλη τη διάρκεια του πειράματος ενισχύει την υπόθεση της καταπόνησης. Αξιοσημείωτη ήταν η ομοιότητα ανάμεσα σε HP και CAP

σε όλα τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού, όπως το μέγεθος, βάρος και συγκέντρωση ολικών διαλυτών στερεών. Δεδομένου ότι όλοι οι καρποί συλλέχθηκαν στο ίδιο στάδιο ωρίμανσης, το χαμηλότερο περιεχόμενο σε λυκοπένιο της AQ συγκριτικά με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις, παραπέμπει σε μειωμένη ποιότητα του τελικού προϊόντος στη συζευγμένη ενυδρευσιμότητα. Όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού, αλλά και τα αναπτυξιακά και βιοχημικά χαρακτηριστικά του φυτού που μελετήθηκαν υποδεικνύουν την αποζευγμένη ενυδρευσιμότητα ως μία πολλά υποσχόμενη μέθοδο που θα επιτρέψει την αποδοτική και ταυτόχρονη παραγωγή ψαριών και τομάτας με μειωμένη χρήση λιπασμάτων.

«Εγώ, ο Τσιρόπουλος Γεώργιος, είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.»

«Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από τον/την κο/κα Τσιρόπουλο Γεώργιο»

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	10
1.1	Συστήματα υδροπονίας και ενυδραιοπονίας στο θερμοκήπιο	10
1.1.1	Υδροπονία	10
1.1.2	Ενυδραιοπονία.....	14
1.1.3	Κλίμακα συστημάτων	15
1.1.4	Είδη ψαριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν	17
1.1.5	Είδη φυτών στην ενυδραιοπονία.....	18
1.1.6	Υποστρώματα στην ενυδραιοπονία.....	18
1.2	Αποξευγμένη ενυδραιοπονία.....	19
1.3	Η τομάτα.....	20
1.4	Η καλλιέργεια σήμερα.....	20
1.5	Η καλλιέργεια στην Ελλάδα	23
1.6	Βοτανικοί χαρακτήρες.....	23
1.7	Απαιτήσεις σε κλίμα και έδαφος.....	25
1.8	Σκοπός της εργασίας	25
2	Υλικά και Μέθοδοι.....	26
2.1	Γενικά	26
2.2	Το θερμοκήπιο	26
2.3	Πειραματικός σχεδιασμός	26
2.4	Καλλιεργητικές φροντίδες.....	29
2.4.1	Φροντίδα ψαριών	31
2.5	Μετρήσεις.....	32
2.5.1	Προγραμματισμός μετρήσεων	32
2.5.2	Μετρήσεις στο χώρο του θερμοκηπίου.....	33
2.5.3	Μετρήσεις στο εργαστήριο.....	36
2.6	Στατιστική επεξεργασία δεδομένων.....	43
3	Αποτελέσματα	44
4	Συζήτηση.....	63
5	Συμπεράσματα.....	69
6	Βιβλιογραφία.....	70

1 Εισαγωγή

1.1 Συστήματα υδροπονίας και ενυδρείοπονίας στο θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο είναι μια κατασκευή, η οποία καλύπτεται με διαφανές υλικό, ώστε να είναι δυνατή η είσοδος όσο το δυνατόν περισσότερου φυσικού φωτισμού, που είναι απαραίτητος στην ανάπτυξη των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2005). Έχει ως σκοπό την δημιουργία των βέλτιστων συνθηκών για την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας και την προστασία της από τις δυσμενείς συνθήκες του περιβάλλοντος δίνοντας έτσι την δυνατότητα παραγωγής για εποχές ή περιοχές που οι συνθήκες δεν θα το επέτρεπαν αλλιώς. Υπάρχουν πάρα πολλοί τύποι θερμοκηπίων και η επιλογή ενός εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, από το είδος που πρόκειται να καλλιεργηθεί, το διαθέσιμο κεφάλαιο, από τις συνθήκες που θέλουμε να επιτευχθούν στο εσωτερικό του και άλλους πολλούς παράγοντες για παράδειγμα μπορεί να είναι εξοπλισμένα με σύστημα θέρμανσης ή όχι, μπορεί να διαθέτουν ενεργητικό ή παθητικό σύστημα εξαερισμού και πολλά άλλα τέτοια χαρακτηριστικά (Κατσούλας 2021).

Εκτός από την κλασική μέθοδο καλλιέργειας στο έδαφος εφαρμόζεται και η καλλιέργεια εκτός εδάφους είτε σε υπόστρωμα ή απευθείας σε θρεπτικό διάλυμα, τύποι δηλαδή υδροπονικών καλλιέργειών (Σάββας, 2011). Σε αυτές τις περιπτώσεις εκτός από το περιβάλλον των φύλλων ρυθμίζεται και το περιβάλλον μέσα στο οποίο αναπτύσσεται η ρίζα. Το έδαφος υποκαθίσταται από άλλα υλικά όπως ο περλίτης και οι ανάγκες των φυτών σε νερό και θρεπτικά στοιχεία καλύπτονται από τεχνητά παρασκευασμένα σκευάσματα που τους χορηγούνται. Κάνοντας χρήση υδροπονικών συστημάτων παραγωγής μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτερες ποσότητες παραγωγής και μεγαλύτερες πιθανότητες κερδών. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η μείωση των προσβολών από ασθένειες και έντομα με μικρότερη ή μηδαμινή χρήση φαρμάκων, υπάρχει καλύτερος προγραμματισμός, αυτοματοποίηση-μηχανοποίηση της παραγωγής, μείωση των αρνητικών επιπτώσεων από συνεχή εκμετάλλευση του ίδιου εδάφους για παραγωγή, καλύτερη- πιο ακριβής θρέψη και άλλα πολλά (Κατσούλας, 2017).

1.1.1 Υδροπονία

Υδροπονία είναι η εκτός εδάφους καλλιέργεια φυτών που η ρίζα τους αναπτύσσεται σε υποκατάστατο του φυσικού εδάφους προσφέροντας μηχανική υποστήριξη και τα θρεπτικά του χορηγούνται με ένα θρεπτικό διάλυμα που παρασκευάζεται από τον παραγωγό.

Τα βασικά μέρη ενός υδροπονικού συστήματος είναι:

- 1) Οι εγκαταστάσεις παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος, σε αυτές ανήκουν το σύστημα παροχής του νερού που χρειάζεται η καλλιέργεια, τα δοχεία που παρασκευάζονται τα πυκνά διαλύματα και το σύστημα αραιώσης των πυκνών με νερό για να μεταφερθεί στην συνέχεια στα φυτά.

2) Το σύστημα μεταφοράς του θρεπτικού διαλύματος που αποτελείται από αγωγούς μεταφοράς του θρεπτικού προς τα φυτά και στην συνέχεια με μικρότερους την παράδοση αυτού σε κάθε φυτό ξεχωριστά και τέλος το σύστημα συλλογής του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος από τους σάκους για την επαναχρησιμοποίηση του αν το σύστημα είναι κλειστό ή την απόρριψη του εάν είναι ανοιχτό.

3) Σάκοι ή φυτοδοχεία που είναι οι υποδοχείς των υποστρωμάτων μέσα στα οποία θα τοποθετηθούν τα φυτά. Οι σάκοι είναι φτιαγμένοι από μαλακό πλαστικό χημικά αδρανές, μη τοξικό για τα φυτά και να είναι ανθεκτικό στις συνθήκες που επικρατούν μέσα σε ένα θερμοκήπιο (όπως η υψηλή ακτινοβολία και θερμοκρασία). Το ίδιο ισχύει και για τα φυτοδοχεία (πχ γλάστρες) που θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από υλικά ανθεκτικά και να μην επηρεάζουν την ανάπτυξη του φυτού (Σάββας, 2011).

Έτσι η βασική αρχή λειτουργίας της υδροπονίας είναι η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος με την μίξη πυκνού και νερού στη δεξαμενή παρασκευής θρεπτικού και την μεταφορά του με στο σύστημα μεταφοράς στο υπόστρωμα που γίνεται η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος της καλλιέργειας. Μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος το διάλυμα απορροής θα συλλεχθεί από υδρορροές στα πλάγια των καναλιών και θα οδηγηθεί για απόρριψη στο περιβάλλον ή επαναχρησιμοποίηση μετά από την επαναφορά των χαρακτηριστικών στα επιθυμητά επίπεδα.

Εκτός από το παραπάνω σύστημα υπάρχουν και καλλιέργειες χωρίς υποστρώματα όπου οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται κατευθείαν στο θρεπτικό διάλυμα χωρίς να υπάρχει κανένα άλλο μέσο στήριξης πχ συστήματα επίπλευσης, καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT), αεροπονία όπου το ριζικό σύστημα των φυτών αιωρείται κάτω από τα φυτοδοχεία και με ειδικά ακροφύσια το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται κατευθείαν πάνω σε αυτό και η ρίζα απορροφά θρεπτικά.

Ανάλογα με τον τρόπο που διαχειρίζονται τις απορροές τα συστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανοιχτά ή κλειστά με ανοιχτά αυτά που το θρεπτικό όταν απορρέει από τον σάκο των φυτών απορρίπτεται στο περιβάλλον και κλειστά αυτά που γίνεται συλλογή των απορροών σε δεξαμενές και η επαναχρησιμοποίησή του μετά από ρύθμιση των επιθυμητών χαρακτηριστικών του (Σάββας, 2011).

Καθένα από τα δυο συστήματα έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του. Το πιο κύριο πλεονέκτημα των ανοιχτών συστημάτων είναι η ευκολία εφαρμογής τους γιατί δεν απαιτείται η συλλογή, ανάλυση και ρύθμιση των συστατικών του διαλύματος απορροής προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθεί στα φυτά, απλά οδηγείται στο εξωτερικό του θερμοκηπίου και απορρίπτεται. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί η ευκολότερη ρύθμιση του θρεπτικού διαλύματος το οποίο θα έχει πάντα τις ίδιες σταθερές ιδιότητες. Τα ανοιχτά συστήματα όμως χαρακτηρίζονται από σπατάλη τόσο του νερού και των θρεπτικών στο θρεπτικό διάλυμα που απορρίπτεται στο περιβάλλον. Έτσι εμφανίζεται ένας περιοριστικός παράγοντας γι' αυτού του τύπου συστήματος σε περιοχές με ξηρό κλίμα που τόσο η επάρκεια αλλά και η ποιότητα του νερού δεν είναι ιδανικές. Στο μέλλον με τον παράγοντα της κλιματικής αλλαγής να επηρεάζει τον τομέα αυτό ακόμα περισσότερο, θα αποτελεί ακόμα μεγαλύτερο θέμα σκέψης πριν την επιλογή του συστήματος που θα εφαρμοστεί σε ένα θερμοκήπιο. Η απόρριψη των

λιπασμάτων μέσω της απορροής στο περιβάλλον εκτός από τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο που εμφανίζει είναι και οικονομική σπατάλη διότι σπαταλούνται λιπάσματα.

Το παραπάνω είναι το κύριο θέμα που αντιμετωπίζουν με επιτυχία τα κλειστά συστήματα, καθώς η διαφυγή λιπασμάτων και η ρύπανση του περιβάλλοντος περιορίζονται, ενώ η βέλτιστη χρήση λιπασμάτων μειώνει και το κόστος λίπανσης στο θερμοκήπιο. Στα μειονεκτήματα των κλειστών συστημάτων εντάσσονται τα προβλήματα ρύθμισης των χαρακτηριστικών του θρεπτικού πριν επαναπροωθηθεί στα φυτά, καθώς και ο κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών σε όλη την καλλιέργεια αν το διάλυμα απορροής δεν απολυμανθεί σωστά κατά την επιστροφή του. Λόγω της κλιματικής αλλαγής και του ότι η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σημαντικά μειωμένη χρήση νερού και λιπασμάτων, η εφαρμογή της όλο και αυξάνεται και πολλές χώρες μάλιστα την ενθαρρύνουν με παροχή κινήτρων.

Ένα από τα πιο βασικά μέρη της υδροπονικής καλλιέργειας είναι το υπόστρωμα που θα χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει το έδαφος στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Τα υποστρώματα χαρακτηρίζονται από πολλές ιδιότητες οι οποίες λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή τους για μια καλλιέργεια. Αυτές χωρίζονται σε 1) φυσικές, 2) χημικές, 3) μικροβιολογικές (Σάββας 2011):

- 1) Στις φυσικές ιδιότητες συγκαταλέγονται η κοκκομετρική κατανομή, ολικό πορώδες, φαινομενικό ειδικό βάρος, περιεκτικότητα σε στερεά-υγρή-αέρια φάση, ειδική επιφάνεια, συγκράτηση νερού στους πόρους, η υδατοχωρητικότητα και η υδραυλική αγωγιμότητα.
- 2) Οι χημικές ιδιότητες περιλαμβάνουν την χημική σύνθεση, ανταλλακτική ικανότητα, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, περιεκτικότητα σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία.
- 3) Τέλος, σημαντικές είναι οι μικροβιολογικές ιδιότητες, δηλαδή η δυνατότητα απολύμανσης των υποστρωμάτων για τον περιορισμό παθογόνων ή σπόρων από ζιζάνια μέσα σ' αυτά.

Μια επιπλέον κατηγορία διαχωρισμού των υποστρωμάτων αφορά την προέλευσή τους, αυτά είναι τα 1) οργανικά και 2) ανόργανα υποστρώματα (Σάββας, 2011).

- 1) Τα οργανικά είναι αυτά που έχουν οργανικές ουσίες άνω του 60%. Αυτά μπορούν να είναι σύνθετης προέλευσης όπως η πολυουρεθάνη, διογκωμένη πολυστερίνη, πολυεστέρας και άλλα συνθετικά υποστρώματα. Αλλά και φυσικής προέλευσης όπως η τύρφη, κομπόστα, κόκκος, φλοιοί δέντρων, πριονίδι ή μείγμα κάποιον από τα παραπάνω.
- 2) Τα ανόργανα χωρίζονται σε χημικά αδρανή (πλήρης έλεγχος θρεπτικού διαλύματος) και χημικά ενεργά. Χημικά αδρανή υποστρώματα είναι η άμμος, χαλίκι, πετροβάμβακας, υαλοβάμβακας, περλίτης, ελαφρόπετρα, διογκωμένη άργιλος και χημικά ενεργά ο βερμικουλίτης, ζεόλιθος, σκωρία.

Τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα είναι ο περλίτης, και ο πετροβάμβακας. Ο περλίτης είναι ένα αργιλοπυριτικό ηφαιστειακό πέτρωμα (οι επεξεργασμένοι κόκκοι του οποίου χρησιμοποιούνται στην υδροπονία (Κατσούλας, 2021)). Οι κόκκοι αυτοί είναι λευκού χρώματος, έχουν διάμετρο 1,5 – 3 mm και περιέχουν 2-6 % κρυσταλλικό νερό. Έχει ολικό πορώδες περί το 95% και ειδικό βάρος 70-80 kg/m³. Ο πετροβάμβακας είναι ένα

ανόργανο ινώδες υλικό που προέρχεται από θερμική επεξεργασία πρώτων υλών (ασβεστόλιθος, γαιάνθρακας και βαλσάτης). Μετά την επεξεργασία τους παίρνουν την τελική τους μορφή είτε ως κύβοι (για σπορόφυτα), είτε ως πλάκες (για καλλιέργεια). Το ολικό πορώδες του είναι 96% και το ειδικό του βάρος 90-100 kg/m³(Κατσούλας, 2021).



Εικόνα 1 Περγίτης που χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα φυτών (Πηγή <https://www.energieagentur.nrw>)



Εικόνα 2 Πετροβάμβακας σε μορφή πλάκας (Πηγή: <https://www.horticulture.com/>)



Εικόνα 3 Πετροβάμβακας σε μορφή κύβων (Πηγή <https://www.horticulture.com/>)

1.1.2 Ενυδραιοπονία

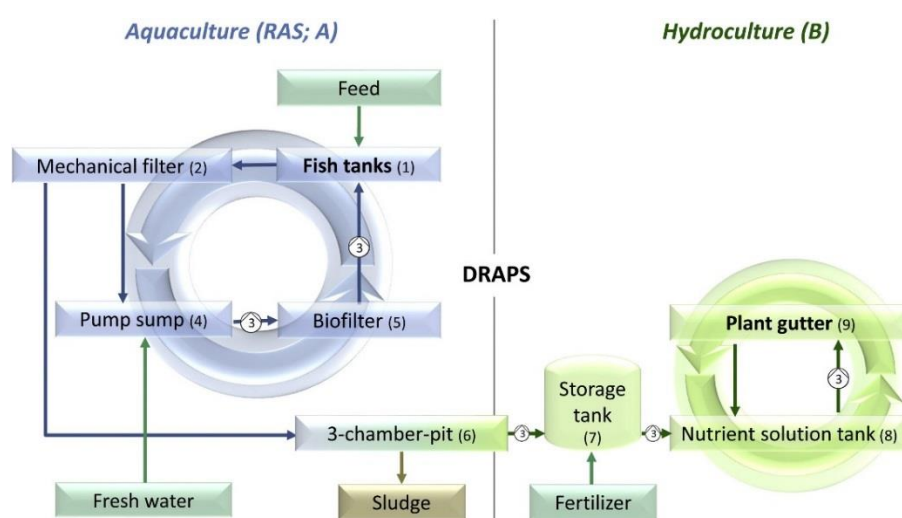
Τα συστήματα ενυδραιοπονίας συνδυάζουν την ταυτόχρονη εκτροφή ψαριών (ιχθυοκαλλιέργεια) και την καλλιέργεια φυτών (υδροπονία) σε ένα ενιαίο σύστημα. Είναι μια μορφή βιολογικής γεωργίας και όπως αναμένεται με τις σχεδιαζόμενες αλλαγές της νομοθεσίας, τα προϊόντα που παράγονται με αυτή την μέθοδο σύντομα θα θεωρούνται βιολογικά και θα πωλούνται ως τέτοια. Η βασική αρχή της ενυδραιοπονίας είναι η θρέψη των φυτών μέσω των συστατικών που κυκλοφορούν στο νερό του συστήματος, απορρέοντας από το σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας. Με τη μεσολάβηση νιτροποιητικών βακτηρίων η αμμωνία που παράγεται από το μεταβολισμό των ψαριών και τα συστατικά της τροφής που δεν καταναλώθηκε από τα ψάρια μετατρέπονται σε χρήσιμες για τα φυτά μορφές (νιτρικά ιόντα). Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θρεπτικά συστατικά για τα φυτά στο σύστημα της υδροπονίας. Η ενυδραιοπονία με τον προαναφερθέντα τρόπο οδηγεί σε μείωση της χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων που χαρακτηρίζουν τις παραδοσιακές τεχνικές της γεωργίας και υδροπονίας. Ένα άλλο πλεονέκτημα της ενυδραιοπονίας που στις μέρες μας και στο μέλλον θα είναι από τα πιο σημαντικά για όποια μορφή καλλιέργειας μιλάμε, είναι αυτό της εξοικονόμησης του νερού. Η κάλυψη των αναγκών για τροφή και παράλληλα η μείωση του διαθέσιμου νερού για τις καλλιέργειες οδηγεί την παγκόσμια κοινότητα σε εύρεση νέων μεθόδων ανακύκλωσης του νερού και των θρεπτικών που χρησιμοποιούνται (Wongkiew et al., 2017).

Από πλευράς μειονεκτημάτων πρώτο και βασικό είναι αυτό του αρχικού κόστους εγκατάστασης. Έπειτα αξίζει να σημειωθούν οι απαιτήσεις σε εξειδικευμένο προσωπικό τόσο στον τομέα των ψαριών όσο και αυτών της καλλιέργειας και των όλων συστημάτων. Ακόμα εκτός από τις ασθένειες της καλλιέργειας και τις σωστές συνθήκες που πρέπει να επιτευχθούν γι' αυτή στο θερμοκήπιο, υπάρχουν και οι παράγοντες του περιβάλλοντος των ψαριών (όπως η θερμοκρασία του νερού, το pH του και η σύστασή του), οι ασθένειες των ψαριών που μπορεί να προκύψουν και η οικονομική ζημιά που θα προκύψει αν αυτά προσβληθούν (διότι επηρεάζεται άμεσα και η παραγωγή της καλλιέργειας σε ένα βαθμό).

Υπάρχουν δυο τύποι ενυδραιοπονικών συστημάτων που εφαρμόζονται σε μεγάλη κλίμακα, α) ο ένας είναι όμοιος με τα ανοιχτά συστήματα υδροπονίας δηλαδή σύστημα επίπλευσης πάνω στο νερό και οι ρίζες να αναπτύσσονται απευθείας μέσα στο νερό, και β) ο δεύτερος είναι όμοιος με τα κλειστά συστήματα υδροπονίας που γίνεται χρήση υποστρωμάτων για την ανάπτυξη των ριζών και τα θρεπτικά τους παρέχονται με θρεπτικό διάλυμα νερού.

A) Στην περίπτωση των ανοιχτών συστημάτων τα φυτά επιπλέουν πάνω από το ενυδρείο των ψαριών πάνω σε φελιζόλ. Επειδή το νερό δεν είναι τρεχούμενο μπορούν να δημιουργηθούν συνθήκες έλλειψης οξυγόνου στις ρίζες των φυτών και έτσι κρίνεται απαραίτητη η χρήση μέσων για οξυγόνωση του νερού. Το βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού είναι η απλότητά του και οι μικρές του απαιτήσεις αλλά το αρνητικό είναι ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν λιπάσματα γιατί θα βλάψουν τα ψάρια. Με αυτό το σύστημα καλλιεργούνται κυρίως μαρούλι και αρωματικά φυτά.

