



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΟΜΕΙΣ ΑΙΧΜΗΣ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ &
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΟΠΩΡΟΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ & ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Επίδραση της αλατότητας NaCl στην ανάπτυξη, την παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών παραδοσιακών ποικιλιών πεπονιού προερχόμενων από τη Μεσογειακή λεκάνη σε συνθήκες υδροπονικής καλλιέργειας

Γεώργιος Κ. Ούτος

Επιβλέπων Καθηγητής:
Σάββας Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2022**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Επίδραση της αλατότητας NaCl στην ανάπτυξη, την παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών παραδοσιακών ποικιλιών πεπονιού προερχόμενων από τη Μεσογειακή λεκάνη σε συνθήκες υδροπονικής καλλιέργειας

Effect of NaCl saline nutrient solution on plant growth, yield and quality traits of melon fruits of Mediterranean landraces in soilless culture

Γεώργιος Κ. Ούτος

Εξεταστική Επιτροπή:

Σάββας Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Ντάτση Γεωργία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Σαϊτάνης Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΓΠΑ

Επίδραση της αλατότητας NaCl στην ανάπτυξη, την παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών παραδοσιακών ποικιλιών πεπονιού προερχόμενων από τη Μεσογειακή λεκάνη σε συνθήκες υδροπονικής καλλιέργειας

ΠΜΣ Τομείς Αιχμής & Καινοτόμες Εφαρμογές στην Παραγωγή & Συντήρηση Οπωροκηπευτικών & Ανθοκομικών Ειδών

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αλατότητα οφειλόμενη σε NaCl αποτελεί έναν παράγοντα βιοτικής καταπόνησης με δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στην συμβατική γεωργία όσο και τις νέες τεχνολογίες στην καλλιέργεια και την παραγωγή κηπευτικών. Στην παραδοσιακή καλλιέργεια στον αγρό, η υποβάθμιση των εδαφών ως συνέπεια της υπερεκμετάλλευσης της καλλιεργήσιμης γης και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μειώνει ποσοτικά και ποιοτικά τα μεγέθη της παραγωγής, οδηγώντας παράλληλα στην απώλεια καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους και ιδιαίτερα στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, η σταδιακή συσσώρευση αλάτων NaCl αποτελεί πρόκληση για τη βιωσιμότητα των εν λόγω εκμεταλλεύσεων.

Η πεπονιά αποτελεί μια καλλιέργεια με οικονομικό ενδιαφέρον με σημαντική εξάπλωση και μεγάλο αριθμό ποικιλιών. Η μελέτη της επίδρασης της υψηλής αλατότητας σε υδροπονικής καλλιέργεια παραδοσιακών ποικιλιών πεπονιάς έχει το δυναμικό να συμβάλει στην εύρεση λύσεων στο πρόβλημα της αλατότητας, αναδεικνύοντας ανθεκτικούς γονοτύπους ή θέτοντας τις γενετικές βάσεις για την ανάπτυξη και την επιλογή ανθεκτικών ποικιλιών, προσαρμοσμένων στις κλιματολογικές συνθήκες τις Μεσογειακής λεκάνης.

Το πείραμα έλαβε χώρα στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του εργαστηρίου κηπευτικών καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, με αντικείμενο την αξιολόγηση 5 παραδοσιακών ποικιλιών και 1^{ος} εμπορικού υβριδίου σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας υπό την καταπόνηση υψηλής αλατότητας στο θρεπτικό διάλυμα.

Ο παράγοντας της καταπόνησης είχε δυσμενή επίδραση στην ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών πεπονιάς, με σημαντικές διαφορές στην απόκριση των ποικιλιών στο ποσοστό ξηρής ουσίας και της περιεκτικότητας των οργάνων σε μακροστοιχεία. Ορισμένες ποικιλίες διατήρησαν ή και βελτίωσαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Έχοντας ως αφετηρία την ποικιλομορφία των αποκρίσεων που παρατηρήθηκε, οι ποικιλίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υλικό βάσης για την επιλογή γονοτύπων με υψηλότερη ανεκτικότητα σε συνθήκες αλατότητας.

Επιστημονική περιοχή: Καλλιέργεια Πεπονιάς

Λέξεις κλειδιά: καταπόνηση αλατότητας, παραδοσιακές ποικιλίες, καλλιέργειες εκτός εδάφους

Effect of NaCl saline nutrient solution on plant development, production, and quality characteristics of melon fruits of Mediterranean heirloom cultivars in hydroponic culture

*MSC Top Sectors & Innovative Applications in Production & Maintenance of Fruit, Vegetable & Floricultural Species
Faculty of Crop Science
Laboratory of Vegetable Production*

ABSTRACT

High sodicity of soil and growing media in soilless culture poses a great challenge in modern agriculture. The excessive, high input use of agricultural land combined with the degrading effects of climate change leads to the reduction of the quality and quantity of produced vegetable crops, as well as the loss of vast areas of agricultural fields. High sodicity can be a significant problem in soilless culture too because of the gradual built up of toxic Na⁺ ions in the substrates used, especially in closed hydroponics systems.

Cucumis melo is one of the major crops of economic importance belonging to the Cucurbitaceae family. Melon is widely cultivated around the world for valuable nutritious fruits.

In the present study, five landraces and one commercial hybrid were cultivated under sodicity stress in an open soilless culture system to evaluate their response to the abiotic stressor. The experiment was held in the greenhouse premises of the Laboratory of Horticulture in the Agricultural University of Athens.

The high concentration of sodium in the nutrient solution adversely affected the growth of the plants in general. The response of each cultivar in response to the stressor varied greatly, exhibiting differences in the dry matter content of the plant tissue, as well as the concentration of the macronutrients. Certain landraces improved the quality traits of the fruits produced under abiotic stress. Further study of the genotypes used in the experiment could result in the implementation of heirloom varieties in breeding programs to develop new cultivars suitable for high sodicity environments.

Scientific Area: Melon cultivation

Keywords: sodicity stress, salinity stress, heirloom varieties, soilless culture

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας το παρόν πόνημα, αισθάνομαι την ανάγκη και την υποχρέωση να αποδώσω ευχαριστίες στους ανθρώπους που πλαισίωσαν την προσπάθεια αυτή.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σάββα Δημήτριο, Καθηγητή του τμήματος επιστήμης φυτικής παραγωγής, για την εμπιστοσύνη που επέδειξε αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, την επιστημονική καθοδήγησή του, αλλά και την στήριξή του, τόσο σε θέματα του μεταπτυχιακού όσο και σε πρακτικά ζητήματα των υδροπονικών καλλιεργειών κατά την εφαρμογή της επιστημονικής γνώσης στο πεδίο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ντάτση Γεωργία, Καθηγήτρια του τμήματος επιστήμης φυτικής παραγωγής για τις πολύτιμες συμβουλές της σχετικά με την εκπόνηση της μεταπτυχιακής μου διατριβής, καθώς και για το ενδιαφέρον της για θέματα που με απασχόλησαν στην επαγγελματική μου πορεία.

Ακόμη, ευχαριστώ τον κ. Κωνσταντίνο Σαϊτάνη, Καθηγητή του τμήματος επιστήμης φυτικής παραγωγής, για την προθυμία που επέδειξε κατά την συμμετοχή του ως μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω την υποψήφια διδάκτορα του εργαστηρίου κηπευτικών καλλιεργειών Ντάναση Θεοδώρα για τη συμμετοχή της σε κάθε βήμα της εργασίας, καθώς χωρίς την πολύτιμη βοήθειά της δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωσή της.

Επίσης, ευχαριστώ τον συνάδελφο Μαλούκο Γεώργιο για την εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε κατά τη διεξαγωγή της μελέτης, τόσο στο στάδιο της πειραματικής καλλιέργειας, όσο και κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών αναλύσεων.

Ακόμη, δεν θα μπορούσα να παραλείψω τις θερμές ευχαριστίες μου στον συνάδελφο Ζιοβίρη Γεώργιο, για τον ενθουσιασμό και την συμμετοχή του στις εργασίες, σε μία ιδιαίτερα βεβαρημένη περίοδο λόγω των επαγγελματικών μου υποχρεώσεων κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους συνάδελφους γεωπόνους του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για το άψογο

κλίμα συνεργασίας και συναδελφικότητας που έχουν δημιουργήσει, στο οποίο είχα τη χαρά να συμμετέχω.

Με αίσθημα συγκίνησης και ευγνωμοσύνης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του Τμήματος Αγροτικής Ανάπτυξης του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης κ. Σιναπίδου Ευαγγελία και κ. Ορφανουδάκη Μιχαήλ. Η καθοδήγησή τους μέσω της διδασκαλίας τους, της εκπόνηση της πτυχιακής μου διατριβής, των προσωπικών συζητήσεων που είχαμε και της στήριξής τους στην συμμετοχή στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών θα με συνοδεύουν σε κάθε μου βήμα.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και τους ανθρώπους μου, για την υπομονή, την στήριξη, τις θυσίες και την αγάπη τους σε όλη την πορεία μου.

Σε όλους αυτούς, το πιο μεγάλο ευχαριστώ.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την εξεταστική επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων.....	7
1. Εισαγωγή	1
1.1. Η πεπονια και η καλλιέργειά της	1
1.1.1. Γενικά χαρακτηριστικά.....	1
1.1.2. Καταγωγή - ιστορικό	1
1.1.3. Εξάπλωση της καλλιέργειας.....	2
1.1.4. Βοτανικά χαρακτηριστικά	2
1.1.5. Βλαστική ανάπτυξη και καρποφορία.....	5
1.1.6. Συγκομιδή και αποθήκευση των καρπών	6
1.1.7. Διατροφική αξία.....	7
1.1.8. Βοτανικές ποικιλίες.....	7
1.2. Καλλιέργειες εκτός εδάφους	11
1.2.1. Ιστορική αναδρομή	12
1.2.2. Πλεονεκτήματα των καλλιεργειών εκτός εδάφους.....	12
1.2.3. Υλικοτεχνικές και οικονομικές προκλήσεις των καλλιεργειών εκτός εδάφους.....	14
1.2.4. Γενικές Αρχές	15
1.2.5. Υποστρώματα	16
1.2.6. Ο περλίτης ως υπόστρωμα στις καλλιέργειες εκτός εδάφους	17
1.2.7. Χαρακτηριστικά των Θρεπτικών διαλυμάτων.....	17
1.2.8. Έλεγχος του pH και επίδραση στη θρέψη	19
1.2.9. Καθορισμός της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος	20
1.2.10. Παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων.....	21
1.3. Υδροπονική καλλιέργεια της πεπονιας υπό κάλυψη.....	23
1.3.1. Χρόνος της καλλιέργειας.....	23
1.3.2. Μεταφύτευση στο θερμοκήπιο	23
1.3.3. Καλλιεργητικές φροντίδες	23
1.3.4. Απαιτήσεις σε θρέψη	25
1.4. Η αλατότητα ως παράγοντας φυσιολογικής καταπόνησης.....	28
1.4.1. Η έκταση και η εξάπλωση του προβλήματος	28
1.4.2. Οσμωτική καταπόνηση.....	29

1.4.3.	Ιοντική καταπόνηση.....	30
1.4.4.	Φυσιολογία της καταπόνησης.....	31
1.4.5.	Μηχανισμοί αντοχής των φυτών σε συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας	33
1.4.6.	Το πρόβλημα της αλατότητας στις καλλιέργειες εκτός εδάφους	33
1.4.7.	Η χρήση υφάλμυρου νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών.....	35
2.	Υλικά και Μέθοδοι	37
2.1.	Σχεδιασμός του πειράματος	38
2.2.	Τοποθεσία και χρόνος του πειράματος	39
2.3.	Θερμοκηπιακή εγκατάσταση	39
2.4.	Φυτοπολλαπλασιαστικό υλικό	40
2.5.	Υλικοτεχνικός εξοπλισμός του πειράματος	40
2.5.1.	Καλλιεργητικό υπόστρωμα.....	40
2.5.2.	Εξοπλισμός αρδευτικού δικτύου.....	42
2.5.3.	Θρέψη και αλατούχος καταπόνηση	42
2.6.	Εγκατάσταση, καλλιεργητικές φροντίδες και φυτοπροστασία.....	42
2.7.	Επικονίαση και καρπόδεση.....	48
2.8.	Τερματισμός της καλλιέργειας και απομάκρυνση των φυτών.....	49
2.8.1.	Προσδιορισμός των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των καρπών	49
2.8.2.	Αναλύσεις στους φυτικούς ιστούς.....	52
2.9.	Στατιστική ανάλυση των δεδομένων	56
3.	Αποτελέσματα.....	57
3.1.	Ποσοστό ξηρής ουσίας.....	58
3.2.	Περιεκτικότητα καρπών και φύλλων σε K^+	60
3.3.	Περιεκτικότητα καρπών και φύλλων σε Na^+	62
3.4.	Περιεκτικότητα καρπών και φύλλων σε Ca^{2+}	64
3.5.	Περιεκτικότητα καρπών και φύλλων σε Mg^{2+}	66
3.6.	Παραγωγή και νωπό βάρος καρπών.....	68
3.7.	Χρωματικές παράμετροι των καρπών.....	70
3.8.	Συνεκτικότητα της σάρκας των καρπών	71
3.9.	Τιτλοδοτούμενη οξύτητα των καρπών.....	72
4.	Συζήτηση.....	73
4.1.	Παραγωγή και νωπό βάρος καρπών.....	74

4.2.	Συγκέντρωση Na^+ στα φύλλα και τους καρπούς	77
4.3.	Συγκέντρωση K^+ στα φύλλα και τους καρπούς	79
4.4.	Συγκέντρωση Ca^{2+} και Mg^{2+} στα φύλλα και τους καρπούς.....	81
4.5.	Ποσοστό ξηρής Ουσίας.....	83
4.6.	Συνεκτικότητα της σάρκας των καρπών	84
4.7.	Χρωματικά χαρακτηριστικά της σάρκας των καρπών.....	85
4.8.	Τιτλοδοτούμενη οξύτητα της σάρκας των καρπών.....	85
5.	Συμπεράσματα	86
6.	Βιβλιογραφία	88
7.	Παράρτημα	99

1. Εισαγωγή

1.1. Η πεπονιά και η καλλιέργειά της

1.1.1. Γενικά χαρακτηριστικά

Η πεπονιά (*Cucumis melo* L.) αποτελεί ετήσιο είδος της οικογένειας των κολοκυνθοειδών (Cucurbitaceae) του γένους *Cucumis*. Πρόκειται για είδος το οποίο καλλιεργείται τις θερμές περιόδους κυρίως στις εύκρατες ζώνες, υπαίθρια ή υπό κάλυψη (Ολύμπιος, 2015). Σήμερα καλλιεργείται ένας μεγάλος αριθμός ερμαφρόδιτων, γυνομόνικων ή ανδρομόνικων ποικιλιών οι οποίες χαρακτηρίζονται από σημαντική ποικιλομορφία στα φαινοτυπικά γνωρίσματα των καρπών και τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά (Pitrat et al., 2000).

Η πεπονιά καλλιεργείται για την κατανάλωση της σάρκας των καρπών σε νωπή ή μεταποιημένη μορφή. Στην Ιαπωνία οι καρποί της πεπονιάς καλλιεργούνται υπό κάλυψη και προσφέρονται ως δώρα με υψηλή αξία (Wehner et al., 2020a), ενώ οι καρποί ορισμένων ποικιλιών χρησιμοποιούνται ως διακοσμητικά είδη (Ολύμπιος, 2001). Σε περιοχές της Ιταλίας, της Ασίας και της Τουρκίας καλλιεργούνται παραδοσιακές ποικιλίες χωρίς την χαρακτηριστική γλυκιά γεύση των επικρατέστερων εμπορικών ποικιλιών (Ojo, 2016). Στην Κίνα, τόσο στους καρπούς όσο και σε άλλα όργανα του φυτού αποδίδονται θεραπευτικές ιδιότητες, καθώς χρησιμοποιούνται στην παραδοσιακή ιατρική με την πεποίθηση πως θεραπεύουν ένα μεγάλο εύρος παθήσεων (Wehner et al., 2020b).

1.1.2. Καταγωγή - ιστορικό

Η ακριβής προέλευση της πεπονιάς δεν έχει προσδιοριστεί πλήρως. Το πιθανότερο κέντρο καταγωγής είναι η Αφρική όπου χρησιμοποιήθηκε από τους τοπικούς πληθυσμούς για την κατανάλωση των καρπών της περίπου 3000 χρόνια πριν. Το πέρασμα του χρόνου σε συνδυασμό με την φυσική εξέλιξη και επιλογή, αλλά και τον υβριδισμό με μη καλλιεργούμενα είδη είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του είδους *Cucumis melo*. Μέσω των μετακινήσεων των πληθυσμών και του εμπορίου το είδος μεταφέρθηκε στην Ασία όπου η καλλιέργειά του αυξήθηκε σε μέγεθος μέσω της εξάπλωσής της και των βελτιωτικών προσπαθειών για τη δημιουργία νέων ποικιλιών (Kerje & Grum, 2000).

Στην Αφρική και την Ασία εντοπίζονται αυτοφυείς πληθυσμοί πεπονιάς αποτελούμενοι από είδη όπως τα *Cucumis pubescens*, *Cucumis turbinatus* και *Cucumis trigonus* (Pitrat, 2013). Φυσικοί πληθυσμοί από συγγενή είδη μπορούν να εντοπιστούν σε εκτάσεις του Σουδάν, της Σομαλίας, της Αιθιοπίας και άλλων ακτών της ανατολικής ακτής της Αφρικής (Ojo, 2016).

Σύμφωνα με τα αρχαιολογικά ευρήματα η πεπονιά είχε καλλιεργηθεί στις περιοχές της Κίνας, της Ινδίας και της Αιγύπτου.

Ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος (φυσικός φιλόσοφος και φυσιοδίφης των πρώτων χρόνων της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας) κάνει αναφορά για την κατανάλωση του καρπού ενός κολοκυνθοειδούς με χαρακτηριστικό άρωμα το οποίο ενδεχομένως να ήταν ο καρπός της πεπονιάς (Pitrat, 2008a). Αρχαιολογικά ευρήματα όπως απεικονίσεις σε οικισμούς και ταφικά μνημεία, καθώς και περιγραφές των καρπών, υποδεικνύουν πως το πεπόνι ήταν γνωστό στον αρχαίο κόσμο στις περιοχές της Αιγύπτου, του σημερινού Ισραήλ, της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας και της αρχαίας Ελλάδας, όπου ήτανε γνωστό με την ονομασία «σίκυος πέπων» (Paris, 2016). Αρκετές είναι και οι αναφορές για την καλλιέργεια του είδους σε αρκετές περιοχές της Αμερικής από τα τέλη του 15^{ου} έως και τα μέσα του 16^{ου} αιώνα (Ολύμπιος, 2001).

1.1.3. Εξάπλωση της καλλιέργειας

Η καλλιέργεια της πεπονιάς έχει εξαπλωθεί σε χώρες της Ασίας, της Αμερικής και της Ευρώπης. Το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής καταλαμβάνεται από την Κίνα, Την Τουρκία, το Ιράκ, το Ιράν και κράτη της μέσης Αμερικής. Στην Ευρώπη οι σημαντικότερες χώρες για την καλλιέργεια της πεπονιάς είναι η Ισπανία, η Ιταλία, η Ελλάδα, η Γαλλία και η Πορτογαλία (Ojo, 2016). Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία του υπουργείου αγροτικής ανάπτυξης, για το έτος 2018 στην Ελλάδα η συνολική παραγωγή του πεπονιού ανέρχεται στους 72,879 τόνους, με την συνολική παραγωγή να εκτείνεται σε 36,916 στρέμματα. Η καλλιέργεια υπό κάλυψη καταλαμβάνει το 14,4% της καλλιεργούμενης έκτασης και το 21,91% της συνολικής παραγωγής (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης, 2019).

1.1.4. Βοτανικά χαρακτηριστικά

1.1.4.1. Φυτό

Πρόκειται για ετήσιο φυτό, ποώδες το οποίο αναπτύσσεται έρποντας επί του εδάφους ή αναρριχάται όταν βρίσκεται κοντά σε κάποιο στήριγμα. Τα βλαστικά του όργανα (ο κύριος και οι πλευρικοί βλαστοί) είναι πλήρεις στο εσωτερικό τους, φέρουν τριχίδια στην επιφάνειά τους και χαρακτηρίζονται από κυλινδρική προς ελαφρώς πολυγωνική διατομή. Αναπτύσσονται σε μήκος από 2 έως 3 περίπου μέτρα (Ολύμπιος, 2015). Στα γόνατα των βλαστικών οργάνων φύονται απλές έλικες οι οποίες περιελίσσονται σε σημεία όπου μπορούν να βρουν στήριξη, επιτρέποντας στο φυτό να αναρριχηθεί (Ojo, 2016; Wehner et al., 2020b).

1.1.4.2. Φύλλα

Το φυτό της πεπονιάς φέρει απλά, λοβωτά φύλλα με σχήμα που ποικίλει από κυκλικό έως και ελλειψοειδές ή ωοειδές. Η διάμετρός τους κυμαίνεται από τα 8 έως τα 15 εκατοστά περίπου και στην επιφάνειά τους φύονται τριχίδια, τα οποία συνεχίζονται σε όλο το μήκος του μίσχου. Το έλασμα του φύλλου μπορεί να είναι ελαφρώς γωνιώδες (με 3 έως 7 γωνίες) και οδοντωτό (Ολύμπιος, 2001). Τα φύλλα φύονται σπειροειδώς κατά μήκος των βλαστών σε φυλλοταξία 2/5, με την ανάπτυξη συνήθως ενός φύλλου ανά γόνατο (Ojo, 2016; Wehner et al., 2020c).

1.1.4.3. Ριζικό σύστημα

Η πεπονιά αναπτύσσει πλούσιο ριζικό σύστημα το οποίο μπορεί να φτάσει σε βάθος μέχρι το 1 μέτρο με την κύρια μάζα του να αναπτύσσεται σε βάθος μέχρι τα 30 έως 40 εκατοστά από την επιφάνεια του εδάφους (Ojo, 2016).

1.1.4.4. Καρποφόρα όργανα

Ως προς την εμφάνιση και την ανάπτυξη των καρποφόρων οργάνων, τα φυτά της πεπονιάς χωρίζονται σε μόνοικες ποικιλίες (σε κάθε φυτό αναπτύσσονται αρσενικά και θηλυκά άνθη), ανδρομόνοικες ποικιλίες όπου στο ίδιο φυτό αναπτύσσονται αρσενικά και ερμαφρόδιτα άνθη ως διαφορετικά όργανα, γυνομόνοικες ποικιλίες, καθώς και ερμαφρόδιτες ποικιλίες (Pitrat, 2008b). Τα αρσενικά άνθη φύονται στους οφθαλμούς στη βάση των φύλλων του κεντρικού βλαστού σε ομάδες των 3 έως 5 ανθέων. Τα θηλυκά άνθη αναπτύσσονται κατά μόνας από τους οφθαλμούς του πρώτου ή του δεύτερου φύλλου των πλευρικών βλαστών. Στους μασχαλιαίους οφθαλμούς των επόμενων φύλλων φύονται αρσενικά άνθη καθώς και κάποια θηλυκά (Ojo, 2016; Ολύμπιος, 2015). Τα άνθη έχουν ποδίσκο μήκους από 0.5 έως 3 εκατοστά, σέπαλα μήκους από 6 έως 8 χιλιοστά, στεφάνη καμπανοειδούς σχήματος και πέταλα κίτρινου χρώματος μήκους 2 εκατοστών (Ojo, 2016).



