



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Φυτικής παραγωγής & αγροτικού περιβάλλοντος

«Αντιοξειδωτικό δυναμικό αρωματικών φυτών που αναπτύσσονται σε κλειστά συστήματα υδροπονίας με επαναχρησιμοποίηση απορροών»

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΑΤΖΗΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ ΕΥΘΣΜΗ ΔΑΝΑΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΕΒΙΖΟΥ ΕΥΘΥΜΙΑ

Βόλος 2023

«Αντιοξειδωτικό δυναμικό αρωματικών φυτών που αναπτύσσονται σε κλειστά συστήματα υδροπονίας με επαναχρησιμοποίηση απορροών»

“Antioxidant potential of aromatic plants grown in closed hydroponic systems with drainage re-use”

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

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

Επιβλέπουσα

2. Κατσούλας Νικόλαος, Καθηγητής Γεωργικών Κατασκευών με έμφαση στα Θερμοκήπια, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο

Θεσσαλίας, **Μέλος**

3. Λύκας Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ανθοκομίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**

«Βεβαιώνω ότι είμαι η συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ»

Χατζηγεωργιάδου Ευόσμη Δανάη

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια και επιβλέπουσα της παρούσας πτυχιακής διατριβής, κ. Λεβίζου Ευθυμία για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση του θέματος της εργασίας, αλλά και τη συνεχή της καθοδήγηση σε όλη τη διαδικασία διεξαγωγής του πειράματος και συγγραφής της διατριβής.

Επίσης, θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Ευαγγελία Τσουμαλάκου για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

Περίληψη

Η επαναχρησιμοποίηση των απορροών υδροπονικής καλλιέργειας (σύστημα Cascade) είναι μία φιλική προς το περιβάλλον πρακτική που ταυτόχρονα εξυπηρετεί την εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων. Εντούτοις, το επαναχρησιμοποιούμενο διάλυμα φέρει το μειονέκτημα της αυξημένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, την οποία τα φυτά θα πρέπει να αντιμετωπίσουν. Στόχος της παρούσας διατριβής ήταν η μελέτη των αποκρίσεων τεσσάρων αρωματικών ειδών σε αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος υδροπονίας, η οποία οφείλεται στην επαναχρησιμοποίηση των απορροών μίας πρωτεύουσας καλλιέργειας (τομάτας) σε σύστημα Cascade. Εξετάστηκαν διάφορες παράμετροι του αντιοξειδωτικού δυναμικού της μέντας και του δυόσμου ως δευτερεύουσες καλλιέργειες και του κρίταμου και μέλισσας ως τριτεύουσες. Ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε φρέσκο διάλυμα θρέψης εμπλουτισμένο με NaCl προκειμένου να φτάσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του Cascade. Μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των φύλλων σε φαινολικά, χλωροφύλλες και προλίνη, ενώ εκτιμήθηκε και η αντιοξειδωτική τους ικανότητα μέσω του DPPH assay σε δύο δειγματοληψίες, μία στο μέσο και μία στο τέλος του πειράματος. Σε ότι αφορά την αντιοξειδωτική ικανότητα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κανένα φυτικό είδος μεταξύ των μεταχειρίσεων σε καμία δειγματοληψία. Τα φυτά-μάρτυρες της μέντας, του δυόσμου και της μέλισσας εμφάνισαν μία τάση για υψηλότερες συγκεντρώσεις προλινών, όμως, δεν ήταν στατιστικώς σημαντικό το αποτέλεσμα στην τελική συλλογή. Στο κρίταμο, αντιθέτως, το Cascade είχε σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις προλινών. Η συγκέντρωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών ήταν παρόμοια μεταξύ μεταχειρίσεων και στις δύο δειγματοληψίες σε μέντα, μέλισσα και κρίταμο. Αντίθετα ο δυόσμος διατήρησε υψηλότερα επίπεδα χλωροφυλλών στην μεταχείριση Cascade. Η μέντα, ο δυόσμος και η μέλισσα είχαν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης φαινολικών στην Cascade μεταχείριση της 2^{ης} δειγματοληψίας. Το κρίταμο αντιθέτως παρουσίασε στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερες τιμές στον μάρτυρα. Συμπερασματικά, ήταν σαφής μια ειδοειδική απόκριση στις μεταχειρίσεις, όπως καταγράφηκε σε όλες τις μετρούμενες παραμέτρους. Ωστόσο, η γενική εικόνα είναι ότι, με εξαίρεση το κρίταμο, τα άλλα είδη παρουσίασαν παρόμοιες αντιδράσεις στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα και του Casade.

Περιεχόμενα

1	Υδροπονία	8
1.1	Ορισμός	8
1.2	Σημασία της τεχνικής.....	8
1.3	Ιστορική αναδρομή.....	10
1.4	Υδροπονία στην Ευρώπη και Μεσόγειο	13
1.5	Μορφολογικά χαρακτηριστικά υδροπονικών φυτών.....	14
1.6	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	15
1.6.1	Πλεονεκτήματα	15
1.6.2	Μειονεκτήματα.....	16
2	Cascade	16
2.1	Σημασία της τεχνικής.....	16
2.2	Κλειστό σύστημα / επαναχρησιμοποίηση απορροών	17
2.3	Περιγραφή τεχνικής.....	18
3	Καταπόνηση αλατότητας	18
3.1	Επίδραση της αυξημένης αλατότητας στη φυσιολογία του φυτού.....	19
3.2	Στρατηγικές αντιμετώπισης.....	20
4	Αρωματικά φυτά	20
5	Λίγα λόγια για τα φυτά του πειράματος	21
5.1	Τομάτα	21
5.2	Το γένος <i>Mentha</i>	23
5.3	Μέντα <i>Mentha spicata</i>	24
5.4	Δυόσμος <i>Mentha piperita</i>	24
5.5	Μέλισσα <i>Melissa officinalis</i>	25
5.6	Κρίταμο <i>Crithmum maritimum</i>	26

6	Στόχος	27
7	Υλικά και μέθοδοι	28
7.1	Θερμοκήπιο.....	28
7.2	Πειραματικό σχέδιο	29
7.3	Εργαστηριακές μετρήσεις	30
7.3.1	Μέτρηση αντιοξειδωτικής ικανότητας.....	30
7.3.2	Μέτρηση προλίνων.....	31
7.3.3	Μέτρηση φωτοσυνθετικών χρωστικών	32
7.3.4	Μέτρηση ολικών φαινολικών	35
7.3.5	Στατιστική επεξεργασία	36
8	Αποτελέσματα	37
8.1	ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ.....	37
8.2	ΠΡΟΛΙΝΕΣ.....	39
8.3	ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ	41
8.4	ΦΑΙΝΟΛΙΚΑ.....	54
9	Συζήτηση	57
10	Συμπεράσματα	59
11	Βιβλιογραφία	60

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1 Υδροπονία

1.1 Ορισμός

Υδροπονία είναι όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την καλλιέργεια φυτών χωρίς έδαφος (Udit Debangshi, 2021). Είναι ένα σύστημα ανάπτυξης φυτών σε θρεπτικό διάλυμα με ή χωρίς τη βοήθεια ενός τεχνικού μέσου, του υποστρώματος, το οποίο χρησιμοποιείται για την μηχανική υποστήριξη των φυτών (Αγγλογάλλος, 2010). Εναλλακτικές ονομασίες που χρησιμοποιούνται είναι επίσης θρεπτική καλλιέργεια, υδροκαλλιέργεια ή καλλιέργεια χωρίς έδαφος. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από έναν Αμερικάνο καθηγητή φυσιολόγο φυτών του πανεπιστημίου της Καλιφόρνια, τον δόκτορα William Frederick Gericke. Ο Gericke σύνθεσε την λέξη υδροπονία που προέρχεται ετυμολογικά από τις αρχαίες ελληνικές λέξεις 'ύδωρ' που σημαίνει νερό και 'πόνος' που σημαίνει εργασία, δηλαδή η σύνθετη λέξη μεταφράζεται ως εργασία με νερό ή εργαζόμενο νερό (Udit Debangshi, 2021).

1.2 Σημασία της τεχνικής

Η ανάγκη μιας νέας τεχνικής καλλιέργειας όπως η υδροπονία δημιουργήθηκε λόγω προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο σύγχρονος κόσμος. Προβλήματα όπως η κλιματική αλλαγή, αστικοποίηση, εκβιομηχάνιση και το υποβαθμισμένο έδαφος που έχουν αφήσει οι παλαιότερες γενιές λόγω υπερεκμετάλλευσης και κακής διαχείρισης, έχουν προκαλέσει την ανάγκη της αύξησης της αποδοτικότητας της καλλιεργήσιμης γης ανα στρέμμα. Όσο αυξάνεται ο πληθυσμός, το ίδιο αυξάνεται και η ανάγκη για πρώτες ύλες τροφής. Η παραδοσιακή γεωργία δεν μπορεί να φέρει εις πέρας την ζήτηση που υπάρχει, ειδικά εφόσον η καλλιεργήσιμη και γόνιμη γη είναι περιορισμένη. Ως επιστήμονες γεωπόνους αυτή είναι μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της γενιάς μας. Πως θα αυξήσουμε την τροφή, όταν το κομμάτι γης που αντιστοιχεί στον καθένα, μειώνεται. Μια βιώσιμη λύση που δόθηκε από τον επιστημονικό κλάδο είναι η υδροπονία. Η υδροπονία φαίνεται να απαλύνει τις επιπτώσεις του αυξανόμενου πληθυσμού σε έναν κόσμο όπου η γονιμότητα εδάφους μειώνεται. Αποδεδειγμένα αυξάνει την απόδοση, με μειωμένες εισροές (Pardossi *et al.*, 2004).

Η παραδοσιακή γεωργία στο έδαφος πλέον βρίσκεται αντιμέτωπη με προκλήσεις εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, της εκβιομηχάνισης, της αστικοποίησης και το υποβαθμισμένο έδαφος που άφησαν οι παλαιότερες γενεές. Καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται ραγδαία, το κομμάτι γης που αντιστοιχεί στον καθένα μειώνεται εξίσου γρήγορα. Ως επιστήμονες γεωπόνοι καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα μείωσης της κατά κεφαλήν διαθεσιμότητας γης (Udit Debangshi, 2021).

Η υδροπονία έχει αποδειχτεί ότι μπορεί να αμβλύνει τις αρνητικές επιδράσεις αυτών των απειλών. Είναι μία βιώσιμη λύση που έχει αποδειχθεί αποτελεσματική δίνοντας περισσότερα αγροτικά προϊόντα με λιγότερες εισροές χημικών ουσιών χάρη στο ελεγχόμενο κλίμα που προσφέρει.

Όπως κάθε μέθοδος δεν είναι αφεγάδιαστη, όμως εντάσσεται στην ολοκληρωμένη αειφορική γεωργία και βοηθά στην ανταπόκριση στην διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση τροφίμων. Όντας η γενιά που έχει απομείνει με υποβαθμισμένα εδάφη, έχουμε προβλήματα δεύτερης γενιάς, όπως αποκαλούνται. Αυτά περιλαμβάνουν την υπερβολική εξόρυξη θρεπτικών ουσιών, τη μείωση της αποδοτικότητας, τη μείωση των υπογείων υδάτων και τη συσσώρευση εχθρών και ασθενειών στις παραγωγικές εκτάσεις. Η λύση που δόθηκε είναι η εντατικοποίηση και η κατακόρυφη επέκταση της γεωργικής γης (Udit Debangshi, 2021).

Συγκριτικά με παραδοσιακότερες τεχνικές, η υδροπονία εκμεταλλεύεται καλύτερα τις παρεχόμενες εισροές όπως το νερό, τα λιπάσματα, προσφέροντας στην καλλιέργεια και επιπλέον ευνοϊκές συνθήκες όπως κλιματικός έλεγχος και μηχανική προστασία από εχθρούς και παθογόνα (εφόσον το θερμοκήπιο λειτουργεί ορθά). Το εσωτερικό του θερμοκηπίου διατηρεί καλύτερα την υγρασία και εμποδίζει την προσέλευση μεγάλης ποσότητας ακτινοβολιών και ανέμου παρέχει στην καλλιέργεια περισσότερο νερό. Αυτό συμβαίνει λόγω της μειωμένης εξάτμισης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Όπως είναι γνωστό το νερό είναι μεγάλος καταλύτης απόδοσης και η επαρκής ύπαρξη του δηλώνεται σε ποιότητα αγαθών, ποσότητα, άρα και χρηματική ανταμοιβή.

Το νερό και πιο συγκεκριμένα το καλό αρδευτικό νερό είναι από τους πόρους που θα δούμε την μεταβολή από άπλετο πόρο σε πόρο που βρίσκεται σε έλλειψη. Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για νερό ειδικά στις μεσογειακές εκτάσεις που αντιμετωπίζουμε προβλήματα ξηρασίας, τόσο πραγματικής, όσο και φυσιολογικής λόγω υψηλής αλατότητας που έχουν τα νερά της μεσογείου (Pardossi *et al.*, 2004).

Η εξοικονόμηση του νερού είναι κάτι που ενδιαφέρει ιδιαίτερα τις μεσογειακές εκτάσεις οι οποίες χρειάζονται μεγάλες ποσότητες νερού τους καλοκαιρινούς μήνες, αλλά επίσης καθώς περιβάλλεται με θάλασσα αντιμετωπίζει προβλήματα αλατότητας του αρδεύσιμου νερού- δεν βρίσκεται εύκολα υψηλής ποιότητας αρδεύσιμο νερό. Το νερό γενικά έχει αρχίσει να είναι σε έλλειψη και θεωρείται πλέον πολύτιμος πόρος. Η γεωργική παραγωγή χρησιμοποιεί το 70% του νερού παγκοσμίως, κυρίως επειδή δεν γίνεται ορθή χρήση του από τους παραγωγούς (Udit Debangshi, 2021).

Η υδροπονία έχει την δυνατότητα εξοικονόμησης μέχρι και 90% του νερού σε σχέση με την συμβατική καλλιέργεια κάνοντας ορθολογική χρήση.

Το νερό της υδροπονίας μπορεί να ανακυκλωθεί, να περάσει από φίλτρα και να γίνει ιδανικής σύστασης για την εκμετάλλευση του από τα φυτά. Σε συμβατικές καλλιέργειες η πλειοψηφία του νερού λαμβάνεται από το έδαφος. Εκεί το νερό μπορεί να είναι ακατάλληλο ή να κρατάται από δυνάμεις του εδάφους, προκαλώντας ουσιαστικά αφυδάτωση στο φυτό. Αντιθέτως με την υδροπονία όλο το νερό είναι διαθέσιμο στις ρίζες που βυθίζονται στο νερό ή έχουν ένα φιλμ θρεπτικών συστατικών αναμειγμένο σε νερό στη ζώνη της ρίζας, διατηρώντας έτσι την καλλιέργεια πάντα ενυδατωμένη και με τα θρεπτικά που χρειάζεται (Udit Debangshi, 2021).

1.3 Ιστορική αναδρομή

Όπως προαναφέρθηκε, ο Geriche εισήγαγε τον όρο της υδροπονίας με σκοπό την εμπορευματοποίηση της τεχνικής. Η συμβολή του ήταν επίσης η προσπάθεια του να κάνει την τεχνική οικονομικά βιώσιμη για τους καλλιεργητές που ενδιαφερόταν να την εφαρμόσουν. Μέχρι τότε, η υδροπονία βρισκόταν σε πειραματικό στάδιο και οι επιστήμονες απλά μελετούσαν τις δυνατότητες της.

Βέβαια, η καλλιέργεια χωρίς έδαφος που σήμερα ονομάζουμε υδροπονία, δεν θα μπορούσε να θεωρηθεί καινούρια τεχνική ούτε στην εποχή του Geriche. Είναι φαινόμενο που έχει συναντηθεί και σε πολύ παλαιότερες περιόδους, έχει περιγραφεί ακόμη και από αρχαία αιγυπτιακά ιερογλυφικά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα

αποτελούν οι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας, τα εκτός εποχής λαχανοκομικά προϊόντα στην αρχαία Ρώμη και οι πλωτοί κήποι των Αζτέκων στο Μεξικό και αυτοί στην Κίνα.

Έχουν βρεθεί και αργότερα καταγεγραμμένες προσπάθειες για καλλιέργεια φυτών σε νερό τον XVII αιώνα, αλλά τον 19^ο αιώνα η ανάπτυξη της σύγχρονης υδροπονίας πήρε ρόλο σε επιστημονικές μελέτες για τη διατροφή των φυτών. Ο Γάλλος Jean Boussingault καλλιέργησε φυτά σε τεχνητό μέσο και αργότερα η μέθοδος του βελτιώθηκε από τον Salm-Horstmar. Το 1860 σε γερμανικά εργαστήρια, οι Sachs και Knorr δημιούργησαν το πρώτο τυποποιημένο διάλυμα για καλλιέργεια φυτών, προσθέτοντας ανόργανα άλατα σε νερό. Σε αυτό το νερό κατόρθωσαν να αναπτύξουν φυτό χωρίς χρήση εδάφους, προσπαθώντας με αυτό τον τρόπο να προσδιορίσουν ποια στοιχεία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη φυτών (Αγγλογάλλος, 2010).

Η υδροπονία χρησιμοποιήθηκε για επιστημονικά πειράματα μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1920, μέχρι που ένα νέο ενδιαφέρον για την εμπορική εφαρμογή της μεθόδου άρχισε να αναπτύσσεται στις ΗΠΑ. Η καλλιέργεια χωρίς έδαφος θεωρήθηκε μέθοδος επίλυσης των προβλημάτων αλατότητας του εδάφους και τις ασθενειών των ριζών, παράγοντες που συνήθως περιορίζουν τις εντατικές καλλιέργειες θερμοκηπίου.

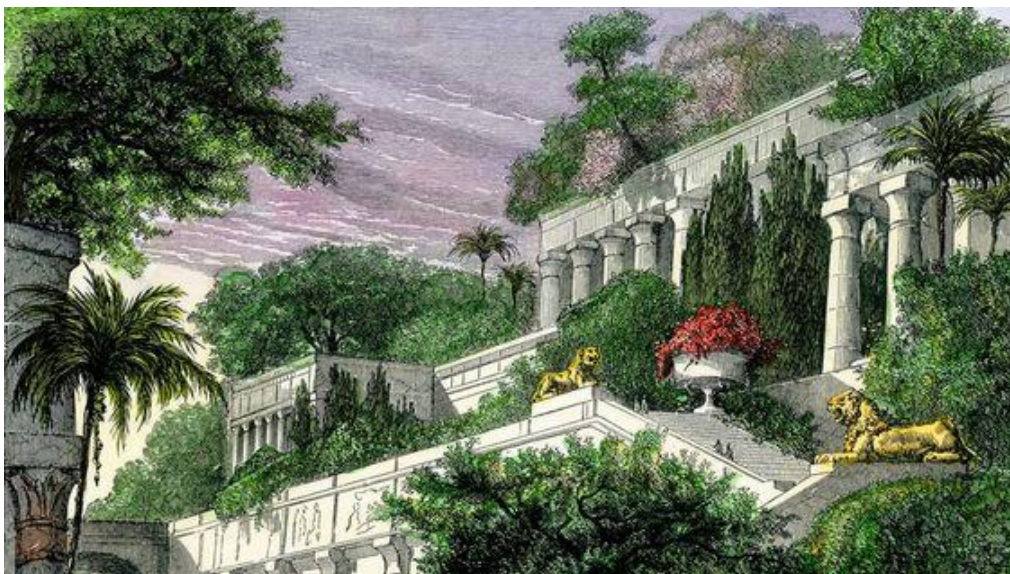
Τα επόμενα 10-15 χρόνια, πραγματοποιήθηκαν πολλές πειραματικές εργασίες για την υδροπονική καλλιέργεια στους Αγροτικούς Πειραματικούς Σταθμούς της Καλιφόρνια από τον W.F. Gericke. Στα συστήματα του Gericke, τα φυτά αναπτύχθηκαν σε σπόρους που τοποθετούνταν σε συρμάτινο πλέγμα το οποίο οι ρίζες βύθισαν στο θρεπτικό διάλυμα που περιείχε μια αδιάβροχη δεξαμενή από σκυρόδεμα. Το έργο του Gericke άνοιξε εμπορική εφαρμογή στην υδροπονία και έλαβε μεγάλη δημοσιότητα σε εφημερίδες και δημοφιλή περιοδικά. Ωστόσο, ο Gericke αρνήθηκε να δώσει λεπτομέρειες και οδηγίες για το «πώς να τρέξει το σύστημα». Ως εκ τούτου, ο Αντιπρόεδρος του Πανεπιστημίου ζήτησε από τον D.P. Hoagland και D.I. Arnon, δύο διάσημους φυτοφυσιολόγους, για να διεξαγάγουν περαιτέρω πειράματα για την καλλιέργεια νερού και να δημοσιεύσουν μια τεχνική εγκύκλιο, η οποία δημοσιεύτηκε πρώτη το 1938 και μετά από αναθεώρηση το 1950.

Το σύστημα Gericke χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου για να προμηθεύσει με φρέσκα λαχανικά τα στρατεύματα των ΗΠΑ που στάθμευαν σε

μη καλλιεργήσιμα νησιά στον Ειρηνικό (Jones, 1982). Η κυβέρνηση των ΗΠΑ συνέχισε να χρησιμοποιεί πολιτισμό χωρίς έδαφος μετά το τέλος του πολέμου για τα στρατεύματά της που βρίσκονται σε όλο τον κόσμο.

Στις ΗΠΑ η τεχνολογία της υδροπονίας έγινε αρκετά δημοφιλής, αλλά απέτυχε να εξαπλωθεί λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής των κλινών καλλιέργειας από σκυρόδεμα. Ήταν η έλευση του πλαστικού και η ανάπτυξη της άρδευσης με σταγόνες που ανανέωσαν το ενδιαφέρον της βιομηχανίας θερμοκηπίων για την υδροπονία. Τα πλαστικά επέτρεψαν την εγκατάσταση ελαφρών και λιγότερο δαπανηρών πάγκων καλλιέργειας και συστημάτων άρδευσης. Η χρήση πλαστικών εξάλειψε επίσης τα προβλήματα που σχετίζονται με τη μόλυνση του θρεπτικού διαλύματος από το σκυρόδεμα και τα μεταλλικά υλικά που χρησιμοποιούνται για υδροπονικές κλίνες.

Η καλλιέργεια χωρίς έδαφος γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής επίσης στην Ανατολική Ασία και στις περιοχές της Μεσογείου. Στο Ισραήλ, η υδροπονία ξεκίνησε το 1950 για θρησκευτικούς λόγους, καθώς ο εβραϊκός νόμος δεν επιτρέπει την εργασία στην ιερή γη κάθε έβδομο χρόνο, οι καλλιέργειες νερού και χαλικιού χρησιμοποιήθηκαν ως εναλλακτικές μέθοδοι. Σε ορισμένες ασιατικές χώρες η υδροπονία χρησιμοποιείται επίσης για κήπους σε τάρτσες, οι οποίοι στοχεύουν να κάνουν πιο πράσινο και υγιέστερο το αστικό περιβάλλον. Πιο πρόσφατα, η NASA προσπαθεί να αξιοποιήσει την τεχνική για παραγωγή τροφίμων σε διαστημικές αποστολές (Pardossi *et al.*, 2004).



Εικόνα 1: Οι κήποι της Βαβυλώνας

1.4 Υδροπονία στην Ευρώπη και Μεσόγειο

Η εξοικονόμηση του νερού είναι κάτι που ενδιαφέρει ιδιαίτερα τις μεσογειακές εκτάσεις οι οποίες χρειάζονται μεγάλες ποσότητες νερού τους καλοκαιρινούς μήνες, αλλά επίσης καθώς περιβάλλεται με θάλασσα αντιμετωπίζει προβλήματα αλατότητας του αρδεύσιμου νερού - δεν βρίσκεται εύκολα υψηλής ποιότητας αρδεύσιμο νερό. Το πρόβλημα ωστόσο της άρδευσης, απαλύνεται μέσα στο θερμοκήπιο, όπου το κλίμα έχει αυξημένη υγρασία και λιγότερη ακτινοβολία και ανέμους. Όλα αυτά οδηγούν σε μειωμένη εξατμισοδιαπνοή, που σημαίνει πιο καλή αξιοποίηση του υπάρχοντος νερού από την καλλιέργεια και μικρότερες πιθανότητες αφυδάτωσης. Επιπροσθέτως, οι μέθοδοι άρδευσης που είναι εύκολο να εγκατασταθούν μέσα σε ένα τέτοιο σύστημα, όπως η στάγδην άρδευση κάνουν την καλύτερη εκμετάλλευση του υπάρχοντος νερού. Το αδρευτικό νερό που απαιτείται σε μια τέτοια καλλιέργεια είναι το ελάχιστο δυνατό.