Β) Στα κλειστού τύπου συστήματα το νερό από την δεξαμενή των ψαριών αντλείται σε μια δεύτερη δεξαμενή με βιολογικό και μηχανικό φίλτρο και στην συνέχεια διοχετεύεται προς τα υποστρώματα των φυτών. Αυτό είναι το πιο κοινό σύστημα που χρησιμοποιείται (Pantarella et al., 2015). Επειδή τα απόβλητα των ψαριών περιέχουν αμμωνία η οποία είναι τοξική για τα ίδια, το νερό στην δεξαμενή τους οδηγείται για καθαρισμό με την βοήθεια μηχανικών φίλτρων και νιτροποιητικών βακτηρίων *Nitrosomonas sp* και *Nitrobacter sp*. Αυτά μετατρέπουν την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σύστημα υδροπονίας ως λίπασμα (Walker et al. 2001). Το καθαρό νερό επιστρέφεται στις δεξαμενές των ψαριών και συμπληρώνεται ενώ μέρος του οδηγείται προς άλλη δεξαμενή που πρόκειται να γίνει η συμπλήρωση των θρεπτικών που απαιτούνται και εν συνεχεία θα οδηγηθεί στα φυτά.



Εικόνα 4: Σύστημα aquaponics (Πηγή: Suhl et. al, 2016)

Ένα από τα μειονεκτήματα της ενυδρείοπονίας είναι ότι δεν παρέχονται στα φυτά επαρκείς ποσότητες από συγκεκριμένα θρεπτικά, όπως το K, Fe, Ca. Έτσι σε αρκετές περιπτώσεις απαιτητικών καλλιεργειών γίνεται συμπλήρωση κάποιων συστατικών.

1.1.3 Κλίμακα συστημάτων

Τα συστήματα ενυδρείοπονίας μπορούν να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν ανάλογα με τον διαθέσιμο χώρο και τις απαιτήσεις. Εκτός από τις μεγάλες επιχειρήσεις που προσανατολίζονται για εμπόριο, μικρότερα συστήματα σε οικιακή κλίμακα είναι αρκετά εύκολο να σχεδιαστούν και να συντηρηθούν για παραγωγή τροφίμων για το σπίτι (Pineda et al., 2018). Συστήματα με μια απλή δεξαμενή 1000 λίτρων για τα ψάρια και μια επιφάνεια 3 τετραγωνικών μέτρων για την καλλιέργεια των φυτών είναι αρκετά για την κάλυψη των αναγκών μιας οικογένειας σε λαχανικά και βότανα (Caceres et al., 2021). Τα συστήματα αυτής της κλίμακας είναι και αυτά που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ετερογένεια, τα σχέδια, τα είδη των ψαριών και η ταυτόχρονη καλλιέργεια

ειδών φυτών μπορούν να είναι διαφορετικά από το ένα σύστημα στο άλλο. Για την εφαρμογή σε αυτή την μικρή κλίμακα δεν απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις.

Από την άλλη, τα συστήματα εμπορικής κλίμακας χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο βαθμό πολυπλοκότητας γι' αυτό και χρησιμοποιείται ένα είδος ψαριού για την ανάπτυξη ενός είδους καλλιέργειας την φορά.



Εικόνα 5 Ενυδρειοπονία σε μικρή κλίμακα (Πηγή <https://en.wikipedia.org/wiki/Aquaponics>)



Εικόνα 6 Ενυδρειοπονία σε μεγαλύτερη κλίμακα (Πηγή <https://eu.rgi.com/>)

1.1.4 Είδη ψαριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν

Η ενυδρειοπονία απαιτεί ψάρια που παρουσιάζουν αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης έτσι ώστε να μπορεί να υποστηριχθεί επαρκής βιομάζα της καλλιέργειας (Nakphet et al., 2017). Τα δυο πιο διαδεδομένα είδη είναι η τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) (Εικόνα 6) και το γαλαζολιόψαρο (*Lepomis macrochirus*) (Εικόνα 7), ενώ άλλα είδη που η χρήση τους είναι μικρότερη είναι η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*), γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*) και ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*).

Η τιλάπια είναι το πιο διαδεδομένο παγκοσμίως χάρη στην ταχεία ανάπτυξή του και στις αντοχές του σε πολλές αλλαγές στις συνθήκες του νερού όπως η θερμοκρασία και το οξύγονο.



Εικόνα 7: Τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) (Πηγή <https://en.wikipedia.org/>)



Εικόνα 8: Γαλαζολιόψαρο (*Lepomis macrochirus*) (Πηγή: SunlandWaterGardens.com)

1.1.5 Είδη φυτών στην ενυδραιοπονία

Η επιλογή μιας καλλιέργειας για εγκατάσταση εξαρτάται από το σύστημα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και από το είδος και την ποσότητα των ψαριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (Knaus and Palm, 2017).

Τα πιο διαδεδομένα είδη γι' αυτή την μέθοδο καλλιέργειας είναι τα αρωματικά και φυλλώδη λαχανικά όπως

- το μαρούλι (*Lactuca sativa*),
- το σπανάκι (*Spinacia oleraceai*),
- ο μαϊντανός (*Petroselinum crispum*),
- ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*),
- η τομάτα (*Solanum lycopersicum L.*),
- η πιπεριά (*Capsicum sp.*),
- το αγγούρι (*Cucumis sativus*)
- τα φασόλια (*Phaseolus vulgaris*) (Somerville et al., 2014).

1.1.6 Υποστρώματα στην ενυδραιοπονία

Σε γενικές γραμμές όλα τα υποστρώματα που είναι κατάλληλα για την εκάστοτε καλλιέργεια στην υδροπονία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην ενυδραιοπονία ανάλογα πάντα και με τον τύπο συστήματος που έχει σχεδιαστεί. Για παράδειγμα αν δεν υπάρχει βιολογικό φίλτρο για το νερό (δηλαδή ειδικό υλικό που φιλοξενεί μικροοργανισμούς που απομακρύνουν την αμμωνία καθιστώντας τη διαθέσιμη για τα φυτά), το υπόστρωμα πρέπει να παίζει αυτό το ρόλο. Επομένως, χρειάζεται ένα υπόστρωμα με αρκετή επιφάνεια γι' αυτό και τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είναι ο περλίτης και ο πετροβάμβακας.

1.2 Αποζευγμένη ενυδραιοπονία

Η κλασική, συζευγμένη ενυδραιοπονία που αναλύθηκε παραπάνω φέρει το μειονέκτημα της έλλειψης λίγων αλλά βασικών θρεπτικών για τα φυτά. Μία νέα τεχνική που λέγεται αποζευγμένη ενυδραιοπονία βελτιώνει το μειονέκτημα αυτό καθώς συνδυάζει την κλασική υδροπονία και την ενυδραιοπονία. Το νερό που προέρχεται από τις δεξαμενές των ψαριών, μετά την διόδό του από το φίλτρο των βακτηρίων αναλύεται για να προσδιοριστεί η περιεκτικότητά του στα απαραίτητα για το φυτό θρεπτικά στοιχεία. Με βάση τις αναλυτικές αυτές μετρήσεις καθορίζεται ποια επιπλέον θρεπτικά χρειάζεται να προστεθούν ώστε να έχει χαρακτηριστικά παρόμοια με το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιείται στην υδροπονία για την εκάστοτε καλλιέργεια. Αφού συμπληρωθούν τα θρεπτικά αυτά, το νερό στην συνέχεια προωθείται στα φυτά. Η τεχνική αυτή δεν διαφέρει στη αρχή λειτουργίας της από την τεχνική που χρησιμοποιείται σε ένα κλειστό σύστημα υδροπονίας όπου η απορροή αναλύεται προσαρμόζεται και επαναδιοχετεύεται προς την καλλιέργεια. Εντούτοις, καθώς χρησιμοποιεί το νερό της ιχθυοκαλλιέργειας με τα θρεπτικά που αυτό ήδη φέρει, μειώνει σημαντικά την ποσότητα των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί μια επιπλέον πηγή κέρδους για τον παραγωγό, την ιχθυοκαλλιέργεια.

1.3 Η τομάτα

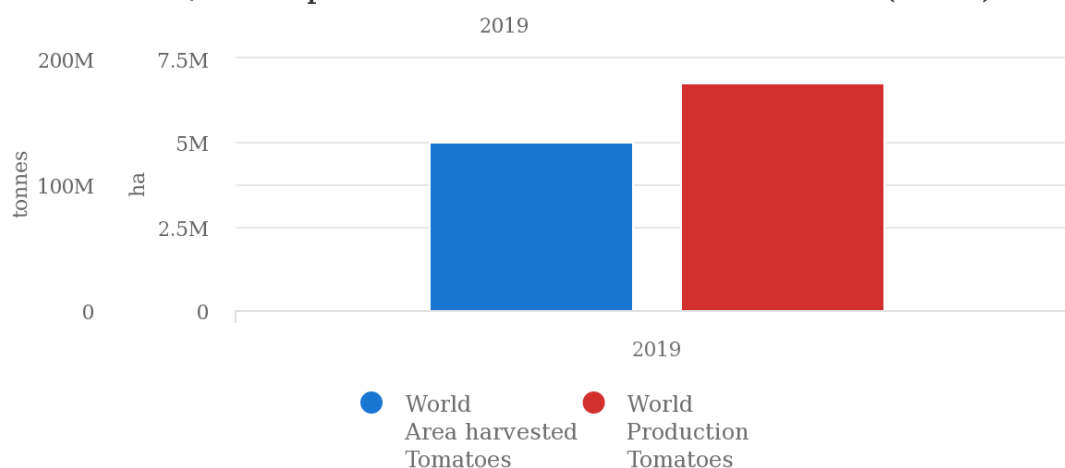
Η τομάτα (*Solanum lycopersicum L.*) είναι ένα ετήσιο φυτό της οικογένειας των σολανωδών (*Solanaceae*) το οποίο καλλιεργείται για τον καρπό της. Ο καρπός μπορεί να καταναλωθεί φρέσκος, αποξηραμένος ή σε πολτό, ως χυμός ή σε σκόνη εφοδιάζοντας τον οργανισμό με βιταμίνες και ουσίες υψηλής αντιοξειδωτικής ικανότητας όπως το λυκοπένιο, το β-καροτένιο, ασκορβικό οξύ και πολλές ακόμα. Είναι το λαχανικό που καταναλώνεται στις μεγαλύτερες ποσότητες παγκοσμίως αμέσως μετά από την πατάτα (FAOSTAT, 2021) και συναντάται σχεδόν σε όλους του λαχανόκηπους. Η περιοχή προέλευσή της είναι το Μεξικό (Κατσογιάννη, 2010), ήρθε στην Ευρώπη για πρώτη φορά τον 16^ο αιώνα και ταξινομήθηκε το 1753 από τον βοτανολόγο Κάρολο Λινναίο με το επιστημονικό όνομα *Solanum Lycopersicum* (Bergougroux, 2014). Στην Ελλάδα εισήχθη ως κηπευτική καλλιέργεια από τον Φραγκίσκο Μονιέ, μοναχό της μονής των Καπουτσίνων στην Αθήνα (Αγγίδης, 1996) και αρχικά είχε περιορισμένη επιτυχία γιατί ως τον 20^ο αιώνα επικρατούσε η λανθασμένη άποψη ότι ήταν τοξική εξαιτίας την περιεκτικότητας των φύλλων του φυτού σε σολανίνη που είναι τοξική για τον άνθρωπο.

1.4 Η καλλιέργεια σήμερα

Στις μέρες μας η καλλιέργεια τομάτας είναι εντατική, μπορεί να γίνει εντός εποχής στο έδαφος είτε σε θερμοκήπια για επίτευξη μεγαλύτερων αποδόσεων και εκτός εποχής αποκλειστικά σε θερμοκήπια ή άλλες κατασκευές υπό κάλυψη.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο οργανισμό τροφίμων και γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) κατά το 2019 η συνολική έκταση καλλιεργειών με τομάτα παγκόσμια έφτασε τα 5.030.545 εκτάρια (ha) και η συνολική παραγωγή τους 180.766.329 τόνους (FAOSTAT, 2021).

Production/Yield quantities of Tomatoes in World + (Total)

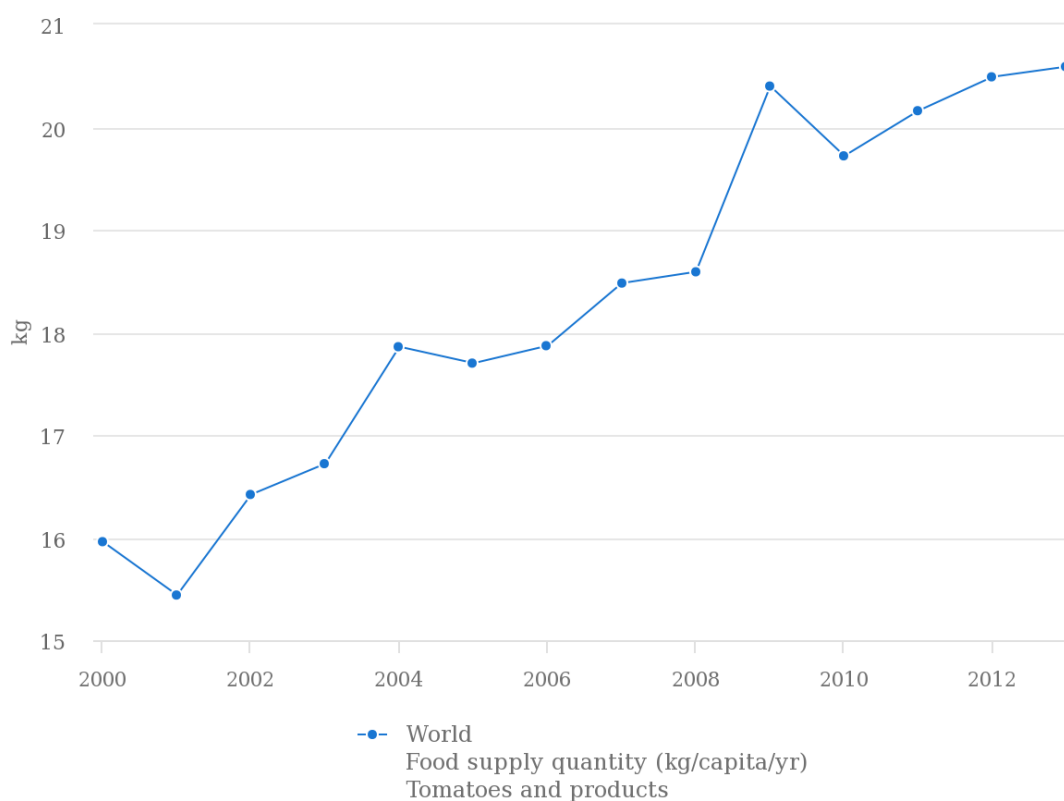


Source: FAOSTAT (Aug 30, 2021)

Εικόνα 9: Παγκόσμια έκταση και παραγωγή καλλιέργειας τομάτας το 2019 (FAOSTAT, 2021)

Η ελκυστικότητα της τομάτας για κατανάλωση αποτυπώνεται στην ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης σε παγκόσμια κλίμακα (Εικόνα 2). Σύμφωνα με τα στοιχεία του

FAOSTAT, μέσα σε 12 μόλις χρόνια η μέση κατανάλωση ενός ατόμου έχει φτάσει σχεδόν τα 21 κιλά το χρόνο σε σχέση με τα 16 το 2000.

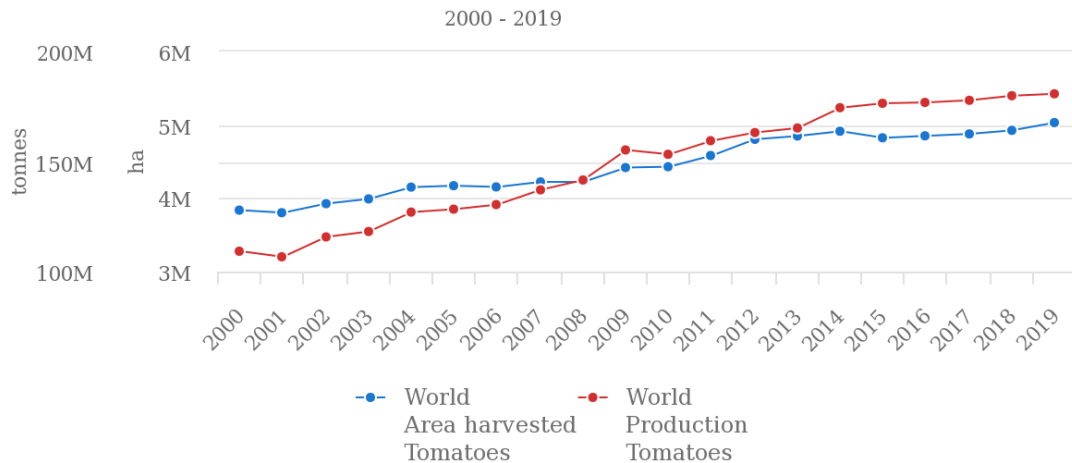


Source: FAOSTAT (Aug 30, 2021)

Εικόνα 10: Η μέση ετήσια κατανάλωση της τομάτας σε κιλά/άτομο από το 2000 ως το 2012 (FAOSTAT, 2021)

Με την κατανάλωση να αυξάνεται συνεχώς λογικό είναι να αυξάνονται και οι εκτάσεις της καλλιέργειας και οι παραγόμενες ποσότητες. Σε αυτό βοηθούν και οι εισαγωγές νέων τεχνικών καλλιέργειας, φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων, λιπασμάτων και τεχνολογιών όπως αυτή των θερμοκηπίων που κάνουν την καλλιέργεια πιο εύκολη και παραγωγική. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό από τα στοιχεία που δημοσιεύει ο FAO, σύμφωνα με τα οποία μέσα σε 20 χρόνια οι εκτάσεις καλλιέργειας αυξήθηκαν κατά περισσότερο από 1.000.000 εκτάρια και η παραγωγή την αντίστοιχη περίοδο αυξήθηκε περισσότερο από 50.000.000 τόνους (FAOSTAT, 2021).

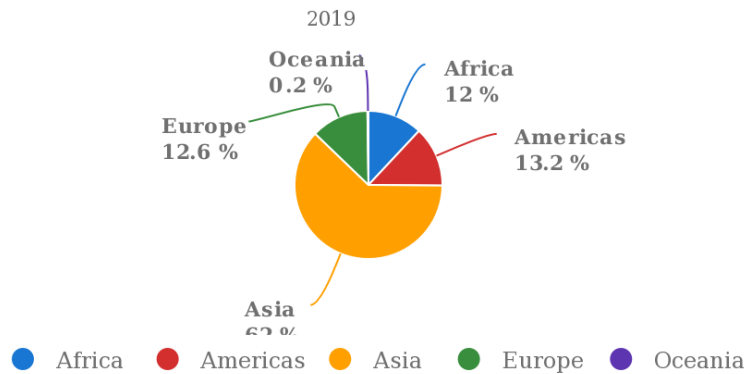
Production/Yield quantities of Tomatoes in World + (Total)



Εικόνα 11: Η αύξηση των εκτάσεων και παραγωγής των καλλιιεργειών τομάτας από το 2000 ως το 2019 (FAOSTAT, 2021)

Αυτή η μεγάλη αύξηση στις εκτάσεις καλλιέργειας και σε παραγωγή ίσως θα μπορούσε να εξηγηθεί με την δυναμική είσοδο στον τομέα μεγάλων χωρών της Ασίας όπως η Κίνα και η Ινδία, παρόλο που πριν 20 χρόνια η Ευρώπη και οι χώρες της Αμερικής κυριαρχούσαν την παγκόσμια παραγωγή.

Production share of Tomatoes by region



Εικόνα 12: Κατανομή παγκόσμιας παραγωγής τομάτας το 2019 (FAOSTAT, 2021)

1.5 Η καλλιέργεια στην Ελλάδα

Σύμφωνα την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ, 2019) η συνολική παραγωγή των καλλιεργειών τομάτας στην χώρα άγγιξε τους 753,3 χιλιάδες τόνους το 2019 και τις 132.153 στρέμματα. Από αυτά τα 50.678 στρέμματα και οι 354.747 τόνοι είναι της βιομηχανικής τομάτας, 57.018 στρέμματα οι τομάτες υπαίθρου με 162.934 τόνους παραγωγής και 24.457 στρέμματα θερμοκηπιακών καλλιεργειών με 235.598 τόνους παραγωγής. Η Ελλάδα και γενικά οι χώρες την μεσογειακής λεκάνης είναι αυτές που εμφανίζουν τις μεγαλύτερες καταναλώσεις σε παγκόσμια κλίμακα σε ποσότητες μεγαλύτερες του διπλάσιου. Σύμφωνα με στοιχεία του FAO, η μέση κατανάλωση στην Ελλάδα ήταν 55,42 κιλά τομάτας ανά άτομο, ενώ ο παγκόσμιος μέσος όρος ήταν 21,17 κιλά (FAOSTAT, 2021).

1.6 Βοτανικοί χαρακτήρες

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum*) είναι το πιο διαδεδομένο φυτό της οικογένειας των Σολανωδών (*Solanaceae*) μαζί με την πατάτα. Είναι φυτό ποώδες και καλλιεργείται ως ετήσιο στην υπαίθρο στο έδαφος ή σε καλλιέργειες εκτός εδάφους. Το ύψος του μπορεί να διαφέρει ανάμεσα στις πολλές ποικιλίες που υπάρχουν. Για παράδειγμα οι ποικιλίες απεριόριστης ανάπτυξης μπορούν να φτάσουν και τα 10 μέτρα και φυσικά τέτοιες προτιμώνται για θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις. Για καλλιέργεια έξω προτείνονται οι ποικιλίες με νάνα χαρακτηριστικά ή οι αυτόκλαδευόμενες που είναι πιο εύκολες στην διαχείρισή τους.