Εικόνες 1,2: Άνθη της πεπονιάς. Αριστερά: αρσενικά άνθη κατά μήκος του κεντρικού βλαστού. Δεξιά: θηλυκό άνθος σε πλευρικό βλαστό. Είναι ευδιάκριτη η αρχή της διόγκωσης της ωοθήκης μετά την επικονίαση.

Η αναλογία των αρσενικών ανθέων προς τα θηλυκά ή τα ερμαφρόδιτα άνθη αν και αποτελεί γενετικό γνώρισμα, επηρεάζεται ισχυρά από κλιματολογικούς και διάφορους άλλους παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με την θρέψη και την ορμονική ισορροπία του φυτού (Nuñez-Palenius et al., 2008; Ολύμπιος, 2015). Η εξωγενής εφαρμογή γιββερελλικού οξέος, η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών και οι ημέρες μεγάλης διάρκειας αυξάνουν την αναλογία των θηλυκών ανθέων. Ο αριθμός των θηλυκών ανθέων αυξάνεται σε συνθήκες ημερών μικρού μήκους, τις χαμηλότερες θερμοκρασίες και την επίδραση των αυξινών (Ολύμπιος, 2001).

1.1.4.5. Καρποί

Οι καρποί της πεπονιάς παρουσιάζουν μεγάλο εύρος στα οργανοληπτικά και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους τα οποία αποτελούν κριτήρια ταξινόμησης των ομάδων των ποικιλιών. Το σχήμα του καρπού μπορεί να είναι σφαιρικό, ατρακτοειδές ή ελλειπτικό. Η επιφάνεια του φλοιού συχνά έχει αυλακώσεις με κατεύθυνση από τον ποδίσκο προς την κορυφή του καρπού ή φελλώδες δικτυωτό πλέγμα, ενώ σε αρκετές ποικιλίες η επιφάνεια είναι λεία χωρίς

να σχηματίζεται κάποιο μοτίβο (Ολύμπιος, 2015). Η μάζα των καρπών κυμαίνεται από τα 0,4 κιλά στις μικρόκαρπες ποικιλίες έως και τα 2,2 κιλά, με χρώμα φλοιού κίτρινο, πράσινο, λευκό, πορτοκαλί ή αποχρώσεις τους (Ojo, 2016). Υψηλή ποικιλομορφία παρουσιάζουν και τα χαρακτηριστικά της σάρκας στο εσωτερικό των καρπών όπου παρατηρούνται διαφορές στην συνεκτικότητα, το χρώμα, το αρωματικό προφίλ και την περιεκτικότητα σε σάκχαρα (Pitrat, 2008b).

Στο στάδιο της ωριμότητας σε αρκετές ποικιλίες σχηματίζεται αφοριστικός ιστός στο σημείο ένωσης του καρπού με τον μίσχο όπου παρατηρείται η μερική αποκόλλησή του. Σε άλλες ποικιλίες αυτό το γνώρισμα απουσιάζει πλήρως κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης (Wehner et al., 2020b).

1.1.4.6. Σπόροι

Τα σπέρματα της πεπονιάς βρίσκονται σε κοιλότητα στο εσωτερικό των καρπών και αριθμούν σε μερικές εκατοντάδες (συνήθως από 400 έως και 600 σπόροι) (Ολύμπιος, 2015). Στο εσωτερικό της κοιλότητας οι σπόροι αναπτύσσονται στο εσωτερικό μίας ινώδους δομής με χαλαρή πλέξη, η οποία λειτουργεί ως ο ομφάλιος λώρος των σπερμάτων. Έχουν μήκος περίπου 1 εκατοστό και είναι έντονα πεπλατυσμένοι, με λεία επιφάνεια και ατρακτοειδές σχήμα (Wehner et al., 2020c; Ολύμπιος, 2015). Οι σπόροι της πεπονιάς μπορούν να διατηρήσουν υψηλή βλαστική ικανότητα μέχρι και έξι χρόνια σε συνθήκες υγρασίας που δεν ξεπερνάν το 6% και θερμοκρασίες έως τους 18 °C (Wehner et al., 2020b).

1.1.5. Βλαστική ανάπτυξη και καρποφορία

Η βλάστηση πραγματοποιείται σε σπορείο, με τα πρώτα ριζίδια να εμφανίζονται από 2 έως 14 ημέρες μετά την αρχική μεταχείριση. Τα πρώτα πραγματικά φύλλα εμφανίζονται 5 έως 6 ημέρες μετά την πλήρη έκπτυξη των κοτυληδόνων. Στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης ο κύριος όγκος του ριζικού συστήματος αναπτύσσεται στα πρώτα εκατοστά του καλλιεργητικού μέσου. Από τους πρώτους οφθαλμούς του κεντρικού βλαστού φύονται πλευρικοί βλαστοί οι οποίοι περιορίζουν έντονα την ανάπτυξή του (Wehner et al., 2020b). Η ωρίμανση των καρπών της πεπονιάς διαρκεί από 75 ημέρες για τις πρώιμες ποικιλίες έως τις 120 ημέρες για τις ποικιλίες της ομάδας ποικιλιών Inodorus.

Η αύξηση της μάζας των καρπών ακολουθεί γραφικά μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια σιγμοειδής καμπύλη, με τη μέγιστη συσσώρευση βιομάζας να εμφανίζεται στο ενδιάμεσο στάδιο της ανάπτυξής τους (Wehner et al., 2020b). Στις δέκα πρώτες ημέρες ο καρπός παρουσιάζει έντονη μιτωτική δραστηριότητα, γεγονός που μπορεί να γίνει αντιληπτό και από την εκθετική αύξηση του μεγέθους του καρπού. Μέχρι την 20^η ημέρα από την γονιμοποίηση ο καρπός συνεχίζει να αυξάνεται με υψηλό ρυθμό και αποκτά έως και το μισό του τελικού του όγκου, ενώ σταδιακά συσσωρεύει χρωστικές ουσίες, εμφανίζοντας το πρώτο χαρακτηριστικό χρώμα της ποικιλίας. Η έναρξη του τελικού σταδίου ωρίμανσης παρατηρείται περίπου 30 ημέρες μετά την γονιμοποίηση και περιλαμβάνει την κορύφωση του ρυθμού μεταφοράς σακχάρων από τους φωτοσυνθετικούς ιστούς προς τους καρπούς, έχοντας ολοκληρώσει σχεδόν την ορατή αύξησή τους (Ολύμπιος, 2001).

Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και στην βλαστική ανάπτυξη των φυτών της πεπονιάς. Με βάση τον ρυθμό αύξησης της ξηρής μάζας μπορεί να χωριστεί σε τρία διακριτά στάδια. Κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου η αύξηση του ξηρού βάρους συμβαίνει με αργό ρυθμό και διαρκεί από τη βλάστηση των σπερμάτων έως και την εμφάνιση των πρώτων θηλυκών ανθέων. Η έναρξη του δεύτερου σταδίου σηματοδοτείται από την άνθηση των πρώτων θηλυκών ανθέων και χαρακτηρίζεται από τον υψηλό ρυθμό αύξησης της ξηρής μάζας των φυτών. Η ολοκλήρωση της καρπόδεσης και η λήξη της δεύτερης περιόδου σηματοδοτεί την έναρξη της τρίτης, όπου παρατηρείται έντονη αύξηση της μάζας των καρπών και σημαντική επιβράδυνση της βλαστικής ανάπτυξης (Ολύμπιος, 2001).

1.1.6. Συγκομιδή και αποθήκευση των καρπών

Ως προς τη μετασυλλεκτική τους συμπεριφορά, υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις διάφορες βοτανικές ποικιλίες της πεπονιάς. Ομάδες ποικιλιών όπως η *Cantaloupensis* επιδεικνύουν κλιμακτηριακή συμπεριφορά. Αντίθετα ποικιλίες όπως οι *Casaba*, *Honeydew* και *Canary* παράγουν λίγο ή και ελάχιστο αιθυλένιο, δεν σχηματίζουν ζώνη αποκοπής στο μίσχο του καρπού και δεν συνεχίζουν την ωρίμανσή τους μετά την απομάκρυνση από το μητρικό φυτό (Barry & Giovannoni, 2007; Kyriacou et al., 2018). Η επιλογή του χρόνου συγκομιδής στην καλλιέργεια της πεπονιάς και η σωστή εκτίμηση του βαθμού ωρίμανσης είναι καθοριστικής σημασίας για τα ποιοτικά γνωρίσματα των καρπών καθώς δεν παρατηρείται συσσώρευση αμύλου κατά την διάρκεια της αύξησης των καρπών, με αποτέλεσμα την αδυναμία αύξησης των σακχάρων μετά από την απομάκρυνση του καρπού από το μητρικό φυτό (Paris et al., 2017;

Πάσσαμ et al., 2015). Ωστόσο μετά την συγκομιδή μπορεί να υπάρξει κάποια μικρή βελτίωση σε χαρακτηριστικά του καρπού όπως το άρωμα και η υφή της σάρκας (Ολύμπιος, 2001).

Στους καρπούς της ομάδας *Cantalouperensis* ο βαθμός της ωρίμανσης μπορεί να εκτιμηθεί από την έκταση της αποκόλλησης του μίσχου από τον καρπό. Στα αρχικά στάδια της ωρίμανσης η αποκόλληση είναι μερική, ενώ σε βάθος χρόνου εκτείνεται σε όλη την περίμετρο του ποδίσκου. Στους καρπούς των ποικιλιών τύπου *Inodorus* δεν σχηματίζεται ζώνη αποκόλλησης. Ο βαθμός ωρίμανσής τους προσδιορίζεται με βάση το άρωμα, το χρώμα και την συνεκτικότητα της σάρκας (Wehner et al., 2020a).

1.1.7. Διατροφική αξία

Στο σύνολο του καρπού, η εδώδιμη σάρκα αντιστοιχεί στο 45 έως του 85% της μάζας του. Σε 100 γραμμάρια καταναλώσιμου προϊόντος περιέχονται 90,2 γραμμάρια νερό, 142 kJ ενέργειας (34 kcal), 8.2 γραμμάρια υδατάνθρακες, 0.8 γραμμάρια πρωτεΐνης, 0.2 γραμμάρια λίπους και 0,9 γραμμάρια φυτικές ίνες (Wehner et al., 2020b). Σε εμπορικό επίπεδο καλλιεργείται ένας μεγάλος αριθμός ποικιλιών οι οποίες χαρακτηρίζονται από καρπούς με υψηλή περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ, β-καροτένιο, φολικό οξύ, ολικά διαλυτά στερεά αλλά και ανόργανα στοιχεία όπως ασβέστιο, σίδηρο ή μαγνήσιο (Lester & Hodges, 2008). Σε καλλιεργούμενες ποικιλίες όπως οι *Cantalouperensis*, *Galia* και *Piel de Sapo* εντοπίζονται λιγνάνες, οργανικά οξέα και άλλες ουσίες με θετική επίδραση στην υγεία του ανθρώπου (Rodríguez-Pérez et al., 2013). Ποικιλίες των τύπων *Cantalouperensis* και *Honeydew* σε μία μερίδα 236 γραμμαρίων μπορούν να περιέχουν το 100% της απαιτούμενης ημερήσιας πρόσληψης β-καροτενίου (προβιταμίνη Α) και το 1/3 της ημερήσιας απαιτούμενης ποσότητας ασκορβικού οξέος. Επιπροσθέτως περιέχουν ποσότητες καλίου και φολικού οξέος, σε συγκεντρώσεις όμως οι οποίες χαρακτηρίζονται σχετικά χαμηλές για την κάλυψη της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης (Hodges & Lester, 2011).

1.1.8. Βοτανικές ποικιλίες

Τα είδη του γένους *Cucumis* έχουν αριθμό χρωμοσωμάτων ίσο με $2n=24$ με εξαίρεση το *Cucumis sativus* (αγγουριά) με αριθμό χρωμοσωμάτων $2n=14$. Το εύρος ποικιλομορφίας των γνωρισμάτων του *C. melo* σε συνδυασμό με την ευκολία εμφάνισης ενδιάμεσων τύπων ως αποτέλεσμα της σταυρογονιμοποίησης μεταξύ των διαφόρων ποικιλιών καθιστά την κατάταξή τους δύσκολη (Ολύμπιος, 2015), οδηγώντας στην ανάπτυξη διαφορετικών προσεγγίσεων στην κατάταξη των ποικιλιών (Pitrat et al., 2000).

1.1.8.1. Cucumis melo var. Inodorus

Πρόκειται για ποικιλίες οι οποίες καλλιεργούνται κυρίως στις Μεσογειακές χώρες, καθώς και σε περιοχές της κεντρικής Ασίας και της Αμερικής (Pitrat, 2008a). Οι καρποί των ποικιλιών έχουν ελλειπτικό σχήμα, εξωτερικό φλοιό συχνά με στικτή επιφάνεια, λεία ή με αυλακώσεις με χρώμα από βαθύ πράσινο έως ανοιχτό κίτρινο. Σε αντίθεση με καρπούς άλλων ποικιλιών, στην επιφάνειά τους δεν σχηματίζονται δικτυώσεις (Pitrat et al., 2000; Ολύμπιος, 2015). Παράγουν καρπούς μη κλιμακτηρικούς με γλυκιά λευκή σάρκα, με σχετικά ελαφρύ άρωμα (Pitrat, 2008b). Οι καρποί είναι γνωστοί και ως «χειμερινά πεπόνια», λόγω του μεγάλου χρόνου ωρίμανσης και της καλής διατηρησιμότητάς τους κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών (Ολύμπιος, 2015). Παραδείγματα των ποικιλιών είναι οι Casaba, Amarillo, Honeydew, Tendral, Rochet και Piel de Sapo (Pitrat, 2008b). Σε αντίθεση με άλλες βοτανικές ποικιλίες, κατά την ωρίμανση δεν παρατηρείται αποκόλληση του μίσχου από τον καρπό. Ο χρόνος συγκομιδής ορίζεται με βάση την αλλαγή του χρώματος στον φλοιό του καρπού (Ojo, 2016). Οι ποικιλίες του τύπου Inodorus χωρίζονται σε επιμέρους τύπους (Lim, 2012; Ολύμπιος, 2015). Οι ποικιλίες που ανήκουν σε αυτήν την ομάδα είναι συνήθως ανδρομόνοικες (Ojo, 2016).

- Casaba

Καρποί με φλοιό κίτρινου χρώματος με ελαφρές αυλακώσεις (Wehner et al., 2020b). Έχουν σφαιρικό σχήμα και είναι οξύληκτοι στο σημείο της ένωσης του καρπού με τον ποδίσκο (Ολύμπιος, 2015). Η σάρκα των καρπών είναι συνεκτική με γλυκιά γεύση (σε μικρότερο βαθμό από τον τύπο «Honeydew») με χρώμα πορτοκαλί, λευκό, υποπράσινο ή κίτρινο (Lim, 2012).

- Honeydew

Μεγάλοι καρποί με μήκος από 15 έως 22 εκατοστά, σφαιρικοί στο σχήμα έως και ελαφρώς ελλειπτικοί. Ο φλοιός τους είναι λείος, με χρώμα λευκό ή απαλές υποπράσινες ή υποκίτρινες αποχρώσεις. Η σάρκα στο εσωτερικό τους είναι πράσινη, γλυκιά και με ιδιαίτερη γεύση (Lim, 2012).

- Honeyball

Καρποί με συνεκτική, γλυκιά σάρκα πράσινου χρώματος. Ο φλοιός έχει χρώμα κρεμ ή αποχρώσεις του κίτρινου και του πορτοκαλί (Ολύμπιος, 2015).

- Crenshaw

Καρποί με ατρακτοειδές σχήμα οι οποίοι μπορούν να φτάσουν σε αρκετά μεγάλο μέγεθος. Ο φλοιός εξωτερικά παρουσιάζει πολύ ήπιες αυλακώσεις και στα αρχικά στάδια ανάπτυξης έχει βαθύ πράσινο χρώμα το οποίο μετατρέπεται σε κίτρινο όσο ο καρπός πλησιάζει την ωριμότητα. Οι ώριμοι καρποί έχουν έντονο άρωμα και χρώμα σε τόνους του πορτοκαλί ή κρεμ (Lim, 2012).

- Piel de Sapo

Ατρακτοειδείς καρποί με μήκος έως και 30 εκατοστά. Σχηματίζουν λείο, παχύ φλοιό πράσινου χρώματος με σκούρες πράσινες ή μαύρες κηλίδες κατά μήκος του καρπού. Ο καρπός χαρακτηρίζεται από γεύση παρόμοια με αυτή των τύπων Honeydew και έχει κιτρινοπορτοκαλί ή υποπράσινη σάρκα (Lim, 2012).

1.1.8.2. *Cucumis melo* var. *Cantalupensis*

Περιλαμβάνονται καρποί σφαιρικοί με ελαφρές αυλακώσεις, λεπιοειδή επιφάνια και φελλώδεις δικτυώσεις των οποίων η πυκνότητα διαφέρει από ποικιλία σε ποικιλία. Αποτελούν ίσως την σημαντικότερη ομάδα καλλιεργούμενων ποικιλιών στις περιοχές της Αμερικής, με υβρίδια όπως το PMR 45 να κυριαρχούν στην αγορά λόγω της ανθεκτικότητας στο Ωίδιο (Wehner et al., 2020b). Η σάρκα τους έχει χρώμα πορτοκαλί ή πράσινο, έχει γλυκιά γεύση και χαρακτηρίζεται από έντονο άρωμα. Οι ποικιλίες της βοτανικής ομάδας είναι ανδρομόνοικες (Choudhary & Pandey, 2016).

1.1.8.3. *Cucumis melo* var. *Reticulatus*

Σφαιρικοί καρποί μάζας από 1 έως 1,8 περίπου κιλά, με ελαφρές έως έντονες φελλώδεις δικτυώσεις, αρωματική σάρκα και υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα (Ojo, 2016) με χρώμα βαθύ πορτοκαλί ή πράσινο. Η καλλιέργειά τους έχει εξαπλωθεί στην Ευρώπη και την Ασία. Τα τελευταία χρόνια βοτανικά έχουν συμπτυχθεί με τις ποικιλίες της ομάδας *cantalupensis* και μελετώνται ως ένα ενιαίο σύνολο (Ολύμπιος, 2015).

1.1.8.4. Εγχώριες ποικιλίες

Πρόκειται για ποικιλίες οι οποίες έχουν δημιουργηθεί και διατηρούνται από φορείς διαχείρισης φυτοπολλαπλασιαστικού υλικού με δραστηριότητα στην Ελλάδα. Ο εθνικός κατάλογος ποικιλιών (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2021) αναφέρει πως στην

Ελλάδα υπάρχουν οι εγχώριες ποικιλίες «Άργους», «Κόκκινη Μπανάνα», «Λευκό Αμυνταίου», «Θρακιώτικο» και «Ζακύνθου». Με βάση τα στοιχεία που παρέχονται, όλες οι εν λόγω ποικιλίες έχουν αναπτυχθεί και διατηρούνται από τον Ελληνικό Γεωργικό Οργανισμό «ΔΗΜΗΤΡΑ» (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2021).

- Ποικιλία «Θρακιώτικο»

Ανήκει στην ομάδα Casaba των καρπών τύπου Inodorus. Αναπτύσσει μεγάλους καρπούς οι οποίοι φτάνουν τα 1,8 κιλά, σφαιρικούς στο σχήμα και οξύληκτους στην περιοχή του ποδίσκου. Στο στάδιο της ωριμότητας εμφανίζει ελαφρές αυλακώσεις και αποκτά κίτρινο στικτό φλοιό με σκούρες πράσινες κηλίδες. Η σάρκα του είναι γλυκιά, συνεκτική με λευκό χρώμα. Όπως και στις άλλες ποικιλίες τύπου Inodorus, κατά την ωρίμανση δεν αναπτύσσεται αφοριστικός ιστός στην περιοχή του μίσχου. Οι παραγόμενοι καρποί χαρακτηρίζονται από μακρά μετασυλλεκτική ζωή, γεγονός το οποίο τους καθιστά κατάλληλους για αποθήκευση και κατανάλωση κατά τη διάρκεια των ψυχρών περιόδων του έτους (ΕΛ.Γ.Ο. “ΔΗΜΗΤΡΑ,” 2016; Ολύμπιος, 2015).

1.2. Καλλιέργειες εκτός εδάφους

Η συστηματική καλλιέργεια της γης για την εξασφάλιση τροφής και άλλων υλικών αποτέλεσε δραστηριότητα η οποία εμφανίστηκε σχετικά πρόσφατα στην ιστορία του σύγχρονου ανθρώπου, με την εμφάνισή της να κατέχει καταλυτική επίδραση στην εγκατάσταση και την ανάπτυξη των πρώτων μεγάλων κοινωνιών (Zong et al., 2007). Το έδαφος αποτελεί το φυσικό περιβάλλον για την ανάπτυξη των φυτικών ειδών, καθώς αποτελεί το μέσο θρέψης και μηχανικής στήριξης για τα φυτά, αλλά και ένα υπόστρωμα το οποίο φιλοξενεί πλήθος αλληλεπιδράσεων άλλων οργανισμών. Ωστόσο η καλλιέργειά του συχνά χαρακτηρίζεται από σημαντικά προβλήματα οφειλόμενα σε αβιοτικές καταπονήσεις, συνέπεια των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Παράλληλα τα φυτά βλάσκονται από παθογόνα και οργανισμούς του εδάφους όπως έντομα, μύκητες ή νηματώδεις, έχοντας ως αποτέλεσμα την απόκλιση των φυτών από την υγιή τους κατάσταση, κλονίζοντας την ασφάλεια της παραγωγής και την οικονομική βιωσιμότητα των αγροτικών εκμεταλλεύσεων.

Αρκετά από τα προβλήματα που παρουσιάζει το έδαφος ως καλλιεργητικό μέσο οφείλονται στη δραστηριότητα του ανθρώπου ως συνέπεια της αγροτικής παραγωγής και της εντατικής χρήσης των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Η συστηματική χρήση αγροτικών μηχανημάτων σε συνδυασμό με την έντονη κατεργασία της καλλιεργήσιμης γης οδηγεί στην συμπίεση των εδαφών και την απώλεια οργανικής ουσίας από αυτά (Hamza & Anderson, 2005). Η διαρκής ανάγκη για μεγαλύτερες εκτάσεις έχει ως συνέπεια την καταστροφή φυσικών οικοσυστημάτων με σοβαρές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και την κλιματική μεταβολή (Foley et al., 2005) Η ανάγκη για μεγαλύτερες εκτάσεις για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών παρουσιάζει αυξητική τάση, ακολουθώντας τις εκτιμήσεις για την πορεία του παγκόσμιου πληθυσμού στις επόμενες δεκαετίες (Tilman et al., 2011).

Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως μέρος της λύσης στα προβλήματα που αναφέρθηκαν, παρέχοντας τη δυνατότητα παραγωγής κηπευτικών ειδών χωρίς να υποβαθμίζουν άμεσα το έδαφος και τα φυσικά οικοσυστήματα. Ω καλλιέργειες εκτός εδάφους ορίζεται κάθε καλλιεργητική πρακτική η οποία αντικαθιστά το έδαφος ως μέσο μηχανικής στήριξης και θρέψης με άλλα οργανικά ή ανόργανα υποστρώματα. Η θρέψη και η άρδευση ελέγχονται πλήρως χορηγώντας στα φυτά ένα θρεπτικό διάλυμα με γνωστή, ελεγχόμενη σύσταση το οποίο διατρέχει το υπόστρωμα (Σάββας, 2011b).