Η ανάγκη για υψηλής ποιότητας λαχανικά, καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και η έλλειψη εισροών κάνουν την τεχνική της υδροπονίας ιδιαίτερα ελκυστική για τις μεσογειακές χώρες. Η μεσογειακή αγορά πλέον δίνει έμφαση και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, αλλά επίσης και στον τρόπο της παραγωγής, εννοώντας χρήση χημικών, ρύπανση του περιβάλλοντος και αειφορική γεωργία. Ένα από τα δυνατά σημεία των θερμοκηπίων στη μεσόγειο, είναι οι ήπιοι χειμώνες που χαρακτηρίζουν το μεσογειακό κλίμα, γεγονός που κάνει την θέρμανση χαμηλότερη, δίνοντας μεγαλύτερο καθαρό κέρδος. Οι υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού είναι επίσης παράγοντας που μειώνει την απόδοση σε καλοκαιρινές καλλιέργειες. Η υδροπονία σε τέτοιες περιπτώσεις κόβει κόστος παραγωγής, αλλά επίσης και ανεξαρτοποιείται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που δεν είναι πάντα οι άριστες (Pardossi *et al.*, 2004).

Ωστόσο, υπάρχει ένας ιδιαίτερος κίνδυνος στις μεσογειακές περιοχές που σχετίζεται με τον χαμηλό όγκο της ριζικής ζώνης. Παρουσιάζονται μεγαλύτερες πιθανότητες λάθους διαχείρισης και καταπόνησης. Για παράδειγμα το καλοκαίρι η υψηλή θερμοκρασία της ριζικής ζώνης είναι ιδιαίτερης σημασίας. Μπορεί να μειώσει την ανάπτυξη των φυτών και να αυξήσει την ευαισθησία των καλλιεργειών σε ορισμένα παθογόνα ριζών όπως το *Phytophthora*. Το θερμικό καταπόνηση είναι ένας από τους δυσκολότερους περιορισμούς της υδροπονικής καλλιέργειας στη μεσόγειο (Pardossi *et al.*, 2004).

1.5 Μορφολογικά χαρακτηριστικά υδροπονικών φυτών

Η υδροπονική καλλιέργεια μπορεί να προκαλέσει σημαντικές μορφολογικές και ανατομικές μεταβολές στο ριζικό σύστημα. Τα υδροπονικά φυτά έχουν μεγαλύτερες πρωτεύουσες ρίζες και πολύ λιγότερες πλευρικές ρίζες και ριζικές τρίχες συγκριτικά με φυτά που αναπτύσσονται σε καλλιέργεια εδάφους.

Σημαντικότερες αλλαγές αφορούν την κίνηση των ιόντων στην ριζική επιφάνεια. Το έδαφος έχει πολύ μεγαλύτερη χωρική ετερογένεια από τα υδροπονικά υποστρώματα και η κίνηση εκεί συμβαίνει μέσω της μαζικής ροής, που καθορίζεται από τη διαπνοή των φυτών, και μέσω της διάχυσης, που καθορίζεται από την πρόσληψη ιόντων ρίζας. Να αναφερθεί επίσης πως η κίνηση εξαρτάται επίσης από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους και τον τύπο του ιόντος που μελετάται.

Για παράδειγμα, στοιχεία όπως το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο κινούνται κυρίως μέσω μαζικής ροής, ενώ η διάχυση χρησιμοποιείται από δυσθενή θρεπτικά συστατικά όπως το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Στην καλλιέργεια του εδάφους, η ανάπτυξη της ρίζας είναι απαραίτητη για την πρόσληψη νερού και θρεπτικών και η αναχαίτιση των ριζών επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την πρόσληψη μετάλλων και ως αποτέλεσμα την συστατικών. Αντιθέτως, στην υδροπονία δεν συντελεί τόσο σημαντικό ρόλο. Η ανάπτυξη των ριζών εμφανίζεται δυσανάλογη. Εάν αναπτυχθεί μεγάλο ριζικό σύστημα, περιορίζεται ο αερισμός στη ζώνη ριζοβολίας, που είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες ανάπτυξης για την υδροπονία. Ο περιορισμός του αερισμού αυξάνει τον κίνδυνο μόλυνσης του θρεπτικού διαλύματος μέσω αποσύνθεσης της οργανικής ύλης και μπορεί να εκτρέψει την φωτοσύνθεση στο υπέργειο τμήμα.

Ο σημαντικότερος παράγοντας επιτυχίας στην υδροπονία είναι, όμως ο ρυθμός ανανέωσης του θρεπτικού διαλύματος στις ρίζες. Ο όγκος του, η περιεκτικότητά του σε οξυγόνο και η σύσταση ιόντων καταναλώνεται γρήγορα από τα φυτά. Συμπερασματικά, η συχνότητα της άρδευσης παίζει σημαντικό ρόλο στην θρέψη των υδροπονικών φυτών. Στον υψηλό ρυθμό ροής του νερού στη ζώνη των ριζών αποδίδεται η πιο έντονη ανάπτυξη των φυτών σε NFT (δηλαδή καλλιέργεια μόνο σε θρεπτικό διάλυμα χωρίς την χρήση υποστρώματος) υδροπονικών συστημάτων σε σύγκριση με την καλλιέργεια σε υποστρώματα. Γενικά, το ίδιο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές καλλιέργειες. Βέβαια, μια σωστή

προσαρμογή του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα της καλλιέργειας.

Εμπειρικά δεδομένα ισχυρίζονται ότι χρειάζεται τουλάχιστον 25-30% αποστράγγιση να μην εμφανιστεί πρόβλημα αλατότητας στο υπόστρωμα (Pardossi *et al.*, 2004).

1.6 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

1.6.1 Πλεονεκτήματα

- Η καλλιέργεια αποκτά την ικανότητα να αναπτύσσεται σε σχεδόν βέλτιστες συνθήκες χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Ελεγχόμενης Γεωργίας Περιβάλλοντος. Ως αποτέλεσμα των άριστων ελεγχόμενων συνθηκών, δίνει αυξημένες αποδόσεις.
- Μπορεί να καλλιεργηθεί οπουδήποτε, οποιαδήποτε εποχή του χρόνου, ανεξάρτητα από τον καιρό ή την γονιμότητα του εδάφους.
- Τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα και αποδίδουν περισσότερο λόγω της ποιοτικής θρέψης, των άριστων επιπέδων οξυγόνου και των ελεγχόμενων συνθηκών. Η καλλιέργεια πρωιμίζεται επίσης χάρη στις υψηλές θερμοκρασίες του ριζοστρώματος.
- Οι καλλιεργητικές εργασίες αυτοματοποιούνται και μηχανοποιούνται, με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται τόσο εργατικό δυναμικό, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο σημαντικά έξοδα.
- Χρησιμοποιείται 20% λιγότερος χώρος, αν συγκριθεί με το συμβατικό σύστημα.
- Μπορούν να υπάρξουν περισσότεροι κύκλοι ανάπτυξης.
- Είναι καλός τρόπος καταπολέμησης εδαφικών ασθενειών και ζιζανίων. (Udit Debangshi, 2021) (Εγχειρίδιο υδροπονίας, 2014)
- Τέλος, όσον αφορά την ποιότητα των προϊόντων, η απόκλιση μεταξύ συμβατικής καλλιέργειας και υδροπονίας, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι σχεδόν αμετάβλητα. Επιπλέον στα υδροπονικά προϊόντα, βρέθηκαν μικρότερες ποσότητες υπολειμμάτων από χημικά σκευάσματα. (Pardossi *et al.*, 2004)

1.6.2 Μειονεκτήματα

Μειονεκτήματα δεν απουσιάζουν από καμία γεωργική πρακτική, το ίδιο ισχύει και στην υδροπονία. Αυτά πρέπει να ληφθούν ως παράγοντες που πρέπει να προσέξουν οι καλλιεργητές και όχι ως λόγοι αποφυγής της μεθόδου.

- Η εγκατάσταση του υδροπονικού συστήματος είναι πιο ακριβή από της συμβατικής καλλιέργειας.
- Η παρακολούθηση και μικροδιαχείριση είναι πιο απαιτητική.
- Η διαχείριση ενός τέτοιου συστήματος είναι περιπλοκότερη και πιο απαιτητική. Χρειάζονται πολυάριθμες γνώσεις από τον καλλιεργητή. Το σύστημα δεν 'συγχωρεί' λάθη της διαχείρισης. Η εμφάνιση των δυσμενών επιδράσεων είναι άμεση και εντονότερη από άλλες μεθόδους.
- Υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος εξάπλωσης των μολυσμάτων που ίσως προκύψουν. Σε περίπτωση ασθένειας ή παρασίτου, θα επηρεαστούν όλα τα φυτά του συστήματος.
- Οι διακοπές ρεύματος είναι απρόβλεπτες και χρειάζονται διαρκή έλεγχο.

2 Cascade

2.1 Σημασία της τεχνικής

Τα τελευταία χρόνια και ειδικά στη μεσόγειο, έχει δημιουργηθεί ανάγκη τεχνολογικής αναβάθμισης της υδροπονικής καλλιέργειας. Εδώ έρχεται το σύστημα Cascade ως μια καινοτομία που θα αποφέρει στην υδροπονία πολυάριθμα οφέλη (Pardossi et al, 2004).

Η τεχνική μελετήθηκε ως λύση στην περιβαλλοντική κρίση. Υπάρχει ανάγκη μείωσης της υπερβολικής χρήσης των φυσικών πόρων. Τρεις είναι οι βασικοί τρόποι να μειωθεί η ανεξέλεγκτη χρήση των φυσικών πόρων. Ο δρόμος της αποδοτικότητας, δηλαδή η χρήση λιγότερων πόρων για την ίδια παραγωγή, ο δρόμος της συνέπειας, που σημαίνει χρήση ανανεώσιμων πόρων και τέλος ο δρόμος της επάρκειας, δηλαδή

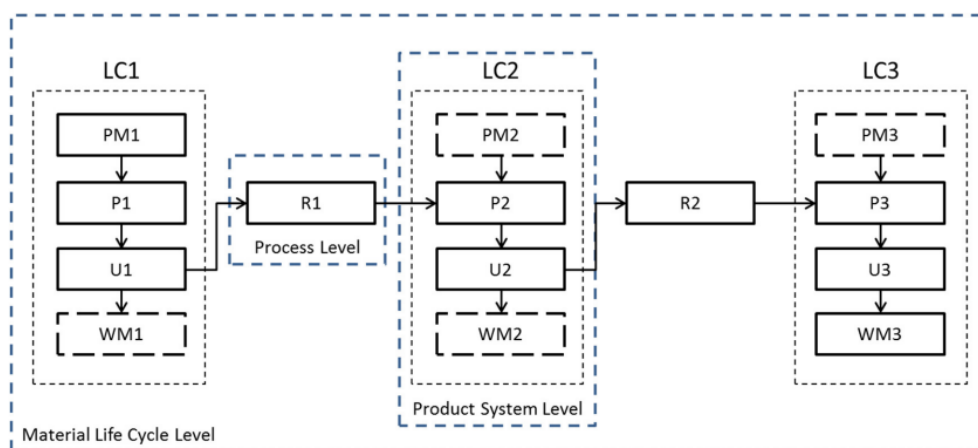
μείωση της ζήτησης. Η τεχνική που θα αναλυθεί ανήκει και στις τρεις κατηγορίες συνδυάζοντας τα οφέλη της καθεμίας (Rehberger and Hiete, 2020).

2.2 Κλειστό σύστημα / επαναχρησιμοποίηση απορροών

Υπάρχουν 2 ειδών υδροπονικά συστήματα, το ανοιχο και τα κλειστό σύστημα. Τα ανοιχτά συστήματα έχουν ως βασική διαφορά την απορροή θρεπτικών ουσιών. Τα κλειστά υδροπονικά συστήματα, είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον.

Σε κλειστά συστήματα, το νερό αποστράγγισης συλλέγεται και επανακυκλοφορεί μέσα σε καλλιέργεια μετά από τις απαραίτητες ρυθμίσεις. Συνήθως ρυθμίζεται το pH και η συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών (δηλαδή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας) και γίνεται απολύμανση για πρόληψη ασθενειών των ριζών. Σε περίπτωση που συνδέονται με αποτελεσματικό σύστημα ελέγχου του κλίματος και ολοκληρωμένη διαχείριση παρασίτων, τα κλειστά συστήματα μπορεί να αποτελέσουν το ιδανικό εργαλείο για τη βιώσιμη παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων υψηλής ποιότητας.

Για αποδοτικότερη αξιοποίηση, η συνολική επαναχρησιμοποίηση του νερού αποστράγγισης σε κλειστά συστήματα πρέπει να γίνεται μόνο όταν η συγκέντρωση ιόντων του νερού άρδευσης είναι παρόμοια ή χαμηλότερη από τη συγκέντρωση πρόσληψης. Η διαχείριση των κλειστών συστημάτων προσθέτει μια μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στη διαχείριση ειδικά στην περίπτωση που το διαθέσιμο νερό άρδευσης είναι αλατούχου. Σε τέτοιες συνθήκες, τα φυτά μπορεί να υποστούν καταπόνηση άλατος λόγω της συσσώρευσης μη βασικών και/ή δυνητικά επιβλαβών ιόντων στα επαναχρησιμοποιούμενα θρεπτικά διαλύματα (Pardossi, 2004).



Εικόνα 2: Παράδειγμα Cascade συστήματος

2.3 Περιγραφή τεχνικής

Το σύστημα επαναχρησιμοποίησης απορροών είναι διαδεδομένο σε χώρες της Μεσογείου και της Ασίας (Ratnayake *et al.*, 2021).

Ο όρος Cascade, αποδόθηκε από τους Ted Sirkin and Maarten ten Houten. Ως Cascade ορίζεται η τεχνική κατά την οποία γίνεται κλιμακωτή χρήση ενός υλικού πόρου ως ανακυκλωμένη μονάδα υλικού για πολλές επόμενες χρήσεις, διαδικασία που γενικά, περιλαμβάνει την πτώση της ποιότητας του υλικού. Ο πόρος χρησιμοποιείται διαδοχικά σε διαφορετικές καλλιέργειες που απαιτούν όλο και λιγότερη ποιότητα. Δεδομένου ότι με αυτό τον τρόπο γίνεται πρακτικά χρήση του ίδιου πόρου πολλές φορές, η διαδοχή συμβάλλει στην αποδοτικότητα των πόρων και στην κυκλική οικονομία.

3 Καταπόνηση αλατότητας

Ως καταπόνηση ορίζεται η δυσμενής επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων που παρεμποδίζει την φυσιολογική λειτουργία του φυτού. Οι παράγοντες καταπόνησης μπορεί να είναι αβιοτικοί και βιοτικοί. Μεταξύ των πιο συχνά απαντούμενων αβιοτικών καταπονήσεων είναι η αυξημένη αλατότητα του εδάφους ή του θρεπτικού διαλύματος για τις εκτός εδάφους καλλιέργειες. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity, EC) αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα ιόντων στο νερό και υψηλές τιμές της παραμέτρου αυτής συνιστούν καταπόνηση (van Os *et al.*, 2016).

Τα στοιχεία που προκαλούν συνήθως πρόβλημα είναι το νάτριο και το χλώριο. Προκαλούν τόσο τοξικότητα στο κύτταρο λόγω της συσσώρευσης τους, αλλά και ταυτόχρονα ανταγωνίζονται άλλα θρεπτικά στοιχεία (όπως το κάλιο) προκαλώντας τροφοπενίες (Καραμπουρνιώτης, 2012).

Το φαινόμενο της αλατότητας των εδαφών υπήρχε από παλιά, όμως οι σύγχρονες καλλιεργητικές πρακτικές έχουν εντείνει το πρόβλημα. Το ποσοστό εδαφών που επηρεάζεται από την αλατότητα ανέρχεται στο 20% (Ben Amor *et al.*, 2005). Η υψηλή αλατότητα στα εδάφη είναι σημαντικός περιορισμός για την παγκόσμια φυτική παραγωγή που εμφανίζεται σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Γύρω στο 1/5 των καλλιεργούμενων χωραφιών που αρδεύονται αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα

(Corrado et al., 2021). Ιδιαίτερα οι μεσογειακές χώρες αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα με την αυξημένη αλατότητα. Οι μεγάλες ανάγκες άρδευσης στις χώρες αυτές όμως, στρέφει τους παραγωγούς στην εντατική χρήση υποβαθμισμένου με αλατότητα νερού για να υποστηρίξουν τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών τους. Το αλατούχο νερό επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών και την τελική παραγωγή- απόδοση της καλλιέργειας. Η εξέλιξη σε τομείς όπως γενετική και τεχνικές άρδευσης και αποστράγγισης των υποστρωμάτων έχουν οδηγήσει στην αξιοποίηση των καλλιεργειών χωρίς τις συνηθισμένες δυσμενείς επιπτώσεις που επέρχονται της αυξημένης αλατότητας (Tzortzakis, 2009). Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που διαφοροποιούν την αντοχή σε αλατότητα όπως το υπόστρωμα, το είδος άλατος και το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Συνηθέστερα περιβάλλοντα/ βιότοποι που είναι επιρρεπή σε υφάλμυρα νερά είναι σε αλίπεδα, υφάλμυρα έλη, περιοχές που έχουν ερημωθεί, καθώς και υπερεκμεταλλευμένα χωράφια που έχουν δεχθεί αλόγιστη άρδευση.

3.1 Επίδραση της αυξημένης αλατότητας στη φυσιολογία του φυτού

Η έκθεση στο αλατούχο εδαφικό διάλυμα επηρεάζει την υδατική κατάσταση του φυτού και την απορρόφηση ιόντων. Αυτό με τη σειρά του επηρεάζει φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού, όπως μεταβολικές διεργασίες, ακεραιότητα μεμβρανών, φωτοσύνθεση και την ιοντική ισορροπία (Καραμπουρνιώτης, 2012).

Η οσμωτική καταπόνηση αναφέρεται στην δυσκολία που αντιμετωπίζει το φυτό να αντλήσει νερό από έδαφος ή θρεπτικό διάλυμα υψηλής EC. Αυτή η δυσκολία οφείλεται στο χαμηλό δυναμικό νερού Ψ του εδαφικού ή θρεπτικού διαλύματος. Ταυτόχρονα το φυτό υφίσταται και ιοντική καταπόνηση που έχει τρεις συνιστώσες: α) την δυσκολία στην απορρόφηση θρεπτικών λόγω του ανταγωνισμού που προαναφέρθηκε, β) τη συσσώρευση νατρίου και χλωρίου μέσα στο κύτταρο διαταράσσοντας την κυτταρική ιοντική ομοιόσταση και γ) την τοξικότητα λόγω της παρουσίας των συγκεκριμένων ιόντων στο κύτταρο. Η ιοντική καταπόνηση επιδρά αρνητικά στον κυτταρικό μεταβολισμό εξαντλώντας τα αποθέματα ATP που όπως είναι γνωστό είναι το ενεργειακό νόμισμα του κυττάρου (Καραμπουρνιώτης, 2012).

Τέλος, η καταπόνηση αλατότητας επάγει την οξειδωτική καταπόνηση ως μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της. Κατά αυτήν δημιουργούνται στο κύτταρο και ιδιαίτερα στους χλωροπλάστες και τα μιτοχόνδρια σημαντικές ποσότητες ελεύθερων ριζών οξυγόνου, όπως O_2^- ανιόν υπεροξειδίου, H_2O_2 και OH^- αρνητικά φορτισμένα ανιόντα υδροξυλίου (Καραμπουρνιώτης, 2012). Η παραγωγή ελεύθερων ριζών οξυγόνου επιδρά σε απαραίτητες λειτουργίες, επηρεάζοντας νουκλεϊκά οξέα, πρωτεΐνες, λιπίδια και συνολικά τις μεμβράνες του κυττάρου. Μια από τις δευτερεύουσες επιπτώσεις της καταπόνησης λόγω αυξημένης EC είναι και η μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας του φυτού.

3.2 Στρατηγικές αντιμετώπισης

Τα φυτά αντενεργούν επαναφέροντας ομοιόσταση στο φυτό, βελτιώνοντας την φωτοσυνθετική τους ικανότητα και βελτιώνοντας τις αντιοξειδωτικές τους ικανότητες. Δύο είναι οι βασικές στρατηγικές αντιμετώπισης, η αποφυγή και η ανθεκτικότητα. Η διαφυγή δεν είναι εφικτή, επειδή τα γλυκόφυτα δεν μπορούν να ολοκληρώσουν βιολογικό κύκλο ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις αλατότητας (Καραμπουρνιώτης, 2012).

4 Αρωματικά φυτά

Αρωματικά φυτά είναι τα μέλη του φυτικού βασιλείου που μέσω της εξέλιξης ανέπτυξαν την δυνατότητα συσσώρευσης εύοσμων πτητικών ουσιών εντός του φυτικού σώματος. Συνήθως οι ουσίες αυτές εδράζουν σε φυτικά όργανα και ο αληθινός λόγος ύπαρξης τους, ο τρόπος δηλαδή που χρησιμοποιείται από τα φυτά είναι για να απωθήσει ή προσελκύσει άλλους οργανισμούς στο περιβάλλον τους. Τα φυτά χρειάζεται να απωθήσουν φυτοφάγα ή ζημιογόνα ζώα για τη δική τους προστασία και να ελκύουν άλλους οργανισμούς προς όφελος τους, για να εκτελέσουν διεργασίες που τα ίδια δεν μπορούν, όπως επικονίαση και μεταφορά των σπόρων τους (Καραμπουρνιώτης, 2012).

Φαρμακευτικά αποκαλούμε τα φυτικά είδη των οποίων οι δραστικές ουσίες που παράγουν έχουν θεραπευτική δράση στον άνθρωπο. Κατά βάση η θεραπευτική

δράση δεν αποδεικνύεται, αλλά γίνεται εμπειρική χρήση, σύμφωνα με εμπειρίες και λεγόμενα παλαιών (Μαλούπα et al, 2013).

Η εκμετάλλευση των αρωματικών και θεραπευτικών φυτών ως και η εμπορική εκμετάλλευση τους είναι μια πρόσφατη καινοτομία των τελευταίων χρόνων. Η εύρεση και αξιοποίηση των πολυάριθμων εφαρμογών που έχουν, άνοιξε για τους παραγωγούς και τους μεταποιητές τροφίμων νέα αγορά με καλές προοπτικές. Τα φυσικά φυτικά προϊόντα που παράγονται από τα αρωματικά φυτά έχουν υψηλές τιμές για σχετικά μικρό όγκο προϊόντων και βρίσκουν εφαρμογές σε πολλές βιομηχανίες, όπως αυτή των τροφίμων, της αρωματοποιίας και της φαρμακευτικής. Η σύγχρονη φαρμακοβιομηχανία στηρίζεται σε αυτά τα φυτικά συστατικά, λόγω της αυξημένης ζήτησης τέτοιων προϊόντων από καταναλωτές. Οι φαρμακευτικές εταιρίες τα προωθούν ως φυσική μη συνθετική εναλλακτική των χημικών συνθετικών σκευασμάτων (Mafakheri and Kordrostami, 2021).

5 Λίγα λόγια για τα φυτά του πειράματος

5.1 Τομάτα

Το φυτό της τομάτας *Solanum lycopersicum* είναι από τα πιο γνωστά είδη της οικογένειας Solanaceae. Η τομάτα θεωρείται σημαντική καλλιέργεια, επειδή είναι διαδεδομένη τροφή και υπάρχει ως συστατικό σε παραδοσιακά φαγητά πολλών χωρών, ένδειξη της ευρείας χρήσης της. Η αρχική προέλευση της τομάτας είναι από την Νότια Αμερική, όμως εξημερώθηκε ως καλλιεργούμενος καρπός στην Ασία. Σύμφωνα με τα δεδομένα του World Atlas καταλαμβάνει τη πρώτη θέση ως το φρούτο με την μεγαλύτερη κατανάλωση σε όλο τον κόσμο.