Εικόνα 13: Φυτό τομάτας (Προσωπικό αρχείο)

Η ρίζα της έχει θυσσανώδη μορφή και εντοπίζεται κατά κύριο λόγο στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους. Έχει ένα κεντρικό συμπαγή βλαστό πάνω στον οποίο συναντώνται τα φύλλα, στις μασχάλες των οποίων σχηματίζονται οφθαλμοί που μπορούν να δώσουν πλάγιους βλαστούς και οι ταξιανθίες. Τα φύλλα είναι σύνθετα και αναπτύσσονται ελικοειδώς πάνω στο βλαστό αποτελούμενα από ζεύγη φυλλαρίων (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Η παραγωγή προκύπτει από τις ταξιανθίες που αποτελούνται από 4-12 άνθη και εμφανίζονται πάνω στο βλαστό κατά μέσο όρο ανά 3 φύλλα. Τα άνθη αυτά είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους αυτογονιμοποιούμενα και σε ένα μικρό ποσοστό υπάρχει σταυρογονιμοποίηση με την βοήθεια του ανέμου και των εντόμων.

Οι καρποί στην ουσία είναι μια ράγα που προκύπτει από τα καρπόφυλλα της ωθήκης και ανάλογα από τον αριθμό αυτών (2-25) οι καρποί χωρίζονται σε δίχωρους, που έχουν συνήθως πιο στρογγυλό σχήμα και αποτελούνται από δύο χώρους-χωρίσματα και πολύχωρους με περισσότερους από τρεις χώρους και σχήμα πιο ακανόνιστο (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Ανατομικά αποτελείται, από έξω προς τα μέσα, από το εξωκάρπιο ή αλλιώς φλοιό, το περικάρπιο ή σάρκα, τον πλακούντα που περιβάλλεται από ένα ζελατινώδες υγρό και τους σπόρους. Το χρώμα αποτελεί το πιο σημαντικό εξωτερικό χαρακτηριστικό του καρπού γιατί από αυτό μπορεί να καθοριστεί το στάδιο της ωρίμανσής του και να επηρεάσει την απόφαση του καταναλωτή κατά την αγορά (Camelo and Gomez, 2004). Το χρώμα ή καλύτερα η μεταβολή που αυτό παρουσιάζει κατά την ωρίμανση του καρπού είναι αποτέλεσμα την σύνθεσης ουσιών όπως το λυκοπένιο και το β-καροτένιο και της μετατροπής των χλωροπλάστων σε χρωμοπλάστες (Fraser et al., 1994).



Εικόνα 14: Καρποί τομάτας

1.7 Απαιτήσεις σε κλίμα και έδαφος

Γενικά η τομάτα είναι φυτό που καλλιεργείται κατά τις θερμές περιόδους του έτους, ωστόσο η εισαγωγή νέων ποικιλιών και υβριδίων με αυξημένη ανθεκτικότητα, διευρύνει όλο και περισσότερο το εποχιακό όριο και τους γεωγραφικούς περιορισμούς που υπάρχουν. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες είναι της τάξης των 21-25 βαθμών την μέρα και 13-16 °C την νύχτα (Χα και Πετρόπουλος, 2014) ενώ με διαφορά μέρας νύχτας της τάξης των 4-5°C παρουσιάζει την ταχύτερη βλαστική ανάπτυξη. Αυτές οι απαιτήσεις σε θερμοκρασία μπορούν να επιτευχθούν εύκολα σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις που κάνουν την καλλιέργεια εκτός εποχής ευρέως διαδεδομένη.

Σε ότι αφορά τα χαρακτηριστικά του εδάφους η τομάτα μπορεί να καλλιεργηθεί σε σχεδόν όλους τους τύπους εδαφών (ελαφρά, βαριά και μέσης σύστασης), αρκεί να παρουσιάζουν καλή αποστράγγιση. Η καλύτερη απόδοση εμφανίζεται ωστόσο σε εδάφη με υψηλή υδατοϊκανότητα, καλή αποστράγγιση και πλούσια σε οργανική ουσία όπως τα αμμοπηλώδη και πηλοαμμώδη εδάφη (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

1.8 Σκοπός της εργασίας

Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, η ενυδρειοπονία έχει μελετηθεί έως τώρα εντατικά για την καλλιέργεια φυλλωδών λαχανικών και αρωματικών φυτών. Ωστόσο, η καλλιέργεια τομάτας δεν έχει μελετηθεί εκτενώς, λόγω κυρίως των απαιτήσεων της τόσο σε χώρο (προϋποθέτει οργανωμένο θερμοκήπιο), όσο και της μεγάλης χρονικής διάρκειας της καλλιέργειας. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η συγκριτική μελέτη των αναπτυξιακών αποκρίσεων και βιοχημικών χαρακτηριστικών του φυτού τομάτας, αλλά και της ποιότητας των καρπών της όταν αναπτύσσεται σε συστήματα υδροπονίας και ενυδρειοπονίας. Ταυτόχρονα μελετήθηκε η πιθανή διαφοροποίηση των προς μελέτη χαρακτηριστικών όταν τα συστήματα ενυδρειοπονίας είναι συζευγμένα και αποζευγμένα.

2 Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Γενικά

Το πείραμα διεξήχθη στο πιλοτικό θερμοκήπιο ενυδρειοπονίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος στο Βελεστίνο Μαγνησίας από 15 Μαρτίου ως 12 Ιουλίου 2021.

2.2 Το θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο ήταν με στέγη γοθτικού τύπου έκτασης 440m² με κάλυψη διαφανούς πολυκαρβονικής επιφάνειας και ύπαρξη υγρής παρειάς στην μια πλευρά του. Μέσα υπήρχαν 18 κανάλια για τους σάκους φύτευσης μαζί με όλο τον εξοπλισμό που απαιτείται για την λειτουργία ενός υδροπονικού θερμοκηπίου. Βάση του σχεδιασμού του θερμοκηπίου τα πρώτα 12 κανάλια είχαν χώρο για 8 σάκους υποστρώματος διογκωμένου περλίτη το καθένα και τα τελευταία 6 από 7 σάκους. Εσωτερική στο θερμοκήπιο βρίσκεται η αίθουσα με τον κεντρικό υπολογιστή και τις 3 δεξαμενές των ψαριών, μαζί με τα φίλτρα και την δεξαμενή συγκέντρωσης του φιλτραρισμένου νερού των ψαριών πριν χρησιμοποιηθεί για την άρδευση των φυτών. Τα ψάρια που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα ήταν η κόκκινη τιλάπια του γένους *Oreochromis sp.* ο πληθυσμός της οποίας προήλθε από αναπαραγωγή στο Εργαστήριο Ενυδρειοπονίας της Γεωπονικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

2.3 Πειραματικός σχεδιασμός

Τρεις μεταχειρίσεις εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια τομάτας (*Lycopersicon esculentum*) της ποικιλίας Kabrega Δ50:

- 1) υδροπονική καλλιέργεια (HP) με πρότυπη συνταγή του Σάββα (2011) ειδική για την τομάτα. Αυτή η μεταχείριση αντιπροσώπευε τον μάρτυρα του πειράματος. Οι απορροές του συστήματος αυτού απορρίπτονταν λόγω της περιεκτικότητάς του σε λιπάσματα, πολλά των οποίων τοξικά για τα ψάρια.
- 2) συζευγμένη ενυδρειοπονία (AQ), κατά την οποία νερό από τις δεξαμενές των ψαριών περνούσε από μηχανικό φίλτρο για την αφαίρεση των στερεών αποβλήτων και στην συνέχεια από βιολογικό φίλτρο πριν οδηγηθεί σε μια μεγάλη δεξαμενή αποθήκευσης. Από εκεί οδηγούνταν κατευθείαν στα φυτά της μεταχείρισης με μία διόρθωση στο pH χωρίς όμως προσθήκη θρεπτικών. Η απορροή των καναλιών της μεταχείρισης αυτής συλλέγονταν και επέστρεφε

πίσω στις δεξαμενές των ψαριών, διαμορφώνοντας ένα τελείως κλειστό σύστημα.

- 3) αποξευγμένη ενυδρειοπονία (CAP), η οποία ήταν ουσιαστικά ο συνδυασμός των δυο άλλων μεθόδων. Στο φιλτραρισμένο νερό της ιχθυοκαλλιέργειας εισάγονταν λιπάσματα μέχρι να επιτευχθούν οι πρότυπες συγκεντρώσεις της υδροπονικής συνταγής. Παράλληλα διορθώνονταν η τιμή pH παρομοίως με την μεταχείριση AQ. Για τον καθορισμό της συγκέντρωσης των θρεπτικών που απαιτούνταν να προστεθούν στο νερό πριν την χρήση του για άρδευση, γίνονταν αναλύσεις στο νερό των ψαριών κάθε βδομάδα. Η απορροή και αυτής της μεθόδου όπως και της υδροπονίας απορρίπτονταν στο περιβάλλον γιατί η περιεκτικότητά της σε λιπάσματα ήταν τοξική για τα ψάρια.

Τα 18 κανάλια χωρίστηκαν σε 3 επαναλήψεις στο χώρο (Εικόνα 15) με 6 κανάλια σε κάθε μια. Σε κάθε επανάληψη υπήρχαν δύο κανάλια ανά μεταχείριση, επομένως 6 κανάλια ανά μεταχείριση στο σύνολο. Οι μέθοδοι καλλιέργειας ήταν εναλλάξ τοποθετημένες μεταξύ τους (υδροπονία-ενυδρειοπονία-cap).

Σπορόφυτα τομάτας τοποθετήθηκαν στους σάκους περλίτη με πυκνότητα φύτευσης 3,78 φυτά ανά τετραγωνικό. Σε κάθε σάκο ανοίχθηκαν 4 θέσεις φύτευσης, οι 3 από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την φύτευση των φυτών τομάτας. Δίπλα σε κάθε φυτό καρφώθηκαν τα σωληνάκια για άρδευση πάνω στα οποία δέθηκαν και τα σχοινιά που θα χρησιμοποιούνταν στο μέλλον για την στήριξη των φυτών.

2.4 Καλλιεργητικές φροντίδες

Οι καλλιεργητικές φροντίδες που εφαρμόστηκαν περιορίστηκαν στο κλάδεμα, την υποστύλωση των φυτών και σε 3 εφαρμογές μείγματος σκευασμάτων για την πρόληψη προσβολών από εχθρούς είτε εντομολογικούς είτε μυκητολογικές προσβολές. Το μείγμα αυτό περιλάμβανε (Red Bloc sw 25ml/10L, BOND 1ml/10L, Disper CU 15g/10L, Lepinox plus 15g/10L).

Η στήριξη έγινε με πλαστικά κλιπ που συγκρατούσαν το φυτό πάνω στο κατακόρυφο σχοινί στήριξης



Εικόνα 17: Πλαστικά κλιπ στήριξης

Το κλάδεμα που εφαρμόστηκε ήταν η αφαίρεση των πλευρικών βλαστών για την αποφυγή της αύξησης της πυκνότητας βλάστησης, τον καλύτερο φωτισμό των φυτών και την δημιουργία καλής ποιότητας καρπών. Όταν η καλλιέργεια έφτασε σε πιο προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης αφαιρέθηκαν επίσης τα χαμηλότερα φύλλα και τα φυτά ‘ξαπλώνονταν’.

Για την αύξηση της απόδοσης και μεγαλύτερα ποσοστά δεσίματος των ανθών στο χώρο του θερμοκηπίου τοποθετήθηκε στις 21/4/2021 μια κυψέλη με βομβίνους (*Bombus terrestris*). Παρόλο που η τομάτα είναι είδος αυτεπικονιαζόμενο σε πολλές περιπτώσεις σε συνθήκες θερμοκηπίου παρατηρούνται προβλήματα στην καρπόδεση και απαιτούν από τον παραγωγό την χρήση δονητών ή την χρήση καρποδετικών ορμονών αυξάνοντας έτσι το κόστος παραγωγής. Οι βομβίνι λύνουν το πρόβλημα αυτό με πιο οικονομικό και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.



Εικόνα 18: Βομβίνος σε λουλούδι τομάτας

Επίσης, για την καταπολέμηση της τούτας είχαν κρεμαστεί κολλητικές παγίδες παρακολούθησης του πληθυσμού του εντόμου στο χώρο του θερμοκηπίου. Καθώς δεν ήταν δυνατή η χρήση εντομοκτόνου, τόσο λόγω των ψαριών όσο και λόγω των βομβίνων που υπήρχαν στο θερμοκήπιο, ο πληθυσμός της τούτας ελέγχθηκε δυο μεγάλα κολλητικά φίλμ ανάμεσα στις κολώνες στήριξης του θερμοκηπίου.



Εικόνα 19: Προσβολή τούτας σε φύλλο τομάτας

2.4.1 Φροντίδα ψαριών

Εκτός από την φροντίδα της καλλιέργειας, στις καθημερινές εργασίες ήταν και η φροντίδα των ψαριών που κυρίως περιλαμβάνει το τάισμα τους. Τα ψάρια ταιΐζονταν βάση προγράμματος και κάθε φορά η τροφή ζυγίζονταν πριν τους δοθεί για να γνωρίζουμε τις 'εισροές' στο σύστημα ενυδρείοπονίας.



Εικόνα 200: Τροφή ψαριών που εφαρμόστηκε κατά το πείραμα



Εικόνα 211: Τάισμα ψαριών

2.5 Μετρήσεις

2.5.1 Προγραμματισμός μετρήσεων

Κατά τον αρχικό σχεδιασμό της πειραματικής διαδικασίας δημιουργήθηκε και το πρόγραμμα των καταστροφικών μετρήσεων που θα λάμβαναν χώρα στο χώρο του θερμοκηπίου. Ο προγραμματισμός τους ήταν όπως φαίνεται παρακάτω

Πίνακας 1: Προγραμματισμός Καταστροφικών Μετρήσεων

D11	D25	D39	D53	D67	D88	D102	D116
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ
26-Μαρ	9-Απρ	23-Απρ	7-Μαΐ	21-Μαΐ	11-Ιουν	24-Ιουν	8-Ιουλ

Οι καταστροφικές δειγματοληψίες λάμβαναν χώρα κάθε περίπου δυο εβδομάδες και περιλάμβαναν μετρήσεις του νωπό βάρους των φύλλων, το ξηρό βάρους των φύλλων, και στα πιο ώριμα στάδια της καλλιέργειας περιλάμβαναν και ποσοτικές και ποιοτικές μετρήσεις στους καρπούς.

Κατά τις καταστροφικές μετρήσεις γίνονταν λήψη δειγμάτων από τα φύλλα κάθε φυτού για να μετρηθούν βιοχημικά χαρακτηριστικά των φύλλων.

2.5.2 Μετρήσεις στο γώρο του θερμοκηπίου

- 1) Νωπό βάρος φύλλων: Τις ημέρες των καταστροφικών μετρήσεων επιλέγονταν ένα φυτό από κάθε κανάλι και με ένα ψαλίδι κόβονταν όσο πιο κοντά στην βάση ήταν δυνατό. Συνολικά κόβονταν 18 φυτά ανά καταστροφική, 6 για κάθε μεταχείριση, 2 από κάθε επανάληψη.



Εικόνα 222: Φυτά κομμένα για καταστροφική μέτρηση

Για κάθε φυτό κόβονταν όλα τα φύλλα όσο πιο κοντά στο κεντρικό βλαστό γίνονταν και ζυγίζονταν, στην συνέχεια τοποθετούνταν σε σακούλες για μεταφορά στο χώρο του εργαστηρίου και προετοιμασία για περαιτέρω μετρήσεις.

- 2) Συγκομιδή καρπών: Όταν πλησίαζε η ημερομηνία που θα άρχιζε η συγκομιδή των καρπών επιλέχθηκαν 8 τυχαία φυτά ανά μεταχείριση σε κάθε επανάληψη, για την λήψη 8 καρπών (ένας ανά φυτό), σημαδεύτηκαν με κορδέλες και οι καρποί των ταξιανθιών που μας ενδιέφεραν για τις μετρήσεις παρακολουθούνταν μέχρις ότου να είναι έτοιμοι οπότε και συλλέγονταν. Η συγκομιδή γίνονταν τις πρωινές ώρες την μέρας και αφορούσε τους καρπούς που είχαν αποκτήσει ελαφρώς κόκκινο χρώμα (εμπορική ωριμότητα και όχι πλήρη ωριμότητα). Το αν ένας καρπός είναι έτοιμος για συλλογή το καθορίσαμε με τη μέτρηση του χρώματός του με χρωματόμετρο CR-400 της KONICA MINOLTA OPTICS INC με 3 μετρήσεις

στον ισημερινό του καρπού. Η ένδειξη του χρωματόμετρου για το a^* που αφορά την κλίμακα πράσινο-κόκκινο χρησιμοποιήθηκε ως βάση επιλογής. Γενικά καρποί με ένδειξη $21 > a^* > 26$ γίνονταν δεκτοί. Έτσι, όταν ο καρπός έφτανε στο στάδιο red ripe (>90% κόκκινος) συλλέγονταν. Συνολικά μαζεύτηκαν 24 καρποί για κάθε μεταχείριση για κάθε μια από τις ταξικαρπίες 2,4 και 6.

2α) Βάρος καρπών: αμέσως μετά τη συγκομιδή μετρούνταν σε ζυγαριά ακριβείας το νωπό βάρος του καρπού.



Εικόνα 233: Σημαδεμένο φυτό για μετρήσεις στους καρπούς



Εικόνα 244: Χρωματόμετρο CR-400

Όταν ένας καρπός ήταν έτοιμος συλλέγονταν σημειώνονταν από ποια ταξικαρπία και μεταχείριση προέρχεται, ζυγίζονταν με ζυγαριά και μεταφέρονταν στο εργαστήριο για περισσότερες μετρήσεις.

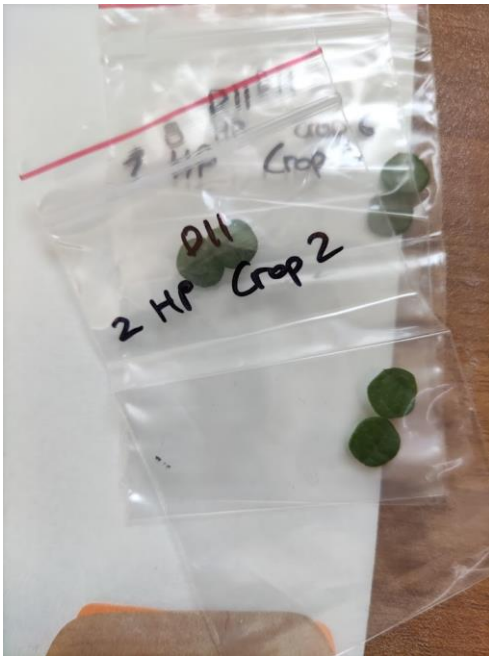


Εικόνα 255: Συγκομισμένοι καρποί έτοιμοι για μεταφορά στο εργαστήριο

2β) Καταγραφή ημερομηνίας συλλογής: για να βρεθεί το πόσος χρόνος χρειάστηκε για να ωριμάσουν οι τομάτες που είχαν μαρκαριστεί για μετρήσεις καθώς και για να σημειωθούν τυχόν διαφορές στον χρόνο αυτό ανάμεσα στις μεταχειρίσεις, κάθε φορά που συλλέγονταν ένας καρπός σημειώνονταν παράλληλα και η ημερομηνία συλλογής.

2.5.3 Μετρήσεις στο εργαστήριο

- 1) Ξηρό βάρος φύλλων: Μετά από κάθε καταστροφική μέτρηση τα φύλλα των φυτών τοποθετούνταν σε φούρνο ξήρανσης για τουλάχιστον 48 ώρες, μέχρι να φτάσουν σε σταθερό βάρος. Μετά την πάροδο των οποίων γίνονταν καταγραφή του ξηρού βάρους των φύλλων με ζυγαριά και τα φύλλα κορνιοτοποιούνταν και τοποθετούνταν σε σημειωμένα σακουλάκια.
- 2) Μετρήσεις για τον προσδιορισμό των φωτοσυνθετικών χρωστικών των φύλλων. Τα δείγματα που αναλύονταν λαμβάνονταν κατά τις καταστροφικές μετρήσεις στο θερμοκήπιο. Κατ' αυτές με φελλοτρυπητήρα No. 5 λαμβάνονταν 8 διπλά δείγματα από φύλλα φυτών της κάθε μεταχείρισης που στην συνέχεια τοποθετούνταν σε σημειωμένα σακουλάκια μέσα σε πάγο και ακόλουθα καταψύχονταν στους -20°C μέχρι να μετρηθούν οι χρωστικές.



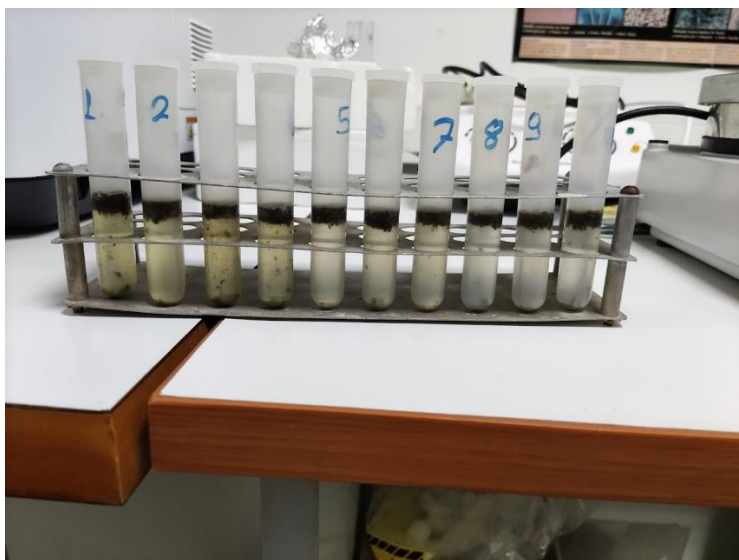
Εικόνα 266: Δείγματα από φύλλα για μέτρηση χρωστικών



Εικόνα 27: Δειγματοληψία για μέτρηση χρωστικών και φαινολικών

Την ημέρα της μέτρησης ακολουθούνταν η παρακάτω διαδικασία:
Τα δείγματα φύλλων τοποθετούνταν σε γουδί μαζί με 6ml ακετόνης 80%, ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), μικρή ποσότητα άμμου και κονιορτοποιούνταν. Το περιεχόμενο του γουδιού τοποθετούνταν σε φυγοκεντρικό σωλήνα και στην συνέχεια στην φυγόκεντρο για φυγοκέντριση για 10 λεπτά στα 4000 rpm. Τέλος ακολουθούσε ογκομέτρηση του καθαρού πράσινου υπερκείμενου διαλύματος και φωτομέτρηση στα μήκη κύματος 470, 646, 663, 720 σε φασματόμετρο (UV-1900 Shimadzu, Japan) με τυφλό διάλυμα ακετόνης 80%. Οι συγκεντρώσεις των φωτοσυνθετικών χρωστικών χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις των Lichtenthaler and Wellburn (1983).