1.2.1. Ιστορική αναδρομή

Η πρακτική της καλλιέργειας εκτός εδάφους δεν αποτελεί σύγχρονη επινόηση, καθώς υπάρχουν ενδείξεις για τη εφαρμογή αντίστοιχων μεθόδων στην αρχαιότητα για τη μεταφορά καλλωπιστικών φυτών σε μεγάλες αποστάσεις, ή την καλλιέργεια ειδών σε περιοχές με ακατάλληλα εδάφη (Raviv & Lieth, 2008). Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα ερευνητές βοτανολόγοι όπως ο Julius von Sachs, ο Wilhelm Knop και ο Nicolas-Théodore de Saussure χρησιμοποίησαν τις πρώτες υδροπονικές μεθόδους για να μελετήσουν ερευνητικά θέματα σχετικά με την θρέψη των φυτικών οργανισμών. Αντί για έδαφος, χρησιμοποίησαν ως καλλιεργητικό μέσο θρεπτικά διαλύματα με ανόργανα άλατα των απαραίτητων στοιχείων για τη φυτική θρέψη, μέσα στα οποία μπορούσε να αναπτυχθεί το ριζικό σύστημα (Taiz & Zeiger, 2010a). Τα επόμενα χρόνια στην Αμερική δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν μίγματα υποστρωμάτων για την καλλιέργεια σε φυτοδοχεία εντός φυτωρίων, με έμφαση σε πρακτικές οι οποίες στόχευαν στη μείωση των παθογόνων φορτίων στο υπόστρωμα (Raviv & Lieth, 2008).

Το 1937, ο Αμερικάνος καθηγητής William Frederick Gericke του πανεπιστημίου της Καλιφόρνια έκανε για πρώτη φορά τη χρήση του όρου «υδροπονία» αναφερόμενος στην καλλιέργεια εντός θρεπτικών διαλυμάτων χωρίς την ύπαρξη στερεού υποστρώματος. Παρά την προσπάθειά του να εφαρμόσει τη μέθοδο σε εμπορική κλίμακα, η αδυναμία να ανταγωνιστεί τα συμβατικά συστήματα καλλιέργειας σε συνδυασμό με το απαγορευτικό κόστος της αρχικής εγκατάστασης και λειτουργίας δεν επέτρεψε στο εγχείρημα να επιτύχει. Μέσα στις επόμενες δεκαετίες η υδροπονία βρήκε εφαρμογή σε μη εμπορικές καλλιέργειες στην Αμερική και κράτη της Ευρώπης, παράγοντας ταυτόχρονα τεχνογνωσία και νέες μεθόδους για την εφαρμογή της στα επόμενα χρόνια (Σάββας, 2011b). Σήμερα οι καλλιέργειες εκτός εδάφους εφαρμόζονται σε αρκετές περιοχές του κόσμου για την παραγωγή κηπευτικών και καλλωπιστικών ειδών. Σε κράτη όπως η Σαουδική Αραβία, το Ισραήλ και σε περιοχές της Αυστραλίας όπου υπάρχει περιορισμένη διαθεσιμότητα αρδευτικού νερού, οι υδροπονικές μέθοδοι καλλιέργειας εφαρμόζονται για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών με επιτυχία (Raviv & Lieth, 2008).

1.2.2. Πλεονεκτήματα των καλλιεργειών εκτός εδάφους

Από φυτοπαθολογικής απόψεως, τα αποστειρωμένα υποστρώματα τα οποία αντικαθιστούν το έδαφος στις καλλιέργειες εκτός εδάφους παρέχουν μία αξιόλογη λύση σε βιοτικές καταπονήσεις οφειλόμενες σε οργανισμούς του εδάφους (Khan et al., 2021; Σάββας, 2011b). Οι

προσβολή από φυτοπαθογόνους μύκητες, βακτήρια, ιούς, νηματώδεις και έντομα από το έδαφος μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές οικονομικές απώλειες. Η ανάγκη για εύρεση και εφαρμογή λύσεων για το πρόβλημα των παθογόνων εδάφους έχει γίνει επιτακτική ανάγκη μετά την απαγόρευση της χρήσης του βρωμιούχου μεθυλίου με την συνθήκη του Montreal, το οποίο είχε ευρεία εφαρμογή ως υποκαπνιστικό – απολυμαντικό εδάφους με πολύ καλά αποτελέσματα (Ζιώγας & Μάρκογλου, 2010).

Ένα δεύτερο πλεονέκτημα που παρουσιάζουν τα υποστρώματα σε σύγκριση με το έδαφος είναι ότι πλεονεκτούν ως προς τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους. Η υδραυλική συμπεριφορά των υποστρωμάτων επιτρέπει τον καλύτερο αερισμό της ριζόσφαιρας και την εξισορρόπηση των αναγκών της ρίζας σε νερό και οξυγόνο (Raviv & Lieth, 2008). Το έδαφος ως θρεπτικό μέσο αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο σύστημα, συχνά ανομοιογενές το οποίο υποβαθμίζεται σε βάθος χρόνου από την έντονη κατεργασία και τη μονοκαλλιέργεια. Στα υδροπονικά συστήματα υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της σύστασης των θρεπτικών διαλυμάτων και της αναπροσαρμογής τους με βάση τις ανάγκες των φυτών ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, τις περιβαλλοντικές συνθήκες ή τις φυσιολογικές απαιτήσεις του φυτού. Συνεπώς χαρακτηρίζεται από σημαντικά μεγαλύτερη ακρίβεια στον έλεγχο της θρέψης σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα καλλιέργειας (Σάββας, 2011b). Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα αποκτά ιδιαίτερη σημασία στις περιοχές του κόσμου όπου η καλλιέργεια της γης δεν είναι εφικτή λόγω της ακαταλληλότητας των εδαφών οφειλόμενη σε προβλήματα όπως η υψηλή αλατότητα ή η αποσάθρωση των εδαφών (Manos & Xydis, 2019). Γενικότερα, μέσω του ελέγχου της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερη παραγωγή από την καλλιέργεια στο έδαφος (υπαίθρια ή υπό κάλυψη) αλλά και βελτίωση στα ποιοτικά γνωρίσματα των παραγόμενων προϊόντων (Rouphael et al., 2018).

Η χρήση υποστρωμάτων ως υποκατάστατο του εδάφους μειώνει σημαντικά τις ανάγκες και το κόστος θέρμανσης στις υπό κάλυψη καλλιέργειες. Αυτό συμβαίνει επειδή χρησιμοποιούνται υποστρώματα με περιορισμένο όγκο, τα οποία συνήθως βρίσκονται εντός σάκων από πολυαιθυλένιο, περιορίζοντας σημαντικά την εξάτμιση του νερού και την κατανάλωση ενέργειας κατά τη μετάβαση από την υγρή στην αέρια κατάσταση (Σάββας, 2011b).

Όταν εφαρμόζεται έχοντας ως κανόνα τις αρχές ορθής πρακτικής, η υδροπονία μπορεί να μειώσει το αντίκτυπο στο περιβάλλον που θα είχε μια αντίστοιχου μεγέθους εκμετάλλευση συμβατικού χαρακτήρα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μειωμένης χρήσης αρδευτικού νερού και

λιπασμάτων, όφελος το οποίο είναι ιδιαίτερα εμφανές κυρίως στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, όπου το θρεπτικό διάλυμα δεν απορρίπτεται στο περιβάλλον, αλλά χρησιμοποιείται για την σύνθεση του επόμενου θρεπτικού διαλύματος (Manos & Xydis, 2019; Massa et al., 2020).

Η διαχείριση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος στα κλειστά υδροπονικά συστήματα αποτελεί ένα επιπλέον πλεονέκτημα της μεθόδου ως προς την περιβαλλοντική επιβάρυνση σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους, καθώς δεν υπάρχει ο κίνδυνος της επιμόλυνσης του υπόγειου υδατικού ορίζοντα με την έκπλυση των λιπασμάτων στο έδαφος (Khan et al., 2021). Η αντικατάσταση του εδάφους από τεχνητά μέσα επιτρέπει την τοποθέτηση των μονάδων παραγωγής σε μικρές αποστάσεις από τα κέντρα αγοράς και κατανάλωσης, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το περιβαλλοντικό αντίκτυπο και το κόστος μεταφοράς των προϊόντων (Trefitz & Omaye, 2016).

1.2.3. Υλικοτεχνικές και οικονομικές προκλήσεις των καλλιεργειών εκτός εδάφους

Παρά τα σημαντικά οφέλη, οι καλλιέργειες εκτός εδάφους παρουσιάζουν κάποιες κρίσιμες απαιτήσεις για την επιτυχή εφαρμογή τους. Η αρχική εγκατάσταση μιας υδροπονικής μονάδας απαιτεί εξοπλισμό με υψηλό κόστος, αποτρέποντας σε αρκετές περιπτώσεις την εφαρμογή της (Σάββας, 2011b). Η αμεσότητα της αλληλεπίδρασης με τα φυτά μέσω του ελέγχου της θρέψης, καθώς και τα στενότερα περιθώρια σφάλματος στους χειρισμούς και τη λήψη αποφάσεων θέτουν ένα ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο γνώσης για τον καλλιεργητή ή τον επικεφαλής της υδροπονικής μονάδας. Λάθος χειρισμοί κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας μπορεί να έχουν ως συνέπεια ανεπανόρθωτη ζημιά στα φυτά, μείωση της αναμενόμενης ποιότητας ή και οικονομική επιβάρυνση της παραγωγής μέσω αλόγιστης χρήσης των πόρων (Σάββας, 2011b).

Η ορθή λειτουργία μίας μονάδας καλλιέργειας εκτός εδάφους είναι ιδιαίτερα απαιτητική στις ανάγκες ηλεκτροδότησης, καθώς παράμετροι όπως ο κλιματικός έλεγχος, η άντληση του νερού άρδευσης και η παροχή των θρεπτικών διαλυμάτων, αλλά και ο έλεγχος του φωτισμού βασίζεται στη χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού σε μεγάλη κλίμακα. Η έλλειψη ηλεκτροδότησης βασιζόμενης σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να επιβαρύνει οικονομικά σημαντικά μια υδροπονική εκμετάλλευση. Σε μία αναπτυσσόμενη χώρα όπου το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό, η μετάβαση από την συμβατική καλλιέργεια σε ένα σύστημα εκτός εδάφους μπορεί να είναι απαγορευτική (Trefitz & Omaye, 2016).

Για την εξασφάλιση της υγιεινής των προϊόντων που παράγονται σε υδροπονικά περιβάλλοντα είναι σημαντική η θέσπιση κανόνων ορθής γεωργικής παραγωγής, καθώς είναι δυνατή η επιμόλυνση των προϊόντων με παθογόνα όπως το *Escherichia coli* ή το *Salmonella enterica* μέσω των διαδικασιών και των υλικών του παραγωγικού χώρου (Tretz & Omaye, 2016).

1.2.4. Γενικές Αρχές

Το κύριο χαρακτηριστικό των καλλιεργειών εκτός εδάφους και της υδροπονίας είναι η πλήρης αντικατάσταση του εδάφους ως θρεπτικό μέσο με θρεπτικά διαλύματα όπου η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων ελέγχεται πλήρως από τον καλλιεργητή (Khan et al., 2021; Raviv & Lieth, 2008; Σάββας, 2011b). Οι υδροπονικές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις «καλλιέργειες σε θρεπτικό διάλυμα» ή «υδροκαλλιέργειες», και τις καλλιέργειες σε υποστρώματα. Στην πρώτη περίπτωση, το ριζικό σύστημα δεν αναπτύσσεται εντός ενός στερεού μέσου, αλλά απευθείας στο θρεπτικό διάλυμα. Η απουσία στερεού μέσου για τη μηχανική στήριξη του φυτού καθιστά τη μέθοδο καταλληλότερη για φυτά με χαμηλή ανάπτυξη, όπως το μαρούλι. Αντίθετα, στις καλλιέργειες σε υποστρώματα το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται εντός ενός πορώδους υποστρώματος ικανό να διατρέχεται από το θρεπτικό διάλυμα και να το συγκρατεί, παρέχοντας όμως ταυτόχρονα επαρκή αερισμό στη ρίζα του φυτού (Σάββας, 2011b).

Για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος προετοιμάζονται πυκνά διαλύματα με υδατοδιαλυτές τυποποιήσεις λιπασμάτων, τα οποία στην πορεία αναμιγνύονται και αραιώνονται σε συγκεκριμένη αναλογία με το αρδευτικό νερό, δημιουργώντας το τελικό θρεπτικό διάλυμα (Σάββας, 2011c).

Στην καλλιέργεια σε υποστρώματα, σε βάθος χρόνου άλατα NaCl και ορισμένα ανόργανα στοιχεία τείνουν να συσσωρεύονται στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας. Παράλληλα ανομοιομορφίες στην κατανομή του θρεπτικού διαλύματος από το αρδευτικό σύστημα μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα την υδατική καταπόνηση ορισμένων φυτών. Για την αντιμετώπιση αυτών των δύο προβλημάτων παρέχεται στο θρεπτικό υπόστρωμα ποσότητα θρεπτικού διαλύματος μεγαλύτερη από τον όγκο που μπορεί να συγκρατηθεί σε αυτό (Σάββας, 2011d). Η περίσσεια του θρεπτικού διαλύματος η οποία δεν συγκρατείται από το υπόστρωμα και απορρέει ονομάζεται κλάσμα απορροής. Με βάση τη μέθοδο διαχείρισής του, οι υδροπονικές καλλιέργειες μπορούν να χαρακτηριστούν ως «κλειστά» ή «ανοιχτά» συστήματα. Στα ανοιχτά συστήματα το κλάσμα απορροής θεωρείται ρύπος και καταλήγει στο περιβάλλον του θερμοκηπίου μέσω καναλιών

συλλογής της περίσσειας του θρεπτικού διαλύματος (van Os et al., 2019). Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, το κλάσμα απορροής συλλέγεται και με βάση τη χημική του σύσταση, προστίθενται πυκνά θρεπτικά διαλύματα και αρδευτικό νερό με σκοπό την ανακύκλωσή του στο αρδευτικό κύκλωμα (Σάββας, 2011d).

1.2.5. Υποστρώματα

Προκειμένου ένα υλικό να θεωρηθεί κατάλληλο για την χρήση σε μία καλλιέργεια εκτός εδάφους ως υπόστρωμα πρέπει να αντικαθιστά τουλάχιστον στον ίδιο βαθμό τις λειτουργίες του εδάφους ως μέσο καλλιέργειας. Τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία εξετάζονται είναι η δυνατότητα του μέσου να τροφοδοτεί τις ρίζες των φυτών με αέρα, νερό και θρεπτικά συστατικά. Τα τρία αυτά χαρακτηριστικά εξαρτώνται από το πορώδες του υποστρώματος και την αναλογία όπου αυτό καταλαμβάνεται από το θρεπτικό διάλυμα και την αέρια φάση (Σάββας, 2011e).

Τα περισσότερα υποστρώματα είναι απαλλαγμένα από φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς, σπόρους ζιζανίων ή ζωικούς εχθρούς λόγω της θερμικής επεξεργασίας των μέσων ή της προέλευσής τους.

Σε αντίθεση με το έδαφος, τα υποστρώματα των καλλιεργειών εκτός εδάφους χαρακτηρίζονται από υψηλή ομοιογένεια (Σάββας, 2011e). Για την αξιολόγηση των διαφόρων υλικών ως προς την ακαταλληλότητα και την συμπεριφορά τους για χρήση ως υποκατάστατα μέσα καλλιέργειας, χρησιμοποιείται μια σειρά από φυσικοχημικές παραμέτρους. Η κοκκομετρική κατανομή του υποστρώματος καθορίζει σε σημαντικό βαθμό φυσικοχημικές ιδιότητες όπως η συνεκτικότητα, το πορώδες, η περατότητα από υγρά και αέρια και η αλληλεπιδράσεις με τις διαλυμένες ουσίες του θρεπτικού διαλύματος (Wallach, 2019).

Τα σωματίδια των υποστρωμάτων χωρίζονται με βάση το μέγεθος των τεμαχιδίων που τα αποτελούν σε κλάσεις οι οποίες ονομάζονται κοκκομετρικά κλάσματα. Η κοκκομετρική κατανομή προκύπτει από το ποσοστό εμφάνισης του κάθε κλάσματος στον όγκο του υποστρώματος (Σάββας, 2011e). Το φαινόμενο ειδικό βάρος (bulk density) εκφράζεται ως η ποσότητα μάζας ανά μονάδα όγκου. Συνήθως αποτελεί μέγεθος ενδεικτικό για το πορώδες του υποστρώματος, καθώς η ύπαρξη εκτεταμένου πορώδους σε μία μονάδα όγκου υποδεικνύει την ύπαρξη μικρότερης ποσότητας μάζας σε αυτόν (Σάββας, 2011e). Το πορώδες εκφράζει το ποσοστό του όγκου το οποίο αντιστοιχεί στους κενούς χώρους στη μάζα του υποστρώματος. Γενικότερα η κατανομή του πορώδους, το μέγεθος των πόρων και η συνέχειά τους αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για

την υδραυλική συμπεριφορά του υποστρώματος, επηρεάζοντας την αναλογία μεταξύ της ποσότητας υδατικών διαλυμάτων που μπορούν να συγκρατηθούν σε αυτό και της περατότητας από αέρια (Wallach, 2019).

Σημαντικοί παράγοντες για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας ενός υλικού ως υπόστρωμα καλλιέργειας είναι η ενεργός οξύτητα και η ιοντοανταλλακτική ικανότητά του. Γενικότερα είναι επιθυμητό για ένα υπόστρωμα να έχουν τιμές pH κοντά στο 5,5 με 6 της κλίμακας καθώς αυτές είναι οι τιμές όπου όλα τα θρεπτικά στοιχεία μπορούν να προσληφθούν από τις ρίζες των φυτών (Savvas & Gruda, 2018).

1.2.6. Ο περλίτης ως υπόστρωμα στις καλλιέργειες εκτός εδάφους

Πρόκειται για ένα ηφαιστειογενές πέτρωμα αργυλοπυριτικής σύστασης με σημαντικά κοιτάσματα σε ελληνικά νησιά του Αιγαίου. Το τελικό κοκκώδες υλικό προκύπτει από τη θερμική επεξεργασία του αρχικού υλικού σε θερμοκρασίες οι οποίες αγγίζουν τους 1000 °C (Σάββας, 2011e). Η θερμική επεξεργασία έχει ως αποτέλεσμα την εξάτμιση της υγρασίας που περιέχεται στη μάζα του και την αύξηση του όγκου του κατά 4 έως 20 φορές. Οι κόκκοι που σχηματίζονται έχουν μέγεθος το οποίο ποικίλει από τα 0,2 έως και τα 3 χιλιοστά και χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα καλλιέργειας ή σε εδαφικά μίγματα (Papadopoulos et al., 2008). Έχει pH κοντά στην ουδέτερη τιμή (6,5 έως 7,5), χαμηλό ειδικό βάρος και συνολικό πορώδες το οποίο καταλαμβάνει από το 50% έως και το 75% του συνολικού του όγκου.

Σημαντικό πλεονέκτημα του περλίτη ως υπόστρωμα είναι πως η έντονη θερμική κατεργασία κατά την παρασκευή του το απαλλάσσει από τους παθογόνους μικροοργανισμούς (Savvas & Gruda, 2018). Το χαμηλό του βάρος διευκολύνει τη μεταφορά του και τους χειρισμούς κατά τη διάρκεια των εργασιών εγκατάστασης στο θερμοκήπιο. Η φυσική του προέλευση επιτρέπει την εύκολη διαχείρισή του μετά το πέρας της καλλιέργειας χωρίς να επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον (Σάββας, 2011e).

1.2.7. Χαρακτηριστικά των Θρεπτικών διαλυμάτων

Μία από τις βασικές διαφορές μεταξύ των συμβατικών και των υδροπονικών μεθόδων καλλιέργειών είναι η διαδικασία με την οποία τα φυτά προσλαμβάνουν θρεπτικά στοιχεία από το υπόστρωμα. Στις συμβατικές καλλιέργειες η ρίζες των φυτών αντλούν τα θρεπτικά ιόντα από το έδαφος μέσω του εδαφικού διαλύματος. Η λίπανση του εδάφους περιλαμβάνει κυρίως άζωτο, φωσφόρο και κάλιο, ενώ αρκετά από τα άλλα απαραίτητα στοιχεία υπάρχουν σε επαρκείς

ποσότητες στο έδαφος. Στις υδροπονικές καλλιέργειες (ιδιαίτερα στην περίπτωση των υποστρωμάτων χωρίς ανταλλακτική ικανότητα) η θρέψη βασίζεται πλήρως στο θρεπτικό διάλυμα. Αυτό πρέπει να περιέχει στις κατάλληλες συγκεντρώσεις όλα τα απαραίτητα θρεπτικά ιόντα για την ανάπτυξη των καλλιεργούμενων ειδών και την ολοκλήρωση του βιολογικού τους κύκλου (Wada, 2019a).

Μια άλλη σημαντική διαφορά είναι πως σε σύγκριση με την καλλιέργεια στο έδαφος, στις καλλιέργειες εκτός εδάφους αντιστοιχεί πολύ μικρότερος όγκος υποστρώματος και θρεπτικού διαλύματος ανά φυτό (Σάββας, 2011c). Ο ακριβής έλεγχος της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος και της θρέψης επιτρέπει την πραγματοποίηση χειρισμών που δεν θα μπορούσαν να γίνουν στο έδαφος, όπως η ρύθμιση των αναλογιών μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων. Σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης ελεγχόμενων θρεπτικών διαλυμάτων στα υδροπονικά συστήματα καλλιέργειας είναι και η δυνατότητα αυξομείωσης των τιμών των θρεπτικών στοιχείων με βάση τις περιβαλλοντικές συνθήκες ή το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (Neocleous & Savvas, 2015). Ωστόσο, η αμεσότητα που χαρακτηρίζει τις καλλιέργειες εκτός εδάφους ως προς την αλληλεπίδραση της θρέψης με τη φυσιολογία του φυτού στενεύει αρκετά τα περιθώρια σφάλματος, καθώς αστοχίες στην εκτίμηση των αναγκών σε λίπανση της καλλιέργειας μπορούν να οδηγήσουν σε σύντομο χρόνο σε σημαντικές, συχνά μη αναστρέψιμες ζημιές (Σάββας, 2011c).

Η αμεσότερη μέθοδος για την εκτίμηση της κατάστασης που επικρατεί στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας είναι η παρακολούθηση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH στο θρεπτικό διάλυμα της ριζόσφαιρας (Wada, 2019b). Οι τιμές των δύο μεγεθών λαμβάνονται από το διάλυμα της ριζόσφαιρας στην περίπτωση της υδροκαλλιέργειας ή σε καλλιέργειες σε υποστρώματα των οποίων η σύσταση επιτρέπει τη λήψη δείγματος. Σε περιπτώσεις όπου το υπόστρωμα έχει κοκκώδη σύσταση και ασκεί ισχυρή μύζηση χωρίς να επιτρέπει τη λήψη δείγματος (όπως ο περλίτης), η μετρήσεις πραγματοποιούνται στο διάλυμα απορροής και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος ριζοστρώματος υπολογίζεται κατά προσέγγιση ως εξής:

$$E_r = (E_t + E_d) / 2$$

Όπου ως E_r συμβολίζεται η EC στο διάλυμα ριζοστρώματος, το E_t συμβολίζει την EC του διαλύματος τροφοδοσίας και το E_d εκφράζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής (Σάββας, 2011c). Ωστόσο η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν είναι αρκετή για

την λήψη αποφάσεων σχετικά με την αναπροσαρμογή του θρεπτικού διαλύματος, καθώς αποτελεί αθροιστικό μέτρο όλων των στοιχείων που βρίσκονται διαλυμένα σε αυτό. Πρόκειται για ένα αδιάστατο μέγεθος το οποίο δεν παρέχει καμία πληροφορία σχετικά με την σύστασή του και τις επιμέρους συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων (Σάββας, 2011c). Για τον προσδιορισμό της ακριβούς σύστασης του διαλύματος απορροής και τις αποφάσεις σχετικά με την αναπροσαρμογή του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιούνται τακτικά εργαστηριακές αναλύσεις σε δείγματα από την απορροή ή το θρεπτικό διάλυμα του ριζοστρώματος (Σάββας, 2011c).