Είναι ένας ετήσιος μικρός θάμνος. Φτάνει σε μεγάλο ύψος από 1 έως και 3 μέτρα. Το στέλεχος είναι τριχωτό και μεγάλου πάχους και τα φύλλα είναι μικρά, σύνθετα και στρογγυλεμένα. Τα άνθη του φυτού είναι τέλεια κίτρινα άνθη, τα οποία φύονται μεταξύ των φύλλων. Από τα άνθη του φυτού προκύπτει ο καρπός, που είναι ένα κόκκινο, συνήθως, φρούτο (υπάρχουν και φρούτα σε πορτοκαλί, κίτρινες και καφέ αποχρώσεις). Ο ανώριμος καρπός έχει πράσινο χρώμα και σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης δεν αναγνωρίζεται ακόμα ως φρούτο, θεωρείται απλά λαχανικό. Το φρούτο της τομάτας είναι λείο και στρογγυλεμένο με μυρωδιά σαπωνοειδή, γεγονός που το

προστατεύει από τα πτηνά. Το ίδιο ισχύει και για την γεύση και την υφή του καρπού, είναι ειδικά σχεδιασμένο για να απωθεί τα πτηνά.

Η χαρακτηριστική μυρωδιά του καρπού, αποδίδεται στα ελαιώδη συστατικά του και στην κίτρινη έκκριση που προκύπτει κατά τη συγκομιδή του καρπού. Οι κυριότερες της πτητικές ενώσεις είναι η λιναλοόλη, το λιμονένιο η 1,8 κινεόλη, η ευγενόλη, το χουμουλένιο, το βήτα-φελανδρένιο, το καρυφυλλένιο, η (E)-2-εξενάλη, η εξενάλη, και η (Z)-3-εξενάλη (Singh et al, 2012).

Όσον αφορά την θρεπτική αξία του καρπού, η τομάτα είναι πηγή πολλών βιταμινών, στοιχείων και ιχνοστοιχείων. Περιέχει υψηλή συγκέντρωση βιταμινών A και C, ασβέστιο, σίδηρο, χαλκό, ψευδάργυρο, μαγγάνιο, κάλιο, μαγνησιο και φωσφορο. Βρίσκονται επίσης παρούσες πολλές ουσίες που έχουν βοηθητικό ενδοκυτταρικό ρόλο. Για παράδειγμα βρίσκουμε ουσίες που συμβάλλουν στην αποτοξίνωση, όπως χλώριο Cl και θείο S. Τα καροτενοειδή συμβάλλουν στην αντιοξειδωτική διεργασία και βρίσκονται εντός των σπόρων του καρπού. Το λυκοπένιο, το πικουμαρικό οξύ και το χλωρογενικό οξύ είναι αντικαρκινικές ουσίες (Singh et al, 2012).

Λοιπά συστατικά του καρπού αποτελούν τα έλαια φλαβονοειδή, γλυκοσίδια, στεροειδή αλκαλοειδή, στεροειδείς σαπωνίνες και παράγωγα λιπαρών οξέων.

Όλες οι παραπάνω ενώσεις δίνουν στην τομάτα τις ευεργετικές και θεραπευτικές ιδιότητες έναντι στον καρκίνο, καρδιαγγειακές παθήσεις και οστεοπόρωση. Η καθημερινή κατανάλωση του φρούτου μειώνει τις πιθανότητες νόσησης από τις ασθένειες αυτές. Σε αυτό το σημείο να γίνει μία αναφορά στις πολυάριθμες θεραπευτικές ιδιότητες της τομάτας έχουν μελετηθεί για τον καρπό, όπως ενδοθηλιακή προστασία σε συνδυασμό με αντιαιμοπεταλική και αντισυσσωρευτική δραστηριότητα, μείωση της χοληστερόλης και της ενίσχυσης του ανοσοποιητικού συστήματος. Επίσης επευφημείται για τις ιδιότητες κατά της οξειδωσης, των ερεθισμών, του καρκίνου, των μεταλλάξεων, της παχυσαρκίας των μυκήτων και των παρασίτων, έχει δηλαδή αντιθελμικές ιδιότητες (Singh et al, 2012).

Η εμπορική εκμετάλλευση του καρπού είναι ευρεία. Η πώληση του γίνεται και ως νωπός καρπός, αλλά γίνεται και συμβολιακή αγοραπωλησία σε βιομηχανική κλίμακα, λόγω των παραπροϊόντων που παράγονται. Όπως προαναφέρθηκε είναι κύριο συστατικό σε πολλές παραδοσιακές συνταγές και η ευρεία χρήση του στην μαγειρική συνεχίζεται και σήμερα.

Το φυτό της τομάτας χρειάζεται εύρωστες συνθήκες για να έχει καλή παραγωγή. Θέλει ζεστό κλίμα και το κατάλληλο έδαφος για να δώσει την επιθυμητή απόδοση. Ακόμα και μέτρια αλατότητα έχει ζημιογόνο ρόλο, είναι δηλαδή ευαίσθητο στην αλατότητα, για αυτό και χρησιμοποιήθηκε απλά ως πρωτογενής καλλιέργεια σε ένα τέτοιο σύστημα (Singh et al, 2012).

5.2 Το γένος *Mentha*

Η ονομασία μέντα καλύπτει πολλά είδη του γένους *Mentha* που παράγουν προϊόντα που αξιοποιούνται οικονομικά. Τα φυτά της *Mentha* είναι γνωστά κηπευτικά, τα οποία χρησιμοποιούνται συχνότερα για να δώσουν γεύση σε λαχανικά, σαλάτες, σως για κρέατα και ψάρια και γλυκά. Ο δυόσμος και η μέντα εμφανίζονται στην αυτοφυή τους μορφή στην Ευρώπη, αλλά σήμερα καλλιεργούνται σε πολλές χώρες και εκτός της Ευρώπης όπως για παράδειγμα η Ιαπωνία. (Bhattacharya, 2016)

Τα φυτά *Mentha* είναι πολυετή ποώδη ριζωματώδη βότανα με πυκνές ταξιανθίες που αποτελούνται από λευκά, ροζ ή λιλά άνθη (Stefanaki and Andel, 2021). Για διατροφή, χρησιμοποιούνται τα αποξηραμένα φύλλα του φυτού και χρησιμοποιούνται ως μπαχαρικό σε συνταγές ή από μόνο του εκχυλίζεται σε τσάι (Wilson, 2016). Τα αιθέρια έλαια που παράγουν χρησιμοποιούνται κυρίως για μαστίχες, οδοντόκρεμες και άλλα είδη στοματικής υγιεινής. Το αιθέριο έλαιο της μέντας αποκτά τη βιολογική της δράση επίσης από ουσίες όπως η καρβόνη, η υδροκαρβόνη και οι συζυγικοί εστέρες και αλκοόλες τους (Kokkini, Karousou and Hanlidou, 2003). Ένα από τα ενεργά συστατικά που περιέχει η μέντα, η πιο αξιοσημείωτη και ο λόγος μαζικής παραγωγής της με υψηλές εισροές στον παραγωγό είναι τα αιθέρια έλαια. Η μέντα έχει πάνω από 250 τέτοιες πτητικές ουσίες, αλλά η πιο σημαντική και χαρακτηριστική για το φυτό είναι η μενθόλη. Επιπλέον συστατικά βρέθηκαν πως είναι η ισομενθόνη, η ισομενθανόλη, η οξική μενθόλη, η καρβόνη, το λιμονένιο, το β-πινένιο, το α-πινένιο, η 1,8-κινεόλη, η ισοπουλεγόλη, η α-τερπινεόλη, η πουλεγκόνη, το πιπεριτόν, το οξειδίο πιπεριτόνης και το β-φελανδρένιο (Chávez-González, Rodríguez-Herrera and Aguilar, 2016).

Τα φαινολικά που περιέχει είναι πολύ δραστικοί αντιοξειδωτικοί παράγοντες, που καθυστερούν την οξειδωτική αποικοδόμηση, διατηρώντας υψηλή διατροφική αξία στο προϊόν (Wilson, 2016).

Είναι βότανο με έντονη βιολογική δραστηριότητα. Έχει αποχρεμπτική δράση, χρησιμοποιείται για αναπνευστικά προβλήματα, και ασθένειες όπως βρογχίτιδα, ιγμορίτιδα, φυματίωση και βέβαια το κοινό κρυολόγημα.

Όπως και σε πολλά μπαχαρικά, έτσι και στη μέντα παρουσιάζεται διεγερτική δράση για το πεπτικό σύστημα. Τα συναντάμε ως παραδοσιακή θεραπεία κατά των πεπτικών διαταραχών, διότι διεγείρει την έκκριση του χολικού οξέως στην χολή. Το χολικό οξύ παράγεται στο συκώτι και έχει ως κύριο ρόλο την πέψη και απορρόφηση λίπους. Κάποια βότανα διεγείρουν επίσης την έκκριση σε ένζυμα του παγκρέατος και πιο συγκεκριμένα της λιπάσης και βλεννογόνα ένζυμα του λεπτού εντέρου (Srinivasan, 2016).

5.3 Μέντα *Mentha spicata*

Η *Mentha spicata* είναι είδος της οικογένειας Lamiaceae. Το είδος προήλθε από τον υβριδισμό του *Mentha spicata* είναι η *Mentha longifolia* και η *Mentha suaveolens* και έγινε επιπλέον διπλασιασμός των χρωμοσωμάτων τους (Wilson, 2016).

Μορφολογικά τα φυτά του είδους *Mentha spicata* έχουν χαρακτηριστικό εκτεταμένο σαρκώδες υπόγειο ριζικό σύστημα. Οι μίσχοι και τα φύλλα εμφανίζονται οδοντωτά και σε τριχωτή και σε άτριχη μορφή. Τα άνθη παράγονται σε λεπτές αιχμές και τα άνθη είναι λευκά ή ροζ (Taneja and Chandra, 2012).

Η καταπόνηση αλατότητας έχει άμεση επίδραση στο φυτό, μειώνοντας τη βιομάζα και τις αποδόσεις. Οι αποδόσεις, η συγκέντρωση αιθέριων ελαίων και η χλωροφύλλη μειώνονται, ενώ παράλληλα βλέπουμε την αύξηση αμυντικών ουσιών του φυτού όπως η προλίνη και τα φαινολικά.

Η μέντα έχει το χαρακτηριστικό άρωμα και γεύση, χωρίς να επακολουθεί η αίσθηση της δροσιάς στην αναπνοή (Wilson, 2016).

5.4 Δυόσμος *Mentha piperita*

Η *Mentha piperita* είναι επίσης υβρίδιο της οικογένειας Lamiaceae. Τα είδη που συνδυάστηκαν για τη δημιουργία του *Mentha piperita* είναι η *Mentha spicata* και η *Mentha aquatica*. Όπως είδαμε και παραπάνω η *M. spicata* είναι ήδη υβριδικό είδος. Αυτό κάνει την *M. piperita* τριπλό υβρίδιο και εξαπλοειδές, που σημαίνει ότι έχει 6

ολόκληρα σετ χρωμοσωμάτων τα οποία απέκτησε από 3 διαφορετικά είδη. Ο δυόσμος έχει χαρακτηριστικό άρωμα και γέυση, που συνοδεύεται από την αίσθηση της δροσιάς στην αναπνοή. (Wilson, 2016)

Το είδος *Mentha piperita* διατηρεί εννοείται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του γένους και εμφανίζει επιπλέον λείους μίσχους με οξυκατάληκτα σκουρόχρωμα φύλλα που έχουν κοκκινωπά νεύρα. Λεπτές τρίχες διατρέχουν όλο το υπέργειο τμήμα, δηλαδή τους μίσχους και τα φύλλα. Οι ταξιανθίες του είδους αποτελούνται από μωβ άνθη, τα οποία έχουν τετράλοβο στεφάνη. (Taneja and Chandra, 2012)

5.5 Μέλισσα *Melissa officinalis*

Το μελισσόχορτο ή μέλισσα είναι ένα κοινό καλλιεργούμενο αρωματικό φυτό με φαρμακευτικές ιδιότητες και χαρακτηριστικό άρωμα λεμονιού. Μπορεί να βρεθεί ως αυτοφυές σε χώρες της Μεσογείου, στη μικρά Ασία και σε κάποιες περιοχές της βόρειας Αφρικής. Καλλιεργείται για ξηρή δρόγη και για αιθέρια έλαια. (Χριστίδης, 2020)

Ανήκει στην οικογένεια Lamiaceae της τάξης Lamiales όπως και η μέντα και ο δυόσμος. (Safari, Akramian and Salehi-Arjmand, 2020) Υπάρχουν 3 υποείδη σε αυτό το γένος, αλλά αυτό που καλλιεργείται για τις αρωματικές του ιδιότητες είναι το *Melissa officinalis subsp. officinalis* (Kokkini et al, 2003). Είναι φυτό πολυετές και ποώδες ενός μέτρου με φύλλα μαλακά σχήματος καρδιάς, Τα άνθη οργανώνονται σε ταξιανθίες και έχουν λευκό ή ανοιχτό ρόζ χρώμα (Χριστίδης, 2020) (Kokkini et al., 2003).

Η πρώτη καταγραφή της χρήσης του συγκεκριμένου βοτάνου καταγράφεται γύρω στο 300 πΧ από τον Θεόφραστο, ο οποίος ήταν φιλόσοφος, στο βιβλίο του 'Περί φυτών ιστορία'. Η συνηθέστερη χρήση του ήταν ως ένα φυσικό και ήπιο ηρεμιστικό και αγχολυτικό. Παλαιότερα ήταν δημοφιλές και σε σκευάσματα που είχαν ισχυρισμούς ότι βοηθά τον εγκέφαλο και τη μνήμη (Χριστίδης, 2020). Οι δραστικές ενώσεις που το χρήζουν φαρμακευτικό φυτό είναι οι μονοτερπενοειδείς αλδεύδες η κίτρονελλική, η νεραλική και γερανική, φλαβονοειδή και πολυφαινολικές ενώσεις ροσμαρικό οξύ και μονοτερπενικές γλυκοσίδες.

Πρόκειται για φυτό γνωστό για τις φαρμακευτικές και αρωματικές του ιδιότητες σε πολλά σημεία του κόσμου. Οι φαρμακευτικοί ισχυρισμοί για αυτό το φυτό είναι πολλοί.

Η μέλισσα χαρακτηρίζεται ως φυτό με ιδιότητες αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές, αντιφλεγμονώδης, αντικαρκινικές, σπασμολυτικές, ηρεμιστικές, αντικαταθλιπτικές, υπολιπιδαιμικές, υπογλυκαιμικές, ακούγεται πως βοηθά με τον ύπνο, το καταπύνηση, το ευαίσθητο στομάχι, τον πονοκέφαλο και με ρευματισμούς.

Όταν εξετάστηκε σε φυτοχημικό επίπεδο, βρέθηκαν πτητικά έλαια και μεγάλος αριθμός φαινολικών (Safari, Akramian and Salehi-Arjmand, 2020). Το μελισσόχορτο συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ως καρύκευμα σε συνοδευτικά πιάτα όπως σάλτσες και σαλάτες ή σε μαγειρευτά φαγητά, όπως σουπές. Επίσης μπορεί να βρεθεί ως συστατικό σε αλκοολούχα ποτά (Kokkini et al, 2003).

Η αλατότητα έχει αρνητικές επιδράσεις στην μέλισσα, μειώνοντας την ανάπτυξη και την αύξηση και κατά επέκταση το ύψος φυτών που έχει δυσμενείς επιπτώσεις στα φυτά. Επίσης μειωμένη παρατηρείται η χλωροφύλλη στα καταπνευμένα φυτά, λόγω της μειωμένης φωτοσύνθεσης που προκαλείται (Leontaridou, 2019).

5.6 Κρίταμο *Crithmum maritimum*

Το κρίταμο είναι ένα βότανο της οικογένειας Apiaceae που παράγεται και έχει ζήτηση και εμπορική αξία κυρίως στη μεσόγειο.

Το κρίταμο είναι ένα αρωματικό αλόφυτο, που συνήθως φύεται σε παραθαλάσσια μέρη, κυρίως σε βράχους ή γκρεμούς κοντά σε θάλασσα και σπανιότερα βρίσκεται σε αμμόλοφους (Grigoriadou and Maloura, 2008). Είναι αυτοφυές σε μεσογειακές περιοχές, αλλά και σε άλλες χώρες της Ευρώπης και το βρίσκουμε και στην Αυστραλία. Το όνομα του το έχουν δώσει οι αρχαίοι Έλληνες, λόγω της μορφολογικής του ομοιότητας με τον σπόρο του κριθαριού. Εμφανίζεται με πολλά εμπειρικά ονόματα όπως αρμύρα, κράμο, κίρταμα, κρίθαμο, κρίθμον το παραθαλάσσιο, κρίτανο, κρίταμα, κρίταμο και τρίταμο. Αυτό που υπερισχύει στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας είναι όμως το κρίταμο, το οποίο και θα χρησιμοποιηθεί στις επόμενες αναφορές του σε αυτή την πτυχιακή.

Μορφολογικά το κρίταμο χαρακτηρίζεται ως ένα πολυετές ποώδες παχύφυτο, το οποίο απλώνεται στο έδαφος γύρω του και έχει χρώμα γλαυκοπράσινο. Έχει φύλλα σύνθετα και διογκωμένα γόνατα και μικρά ομοιόμορφα πρασινόλευκα άνθη σε ταξιανθία σκιάδιο. Ο καρπός του είναι της μορφής σχιζοκάρπιο ή διπλό αχάινιο, το οποίο είναι σκισμένο κατά μήκος του διαφράγματος σε δύο ανεξάρτητους καρπούς ή

μερικάρπια. Ο βλαστός του κριτάμου με την τριβή, απελευθερώνει μία χαρακτηριστική ευχάριστη μυρωδιά (Μιχαλίτσα, 2018).

Το φυτό του κριτάμου έχει αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο με διάφορους τρόπους. Βρίσκει εφαρμογή στην αρχιτεκτονική τοπίου για τη δημιουργία παραθαλάσσιων κήπων, χρησιμοποιείται σε προϊόντα αισθητικής και κοσμετολογίας, σε μαγειρική. Η θρεπτική του αξία είναι υψηλή. Περιέχει καροτενοειδή, φαινολικά, αντιοξειδωτικά, ιώδιο και βιταμίνη C. Η γεύση του είναι αλμυρή και ο πιο διαδεδομένος τρόπος μαγειρέματος είναι οι βλαστοί του να βράζονται και να γίνονται σαλάτα.

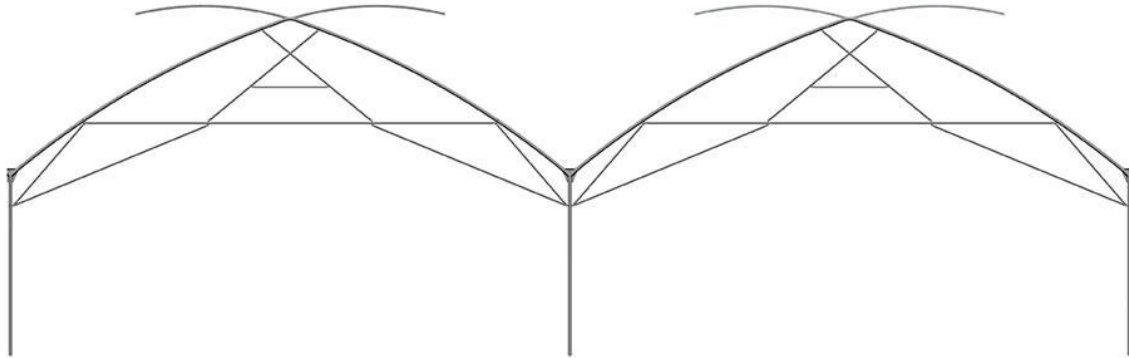
Τέλος το κρίταμο αξιοποιείται ως αρωματικό και φαρμακευτικό φυτό. Για κοσμετολογικές και φαρμακευτικές χρήσεις χρησιμοποιούνται τα παράγωγα αιθέρια έλαια του φυτού, που παράγονται κατά κύριο λόγο στους αγωγούς ιστούς των σαρκώδη βλαστών και φύλλων του φυτού. Οι φαρμακευτικές του χρήσεις ήταν γνωστές από την αρχαιότητα και χρησιμοποιούσαν κυρίως για τις τονοτικές, αποτοξινωτικές, διουρητικές και εμμηναγωγικές του θεραπευτικές ιδιότητες. Σήμερα αναγνωρίζεται ως σημαντική πηγή αντιοξειδωτικών ουσιών με επιπλέον ανοσολογική δράση και δράση κατά των φλεγμονών και κατά των ιών (Μιχαλίτσα, 2018).

6 Στόχος

Στόχος της παρούσας διατριβής ήταν η μελέτη των αποκρίσεων τεσσάρων αρωματικών ειδών σε αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος υδροπονίας, η οποία οφείλεται στην επαναχρησιμοποίηση των απορροών μίας πρωτεύουσας καλλιέργειας (τομάτας) σε σύστημα Cascade. Εξετάστηκαν διάφορες παράμετροι του αντιοξειδωτικού δυναμικού της μέντας και του δυόσμου ως δευτερεύουσες καλλιέργειες και του κρίταμου και μέλισσας ως τριτεύουσες.

7 Υλικά και μέθοδοι

7.1 Θερμοκήπιο



Εικόνα 3: Θερμοκήπιο γοθικού τύπου

Η διεξαγωγή του πειράματος έγινε στο θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας ($39^{\circ}22'$, $22^{\circ}44'$, 85 m). Το θερμοκήπιο είναι γοθικού τύπου. Απαρτίζεται από 5 θαλάμους, που έχουν διαστάσεις 25 m μήκος, 9.6 m πλάτος και 7.4 m ύψος, με συνολική καλλιεργήσιμη έκταση τα 200 m². Η οροφή καλύπτεται με διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου, έχει σε κάθε θάλαμο συνεχές άνοιγμα οροφής ενώ τα πλαϊνά τοιχώματα καλύπτονται από πολυκαρβονικά κυψελωτά φύλλα πολυαιθυλενίου, με 70% διαπερατότητα.

Οι συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου παραμένουν στα επιθυμητά επίπεδα μέσω αυτοματοποίησης. Παρακολουθούνταν μέσω αισθητήρων σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας (Sercom, Netherlands) και ρυθμίζονται αυτόματα μέσω λογισμικού μικροκλίματος. Το σύστημα ψύξης των θαλάμων αποτελείται από υγρή παρειά και έναν ανεμιστήρα σε κάθε θάλαμο του θερμοκηπίου. Ο αερισμός των θαλάμων ελέγχεται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και πραγματοποιείται μέσω των πλαϊνών ανοιγμάτων της οροφής.

Το θερμοκήπιο έχει σταθερό εγκατεστημένο υδροπονικό σύστημα άρδευσης καλλιεργειών και υπάρχει η δυνατότητα συλλογής των απορροών που ήταν αναγκαίο για να μελετηθεί η τροφοδότηση της επόμενης κατά σειρά καλλιέργειας με τις απορροές της προηγούμενης. Στο πρώτο θάλαμο ήταν τοποθετημένες οι δεξαμενές των μητρικών διαλυμάτων και των διαλυμάτων τροφοδοσίας. Το νερό προερχόταν από γεώτρηση του αγροκτήματος. Τα μητρικά διαλύματα ήταν κατά 100 φορές πιο συμπυκνωμένα από εκείνα της τροφοδοσίας. Τα διαλύματα τροφοδοσίας παρασκευάζονταν με τη χρήση δοσομετρικών αντλιών εξασφαλίζοντας αραίωση των μητρικών και με έλεγχο, μέσω της κεφαλής υδρολίπανσης.

7.2 Πειραματικό σχέδιο

Η πρωτεύουσα καλλιέργεια ήταν τομάτα (*Solanum lycopersicum*). Οι απορροές της συλλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ως το μητρικό διάλυμα για την επαναχρησιμοποίηση τους στην δευτερεύουσα καλλιέργεια.