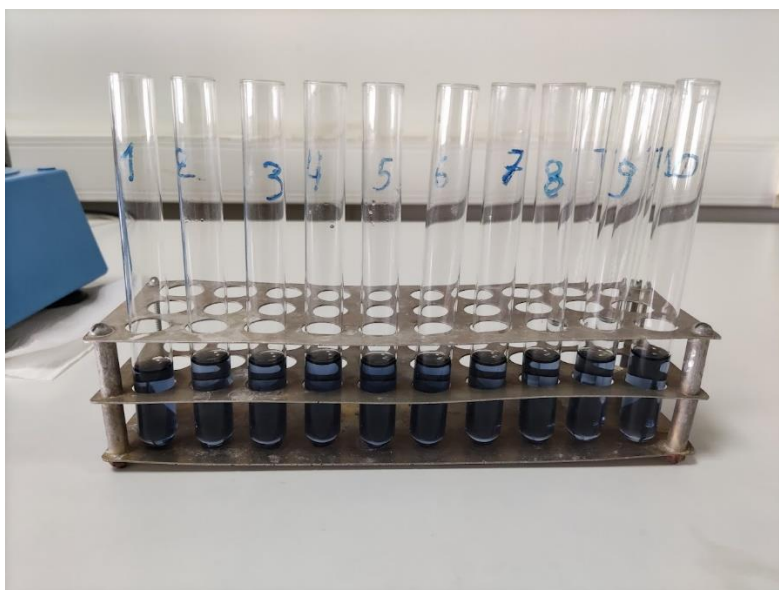
- 3) Αναλύσεις για τον προσδιορισμό των ολικών φαινολικών των φυτών, ακολουθώντας την μέθοδο των Waterman & Mole (1994). Με ζυγαριά ακριβείας ζυγίζονταν ποσότητα κονιορτοποιημένου ξηρού ιστού και τοποθετούνταν σε πλαστικό δοκιμαστικό σωλήνα μαζί με 6ml από διάλυμα μεθανόλης 50% , σφραγίζονταν με καπάκι και ακολουθούσε επώαση σε υδατόλουτρο στους 40° C υπό ήπια ανάδευση για 1 ώρα.



Εικόνα 28: Φυτικός ιστός με 6 ml διαλύματος μεθανόλης 50%

Κατά την 1 ώρα που απαιτούνταν για το υδατόλουτρο ετοιμάζονταν το αντιδραστήριο Folin- Ciocalteu καλυμμένο με αλουμινόχαρτο για προστασία από το φως και το διάλυμα 20% w/v ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3) σε νερό. Μετά το τέλος του υδατόλουτρου γίνονταν vortex στα δείγματα για την καθίζηση του φυτικού ιστού στον πάτο του δοκιμαστικού σωλήνα.

Για την αντίδραση προστίθενται 3,95 ml απιονισμένου νερού, 0,05 ml εκχυλίσματος φύλλων, 0,25 ml αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu και 0,75 ml διαλύματος ανθρακικού νατρίου. Σε δυο επιπλέον γυάλινους δοκιμαστικούς παρασκευάζονταν και το τυφλό διάλυμα, με τα ίδια συστατικά αλλά στην θέση των 0,05 ml του υπερκείμενου διαλύματος χρησιμοποιήθηκε μεθανόλη 50%, για την φωτομέτρηση που θα ακολουθούσε. Ακολούθησε vortex και επώαση των δειγμάτων σε συνθήκες δωματίου για 2 ώρες, με ενδιάμεσες αναδεύσεις στο vortex κάθε 20 λεπτά.



Εικόνα 29: Δείγματα κατά την επώαση

Εν τέλει, έγινε η φωτομέτρηση των διαλυμάτων σε μήκος κύματος 760 nm με τυφλό διάλυμα νερού/Folin/ανθρακικού νατρίου στο φασματοόμετρο και υπολογίστηκαν τα ολικά φαινολικά με βάση καμπύλη αναφοράς. Για την κατασκευή της καμπύλης αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν γνωστές συγκεντρώσεις γαλλικού οξέος, επομένως η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών των φύλλων εκφράζεται ως ισοδύναμα γαλλικού οξέος ανά ξηρό βάρος ιστού.

Σε ότι αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού πραγματοποιήθηκαν οι εξής μετρήσεις:

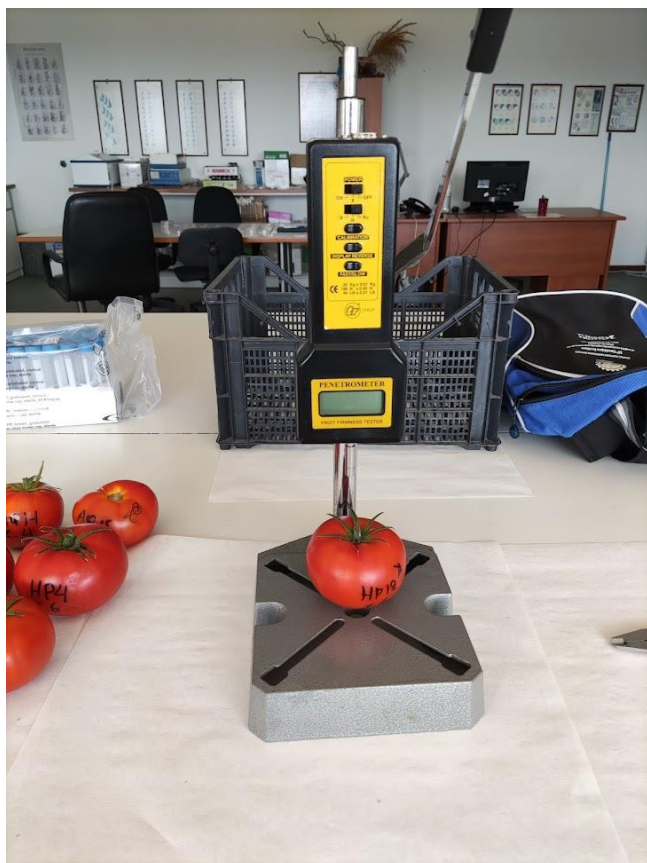
- 1) Μέτρηση διαστάσεων των καρπών στο ύψος του ισημερινού (διάμετρος) και στον κάθετο άξονα, δηλαδή στους πόλους, με παχύμετρο ακριβείας (*Βερνιέρος*).



Εικόνα 30: Παχύμετρο Βερνιέρος για μέτρηση διαστάσεων καρπών

2) Σκληρότητα καρπού

Με την χρήση ηλεκτρονικού πενετρόμετρου (Turoni 53205), με εξάρτημα παρακέντησης (έμβολο) διαμέτρου 6 mm έγιναν οι μετρήσεις της αντίστασης της σάρκας στην πίεση, δηλαδή της σκληρότητας του καρπού. Η δειγματοληψία για κάθε καρπό γινόταν σε δυο ισημερινές περιοχές. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε μονάδες Newton (N) πολλαπλασιάζοντας την τιμή KgF που δίνει το όργανο με το 9,81 (Μαλέτσικα, 2015).

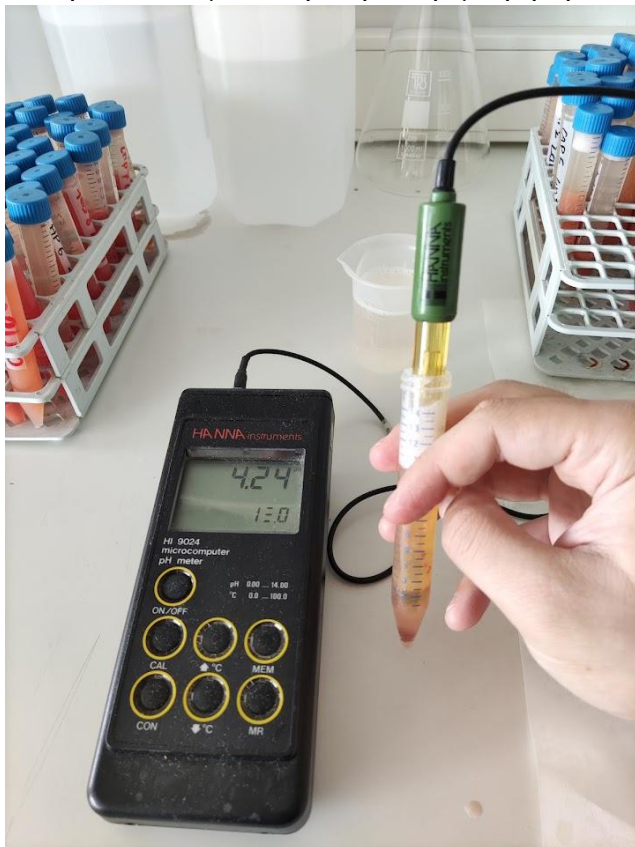


Εικόνα 31: Πενετρόμετρο για την μέτρηση της αντίστασης της σάρκας

Αμέσως μετά από την μέτρηση των παραπάνω δύο παραμέτρων, οι καρποί τεμαχίζονταν, ο χυμός τους τοποθετούνταν σε φάλκον των 25 ml και η σάρκα τους σε σακουλάκια συσκευασίας τροφίμων με κλείσιμο zip και κατόπιν αποθηκεύονταν στους -70°C .

Την ημέρα μέτρησης των τιμών του pH, ολικών διαλυτών στερεών και ογκομετρούμενης οξύτητας τα φάλκον αφαιρούνταν από την ψύξη και αφήνονταν μέσα στην απλή συντήρηση του ψυγείου για να ξεπαγώσουν σταδιακά. Μετά από ανακίνηση του φάλκον για μείξη των φάσεων που είχαν δημιουργηθεί έγιναν οι μετρήσεις:

- 3) pH (HI 9024, HANNA instruments). Το ηλεκτρόδιο βυθίζονταν μέσα στο φάλκον και στο χυμό όπου λαμβάνονταν και η μέτρηση, στην συνέχεια καθαρίζονταν με καθαρό απιονισμένο νερό πριν την μέτρηση του επόμενου δείγματος.



Εικόνα 32: Μέτρηση τιμής pH χυμού τομάτας

- 4) Ολικά διαλυτά στερεά του χυμού. Μικρή ποσότητα χυμού εναποθέτονταν στον αισθητήρα ρεφρακτόμετρου (PAL-1, ATAGO) για την μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών σε μονάδες % Brix.



Εικόνα 33: Ρεφρακτόμετρο για μέτρηση Ολικών Διαλυτών Συστατικών

- 5) ολική ή ογκομετρούμενη οξύτητα. Υπολογίστηκε μέσω τιτλοδότησης με αλκαλικό διάλυμα. Έτσι 2 γραμμάρια χυμού αραιωμένου σε 18 ml απιονισμένου νερού αναδεύτηκαν μαζί με NaOH 0,1(M) που προστέθηκε από προχοΐδα μέχρι το pH του διαλύματος να φτάσει 8,2 (Μαλέτσικα, 2015). Με τη χρήση κατάλληλου συντελεστή για το μηλικό οξύ, η οξύτητα υπολογίζεται από την σχέση $(ml\ NaOH * 6,4) / 20$ και εκφράζεται ως g μηλικού οξέος ανά 100g χυμού.



Εικόνα 34: Προχοΐδα για μέτρηση ολικής οξύτητας

- 6) Συγκέντρωση λυκοπενίου στους καρπούς. Πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την μέθοδο των Yan et al. (2021).

Από κάθε καρπό λαμβάνονταν δυο δείγματα με βάρος περίπου 0.77g μερικώς ξεπαγωμένου ιστού που περιλάμβανε το περικάρπιο και την φλούδα χωρίς τον πλακούντα και τα σπέρματα. Τα δυο δείγματα λαμβάνονταν όσο ήταν δυνατό από τις 2 αντιδιαμετρικές ισημερινές περιοχές του καρπού. Τοποθετούνταν σε γυάλινους δοκιμαστικούς σωλήνες καλυμμένους με αλουμινόχαρτο μαζί με 25 ml διαλύματος 2:1:1 εξάνιο: ακετόνη: αιθανόλη μέσα σε πάγο. Κάθε περιεχόμενο του δοκιμαστικού ομογενοποιούνταν με ηλεκτρικό μαχαίρι-ομογενοποιητή για περίπου 1 λεπτό και μετά από την προσθήκη 7.5 ml απιονισμένου νερού ακολουθούσε vortex και φωτομέτρηση της άνω οργανικής φάσης στα 503 nm στο φασματοόμετρο με τυφλό διάλυμα εξανίου: ακετόνης: αιθανόλης. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι είναι καίριας σημασίας όλη η διαδικασία να γίνει σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Η συγκέντρωση του λυκοπενίου στον ιστό υπολογίζεται από την σχέση:

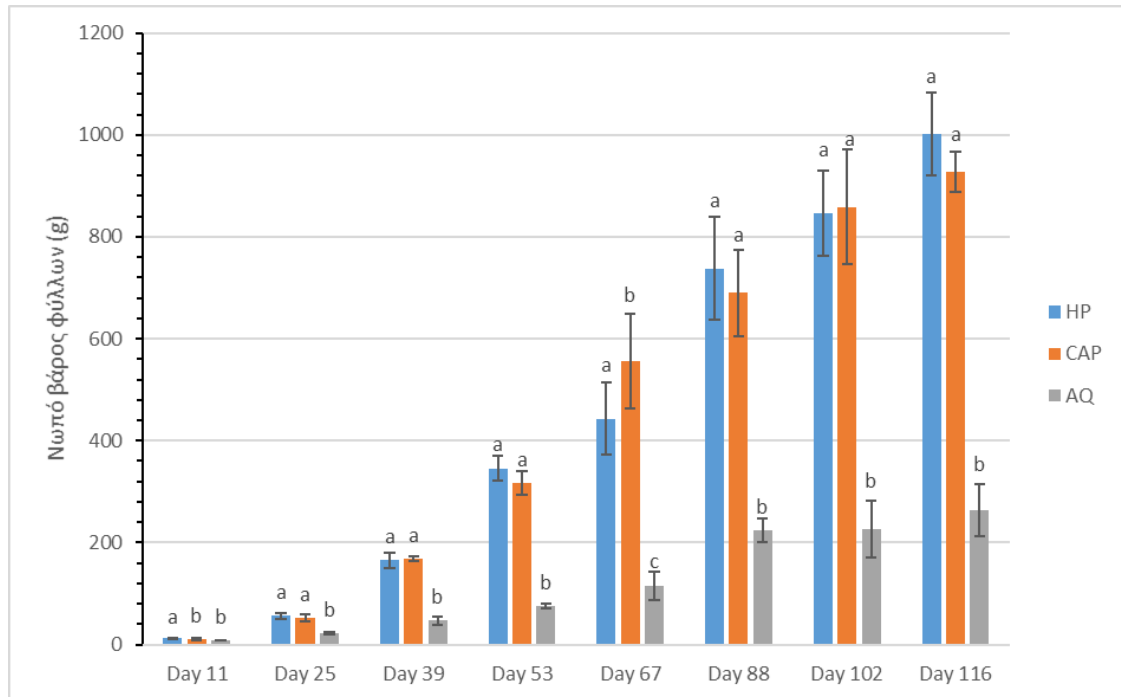
$$[\text{lycopene}] = \frac{3.12 * A * V}{w} \text{ σε mg/kg FW.}$$

2.6 Στατιστική επεξεργασία δεδομένων

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το ανοιχτό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης δεδομένων JASP 0.16.0.0 (JASP team 2021, Computer Software) σε λειτουργικό σύστημα Windows 10. Η επεξεργασία των δεδομένων για τον έλεγχο των στατιστικά σημαντικών διαφορών έγινε με την χρήση One-Way ANOVA και post-hoc tests (Tukey), όλα σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$.

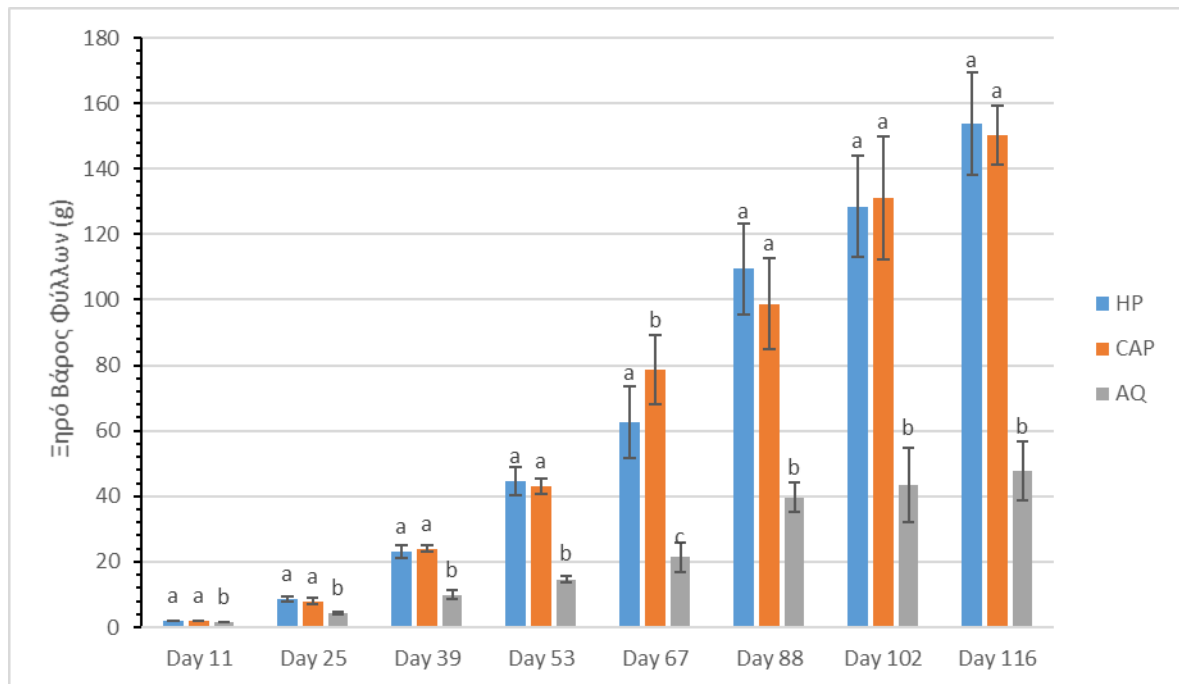
3 Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε χαρακτηριστικό που μελετήθηκε για τις μεταχειρίσεις της υδροπονίας (HP), αποζευγμένης ενυδριοπονίας (CAP) και συζευγμένης ενυδριοπονίας (AQ).



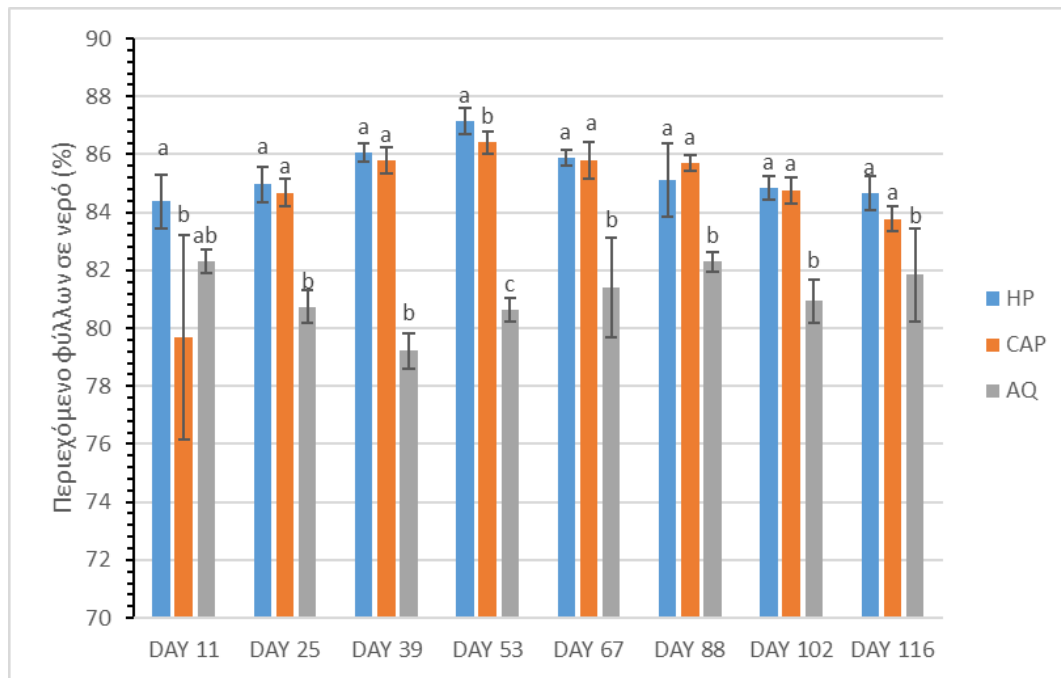
Γράφημα 1: Μέτρηση του νωπού βάρους φύλλων κάθε μεταχείρισης στην πορεία του πειράματος ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Σε όλη την πορεία του πειράματος τόσο η HP όσο και η CAP παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την AQ, η οποία σταθερά υπολειπόταν σε ανάπτυξη. Μεταξύ HP και CAP δεν παρουσιάστηκαν διαφορές, εκτός από την μέτρηση στο μέσον περίπου του πειράματος (ημέρα 67).