Στην περίπτωση των κλειστών συστημάτων το θρεπτικό διάλυμα μπορεί να αποτελέσει το μέσο μετάδοσης φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών. Για τον έλεγχο της ανάπτυξης μικροοργανισμών εντός τους κυκλώματος χρησιμοποιούνται απολυμαντικοί παράγοντες και μέθοδοι απολύμανσης προτού το κλάσμα απορροής χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή του νέου θρεπτικού διαλύματος (Savvas & Gruda, 2018). Στην υδροπονία για την Παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιούνται λιπάσματα υπό τη μορφή υδατοδιαλυτών αλάτων, οξέα για την ρύθμιση του pH και χηλικές ενώσεις του σιδήρου.

1.2.8. Έλεγχος του pH και επίδραση στη θρέψη

Η απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά επηρεάζεται σημαντικά από το pH του εδαφικού διαλύματος (την συγκέντρωση κατιόντων υδροξονίου σε ένα υδατικό διάλυμα), αρχή η οποία ισχύει και στην περίπτωση των θρεπτικών διαλυμάτων στις καλλιέργειες εκτός εδάφους. Η τιμή του pH επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των απορροφήσιμων ιόντων των στοιχείων μέσω της μετατροπής τους σε μη απορροφήσιμες μορφές, ή τον σχηματισμό ιζημάτων τους. Όταν η τιμή του pH του θρεπτικού διαλύματος κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ 5.5 και 6.5, όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά είναι διαθέσιμα στο φυτό σε επαρκή βαθμό (Taiz et al., 2014; Τσέκος, 2004).

Το ριζικό σύστημα των φυτών μειώνει την τιμή του pH στο εδαφικό ή το θρεπτικό διάλυμα μέσω της απελευθέρωσης H_2CO_3 και οργανικών οξέων στο περιβάλλον της (Τσέκος, 2004). Τιμές pH στο θρεπτικό διάλυμα μεγαλύτερες από 7 έχουν ως αποτέλεσμα των σχηματισμό ιζημάτων του ασβεστίου, του μαγνησίου και του φωσφόρου, επηρεάζοντας την θρεπτική σύσταση του διαλύματος (Silber & Bar-Tal, 2008).

Γενικότερα, οι καλλιέργειες σε υποστρώματα και οι υδροκαλλιέργειες, σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος παρουσιάζουν κάποιες διαφορές ως προς την επίδραση της ενεργής

οξύτητας στον απορρόφηση ορισμένων στοιχείων. Ως προς την ταχύτητα μεταβολής της τιμής του pH, ο όγκος του υποστρώματος ανά φυτό στις καλλιέργειες στο έδαφος σε συνδυασμό με τον ρυθμιστικό ρόλο των κολλοειδών που βρίσκονται σε αυτό, καθιστούν της μεταβολές του pH αρκετά πιο αργές σε σχέση με τις καλλιέργειες εκτός εδάφους. Η αμεσότητα των αυξομειώσεων του pH στις υδροπονικές καλλιέργειες περιορίζει αρκετά το επιθυμητό εύρος των τιμών του για το θρεπτικό διάλυμα (Σάββας, 2011c). Στο έδαφος ένα επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει το pH και την απορρόφηση των στοιχείων είναι η μικροχλωρίδα του εδάφους και η αλληλεπίδρασή τους με τη ρίζα, κάτι το οποίο διαφέρει ή και απουσιάζει στις καλλιέργειες εκτός εδάφους(Σάββας, 2011c).

Η ρύθμιση της τιμής της ενεργούς οξύτητας στο θρεπτικό διάλυμα επιτυγχάνεται με την προσθήκη οξέος και τον έλεγχο της αναλογίας των ιόντων NH_4^+ / NO_3^- σε αυτό. Τα απαραίτητα στοιχεία για τη θρέψη των φυτών, στην απορροφήσιμη μορφή τους βρίσκονται ως κατιόντα ή ανιόντα. Το άζωτο είναι απορροφήσιμο από τα φυτά σε ανιοντική μορφή ως νιτρικά ανιόντα (NO_3^-) αλλά και ως κατιόν με τη μορφή του αμμωνιακού αζώτου (NH_4^+). Μέσω ομοιοστατικών μηχανισμών, τα φυτικά κύτταρα (οπότε και τα κύτταρα της ρίζας) στο εσωτερικό τους τείνουν προς την κατάσταση εξισορρόπησης του ηλεκτροχημικού τους δυναμικού. Όταν λόγω της πρόσληψης ιόντων από το περιβάλλον της ρίζας ο λόγος μεταξύ των ανιόντων και κατιόντων που απορροφούνται παρουσιάζει ανισορροπία, αυτή αποκαθίσταται μέσω της απελευθέρωσης ιόντων HCO_3^- ή H^+ , επηρεάζοντας άμεσα την τιμή του pH στο περιβάλλον της ρίζας (Bar-Yosef, 2008; Σάββας, 2011c). Ο χειρισμός της αναλογίας του αμμωνιακού προς το νιτρικό άζωτο στο θρεπτικό διάλυμα επιτρέπει την ρύθμιση του pH στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας μέσω του μηχανισμού απελευθέρωσης HCO_3^- ή H^+ χωρίς να μεταβάλλει την συνολική συγκέντρωση αζώτου σε αυτό (Bar-Yosef, 2008; Σάββας, 2011c).

1.2.9. Καθορισμός της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος

Η σύσταση των θρεπτικών διαλυμάτων καθορίζεται με βάση τις ανάγκες θρέψης και τις συγκεντρώσεις απορρόφησης των στοιχείων για το συγκεκριμένο είδος και την ποικιλία με βάση τη βιβλιογραφία, την σύσταση του κλάσματος απορροής ή του διαλύματος της ριζόσφαιρας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του χρόνου της καλλιέργειας και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών (Σάββας, 2011c).

Με τον όρο «συγκέντρωση απορρόφησης» γίνεται αναφορά στο λόγο της πρόσληψης ενός θρεπτικού στοιχείου ως προς την πρόσληψη νερού. Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης έχουν ξεχωριστή τιμή για κάθε στοιχείο και εξαρτώνται από τις ανάγκες της καλλιέργειας και το σθένος του εν λόγω θρεπτικού ιόντος ή την ύπαρξη εξειδικευμένων, εκλεκτικών μηχανισμών πρόσληψης ιόντων. Η κατάλληλη συγκέντρωση ενός θρεπτικού στοιχείου στο διάλυμα τροφοδοσίας μπορεί να υπολογιστεί με τον εξής τύπο:

$$C_t = C_u + a(C_d - C_u)$$

Όπου ως C_t και C_u συμβολίζονται η επιθυμητή συγκέντρωση στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας και η συγκέντρωση απορρόφησης αντίστοιχα, η C_d ισούται με την επιθυμητή συγκέντρωση του στοιχείου στο διάλυμα απορροής και ως a συμβολίζεται ως ο όγκος του μέσου κλάσματος απορροής για την συγκεκριμένη καλλιέργεια (Σάββας, 2011c).

1.2.10. Παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων

Στο πρώτο στάδιο της παρασκευής των θρεπτικών διαλυμάτων συντίθενται τα πυκνά θρεπτικά. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο πυκνά διαλύματα (Α και Β), καθώς και ένα τρίτο διάλυμα με οξύ για τον έλεγχο της τιμής του pH. Ο διαχωρισμός των πυκνών διαλυμάτων σε Α και Β γίνεται με σκοπό την αποφυγή του σχηματισμού δυσδιάλυτων αλάτων του ασβεστίου με τα θειικά και τα φωσφορικά λιπάσματα, σχηματίζοντας ιζήματα στο δοχείο ανάμιξης. Το διάλυμα που χορηγείται στα φυτά με το σύστημα της άρδευσης ονομάζεται διάλυμα τροφοδοσίας. Όταν η καλλιέργεια δεν γίνεται απευθείας σε θρεπτικό διάλυμα (υδροκαλλιέργεια) αλλά χρησιμοποιείται κάποιο καλλιεργητικό υπόστρωμα, η αρχική του πλήρωση μέχρι την κατάσταση του κορεσμού γίνεται με διάλυμα διαφορετικής σύστασης από το διάλυμα τροφοδοσίας το οποίο ονομάζεται διάλυμα διαβροχής (Σάββας, 2011c).

Στην υδροπονία για την Παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιούνται λιπάσματα υπό τη μορφή υδατοδιαλυτών αλάτων, οξέα για την ρύθμιση του pH και χηλικές ενώσεις του σιδήρου. Όλα τα ιόντα που συμμετέχουν στα θρεπτικά άλατα που χρησιμοποιούνται αποτελούν θρεπτικά στοιχεία, καθώς η προσθήκη κάποιου ιόντος χωρίς φυσιολογική αξία για το φυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την άσκοπη αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος. Ο κανόνας αυτός δεν ισχύει για τα ιχνοστοιχεία λόγω της ποσοτικά πολύ μικρής παρουσίας τους στο θρεπτικό διάλυμα συγκριτικά με τα άλλα στοιχεία. (Σάββας, 2011c). Τα πιο

κοινά χρησιμοποιούμενα λιπάσματα στις καλλιέργειες εκτός εδάφους αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί :

Πίνακας 1. συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων υδατοδιαλυτών λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται ως συστατικά των θρεπτικών διαλυμάτων (Σάββας, 2011c).

Λίπασμα	Χημικός Τύπος	Θρεπτικά στοιχεία %	Μοριακό Βάρος
Νιτρικό αμμώνιο	NH_4NO_3	N:35	80
Νιτρικό ασβέστιο	$5[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]\text{NH}_4\text{NO}_3$	N:15.5, Ca:19	1080.5
Νιτρικό κάλιο	KNO_3	N:13, K:38	101.1
Νιτρικό μαγνήσιο	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	N:11, Mg:9	256.3
Νιτρικό οξύ	HNO_3	N:22	63
Φωσφορικό μονοαμμώνιο	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	N:12, P:27	115
Φωσφορικό μονοκάλιο	KH_2PO_4	P:23, K:28	136.1
Φωσφορικό οξύ	H_3PO_4	P:32	98
Θειικό κάλιο	K_2SO_4	K:45, S:18	174.3
Θειικό μαγνήσιο	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mg:9.7, S:13	246.3
Χηλικός σίδηρος	Διάφοροι τύποι	Fe:6 – 13	-
Θειικό μαγγάνιο	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Mn:32	169
Θειικός ψευδάργυρος	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Zn:23	287.5
Θειικός χαλκός	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Cu:25	249.7
Βόρακας	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	B:11	381.4
Βορικό οξύ	H_3BO_3	B:17.5	61.8
Οκταβορικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	B:20.5	412.4
Μολυβδαινικό αμμώνιο	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Mo:54	1235.9
Μολυβδαινικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Mo:40	241.9

1.3. Υδροπονική καλλιέργεια της πεπονιάς υπό κάλυψη

1.3.1. Χρόνος της καλλιέργειας

Η υδροπονική καλλιέργεια της πεπονιάς καταλαμβάνει τους μήνες όπου δεν καλλιεργείται σε υπαίθριες εκτάσεις, στοχεύοντας στην πρωιμότητα της παραγωγής ή στην επέκτασή της στους χειμερινούς μήνες. Η χρήση των υποστρωμάτων συμβάλει σημαντικά στη διατήρηση ευνοϊκών θερμοκρασιών στη ριζόσφαιρα σε σύγκριση με το έδαφος, καθιστώντας τις υδροπονικές παραγωγές ιδιαίτερα πρώιμες (Σάββας, 2011a).

Στο χώρο του θερμοκηπίου η βέλτιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από τους 18 έως τους 24 °C κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και περιορίζεται στους 20 έως 21 °C κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας. Η υγρασία της ατμόσφαιρας πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, καθώς η πεπονιά είναι ευαίσθητη σε ασθένειες του φυλλώματος. Επιπροσθέτως, υψηλή υγρασία μειώνει την ποιότητα των καρπών και αυξάνει την συχνότητα εμφάνισης σχισίματος του φλοιού τους, οδηγώντας σε δευτερογενείς προσβολές από σήψεις και την καταστροφή του καρπού (Ολύμπιος, 2001).

1.3.2. Μεταφύτευση στο θερμοκήπιο

Η μεταφύτευση από το σπορείο προγραμματίζεται σε χρόνο όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες στο περιβάλλον, περίπου 24 έως 35 ημέρες από την σπορά. Σε αυτό το στάδιο τα φυτά συνήθως έχουν αναπτύξει 4 έως 6 πραγματικά φύλλα (Ολύμπιος, 2001). Κατά τη μεταφύτευση των νεαρών φυτών στο θερμοκήπιο, τοποθετούνται σε φύτευση αρκετά πυκνότερη από την αντίστοιχη των υπαίθριων καλλιεργειών. Ο αριθμός των φυτών ανά m² καθορίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας, κυμαίνεται από 2 με 2,5 έως τα 3 φυτά σε απλές ή διπλές γραμμές (Σάββας, 2011a).

1.3.3. Καλλιεργητικές φροντίδες

Η ανάπτυξη των φυτών γίνεται κατακόρυφα χρησιμοποιώντας νήμα στερεωμένο σε οριζόντιο σύρμα παράλληλο με την γραμμή φύτευσης. Τα φυτά στη συνέχεια περιελίσσονται γύρω από αυτό με τον κεντρικό βλαστό έως ότου να φτάσουν το επιθυμητό ύψος των δύο μέτρων. Όταν ξεπεράσουν το ύψος του σύρματος κατά 1 έως 2 γόνατα, οι κεντρικοί βλαστοί στερεώνονται στην τελική τους θέση και κορυφολογούνται (Ολύμπιος, 2001).

Λόγω του μάζας που αποκτούν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους, οι καρποί αν αφεθούν ελεύθεροι πάνω στους πλευρικούς βλαστούς μπορούν να παρασύρουν προς το έδαφος το φυτό και να προκαλέσουν τραυματισμούς ή και σπάσιμο του κεντρικού βλαστού. Για αυτό το λόγο οι καρποί στερεώνονται στο σύρμα πάνω από τις γραμμές χρησιμοποιώντας νήμα και δίχτυ συγκράτησης (Ολύμπιος, 2001).

Ο έλεγχος της βλαστικής ανάπτυξης των φυτών αποτελεί απαραίτητη εργασία στην υπό κάλυψη καλλιέργεια της πεπονιάς για την επίτευξη της επιθυμητής παραγωγής και τον έλεγχο της εκδήλωσης φυτοπαθολογικών προβλημάτων. Με τις κατάλληλες εργασίες εξασφαλίζεται η ισοροπία της καρποφορίας με τη βλαστική παραγωγή, ο αερισμός και ο φωτισμός του φυλλώματος των φυτών και η πρωιμότητα των καρπών με επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (Ολύμπιος, 2001). Οι λανθασμένοι χειρισμοί στην εξισορρόπηση της παραγωγής ανά φυτό σε σχέση με τη βλαστική ανάπτυξη μπορεί να οδηγήσει στην υποβάθμιση των χαρακτηριστικών ποιότητας των καρπών αλλά και στην εκδήλωση φυσιολογικών προβλημάτων όπως το “water soaking” (Valantin-Morison et al., 2006).

Καθώς τα φυτά αναπτύσσονται παράλληλα με την υποστύλωση του νήματος, αφαιρούνται όλοι οι πλάγιοι βλαστοί που φύονται στις καταβολές των φύλλων του κεντρικού βλαστού μέχρι το ύψος του 0,5 έως του 1 μέτρου από τη θέση φύτευσης, χωρίς όμως να αφαιρούνται τα αρσενικά άνθη. Οι επόμενοι πλάγιοι βλαστοί αφήνονται να αναπτυχθούν μέχρι να εμφανίσουν θηλυκά άνθη στους οφθαλμούς του πρώτου ή του δεύτερου φύλλου. Οι πλευρικοί βλαστοί οι οποίοι φέρουν καρπό στο στάδιο της αρχικής διόγκωσης κορυφολογούνται αφήνοντας 1 έως 3 φύλλα μετά τον καρπό (Ολύμπιος, 2001).

Η επικονίαση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας έντομα επικονιαστές. Τόσο οι μέλισσες (*Apis mellifera*) όσο και οι βομβίνοι (*Bombus spp.*) έλκονται από τα άνθη των κολοκυνθοειδών και αποδίδουν ικανοποιητικά. Η προσαρμοστικότητα των βομβίνων σε κλειστές καλλιέργειες καθώς και η υψηλότερη ανεκτικότητα που επιδεικνύουν σε υψηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις μέλισσες τους καθιστά κατάλληλους επικονιαστές για υπό κάλυψη καλλιέργειες. Ωστόσο αποτελεί μια σχετικά δαπανηρή επιλογή λόγω της ραγδαίας μείωσης του πληθυσμού τους κατά τη διάρκεια της περιόδου της επικονίασης, συνέπεια του σύντομου βιολογικού τους κύκλου και της διαθεσιμότητας της τροφής στο καλλιεργητικό περιβάλλον (Bomfim et al., 2016). Τα θηλυκά και τα ερμαφρόδιτα άνθη παραμένουν δεκτικά για επικονίαση για τις πρωινές ώρες των τριών

επόμενων ημερών μετά το άνοιγμά τους. Εάν δεν υπάρξει επικονίαση τότε αυτά μαραίνονται και αφορίζονται από το φυτό. Μεταξύ της βλάστησης του γυρεοσωλήνα και της γονιμοποίησης της ωοθήκης μεσολαβούν 24 έως 36 ώρες. Η συνθήκη για την επιλογή του χρόνου εγκατάστασης των κυψελών των επικονιαστών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι η εμφάνιση από 4 έως 7 θηλυκά άνθη ανά φυτό, με βάση το μέγεθος του καρπού της ποικιλίας (Ολύμπιος, 2001).

1.3.4. Απαιτήσεις σε θρέψη

Ως προς τις ανάγκες της θρέψης χαρακτηρίζεται ως μια απαιτητική καλλιέργεια, ιδιαίτερα όταν καλλιεργείται υπό κάλυψη, αντλώντας σημαντικές ποσότητες κυρίως αζώτου, ασβεστίου και καλίου, με λιγότερο σημαντικές ανάγκες σε φωσφόρο και μαγνήσιο (Ολύμπιος, 2001). Το αρχικό θρεπτικό διάλυμα έχει τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας $2,3 \text{ dS m}^{-1}$ και χορηγείται στα φυτά από την αρχή της βλαστικής ανάπτυξης μέχρι το στάδιο της εμφάνισης των πρώτων καρπών. Στην πεπονιά οι συγκεντρώσεις απορρόφησης κατά τη διάρκεια του σταδίου βλαστικής ανάπτυξης είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του αναπαραγωγικού, χωρίς όμως να παρατηρείται σημαντική διαφορά στις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που απορροφούνται (Σάββας, 2011a). Συνέπεια της διαφοράς αυτής είναι η ελαφρώς μικρότερη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο διάλυμα της ριζόσφαιρας κατά τη βλαστική ανάπτυξη σε σύγκριση με την τιμή αγωγιμότητας στο αναπαραγωγικό στάδιο. Η ελάχιστη ανυψωμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα στο διάλυμα ριζόσφαιρας κατά τη διάρκεια του αναπαραγωγικού σταδίου (λόγω της μείωσης της συγκέντρωσης απορρόφησης) είναι επιθυμητή, καθώς έχει θετική επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των καρπών (Σάββας, 2011a). Η συγκέντρωση και η διαθεσιμότητα του ασβεστίου στο θρεπτικό διάλυμα κατά τις πρώτες 15 ημέρες της ανάπτυξης των καρπών είναι ιδιαίτερα κρίσιμη καθώς επηρεάζει την πρωιμότητα των καρπών, την συνολική περιεκτικότητά τους σε σάκχαρα και την ευαισθησία στη φυσιολογική ασθένεια «υδαρής σάρκα» (Σάββας, 2011a), με ορισμένες ποικιλίες να παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στην εν λόγω φυσιολογική διαταραχή (Madrid et al., 2004; Valantin-Morison et al., 2006). Οι απαιτήσεις σε άζωτο δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές για την επίτευξη μεγάλης παραγωγής. Ωστόσο η αναλογία των μορφών αζώτου επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της καλλιέργειας και την ποιότητα των καρπών. Η παρουσία αζωτούχου λιπάνσεως σε αμμωνιακή μορφή σε ποσοστό 15% επί του συνολικού αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα επιδρά θετικά στην συνολική παραγωγή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, χωρίς να επηρεάσει την απορρόφηση άλλων στοιχείων (Σάββας, 2011a). Η αύξηση του φωσφόρου στο θρεπτικό διάλυμα σχετίζεται γραμμικά με την περιεκτικότητα των καρπών σε ολικά διαλυτά

στερεά κατά την ωρίμανση και αυξάνει σημαντικά την συνολική παραγωγή ανά φυτό, με τα βέλτιστα αποτελέσματα να παρατηρούνται σε συγκέντρωση 0.5 mM (Ben & Kafkafi, 2002). Το επίπεδο του καλίου επιδρά σημαντικά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Οι Lin και συνεργάτες (2004) αναφέρουν πως όταν το διάλυμα τροφοδοσίας περιέχει κάλιο σε συγκεντρώσεις από 120 έως 360 mg L⁻¹ παρατηρείται σημαντικά μεγαλύτερη συγκέντρωση σακχάρων, αμινοξέων και αρωματικών ενώσεων στους καρπούς, με τη βέλτιστη συγκέντρωση να προσεγγίζει τα 240 mg L⁻¹.