Οι απορροές της τομάτας, χορηγήθηκαν σε δευτερεύουσες καλλιέργειες, οι οποίες είναι υδροπονικές καλλιέργειες που δέχονται το διάλυμα που είναι ανακυκλωμένο μια φορά. Οι δευτερεύουσες καλλιέργειες του πειράματος ήταν η μέντα (*Mentha spicata*) και ο δυόσμος (*Mentha piperita*). Μετά από το πότισμα στις δευτερεύουσες καλλιέργειες, οι απορροές συλλέγονται για 2^η φορά και το διάλυμα ανακυκλώνεται δεύτερη φορά.

Οι νέες απορροές που έχουν συλλεχθεί ποτίζουν τις τριτεύουσες καλλιέργειες. Αυτές δέχονται διπλά επαναχρησιμοποιημένο θρεπτικό διάλυμα. Οι τριτεύουσες καλλιέργειες του πειράματος ήταν η μέλισσα (*Melissa officinalis*) και το κρίταμο (*Chrithmum maritimum*).

Για κάθε φυτικό είδος υπήρχαν 2 μεταχειρίσεις: α) Cascade όπου χρησιμοποιούταν τα διαλύματα των απορροών και β) Control, όπου γινόταν άρδευση με φρέσκο θρεπτικό διάλυμα που είχε εμπλουτιστεί με άλας ώστε να φτάσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του Cascade.

Τα φυτά εγκαταστάθηκαν στο θερμοκήπιο στις 09/4/2020.

Οι μετρήσεις της παρούσας διατριβής αφορούν τις δευτερεύουσες και τις τριτεύουσες καλλιέργειες, τα 4 δηλαδή φυτά, *Mentha spicata*, *Mentha piperita*, *Melissa officinalis* και *Chrithmum maritimum*.

Στις καλλιέργειες αυτές έγιναν 2 δειγματοληψίες, μία στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας και μία στο τέλος της, στο στάδιο της τελικής συγκομιδής. Πιο συγκεκριμένα, ως 1st Harvest αναφέρεται η 15^η ημέρα του πειράματος, που ήταν στις 26/5/2020 και ως 2nd Harvest αναφέρεται η 60^η και τελευταία ημέρα του πειράματος, που ήταν στις 07/7/2020.

Τα δείγματα λήφθηκαν με τυχαιοποίηση για να έχουμε ένα καλό δείγμα από όλα τα σημεία του θερμοκηπίου. Σε κάθε είδος και για κάθε μετρούμενη παράμετρο ελήφθησαν 16 δείγματα/μεταχείριση/δειγματοληψία. Τα δείγματα που αφορούσαν την αντιοξειδωτική ικανότητα (DPPH assay) τοποθετούνταν άμεσα σε υγρό άζωτο. Τα δείγματα συντηρήθηκαν σε βαθιά κατάψυξη (-80 °C), έως ότου να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις στο εργαστήριο.

7.3 Εργαστηριακές μετρήσεις

Τα δεδομένα που μετριοούνται είναι φασματοφωτομετρικής φύσεως. Σε κάθε ουσία που μετριέται, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με την πρότυπη καμπύλη που δημιουργείται στην αρχή κάθε μετρήσεων. Η πρότυπη καμπύλη υπολογίζεται, κάνοντας πολλές μετρήσεις γνωστών συγκεντρώσεων κάθε ουσίας και ύστερα γίνεται αντιστοίχιση της συγκέντρωσης με το φασματοφωτομετρικό αποτέλεσμα που δίνει. Τα αποτελέσματα των δειγμάτων αφού μετρηθούν συγκρίνονται ουσιαστικά με τις μετρήσεις των γνωστών συγκεντρώσεων και έπειτα γίνεται η στατιστική τους ανάλυση για τον υπολογισμό της ακριβής συγκέντρωσης τους, αλλά επίσης και για τον υπολογισμό των σφαλμάτων.

7.3.1 Μέτρηση αντιοξειδωτικής ικανότητας

Η μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας έγινε μέσω του DPPH assay.

Το αντιδραστήριο παράγεται την ίδια ημέρα με την ανάμιξη της μικρής ποσότητας DPPH σκόνης 0,00004 g ανά ml μεθανόλης. Η επιθυμητή τελική συγκέντρωση είναι 100μM DPPH.

Τα υλικά που απαιτούνται:

- 1) Μεθανόλη
- 2) Αντιδραστήριο DPPH

Κάθε πειραματικός κύκλος περιλαμβάνει 4 δείγματα, για να υπάρχει επαρκής χρόνος ώστε οι μετρήσεις να γίνονται εντός του χρονικού παραθύρου που γίνονται οι αντιδράσεις. Η πειραματική διαδικασία εξελίσσεται ως εξής:

- Γίνεται ζύγισμα του νωπού φυτικού ιστού
- Έπειτα μεταφέρεται σε γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα μαζί με 25mL μεθανόλης, όπου και ανακατεύονται με το μηχάνημα του μαχαιριού για 30 δευτερόλεπτα το κάθε δείγμα. Στο τέλος της ανάμιξης, οι δοκιμαστικοί σωλήνες καλύπτονται με parafilm.
- Τα δείγματα καλύπτονται με αλουμινόχαρτο και μπαίνουν για 20 λεπτά στο μηχάνημα ανακίνησης.
- Μεταφέρονται σε γυάλινους σωλήνες, οι οποίοι επίσης καλύπτονται με parafilm και μπαίνουν για 10 λεπτά στη φυγόκεντροστις 3000 στροφές.
- Σε νέα σωληνάκια των 8 ml, μπαίνει η μεθανόλη (όση χρειάζεται για την αραιώση, ανάλογα με το φυτό), 2 ml του δείγματος και 2 ml DPPH. Το διάλυμα καλύπτεται με αλουμινόχαρτο και επωάζεται για 30 λεπτά.
- Στο τέλος, γίνεται φωτομέτρηση στα 517nm με γυάλινες κυβέτες. Ως τυφλό διάλυμα χρησιμοποιώντας η μεθανόλη.

7.3.2 Μέτρηση προλίνων

Για την μέτρηση της προλίνης χρησιμοποιείται η μέθοδος όξινης νινυδρίνης, η οποία προτάθηκε αρχικά από τους Bates et al. (1973). Εδώ ακολουθούμε μία τροποποιημένη από τους Khan et al. 2000.

Τα υλικά που απαιτούνται:

1. 3% σουλφοσαλικικικό οξύ (10ml ανά αριθμό δειγμάτων)
2. 6M ορθοφωσφορικό οξύ για το (3), καθώς το μπουκάλι περιέχει 14,8M ορθοφωσφορικό (MB=98) (για 1 L θέλουμε 405mL H_3PO_4)
3. Διάλυμα όξινης νινυδρίνης: 1.25 g νινυδρίνη, 30 ml οξικό οξύ, 20 ml 6M ορθοφωσφορικό οξύ, ανάδευση και ελαφριά θέρμανση — καλυμμένο με αλουμινόχαρτο για προστασία από φως. Μπορεί να διατηρηθεί στους 4°C για 24h (2ml ανά αριθμό δειγμάτων)
4. Οξικό οξύ (2ml ανά αριθμό δειγμάτων)
5. Τολουόλιο ή τολουένη (4ml ανά αριθμό δειγμάτων)
6. Πάγος

Για την εκχύλιση ζυγίζονται 250-500mg* νωπού δείγματος και εκχυλίζονται με 3% σουλφοσαλυκιλικού, με τελικό όγκο 10ml και τοποθετούνται σε μικρούς σωλήνες φυγοκέντρου με πώμα.

Οι σωλήνες μπαίνουν για φυγοκέντρωση στα 4000g για 10' και μετά μεταφέρεται το υπερκείμενο σε μικρούς γυάλινους δοκιμαστικούς σωλήνες.

Ύστερα στους αρχικούς μικρούς σωλήνες φυγοκέντρου με πώμα προστίθενται 2 ml εκχυλίσματος, 2 ml του αντιδραστηρίου της όξινης νινυδρίνης και 2 ml οξικού οξέος. Σφραγίζουμε και επωάζουμε το νέο διάλυμα σε υδατόλουτρο στους 1000°C για 1 ώρα. Αμέσως μετά που θα βγούν από το υδατόλουτρο, τα δείγματα μεταφέρονται με τους σωλήνες σε πάγο και όταν κρυώσουν το περιεχόμενο των σωλήνων μεταφέρεται σε μεγάλους δοκιμαστικούς σωλήνες, όπου προστίθεται με προσοχή, από τα τοιχώματα 4ml τολουόλιου και γίνεται ανάδευση για 15 δευτερόλεπτα. Με την προσθήκη του τολουόλιου γίνεται αντίδραση στην οποία ακολουθεί διαχωρισμός φάσεων, το χρωμοφόρο το οποίο περιέχει τολουόλιο διαχωρίζεται από την υδατική φάση του διαλύματος και πηγαίνει επάνω.

Τελικά παραλαμβάνεται το υπερκείμενο διάλυμα και μετριέται η απορρόφηση στα 520 nm, χρησιμοποιώντας ως τυφλό διάλυμα το τολουόλιο.

Η τελική συγκέντρωση προλίνης υπολογίζεται μέσω πρότυπης καμπύλης αναφοράς και εκφράζεται ως:

$$[\text{mg προλίνης ανά ml τολουόλιου}] / 115.5 \text{ } \mu\text{g} / \mu\text{mole}] / (\text{g δείγματος} / 5) = \mu\text{moles προλίνης ανά g νωπού βάρους δείγματος.}$$

7.3.3 Μέτρηση φωτοσυνθετικών χρωστικών

Η μέτρηση των φωτοσυνθετικών χρωστικών γίνεται επίσης φασματοσκοπικά.

Η απορρόφηση ή οπτική πυκνότητα μιας ουσίας σε διάλυμα μετράται με όργανα που λέγονται φασματοφωτόμετρα και δίνεται από τον νόμο των Lambert-Beer:

$A = \log(I_0/I) = c \cdot b \cdot \epsilon$, όπου

Aλ, η απορρόφηση του διαλύματος της ουσίας σε μήκος κύματος λ

I_0 η ένταση του φωτός που προσπίπτει στο διάλυμα της ουσίας

I, η ένταση του φωτός που διαπερνά το διάλυμα της ουσίας

c, η συγκέντρωση της ουσίας στο διάλυμα

b , η απόσταση που διανύει το φως μέσα στο διάλυμα της ουσίας
 ϵ_{λ} ο συντελεστής απορρόφησης σε μήκος κύματος λ (εξαρτάται από την ουσία και το είδος του διαλύτη).

Μέσω της παραπάνω εξίσωσης μπορούμε να υπολογίσουμε την συγκέντρωση μιας ουσίας σε ένα διάλυμα, αφού οι υπόλοιποι παράγοντες είναι εύκολα μετρήσιμοι. Πρακτικώς, το A είναι η μέτρηση, την οποία παίρνουμε στην οθόνη του φασματοφωτόμετρου, ο συντελεστής ϵ_{λ} βρίσκεται από σχετικούς πίνακες και η απόσταση b προκύπτει από τις διαστάσεις της κυψελίδας του οργάνου.

Το θέμα είναι περισσότερο πολύπλοκο εάν χουμε μίγμα ουσιών, δηλαδή εάν για παράδειγμα το συνολικό εκχύλισμα των φωτοσυνθετικών χρωστικών, των οποίων τα φάσματα απορρόφησης αλληλοεπικαλύπτονται. Σε αυτή την περίπτωση η απορρόφηση σ' ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος θα αποτελεί το άθροισμα των απορροφήσεων των επί μέρους ουσιών και η επίλυση του τύπου των Lambert-Beer θα οδηγεί σε μία εξίσωση με περισσότερους του ενός αγνώστους. Έτσι, απαιτείται μέτρηση της απορρόφησης περισσότερων μήκων κύματος, ώστε να δημιουργηθεί ένα σύστημα με τόσες εξισώσεις, όσες οι προς μέτρηση ουσίες του μίγματος. Τα μήκη κύματος που επιλέγουμε είναι αυτά, στα οποία η κάθε ουσία παρουσιάζει μέγιστο απορρόφησης.

Με βάση τέτοιους υπολογισμούς έχουν προκύψει οι εξισώσεις που ακολουθούν και οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στο πειραματικό μέρος για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης a , της χλωροφύλλης b και των καροτενοειδών.

$$c_a = 12.21A_{663} - 2.81A_{646}$$

$$c_b = 20.13A_{646} - 5.03A_{663}$$

$$c_{car} = (1000A_{470} - 3.27c_a - 104c_b) / 229$$

όπου

A_{λ} , η απορρόφηση του διαλύματος της ουσίας σε μήκος κύματος λ

c_a = η συγκέντρωση της χλωροφύλλης a , μετρημένη σε mg/ml διαλύματος

c_b = η συγκέντρωση της χλωροφύλλης b , μετρημένη σε mg/ml διαλύματος

c_{car} = η συγκέντρωση των συνολικών καροτενοειδών (το άθροισμα δηλαδή των ξανθοφυλλών και των καροτενοειδών), μετρημένη σε mg/ml διαλύματος

Οι παραπάνω εξισώσεις αφορούν διαλύματα 80 0 v/v ακετόνης. Είναι προφανές, ότι αναλόγως τον διαλύτη θα μεταβάλλονται και οι εξισώσεις, αφού από την φύση του

διαλύτη εξαρτάται ο συντελεστής απορρόφησης και η θέση των μεγίστων απορρόφησης.

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των φωτοσυνθετικών χρωστικών μπορεί κανείς να επιλέξει οποιοδήποτε φωτοσυνθετικό ιστό, πρακτικά όμως επιλέγονται τα μαλακά φύλλα από αννώτερα φυτά, τα οποία λειοτριβούνται εύκολότερα.

Η χημική δομή των ουσιών που θέλουμε να εκχυλίσουμε, μας καθορίζει και το είδος του διαλύτη που χρησιμοποιήσουμε. Επειδή οι φωτοσυνθετικές χρωστικές είναι λιπιδικής φύσεως, το μέσον εκχύλισης πρέπει να είναι ένας οργανικός διαλύτης, όπως η ακετόνη (διάλυμα 80% v/v) η οποία και χρησιμοποιήθηκε στο παρόν πείραμα, επειδή αναμιγνύεται καλά με το νερό των κυττάρων χωρίς να δημιουργεί γαλάκτωμα σε αντίθεση με άλλους οργανικούς διαλύτες όπως τον αιθέρα ή το βενζόλιο και δεν είναι ιδιαίτερα επιβλαβής, όπως οργανικοί διαλύτες όπως η μεθανόλη.

Για την πρακτική διαδικασία του πειραματικού μέρους, λαμβάνονται φύλλα βάρους 5 g κόβονται σε μικρά κομμάτια και θετούνται σε γουδί πορσελάνης μαζί με μικρή ποσότητα (0.5 g) καθαρής άμμου και ανθρακικού ασβεστίου* (CaCO_3 , 0.1 g). Η προσθήκη CaCO_3 αποτρέπει την οξίνιση του διαλύματος από οξέα που περιέχουν τα φύλλα. Οξίνιση του διαλύματος θα είχε σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση του Mg από τα μόρια της χλωροφύλλης και τη δημιουργία φαιοφυτίνης, η οποία παρουσιάζει διαφορετικό φάσμα απορρόφησης.

Τα φύλλα, στη συνέχεια, εκχυλίζονται με 50 ml οποία προστίθενται σταδιακά (ανά 5 ml), ώστε να διευκολύνεται η ομογενοποίηση και να περιορίζονται οι απώλειες.

Το εκχύλισμα ύστερα μεταγγίζεται σε σωλήνα φυγοκέντρου και φυγοκεντρείται για 10 λεπτά στα 2500 g ή στις 4000 στροφές ανά λεπτό.

Το διαυγές πράσινο υπερκείμενο διάλυμα χρησιμοποιείται ως δείγμα για την φασματοφωτομέτρηση, ενώ το ίζημα απορρίπτεται.

Το υπερκείμενο μεταγγίζεται σε ογκομετρικό σωλήνα, όπου καταγράφεται ο όγκος του.

Το δείγμα φωτομετρείται στα 470, 646, 663 και 720 nm.

Η απορρόφηση στα 720 nm οφείλεται σε πιθανό σκεδασμό και όχι στις χρωστικές, τιμή αυτή αφαιρείται από τις υπόλοιπες μετρήσεις. Λαμβάνεται το συνολικό φάσμα απορρόφησης του δείγματος στην ορατή περιοχή (400-700 nm) με

φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης. Υπενθυμίζεται ότι το δείγμα είναι μίγμα χλωροφύλλης a, χλωροφύλλης b και καροτενοειδών και επομένως το συνολικό φάσμα απορρόφησης προέρχεται από τη συνεισφορά της απορρόφησης κάθε μίας χρωστικής στο εκάστοτε μήκος κύματος.

Με βάση τις εξισώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω και τις τιμές απορρόφησης στα συγκεκριμένα μήκη κύματος υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης a, της χλωροφύλλης b και των συνολικών καροτενοειδών. Οι εξισώσεις δίνουν τα ποσά της χρωστικής σε διαλύματος. Για να εκφραστούν τα ποσά κάθε πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες αναγωγές με βάση το βάρος των φύλλων που χρησιμοποιήθηκαν, τον όγκο του εκχυλίσματος καθώς και τυχόν αραιώσεις που έχουν γίνει.

7.3.4 Μέτρηση ολικών φαινολικών

Χρησιμοποιείται η μέθοδος Folin-Ciocalteu (Waterman & Mole, 1994)

Τα υλικά που απαιτούνται:

- 1) Μεθανόλη
- 2) Αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu (0,25ml ανά δείγμα). Το συγκεκριμένο αντιδραστήριο είναι φωτοευαίσθητο, οπότε πρέπει να προστατεύεται από το φως.
- 3) Διάλυμα Na_2CO_3 (20g σε 100ml νερού - παρασκευάζεται φρέσκο πριν κάθε μέτρηση) - (0,75M ανά δείγμα)

Η συγκεκριμένη μέτρηση είναι η μόνη που χρειάζεται προεργασία στα δείγματα, καθώς τα φαινολικά είναι η μόνη ουσία στην οποία χρειάζεται ο φυτικός ιστός να είναι ξηρός. Τα φυτά μπαίνουν στον εργαστηριακό φούρνο στους 80°C για 24 ώρες.

Για την εκχύλιση

- Ζυγίζονται 50 mg κονιορτοποιημένου ξηρού δείγματος και τοποθετούνται σε πλαστικούς δοκιμαστικούς σωλήνες.
- προστίθενται 6ml υδατικού διαλύματος μεθανόλης 50%.
- σφραγίζονται και επωάζονται σε υδατόλουτρο στους 40°C για 1 ώρα υπό ήπια ανάδευση τα δείγματα περνούν από χάρτινο φίλτρο με τη βοήθεια

χωνιού και το διαυγές διάλυμα παραλαμβάνεται σε νέους μικρούς δοκιμαστικούς σωλήνες.

Για την αντίδραση

- Σε μεγαλύτερους δοκιμαστικούς σωλήνες τοποθετούνται 3,95 ml απιονισμένου νερού, 0,05 ml του υπερκείμενου και 0,25 ml του αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu
- Ακολουθεί παρακίνηση με vortex και ύστερα από 1-8 λεπτά προστίθενται επιπλέον 0,75ml διάλυμα ανθρακικού νατρίου Na_2CO_3
- Ακολουθεί ανακίνηση με vortex και επώαση σε θερμοκρασία δωματίου για 2 ώρες, με συχνή ανακίνηση στο vortex
- Μετά το πέρας των 2 ωρών και σε χρονικό διάστημα 1-8 λεπτών, μετράται η απορρόφηση στα 760nm

Ο τελικός υπολογισμός των ολικών φαινολικών γίνεται με σύγκριση των φασματοφωτομετρικών του αποτελεσμάτων με μια πρότυπη καμπύλη, κατασκευάζεται η καμπύλη αναφοράς για διαφορετικές συγκεντρώσεις ταννικού οξέος ή γαλλικού οξέος. Η συγκέντρωση ολικών φαινολικών εκφράζεται σε mg ισοδύναμου ταννικού οξέος ανά g ξηρής ουσίας (Phm). Η συγκέντρωση ολικών φαινολικών ανά επιφάνεια ελάσματος (Pha) υπολογίζεται ως το γινόμενο Phm και LMA.

GAE (mg/g) = C*V/M όπου C είναι η τιμή GA σε mg/ml όπως προκύπτει από την πρότυπη καμπύλη, V ο όγκος του εκχυλίσματος που χρησιμοποιείται και M τα g του ιστού.

7.3.5 Στατιστική επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία έγινε με One-way ANOVA, αφού προηγήθηκε ο έλεγχος των πρυποθέσεων της με Shapiro-Wilk και Levene Test. Όλες οι αναλύσεις έγιναν με το στατιστικό πρόγραμμα JASP v.0.16 software (JASP Team 2021 Computer Software).

8 Αποτελέσματα

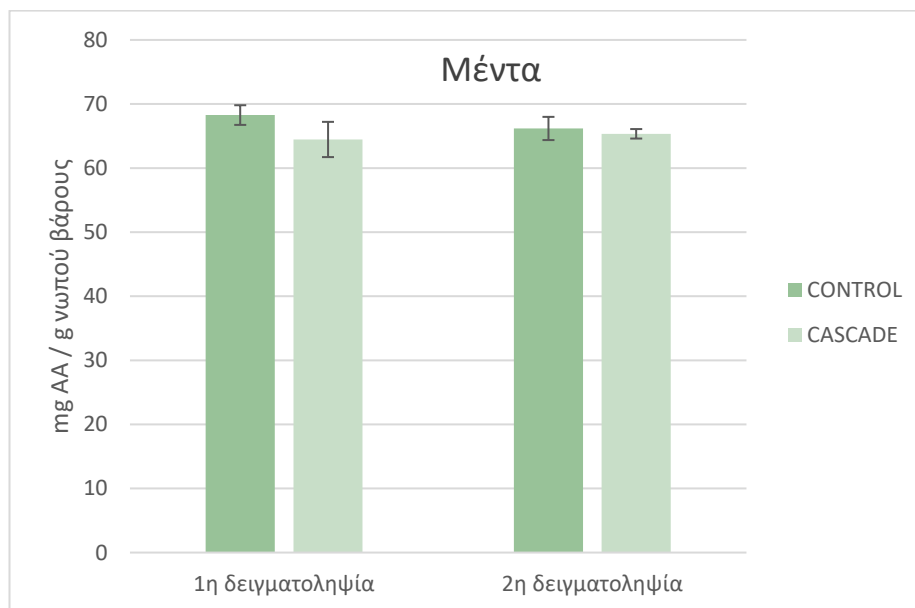
Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των 4 φυτών.

8.1 ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Μέντα

Οι μετρήσεις της αντιοξειδωτικής ικανότητας ως ισοδύναμα συγκέντρωσης ασκορβικού οξέος στην μέντα δείχνουν πως την πρώτη μέρα μετρήσεων η μεταχείριση Cascade εμφανίζει μικρότερα νούμερα, ενώ στην 2^η συγκομιδή οι διαφορές είναι εξαλείφονται. Εντούτοις, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε καμία δειγματοληψία.