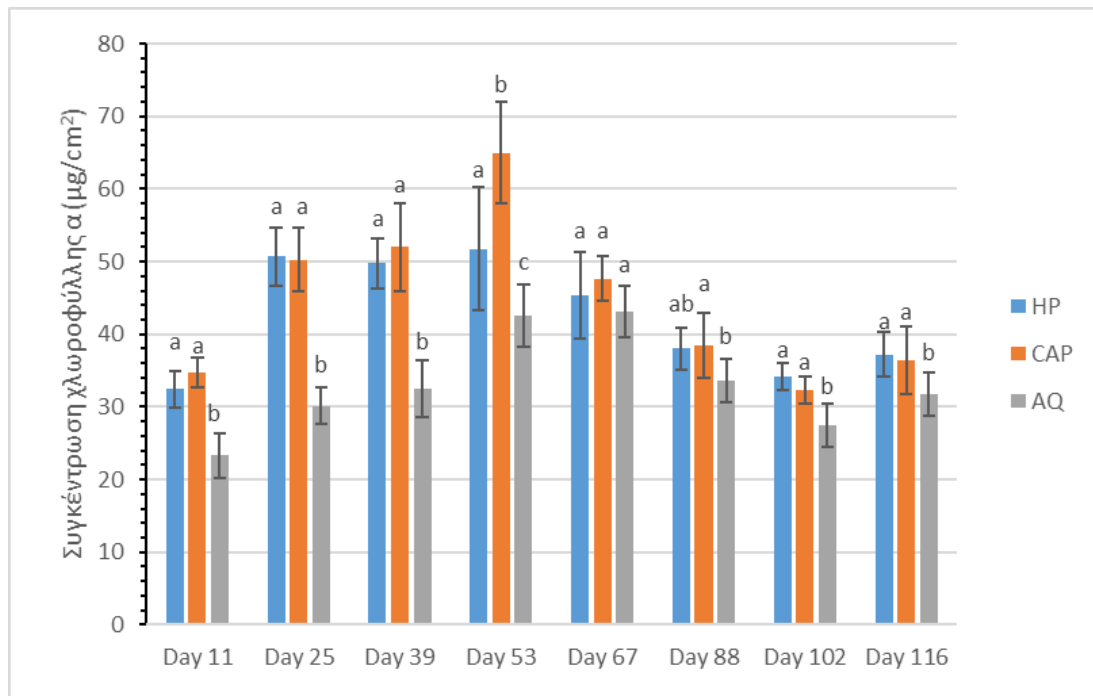
Γράφημα 2: Μέτρηση του ξηρού βάρους των φύλλων ανά μεταχείριση στην πορεία του πειράματος ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Όλες οι μετρήσεις έδειξαν σημαντικά μειωμένη ξηρή μάζα φύλλων των φυτών της AQ σε σχέση με αυτά των άλλων μεταχειρίσεων. Η CAP και η HP συμβάδισαν στα αποτελέσματα των ξηρών βαρών καθόλη τη διάρκεια του πειράματος, με εξαίρεση την μέτρηση της ημέρας 67 που καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές.



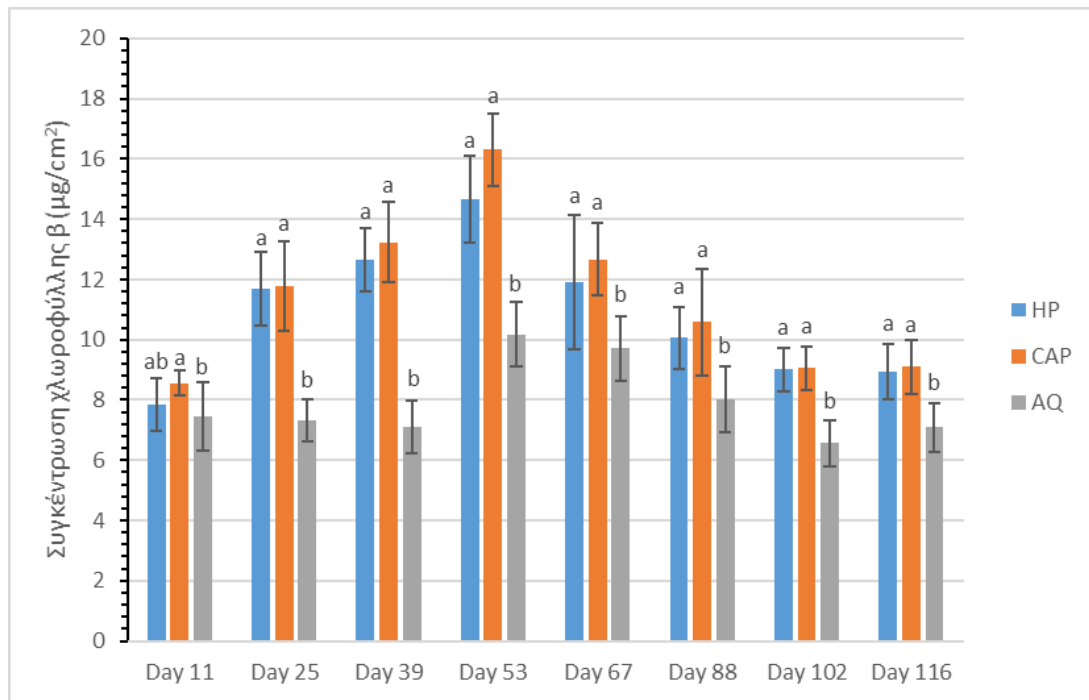
Γράφημα 3: Το περιεχόμενο των φύλλων σε νερό (%) για κάθε μεταχείριση κατά την διάρκεια του πειράματος (Μ.Ο.± SD). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Σε όλες τις μετρήσεις του πειράματος πλην της πρώτης, τα φύλλα των φυτών της AQ εμφάνισαν σημαντικά μικρότερες τιμές περιεκτικότητας σε νερό σε σχέση με την HP και CAP. Οι δυο τελευταίες παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μόνο κατά τις μετρήσεις της μέρας 11 και 53.



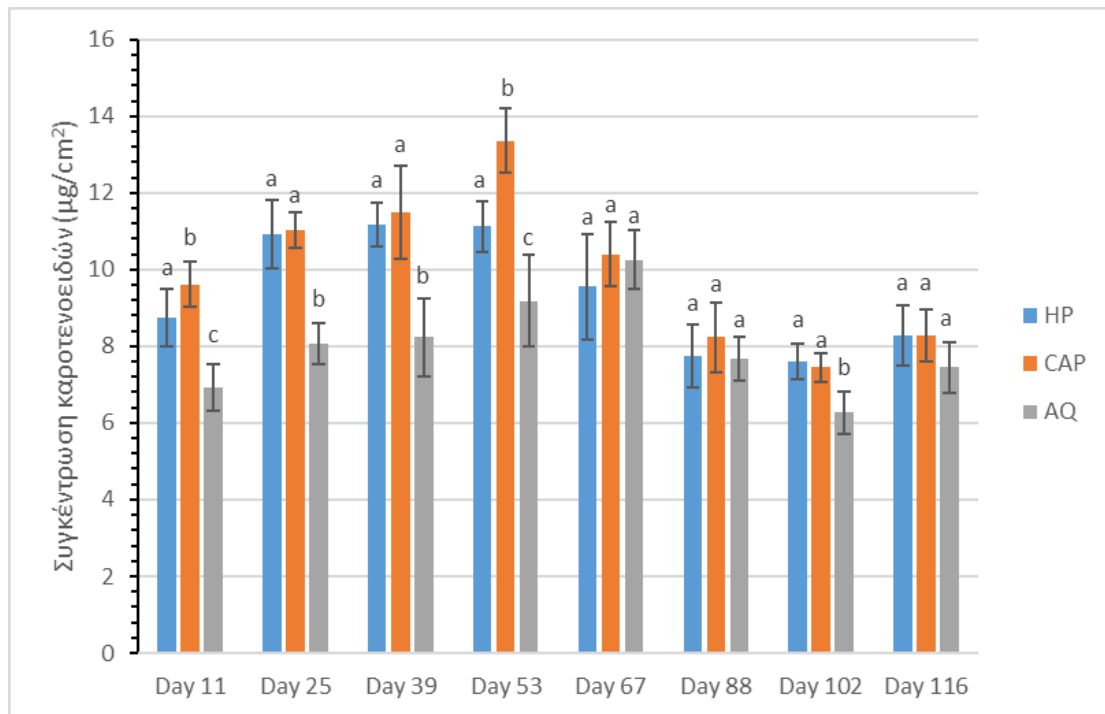
Γράφημα 4: Συγκεντρωτικό γράφημα των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης *a* στα φυτά της κάθε μεταχείρισης κατά την πορεία του πειράματος ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται από τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Η γενική τάση παρόμοιων τιμών μεταξύ HP και CAP ακολουθήθηκε από την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη *a*. Εκτός από μία δειγματοληψία στη μέση του πειράματος στην οποία βρέθηκε η CAP με σημαντικά μεγαλύτερες τιμές, σε όλες τις υπόλοιπες δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση μεταξύ τους. Σταθερά και σημαντικά χαμηλότερες ήταν οι συγκεντρώσεις χλωροφυλλών στα φύλλα της μεταχείρισης AQ σε όλη την καλλιεργητική περίοδο.



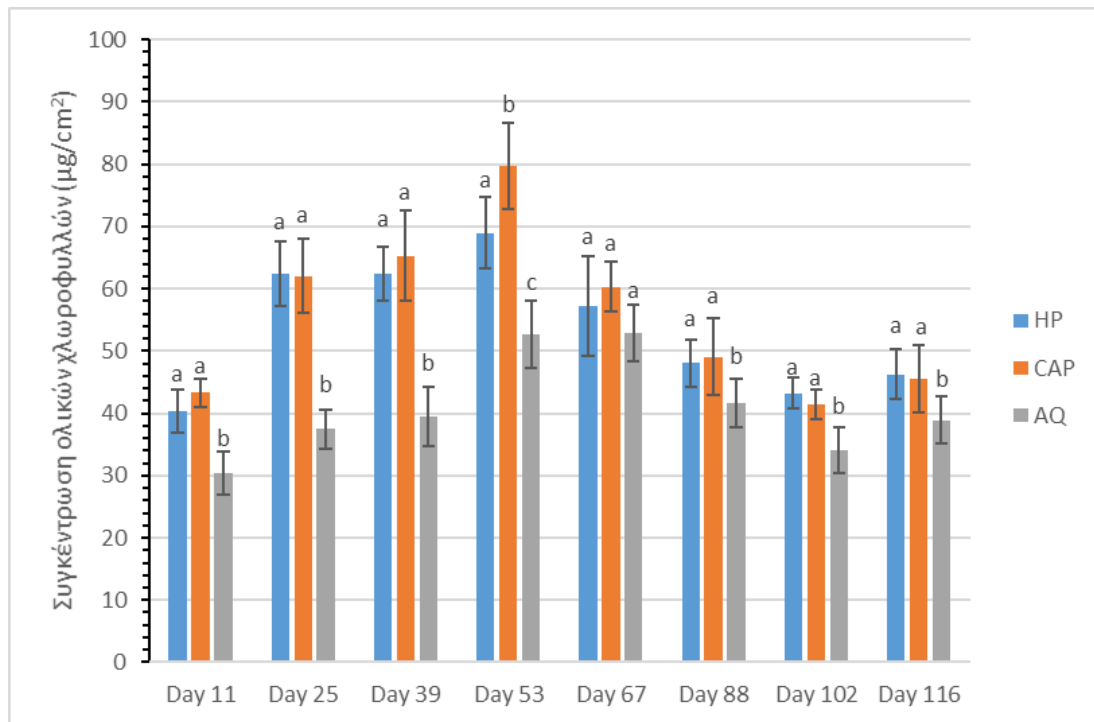
Γράφημα 5: Μέτρηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης b ανά μεταχείριση κατά την πορεία του πειράματος ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Τα φυτά των CAP και AQ παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους στις πρώτες μετρήσεις της ημέρας 11, αλλά και οι δυο μεταχειρίσεις ήταν όμοιες με αυτή της HP. Σε όλες τις άλλες μετρήσεις κατά την διάρκεια του πειράματος τα φυτά των HP και CAP δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, αλλά και στις δυο μεταχειρίσεις η συγκέντρωση της χλωροφύλλης b ήταν σημαντικά υψηλότερη από τα φυτά της AQ.



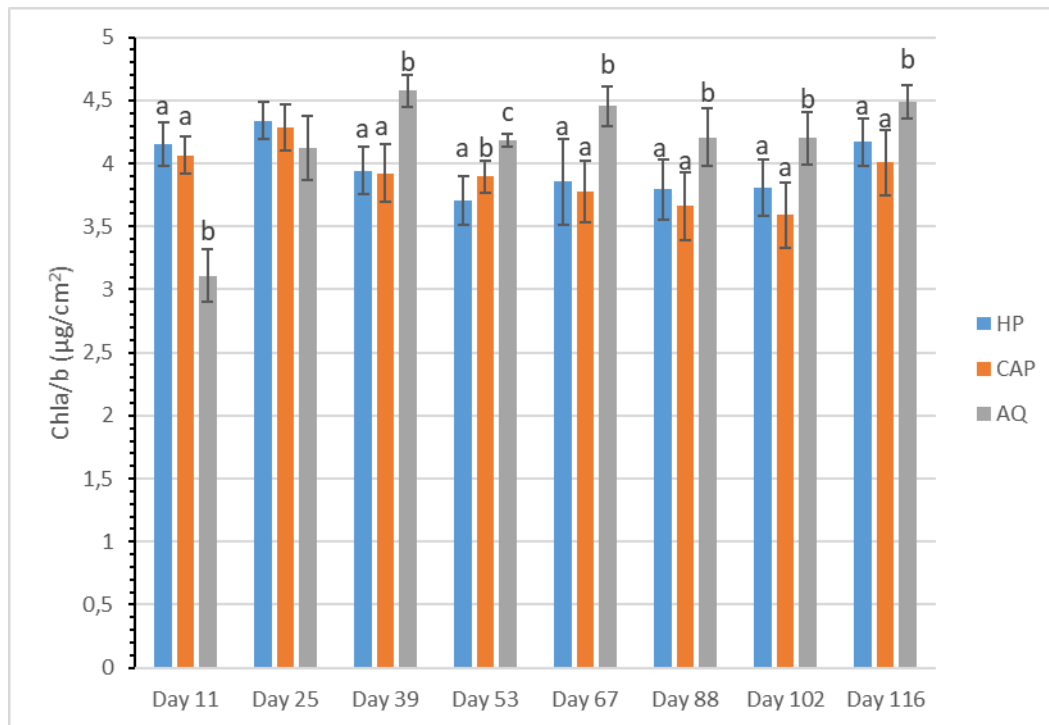
Γράφημα 6: Μέτρηση συγκέντρωσης καροτενοειδών ανά μεταχείριση στην πορεία του πειράματος ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Η περιεκτικότητα των καροτενοειδών τις ημέρες 25,39,102 ήταν παρόμοια σε HP και CAP με τις δυο να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με την AQ. Τις μέρες 11 και 53 τα καροτενοειδή των φυτών CAP ήταν σε μεγαλύτερη συγκέντρωση και από HP και από AQ, με στατιστικά σημαντικές διαφορές να παρατηρούνται μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων. Τέλος τις μέρες 67, 88 και 116 δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις των καροτενοειδών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις.



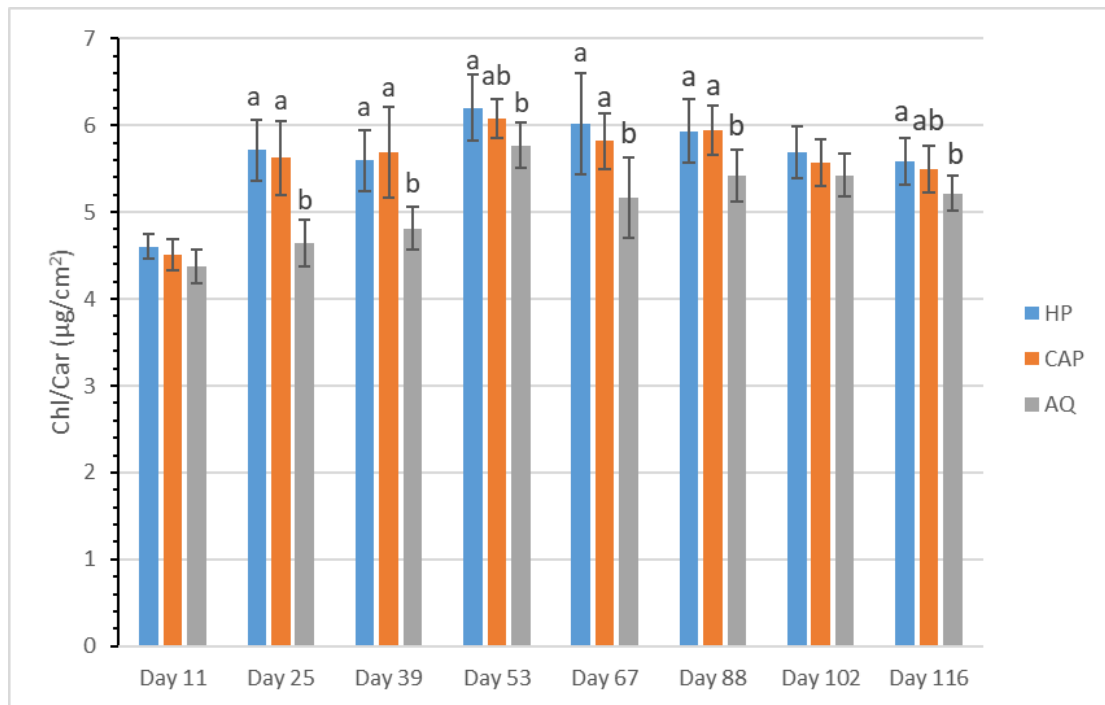
Γράφημα 7: Μέτρηση συγκεντρώσεων των ολικών χλωροφυλλών ανά μεταχείριση, στην πορεία του πειράματος. ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα.

Αποτυπώνοντας την συνολική εικόνα των συγκεντρώσεων ολικών χλωροφυλλών στις τρεις μεταχειρίσεις καταγράφεται προφανώς αναλογία με τα πρότυπα κατανομής των επιμέρους χλωροφυλλών. Στο Γράφημα 15 φαίνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα και στις τρεις μεταχειρίσεις την μέρα 53, με την CAP να έχει τις μεγαλύτερες και την AQ τις μικρότερες. Αντίθετα την μέρα 67 δεν υπήρχε καμία σημαντική διαφορά. Στις μετρήσεις όλων των άλλων ημερών οι HP και CAP δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, αλλά διέφεραν στατιστικώς σημαντικά με τα φυτά της AQ που εμφάνισαν τις μικρότερες συγκεντρώσεις.



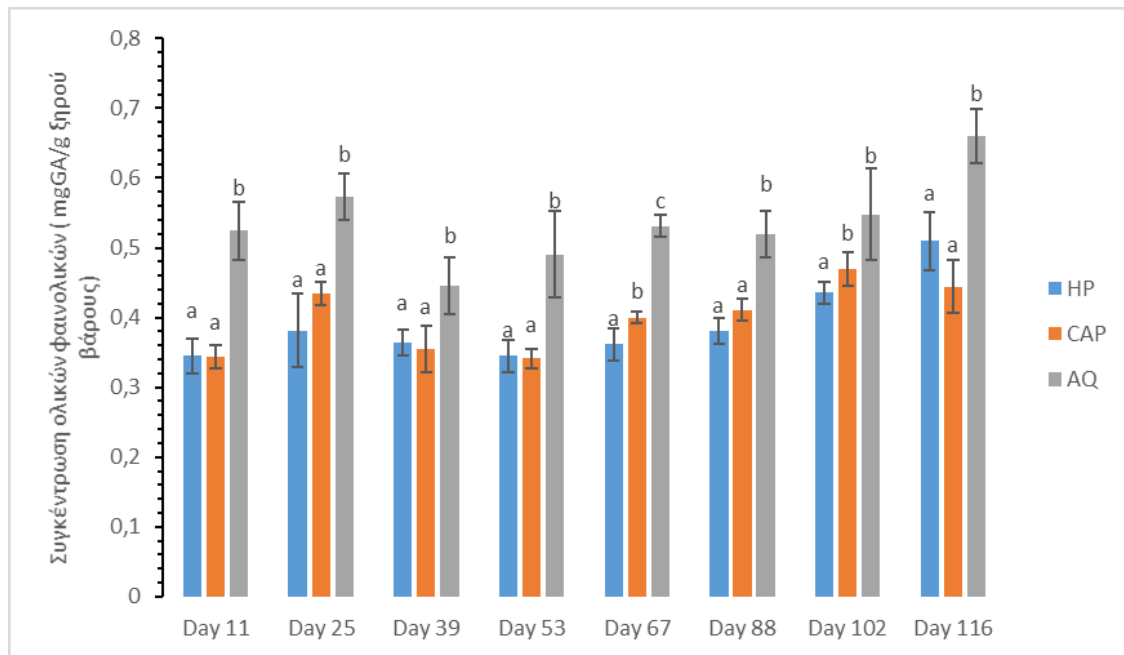
Γράφημα 8: Λόγος συγκέντρωσης χλωροφύλλης a προς τη χλωροφύλλη b για την κάθε μεταχείριση κατά την διάρκεια του πειράματος ($MO \pm SD$). Στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Για τον λόγο της χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν σε όλες τις μετρήσεις εκτός από αυτές της μέρας 25. Οι πρώτες μετρήσεις του πειράματος, την ημέρα 11 έδειξαν διαφορές ανάμεσα σε AQ με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις με αυτή να εμφανίζει τον μικρότερο λόγο a/b. Στις υπόλοιπες μετρήσεις τα φυτά της AQ εμφάνισαν τους μεγαλύτερους λόγους με στατιστικά σημαντικές διαφορές από τις HP και CAP που ήταν παρόμοιες μεταξύ τους.