Πίνακας 2. Συνιστώμενη σύνθεση των διαλυμάτων τροφοδοσίας (Δ.Τ.), του διαλύματος ριζοστρώματος (Δ.Ρ.), καθώς και εκτιμώμενες συγκεντρώσεις απορρόφησης (Σ.Α.) για τα διάφορα στάδια της καλλιέργειας πεπονιάς σε ανοιχτά και κλειστά υδροπονικά συστήματα. Οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων αναφέρονται σε ως mmol L⁻¹ και των ιχνοστοιχείων σε μmol L⁻¹. Οι αναλογίες των στοιχείων δίνονται σε γραμμομοριακή βάση. (Σάββας, 2011a)

Ιόντα/ ιδιότητες διαλύματος	Αρχική διαβροχή	Στάδιο βλαστικής ανάπτυξης			Στάδιο καρποφορίας		
		Δ.Τ.	Σ.Α.	Δ.Ρ.	Δ.Τ.	Σ.Α.	Δ.Ρ.
EC (dS m ⁻¹)	2.5	2.3	2.0	2.7	2.2	1.9	2.9
pH	5.6	5.6	-	5.5 - 5.6	5.6	-	5.5 - 5.6
[K ⁺]	5.7	5.5	5.6	5.8	6.8	6.2	6.8
[Ca ²⁺]	5.5	4.8	3.65	7.0	4.0	3.15	7.0
[Mg ²⁺]	2.2	1.8	1.3	2.6	1.6	1.2	2.6
[NH ⁴⁺]	0.9	1.4	1.7	<0.8	1.1	1.3	<0.4
[SO ⁴ 2 ⁻]	2.3	1.9	1.2	3.2	2.1	1.1	3.8
[NO ³ 3 ⁻]	15.65	15.55	13.2	16.8	13.2	12.3	16.3
[H ₂ PO ⁴ 3 ⁻]	1.25	1.25	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
[Fe]	15.0	10.0	10.0	15.0	10.0	8.0	20.0
[Mn]	8.0	10.0	10.0	8.0	10.0	10.0	8.0
[Zn]	6.0	5.0	4.0	7.0	5.0	4.0	8.0
[Cu]	0.8	0.8	0.7	1.0	0.8	0.7	1.0
[B]	40.0	25.0	25.0	50.0	20.0	25.0	50.0
[Mo]	0.5	0.5	0.5	-	0.5	0.5	-
[K]:([K]+[Ca]+[Mg])	0.43	0.45	0.53	0.38	0.55	0.59	0.41
[Ca]:([K]+[Ca]+[Mg])	0.41	0.4	0.35	0.45	0.32	0.3	0.43
[Mg]:([K]+[Ca]+[Mg])	0.16	0.15	0.12	0.17	0.13	0.11	0.16
([NH ₄]+[NO ₃]):[K]	2.9	2.9	2.65	2.9	2.1	2.2	2.4
[NH ₄]:([NH ₄]+[NO ₃])	0.05	0.09	0.11	-	0.08	0.1	-

1.4. Η αλατότητα ως παράγοντας φυσιολογικής καταπόνησης

1.4.1. Η έκταση και η εξάπλωση του προβλήματος

Η υψηλή αλατότητα των εδαφών αποτελεί μια συνθήκη ικανή να μειώσει σημαντικά την καλλιεργητική αξία των εδαφών σε βάθος χρόνου, σε σημείο να χαρακτηριστούν ακατάλληλα για καλλιέργεια. Η αύξηση της αλατότητας των εδαφών αποτελεί ένα φαινόμενο με πολλαπλά αίτια, τόσο φυσικά όσο και ανθρωπογενή, με την κλιματική μεταβολή να συγκαταλέγεται σε ένα από αυτά ως ένας παράγοντας με σημαντική επιρροή στην εξάπλωση του φαινομένου (Meena et al., 2019). Η εμφάνιση του προβλήματος οφείλεται σε μηχανισμούς που περιλαμβάνουν μετεωρολογικά φαινόμενα, την αλληλεπίδραση και την ανάμιξη των θαλάσσιων υδάτων με τον εδαφικό υδροφόρο ορίζοντα και ένα μεγάλο σύνολο από καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται στη σύγχρονη γεωργία για την επίτευξη υψηλής παραγωγής (Eswar et al., 2021). Το νερό της θάλασσας περιέχει ιόντα Na^+ με τη μορφή του NaCl , ενώ περιέχει σε μικρότερες συγκεντρώσεις άλατα του ασβεστίου και του Μαγνησίου (Μήτσιος, 2001). Η αλατότητα των εδαφών αυξάνεται μέσω της ανάμιξης του υπόγειου υδατικού ορίζοντα με το θαλασσινό νερό, αλλά και με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, συνέπεια της ανθρωπογενούς κλιματικής μεταβολής (Eswar et al., 2021). Η υπερβολική άντληση των υπόγειων υδάτων για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών διευκολύνει τη διείσδυση του νερού της θάλασσας στο υπέδαφος, επιταχύνοντας τη διαδικασία (Cardona et al., 2004). Παράλληλα, μέσω του διαπνευστικού ρεύματος των φυτών και της εξάτμισης της εδαφικής υγρασίας απομακρύνονται σημαντικές ποσότητες ύδατος από το έδαφος, αυξάνοντας την συγκέντρωση των αλάτων σε εδάφη περιοχών με χαμηλές βροχοπτώσεις ή ελλείψεις σε αρδευτικό νερό (Taiz & Zeiger, 2010b). Η φυσική αποσάθρωση των εδαφών αποτελεί μια διεργασία η οποία σε βάθος χρόνου επιδρά στα μητρικά πετρώματα του εδάφους σχηματίζοντας ανόργανα άλατα (Munns & Tester, 2008).

Στην αγροτική παραγωγή συχνά οι καθιερωμένες πρακτικές συνεισφέρουν στην εξάπλωση του προβλήματος της αλατότητας των εδαφών. Η εντατικοποίηση των καλλιεργειών, η αλόγιστη χρήση συνθετικών λιπασμάτων και η άρδευση με νερό υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα υποβαθμίζει τα εδάφη σε βάθος χρόνου (Eswar et al., 2021). Η υποβάθμιση της καλλιεργήσιμης γης λόγω υψηλής αλατότητας αποτελεί ένα παγκόσμιο πρόβλημα για την αγροτική παραγωγή και την ασφάλεια τροφίμων, καθώς οδηγεί στην απώλεια καλλιεργήσιμων εκτάσεων, την συρρίκνωση του αγροτικού εισοδήματος, τη μείωση της παραγωγής και σε αρνητικές επιπτώσεις στην αγροτική οικονομία των πληγέντων περιοχών (Cheng et al., 2021; van Zelm et al., 2020).

Υπολογίζεται πως το 20% περίπου των αρδευόμενων καλλιεργήσιμων εκτάσεων έχουν υποβαθμιστεί λόγω υψηλής αλατότητας, καταλαμβάνοντας συνολική έκταση η οποία ξεπερνάει τα 1 δισεκατομμύρια εκτάρια συνολικά σε περισσότερες από 120 χώρες της Αφρικής, της Ασίας και της Νότιας Αμερικής (Eswar et al., 2021).

Τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών δεν προσλαμβάνονται από αυτά στην στοιχειακή τους μορφή, αλλά ως ιόντα τα οποία συμμετέχουν σε άλατα του εδαφικού διαλύματος. Όταν η συνολική αλατότητα οφειλόμενη σε θρεπτικά και μη άλατα αγγίζει ή ξεπερνά τιμές – όρια πάνω από τις οποίες παρατηρείται δυσμενή επίδραση στη φυτική ανάπτυξη, τότε το καλλιεργητικό μέσο χαρακτηρίζεται ως αλατούχο. Γενικότερα, ως αλατούχα θεωρούνται τα εδάφη με τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας η οποία αγγίζει ή και ξεπερνάει τα 4 dS m^{-1} . Συγκέντρωση 40 mM Na^+ στο έδαφος δημιουργεί οσμωτική πίεση στο περιβάλλον των ριζών ίση με 0.2 Mpa (Munns & Tester, 2008; Shabala & Munns, 2017). Το κύριο άλας που δημιουργεί το πρόβλημα της αλατότητας των εδαφών είναι το NaCl , ενώ συχνά στην καταπόνηση συμμετέχουν μέσω υψηλών συγκεντρώσεων και άλατα Ca^+ , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} και Mg^{2+} (Shabala & Munns, 2017). Με βάση την αντοχή που επιδεικνύουν σε περιβάλλοντα με συνθήκες που οδηγούν σε αλατούχο καταπόνηση, τα φυτικά είδη χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα αλόφυτα, στα οποία περιλαμβάνονται είδη με σχετικά υψηλή ανεκτικότητα σε άλατα και στα γλυκόφυτα όπου ανήκουν τα περισσότερα καλλιεργούμενα είδη και ποικιλίες (Acosta-Motos et al., 2017).

Η αβιοτική καταπόνηση προκύπτει ως συνέπεια οσμωτικών φαινομένων στην αλληλεπίδραση μεταξύ του καλλιεργητικού υποστρώματος και της ρίζας, αλλά και σε κυτταροτοξικό επίπεδο όταν η συγκέντρωση των ιόντων ευθυνόμενων για το φαινόμενο προσλαμβάνονται από το φυτό και σταδιακά συσσωρεύονται στους φυτικούς ιστούς. Συνήθως η υδατική καταπόνηση οφειλόμενη στην οσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος εκδηλώνεται σε σύντομο χρόνο από την εμφάνιση της υψηλής αλατότητας, ενώ η τοξική επίδραση στους φυτικούς ιστούς αποτελεί συνέπεια μακροπρόθεσμης έκθεσης στις υψηλές συγκεντρώσεις των αλάτων (Munns & Tester, 2008).

1.4.2. Οσμωτική καταπόνηση

Κατά τη διάρκεια της άμεσης απόκρισης στην οσμωτική καταπόνηση παρατηρείται μείωση του ρυθμού της βλαστικής ανάπτυξης, της έκπτυξης φύλλων και της ανάπτυξης νέων οφθαλμών (Munns & Tester, 2008; Taiz et al., 2015). Ο βαθμός της μείωσης εξαρτάται από τη

διάρκεια και την ένταση της καταπόνησης, το φυτικό είδος το οποίο εξετάζεται, το φυτικό ιστό και τις πιθανές μεταχειρίσεις για τη διαχείριση και τον έλεγχο της καταπόνησης (Bartels & Sunkar, 2005). Η βλάστηση των ήδη υπάρχοντων οφθαλμών τείνει να αναστέλλεται, μειώνοντας την συνολική βλαστική ανάπτυξη. Η εικόνα αρκετών δικοτυλήδων ειδών υπό την επίδραση οσμωτικής καταπόνησης για μεγάλη χρονική διάρκεια συχνά συνοδεύεται από μικρά φύλλα και μικρότερο αριθμό βλαστών σε σύγκριση με τα υγιή φυτά (Munns & Tester, 2008). Σε έκθεση σε μέτρια επίπεδα αλατότητας μπορεί να παρατηρηθεί βαθμιαία μείωση του ρυθμού ανάπτυξης πλαγίων βλαστών, καθώς και ταχύτερη είσοδος στο αναπαραγωγικό στάδιο και ανθοφορία με μειωμένο αριθμό ανθέων. Σε αυτό το στάδιο της καταπόνησης συνεχίζεται η ανάπτυξη νέων φύλλων, ωστόσο συχνά παρατηρείται ο θάνατος φύλλων μεγαλύτερης ηλικίας (Shabala & Munns, 2017). Απότομη αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων στο έδαφος οδηγεί στην απώλεια της σπαργής των κυττάρων των φύλλων η οποία σύντομα αποκαθίσταται. Ωστόσο μειώνεται σημαντικά η τάνυση τους, μειώνοντας το μέγεθος των κυττάρων με συνέπεια την ανάπτυξη φύλλων με μικρότερη επιφάνεια (Munns et al., 2000; Shabala & Munns, 2017). Η μείωση της φυλλικής επιφάνειας ενδεχομένως αποτελεί μηχανισμό ανεκτικότητας ενάντια στον παράγοντα καταπόνησης καθώς συντελεί στην εξεικονόμηση ύδατος μέσω του περιορισμού της διαπνοής (Acosta-Motos et al., 2017).

Η καταπόνηση δεν έχει δυσμενή επίδραση μόνο στα ανεπτυγμένα φυτά αλλά και στα νεαρά αρτίβλαστα κατά την βλάστηση των σπερμάτων και την έκπτυξή τους από το έδαφος. Το περιβάλλον που δημιουργείται αυξάνει σημαντικά τη διάρκεια του φυτρώματος και το χρόνο παραμονής στο έδαφος, με αποτέλεσμα την υψηλότερη έκθεση των νεαρών φυτών σε παθογόνους μικροοργανισμούς και εχθρούς που βρίσκονται στο έδαφος (Sahab et al., 2021).

1.4.3. Ιοντική καταπόνηση

Παρατεταμένη έκθεση του ριζικού συστήματος σε αλατούχο περιβάλλον επιτρέπει την πρόσληψη και την σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης ιόντων αλάτων στους ιστούς των φύλλων σε τοξικά επίπεδα, σηματοδοτώντας την έναρξη του σταδίου της ιοντικής καταπόνησης (Munns & Tester, 2008). Η σταδιακή συσσώρευση των ιόντων Na^+ και Cl^- στα φύλλα επιταχύνει τη διαδικασία γηρασμού, μειώνοντας δραστικά την συνολική φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών (Shabala & Munns, 2017). Η σταδιακή συσσώρευση ιόντων νατρίου και χλωρίου στα φύλλα σε συγκεντρώσεις οι οποίες μπορούν να ξεπεράσουν τα 100 mM, μειώνει την φωτοσυνθετική και

την ενζυμική δραστηριότητα στο εσωτερικό των κυττάρων, προκαλεί μετουσίωση των πρωτεϊνών και την αποσταθεροποίηση των κυτταρικών μεμβρανών (Taiz et al., 2015). Στο εσωτερικό των χλωροπλαστών παρατηρείται αποδόμηση των μορίων της χλωροφύλλης και αποδιοργάνωση των μεμβρανών των θυλακοειδών και των στοιβάδων (grana) που σχηματίζουν (Acosta-Motos et al., 2017; Ashraf & Harris, 2013).

Μια σημαντική παράμετρος που καθιστά τα ιόντα Na^+ τοξικά στο εσωτερικό των κυττάρων, είναι η ικανότητά τους να ανταγωνίζονται άλλα στοιχεία για την πρόσληψη από το έδαφος ή ως προς το βιοχημικό τους ρόλο. Το κάλιο εντοπίζεται στους φυτικούς ιστούς με την ιοντική του μορφή, συμμετέχει σε μηχανισμούς ρύθμισης της οσμωτικής ισορροπίας των κυττάρων, καθώς και στην ενεργοποίηση περισσότερων από 50 ενζύμων σχετιζόμενων με τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή (Taiz et al., 2014). Η τοξικότητα των ιόντων Na^+ οφείλεται σε σημαντικό βαθμό στην ανταγωνιστική τους δράση ως προς τα ιόντα K^+ στις διεργασίες των φυτικών κυττάρων. Στο εδαφικό διάλυμα, υψηλή συγκέντρωση Na^+ μειώνει σημαντικά την πρόσληψη ιόντων K^+ , Mg^{2+} και NH_4^+ , καθώς ανταγωνίζεται τα θρεπτικά ιόντα για τις διόδους μεταφοράς στα κύτταρα των ριζών (Shabala & Munns, 2017). Η σταδιακή συσσώρευση ιόντων Na^+ στο εσωτερικό των κυττάρων μειώνει τη διαφορά δυναμικού των κυτταρικών μεμβρανών, δημιουργώντας μία ακόμα δυσκολία στην πρόσληψη θρεπτικών ιόντων μέσω παθητικής διάχυσης (Shabala & Munns, 2017).

1.4.4. Φυσιολογία της καταπόνησης

Στην πρώτη εμφάνιση της καταπόνησης λόγω υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων νατρίου στο έδαφος παρατηρείται απότομη αύξηση στο κυτταρόπλασμα παραγόντων οι οποίοι επάγουν την έκφραση γονιδίων σχετιζόμενων με την αντοχή στην αλατότητα, όπως των ιόντων ασβεστίου, ενεργών μορφών οξυγόνου καθώς και της κυκλικής μονοφωσφορικής γουανωσίνης. Η αρχική απόκριση χαρακτηρίζεται από σχετική αμεσότητα, καθώς συμβαίνει σε χρόνο ο οποίος διαρκεί λίγα λεπτά ή και δευτερόλεπτα (Munns & Tester, 2008; van Zelm et al., 2020). Η μείωση του ρυθμού της βλαστικής ανάπτυξης και η παύση της σε συνθήκες καταπόνησης ελέγχονται από τα ενδογενή επίπεδα ορμονών. Η οσμωτική καταπόνηση λόγω αλάτων επάγει την παύση της ανάπτυξης και την σημαντική μείωση του ρυθμού της αύξησης του ριζικού συστήματος και συνοδεύεται από την αύξηση του επιπέδου της αμψισικού οξέος στους φυτικούς ιστούς. Ωρες μετά την αρχική έκθεση σε υψηλή αλατότητα, κατά την μερική επαναφορά των φυσιολογικών

ρυθμών ανάπτυξης παρατηρείται μείωση του επιπέδου του αμψισικού οξέος και αύξηση του ιασμονικού οξέος, των μπρασινοστεροειδών φυτικών ορμονών και του γιβερρελλικού οξέος (van Zelm et al., 2020). Η συσσώρευση αμψισικού οξέος επάγει το κλείσιμο των στομάτων, έχοντας ως συνέπεια τη μείωση της στοματικής αγωγιμότητας και της ικανότητας ανταλλαγής αερίων των φωτοσυνθετικών ιστών με το περιβάλλον. Ενδοκυτταρικά, η συσσώρευση ιόντων νατρίου και χλωρίου προκαλεί ζημία στον φωτοσυνθετικό μηχανισμό μέσω της αποδόμησης των μορίων της χλωροφύλλης και της αποδιοργάνωσης των θυλακοειδών μεμβρανών στους χλωροπλάστες, παρεμποδίζοντας τη δράση των ενζύμων των αντιδράσεων της φωτοσύνθεσης που είναι εξαρτημένες από το φως (Ashraf & Harris, 2013). Ο περιορισμός της δραστηριότητας των φωτοσυνθετικών ιστών σε συνδυασμό με το μειωμένο ρυθμό της ανάπτυξης νέων φύλλων περιορίζει σημαντικά την ικανότητα του φυτού να εφοδιάζει τις μεριστωματικές περιοχές με φωτοσυνθετικά προϊόντα, έχοντας δυσμενές αντίκτυπο στην συνολική αύξηση και ανάπτυξη (Shabala & Munns, 2017). Στα φύλλα, το ενδογενώς παραγόμενο 1-αμινο-κυκλοπροπανο-1-καρβοξυλικό οξύ μετατρέπεται σε αιθυλένιο (καθώς αποτελεί την πρόδρομη ένωση της εν λόγω φυτικής ορμόνης) επάγοντας τη γήρανση των φύλλων (Acosta-Motos et al., 2017). Η νέκρωση μεγάλου αριθμού φύλλων ελαττώνει την ικανότητα του φυτού να εφοδιάζει τους μεριστωματικούς ιστούς με ορμόνες ανάπτυξης, μειώνοντας την ικανότητά του για αύξηση και τον σχηματισμό νέων οργάνων (Acosta-Motos et al., 2017).

Τόσο η οσμωτική καταπόνηση μέσω της μείωσης της στοματικής αγωγιμότητας, όσο και η ιοντική καταπόνηση με την συσσώρευση ιόντων Na^+ στο εσωτερικό των κυττάρων οδηγεί στην αύξηση της οξειδωτικής καταπόνησης μέσω της επίδρασής της στη φωτοσύνθεση και την κυτταρική αναπνοή, η οποία έχει ως συνέπεια την παραγωγή ενεργών μορφών οξυγόνου. Η συσσώρευσή τους δεν παρατηρείται μόνο στα φύλλα αλλά και στις ρίζες, επηρεάζοντας την πρόσληψη του Ca^{2+} και την συγκέντρωση του K^+ στο εσωτερικό του κυττάρου, επάγοντας τη φυσιολογική διεργασία του προγραμματισμένου κυτταρικού θανάτου όταν τα δύο ιόντα φτάσουν κάποια κρίσιμη συγκέντρωση. Τα ανηγμένα παράγωγα του οξυγόνου που προκύπτουν προκαλούν ζημία σε μόρια βιολογικής σημασίας όπως τις πρωτεΐνες των ενζύμων, το γενετικό υλικό των κυττάρων ή τα λιπίδια των μεμβρανών (Shabala & Munns, 2017).

1.4.5. Μηχανισμοί αντοχής των φυτών σε συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας

Τα φυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς αντιμετώπισης των ωσμωτικών καταπονήσεων. Αυτοί περιλαμβάνουν την σύνθεση και την αποθήκευση ωσμωρυθμιστικών ενώσεων και ιόντων, κυρίως στο εσωτερικό των χυμοτοπίων όπου δεν αλληλοεπιδρούν άμεσα με βιοχημικές οδούς οι οποίες συμβαίνουν στο κυτταρόπλασμα. Για την εξισορρόπηση της ωσμωτικής πίεσης των χυμοτοπίων στο κυτταρόπλασμα αυξάνεται η συγκέντρωση οσμωλυτικών ενώσεων όπως η σορβιτόλη, η προλίνη και η γλυκίνη-βεταΐνη (Acosta-Motos et al., 2017; Taiz et al., 2015). Για το περιορισμό της απώλειας ύδατος από το εσωτερικό των κυττάρων συμβαίνουν αλλαγές στην κυτταρική μεμβράνη με σκοπό τη μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως με την ελάττωση του αριθμού των διαμεμβρανικών πορινών ύδατος σε αυτήν (Acosta-Motos et al., 2017). Άλλες στρατηγικές οι οποίες εμφανίζονται στο φυτικό βασίλειο περιλαμβάνουν μηχανισμούς αποτροπής πρόσληψης ιόντων νατρίου ή την απέκκρισή του χρησιμοποιώντας εξειδικευμένους αδένες (Bartels & Sunkar, 2005; Shabala & Munns, 2017).