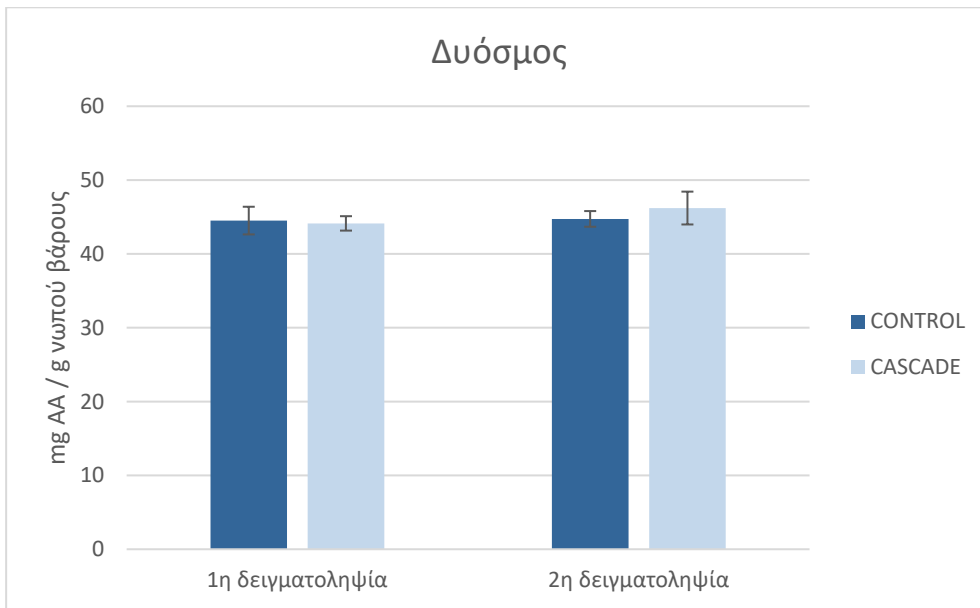
Γράφημα 1: Αντιοξειδωτική ικανότητα ως ισοδύναμα συγκέντρωσης ασκορβικού οξέος στην μέντα



Δυόσμος

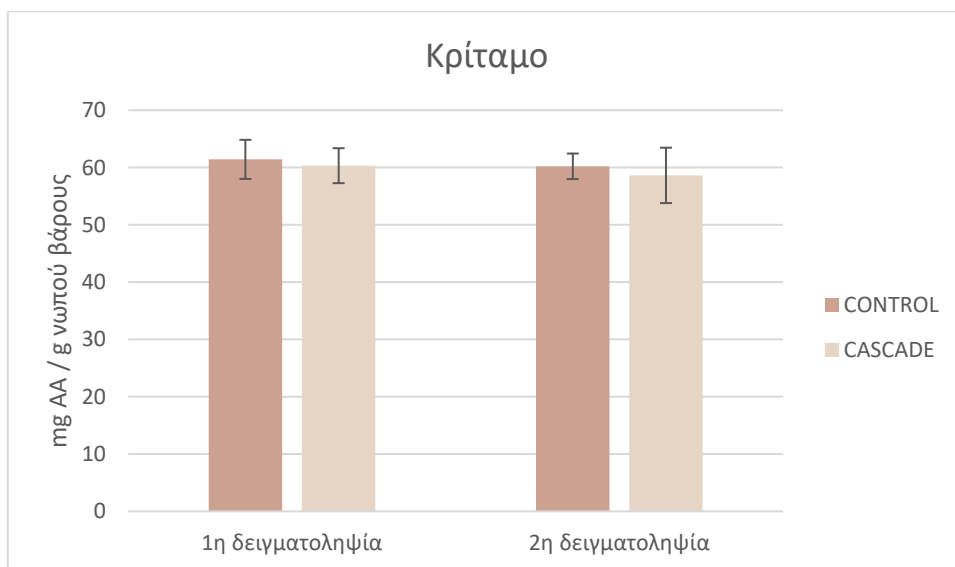
Αντίστοιχη με την μέντα ήταν και η εικόνα το δυόσμο, με παρόμοιες τιμές για τις δύο μεταχειρίσεις και στις δύο δειγματοληψίες.

Γράφημα 2: Αντιοξειδωτική ικανότητα ως ισοδύναμα συγκέντρωσης ασκορβικού οξέος στο δυόσμο



Κρίταμο

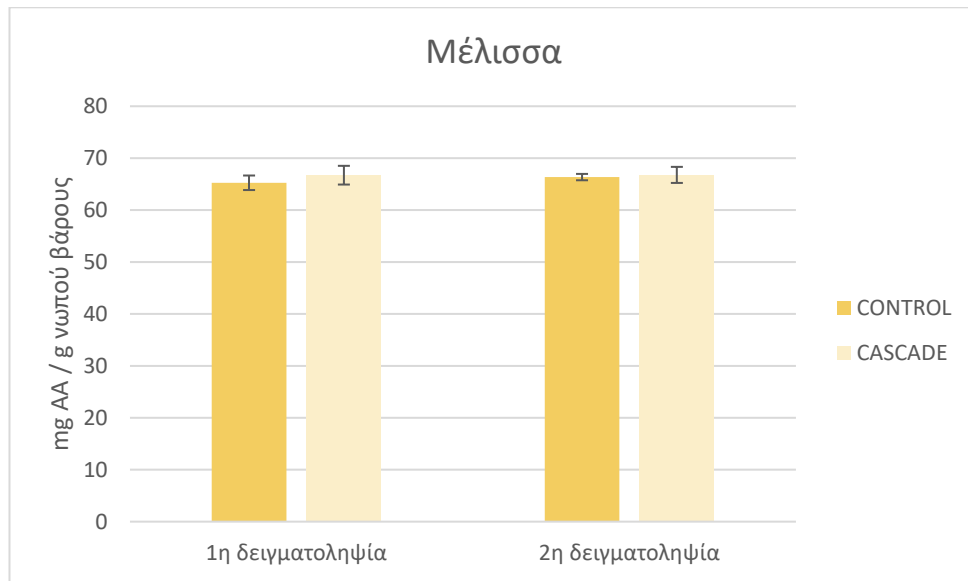
Γράφημα 3: Αντιοξειδωτική ικανότητα ως ισοδύναμα συγκέντρωσης ασκορβικού οξέος στο κρίταμο



Η ισοδύναμη συγκέντρωση ασκορβικού οξέος ήταν στα ίδια επίπεδα για τα Control Cascade φυτά και στις δύο δειγματοληψίες στο κρίταμο.

Μέλισσα

Γράφημα 4: Αντιοξειδωτική ικανότητα ως ισοδύναμα συγκέντρωσης ασκορβικού οξέος στην μέλισσα

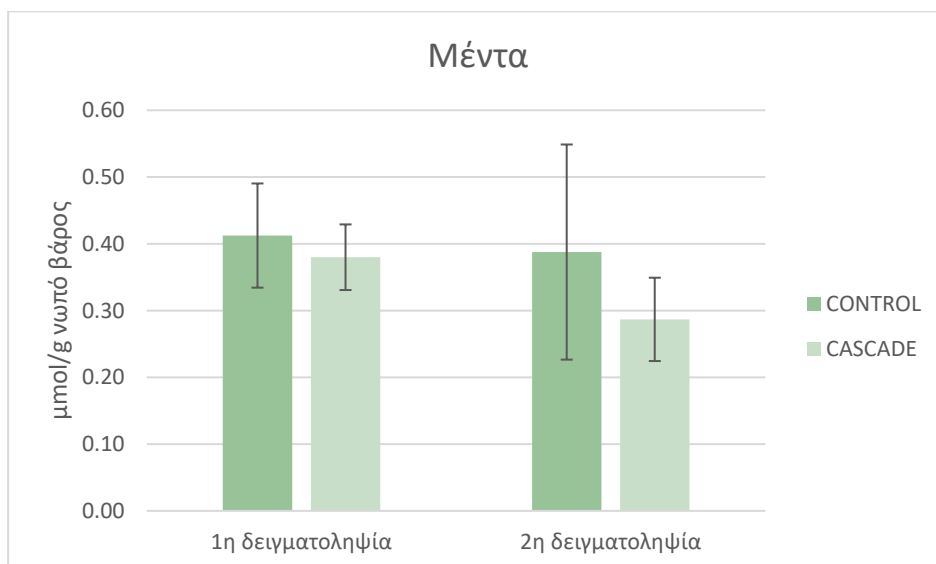


Το ίδιο στατιστικά ασήμαντες είναι οι διαφορές στα νούμερα του ασκορβικού οξέως, στη μέλισσα.

8.2 ΠΡΟΛΙΝΕΣ

Μέντα

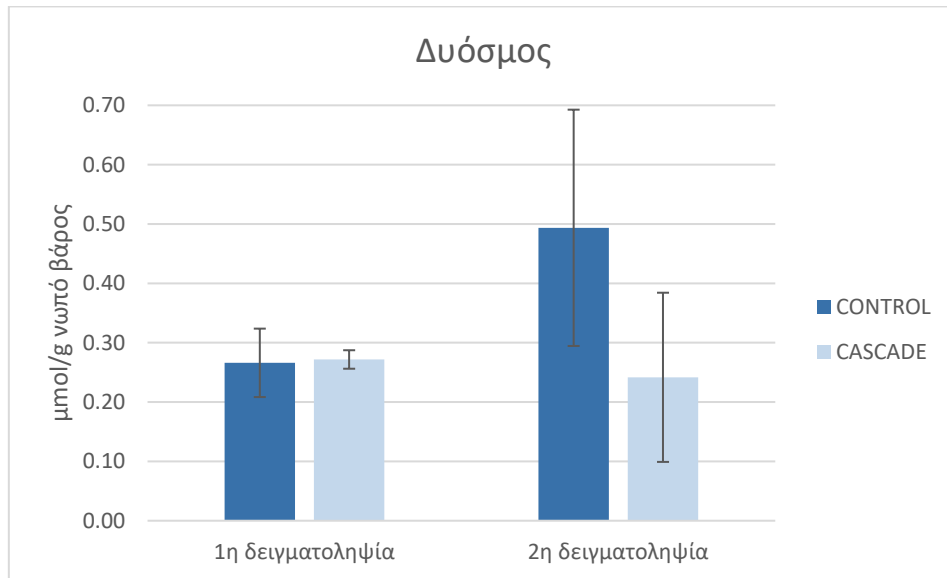
Γράφημα 5: Συγκέντρωση προλίνης στην μέντα



Η συγκέντρωση της προλίνης στα φυτά της μέντας παρουσιάζει μείωση τόσο από την 1^η συγκομιδή στη 2^η, όσο και από Control σε Cascade. Παρόλαυτά οι διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων δεν είναι στατιστικώς σημαντικές.

Δυόσμος

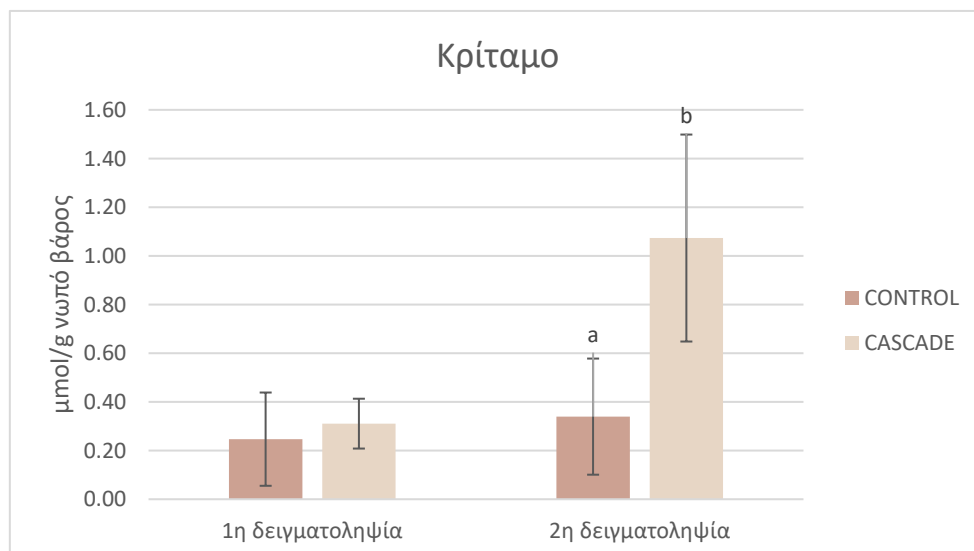
Γράφημα 6: Συγκέντρωση προλίνης στο δυόσμο



Τα φυτά του δυόσμου δεν έχουν στατιστικά σημαντικά διαφορετικά νούμερα την 1^η ημέρα συγκομιδής. Την 2^η ημέρα όμως το Control εμφανίζει σχεδόν την διπλάσια τιμή του Cascade, χωρίς όμως να είναι στατιστικώς σημαντική αυτή η διαφορά.

Κρίταμο

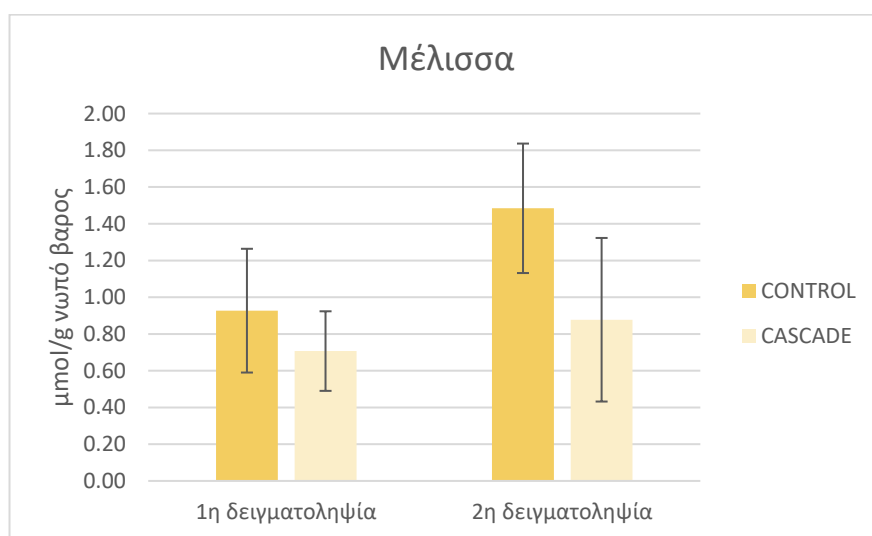
Γράφημα 7: Συγκέντρωση προλίνης στο κρίταμο



Η συγκέντρωση προλίνης στο κρίταμο αλλάζει στις 2 διαφορετικές ημερομηνίες, με την τελική δειγματοληψία να παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές, ιδιαίτερα για το Cascade. Στο σημείο εκείνο οι μεταξύ των μεταχειρίσεων διαφορές είναι στατιστικώς σημαντικές.

Μέλισσα

Γράφημα 8: Συγκέντρωση προλίνης στην μέλισσα



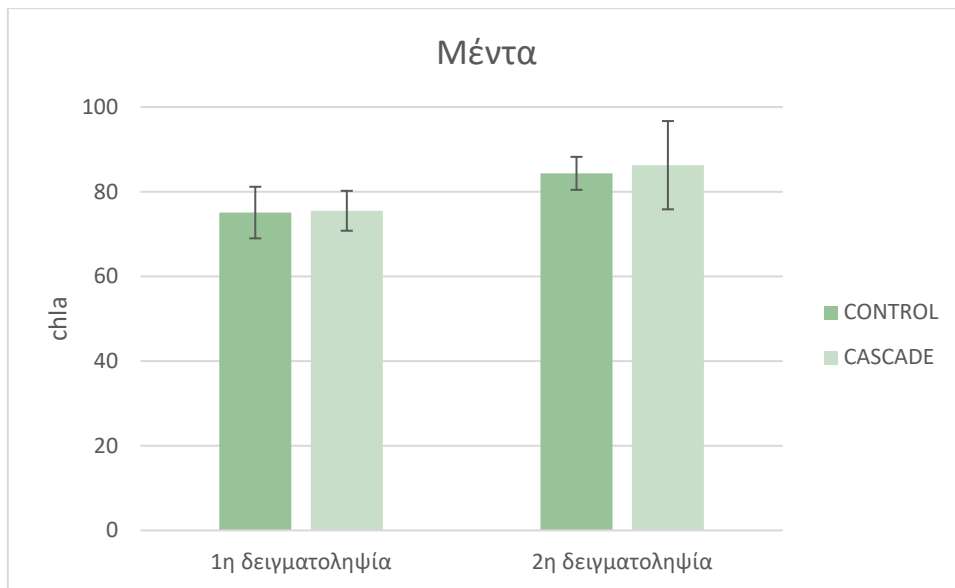
Στην μέλισσα όπως και στο κρίταμο, στην 2^η δειγματοληψία οι τιμές της προλίνης είναι μεγαλύτερες από της 1^{ης} ημέρας. Αντιθέτως όμως με το κρίταμο μεταξύ των μεταχειρίσεων, η μέλισσα έχει αυξημένες τιμές στο Control συγκριτικά με το Cascade, χωρίς να είναι σημαντική η διαφορά αυτή από στατιστικής άποψης.

8.3 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ

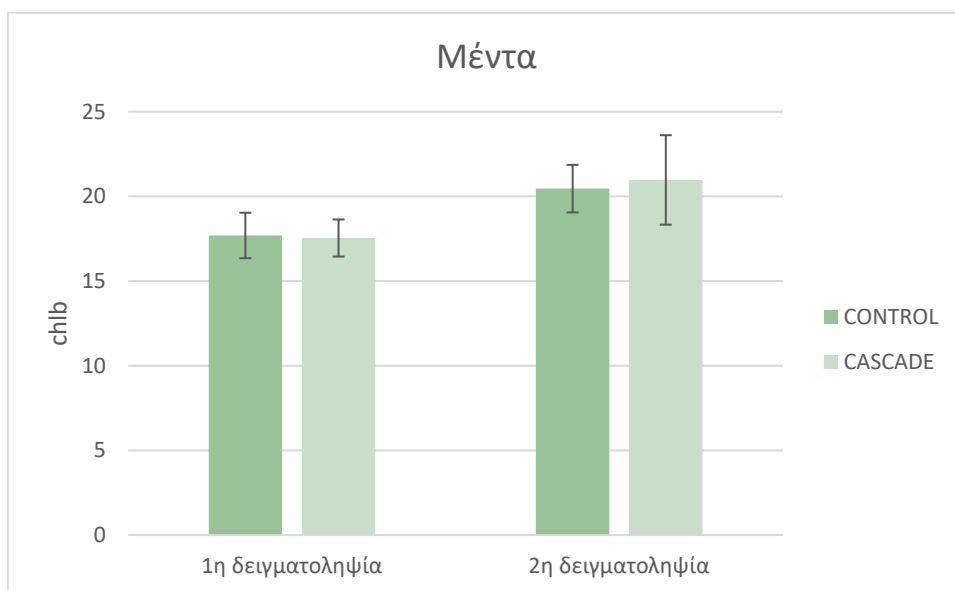
Μέντα

Οι φωτοσυνθετικές χρωστικές στα φύλλα της μέντας παρέμειναν σχεδόν σταθερές μεταξύ των δύο δειγματοληψιών, αλλά και χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, όπως φαίνεται από το Γράφημα 9 για την χλωροφύλλη a, το Γράφημα 10 για την b και το Γράφημα 11 για τα ολικά καροτενοειδή.

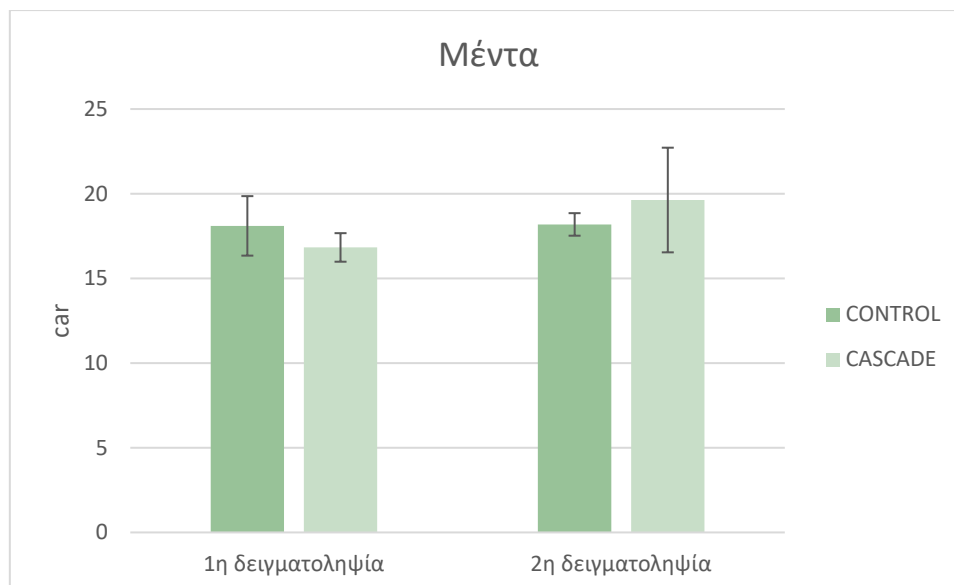
Γράφημα 9: Συγκέντρωση χλωροφύλλης a στα φύλλα της μέντας



Γράφημα 10: Συγκέντρωση χλωροφύλλης b στα φύλλα της μέντας

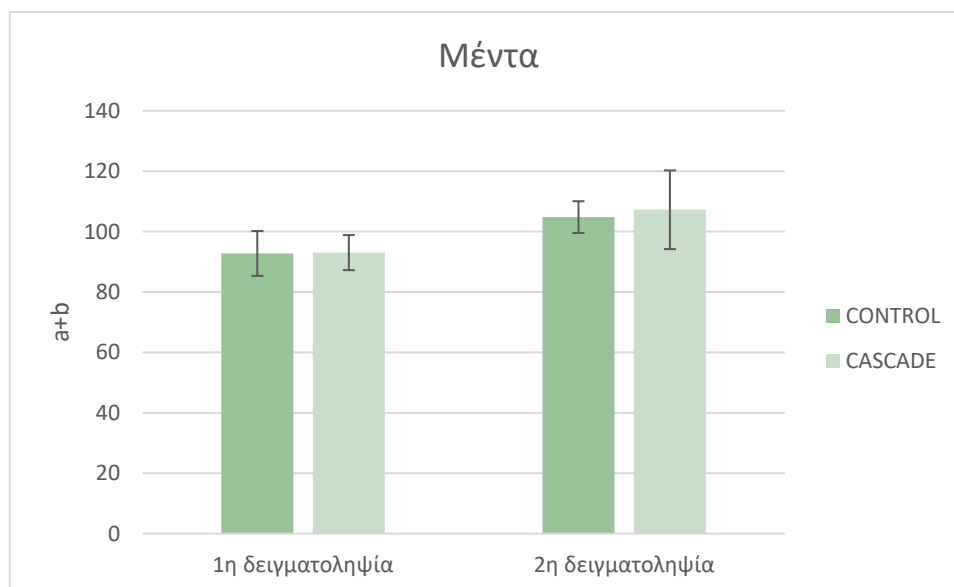


Γράφημα 11: Συγκέντρωση καροτενοειδών στα φύλλα της μέντας



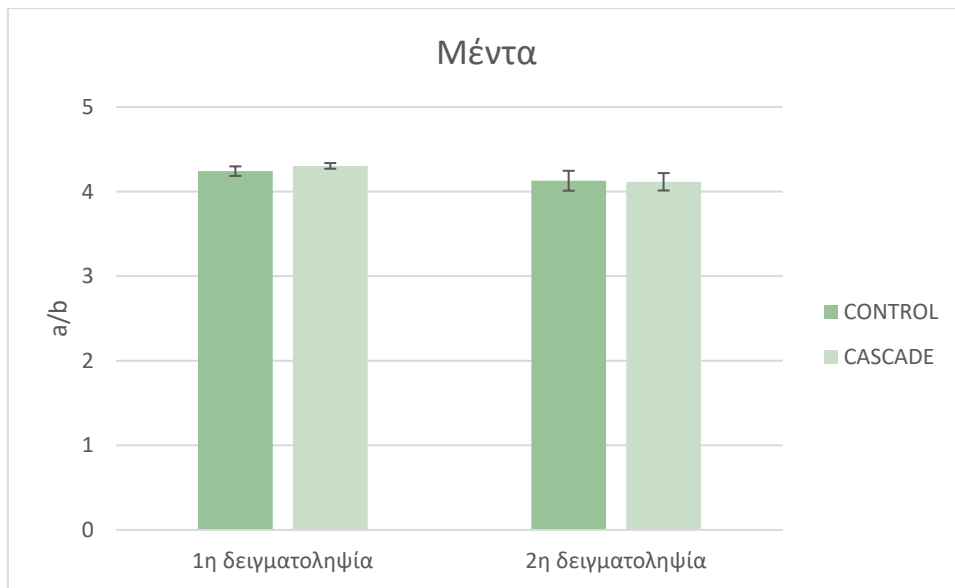
Αυτά τα αποτελέσματα οδήγησαν σε παρόμοιες τιμές μεταξύ μεταχειρίσεων στη συγκέντρωση των ολικών χλωροφυλλών (Γράφημα 12), αλλά και του λόγου χλωροφύλλης a/b (Γράφημα 13). Στατιστικώς σημαντική διαφορά καταγράφηκε στον λόγο χλωροφυλλών/καροτενοειδή κατά την 1^η δειγματοληψία (Γράφημα 14).