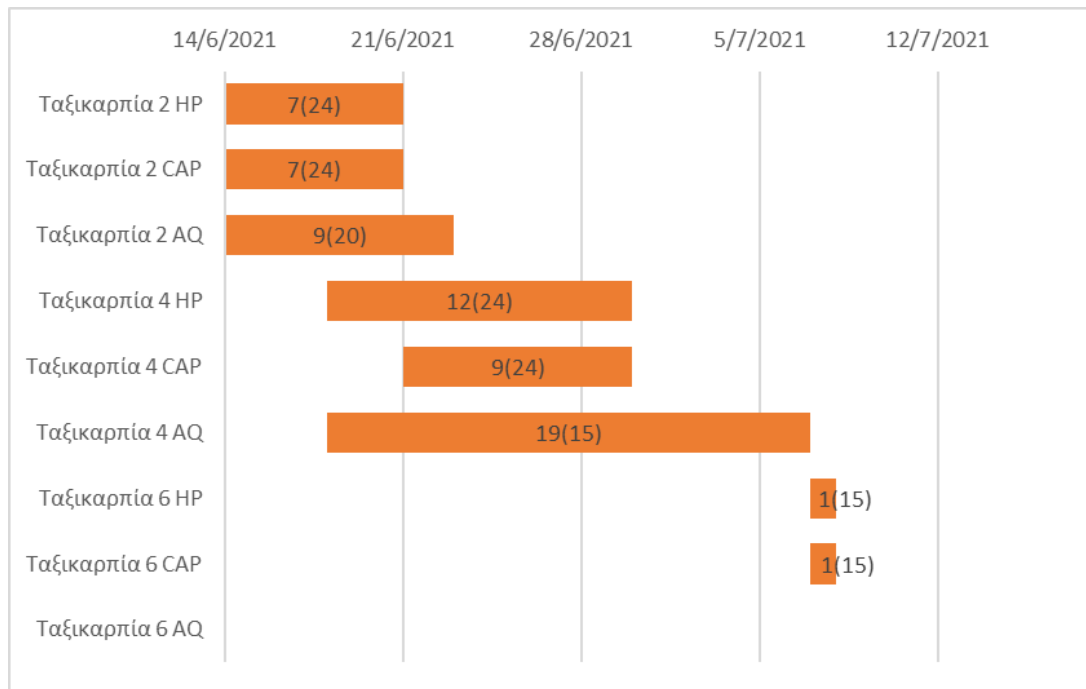
Γράφημα 9: Λόγος συγκέντρωσης των χλωροφυλλών ως προς τα καροτενοειδή ανά μεταχείριση κατά την διάρκεια του πειράματος ($MO \pm SD$). Στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Ο λόγος των ολκών χλωροφυλλών προς τα καροτενοειδή δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις την μέρα 11 και 102. Τις μέρες 53 και 116 η CAP παρουσίασε όμοια αποτελέσματα και με τις δυο άλλες μεταχειρίσεις, οι οποίες είναι σημαντικά διαφορετικές μεταξύ τους. Σε όλες τις υπόλοιπες μετρήσεις ο λόγος στην CAP και HP δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές, αλλά ήταν σημαντικά μεγαλύτερος από αυτόν της AQ.



Γράφημα 10: Μέτρηση ολικών φαινολικών των φύλλων ανά μεταχείριση σε κάθε καταστροφική μέτρηση ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών των φύλλων ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στα φυτά της μεταχείρισης AQ καθόλη τη διάρκεια του πειράματος. Σε ότι αφορά τις HP και CAP δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους στις περισσότερες δειγματοληψίες. Εντούτοις στις μετρήσεις των ημερών 67 και 102 τα φυτά της CAP είχαν ελαφρώς μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από αυτά της HP, με τη διαφορά τους να είναι στατιστικώς σημαντική.

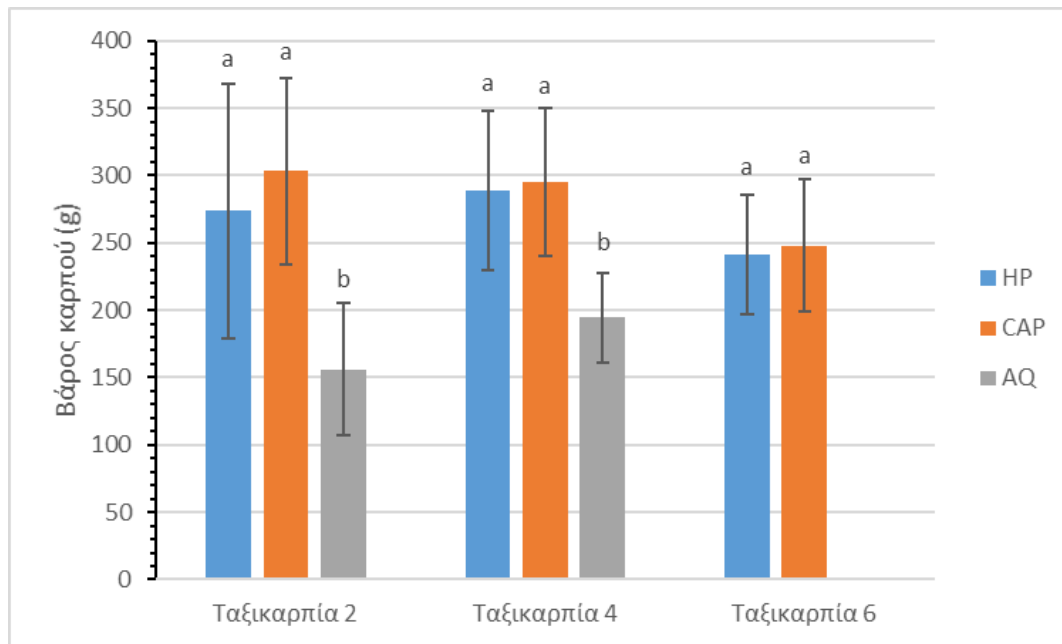


Γράφημα 11: Γράφημα Gantt για τον χρόνο ωρίμανσης των καρπών της κάθε ταξικαρπίας, παράμετρος που όρισε την διάρκεια της συγκομιδής των καρπών μελέτης. Έξω από την παρένθεση είναι ο αριθμός των ημερών που διήρκεσε η συγκομιδή των καρπών αυτών και σε παρένθεση το σύνολο των καρπών που συλλέχθηκαν.

Οι αναλύσεις των ημερών που χρειάστηκαν οι καρποί για να φτάσουν στο στάδιο ωρίμανσης που επέτρεπε την συγκομιδή και ανάλυση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών μελέτης φαίνονται στο Γράφημα 11. Φαίνεται ότι για την ταξικαρπία δυο ο πρώτος και ο τελευταίος καρπός των HP και CAP έφτασαν στο επιθυμητό στάδιο ωρίμανσης με διαφορά επτά ημερών μεταξύ τους. Αντίθετα, στην AQ ενώ ο πρώτος καρπός συλλέχθηκε την ίδια ημέρα με τους πρώτους των άλλων μεταχειρίσεων, χρειάστηκαν δυο παραπάνω μέρες για να ωριμάσει ο τελευταίος που συλλέχθηκε. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε σύνολο 24 καρπών στην AQ συλλέχθηκαν μόνο οι 20 καθώς οι υπόλοιποι δεν είχαν φτάσει στο επιθυμητό στάδιο ως το τέλος του πειράματος.

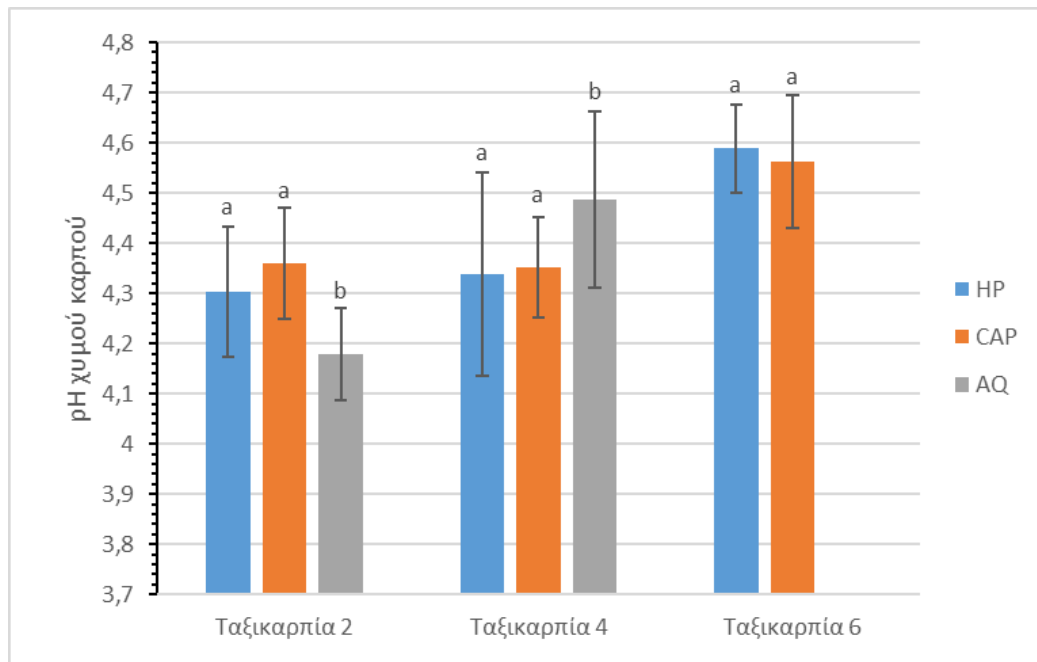
Για την ταξικαρπία 4 ο πρώτος με τον τελευταίο καρπό της CAP έφτασαν στο επιθυμητό επίπεδο ωρίμανσης στο μικρότερο διάστημα ημερών από τις άλλες δυο μεταχειρίσεις (9 ημέρες). Για τους καρπούς της HP το διάστημα αυτό ήταν 12 ημέρες και για την AQ 19, χωρίς όμως να έχουν συλλεχθεί όλοι (15 από τους 24).

Στην 6^η ταξικαρπία η συλλογή έγινε σε μια μέρα διότι είχε φτάσει η λήξη του πειράματος. Έτσι συλλέχθηκαν 15 καρποί για κάθε μία από τις HP και CAP, με την AQ να μην έχει κανένα καρπό στο επιθυμητό στάδιο.



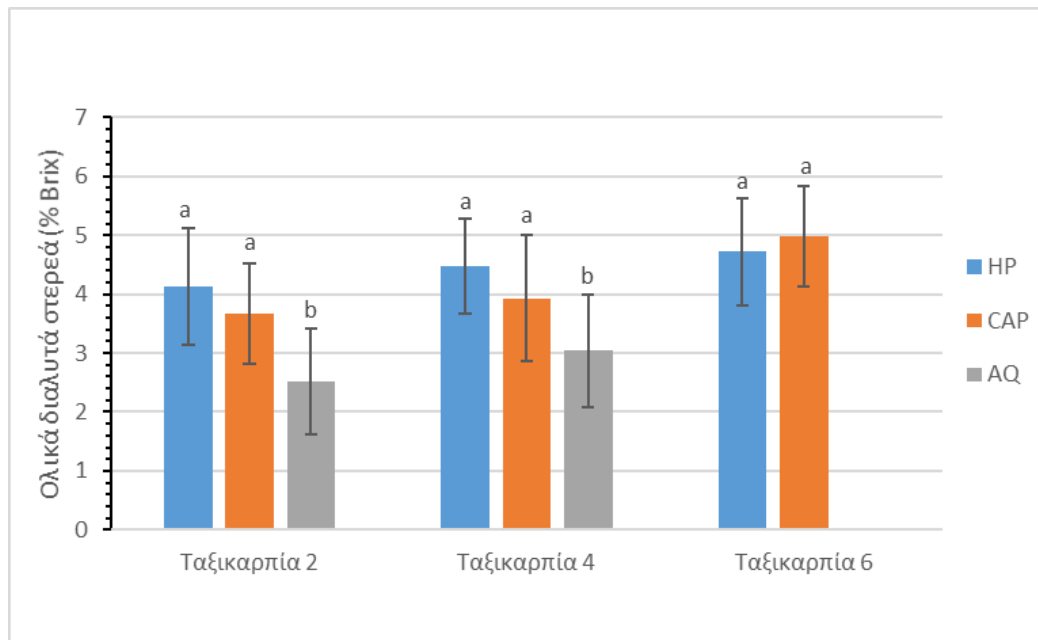
Γράφημα 12: Μέτρηση του βάρους του καρπού στα φυτά κάθε μεταχείρισης ανά ταξικαρπία ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Οι καρποί των μεταχειρίσεων της HP και CAP δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους όσο αφορά το μέσο βάρος τους, σε καμία από τις τρεις ταξικαρπίες που μελετήθηκαν. Αντίθετα αυτοί της ενυδρειοπονίας παρουσίασαν σημαντικά μικρότερο μέσο βάρος καρπού στις ταξικαρπίες δυο και τέσσερα, ενώ στην έκτη δεν έφτασαν την κατάλληλη ωριμότητα για συγκομιδή μέχρι την λήξη του πειράματος.



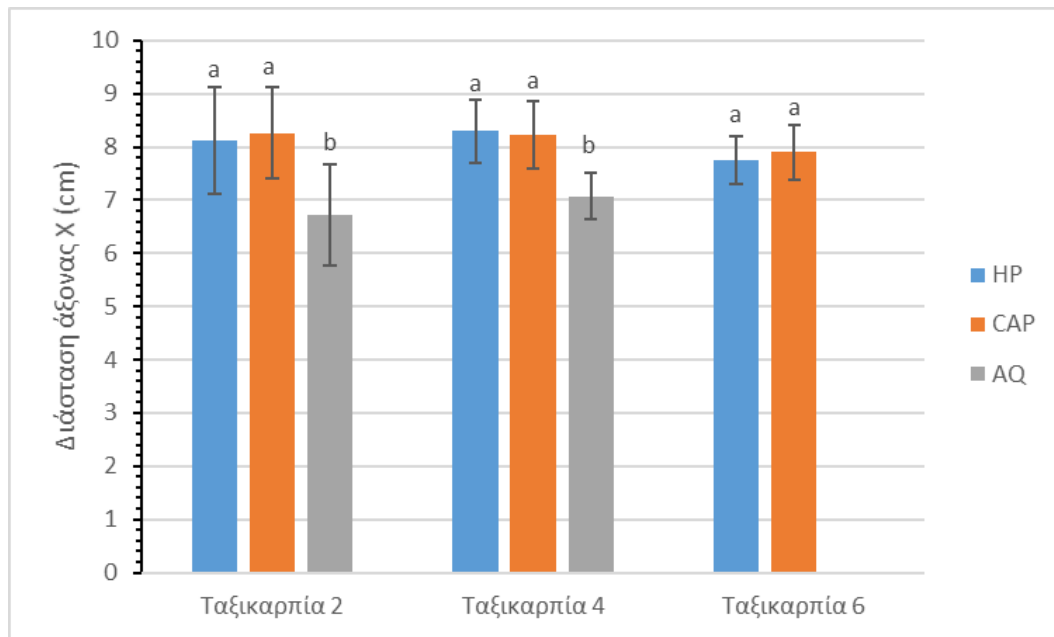
Γράφημα 13: Μέτρηση pH του χυμού των καρπών κάθε μεταχείρισης ανά ταξικαρπία (M.O. ± SD). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$)

Το pH του χυμού των καρπών των μεταχειρίσεων HP και CAP δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές σε καμία από τις τρεις ταξικαρπίες, ενώ σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν με αυτούς που προήλθαν από την συζευγμένη ενυδρείοπνία. Ενδιαφέρον είναι ότι οι καρποί της AQ εμφανίστηκαν να έχουν σημαντικά χαμηλότερο pH στην 2^η και υψηλότερο στην 4^η ταξικαρπία σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις.



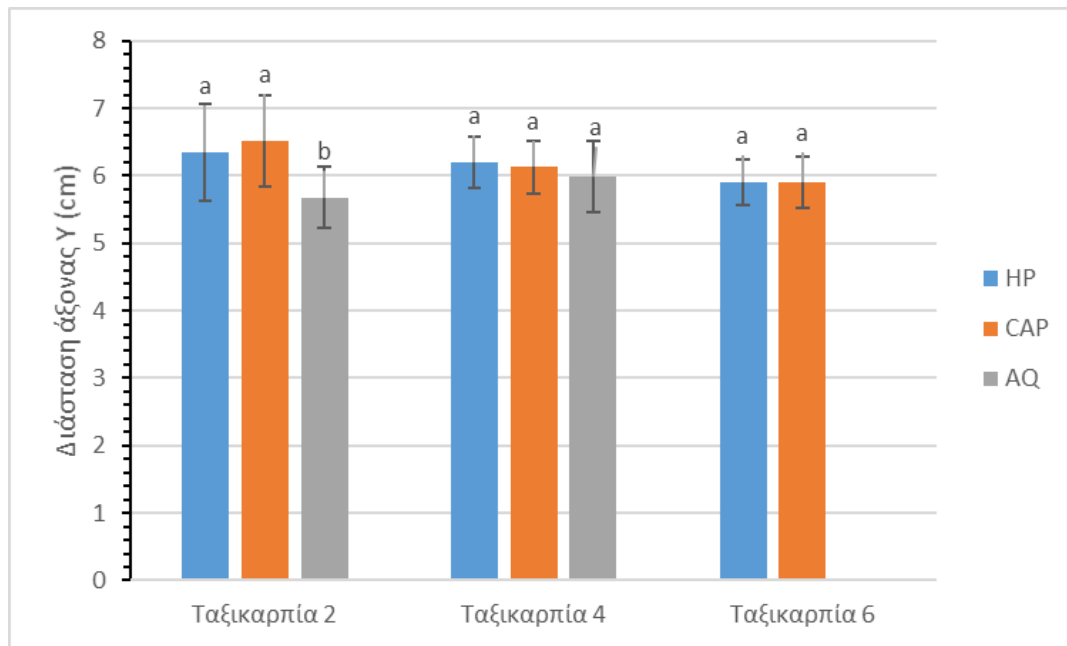
Γράφημα 14: Μέτρηση Ολικών Διαλυτών Στερεών καρπών (Μ.Ο. ± SD). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Τα ολικά διαλυτά στερεά των καρπών από τις μεταχειρίσεις της HP και CAP δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους σε καμία από τις τρεις ταξικαρπίες, παρότι υπήρξε η τάση για χαμηλότερες τιμές στην CAP στις ταξικαρπίες 2 και 4. Αντίθετα οι καρποί από τα φυτά της AQ είχαν σημαντικά χαμηλότερα ολικά διαλυτά στερεά και στις δύο ταξικαρπίες που μετρήθηκαν.



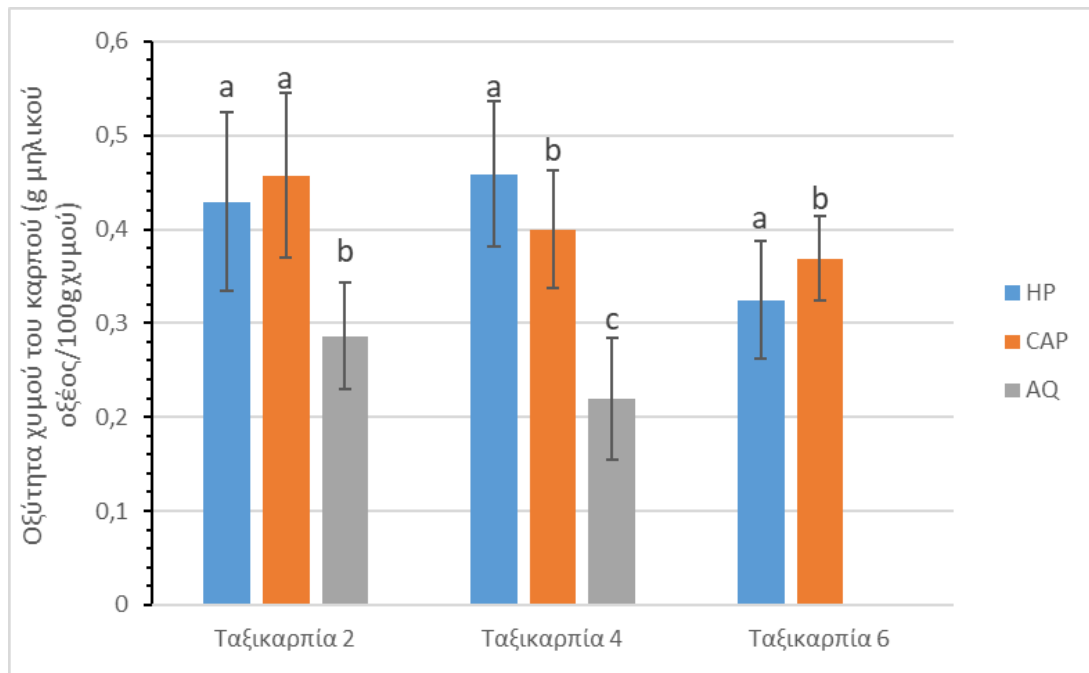
Γράφημα 15: Μέτρηση διάστασης καρπών στον άξονα x ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Οι καρποί των φυτών της HP και CAP δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά την διάστασή τους στον ισημερινό (άξονας X) σε καμία ταξικαρπία. Αλλά οι καρποί της AQ στην ταξικαρπία δυο και τέσσερα διέφεραν σημαντικά στο μέγεθός τους στο ύψος του ισημερινού και από την HP αλλά και από την CAP.