1.4.6. Το πρόβλημα της αλατότητας στις καλλιέργειες εκτός εδάφους

Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο διάλυμα της ριζόσφαιρας έχει την τάση να αυξάνεται σε βάθος χρόνου δημιουργώντας τις κατάλληλες συνθήκες για την εμφάνιση καταπόνησης λόγω υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος. Η αύξηση οφείλεται στην σταδιακή συγκέντρωση κυρίως των δισθενών ιόντων στο διάλυμα της ριζόσφαιρας και την αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Na^+ και Cl^- , πρόβλημα το οποίο εμφανίζεται ιδιαίτερα στα κλειστά υδροπονικά συστήματα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αρδευτικού νερού που χρησιμοποιείται αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα, καθώς σε περιοχές όπου το νερό περιέχει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων, τίθεται ένα κατώτατο όριο αλατότητας για το θρεπτικό διάλυμα (Σάββας, 2011c). Όταν η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος ριζοστρώματος ξεπεράσει ένα κρίσιμο σημείο το αποτέλεσμα είναι η συνολική μείωση της παραγωγής λόγω της αλατούχου καταπόνησης της καλλιέργειας. Τα ανεκτά όρια αλατότητας του διαλύματος ριζοστρώματος μπορούν να προσδιοριστούν πειραματικά και διαφέρουν μεταξύ των καλλιεργούμενων ειδών και των ποικιλιών με βάση την ευαισθησία που παρουσιάζουν στην εν λόγω καταπόνηση (Silber & Bar-Tal, 2008; Σάββας, 2011c). Η επίδραση της καταπόνησης στη βλαστική ανάπτυξη έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας για την σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων ικανών να ασκήσουν έλεγχο στην έντονη βλαστική ανάπτυξη στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας αρκετών κηπευτικών ειδών (Σάββας, 2011c). Αυτό φαίνεται να ισχύει και για την καλλιέργεια της

πεπονιάς όπου μικρή αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο διάλυμα της ριζόσφαιρας κατά το στάδιο της αύξησης της μάζας και της ωρίμανσης των καρπών έχει ως συνέπεια την αύξηση της ξηράς ουσίας και των σακχάρων, με πιθανή μικρή μείωση του μέσου μεγέθους των καρπών. Ακραίες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας έχουν ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της παραγωγής μέσω του περιορισμού του μεγέθους των καρπών και του αριθμού τους ανά φυτό (Σάββας, 2011a). Μικρή αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας συνήθως επιδρά αρνητικά στο μέγεθος της παραγωγής και τη μέση μάζα των καρπών, ενώ παράλληλα βελτιώνει τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά. Ελεγχόμενη ανύψωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ασκεί επίδραση και στην εκδήλωση ορισμένων φυσιολογικών ασθενειών σχετιζόμενων με τη θρέψη στα καρποδοτικά και τα φυλλώδη κηπευτικά. Η λήψη αποφάσεων σχετικά με τη σύσταση της συνταγής θρέψης και την αυξομείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας βασίζεται στη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος της ριζόσφαιρας ή του κλάσματος απορροής, αλλά και του όγκου απορροής στα ανοιχτά συστήματα. Στα ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας σε υποστρώματα, η αύξηση της συχνότητας των ποτισμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη συχνότερη έκπλυση της ριζόσφαιρας και την απομάκρυνση των αλάτων από το περιβάλλον της. Η αποτελεσματικότερη προσέγγιση στο πρόβλημα της αυξημένης αλατότητας στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας είναι η αναπροσαρμογή της σύστασης του διαλύματος τροφοδοσίας μειώνοντας την ηλεκτρική του αγωγιμότητα. Η μείωση επιτυγχάνεται συχνά με τη μείωση των ιόντων Ca^{2+} , SO_4^{2-} και Mg^{2+} στο διάλυμα τροφοδοσίας, καθώς απορροφούνται δύσκολα από τα φυτά και τείνουν να συσσωρεύονται στο περιβάλλον της ρίζας. Σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται μεγάλη αύξηση της αγωγιμότητας στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας και υπάρχει διαθέσιμο βρόχινο ή αφαλατωμένο νερό με ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από 0.2 dS m^{-1} , η έκπλυση του ριζοστρώματος αποτελεί την τελευταία λύση (Σάββας, 2011c). Οι Akrami και Arzami (2018) αναφέρουν πως η καταπόνηση με υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα μειώνει το σχετικό περιεχόμενο σε νερό των φύλλων, τη σταθερότητα των μεμβρανών. Οι ερευνητές παρατήρησαν σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης μηλονδιαλδεΐδης (η οποία αποτελεί δείκτη της υπεροξειδωσής των λιπιδίων των κυτταρικών μεμβρανών) και του H_2O_2 στους ιστούς των φύλλων, καθώς και της συνολικής συγκέντρωσης προλίνης και των ολικών διαλυτών σακχάρων, λόγω του φυσιολογικού τους ρόλου στην αντιμετώπιση της καταπόνησης. Σημαντική χαρακτηρίζεται και η μείωση στην παραγωγή ανά φυτό και η βελτίωση ορισμένων χαρακτηριστικών ποιότητας. Οι Amor κ.ά. (1999) σε καλλιέργεια πεπονιάς σε σάκους περλίτη και

χορήγηση αλατούχου θρεπτικού διαλύματος σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης καταλήγουν στο συμπέρασμα πως ο χρόνος εφαρμογής και η ένταση της καταπόνησης σχετίζονται με το βαθμό της αρνητικής επίπτωσης στις παραμέτρους της βλαστικής ανάπτυξης και το μέγεθος της παραγωγής, αυξάνοντας παράλληλα τα ολικά διαλυτά στερεά, την περιεκτικότητα σε σάκχαρα και την τιτλοδοτούμενη οξύτητα. Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουν και οι Botía κ.ά. (2005) για δύο εμπορικές ποικιλίες πεπονιάς, όπου παρατηρήσανε μείωση του συνολικού αριθμού των εμπορεύσιμων καρπών, βελτιώνοντας παράλληλα τα χαρακτηριστικά ποιότητας. Οι Huang κ.ά. (2012) συμφωνούν ως προς τη μείωση της συνολικής παραγωγής, ως αποτέλεσμα της μείωσης του μέσου βάρους των καρπών και όχι της μείωσης του αριθμού ανά φυτό, η οποία στο πείραμά τους δεν χαρακτηρίζεται ως στατιστικά σημαντική. Ως προς την ανάπτυξη του φυτού παρατηρείται σημαντική μείωση της εξατμισοδιαπνοής, της χρονικής μεταβολής της φυλλικής επιφάνειας και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Αντίθετα παρατηρήθηκε αύξηση του δείκτη συγκομιδής (ο λόγος της απόδοσης ενός φυτού ως προς τη βιομάζα του υπέργειου τμήματος) και των ολικών διαλυτών στερεών. Το οσμωτικά εχθρικό περιβάλλον που δημιουργείται σε υποστρώματα με υψηλή αλατότητα επηρεάζει και τη βλαστική ικανότητα των σπόρων. Χαμηλά επίπεδα αλατότητας μπορούν να καθυστερήσουν σημαντικά τη βλάστηση των σπερμάτων, ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορούν να διακόψουν τη βλάστησή τους. Ωστόσο Η διακοπή αυτή είναι αναστρέψιμη με τις κατάλληλες μεταχειρίσεις, καθώς δεν οφείλεται σε ζημιά των ιστών από ιοντική καταπόνηση. Κατά τη διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ στα βλαστικά όργανα και μείωση στα ιόντα K^+ στους ιστούς της ρίζας (Botía et al., 1998). Η επίδραση της καταπόνησης στα φυτά και ο βαθμός στον οποίο αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν ανεκτικά σε αυτήν εξαρτάται σημαντικά από τα γενοτυπικά χαρακτηριστικά της ποικιλίας (da Silva et al., 2021; Ekinçialp, 2019).

1.4.7. Η χρήση υφάλμυρου νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών

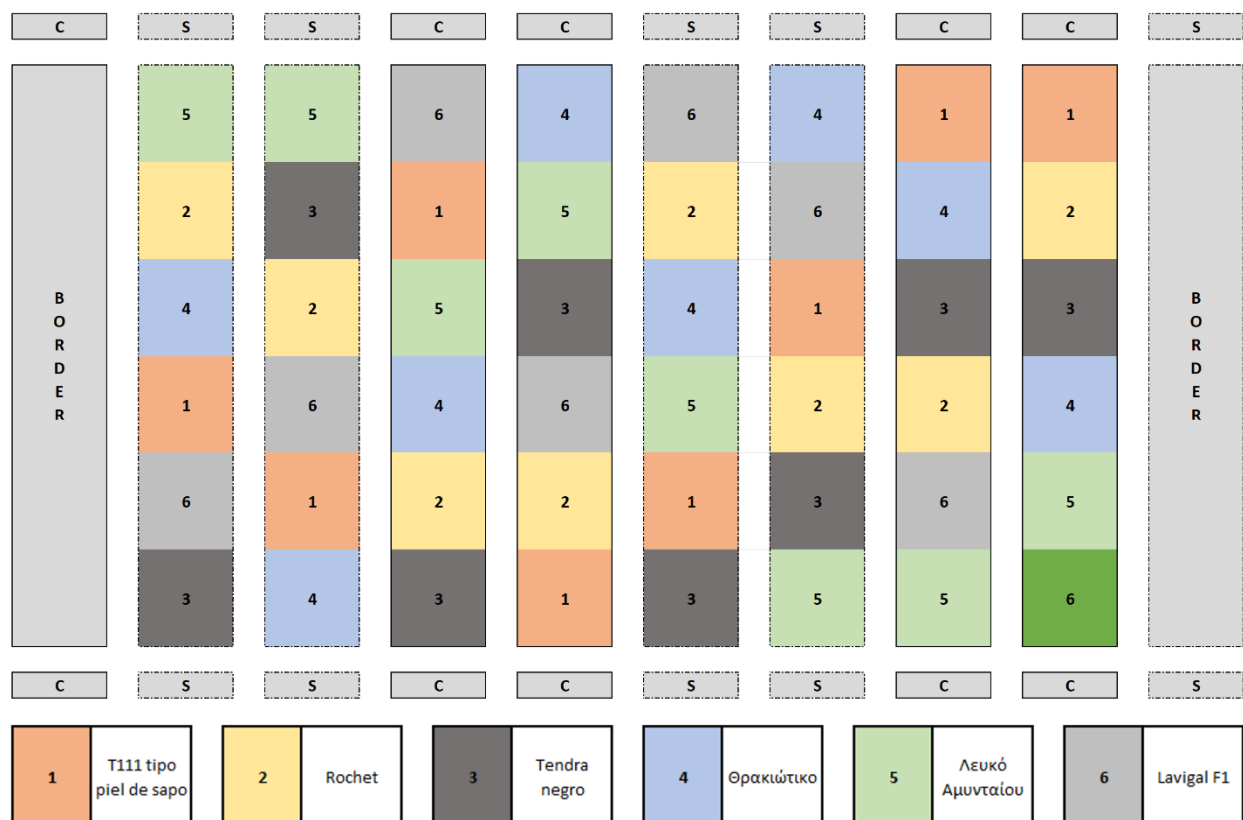
Η μελέτη της επίδρασης της αλατότητας στη φυτοϋγεία και την ανάπτυξη των φυτών δεν περιορίζεται μόνο στο αντίκτυπό της στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, αλλά μπορεί να αξιοποιηθεί στην εύρεση πρακτικών λύσεων σε προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη αρδευτικού νερού ή την κακή ποιότητά του λόγω της περιεκτικότητας σε άλατα. Σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις όπου το αρδευτικό νερό είναι περιορισμένο, συχνά η μόνη επιλογή για την κάλυψη των αναγκών σε άρδευση είναι η χρήση νερού με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ή υφάλμυρου νερού (Cheng et al., 2021). Ως υφάλμυρο συνήθως αναφέρεται το νερό με ηλεκτρική

αγωγιμότητα η οποία κυμαίνεται από 1 έως 6 dS m⁻¹, με υψηλή συνήθως συγκέντρωση σε ιόντα Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻ και Cl⁻. Σε περιοχές του κόσμου όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο αρδευτικό νερό με επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά, η χρήση υφάλμυρου νερού αποτελεί μία από τις λίγες επιλογές για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών δημιουργώντας προβλήματα στην παραγωγή και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις μακροπρόθεσμα (Yasuor et al., 2020). Η πορεία της κλιματικής μεταβολή καθιστά σαφές το γεγονός πως τα επόμενα χρόνια περιοχές οι οποίες δεν αντιμετώπιζαν σοβαρό πρόβλημα ως προς την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών θα χρειαστεί να αναπτύξουν στρατηγικές που περιλαμβάνουν την χρήση νερού με υψηλή αλατότητα (Nikolaou et al., 2020).

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Σχεδιασμός του πειράματος

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε πλήρως τυχαίο πειραματικό σχέδιο με παράγοντες την αλατούχο καταπόνηση και την καλλιεργούμενη ποικιλία. Χρησιμοποιήθηκαν 6 διαφορετικές ποικιλίες πεπονιάς, εκ των οποίων οι 5 χαρακτηρίζονται ως παραδοσιακές ποικιλίες καλλιεργούμενες στις περιοχές της μεσογειακής λεκάνης (Λευκό πεπόνι Αμυνταίου, Piel de Sapo, Rochet, Θρακιώτικο πεπόνι, Tendral Negro) ενώ η 6η ποικιλία αποτελεί υβρίδιο με σημαντική εξάπλωση στη χώρα μας (Lavigal F1). Για κάθε ποικιλία καλλιεργήθηκαν 8 φυτά ανά μεταχείριση. Η θέση των πειραματικών μονάδων απεικονίζεται στην σχηματική αναπαράσταση της εικόνας που ακολουθεί, όπου ο κάθε αριθμός αντιπροσωπεύει ένα σάκο με 2 θέσεις φύτευσης για φυτά πεπονιάς της ίδιας ποικιλίας.



Εικόνα 2. Το πειραματικό σχέδιο. Τα αριθμημένα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τους σάκους περιλίτη με 2 φυτά της αντίστοιχης ποικιλίας με βάση το υπόμνημα. Με "C" ορίζονται οι μεταχειρίσεις του μάρτυρα, ενώ με "S" οι μεταχειρίσεις της αλατούχου καταπόνησης.

2.2. Τοποθεσία και χρόνος του πειράματος

Το πείραμα έλαβε χώρα σε υαλόφρακτη αμφικλινή θερμοκηπιακή εγκατάσταση του εργαστηρίου κηπευτικών καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, με έναρξη των εργασιών το Μάρτιο του 2021 και ολοκλήρωση του πειράματος τον Ιούλιο του 2021. Κατά τη λήξη του πειράματος τα φυτά αφαιρέθηκαν από το θερμοκήπιο και ακολούθησαν διαδικασίες μετρήσεων και απομόνωσης δειγμάτων για τις εργαστηριακές αναλύσεις. Η θέση του θερμοκηπίου αντιστοιχεί στις συντεταγμένες 37°58'56.0"N 23°42'17.2"E και βρίσκεται στα 29 μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.

2.3. Θερμοκηπιακή εγκατάσταση

Ο θάλαμος της καλλιέργειας είχε συνολική επιφάνεια 68 m². Οι σάκοι με το υπόστρωμα τοποθετήθηκαν πάνω σε βάσεις σε ύψος 0.5 m από το έδαφος και 20 cm απόσταση μεταξύ των γραμμών. Οι καλλιεργητικές φροντίδες και ο έλεγχος των φυτών γινόταν μέσω των βοηθητικών διαδρομών πλάτους 104.5 cm ανά δύο βάσεις. Οι βάσεις στήριξης πλευρικά σχημάτιζαν κανάλια απορροής, όπου η όλη διάταξη είχε κλίση 2% για τη διοχέτευση και την συλλογή του διαλύματος απορροής σε δοχεία που τοποθετήθηκαν στα άκρα των καναλιών. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας πραγματοποιήθηκε μέσω του ανοίγματος παραθύρων με εντομοστεγές δίχτυ στην οροφή και τις πλευρές του θερμοκηπίου. Η διαχείριση του κλίματος πραγματοποιήθηκε από ρυθμιζόμενο αυτοματοποιημένο σύστημα διαχείρισης του εξοπλισμού του θερμοκηπίου. Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δεν υπάρχει έδαφος, καθώς το δάπεδο αποτελείται από σκυρόδεμα.



Εικόνα 3. Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του πειράματος.

2.4. Φυτοπολλαπλασιαστικό υλικό

Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν σπόροι 6 ποικιλιών πεπονιάς. Οι 5 από αυτές (Rochet, Tendral Negro, Θρακιώτικο, Λευκό πεπόνι Αμυνταίου, T111 Piel de Sapo) χαρακτηρίζονται ως παραδοσιακές ποικιλίες της μεσογειακής λεκάνης, ενώ η 6^η (Lavigal F1, Hazera S.A.) αποτελεί υβρίδιο με σημαντική καλλιεργητική εξάπλωση.

2.5. Υλικοτεχνικός εξοπλισμός του πειράματος

2.5.1. Καλλιεργητικό υπόστρωμα

Για την φύτευση χρησιμοποιήθηκαν σάκοι από πολυαιθυλένιο (λευκού χρώματος εξωτερικά και μαύρου χρώματος στην εσωτερική πλευρά) με ύψος 17 cm, πλάτος 23 και μήκος 90 cm. Ως υπόστρωμα καλλιέργειας στο εσωτερικό του σάκου χρησιμοποιήθηκε περλίτης. Σε κάθε σάκο τοποθετήθηκαν 2 φυτά της ίδιας ποικιλίας σε αυτοσχέδιες σχισμές στην επάνω πλευρά του σάκου με αποστάσεις 50 cm μεταξύ τους. Σε κάθε ένα από τα 10 κανάλια στήριξης

τοποθετήθηκαν 6 σάκοι με υπόστρωμα. Πριν τη μεταφορά των νεαρών φυτών στους σάκους με τον περλίτη πραγματοποιήθηκε διαβροχή του υποστρώματος με θρεπτικό διάλυμα διαβροχής (η



Εικόνα 4. Οι σάκοι με το υπόστρωμα καλλιέργειας τοποθετημένοι στις μεταλλικές υδροροές. Στους σάκους διακρίνονται οι θέσεις μεταφύτευσης των σποροφύτων, καθώς και οι σταλάκτες άρδευσης με το θρεπτικό διάλυμα.

σύσταση των θρεπτικών διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρεται σε ξεχωριστή ενότητα). Όταν το υπόστρωμα βρέθηκε στην κατάσταση υδατικού κορεσμού, η περίσσεια του θρεπτικού διαλύματος απομακρύνθηκε ως απορροή με την δημιουργία 2 κάθετων τομών στους σάκους οι οποίες έφταναν μέχρι το σημείο επαφής του σάκου με το κανάλι στήριξης. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας οι σχισμές επέτρεπαν την απορροή του πλεονάζοντος θρεπτικού διαλύματος και την συλλογή του ως κλάσμα απορροής.

2.5.2. Εξοπλισμός αρδευτικού δικτύου

Για τον έλεγχο της άρδευσης χρησιμοποιήθηκαν αντλίες με ηλεκτροβάνες για την ενεργοποίηση και τον έλεγχο της διάρκειας των αρδεύσεων. Για την αραίωση και την αποθήκευση των διαλυμάτων τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκαν πλαστικές δεξαμενές πολυαιθυλενίου 190 λίτρων. Για την παροχή του θρεπτικού διαλύματος στο υπόστρωμα επιλέχθηκε η μέθοδος της στάγδην αρδεύσεως χρησιμοποιώντας λόγχες υδροπονίας μήκους 15,5 cm με διατομή 3.2 mm και σταλάκτες για παροχή θρεπτικού διαλύματος με όγκο 2 lt h⁻¹. Σε κάθε θέση φύτευσης τοποθετήθηκε μία λόγγη και η τροφοδοσία των σταλακτών πραγματοποιήθηκε μέσω δικτύου πλαστικών σωληνώσεων Ø16. Ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος, η συχνότητα και η διάρκεια των αρδεύσεων μεταβαλλόταν κατά τη διάρκεια του πειράματος με σκοπό τη διατήρηση του κλάσματος απορροής στο 30%. Η αραίωση των πυκνών διαλυμάτων, καθώς και η τελική ρύθμιση του pH για την σύνθεση του διαλύματος τροφοδοσίας πραγματοποιήθηκε σε μίκτη συνολικού όγκου 330 λίτρων, από όπου μέσω δικτύου σωληνώσεων το θρεπτικό διάλυμα των δύο μεταχειρίσεων κατέληγε στην αντίστοιχη πλαστική δεξαμενή άρδευσης.

2.5.3. Θρέψη και αλατούχος καταπόνηση

Η σύσταση των θρεπτικών διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθεται στο παράρτημα. Στη μεταχείριση της καταπόνησης, στο θρεπτικό διάλυμα προστέθηκε NaCl έτσι ώστε να διατηρείτε η συγκέντρωση των 30 mM του άλατος στη ριζόσφαιρα.

2.6. Εγκατάσταση, καλλιεργητικές φροντίδες και φυτοπροστασία

Στις 18 Μαρτίου 20221 πραγματοποιήθηκαν οι μεταχειρίσεις απολύμανσης και επαγωγής της βλάστησης του φυτοπολλαπλασιαστικού υλικού. Αρχικά οι σπόροι απολυμάνθηκαν σε διάλυμα φωσφορικού νατρίου (Na₃PO₄) 15% w/v με απεσταγμένο νερό για 20 λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου υπό συνεχή ανάδευση σε μαγνητικό αναδευτήρα, εξασφαλίζοντας την πλήρη διαβροχή των σπόρων από το απολυμαντικό διάλυμα. Ακολούθησε η απομάκρυνση του φυτοπολλαπλασιαστικού υλικού από το διάλυμα και η έκπλυσή τους με άφθονο νερό, έτσι ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος του απολυμαντικού παράγοντα από την επιφάνειά τους. Μετά την απολύμανση οι σπόροι τοποθετήθηκαν σε απορροφητικό χαρτί. Στη συνέχεια οι σπόροι τοποθετήθηκαν σε τρυβλία στο εσωτερικό θαλάμου προβλάστησης στους 25 °C.



Εικόνα 5. Χειρισμοί προβλάστησης των σπόρων της πεπονιάς (από το φωτογραφικό αρχείο του πειράματος της Θεοδώρας Ντάναση, υποψήφια διδάκτορας του εργαστηρίου κηπευτικών καλλιεργειών)

Μετά τη βλάστηση ακολούθησε η φύτευση των σπόρων σε πλαστικά φυτοδοχεία με μίγμα τύρφης - περλίτη. Στο στάδιο της έκπτυξης του 1^{ου} πραγματικού φύλλου χρησιμοποιήθηκε αραιωμένο θρεπτικό διάλυμα για την κάλυψη των θρεπτικών αναγκών των νεαρών φυτών μέχρι την εμφάνιση του 4^{ου} πραγματικού φύλλου.



Εικόνα 6. Φυτά πεπονιάς του πειράματος, πριν τη μεταφύτευση στους σάκους με το υπόστρωμα.

Στις 22 Απριλίου 2022 πραγματοποιήθηκε η μεταφύτευση στους σάκους με το υπόστρωμα όπου μεταφυτεύτηκαν φυτά τα οποία βρίσκονταν στο στάδιο του 4^{ου} – 5^{ου} πραγματικού φύλλου. Συνολικά επιλέχθηκαν τα 16 πιο εύρωστα φυτά από κάθε ποικιλία. Πριν τη μεταφύτευση έγινε διαβροχή του υποστρώματος με θρεπτικό διάλυμα διαβροχής, σύστασης διαφορετικής από το διάλυμα τροφοδοσίας. Η διαβροχή έγινε μέχρι τον πλήρη κορεσμό του υποστρώματος. Στη συνέχεια η περίσσεια θρεπτικού διαλύματος απομακρύνθηκε ως απορρέον θρεπτικό διάλυμα με τη χάραξη κάθετων τομών στο σημείο επαφής των σάκων με τα κανάλια στήριξης, με τρόπο έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η δημιουργία στάθμης στον πυθμένα των σάκων και η συγκράτηση λιμνάζοντος θρεπτικού διαλύματος. Ακολούθησε αφαίρεση μικρής ποσότητας περλίτη από το ανοίγματα των θέσεων φύτευσης και μεταφύτευση των φυτών πεπονιάς μαζί με το μίγμα τύρφης - περλίτη του ριζικού συστήματος.



Εικόνα 7. Διαβροχή του υποστρώματος με το θρεπτικό διάλυμα και μεταφύτευση από τα πλαστικά φυτοδοχεία στο υπόστρωμα καλλιέργειας.



Εικόνα 8. γενική άποψη του πειραματικού θαλάμου του θερμοκηπίου μετά την ολοκλήρωση της μεταφύτευσης.

Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, ο όγκος του διαλύματος απορροής, το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα για κάθε κανάλι φύτευσης καταγράφονταν χρησιμοποιώντας φορητά όργανα. Σε εβδομαδιαία βάση γινόταν συλλογή δείγματος από το κλάσμα απορροής της κάθε γραμμής για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ιόντων Na^+ σε αυτό και τη διόρθωση της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος στην περίπτωση που η συγκέντρωσή τους στη ριζόσφαιρα παρεκκλίνει από την τιμή των 30 mM.

Η μηχανική στήριξη των φυτών έγινε με περιέλιξη του κεντρικού βλαστού γύρω από πλαστικό νήμα όπου το ένα άκρο σταθεροποιήθηκε με μια μικρή θηλιά κάτω από τις κοτυληδόνες των φυτών και το άλλο στερεώθηκε σε μεταλλικό σύρμα πάνω από το δάπεδο του θερμοκηπίου. Σε κάθε φυτό διατηρήθηκε ένα κεντρικό στέλεχος το οποίο κορφολογήθηκε όταν αυτό ξεπερνούσε κατά δύο γόνατα το ύψος του σύρματος στερέωσης. Μέχρι το ύψος του 1 m αφαιρέθηκαν πλήρως



Εικόνα 9. στερέωση των σποροφύτων με πλαστικό σπάγκο.