Γράφημα 12: Συγκέντρωση ολικών χλωροφυλλών στη μέντα

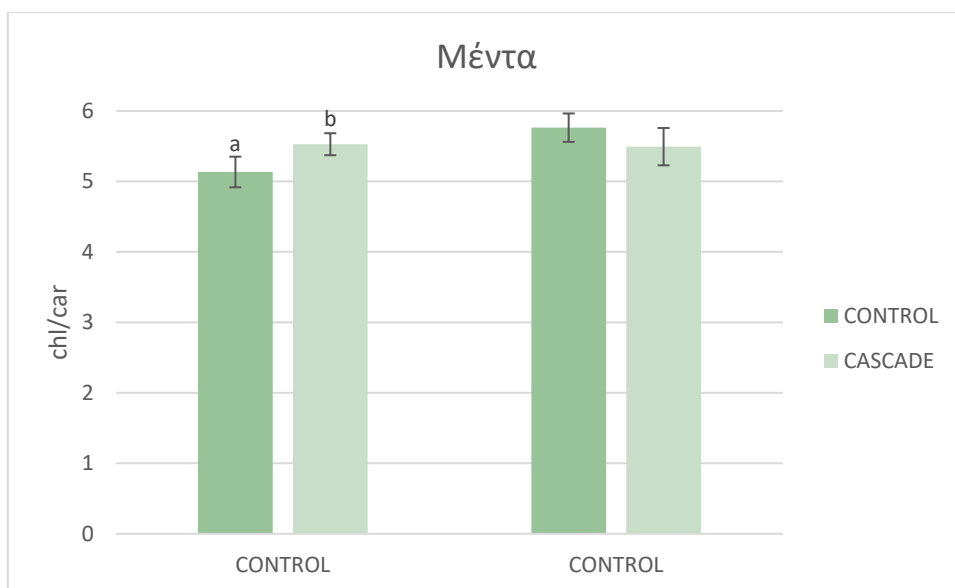


Οι διαφορές σε συνολική χλωροφύλλη είναι στατιστικά ασήμαντες μεταξύ των μεταχειρίσεων, όμως φαίνεται να αυξάνεται από την 1^η ημέρα στην 2^η.

Γράφημα 13: Λόγος χλωροφύλλης α/ χλωροφύλλης β στη μέντα

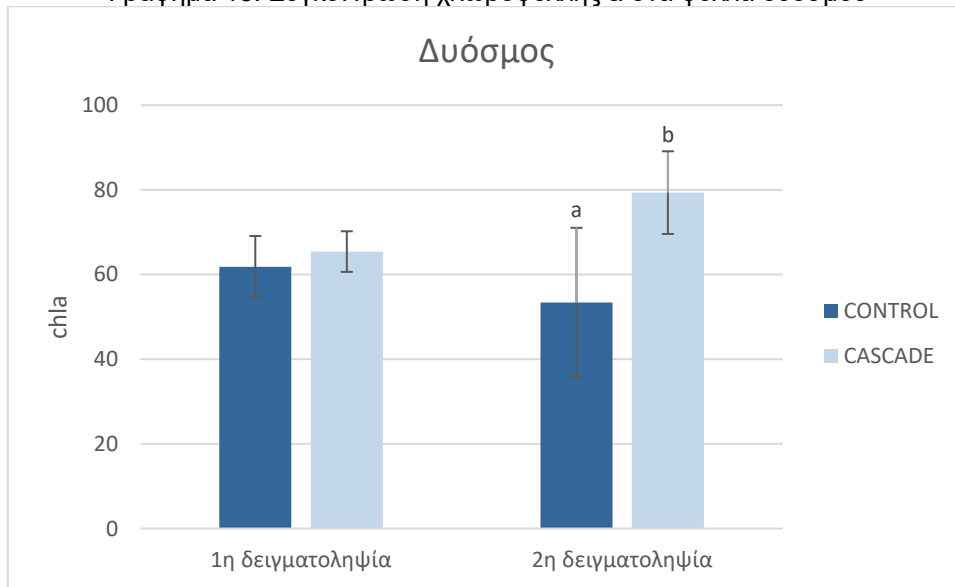


Γράφημα 14: Λόγος συνολικής χλωροφύλλης/ καροτενοειδή στη μέντα



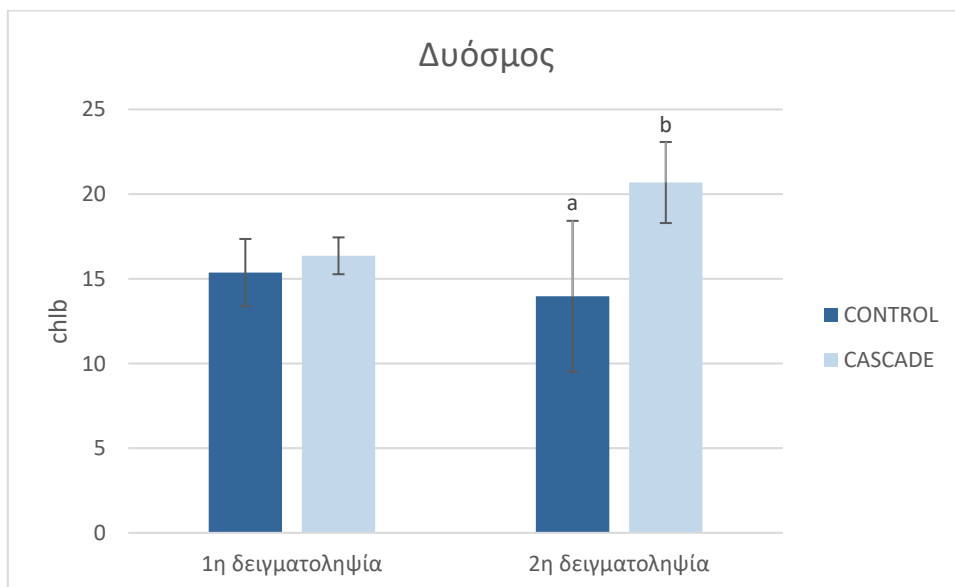
Δυόσμος

Γράφημα 15: Συγκέντρωση χλωροφύλλης a στα φύλλα δυόσμου



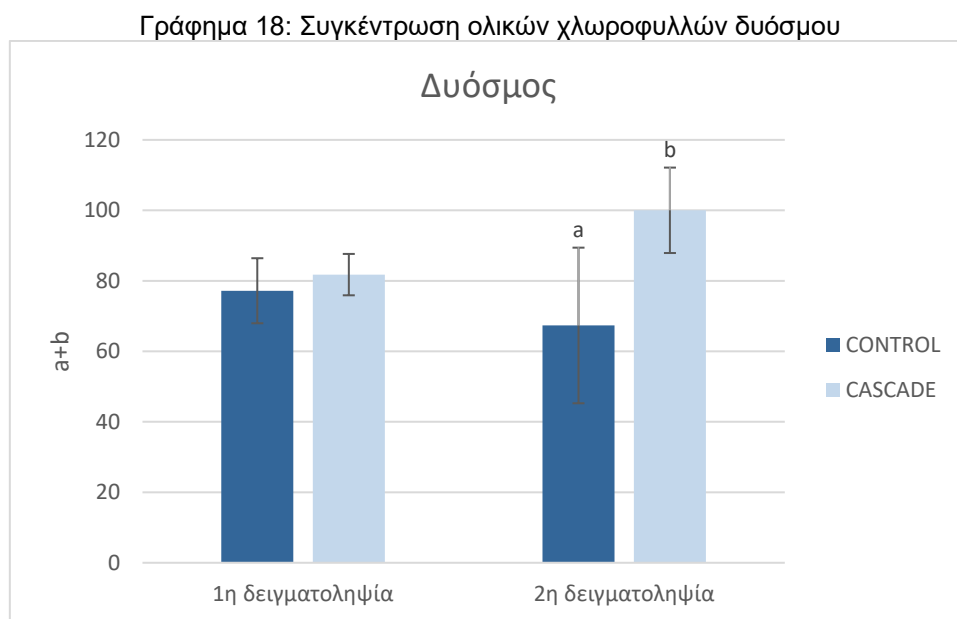
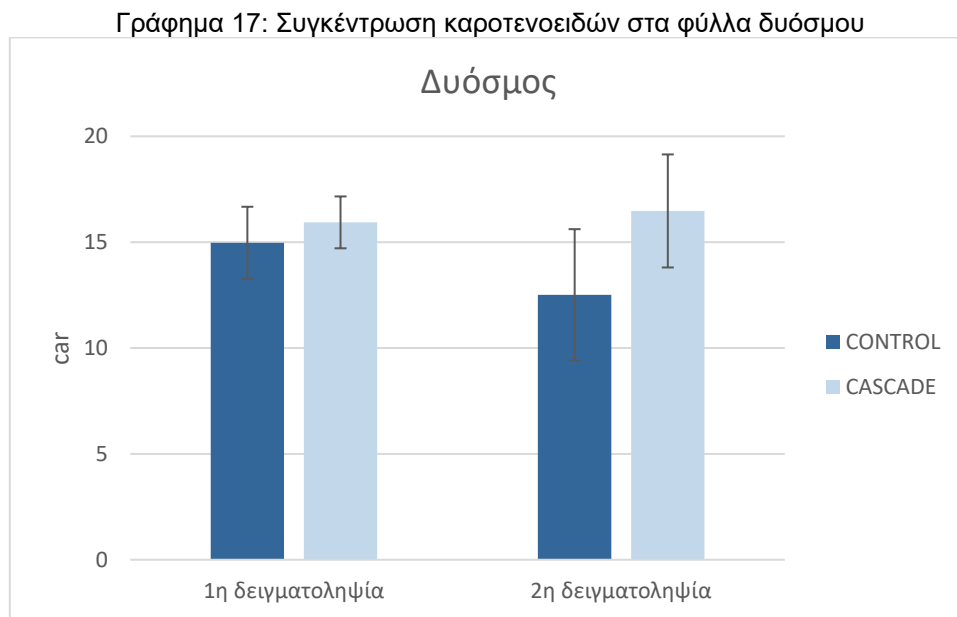
Στον δυόσμο η χλωροφύλλη ενώ στο μέσον του πειράματος (1^η συγκομιδή) είχε παρόμοιες τιμές στις δύο μεταχειρίσεις, κατά την τελική συγκομιδή εμφανίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την Cascade να υπερέχει.

Γράφημα 16: Συγκέντρωση χλωροφύλλης b στα φύλλα δυόσμου



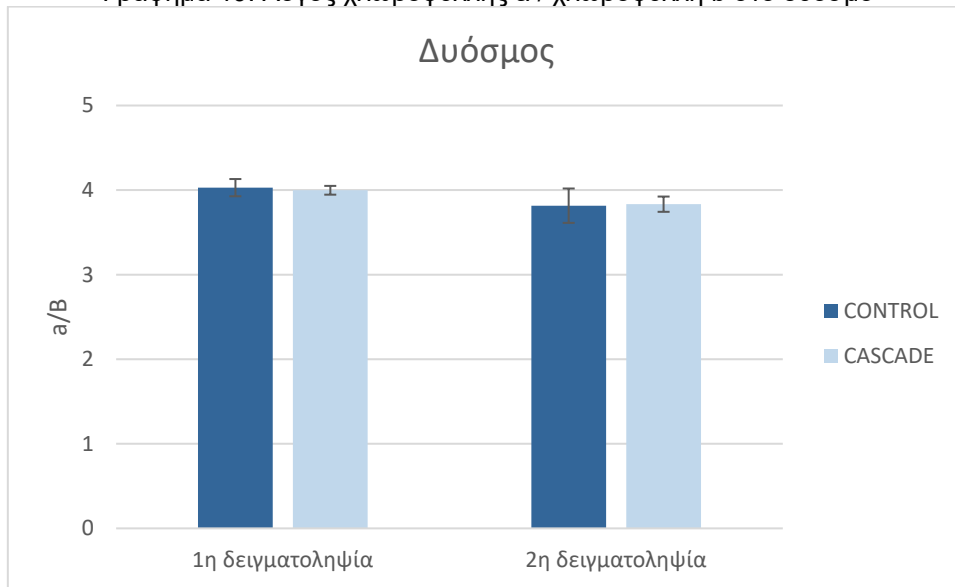
Η ίδια εικόνα με την χλωροφύλλη a παρουσιάζεται και στην χλωροφύλλη b. Η Cascade μεταχείριση εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές, με στατιστικώς σημαντική διαφορά με το Control.

Ενώ η παραπάνω τάση εμφανίστηκε και στη συγκέντρωση των καροτενοειδών (Γραφημα 17), οι διαφορές δεν ήταν σημαντικές μεταξύ των μεταχειρίσεων.



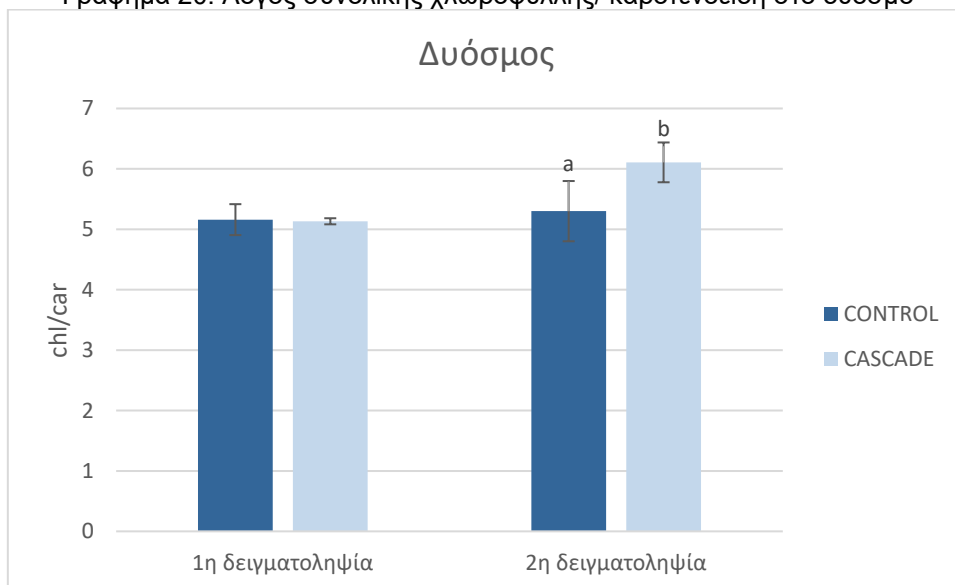
Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές που παρουσιάστηκαν στις συγκεντρώσεις των χλωροφυλλών a και b, αποτυπώνονται και στο άθροισμά τους με το Cascade και πάλι να υπερέχει.

Γράφημα 19: Λόγος χλωροφύλλης a / χλωροφύλλη b στο δυόσμο



Ο λόγος μεταξύ των συγκεντρώσεων χλωροφυλλών a/b είναι παρόμοιος και σταθερός μεταξύ μεταχειρίσεων και δειγματοληψιών.

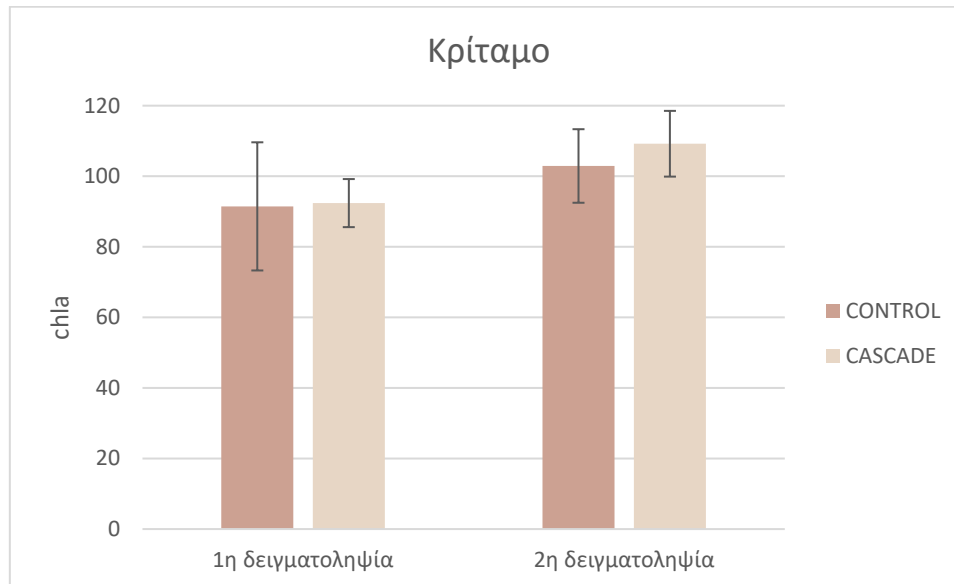
Γράφημα 20: Λόγος συνολικής χλωροφύλλης/ καροτενοειδή στο δυόσμο



Ο λόγος ολικής χλωροφύλλης σε σχέση με τα καροτενοειδή του δυόσμου αποτυπώνει τις στατιστικά σημαντικές διαφορές που καταγράφηκαν στις χλωροφύλλες με το Cascade να εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές.

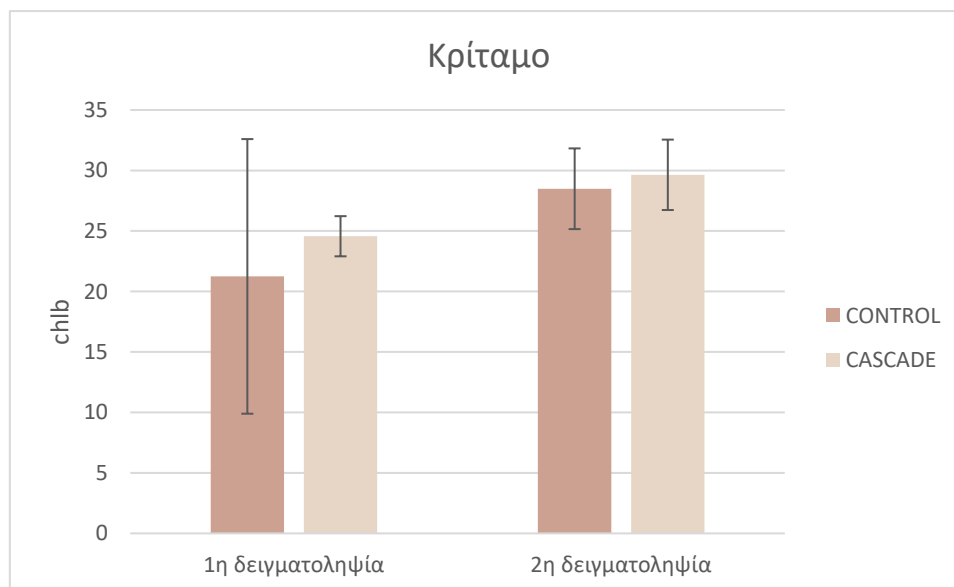
Κρίταμο

Γράφημα 21: Συγκέντρωση χλωροφύλλης a στα φύλλα κρίταμου



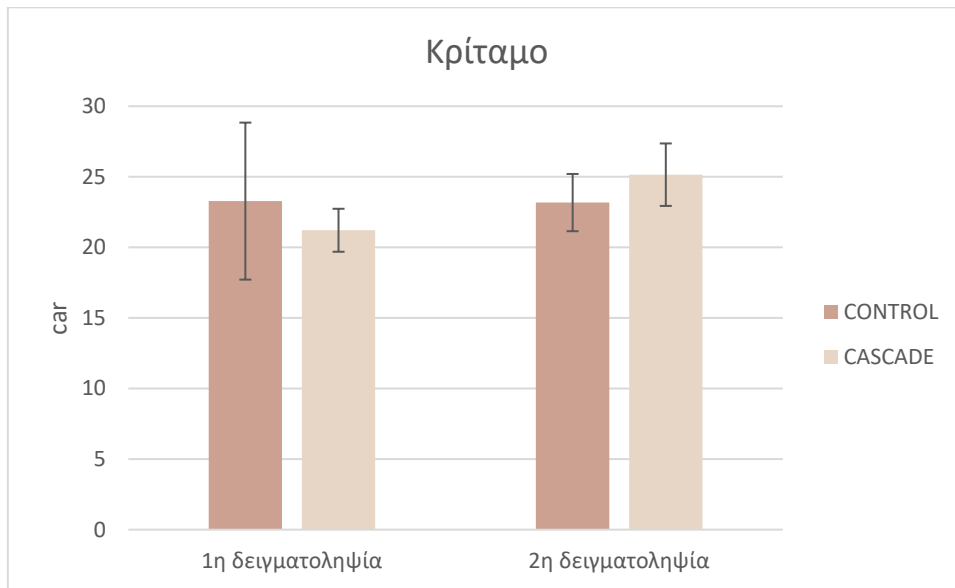
Τόσο η συγκέντρωση της χλωροφύλλης a όσο και αυτή της b του κρίταμου φαίνεται ότι αυξάνεται με το χρόνο, όμως δεν καταγράφονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Γράφημα 22: Συγκέντρωση χλωροφύλλης b στα φύλλα κρίταμου



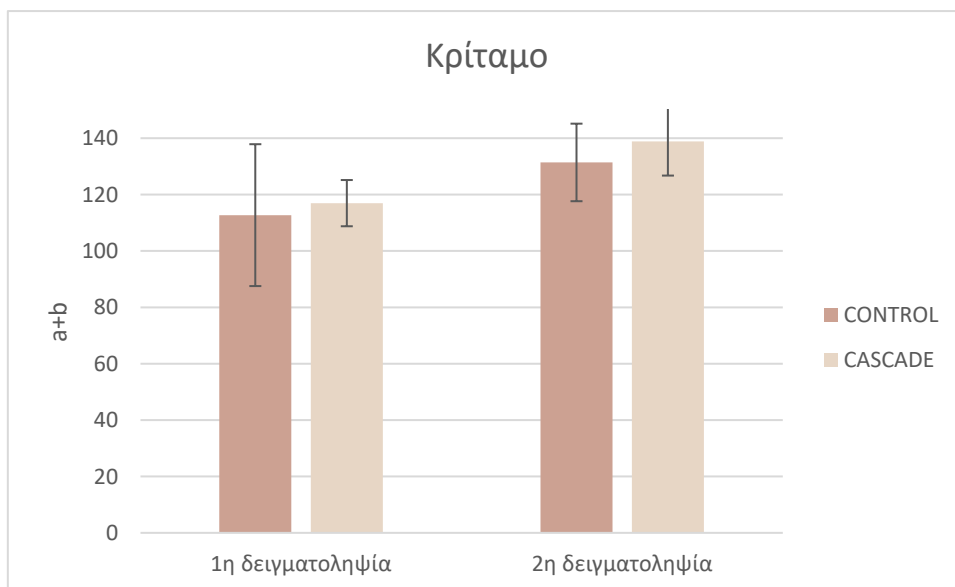
Σταθερές συγκεντρώσεις καροτενοειδών καταγράφηκαν μεταξύ των δύο δειγματοληψιών, όπως και απουσία διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Γράφημα 23: Συγκέντρωση καροτενοειδών στα φύλλα κρίταμου

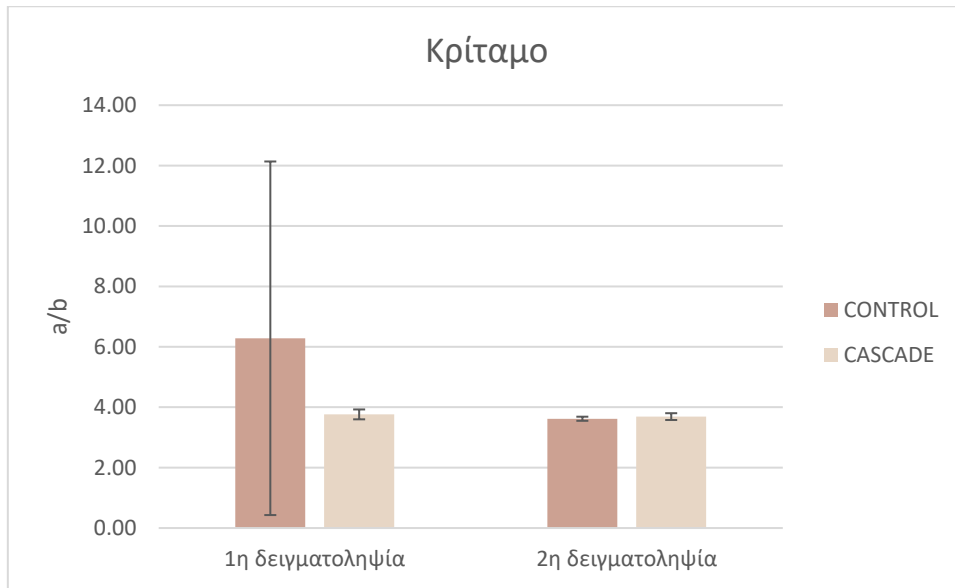


Με βάση την απουσία διαφορών που φάνηκε στις συγκεντρώσεις των φωτοσυνθετικών χρωστικών του κρίταμου, δεν βρέθηκαν διαφορές ούτε στις ολικές χλωροφύλλες (Γράφημα 24), αλλά και στους λόγους a/b (Γράφημα 25) και χλωροφύλλες/καροτενοειδή (Γράφημα 26).