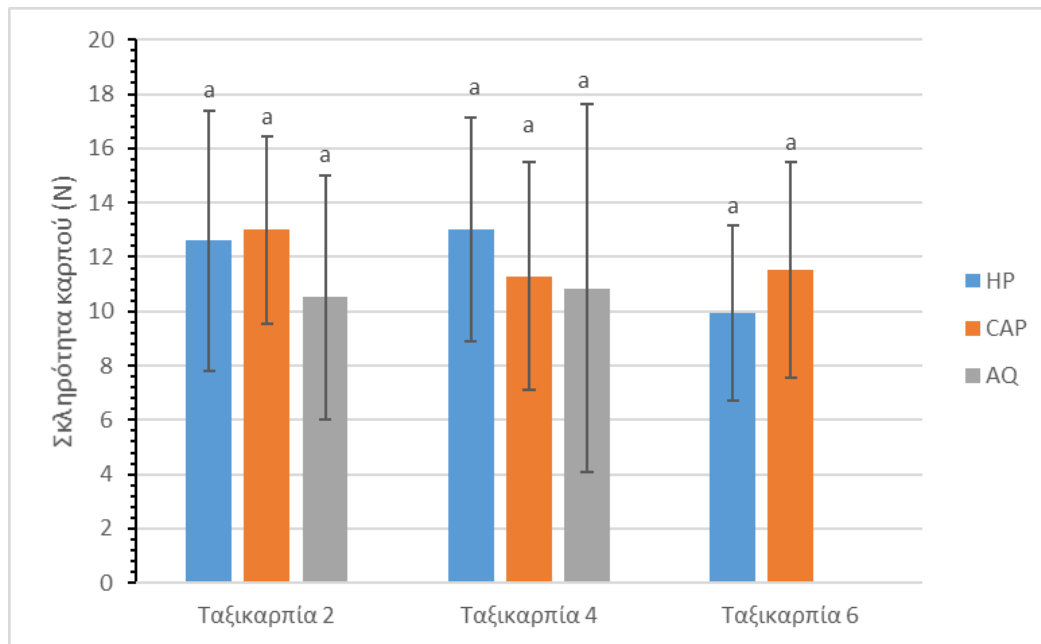
Γράφημα 16: Μέτρηση της διάστασης των καρπών στον άξονα Y ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Στην δεύτερη ταξικαρπία παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στο ύψος του καρπού, δηλαδή στη μέτρηση της απόστασης μεταξύ των «πόλων», στον άξονα Y, ανάμεσα σε καρπούς της AQ και αυτούς των HP και CAP, με της AQ να είναι σημαντικά μικρότεροι. Στις ταξικαρπίες τέσσερα και έξι δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους καρπούς που μελετήθηκαν.



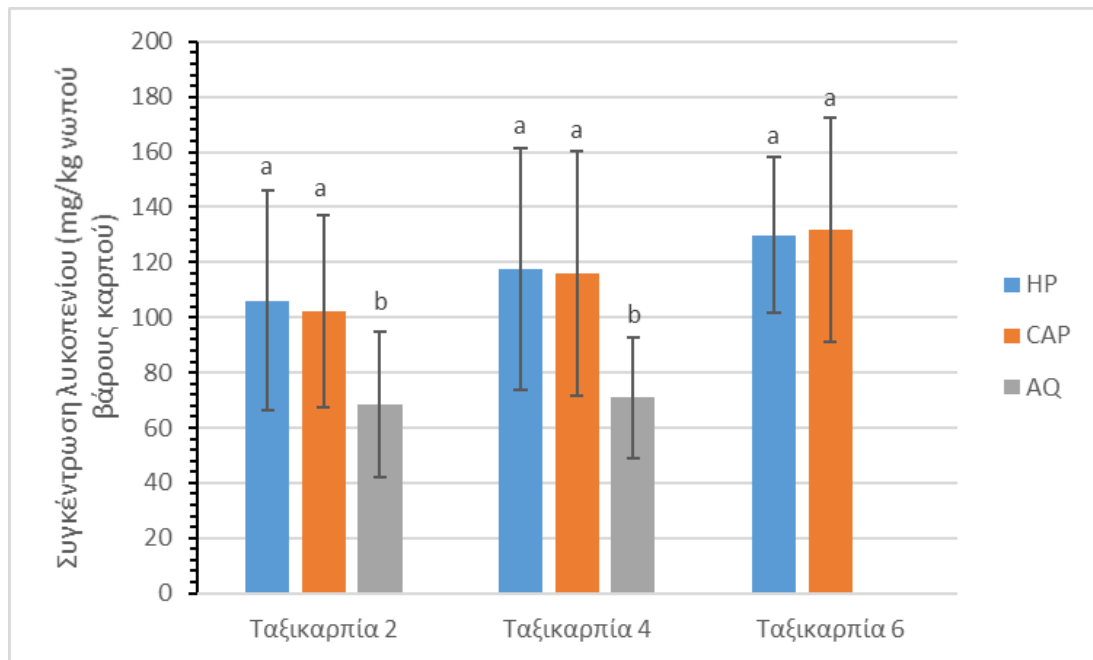
Γράφημα 17: Μέτρηση της οξύτητας των καρπών της κάθε μεταχείρισης ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Για την ογκομετρούμενη οξύτητα από τις μετρήσεις παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στους καρπούς της HP και CAP με την AQ στην ταξικαρπία δυο. Στην τέταρτη ταξικαρπία η οξύτητα στο χυμό των καρπών της HP ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή των CAP και AQ, με την τελευταία να εμφανίζει την μικρότερη περιεκτικότητα από τις τρεις μεταχειρίσεις. Αξιοσημείωτο είναι ότι στην 6^η ταξικαρπία, η διαφορά μεταξύ HP και CAP αντιστράφηκε σε σχέση με τα αποτελέσματα της 4^{ης} ταξικαρπίας.



Γράφημα 18: Μέτρηση της σκληρότητας των καρπών της κάθε μεταχείρισης ανά ταξικαρπία ($MO \pm SD$).

Για το χαρακτηριστικό της σκληρότητας των καρπών δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις σε καμία από τις τρεις ταξικαρπίες.



Γράφημα 19: Μέτρηση περιεκτικότητας καρπών σε λυκοπένιο ανά ταξικαρπία ($MO \pm SD$). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται με τα διαφορετικά γράμματα ($p < 0.05$).

Οι καρποί των μεταχειρίσεων HP και CAP δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ως προς την περιεκτικότητά τους σε λυκοπένιο σε καμία από τις τρεις ταξικαρπίες. Αλλά και οι δυο παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με την AQ, οι καρποί της οποίας παρουσίασαν την μικρότερη περιεκτικότητα σε λυκοπένιο.

4 Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία έγινε σύγκριση ανάμεσα σε τρεις μεθόδους καλλιέργειας εκτός εδάφους στο πιλοτικό θερμοκήπιο ενυδρειοπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Μελετήθηκε η απόκριση αναπτυξιακών και βιοχημικών χαρακτηριστικών των φυτών τομάτας καθώς και της ποιότητας των καρπών της στις μεταχειρίσεις υδροπονίας (HP), συζευγμένης ενυδρειοπονίας (AQ) και αποζευγμένης ενυδρειοπονίας (CAP). Κατά την περίοδο της καλλιέργειας παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα φυτά της AQ και των άλλων δυο μεταχειρίσεων σε όλες τις μετρηθείσες παραμέτρους.

Η ανάπτυξη των φυτών τομάτας της μεταχείρισης AQ ήταν σημαντικά μικρότερη από τις HP και CAP. Σε ότι αφορά το νωπό βάρος των φύλλων η AQ μετά από μια περίοδο προσαρμογής παρουσίασε σταθερά τα μικρότερη βάρη καθώς και το μικρότερο ρυθμό αύξησης φτάνοντας μόνο στα 263,26g μέσου νωπού βάρους φύλλων / φυτό. Αντίθετα οι HP και CAP έφτασαν 1001,5 και 926,5g, αριθμός τρεισήμισι φορές μεγαλύτερος. Οι Yang et al. (2020) σε ένα παρόμοιο πείραμα με καλλιέργεια λαχανικών, όπως τομάτα, βασιλικό και μαρούλι, σε υδροπονία και ενυδρειοπονία κατέληξαν ότι αυτά που καλλιεργούνται με την δεύτερη είχαν σημαντικά μειωμένη νωπή μάζα και περιεκτικότητα σε νερό. Η περιεκτικότητα των φύλλων των φυτών της AQ σε νερό ήταν μειωμένη (ως και 7%) σε σχέση με της HP και της CAP σχεδόν σε όλη την διάρκεια του πειράματος. Η περιεκτικότητα σε νερό συνδέεται με την ικανότητα αύξησης, ανάπτυξης του φυτού και με την ικανότητα απορρόφησης αυτού από τις ρίζες. Η ικανότητα απορρόφησης μπορεί να επηρεαστεί από τις συνθήκες στο περιβάλλον του φυτού και να περιοριστεί από διάφορους παράγοντες καταπόνησης. Το μειωμένο νωπό βάρος παραπέμπει σε καταπόνηση των φυτών της AQ και πιθανώς αυτό συνδέεται με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα των φύλλων σε νερό. Οι Knaus et al., (2017) σε πειραματικές δοκιμές ενυδρειοπονίας και μελέτη του αν το είδος ψαριών σε συστήματα ενυδρειοπονίας επηρεάζει την απόδοση των φυτών βρήκαν ότι τα φυτά που ποτίζονταν με νερό από *Cyprinus carpio* παρουσίασαν μέσο νωπό βάρος σημαντικά μικρότερο απ' ότι αυτά που ποτίζονταν με το νερό του *Oreochromis niloticus* (τιλάπια Νείλου).

Το ξηρό βάρος του φυτού σχετίζεται με την αύξηση της φυτικής μάζας και την συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων σ' αυτή. Σαν έννοια μπορεί να συνδεθεί και με την φωτοσύνθεση του φυτού, εννοώντας ότι φυτά με μεγαλύτερη ικανότητα φωτοσύνθεσης μπορούν να παράξουν μεγαλύτερες ποσότητες φυτικού ιστού. Οι μετρήσεις μας έδειξαν ελάχιστες διαφορές ανάμεσα σε μεθόδους HP και CAP, πράγμα που υποδεικνύει παρόμοια ανάπτυξη και αξιοποίηση θρεπτικών. Αντίθετα, η AQ είχε σημαντικά μικρότερες τιμές ξηρού ιστού φύλλων. Συγκεκριμένα τα φυτά της HP είχαν μέγιστο μέσο ξηρό βάρος φύλλων 153,88g με την CAP σε ίδια επίπεδα, ενώ η AQ έφτασε μόνο 47,67g. Η διαφορά στην ξηρή μάζα των φύλλων που βρέθηκε στο πείραμά μας συμβαδίζει με τα αποτελέσματα των Roosta et al., (2011) που βρήκαν αυξημένες τιμές ξηρής ουσίας στα φυτά υδροπονίας σε σχέση με αυτά της ενυδρειοπονίας. Όπως και στα αποτελέσματα της νωπής μάζας έτσι και για την ξηρή οι Yang et al., (2020) βρήκαν πως τα λαχανικά των οποίων η θρέψη προέρχεται αποκλειστικά από νερό ψαριών υστερούν έναντι αυτών της κλασικής υδροπονικής καλλιέργειας.

Στις καταστροφικές μετρήσεις που έγιναν σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια του πειράματος, η περιεκτικότητα της χλωροφύλλης α στα φυτά της HP δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές από αυτά της CAP, αλλά τα φυτά της AQ ήταν αρκετά χαμηλότερα μη φτάνοντας τις μέγιστες τιμές των άλλων δυο. Οι μεγαλύτερες διαφορές παρουσιάστηκαν στα μέσα του πειράματος, με την CAP στα 64,99 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ να έχει συγκεντρώσεις σημαντικά μεγαλύτερες από την δεύτερη HP, η οποία διέφερε σημαντικά με την σειρά της από την τελευταία AQ που έφτασε τα 31,74 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Παρόμοια πορεία είχαν και οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης b των φύλλων, με την HP και CAP να παρουσιάζουν όμοιες τιμές σε όλο το πείραμα και σημαντικές διαφορές με την AQ. Οι Roosta and Hamidpour (2011) δοκίμασαν την βελτιστοποίηση της μεθόδου AQ με διαφυλλικούς ψεκασμούς και την σύγκριναν και με υδροπονία και με AQ χωρίς παρεμβάσεις. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων τόσο για χλωροφύλλη α όσο και για β διέφεραν σημαντικά ανάμεσα σε υδροπονία και ενυδρειοπονία (χωρίς διαφυλλικό ψεκασμό) με την δεύτερη να έχει σημαντικά μικρότερες συγκεντρώσεις. Η αθροιστική συγκέντρωση χλωροφυλλών (chl_a+b) βρέθηκε μέγιστη την μέρα 53 του πειράματος με τα φυτά της CAP στα 79.77 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ να προηγούνται με διαφορά από HP και τέλος την AQ με 52.79 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Οι τιμές πριν την έναρξη της καρποφορίας παρουσίασαν αύξηση μέχρι ένα μέγιστο σημείο μετά το οποίο άρχισαν να μειώνονται. Οι Yep b., et al., (2020) συγκρίνοντας την απόκριση της ανάπτυξης φυτών κάνναβης σε υδροπονία και ενυδρειοπονία παρατήρησαν παρόμοια πορεία των ολικών συγκεντρώσεων χλωροφύλλης καθώς και παρόμοιες διαφορές μεταξύ των μέγιστων τιμών κάθε μεταχείρισης, με την HP να εμφανίζει τιμές σχεδόν διπλάσιες από την AQ. Ακόμα ο Wortman (2015) σύγκρινε τις δυο αυτές μεθόδους καλλιέργειας και κατέληξε στο ίδιο συμπέρασμα όσον αφορά την ολική χλωροφύλλη που παρουσιάστηκε στα φύλλα των φυτών, δηλαδή σημαντική υστέρηση της μεθόδου ενυδρειοπονίας έναντι της υδροπονίας. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην μειωμένη περιεκτικότητα αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα της ενυδρειοπονίας σε σχέση με αυτό της υδροπονίας (Faltono et al., 2009), διότι η σύνθεση της χλωροφύλλης από κάθε φυτό απαιτεί πολλά στοιχεία από το έδαφος, όπως το άζωτο και φώσφορος, άρα το έδαφος – υπόστρωμα και η ύπαρξη θρεπτικών σε αυτό είναι σημαντικός παράγοντας (Fredeen et al., 1990).

Η συγκέντρωση των καροτενοειδών εμφάνισε μέγιστες τιμές για HP και CAP κατά την μέρα 53 και για την AQ κατά την 67. Οι HP και CAP παρουσίασαν κατά κύριο λόγο παραπλήσιες τιμές με αυτές να κυμαίνονται από 8,2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ – 13,35 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Η AQ παρουσίασε τις ελάχιστες τιμές απ' όλες 6,2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ – 10,24 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Τα καροτενοειδή είναι ένα βασικό μέρος της αντίδρασης του φυτού στις συνθήκες του περιβάλλοντός του (Garrity et al., 2011). Η συγκέντρωσή τους στα φύλλα επηρεάζεται από την παρουσία παραγόντων καταπόνησης καθώς προστατεύουν τις χλωροφύλλες από φωτοοξειδωτικές βλάβες σε περιόδους με υψηλές εντάσεις φωτός ή/και παράλληλες καταπονήσεις. Σε σύγκριση των δυο μεθόδων καλλιέργειας (HP-AQ) για την καλλιέργεια τομάτας και δοκιμή μεθόδων βελτίωσης της AQ, οι Roosta and Hamidpour (2011) κατέγραψαν ότι τα καροτενοειδή στα φύλλα είχαν σημαντικά διαφορετικές συγκεντρώσεις μεταξύ τους, με την HP να εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές.

Όπως και η αθροιστική συγκέντρωση χλωροφυλλών έτσι και ο λόγος χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη b (chl_a/b) σχετίζεται με την φωτοσυνθετική λειτουργία του φυτού (Li et al., 2018). Σε όλες τις μετρήσεις πλην των δυο πρώτων, ο λόγος a/b ήταν

σημαντικά μεγαλύτερος στα φυτά της AQ από αυτά των HP και CAP που δεν είχαν διαφορές μεταξύ τους. Οι τιμές του λόγου στα φυτά της HP κυμάνθηκαν από 3,7 – 4,33 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, σε αυτά της CAP από 3,58 – 4,2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ και στην AQ από 3,1 – 4,57 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Οι σημαντικά μικρότερες τιμές που εμφάνισαν τα φυτά της HP και CAP συγκριτικά με την AQ στον λόγο a/b ίσως σχετίζονται με την ανάπτυξη και την αρχιτεκτονική των φυτών. Τα φύλλα της AQ αναπτύσσονται με μεγαλύτερη άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και αυτό με την σειρά του οφείλεται στην ύπαρξη λιγότερων φύλλων πάνω στο φυτό που να σκιάζει το ένα το άλλο. Στα φυτά της HP και CAP που η ολική φυλλική επιφάνεια ήταν μεγαλύτερη και μπορεί πολλά φύλλα να σκιάζουν άλλα με αποτέλεσμα ο λόγος chl a/b να είναι πιο χαμηλός. Ένα συμπέρασμα που μπορεί να βγει από τον λόγο χλωροφύλλης/καροτενοειδών (chl/car) είναι η καταπόνηση στα φυτά. Ο μειωμένος λόγος στις περισσότερες μετρήσεις της AQ σε σχέση με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις υποδεικνύει την ύπαρξη καταπόνησης σε αυτά (Garrity et al., 2011). Ο λόγος για όλες τις μεταχειρίσεις αρχικά αυξήθηκε και μετά παρουσίασε σχετική σταθεροποίηση, αντίδραση που ίσως υποδεικνύει ότι τα φυτά είχαν καταπονηθεί κατά την εγκατάστασή τους αλλά μετά επανήλθαν. Οι λόγος για την HP ήταν ο πιο υψηλός και κυμάνθηκε από 4,6 ως 6,2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Η περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε φαινολικές ενώσεις μπορεί να επηρεαστεί από τις συνθήκες στο περιβάλλον του φυτού. Αύξηση αυτών μπορεί να προκύψει σε καταπονητικές καταστάσεις, όπως η έκθεσή του σε υψηλές ακτινοβολίες, μόλυνση από παθογόνα ή παράσιτα, πληγές, κακή ποιότητα αέρα και έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες (Zobel et al., 1997). Ακόμα εκτός από τα παραπάνω, η καλλιεργητική τεχνική καθώς και οι συνθήκες κατά την ανάπτυξη, ωρίμανση και αποθήκευση μπορούν να επιδράσουν στα επίπεδα φαινολικών ενώσεων στους ιστούς (Naczk et al., 2004). Στο παρόν πείραμα σε όλες τις μετρήσεις φαινολικών των φύλλων βρέθηκε ότι τα φυτά της AQ είχαν τις υψηλότερες τιμές, πράγμα που θα μπορούσε να αποτελέσει δείκτη ύπαρξης κάποιας καταπόνησης στην συγκεκριμένη μεταχείριση. Οι τιμές στα φυτά των HP και CAP ήταν παραπλήσιες και σχετικά σταθερές σε όλο το πείραμα, εμφανίζοντας μόνο μια αύξηση κατά τις τελευταίες μέρες. Ενδεικτικά οι υψηλότερες τιμές ήταν στην AQ και κυμαίνονταν από 0,44 – 0,54 mgGA/g ξηρού ιστού. Επειδή το άζωτο έχει σημαντικό ρόλο στην σύνθεση φαινολικών ενώσεων (Camille et al., 2009) αλλά και σε διεργασίες μέσα στο φυτό, περιπτώσεις μειωμένης παροχής του οδηγούν σε πολύπλοκη διαχείρισή του στην μεταβολική διαδικασία στα φύλλα (Stitt et al., 1999, Scheible et al., 1997). Αυτό ίσως αποτελεί μια εξήγηση του λόγου αυξημένης παρουσίας φαινολικών ενώσεων στα φυτά της AQ που είχαν ως παροχή του στοιχείου μόνο τις νιτρικές ενώσεις από το νερό των ψαριών. Οι Nozzi et al., (2018) σύγκριναν διαφορετικές μεθόδους ενυδρείοπονίας (μια με παροχή θρεπτικών μόνο από το νερό των ψαριών και μια με συμπλήρωση θρεπτικών μέσω λιπασμάτων) με κλασική υδροπονία σε καλλιέργειες μαρουλιού και μέντας. Δεν βρήκαν καμία διαφορά στην απόκριση του μαρουλιού στις μεταχειρίσεις, ενώ στην μέντα που αναπτύχθηκε σε ενυδρείοπονία χωρίς προσθήκη επιπλέον θρεπτικών παρουσιάστηκαν σημαντικά υψηλότερες τιμές φαινολικών σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

Τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού καθορίζουν την εμπορευσιμότητά του. Στα ποσοτικά χαρακτηριστικά εντάσσουμε το βάρος και το μέγεθός του. Στην παρούσα μελέτη μελετήθηκαν αυτά τα χαρακτηριστικά για καρπούς

τριών ταξικαρπιών παρακολουθώντας τους από την μέση έως τη λήξη της καλλιεργητικής περιόδου. Οι μεταχειρίσεις της HP και CAP δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στο μέσο βάρος του καρπού σε καμία από τις ταξικαρπίες που μελετήθηκαν. Η AQ στην ταξικαρπία 6 δεν είχε ώριμους καρπούς στο επιθυμητό επίπεδο ως το τέλος του πειράματος και στις άλλες δυο ταξικαρπίες (2η και 4η) δεν συμπλήρωσε σημαντικό αριθμό καρπών. Επιπλέον οι καρποί της AQ που ήταν έτοιμοι ήταν σημαντικά μικρότεροι, με σχεδόν το μισό βάρος. Πιο αναλυτικά το μέσο βάρος καρπού για την HP και την CAP ήταν περίπου 290g ενώ αντίστοιχα για την AQ 170g. Τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζονται από την έρευνα των Roosta et al. (2011) στην περίπτωση των οποίων βρέθηκε ότι οι καρποί που προέρχονται από υδροπονική καλλιέργεια είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από αυτούς της ενυδραιοπονικής μεθόδου. Όσον αφορά το μέγεθος, μελετήθηκε η διάμετρος του καρπού στην περιοχή του ισημερινού (άξονας X) και το ύψος του στον κάθετο άξονα, με εκκίνηση το σημείο αποκοπής από το φυτό (άξονας Y). Έτσι βρέθηκε ότι οι καρποί των HP και CAP είναι απόλυτα όμοιοι τόσο στη διάμετρο τους, όσο και στο ύψος τους σε όλες τις ταξικαρπίες. Ταυτόχρονα, οι δυο αυτές μεταχειρίσεις παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την AQ στο μέγεθος των καρπών σε όλες τις ταξικαρπίες εκτός από την περίπτωση του ύψους στην 4η ταξικαρπία. Τα αποτελέσματα για εμπορεύσιμους καρπούς ανάμεσα σε HP και CAP συμβαδίζουν με τα αποτελέσματα των Suhl et al. (2016) όπου σε σύγκριση υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας και καλλιέργειας με νερό από ιχθυοκαλλιέργεια εμπλουτισμένο με λιπάσματα και οι δυο μεταχειρίσεις παρουσίασαν όμοια αποτελέσματα. Οι Khater et al. (2015) σε μελέτη ενυδραιοπονίας τομάτας με διαφορετική παροχή νερού στα φυτά βρήκαν επίσης ότι η παραγωγή των φυτών, τόσο σε μέγεθος καρπού αλλά και σε ποσότητα ανά φυτό, μπορεί να αυξηθεί απλά με την αύξηση της παροχής του νερού των ψαριών σε αυτά.