οι πλευρικοί βλαστοί 1^{ης} τάξης. Σε μεγαλύτερο ύψος, οι πλάγιοι βλαστοί κορυφολογήθηκαν στο τρίτο γόνατο διατηρώντας τα δύο θηλυκά άνθη στα δύο πρώτα γόνατα του βλαστού. Όλοι οι βλαστοί 2^{ης} τάξης αφαιρέθηκαν πλήρως. Το σύνολο των καλλιεργητικών χειρισμών για τον έλεγχο της βλαστικής ανάπτυξης των φυτών αποσκοπεί στην αποφυγή σκίασης των φύλλων αλλά και την επαρκή κυκλοφορία του αέρα στο περιβάλλον των φυτών, καθώς αποτελεί παράγοντα για τη διαπνοή των φύλλων και τη δημιουργία συνθηκών για την εκδήλωση μυκητολογικών προσβολών. Κατά τη διάρκεια του πειράματος υπήρξαν προσβολές από αφίδες φυλλώματος και ωίδιο, οι οποίες έγιναν αντιληπτές κατά τη διάρκεια του καθημερινού ελέγχου των φυτών. Για τον έλεγχο των προσβολών από παθογόνα και εντομολογικούς εχθρούς, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες επεμβάσεις στην πειραματική καλλιέργεια με ψεκασμό κάλυψης φυλλώματος:

Πίνακας 3. Οι φυτοπροστατευτικές εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Ημερομηνία	Σκεύασμα	Δραστική Ουσία
25/5/2021	Topas 100 EC	Penconazole 10% w/v
29/5/2021	Ortiva 25 SC	Azoxystrobin 25% w/v
6/6/2021	Decis 25 EC	Deltamethrin 2.5% w/v
8/6/2021	Topas 100 EC	Penconazole 10% w/v
10/7/2021	Dagonis 7.5/5 EC	Fluxapyroxad, 5.0 % w/v Difenoconazole, 87.92 % w/v

2.7. Επικονίαση και καρπόδεση

Για την επικονίαση των ανθέων εγκαταστάθηκε κυψέλη με βομβίνους στο θάλαμο του θερμοκηπίου στις 19 Μαΐου 2021, όπου και παρέμειναν σε όλη τη διάρκεια της ανθοφορίας. Την ημέρα της επέμβασης με το εντομοκτόνο για τον έλεγχο της προσβολής από αφίδες προηγήθηκε νωρίς τις πρωινές ώρες κλείσιμο του κιβωτίου με την κυψέλη για 1 ημέρα. Παρά την σχετική ανοχή των βομβίνων σε υψηλές θερμοκρασίες και την αποτελεσματικότητά τους (Bomfim et al., 2016; Ολύμπιος, 2001) δεν παρατηρήθηκε έντονη δραστηριότητα των εντόμων, οπότε χρειάστηκε υποβοήθηση της επικονίασης με τεχνητά μέσα. Μετά την αποκοπή των ανθέων από τα μητρικά φυτά ακολουθούσε αναστροφή της στεφάνης έτσι ώστε να είναι ευδιάκριτοι οι ανθήρες και οι στήμονες. Ακολουθούσε η επαφή των ανθέρων με το στίγμα των θηλυκών ανθέων έτσι ώστε να γίνει μεταφορά γύρης σε αυτό. Μετά την καρπόδεση και την εμφανή αρχική διόγκωση της ωοθήκης σε κάθε φυτό παρέμεινε ένας καρπός και απομακρύνθηκαν οι υπόλοιποι. Η στήριξη των καρπών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας πλαστικό δίχτυ το οποίο στερεώθηκε στο σύρμα πάνω από τις γραμμές φύτευσης. Οι καρποφόροι βλαστοί κορυφολογήθηκαν στο επόμενο γόνατο από τον καρπό αφήνοντας ένα φύλλο σε αυτό. Οι καρποί παρέμειναν πάνω στα φυτά μέχρι την πλήρη ωρίμανσή τους με βάση τα κριτήρια ωρίμανσης της κάθε ποικιλίας.

2.8. Τερματισμός της καλλιέργειας και απομάκρυνση των φυτών

Στις 25 Ιουλίου 2021 πραγματοποιήθηκαν οι εργασίες απομάκρυνσης των φυτών και η συλλογή των δειγμάτων φυτικού ιστού. Τα φυτά απομακρύνθηκαν από το υπόστρωμα καλλιέργειας με τον ελάχιστο τραυματισμό στα φυτικά όργανα, διατηρώντας παράλληλα το ριζικό σύστημα εμβαπτισμένο σε θρεπτικό διάλυμα για την αποφυγή επιπλέον αβιοτικών καταπονήσεων λόγω έλλειψης εδαφικής υγρασίας και των θερμών συνθηκών που επικρατούσαν. Ακολούθησε μεταφορά των φυτών στο εργαστήριο κηπευτικών καλλιεργειών όπου ζυγίστηκε η νωπή μάζα των τμημάτων του φυτού ανά όργανο (ρίζα, καρποί, φύλλα) και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο στους 65 °C για την πλήρη απομάκρυνση της υγρασίας από τα δείγματα.

2.8.1. Προσδιορισμός των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των καρπών

2.8.1.1. Συνεκτικότητα των καρπών

Η συνεκτικότητα της σάρκας των καρπών εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας πενετρόμετρο χειρός, με τη δύναμη διάτρησης να υπολογίζεται σε κιλά. Ο υπολογισμός της συνεκτικότητας περιέλαβε 3 μετρήσεις ανά καρπό σε τρεις αντιδιαμετρικές θέσεις στην περιοχή του μεσοκαρπίου στο ύψος της μεγαλύτερης διαμέτρου μεταξύ του ποδίσκου και του άκρου του καρπού.

2.8.1.2. Προσδιορισμός της ολικής οξύτητας

Όπως και στους περισσότερους καρπούς, έτσι και στο πεπόνι η γεύση του καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από την αναλογία των ολικών διαλυτών στερεών και των οξέων στην σάρκα του. Τα οξέα που περιέχονται σε αυτούς είναι κυρίως το κιτρικό οξύ και σε μικρότερη συγκέντρωση το σουκινικό, το μηλικό και το ασκορβικό οξύ (Albuquerque et al., 2006). Ο προσδιορισμός της οξύτητας γίνεται μέσω της αναλυτικής μεθόδου της τιτλοδότησης και όχι απευθείας με τη μέτρηση του pH του χυμού. Αυτό συμβαίνει επειδή στους καρπούς περιέχονται ασθενή οξέα, με αποτέλεσμα ο χυμός τους να συμπεριφέρεται ως ρυθμιστικό διάλυμα (Thompson, 2003).

Αρχικά, η σάρκα των καρπών πολτοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ηλεκτρικό blender και 10 γραμμάρια από το κάθε δείγμα τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικό κύλινδρο συνολικού όγκου 250 ml. Ακολουθούσε η συμπλήρωση απεσταγμένου νερού μέχρι τον όγκο των 150 ml. Μετά από έντονη ανάδευση το εναιώρημα που προέκυψε τοποθετήθηκε σε γυάλινο κωνικό χωνί με διηθητικό χαρτί (διαμέτρου 55 mm, εταιρία Macherey – Nagel) έτσι ώστε να εκχυλιστεί. Το εκχύλισμα συλλέχθηκε σε κωνική φιάλη. Κατά τη διαδικασία της τιτλοδότησης, 50 ml από το

εκχύλισμα τοποθετούνταν σε ποτήρι ζέσεως με μαγνήτη ανάδευσης πάνω σε μαγνητικό αναδευτήρα. Παράλληλα με τη διαρκή ανάδευση του δείγματος σταδιακά προστέθηκε διάλυμα NaOH μέχρι το διάλυμα να φτάσει σε τιμή pH ίση με 8.1. Κατά τη διάρκεια της τιτλοδότησης γινόταν μέτρηση της τιμής pH του διαλύματος σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό όργανο (MeterLab PHM 250 ion analyzer). Η διαδικασία ολοκληρώθηκε 2 φορές για κάθε δείγμα.

Γνωρίζοντας τον όγκο του διαλύματος NaOH που χρειάστηκαν για την πλήρη εξουδετέρωση των οξέων στο χυμό των δειγμάτων υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$\text{κιτρικό οξύ (0/0 w / w)} = \frac{V_1 \times N \times \text{mEq}_{\text{κιτ.οξέος}} \times V_2}{V_3 \times w} \times 100$$

Όπου

- V_1 : όγκος (ml) της ποσότητας NaOH που απαιτήθηκε
- V_2 : όγκος του αρχικού εκχυλίσματος (150 ml)
- V_3 : όγκος του τιτλοδοτούμενου κλάσματος (50 ml)
- N: κανονικότητα του διαλύματος NaOH (1/50 N)
- $\text{mEq}_{\text{κιτ. οξέος}} = 0,064$
- μάζα του προς εκχύλιση δείγματος (10 g)

2.8.1.3. Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε ολικά διαλυτά στερεά

Ο χρόνος της συγκομιδής είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για την επίτευξη της βέλτιστης ποιότητας στους καρπούς της πεπονιάς, καθώς δεν συσσωρεύουν άμυλο κατά την ανάπτυξή τους και αδυνατούν να συνθέσουν σάκχαρα μετασυλλεκτικά. Για τον λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί ελάχιστα όρια στα περιεχόμενα ολικά διαλυτά στερεά στους καρπούς. Σύμφωνα με τα όρια της αγοράς της Καλιφόρνια στις κανταλούπες τα ολικά διαλυτά στερεά πρέπει να υπερβαίνουν το 8% και για τις ποικιλίες Honeydew το ποσοστό δεν πρέπει να είναι χαμηλότερο από 10%. Στην πράξη το επιθυμητό κατώτατο όριο είναι 10% και 12% για τους δύο τύπους ποικιλιών αντίστοιχα (Πάσσαμ et al., 2015), χωρίς να αποκλείεται να φτάσουν σε ποσοστά της τάξεως των 13% έως και 17% (Ολύμπιος, 2015). Στους καρπούς της πεπονιάς τα ολικά διαλυτά στερεά αποτελούνται από σακχαρόζη, κιτρικό, μηλικό και ασκορβικό οξύ, πηκτικές ενώσεις που προσδίδουν το χαρακτηριστικό άρωμα των καρπών, χρωστικές ενώσεις καθώς και ανόργανα στοιχεία (Seymour & McGlasson, 1993; Ολύμπιος, 2015).

Για τον προσδιορισμό τους χρησιμοποιήθηκε διαθλασίμετρο χειρός της εταιρίας Schmidt & Haensch με κωδικό μοντέλου HR32B και εύρος μέτρησης από 0 έως 32% Bx. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου είναι η διάθλαση του φωτός όταν αυτό διέρχεται από ένα μέσο σε ένα άλλο με μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης, όπως συμβαίνει στους χυμούς των καρπών, ως συνέπεια της υπολογίσιμης ποσότητας διαλυτών στερεών που βρίσκονται σε αυτούς. Διάλυμα με 1 βαθμό Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) περιέχει 1 γραμμάριο διαλυμένων σακχάρων ανά 100 gr διαλύματος.

Μετά τον καθαρισμό και τον τεμαχισμό των καρπών ακολούθησε η παρασκευή ομοιογενούς μίγματος της σάρκας τους σε ηλεκτρικό blender. Η συγκεκριμένη μεταχείριση είναι απαραίτητη καθώς η περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά έχει αποκλίσεις στα διάφορα σημεία του καρπού, καθώς η σάρκα κοντά στο κέντρο των καρπών έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σύγκριση με την σάρκα κοντά στο φλοιό τους (Ολύμπιος, 2015). Στη συνέχεια για κάθε καρπό τοποθετήθηκε μία σταγόνα από το ομογενοποιημένο μίγμα στην επιφάνεια μέτρησης του οργάνου.

2.8.1.4. Προσδιορισμός του χρώματος της σάρκας των καρπών

Ο προσδιορισμός του χρώματος της σάρκας των καρπών έγινε με τη μέθοδο L^*a^*b της διεθνούς επιτροπής φωτισμού. Η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός πως το αντιληπτό από την ανθρώπινη όραση φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορεί να μετρηθεί και αντιπροσωπεύεται ως ένας χρωματικός χώρος με τις συντεταγμένες των διαφόρων αποχρώσεων να αντιστοιχούν στις τιμές των μετρήσεων τριών διαφορετικών χρωμάτων. Η τιμή του παράγοντα L αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα του αντικειμένου και λαμβάνει τιμές από το 0 έως και το 100 με το 0 να αντιστοιχεί στο μαύρο χρώμα και το 100 στο λευκό. Οι τιμές a και b αντιπροσωπεύουν δυο κάθετους άξονες με τιμές από το -100 έως το +100. Ο άξονας a έχει στα άκρα του το πράσινο χρώμα στην ακραία αρνητική τιμή και το κόκκινο στη μέγιστη θετική τιμή. Παρόμοια, στον άξονα b βρίσκεται το μπλε χρώμα στην τιμή -100 και το κίτρινο χρώμα στην τιμή +100 (Abbott, 1999).

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το CR-300 Chroma meter της Konica Minolta, Inc (Τόκιο, Ιαπωνία). Σε κάθε καρπό πάρθηκαν 2 μετρήσεις στις αντίθετες πλευρές του μεσοκαρπίου στο ύψος της μεγαλύτερης διαμέτρου μεταξύ του ποδίσκου και του άκρου του καρπού.

2.8.2. Αναλύσεις στους φυτικούς ιστούς

2.8.2.1. Αποξήρανση των φυτικών ιστών

Τα δείγματα των φυτικών ιστών που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος και την ημέρα ολοκλήρωσής του, καθώς και τα δείγματα των καρπών τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο σε θερμοκρασία 65 °C με σκοπό την πλήρη απομάκρυνση της υγρασίας. Ακολούθησε άλεση των δειγμάτων σε τεμαχίδια διαμέτρου 0.5 mm χρησιμοποιώντας μύλο άλεσης.



Εικόνα 10. Το ξηραντήριο και ο μύλος που χρησιμοποιήθηκαν για την αποξήρανση και την άλεση των φυτικών ιστών.

2.8.2.2. Πυραντήριο και διαδικασία εκχύλισης

Η προετοιμασία των δειγμάτων για την εκτίμηση της συγκεντρώσεως των θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς περιλαμβάνει την πλήρη καύση των αλεσμένων ιστών στο πυραντήριο και την παρασκευή πυκνών εκχυλισμάτων από αυτά.

Μετά την άλεση των δειγμάτων σε λεπτή σκόνη, 0.5 g από κάθε δείγμα προστέθηκαν σε πορσελάνινη κάψα και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του πυραντηρίου όπου παρέμειναν σε θερμοκρασία 500 °C για 8 ώρες, έτσι ώστε να επιτευχθεί η πλήρης καύση τους. 16 ώρες μετά τα δείγματα αφαιρέθηκαν από το πυραντήριο και ακολούθησε η διαδικασία της εκχύλισης.

Σε κάθε κάψα προστέθηκαν 10 ml διαλύματος HCl. Στη συνέχεια τα δείγματα διηθήθηκαν μέσω διηθητικού χαρτιού διαμέτρου 55 mm (Macherey-Nagel GmbH & Company KG) και το εκχύλισμα συλλέχθηκε σε ογκομετρική φιάλη όγκου 100 ml. Μετά την πλήρη διήθηση των δειγμάτων, σε κάθε ογκομετρική φιάλη προστέθηκε απεσταγμένο νερό μέχρι τον τελικό όγκο των 100 ml. Μετά από έντονη ανακίνηση τα διαλύματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς περιέκτες και φυλάχθηκαν στο ψυγείο του εργαστηρίου.



Εικόνα 11. προετοιμασία της εκχύλισης μετά το πυραντήριο.

2.8.2.3. Αναλύσεις φυτικών ιστών – προσδιορισμός K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}

Η περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε K^+ , Na^+ , Mg^+ και Ca^{2+} προσδιορίστηκε στα εκχυλίσματα της προηγούμενης διαδικασίας χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της φλογοφωτομετρίας ατομικής εκπομπής. Η αναλυτική μέθοδος βασίζεται στο γεγονός πως τα άτομα των στοιχείων όταν διεγερθούν εκπέμπουν συγκεκριμένα φάσματα ακτινοβολίας, χαρακτηριστικά για το υπό μελέτη στοιχείο. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, το διάλυμα του δείγματος ψεκάζεται με τη μορφή αερολύματος σε φλόγα όπου μετά την εξάτμιση τα στοιχεία ατομοποιούνται και διεγείρονται. Στην συνέχεια το εκπεμπόμενο φάσμα απομονώνεται και υπολογίζεται η έντασή του με βάση τη βαθμονόμηση του αναλυτικού οργάνου (Isaac & Kerber, 1971).

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των φύλλων σε Ca^{2+} και Mg^{2+} , Η προετοιμασία των δειγμάτων περιλάμβανε την αραιώση των αρχικών δειγμάτων σε αραιώσεις 1/100 για το Ca^{2+} και 1/400 για το Mg^{2+} . Για την αραιώση 1/100 προστέθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml 0.5 ml εκχυλίσματος του κάθε δείγματος και συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό μέχρι τον τελικό όγκο των 50 ml. Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε για τα παρασκευάσματα με αραιώση 1/400, προσθέτοντας 0.25 ml σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ml και απεσταγμένο νερό με τελικό όγκο διαλύματος 100 ml. Μετά την προσθήκη του απεσταγμένου νερού, ακολούθησε ανακίνηση των ογκομετρικών φιαλών για την ομογενοποίηση των διαλυμάτων. Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των στοιχείων στον καρπούς, με αραιώση των αρχικών εκχυλισμάτων 1/200 για το Mg^{2+} και 1/50 για το Ca^{2+} .



Εικόνα 12. Διαδικασία παρασκευής δειγμάτων για την ανάλυση στο φλογοφωτόμετρο.



Εικόνα 13. Τα φλογοφωτόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} και P^{2+} στα δείγματα.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} χρησιμοποιήθηκε το φλογοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης AA-7000 της Shimadzu. Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιόντων K^+ και Na^+ χρησιμοποιήθηκε το 410 flame photometer, Sherwood scientific Ltd. Ακολούθησε η εισαγωγή των δειγμάτων στο φλογοφωτόμετρο και η διαδικασία της μέτρησης από την αναλυτική συσκευή. Ανάγοντας τα αποτελέσματα της μέτρησης εκτιμήθηκε η αρχική συγκέντρωση των αδιάλυτων δειγμάτων.

2.8.2.4. Προσδιορισμός του περιεχομένου σε ξηρή ουσία

Η περιεκτικότητα των ιστών σε ξηρή μάζα συσχετίζεται θετικά με δείκτες ανάπτυξης όπως η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA). Ο προσδιορισμός του περιεχομένου σε ξηρή ουσία των φυτικών οργάνων αποτελεί μία αξιόπιστη εναλλακτική μέθοδο για την προσέγγιση της περιεκτικότητας σε ξηρή μάζα, κυρίως στις περιπτώσεις που ο όγκος του δείγματος είναι μικρός, δημιουργώντας δυσκολίες στους χειρισμούς και την ακρίβεια της μέτρησης (Shipley & Vu, 2002).

Κατά την συλλογή των φυτικών δειγμάτων κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας και την τελική απομάκρυνση των φυτών από θερμοκήπιο κατά τον τερματισμό του πειράματος, προσδιορίστηκε η νωπή μάζα των οργάνων χρησιμοποιώντας εργαστηριακό ζυγό. Η ζύγιση πραγματοποιήθηκε αμέσως μετά την απομάκρυνση των οργάνων από το μητρικό φυτό έτσι ώστε να μην υπάρξει σημαντική απώλεια του υδατικού περιεχομένου, συνθήκη που θα δημιουργούσε σφάλμα στους τελικούς υπολογισμούς. Η τιμή της νωπής μάζας είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της μάζας σε ξηρή ουσία μετά την ζύγιση των αποξηραμένων δειγμάτων.

Το περιεχόμενο σε ξηρή ουσία υπολογίζεται ως εξής:

$$DMC\% = \left(\frac{M_{DM}}{M_{DM} + M_W} \right) 100$$

Όπου:

- DMC% (Dry Matter Content): το περιεχόμενο σε ξηρή ουσία σε ποσοστό επί της νωπής μάζας
- M_{DM} (Mass -Dry Matter): η ξηρή μάζα του φυτικού οργάνου
- M_w (Mass – Water): η μάζα ή ο όγκος του νερού του φυτικού οργάνου

2.9. Στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων του πειράματος έγινε στο στατιστικό πακέτο ανάλυσης δεδομένων Statistica 12.0 με τη μέθοδο ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$.

3. Αποτελέσματα

3.1. Ποσοστό ξηρής ουσίας

Πίνακας 4. Επίδραση των παραγόντων της ποικιλίας, της καταπόνησης σε συνθήκες αλατότητας και τον συνδυασμό των δύο παραγόντων στην ξηρή μάζα στους καρπούς και τα φύλλα πεπονιάς σε υδροπονική καλλιέργεια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων σηματοδοτούνται με τα γράμματα a έως d μέσω του ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Στον πίνακα στατιστικής σημαντικότητας το Μ.Σ. αντιστοιχεί σε μη σημαντική επίδραση, ενώ τα σύμβολα, *, ** και *** αντιστοιχούν σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ και $P \leq 0,001$ αντίστοιχα.

Ποσοστό % ξηρής ουσίας στους καρπούς και τα φύλλα			
Επίδραση Ποικιλίας			
Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα	
M01 (T111 tipo piel de sapo)	4.59	10.44 a	
M05 (Rochet)	2.56	10.08 a	
M07 (Tendra negro)	3.71	10.28 a	
M10 (Θρακιώτικο)	4.30	9.70 ab	
M12 (Λευκό Αμυνταίου)	4.34	10.04 a	
Lavigal	4.16	9.02 b	
Επίδραση Αλατότητας			
Μεταχείριση	Καρποί	Φύλλα	
Καταπόνηση Αλατότητας	4.39	9.84	
Control	3.81	10.01	
Αλληλεπίδραση ποικιλίας και καταπόνησης αλατότητας			
Μεταχείριση	Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα
Καταπόνηση Αλατότητας	M01 (T111 tipo piel de sapo)	4.45 abc	10.28
	M05 (Rochet)	2.39 d	9.92
	M07 (Tendra negro)	3.51 bcd	10.24
	M10 (Θρακιώτικο)	5.53 a	9.91
	M12 (Λευκό Αμυνταίου)	4.10 a-d	9.74
	Lavigal	4.84 ab	8.96
Control	M01 (T111 tipo piel de sapo)	4.81 ab	10.59
	M05 (Rochet)	2.62 cd	10.24
	M07 (Tendra negro)	3.97 a-d	10.32
	M10 (Θρακιώτικο)	3.07 bcd	9.49

	M12 (Λευκό Αμυνταίου)	4.54 ab	10.34
	Lavigal	3.26 bcd	9.08
Στατιστική σημαντικότητα παραγόντων			
Παράγοντας	Καρποί	Φύλλα	
Ποικιλία	Μ.Σ.	*	
Αλατότητα	Μ.Σ.	Μ.Σ.	
Ποικιλία*Αλατότητα	*	Μ.Σ.	

Ως προς το ποσοστό της ξηρής ουσίας στους φυτικούς ιστούς, ο παράγοντας ποικιλία δεν ασκεί σημαντική επίδραση στην ξηρή ουσία των καρπών. Αντίθετα επιδρά στην περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία στα φύλλα, με την ποικιλία Lavigal να έχει σημαντικά μικρότερη τιμή από τις άλλες ποικιλίες, οι οποίες δεν παρουσίασαν κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, οι ποικιλίες Piel de Sapo, Rochet, Tendra negro και το λευκό πεπόνι Αμυνταίου διαφέρουν σημαντικά από την ποικιλία Lavigal με αύξηση του ποσοστού της ξηρής ουσίας που προσεγγίζει το 10%.

Ο παράγοντας αλατότητα δεν επηρεάζει σημαντικά την ξηρή ουσία των φύλλων ή των καρπών σε σύγκριση με τη μεταχείριση της ομάδας μάρτυρα.