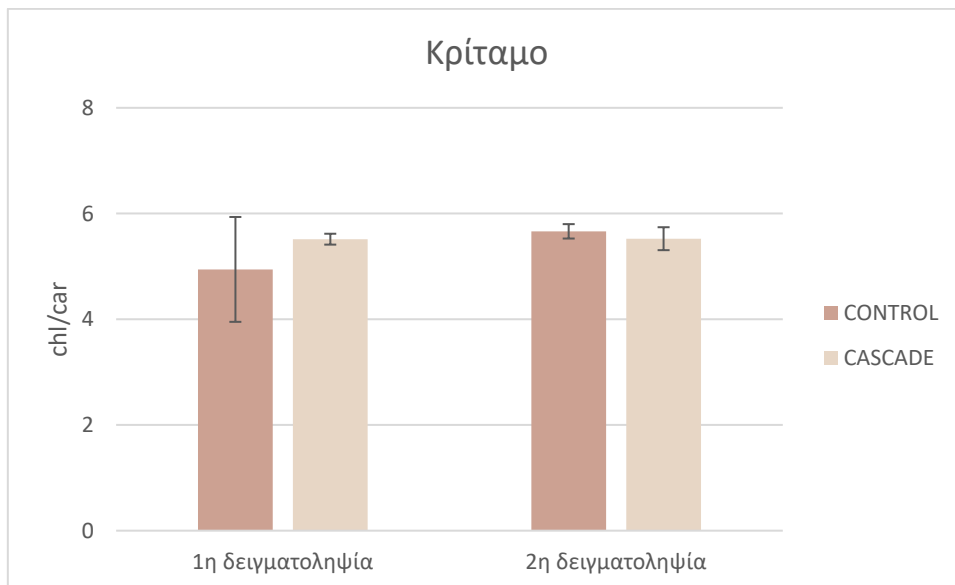
Γράφημα 24: Συγκέντρωση ολικών χλωροφυλλών στο κρίταμο



Γράφημα 25: Λόγος χλωροφύλλης a / χλωροφύλλη b στο κρίταμο

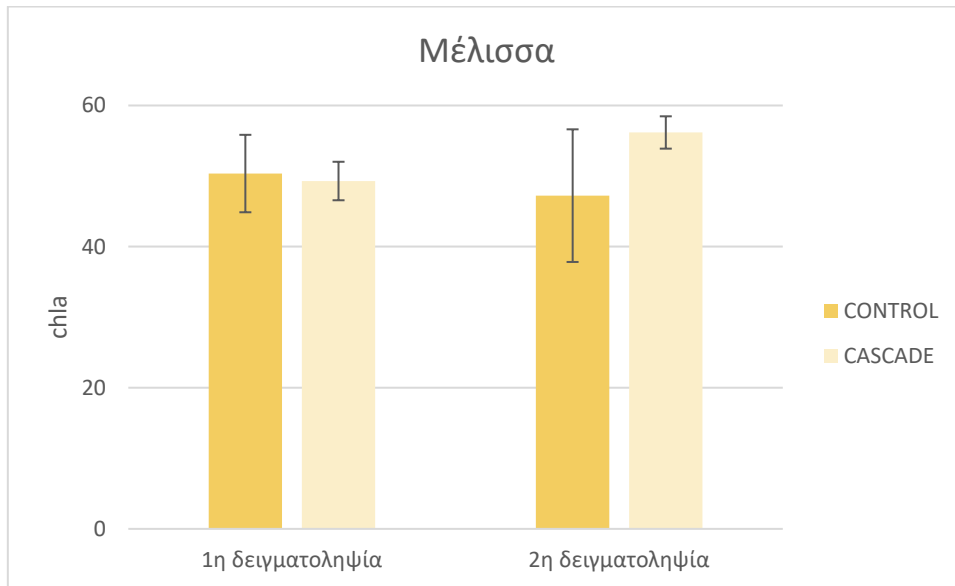


Γράφημα 26: Λόγος συνολικής χλωροφύλλης/ καροτενοειδή στο κρίταμο



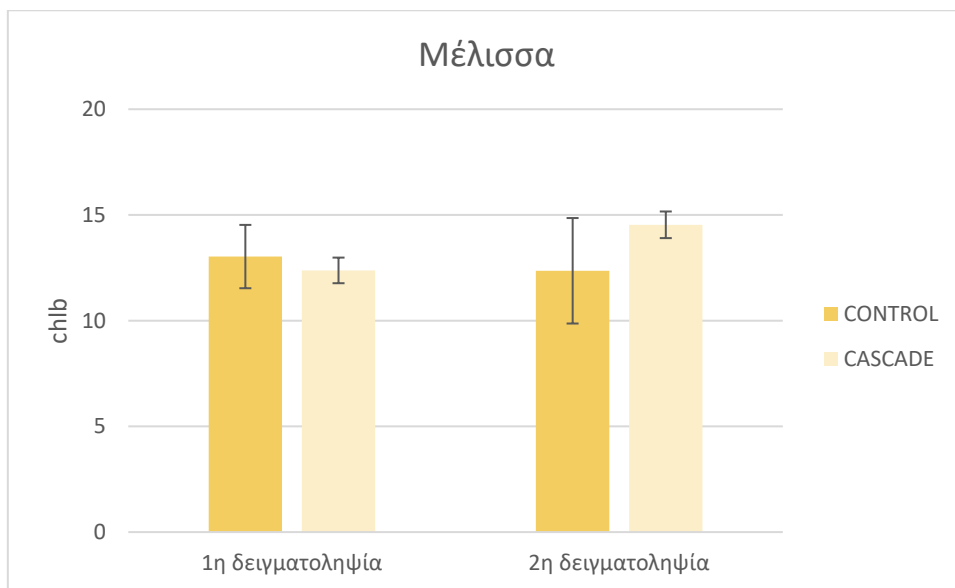
Μέλισσα

Γράφημα 27: Συγκέντρωση χλωροφύλλης a στα φύλλα μέλισσας

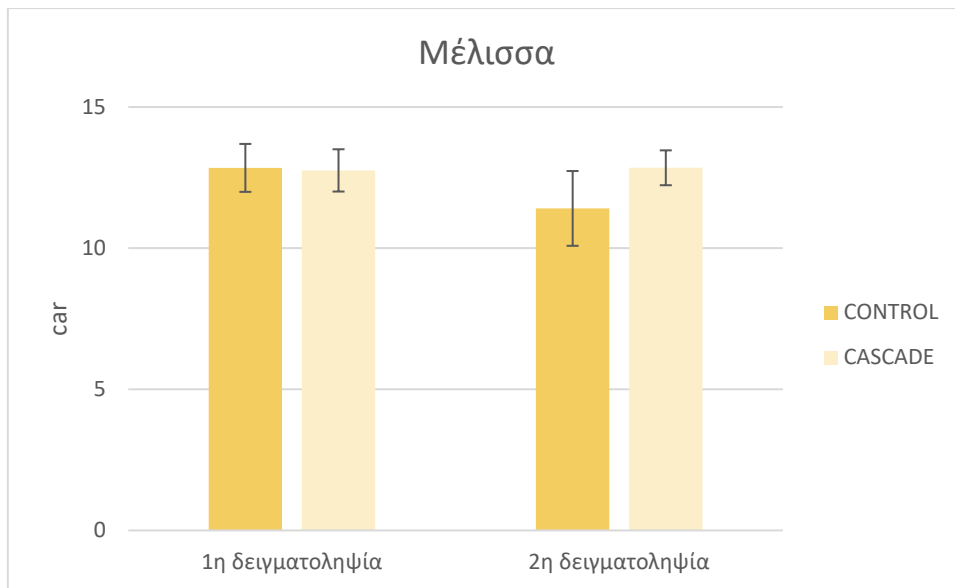


Όλες οι φωτοσυνθετικές χρωστικές στη μέλισσα εμφάνισαν την ίδια εικόνα: παρόμοιες τιμές στην 1^η δειγματοληψία, μία μικρή υπεροχή του Cascad στη 2^η, χωρίς όμως στατιστικώς σημαντικές διαφορές (Γραφήματα 27-30).

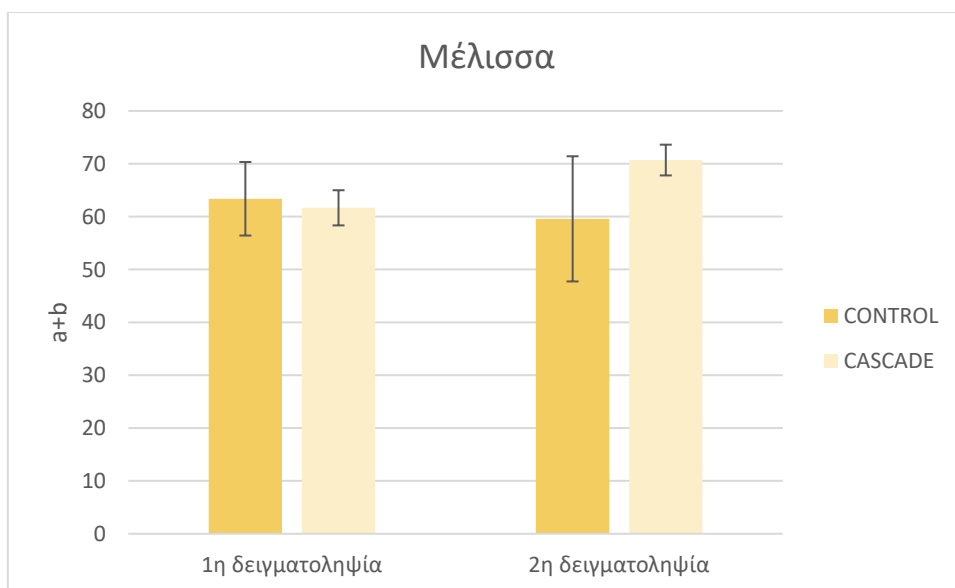
Γράφημα 28: Συγκέντρωση χλωροφύλλης b στα φύλλα μέλισσας



Γράφημα 29: Συγκέντρωση καροτενοειδών στα φύλλα μέλισσας

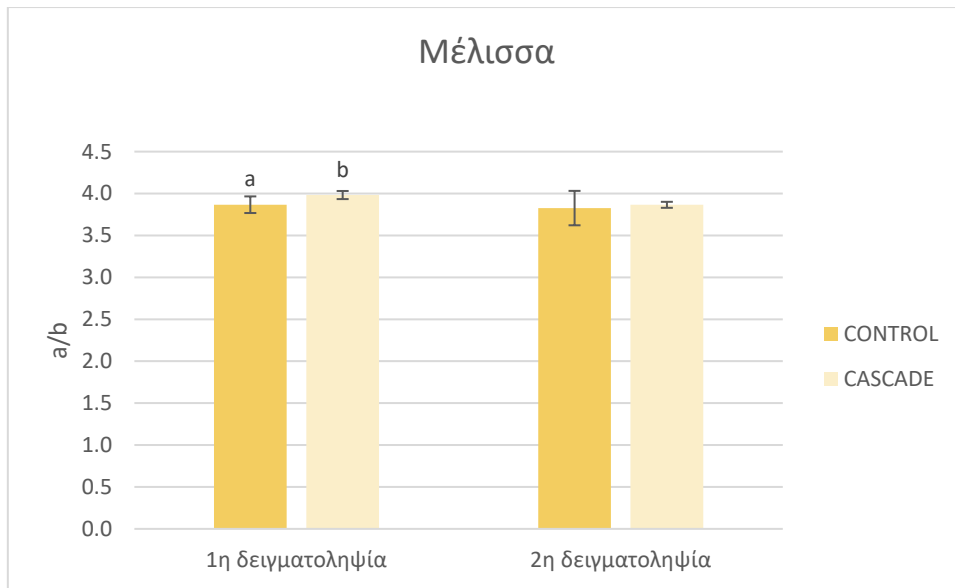


Γράφημα 30: Συγκέντρωση ολικών χλωροφυλλών μέλισσας

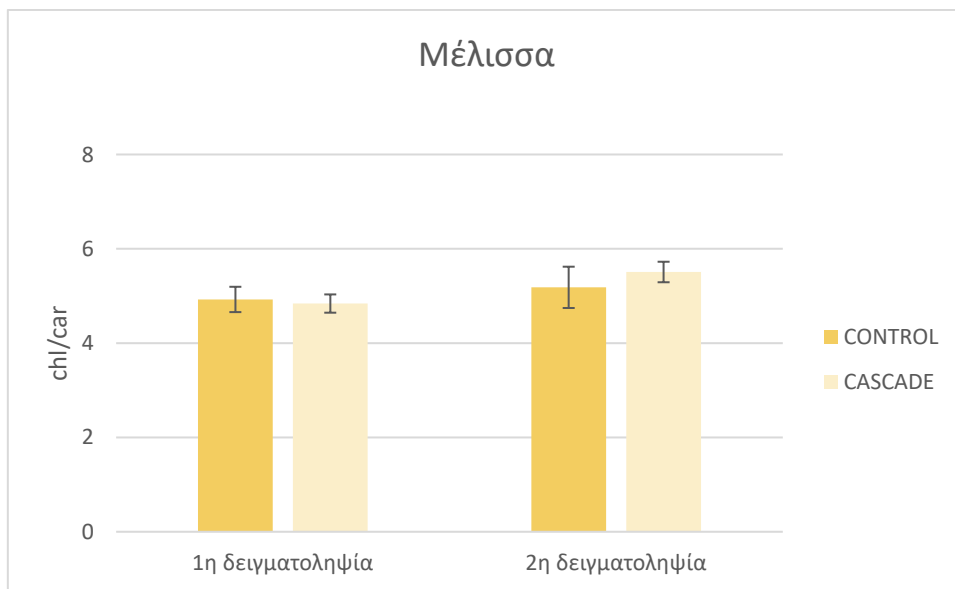


Ο λόγος χλωροφύλλης a/b εμφάνισε μία μικρή, αλλά στατιστικώς σημαντική υπεροχή του Cascade κατά την 1^η δειγματοληψία, η οποία όμως εξαφανίστηκε κατά την τελική μέτρηση.

Γράφημα 31: Λόγος χλωροφύλλης a / χλωροφύλλη b μέλισσας



Γράφημα 32: Λόγος συνολικής χλωροφύλλης/ καροτενοειδή μέλισσας

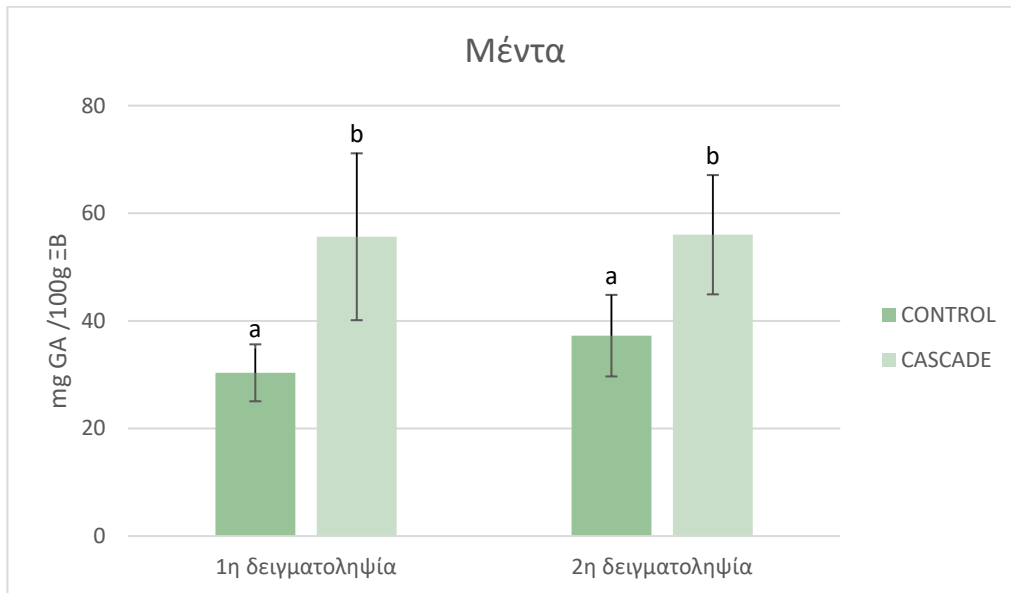


Το διάγραμμα της ολικής χλωροφύλλης ως προς τα καροτενοειδή κάνει φανερές τις παρόμοιες τιμές σε όλες τις περιπτώσεις.

8.4 ΦΑΙΝΟΛΙΚΑ

Μέντα

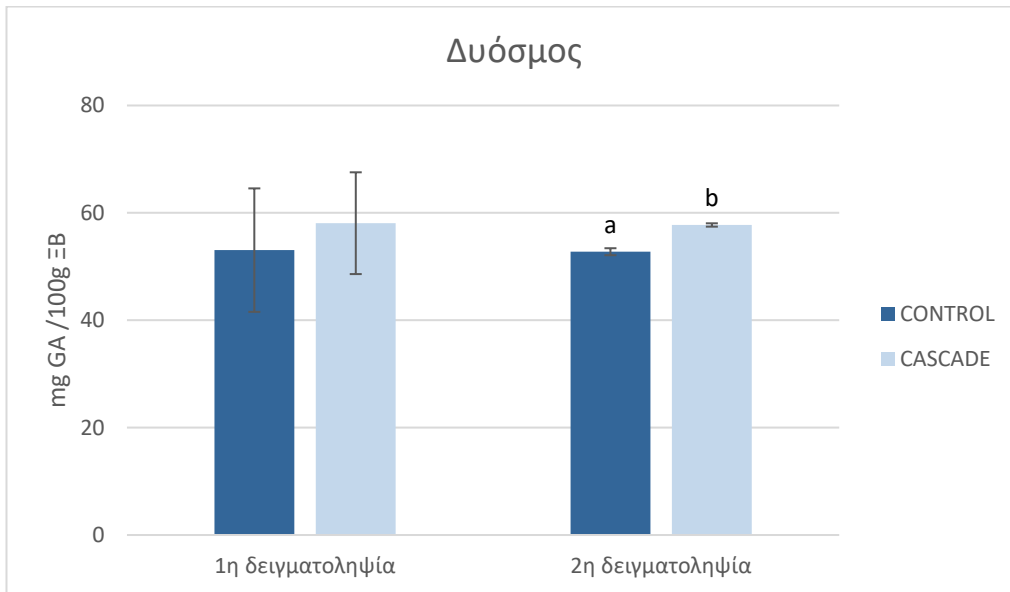
Γράφημα 33: Συγκέντρωση φαινολικών ως ισοδύναμα γαλλικού οξέως στη μέντα



Οι συγκεντρώσεις των φαινολικών της μέντας παρουσιάζουν διαφορές ανα μεταχείριση και ανα ημέρα συγκομιδής. Τα φυτά του Cascade έχουν τις μεγαλύτερες τιμές και τις δύο ημέρες σε σύγκριση με αυτά του Control. Το Control έχει αυξημένη τιμή με την πάροδο του χρόνου από την 1^η συγκομιδή στην 2^η, αλλά το Cascade διατηρεί παρόμοια τιμή και στις δυο συγκομιδές. Οι διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων είναι στατιστικώς σημαντικές.

Δυόσμος

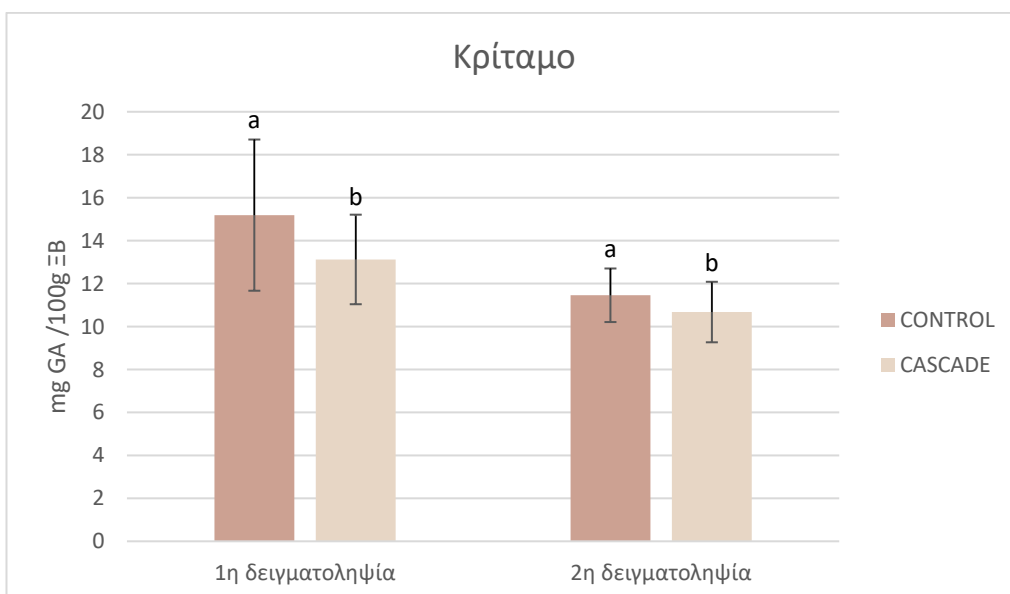
Γράφημα 34: Συγκέντρωση φαινολικών ως ισοδύναμα γαλλικού οξέος στο δυόσμο



Ο δυόσμος ακολουθεί το πρότυπο της μέντας. Το Cascade και στις δύο δειγματοληψίες εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές από το Control, αλλά στατιστικώς σημαντική ήταν μόνο η διαφορά στην τελική.

Κρίταμο

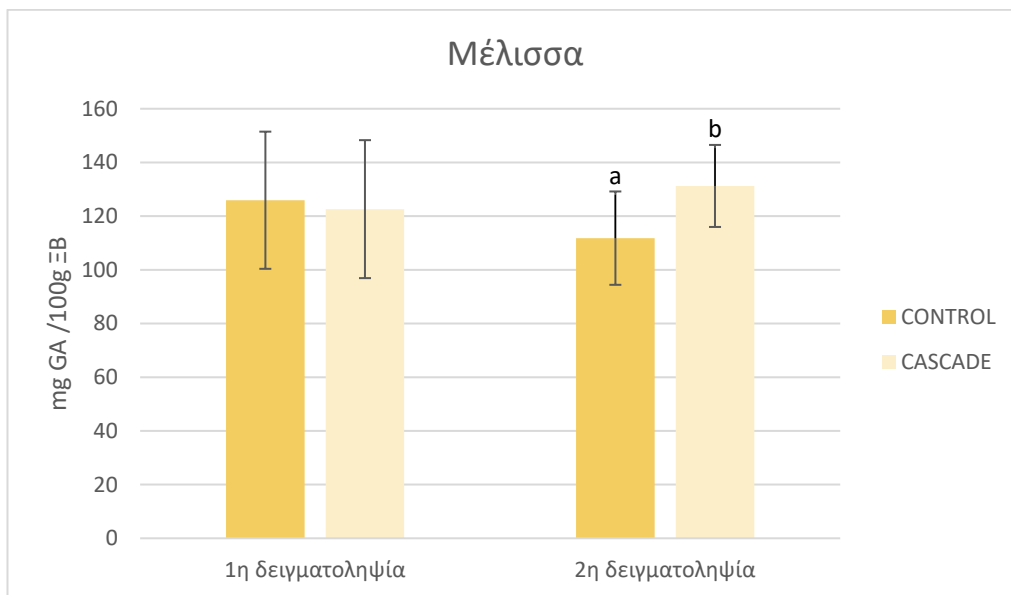
Γράφημα 35: Συγκέντρωση φαινολικών ως ισοδύναμα γαλλικού οξέος



Το κρίταμο έχει τελείως διαφορετική αντίδραση ως προς την συγκέντρωση φαινολικών από τα φυτά του γένους *Mentha*. Το Cascade έχει και τις δύο ημέρες σημαντικά μικρότερες τιμές από αυτές του Control και το ίδιο συμβαίνει και την 2^η ημέρα συγκομιδής.