Η σκληρότητα των καρπών για όλες τις μεταχειρίσεις δεν παρουσίασε καμία διαφορά σε καμία ταξικαρπία, με τη μέση τιμή αυτής να κυμαίνεται στα 12 N. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι η μέθοδος καλλιέργειας και οι παράμετροί της δεν έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην σκληρότητα των καρπών.

Το pH του χυμού των καρπών δεν έδειξε σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε αυτούς της HP και CAP σε καμία μεταχείριση. Αντίθετα ο χυμός των καρπών της AQ ήταν αρκετά διαφορετικός στις τιμές pH του, με την 2η ταξικαρπία να εμφανίζει χαμηλότερες και την 4η υψηλότερες τιμές από τις άλλες μεταχειρίσεις. Με την πάροδο του χρόνου οι τιμές του pH για τις πιο πάνω ταξικαρπίες αυξάνονταν σε σχέση με τις προηγούμενες εμφανίζοντας μια μέγιστη τιμή περί του 4.5 για την ταξικαρπία 6. Οι Schmautz et al. (2016) που μελέτησαν την εφαρμογή τριών μεθόδων καλλιέργειας εκτός εδάφους (NFT, drip και σύστημα επίπλευσης) τόσο σε υδροπονία όσο και σε ενυδραιοπονία για την καλλιέργεια τομάτας και έκαναν σύγκριση μεταξύ τους αλλά και με τομάτες του εμπορίου, βρήκαν ότι οι τιμές pH δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ μεταχειρίσεων, παρουσιάζοντας μια μέση τιμή κοντά στο 4,5.

Η οξύτητα του χυμού των καρπών παρουσίασε σημαντική διαφορά στους καρπούς της AQ σε σχέση με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις. Η οξύτητα του χυμού της AQ έφτασε μόλις τα 0,28 g μηλικού οξέος για κάθε 100 g χυμού, σχεδόν μισή ποσότητα από αυτή της CAP στα 0,45g. Οι τιμές του pH μας δίνουν ποσοτικές πληροφορίες για την οξύτητα του χυμού ενώ η ογκομετρούμενη οξύτητα μια πιο ποιοτική ένδειξη του της

συγκέντρωσης των οξέων στο χυμό. Οι Simonne et al. (2007) ανέφεραν μείωση την ογκομετρούμενης οξύτητας με την αύξηση της θρέψης με άζωτο του φυτού. Αντίθετα οι Wang et al. (2007) συμπέραναν ταυτόχρονη αύξηση τόσο της οξύτητας όσο και των σακχάρων με την αύξηση του αζώτου. Παρότι η μέτρηση της περιεκτικότητας φυτού σε άζωτο δεν ήταν στους στόχους του παρόντος πειράματος, ίσως θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι υπάρχει σύνδεση της μεγαλύτερης οξύτητας στους καρπούς των μεταχειρίσεων HP και CAP με μία καλύτερη τροφοδοσία τους με άζωτο. Είναι γνωστό ότι η μείωση της παροχής του φυτού με άζωτο έχει σημαντική επίπτωση στην ανάπτυξη και την αξιοποίηση του άνθρακα στον καρπό, όπως άλλωστε υποδεικνύεται από τα αποτελέσματα των Benard et al. (2009), οι οποίοι παρατήρησαν σημαντική μείωση της οξύτητας τομάτας που αναπτύχθηκε σε υδροπονία με μειωμένη παροχή αζώτου.

Η περιεκτικότητα σε σάκχαρα που δίνουν τη γλυκιά γεύση στην τομάτα είναι από τα σημαντικότερα γευστικά κριτήρια των καταναλωτών. Τα ολικά διαλυτά στερεά συστατικά που κατά κύριο λόγο αποτελούνται από σάκχαρα είναι ένα βασικό ποιοτικό χαρακτηριστικό σε ένα προϊόν τομάτας (Braglia et al., 2021). Στο πείραμά μας βρέθηκε ότι στους καρπούς των HP και CAP η περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά ήταν σε ίδια επίπεδα όντας ταυτόχρονα και σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή των καρπών της AQ. Οι μετρήσεις έδειξαν μέγιστα επίπεδα της τάξης του 4,97% Brix σε καρπούς της CAP και 3,05% Brix σε καρπούς της AQ. Η ομοιότητα που βρέθηκε ανάμεσα σε HP και CAP έρχεται σε αντίθεση με όσα βρήκαν οι Suhl et al. (2016), οι οποίοι ανέφεραν περιεκτικότητα ολικών διαλυτών μειωμένη κατά 7% σε καρπούς ενυδρείοπονίας ενισχυμένης με λιπάσματα σε σχέση με την κλασική μέθοδο υδροπονίας. Οι Braglia et al. (2021) σε σύγκριση φυτών που αναπτύχθηκαν στο έδαφος με αυτά που αναπτύχθηκαν σε σύστημα ενυδρείοπονίας δεν παρατήρησαν διαφορές στην περιεκτικότητα των καρπών τους σε διαλυτά στερεά. Το χαρακτηριστικό αυτό των καρπών και η διακύμανση των τιμών του από μεταχείριση σε μεταχείριση μπορεί να έχει βάση σε γενετικά χαρακτηριστικά ποικιλιών (Bekles et al., 2012) και να εμφανίζονται παρόμοιες τιμές σε φυτά ίδιας ποικιλίας ανεξάρτητα από τις συνθήκες ανάπτυξης. Αντίθετα, υπάρχουν έρευνες τα αποτελέσματα των οποίων βρίσκονται στην αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή ότι η λίπανση και οι συνθήκες λίπανσης μπορούν να επηρεάσουν τα ολικά διαλυτά (Barrett et al., 2007).

Το λυκοπένιο είναι η κύρια χρωστική στους καρπούς της τομάτας και σε αυτή οφείλεται και το κόκκινο χρώμα. Ανήκει στα καροτενοειδή και έχει αντιοξειδωτική δράση. Η περιεκτικότητα των καρπών σε λυκοπένιο εξαρτάται από το είδος, το στάδιο συγκομιδής, τη θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια της καλλιέργειας (Dumas et al., 2003). Στις μετρήσεις του πειράματος, το επίπεδο του λυκοπένιου ανάμεσα σε HP και CAP δεν διέφερε σε καμία ταξικαρπία, αλλά οι καρποί των φυτών της AQ παρουσίασαν σημαντικά μικρότερες τιμές της χρωστικής. Πιο αναλυτικά οι μέγιστη τιμή βρέθηκε στην 6η ταξικαρπία σε καρπό της CAP με 131.88mg/kg νωπού βάρους καρπού και η ελάχιστη σε καρπό της AQ στην 2η ταξικαρπία στα 68,6 mg/kg νωπού βάρους. Τα αποτελέσματα αυτά είναι όμοια με όσα βρήκαν οι Suhl et al. (2016) με τους καρπούς υδροπονίας και ενυδρείοπονίας με λίπασμα να έχουν παρόμοια επίπεδα λυκοπένιου. Αντίθετα οι Braglia et al. (2021) βρήκαν αυξημένα επίπεδα λυκοπένιου σε φυτά ενυδρείοπονίας σε σχέση με φυτά αγρού. Σε μια ακόμα σύγκριση από τους Schmautz et al. (2016) ανάμεσα σε

ενυδρειοπονία, υδροπονία και καρπούς από τυχαίες αγορές οι τιμές του λυκοπένιου στους καρπούς της υδροπονίας ήταν όμοιες με αυτές των καρπών που είχαν αγοραστεί τυχαία από μεγάλα μάρκετ, ενώ της ενυδρειοπονίας είχαν σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις λυκοπένιου.

Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν σε όλες τις μετρηθείσες παραμέτρους της παρούσας εργασίας, με τη σημαντική υστέρηση της AQ ίσως θα μπορούσαν να αποδοθούν στην πιθανή απουσία από το θρεπτικό διάλυμα στοιχείων που είναι απαραίτητα για την σωστή ανάπτυξη (Knaus et al., 2017). Σύμφωνα με τους Rakocy (2003), και Villarroel et al. (2011) τα συστήματα ενυδρειοπονίας εμφανίζουν περιοριστικούς παράγοντες όσο αφορά την εφαρμογή τους σε απαιτητικές καλλιέργειες όπως αυτές τις τομάτας, της πιπεριάς και της αγγουριάς, γεγονός του υποστηρίζεται και από τους Yep and Zheng (2019). Αντίθετα αποτελεσματικότερη εφαρμογή της μεθόδου μπορεί να γίνει σε λιγότερο απαιτητικές καλλιέργειες όπως αυτή του μαρουλιού (Luciano et al. 2016). Απαιτείται περισσότερη μελέτη για την απόδειξη μιας τέτοιας περίπτωσης καθώς η παρούσα εργασία δεν μελέτησε τη σύσταση του θρεπτικού διαλύματος των φυτών.

5 Συμπεράσματα

- Στην πλειονότητα των μετρήσεων τα φυτά της AQ υστερούσαν σημαντικά από τα φυτά των άλλων μεταχειρίσεων, με την HP και CAP να εμφανίζουν τις περισσότερες ομοιότητες.
- Η ανάπτυξη των φυτών της AQ, όπως καταγράφηκε από τα νωπά και ξηρά βάρη των φύλλων, ήταν σημαντικά μικρότερη από της HP και CAP σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Οι διαφορές μεγεθύνθηκαν προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, με την AQ να καταλήγει στο 1/3 των βαρών των άλλων δύο μεταχειρίσεων.
- Τα φύλλα των μεταχειρίσεων HP και CAP είχαν σημαντικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε φωτοσυνθετικές χρωστικές σε σχέση με εκείνα της AQ.
- Οι αυξημένες τιμές του λόγου chl_a/chl_b στα φυτά της AQ υποδεικνύουν καλύτερη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, πιθανώς λόγω μικρότερης ανάπτυξης και αντίστοιχης αρχιτεκτονικής του φυτού.
- Οι μειωμένες τιμές του λόγου chl/car αποτελούν ένδειξη καταπόνησης στα φυτά της AQ.
- Η αυξημένη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών στα φύλλα της AQ σε σχέση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις καθόλη τη διάρκεια του πειράματος ενισχύει την υπόθεση της καταπόνησης.
- Αξιοσημείωτη η ομοιότητα ανάμεσα σε HP και μελετώμενη μέθοδο καλλιέργειας CAP σε όλα τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού, όπως το μέγεθος, βάρος και συγκέντρωση ολικών διαλυτών στερεών (χαρακτηριστικά εμπορευσιμότητας).
- Δεδομένου ότι όλοι οι καρποί συλλέχθηκαν στο ίδιο στάδιο ωρίμανσης, το χαμηλότερο περιεχόμενο σε λυκοπένιο της AQ συγκριτικά με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις, παραπέμπει σε μειωμένη ποιότητα του τελικού προϊόντος στη συζευγμένη ενυδραιοπονία.
- Όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού, αλλά και τα αναπτυξιακά και βιοχημικά χαρακτηριστικά του φυτού που μελετήθηκαν υποδεικνύουν την αποξευγμένη ενυδραιοπονία ως μία πολλά υποσχόμενη μέθοδο που θα επιτρέψει την ταυτόχρονη παραγωγή τομάτας με μειωμένη χρήση λιπασμάτων και ψαριών.

6 Βιβλιογραφία

- Barrett DM., Weakley C., Diaz J.V., Watnik M., (2007). Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems. *Journal of Food Science*, 72:441-451
- Beckles DM, (2012). Factors affecting the postharvest sugars and total soluble solids in tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruits, post harvest. *Biol Technol*, 63:129-140
- Benard C., Gautier H., Bourgaud F., Grasselly D., Navez B., Caris-Veyrat C., Weiss M., Genard M., (2009). Effects of Low Nitrogen Supply on Tomato (*Solanum lycopersicum*) Fruit Yield and Quality with Special Emphasis on Sugars, Acids, Ascorbate, Carotenoids, and Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10): 4112-4123
- Bergougnoux Veronique, (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32(1):170-189
- Bhowmik D., Kumar K.P.S., Paswan S., Srivastava S., (2012). Tomato- A Natural Medicine and its Health Benefits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(1):33-43
- Braglia R., Costa P., Marco G., D'Agostino A., Redi E., Scuderi F., Gismondi A., Canini A., (2021). Phytochemicals and quality level of food plants grown in an aquaponics system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(2): 844-850
- Camelo A.F.L, Gomez P.A., (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*. 22:534-537
- Chen C.T., Li C.C., Kao C.H., (1991). Senescence of rice leaves. XXXI. Changes of chlorophyll, protein and polymine contents and ethylene production during senescence of a chlorophyll-deficient mutant. *Journal of Plant Growth*, 10: 201-205
- Dielman J.A., Heuveling E., (1992). Factors affecting the number of leaves preceding the first inflorescence in the tomato. *Journal of Horticulturae Science*. 67:1-10
- Dumas Y., Dadomo M, Di Lucca G., Grolier P., (2003). Review effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatos. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83:369-382
- Falovo C., Roupheal Y., Rea E., Battistelli A., Colla G., (2009). Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa L.* var. acephala in floating raft culture. *Journal of Food and Agriculture*, 89: 1682-1689
- Fraser P.D., Truesdale M.R., Shuch W., Bramley P.M., (1994). Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology*, 105:405-413
- Fredeen A.L., Rao I.M., Terry N., (1990). Effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Glycine man (L.)*. *Merr. Planta* 181:399-405

- Garrity S., Eitel J.U.H., Vierling L., (2011). Disentangling the relationships between plant pigments and the photochemical reflectance index reveals an new approach for remote estimation of carotenoid content. *Remote sensing of Environment*, 115(2): 628-635
- Geisenhoff L., Jordan R., Santos R., Oliveira F., Gomes E., (2016). Effect of different substrates in aquaponics lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. *Engenharia Agricola*, 36(2): 291-299
- Khater E.S.G, Bahnasawy A.H., Shams A.H.S., Hassaan M., Hassan Y., (2015). Utilization of effluent fish farms in tomato cultivation. *Ecological Engineering* 83: 199-207
- Knaus U., Palm H.W., (2017). Effects of fish species choice on vegetables in aquaponics under spring-summer conditions in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture*, 473:62-73
- Leonardi C., Ambrosino P., Esposito F., Fogliano V., (2000). Antioxidative Activity and Carotenoid and Tomatine Contents in Different Typologies of Fresh Consumption Tomatoes. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 48(10): 4723-4727
- Li Y., He N., Hou J., Xu L., Liu C., Zhang J., Wang Q., Zhang X., Wu X., (2018). Factors influencing leaf and chlorophyll content in natural forests at the biome scale. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6:64
- Naczki M., Shahidi F., (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography*, 1054(1-2,29):95-111
- Nozzi V., Graber A., Schmutz Z., Mathis A., Junge R., (2018). Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. *Agronomy*, 8(3) 27
- Pantanella E., Bhujel C.R., (2015). Saline Aquaponics-Potential Player in Food, Energy Production. *Global Aquaculture Advocate*, 42-42
- Pickens J., Danaher J., Sibley J., Chappell J., Hanson T., (2020). Integrating Greenhouse Cherry Tomato Production with Biofloc Tilapia Production. *Horticulturae* 6(3): 44
- Pineda. P.J., Zamora V.A., Velazquez M.I., Perez R., Arias R.J.A., Toledano L.A., (2018). Yield of two cultivars of lettuce (*Lactuca sativa L.*) in hydroponic and aquaponics systems. *Acta Horticulturae* 1227:347-354
- Pineda P. J., Velázquez I.M., Ramírez A.A., Hernández V., Hernández D, Galván G., Ramírez G.N.M., (2020). Response of tilapia and tomato to the complementation of nutrients in an aquaponic system. *Acta Horticulturae*, 1296(1296): 101-107
- Rabiya A., Martinez P., Ahmad R., (2021). An ontology model to support the automated design of aquaponics grow beds. *Procedia CIRP*, 100: 55-60
- Rakocy E. James, (2012). Aquaponics- Integrating Fish and Plant Culture. *Aquaculture Production systems*. Pp 343-386

Riggi E., Patane C., Ruberto G., (2008). Content of carotenoids at different ripening stages in processing tomato in relation to soil water availability. *Journal Agriculture*, 59:348-353

Roosta H.R., Hamidpour M. (2011). Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponics and hydroponic systems.

Scheible W.R., Gonzalez-Fontes A., Lauerer M., Muller R.B., Caboche M., Stitt M., (1997). Nitrate acts as a signal to induce organic acid metabolism and repress starch metabolism in tobacco. *Plant Cell*, 9(5): 783-798

Schmautz Z., Loeu F., Liebisch F., Graber A., Mathis A., Bulc T.G., Junge R., (2016). Tomato Productivity and Quality in Aquaponics: Comparison of Three Hydroponic Methods. *Water* 8(11): 533

Simonne A., Fuzere J.M., Simonne E., Hochmuth R.C., Marshall M.R., (2007). Effects of nitrogen rates on chemical composition of yellow grape tomato grown in subtropical climate. *Journal of Plant Nature*, 30:927-935

Somerville C., Cohen M., Pantanella E., Stankus A., Lovatelli A., (2014). Small-scale aquaponics food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome. FAO. pp 262

Stitt M., (1999). Nitrate regulation of metabolism and growth. *Plant Biology* 2:178-186

Suhl J., Dannehl D., Kloas W., Baganz D., Jobs S., Scheibe G., Schmidt U., (2016). Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*, 178:335-344

Tarigan N.B., Goddek S., Keesman K.J., (2021). Explorative Study of Aquaponics Systems in Indonesia. *Sustainability*, 13(22): 12685

Villarroel M., Alvarino J.M., (2011). Aquaponics: integrating fish feeding rates and ion waste production for strawberry hydroponics. *Spanish Journal Agriculture*, 9:537

Wang Y.T., Huang S.W., Liu R.L., Jin J.Y., (2007). Effects of nitrogen application on flavor compounds of cherry tomato fruits. *Journal of Nature Soil Science*, 170:461-468

Wongkiew S., Hu Z., Chandran K., Lee J.W., Khanal S.K., (2017). Nitrogen transformations in aquaponics systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76:9-19

Wortman Sam, (2015), Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 194: 34-42

Yang Teng and Kim Hye-Ji, (2020). Characterizing Nutrient Composition and Concentration in Tomato-, Basil-, and Lettuce-Based Aquaponic and Hydroponic systems. *Water*, 12(5):1259

Yep B., Gale N.V., Zheng Y., (2020). Comparing hydroponic and aquaponics rootzones on the growth of two drug-type *Cannabis sativa* L. cultivars during the flowering stage. *Industrial Crops and Products*, 157.

Yep B., Youbin Z., (2019). Aquaponic trends and challenges – A review. Journal of Cleaner Production, 228: 1586-1599

Zobel A.M., Tomas-Barber F.A., Robbins R.J., (1997). Phytochemistry of fruit and vegetables, pp 173-204

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT), <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

Αγγίδης Αθανάσιος, (1996), Τομάτα Υπαίθρια. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Κατσούλας Νικόλαος, (2017), Τα πλεονεκτήματα των καλλιεργειών λαχανικών σε θερμοκήπια – διχτυοκήπια. Εφημερίδα για την Αγροτική Ανάπτυξη ΥΠΑΙΘΡΟΣ ΧΩΡΑ. https://www.ypaithros.gr/ta-pleonektimata-twn-kalliergeiwn-laxanikwn-se-thermokia-dixtiokipia/?cli_action=1643716970.528

Κατσούλας Νικόλαος (2021), Διαλέξεις Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Μαυρογιαννόπουλος Γεώργιος Ν., (2005), Θερμοκήπια. Εκδόσεις ΣΤΑΜΟΥΛΗ Α.Ε., Αθήνα.

Σάββας Δημήτριος, (2011), Καλλιέργειες Εκτός Εδάφους, Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις ΑΓΡΟΤΥΠΙΟΣ ΑΕ, Μαρούσι.

Χα Ιμπραχίμ-Αβραάμ, Πετρόπουλος Σπύρος, (2014), Γενική Λαχανοκομία & Υπαίθρια Καλλιέργεια Λαχανικών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/>