Μέλισσα

Γράφημα 36: Συγκέντρωση φαινολικών ως ισοδύναμα γαλλικού οξέος στη μέλισσα



Η μέλισσα την 1^η ημέρα συγκομιδής εμφανίζει παρόμοιες τιμές στις δύο μεταχειρίσεις. Αντίθετα, κατά την 2^η δειγματοληψία το Cascade έχει σημαντικά μεγαλύτερη συγκέντρωση φαινολικών από το Control.

9 Συζήτηση

Στο παρόν πείραμα και οι δύο ομάδες φυτών αντιμετώπισαν προοδευτικά αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του θρεπτικού διαλύματος, φτάνοντας σε τιμές κοντά στα 4,5 και 6,3 dS m⁻¹ κατά την 1η συγκομιδή και 9 έως 11,2 dS m⁻¹ κατά τη 2η συγκομιδή για τις δευτερεύουσες και τριτεύουσες καλλιέργειες αντίστοιχα.

Η μέντα διατήρησε τα ίδια επίπεδα ολικών χλωροφυλλών και αντιοξειδωτικής δραστηριότητας και στις δύο μεταχειρίσεις και συγκομιδές. Ωστόσο, η σημαντική αύξηση των φαινολικών στην ομάδα Cascade κατά τη 2η συγκομιδή υποδεικνύει την αποκλειστική χρησιμοποίηση αυτών των προστατευτικών ουσιών για την αντιμετώπιση του διπλασιασμού της EC σε σύγκριση με την 1η συγκομιδή. Η μέντα (*M. spicata*) ήταν το μόνο είδος που ανταποκρίθηκε με αυξημένες χλωροφύλλες στην ομάδα Cascade κατά τη 2η συγκομιδή, επιβεβαιώνοντας τις επιβαλλόμενες από την αλατότητα αυξήσεις των φωτοσυνθετικών χρωστικών που έχουν αναφερθεί για τον βασιλικό (Neto et al. 2019). Σύμφωνα με τους Hosseini et al., 2021, οι φωτοσυνθετικές χρωστικές σε παρόμοιες αλατότητες διατηρούνται στα ίδια υψηλά επίπεδα. Παρότι στο δικό μας πείραμα οι τιμές σαν σύνολο είναι ελαφρώς μεγαλύτερες, ακολουθείται το ίδιο πρότυπο εξέλιξης. Αντίθετα, οι μέντες Control αντιμετώπισαν υψηλή EC με μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας σε φαινορικά και μια αξιοσημείωτη ανοδική τάση της προλίνης των φύλλων κατά τη 2η συγκομιδή. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με άλλους συγγραφείς, οι οποίοι ανέφεραν αύξηση της προλίνης στον βασιλικό και σε άλλα αρωματικά φυτά ως μέσο για την καταπολέμηση της οσμωτικής καταπόνησης εντός των φυτικών κυττάρων (Avdouli et al. 2021, Batista-Silva et al. 2019). Επίσης, η συγκέντρωση των προλινών στην μέντα στο πείραμα του El-Danasoury φαίνεται να είναι μεγαλύτερη όταν τα φυτά εκτέθηκαν σε καταπόνηση αλατότητας (El-Danasoury et al., 2010).

Ο δυόσμος γενικά ακολούθησε το πρότυπο αποκρίσεων της μέντας. Εντούτοις, είχε μικρότερες αποκρίσεις, αποτέλεσμα που συμφωνεί με αναφορές στη βιβλιογραφία (El-Danasoury et al., 2010 και Ακτόγλου, 2016).

Το κρίταμο, ένα αλόφυτο είναι γνωστό ότι ανέχεται την αλατότητα αυξάνοντας τα επίπεδα προλίνης, το μέγεθος της αλλαγής ήταν ωστόσο πιο έντονο στη μεταχείριση Cascade (Ben Amor et al. 2005). Αντίθετη ήταν η απόκριση των ολικών φαινολικών με σημαντική μείωση και στις δύο συγκομιδές για την ομάδα Cascade.

Το κρίταμο παρουσιάζει αυξημένη δυνατότητα ανάπτυξης μηχανισμών άμυνας. (Μιχαλίτσα, 2018, Hamdani, Derridj and Roger, 2017). Στην εργασία των Meot-Duros and Magne (2008) βλέπουμε παρόμοια αύξηση συγκεντρώσεων αντιοξειδωτικών και φαινολικών, τα οποία παρουσίασαν υψηλό φαινολικό περιεχόμενο και ισχυρή αντιοξειδωτική ικανότητα όπως και στην παρούσας πτυχιακή. Τα αλόφυτα όπως το κρίταμο παρουσιάζουν υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα κυρίως λόγω της αυξημένης έκφρασης αντιοξειδωτικών ενζύμων όπως CAT, SOD και PODs (υπεροξειδάσες) που οδηγούν σε εύρυθμη λειτουργία ακόμα και σε αυξημένες συγκεντρώσεις χλωριούχου νατρίου (50 mM) όπως βλέπουμε από τα πειράματα των Ben Amor *et al.*, 2005. Τα ευρήματα από τα πειράματα της Γρηγοριάδου επιβεβαιώνουν πως το ριζικό σύστημα του φυτού, καθώς και η βιομάζα δεν παρουσίασαν προβλήματα σε σχετικά υψηλά επίπεδα αλατότητας (50 mM NaCl), ενώ άρχισαν να μειώνονται σε πολύ υψηλή αλατότητα (200 mM NaCl) (Grigoriadou and Maloupa, 2008). Η ανθεκτικότητα του, στα σχετικά υψηλά επίπεδα αλατότητας, αποδόθηκε στην ικανότητα του φυτού να διατηρεί ικανοποιητική παροχή νερού στους φυτικούς ιστούς και στην έντονη αντιοξειδωτική του δράση. Σε συμφωνία, δηλαδή, με τον χαρακτηριστικό ορισμό του αλόφυτου, το κρίταμο διατηρεί εύρυθμη λειτουργία, φτάνοντας όμως μέχρι ένα ανώτατο όριο, (που είναι εντυπωσιακά υψηλό σε σχέση με άλλα μη αλοφυτικά φυτά) όπου αρχίζει να επηρεάζεται αρνητικά η φυσιολογική λειτουργία του-παρολαυτά τα φυτά καταφέρνουν να επιβιώνουν. Τέλος, σύμφωνα με τους Riadh *et al.*, (2010) διαφορετικές ποικιλίες κρίταμου αντιδρούν με ποικίλο τρόπο την αλατότητα. Οι πιο ανθεκτικές (π.χ. ποικιλία Jerba), φέρουν αποδοτικότερα αντιοξειδωτικά συστήματα. Η αυξημένη έκφραση των γονιδίων ενζύμων καταστροφής ελεύθερων ριζών, όπως SOD, APX, GR και GPX, ανιχνεύτηκε μετά την αυξημένη περιεκτικότητα σε MDA, και την συσσώρευση φαινολικών (Riadh *et al.*, 2010).

Σε ότι αφορά την μέλισσα, φάνηκε ότι η περιεκτικότητα σε φαινολικά συστατικά του Cascade ήταν υψηλότερη στη 2η συγκομιδή, ωστόσο, όλες οι άλλες μετρούμενες παράμετροι του είδους αυτού παρέμειναν ανεπηρέαστες από τις μεταχειρίσεις. Στο πείραμα του Safari, (2020) παρατηρήθηκε πτώση των φωτοσυνθετικών χρωστικών στα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε αλατότητα και αύξηση αντιοξειδωτικών, προλινών και φαινολικών. Αντίστοιχα αποτελέσματα μείωσης της χλωροφύλλης του φυτού κατά 25% λόγω αυξημένης αλατότητας καταγράφηκαν από την Leontaridou, (2019).

10 Συμπεράσματα

- ❖ **Αντιοξειδωτικά:** δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κανένα φυτικό είδος μεταξύ των μεταχειρίσεων σε καμία δειγματοληψία.
- ❖ **Προλίνη:** υπήρχε τάση για υψηλότερες συγκεντρώσεις προλινών στο Control στα φυτά της μέντας, του δυόσμου και της μέλισσας, όμως, δεν ήταν στατιστικώς σημαντικό το αποτέλεσμα στην τελική συλλογή. Στο κρίταμο, αντιθέτως, το Cascade είχε σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις προλινών.
- ❖ **Χλωροφύλλες:** Η μέντα, η μέλισσα και το κρίταμο είχαν παρόμοια αποτελέσματα μεταξύ των μεταχειρίσεων και στις 2 δειγματοληψίες. Αντίθετα ο δυόσμος διατήρησε υψηλότερα επίπεδα χλωροφυλλών στην μεταχείριση Cascade.
- ❖ **Φαινολικά:** Η μέντα, ο δυόσμος και η μέλισσα είχαν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερες τιμές στην Cascade μεταχείριση της 2^{ης} δειγματοληψίας. Η μέντα παρουσιάζει την ίδια διαφορά μεταχειρίσεων και στην 1^η δειγματοληψία. Το κρίταμο παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερες τιμές στο Control.
- ❖ Υπήρξε διαφορετική ειδο-ειδική απόκριση στην αυξημένη EC των 2 μεταχειρίσεων.
- ❖ Η μέντα, ο δυόσμος και η μέλισσα παρουσίασαν παρόμοια απόκριση σε Cascade & Control και στις 2 δειγματοληψίες.
- ❖ Αντίθετα, το κρίταμο έδειξε να έχει διαφορετική συμπεριφορά στις 2 μεταχειρίσεις.

11 Βιβλιογραφία

1. Anastasia Stefanaki and Tindevan Andel (2021) '[Aromatic Herbs in Food Bioactive Compounds, Processing, and Applications 2021](#), pp. 93-121 Chapter 3 - Mediterranean aromatic herbs and their culinary use'. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822716-9.00003-2>.
2. Bahadori, M.B. *et al.* (2018) 'Phenolic composition and functional properties of wild mint (*Mentha longifolia* var. *calliantha* (Stapf) Briq.)', *International Journal of Food Properties*, 21(1), pp. 183–193. Available at: <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1440238>.
3. Ben Amor, N. *et al.* (2005) 'Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity', *Plant Science*, 168(4), pp. 889–899. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.11.002>.
4. Braam, J. *et al.* (1997) 'Plant responses to environmental stress: regulation and functions of the ArabidopsisTCH genes', *Planta*, 203(S1), pp. S35–S41. Available at: <https://doi.org/10.1007/PL00008113>.
5. Cartaxo, P.H. de A. *et al.* (2022) 'Salinity and medicinal plants: Challenges and strategies for production', *Scientific Electronic Archives*, 15(8). Available at: <https://doi.org/10.36560/15820221579>.
6. Chávez-González, M.L., Rodríguez-Herrera, R. and Aguilar, C.N. (2016) 'Essential Oils', in *Antibiotic Resistance*. Elsevier, pp. 227–237. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803642-6.00011-3>.
7. Chen, T.-W., Kahlen, K. and Stützel, H. (2015) 'Disentangling the contributions of osmotic and ionic effects of salinity on stomatal, mesophyll, biochemical and light limitations to photosynthesis: Salinity effects on cucumber photosynthesis', *Plant, Cell & Environment*, 38(8), pp. 1528–1542. Available at: <https://doi.org/10.1111/pce.12504>.

8. Corrado, G. *et al.* (2021) 'Unraveling the Modulation of Controlled Salinity Stress on Morphometric Traits, Mineral Profile, and Bioactive Metabolome Equilibrium in Hydroponic Basil', *Horticulturae*, 7(9), p. 273. Available at: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090273>.
9. Dagar, J.C., Minhas, P.S. and Mukesh Kumar, M.K. (2011) 'Cultivation of medicinal and aromatic plants in saline environments.', *CABI Reviews*, 2011, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20116009>.
10. Department of Crop Science, Laboratory of Vegetable Crops, Agricultural University of Athens, Athens, Greece *et al.* (2018) 'Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review', *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), pp. 280–293. Available at: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>.
11. Dept. of Microbiology, College of Basic Sciences & Humanities, CCS HAU, Hisar, Haryana (125 004), India *et al.* (2017) 'Effect of Salt Stress on Medicinal Plants and its Amelioration by Plant Growth Promoting Microbes', *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 8(2), pp. 316–326. Available at: <https://doi.org/10.23910/IJBSM/2017.8.2.1772>.
12. Devecchi, M. *et al.* (2013) 'The cultivation of mediterranean aromatic plants on green walls', *Acta Horticulturae*, 999, pp. 243–247. Available at: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.999.34>.
13. El-Danasoury, M. *et al.* (2010) 'Essential Oil and Enzyme Activity in Spearmint Under Salt Stress', *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 16(2), pp. 136–145. Available at: <https://doi.org/10.1080/10496475.2010.508975>.
14. Elshafie, H.S. and Camele, I. (2017) 'An Overview of the Biological Effects of Some Mediterranean Essential Oils on Human Health', *BioMed Research International*, 2017, pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.1155/2017/9268468>.

15. Fateme Safari, Morteza Akramian, Hossein Salehi-Arjmand (2020) 'Physiochemical and molecular responses of salt-stressed lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to exogenous protectants' Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-020-3018-3>
16. Fatima, M. *et al.* (2022) 'Improving the Quality of Medicinal and Aromatic Plants Through Metabolic Engineering', in, pp. 321–339. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-16-7262-0_14.
17. Fuchs, L.K. *et al.* (2022) 'Genetic Manipulation of Biosynthetic Pathways in Mint', *Frontiers in Plant Science*, 13, p. 928178. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.928178>.
18. Gonçalves, S., Mansinhos, I. and Romano, A. (2020a) 'Aromatic plants: A source of compounds with antioxidant and neuroprotective effects', in *Oxidative Stress and Dietary Antioxidants in Neurological Diseases*. Elsevier, pp. 155–173. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817780-8.00011-6>.
19. Gonçalves, S., Mansinhos, I. and Romano, A. (2020b) 'Aromatic plants: A source of compounds with antioxidant and neuroprotective effects', in *Oxidative Stress and Dietary Antioxidants in Neurological Diseases*. Elsevier, pp. 155–173. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817780-8.00011-6>.
20. Grigoriadou, K. and Maloupa, E. (2008) 'Micropropagation and salt tolerance of in vitro grown *Crithmum maritimum* L.', *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 94(2), pp. 209–217. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11240-008-9406-9>.
21. Hamdani, F., Derridj, A. and Roger, H.J. (2017) 'Diverse salinity responses in *Crithmum maritimum* tissues at different salinities over time', *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(3), pp. 716–734. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000300013>.

22. Hawrylak-Nowak, B. *et al.* (2021) 'NaCl-Induced Elicitation Alters Physiology and Increases Accumulation of Phenolic Compounds in *Melissa officinalis* L.', *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), p. 6844. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms22136844>.
23. Hosseini, S.J. *et al.* (2021) 'Investigation of yield, phytochemical composition, and photosynthetic pigments in different mint ecotypes under salinity stress', *Food Science & Nutrition*, 9(5), pp. 2620–2643. Available at: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2219>.
24. Karnaris, I. and Asimopoulos, N. (2020) 'Overview of Aromatic Plants Precision Agriculture with the use of UAV'.
25. Katsoulas, N. *et al.* (2020) 'Reuse of cucumber drainage nutrient solution in secondary crops in greenhouses: initial results', *Acta Horticulturae*, (1296), pp. 767–774. Available at: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1296.97>.
26. Klados, E. and Tzortzakis, N. (2014) 'Effects of substrate and salinity in hydroponically grown'. Available at: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000017>.
27. Kokkini, S., Karousou, R. and Hanlidou, E. (2003) 'HERBS | Herbs of the Labiatae', in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Elsevier, pp. 3082–3090. Available at: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00593-9>.
28. Li, Z. *et al.* (2015) 'Some aspects of salinity responses in peppermint (*Mentha × piperita* L.) to NaCl treatment', *Protoplasma*, 252(3), pp. 885–899. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00709-014-0728-7>.
29. Liao, P.-A. *et al.* (2020) 'Can the Adoption of Protected Cultivation Facilities Affect Farm Sustainability?', *Sustainability*, 12(23), p. 9970. Available at: <https://doi.org/10.3390/su12239970>.

30. Lohwasser, U. and Weise, S. (2020) 'Genetic Resources of Medicinal and Aromatic Plants', in J. Novak and W.-D. Blüthner (eds) *Medicinal, Aromatic and Stimulant Plants*. Cham: Springer International Publishing (Handbook of Plant Breeding), pp. 1–205. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1_1.
31. M.L. Chávez-González, R. Rodríguez-Herrera, C.N. Aguilar (2016), 'Antibiotic Resistance, Mechanisms and New Antimicrobial Approaches, Chapter 11: Essential Oils: A Natural Alternative to Combat Antibiotics Resistance, pp. 227-237 Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803642-6.00011-3>.
32. Mohammad Mafakheri and Mojtaba Kordrostami (2021) '[Handbook of Bioremediation](#) Physiological, Molecular and Biotechnological Interventions', pp. 371-383 Chapter 23: Recent advances toward exploiting medicinal plants as phytoremediators. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819382-2.00023-5>.
33. van Os, E. *et al.* (2016) 'Water quality and salinity aspects in hydroponic cultivation'.
34. Ozturk, A. *et al.* (2004) 'EFFECTS OF SALT STRESS AND WATER DEFICIT ON PLANT GROWTH AND ESSENTIAL OIL CONTENT OF LEMON BALM (MELISSA OFFICINALIS L.)'.
35. Pardossi, A. *et al.* (2004) 'HYDROPONIC TECHNOLOGY FOR GREENHOUSE CROPS'.
36. Pardossi, A., Tognoni, F. and Incrocci, L. (2004) 'Mediterranean Greenhouse Technology'.
37. Ratnayake, S.S. *et al.* (2021) 'Sustainability of Village Tank Cascade Systems of Sri Lanka: Exploring Cascade Anatomy and Socio-Ecological Nexus for Ecological Restoration Planning', *Challenges*, 12(2), p. 24. Available at: <https://doi.org/10.3390/challe12020024>.

38. Rehberger, M. and Hiete, M. (2020) 'Allocation of Environmental Impacts in Circular and Cascade Use of Resources—Incentive-Driven Allocation as a Prerequisite for Cascade Persistence', *Sustainability*, 12(11), p. 4366. Available at: <https://doi.org/10.3390/su12114366>.
39. Riadh, K. *et al.* (2010) 'Responses of Halophytes to Environmental Stresses with Special Emphasis to Salinity', in *Advances in Botanical Research*. Elsevier, pp. 117–145. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(10\)53004-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(10)53004-0).
40. Safari, F., Akramian, M. and Salehi-Arjmand, H. (2020) 'Physiochemical and molecular responses of salt-stressed lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to exogenous protectants', *Acta Physiologiae Plantarum*, 42(2), p. 27. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11738-020-3018-3>.
41. Sandra Gonçalves, Inês Mansinhos, Anabela Romano (2020) 'Oxidative Stress and Dietary Antioxidants in Neurological Diseases', Chapter 11: Aromatic plants: A source of compounds with antioxidant and neuroprotective effects. Available at: [10.1016/B978-0-12-817780-8.00011-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817780-8.00011-6).
42. Sanjib Bhattacharya (2016) '[Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety](#)' pp. 19-29 Chapter 3: Cultivation of Essential Oils. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00003-1>
43. Schlering, C. *et al.* (2020) 'Effects of Moderately-Reduced Water Supply and Picking Time on the Chemical Composition of Pickling Cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Open Field Cultivation', *Agronomy*, 10(8), p. 1097. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy10081097>.
44. Scholey, A. and Stough, C. (2011) 'Neurocognitive effects of herbal extracts', in *Lifetime Nutritional Influences on Cognition, Behaviour and Psychiatric Illness*. Elsevier, pp. 272–297. Available at: <https://doi.org/10.1533/9780857092922.2.272>.

45. Shahid, M.A. *et al.* (2020) 'Insights into the Physiological and Biochemical Impacts of Salt Stress on Plant Growth and Development', *Agronomy*, 10(7), p. 938. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy10070938>.
46. Shang, L. *et al.* (2022) 'Long-, Medium-, and Short-Term Nested Optimized-Scheduling Model for Cascade Hydropower Plants: Development and Practical Application', *Water*, 14(10), p. 1586. Available at: <https://doi.org/10.3390/w14101586>.
47. Shelepova, O. *et al.* (2021) 'Chemical Components and Biological Activities of Essential Oils of *Mentha × piperita* L. from Field-Grown and Field-Acclimated after In Vitro Propagation Plants', *Agronomy*, 11, p. 2314. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy11112314>.
48. Shelepova, O. *et al.* (2022) 'Aromatic Plants Metabolic Engineering: A Review', *Agronomy*, 12, p. 3131. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy12123131>.
49. Singh, J., Sastry, E.V.D. and Singh, V. (2012) 'Effect of salinity on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) during seed germination stage', *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18(1), pp. 45–50. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12298-011-0097-z>.
50. Siracusa, L. *et al.* (2011) 'Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Aqueous Infusions from *Capparis spinosa* L. and *Crithmum maritimum* L. before and after Submission to a Two-Step in Vitro Digestion Model', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(23), pp. 12453–12459. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf203096q>.
51. S. Kokkini, R. Karousou, E. Hanlidou (2003), 'Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition), Chapter: Herbs of the Labitae pp. 3082-3090. Available at: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00593-9>.

52. Taneja, S.C. and Chandra, S. (2012) 'Mint', in *Handbook of Herbs and Spices*. Elsevier, pp. 366–387. Available at: <https://doi.org/10.1533/9780857095671.366>.
53. Tzortzakis, N.G. (2009) 'Alleviation of Salinity-Induced Stress in Lettuce Growth by Potassium Sulphate Using Nutrient Film Technique', *International Journal of Vegetable Science*, 15(3), pp. 226–239. Available at: <https://doi.org/10.1080/19315260902751320>.
54. Waheed, K. *et al.* (2020) 'Tomato', in *Medicinal Plants of South Asia*. Elsevier, pp. 631–644. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102659-5.00046-X>.
55. Wang, P. *et al.* (2022) 'Vertical Greening Systems: Technological Benefits, Progresses and Prospects', *Sustainability*, 14(20), p. 12997. Available at: <https://doi.org/10.3390/su142012997>.
56. Wilson, L. (2016) 'Spices and Flavoring Crops: Leaf and Floral Structures', in *Encyclopedia of Food and Health*. Elsevier, pp. 84–92. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00780-7>.
57. Αγγλογάλλος Ευάγγελος Παρασκευάς (2010), 'Βελτιστοποίηση ενός νέου συστήματος υδροπονικής εγκατάστασης NDT (Nutrient Drip Technique) και συγκριτική αξιολόγηση με το κλασικό σύστημα NFT (Nutrient Film Technique)'
58. Γεώργιος Αϊβαλάκης, Γεώργιος Καραμπουρνιώτης, Γεώργιος Λιακόπουλος (2016), 'Φυσιολογία Φυτών'
59. Γεώργιος Α Καραμπουρνιώτης, Γεώργιος Λιακόπουλος και Δημοσθένης Νικόπουλος (2012) Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών, οι λειτουργίες των φυτών κάτω από αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος' 3^η έκδοση.
60. Σταύρος Θ. Κατσιώτης, Πασχαλίνα Σ. Χατζοπούλου (2019) 'Αρωματικά φαρμακευτικά φυτά και αιθέρια έλαια'.