Η αλληλεπίδραση των παραγόντων της ποικιλίας και της αλατότητας επιδρά σημαντικά στην περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία, με την ποικιλία Θρακιώτικο να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική τιμή (5.52%) υπό την επίδραση του παράγοντα καταπόνησης. Το ποσοστό της ξηρής ουσίας στα φυτά της ίδια ποικιλίας σε συνθήκες απουσίας της καταπόνησης διαφέρει σημαντικά καθώς είναι μικρότερη κατά 55.6%. Σε συνθήκες αλληλεπίδρασης αλατότητας και ποικιλίας το μικρότερο ποσοστό ξηρής ουσίας στους καρπούς εμφανίζεται στην ποικιλία Rochet υπό την επίδραση αλατότητας και δεν ξεπερνάει το 2.39%. Η ποικιλία Rochet υπό την επίδραση αλατότητας δεν εμφανίζει σημαντική διαφορά από την αντίστοιχη μεταχείριση του μάρτυρα (2,62% περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία). Σημαντική είναι και η αύξηση της περιεκτικότητας σε ξηρή ουσία των καρπών της ποικιλίας Lavigal, καθώς υπό συνθήκες αλατότητας παρατηρείται αύξηση κατά 48.47% σε σύγκριση με το μάρτυρα.

Η αλληλεπίδραση αλατότητας και ποικιλίας δεν ασκεί στατιστικά σημαντική επίδραση στην ξηρή ουσία των φύλλων.

3.2. Περιεκτικότητα καρπών και φύλλων σε K⁺

Πίνακας 5. Επίδραση των παραγόντων της ποικιλίας, της καταπόνησης σε συνθήκες αλατότητας και τον συνδυασμό των δύο παραγόντων στην περιεκτικότητα K⁺ στους καρπούς και τα φύλλα πεπονιάς σε υδροπονική καλλιέργεια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων σηματοδοτούνται με τα γράμματα a έως f μέσω του ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Στον πίνακα στατιστικής σημαντικότητας το Μ.Σ. αντιστοιχεί σε μη σημαντική επίδραση, ενώ τα σύμβολα *, ** και *** αντιστοιχούν σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0,05, P≤0,01 και P≤0,001 αντίστοιχα.

Συγκέντρωση K ⁺ (mg g ⁻¹) στους καρπούς και τα φύλλα			
Επίδραση Ποικιλίας			
Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα	
T111 (tipo piel de sapo)	56.90 b	48.13 b	
Λευκό Αμυνταίου	62.44 b	40.38 d	
Lavigal	64.25 b	42.25 cd	
Θρακιώτικο	65.50 b	44.50 c	
Tendra negro	71.88 b	43.25 cd	
Rochet	94.50 a	54.13 a	
Επίδραση Αλατότητας			
Μεταχείριση	Καρποί	Φύλλα	
Καταπόνηση Αλατότητας	62.20	44.67	
Control	70.75	46.21	
Αλληλεπίδραση ποικιλίας και καταπόνησης αλατότητας			
Μεταχείριση	Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα
Καταπόνηση Αλατότητας	T111 (tipo piel de sapo)	55.83	50.00 ab
	Rochet	99.00	53.75 a
	Tendra negro	69.20	40.50 ef
	Θρακιώτικο	55.60	41.50 def
	Λευκό Αμυνταίου	64.75	37.50 f
	Lavigal	59.50	44.75 b-e
Control	T111 (tipo piel de sapo)	58.50	46.25 bcd
	Rochet	93.00	54.50 a
	Tendra negro	76.33	46.00 bcd
	Θρακιώτικο	75.40	47.50 bc

	Λευκό Αμυνταίου	60.60	43.25 cde
	Lavigal	69.00	39.75 ef
Στατιστική σημαντικότητα παραγόντων			
Παράγοντας	Καρποί	Φύλλα	
Ποικιλία	*	***	
Αλατότητα	ΜΣ	ΜΣ	
Ποικιλία*Αλατότητα	ΜΣ	**	

Υπό την επίδραση του παράγοντα ποικιλία παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα σε K^+ και των δύο τύπων φυτικών οργάνων που εξετάστηκαν. Στους καρπούς η ποικιλία Rochet παρουσιάζει αύξηση της συγκέντρωσης Καλίου κατά 47% σε σύγκριση με τη Lavigal, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες εξεταζόμενες ποικιλίες που δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά.

Στα φύλλα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφονται στις ποικιλίες Rochet και Piel de Sapo με αυξήσεις 28% και 14% αντίστοιχα σε σύγκριση με τη Lavigal. Οι άλλες ποικιλίες δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από την αντίστοιχη συγκέντρωση του εξεταζόμενου στοιχείου στα φύλλα της Lavigal.

Ο παράγοντας αλατότητα δεν ασκεί σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα των φύλλων και των καρπών σε K^+ .

Ως προς την αλληλεπίδραση των παραγόντων της αλατότητας και της ποικιλίας, η περιεκτικότητα των καρπών σε ιόντα K^+ δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές.

Αντίθετα, στα φύλλα η συγκέντρωση K^+ δε διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων στην Rochet, ενώ στην Piel de Sapo παρατηρείται ελαφριά αύξηση σε συνθήκες αλατότητας. Στις άλλες ποικιλίες παρατηρείται μείωση του K^+ σε συνθήκες καταπόνηση

3.3. Περιεκτικότητα καρπών και φύλλων σε Na⁺

Πίνακας 6. Επίδραση των παραγόντων της ποικιλίας, της καταπόνησης σε συνθήκες αλατότητας και τον συνδυασμό των δύο παραγόντων στην περιεκτικότητα Na⁺ στους καρπούς και τα φύλλα πεπονιάς σε υδροπονική καλλιέργεια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων σηματοδοτούνται με τα γράμματα *a* έως *e* μέσω του ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Στον πίνακα στατιστικής σημαντικότητας το Μ.Σ. αντιστοιχεί σε μη σημαντική επίδραση, ενώ τα σύμβολα, *, ** και *** αντιστοιχούν σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ και $P \leq 0,001$ αντίστοιχα.

Συγκέντρωση Na ⁺ (mg g ⁻¹) στους καρπούς και τα φύλλα			
Επίδραση Ποικιλίας			
Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα	
Lavigal	2.98 c	0.51 d	
T111 (tipo piel de sapo)	4.71 c	0.75 cd	
Θρακιώτικο	6.72 b	1.31 ab	
Rochet	7.48 ab	1.02 bc	
Λευκό Αμυνταίου	8.38 ab	1.42 a	
Tendra negro	9.15 a	1.07 b	
Επίδραση Αλατότητας			
Μεταχείριση	Καρποί	Φύλλα	
Καταπόνηση Αλατότητας	10.58 a	1.16 a	
Control	2.05 b	0.86 b	
Αλληλεπίδραση ποικιλίας και καταπόνησης αλατότητας			
Μεταχείριση	Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα
Καταπόνηση Αλατότητας	Lavigal	4.88 cd	0.50
	T111 (tipo piel de sapo)	6.75 c	0.82
	Θρακιώτικο	11.50 b	1.43
	Tendra negro	12.90 b	1.33
	Rochet	14.00 ab	1.17
	Λευκό Αμυνταίου	16.25 a	1.74
Control	Lavigal	1.09 e	0.51
	T111 (tipo piel de sapo)	1.64 e	0.68
	Θρακιώτικο	1.94 de	1.19
	Λευκό Αμυνταίου	2.09 de	1.10

	Tendra negro	2.90 de	0.81
	Rochet	3.13 de	0.88
Στατιστική σημαντικότητα παραγόντων			
Παράγοντας	Καρποί	Φύλλα	
Ποικιλία	***	***	
Αλατότητα	***	***	
Ποικιλία*Αλατότητα	***	ΜΣ	

Η περιεκτικότητα των καρπών και των φύλλων σε Na^+ επηρεάζεται σημαντικά από τον παράγοντα της ποικιλίας των πειραματικών μονάδων. Στους καρπούς η μεγαλύτερη περιεκτικότητα παρατηρείται στις ποικιλίες των ποικιλιών Tendra Negro, Rochet και Λευκό Αμυνταίου. Η περιεκτικότητα των καρπών της ποικιλίας Piel de Sapo δεν εμφανίζει σημαντικές διαφορές από την αντίστοιχη της Lavigal.

Σημαντική είναι η επίδραση της ποικιλίας και στην συγκέντρωση Na^+ στα φύλλα, με τη μεγαλύτερη αύξηση συγκριτικά με τη Lavigal να καταγράφεται στην ποικιλία Λευκό Αμυνταίου με περιεκτικότητα μεγαλύτερη κατά 178%. Σημαντική αύξηση παρατηρείται και στις άλλες ποικιλίες, με τη μικρότερη να παρατηρείται στα φύλλα των φυτών της ποικιλίας Piel de Sapo με αύξηση κατά 47% σε σύγκριση με τη Lavigal.

Ο παράγοντας αλατότητα ασκεί σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε Na^+ , καθώς αυξάνει σημαντικά την περιεκτικότητα τόσο των καρπών όσο και των φύλλων σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις του μάρτυρα, κατά 416.1% και 34.9% αντίστοιχα.

Η περιεκτικότητα των φύλλων δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αλληλεπίδραση των παραγόντων της ποικιλίας και της αλατότητας. Αντίθετα, υπό την επίδραση και των δύο παραγόντων παρατηρείται σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα στους καρπούς των φυτών όλων των ποικιλιών σε σύγκριση με την αντίστοιχη μεταχείριση του μάρτυρα.

3.4. Περιεκτικότητα καρπών και φύλλων σε Ca²⁺

Πίνακας 7. Επίδραση των παραγόντων της ποικιλίας, της καταπόνησης σε συνθήκες αλατότητας και τον συνδυασμό των δύο παραγόντων στην περιεκτικότητα Ca²⁺ στους καρπούς και τα φύλλα πεπονιάς σε υδροπονική καλλιέργεια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων σηματοδοτούνται με τα γράμματα α έως ε μέσω του ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Στον πίνακα στατιστικής σημαντικότητας το Μ.Σ. αντιστοιχεί σε μη σημαντική επίδραση, ενώ τα σύμβολα, *, ** και *** αντιστοιχούν σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0,05, P≤0,01 και P≤0,001 αντίστοιχα.

Συγκέντρωση Ca ²⁺ (mg g ⁻¹) στους καρπούς και τα φύλλα			
Επίδραση Ποικιλίας			
Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα	
T111 (tipo piel de sapo)	0.022 c	24.46 c	
Tendra negro	0.043 b	38.85 b	
Λευκό Αμυνταίου	0.044 b	42.21 b	
Θρακιώτικο	0.044 b	38.65 b	
Rochet	0.059 a	14.37 d	
Lavigal	0.061 a	56.25 a	
Επίδραση Αλατότητας			
Μεταχείριση	Καρποί	Φύλλα	
Καταπόνηση Αλατότητας	0.041	34.75	
Control	0.047	37.83	
Αλληλεπίδραση ποικιλίας και καταπόνησης αλατότητας			
Μεταχείριση	Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα
Καταπόνηση Αλατότητας	T111 (tipo piel de sapo)	0.027	12.48 e
	Rochet	0.064	10.66 e
	Tendra negro	0.042	37.74 cd
	Θρακιώτικο	0.045	34.13 d
	Λευκό Αμυνταίου	0.044	50.06 abc
	Lavigal	0.064	57.87 a
Control	T111 (tipo piel de sapo)	0.019	36.45 cd
	Rochet	0.051	18.08 e
	Tendra negro	0.043	39.97 cd
	Θρακιώτικο	0.043	43.16 bcd

	Λευκό Αμυνταίου	0.045	34.36 d
	Lavigal	0.057	54.62 ab
Στατιστική σημαντικότητα παραγόντων			
Παράγοντας	Καρποί	Φύλλα	
Ποικιλία	***	***	
Αλατότητα	Μ.Σ.	Μ.Σ.	
Ποικιλία*Αλατότητα	Μ.Σ.	**	

Ο παράγοντας ποικιλία ασκεί σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα των φύλλων και των καρπών σε Ca^{2+} . Στους καρπούς, η Rochet δεν εμφανίζει σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με τη Lavigal. Αντίθετα, η ποικιλία Piel de Sapo χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη συγκριτικά μείωση με μικρότερη συγκέντρωση κατά -64%. Σημαντικά μικρότερη συγκέντρωση παρατηρείται και στις άλλες ποικιλίες.

Στα φύλλα Οι υψηλότερες και χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στις ποικιλίες Lavigal και Rochet αντίστοιχα, με τη δεύτερη να έχει μειωμένη συγκέντρωση κατά 74.45% σε σύγκριση με την πρώτη. Σημαντική μείωση παρατηρείται και στις άλλες ποικιλίες.

Ο παράγοντας αλατότητα δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την συγκέντρωση Ca^{2+} .

Στα φύλλα, υπό συνθήκες καταπόνησης δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην συγκέντρωση Ca^{2+} στις ποικιλίες Rochet και Tendra Negro. Στην ποικιλία Λευκό Αμυνταίου, σε συνθήκες καταπόνησης παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε Ca^{2+} κατά 45.7%. Σημαντική μείωση έναντι του μάρτυρα παρατηρείται στις μεταχειρίσεις καταπόνησης των ποικιλιών Piel de Sapo και Θρακιώτικο, με χαμηλότερη συγκέντρωση Ca^{2+} κατά 65.76% και 20.92% αντίστοιχα.

3.5. Περιεκτικότητα καρπών και φύλλων σε Mg²⁺

Πίνακας 8. Επίδραση των παραγόντων της ποικιλίας, της καταπόνησης σε συνθήκες αλατότητας και τον συνδυασμό των δύο παραγόντων στην περιεκτικότητα Mg²⁺ στους καρπούς και τα φύλλα πεπονιάς σε υδροπονική καλλιέργεια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων σηματοδοτούνται με τα γράμματα α έως γ μέσω του ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Στον πίνακα στατιστικής σημαντικότητας το Μ.Σ. αντιστοιχεί σε μη σημαντική επίδραση, ενώ τα σύμβολα, *, ** και *** αντιστοιχούν σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0,05, P≤0,01 και P≤0,001 αντίστοιχα.

Συγκέντρωση Mg ²⁺ (mg g ⁻¹) στους καρπούς και τα φύλλα			
Επίδραση Ποικιλίας			
Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα	
Θρακιώτικο	1.43 d	5.94 c	
Λευκό Αμυνταίου	1.88 cd	7.49 ab	
Lavigal	2.10 c	8.52 a	
T111 (tipo piel de sapo)	2.70 b	5.38 c	
Tendra negro	2.78 b	7.12 b	
Rochet	4.61 a	7.36 ab	
Επίδραση Αλατότητας			
Μεταχείριση	Καρποί	Φύλλα	
Καταπόνηση Αλατότητας	2.52	6.15 b	
Control	2.41	7.71 a	
Αλληλεπίδραση ποικιλίας και καταπόνησης αλατότητας			
Μεταχείριση	Ποικιλία	Καρποί	Φύλλα
Καταπόνηση Αλατότητας	Λευκό Αμυνταίου	1.47 f	6.22 c-f
	Θρακιώτικο	1.56 ef	4.29 g
	Lavigal	1.91 def	7.95 abc
	T111 (tipo piel de sapo)	2.64 cd	4.93 fg
	Tendra negro	2.74 c	5.64 efg
	Rochet	5.45 a	7.78 abc
Control	Θρακιώτικο	1.30 f	7.60 a-d
	Λευκό Αμυνταίου	2.28 cde	8.76 ab
	Lavigal	2.30 cde	9.28 a
	T111 (tipo piel de sapo)	2.78 c	5.83 d-g

	Tendra negro	2.84 c	8.23 ab
	Rochet	4.05 b	6.95 b-e
Στατιστική σημαντικότητα παραγόντων			
Παράγοντας	Καρποί	Φύλλα	
Ποικιλία	***	***	
Αλατότητα	ΜΣ	***	
Ποικιλία*Αλατότητα	**	*	

Η συγκέντρωση Mg^{2+} παραμένει ανεπηρέαστη μόνο στους καρπούς υπό την επίδραση του παράγοντα αλατότητας. Αντίθετα, Οι παράγοντες και η αλληλεπίδρασή τους επηρεάζουν σημαντικά την συγκέντρωση των καρπών και των φύλλων σε όλες τις άλλες περιπτώσεις.

Στους καρπούς, η χαμηλότερη συγκέντρωση παρατηρείται στην ποικιλία Θρακιώτικο με συγκέντρωση μικρότερη κατά 69% συγκριτικά με τους καρπούς της ποικιλίας Rochet που καταγράφεται η στατιστικά υψηλότερη περιεκτικότητα.

Στα φύλλα, Η ποικιλία Lavigal ξεχωρίζει από τις άλλες με $8.52 \text{ mg g}^{-1} \text{ Mg}^{2+}$, τιμή αυξημένη κατά 58.4% από την αντίστοιχη συγκέντρωση στα φύλλα της ποικιλίας Piel de Sapo, η οποία μαζί με την ποικιλία Θρακιώτικο χαρακτηρίζονται από τις μικρότερες τιμές.

Στα φύλλα, ο παράγοντας αλατότητα επιδρά σημαντικά στην περιεκτικότητα των φύλλων σε Mg^{2+} , καθώς η μεταχείριση με την υψηλή αλατότητα στο θρεπτικό διάλυμα έχει ως αποτέλεσμα συγκεντρώσεις στα φύλλα κατά 20.16% χαμηλότερες σε σύγκριση με το μάρτυρα.

Η συγκέντρωση Mg^{2+} στα φύλλα επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων με σημαντική μείωση στην μεταχείριση καταπόνησης έναντι του μάρτυρα στις ποικιλίες Tendra Negro (-31.47%), Θρακιώτικο (-43.55%) και Λευκό Αμυνταίου (-29%). Ελαφριά αύξηση παρατηρείται στην ποικιλία Rochet.

Στους καρπούς η μεγαλύτερη συγκέντρωση καταγράφεται υπό συνθήκες αλατότητας στην ποικιλία Rochet, με σημαντική αύξηση από τους καρπούς της ίδιας ποικιλίας υπό συνθήκες απουσίας του παράγοντα καταπόνησης με αύξηση κατά 34.57%. Στην ποικιλία Tendra Negro δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, ενώ στην ποικιλία Θρακιώτικο παρατηρείται μικρή αύξηση σε συνθήκες αλατότητας.

3.6. Παραγωγή και νωπό βάρος καρπών

Πίνακας 9. Επίδραση των παραγόντων της ποικιλίας, της καταπόνησης σε συνθήκες αλατότητας και τον συνδυασμό των δύο παραγόντων στην παραγωγή και το νωπό βάρος των καρπών πεπονιάς σε υδροπονική καλλιέργεια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων σηματοδοτούνται με τα γράμματα a, b, c μέσω του ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Στον πίνακα στατιστικής σημαντικότητας το Μ.Σ. αντιστοιχεί σε μη σημαντική επίδραση, ενώ τα σύμβολα, *, ** και *** αντιστοιχούν σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ και $P \leq 0,001$ αντίστοιχα.

Παραγωγή (kg/m ²) ανά φυτό και νωπό βάρος καρπού		
Επίδραση Ποικιλίας		
Ποικιλία	Παραγωγή (kg/m ²)	Νωπό βάρος καρπού (g)
M05 (Rochet)	1,64c	1021.6 b
M10 (Θρακιώτικο)	2.09 bc	1167.8 b
M01 (T111 tipo piel de sapo)	2.79 b	1217.2 b
M07 (Tendra negro)	2.93 b	1279.2 b
M12 (Λευκό Αμυνταίου)	3.80 a	1583.6 a
Lavigal	3.97 a	1244.7 b
Επίδραση Αλατότητας		
Μεταχείριση	Παραγωγή (kg/m ²)	Νωπό βάρος καρπού (g)
Καταπόνηση Αλατότητας	2.57 b	1156.0 b
Control	3.17 a	1348.6 a
Στατιστική σημαντικότητα παραγόντων		
Παράγοντας	N.B. εμπορεύσιμων καρπών/ φυτό	Νωπό βάρος καρπού
Ποικιλία	***	**
Αλατότητα	*	*
Ποικιλία*Αλατότητα	ΜΣ	ΜΣ

Ο Παράγοντας της ποικιλίας επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή των εμπορεύσιμων καρπών, με τα φυτά των ποικιλιών λευκό Αμυνταίου και Lavigal χαρακτηρίζονται από τη μεγαλύτερη απόδοση σε σύγκριση με τις άλλες ποικιλίες.

Ως προς το νωπό βάρος των καρπών, η ποικιλία Λευκό Αμυνταίου διαφέρει σημαντικά έναντι των άλλων γονοτύπων με αύξηση κατά 27.23% σε σύγκριση με τους καρπούς της ποικιλίας Lavigal.

Η αλατότητα ασκεί σημαντική επίδραση τόσο στο μέγεθος της παραγωγής όσο και στο νωπό βάρος των καρπών, με μείωση κατά 18.92% και 14.24% αντίστοιχα.

Η παραγωγή και το νωπό βάρος των καρπών δεν επηρεάζονται σημαντικά από την αλληλεπίδραση των παραγόντων.

3.7. Χρωματικές παράμετροι των καρπών

Πίνακας 10. Επίδραση των παραγόντων της ποικιλίας, της καταπόνησης σε συνθήκες αλατότητας και του συνδυασμού των δύο παραγόντων στις χρωματικές παραμέτρους των καρπών. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων σηματοδοτούνται με τα γράμματα a, b, c, d μέσω του ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Στον πίνακα στατιστικής σημαντικότητας το Μ.Σ. αντιστοιχεί σε μη σημαντική επίδραση, ενώ τα σύμβολα, *, ** και *** αντιστοιχούν σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ και $P \leq 0,001$ αντίστοιχα.

Προσδιορισμός χρωματικών παραμέτρων των καρπών					
Επίδραση Ποικιλίας					
Ποικιλία	L*	a*	b*	Chroma	Hue
M01 (T111 tipo piel de sapo)	85.60 ab	-1.45 a	8.21 b	8.41 b	-0.66
M07 (Tendra negro)	77.38 bc	-2.15 a	9.72 b	9.97 b	-1.16
M10 (Θρακιώτικο)	88.41 a	-1.20 a	4.85 c	9.63 b	-0.80
M12 (Λευκό Αμυνταίου)	65.43 d	-10.36 c	22.23 a	24.90 a	-1.12
Lavigal	72.96 cd	-6.31 b	20.37 a	21.35 a	-1.28
M05 (Rochet)	37.42 e	-0.47 a	7.29 b	7.31 b	-0.72
Επίδραση Αλατότητας					
Μεταχείριση	L*	a*	b*	Chroma	Hue
Καταπόνηση Αλατότητας	76.58	-4.66	14.22	15.63	-1.09
Control	74.65	-3.89	12.76	14.49	-0.98
Στατιστική σημαντικότητα παραγόντων					
Παράγοντας	L*	a*	b*	Chroma	Hue
Ποικιλία	***	***	***	***	Μ.Σ.
Αλατότητα	Μ.Σ.	Μ.Σ.	Μ.Σ.	Μ.Σ.	Μ.Σ.
Ποικιλία*Αλατότητα	Μ.Σ.	Μ.Σ.	Μ.Σ.	Μ.Σ.	Μ.Σ.

Τα χρωματικά χαρακτηριστικά των καρπών δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από τη μεταχείριση της αλατότητας ή την αλληλεπίδραση των παραγόντων. Ωστόσο η επίδραση του παράγοντα ποικιλία ήταν ιδιαίτερα σημαντική, καθώς ασκεί επίδραση στις παραμέτρους L*, a*, b* και Chroma σε επίπεδο σημαντικότητας 0.001%.

3.8. Συνεκτικότητα της σάρκας των καρπών

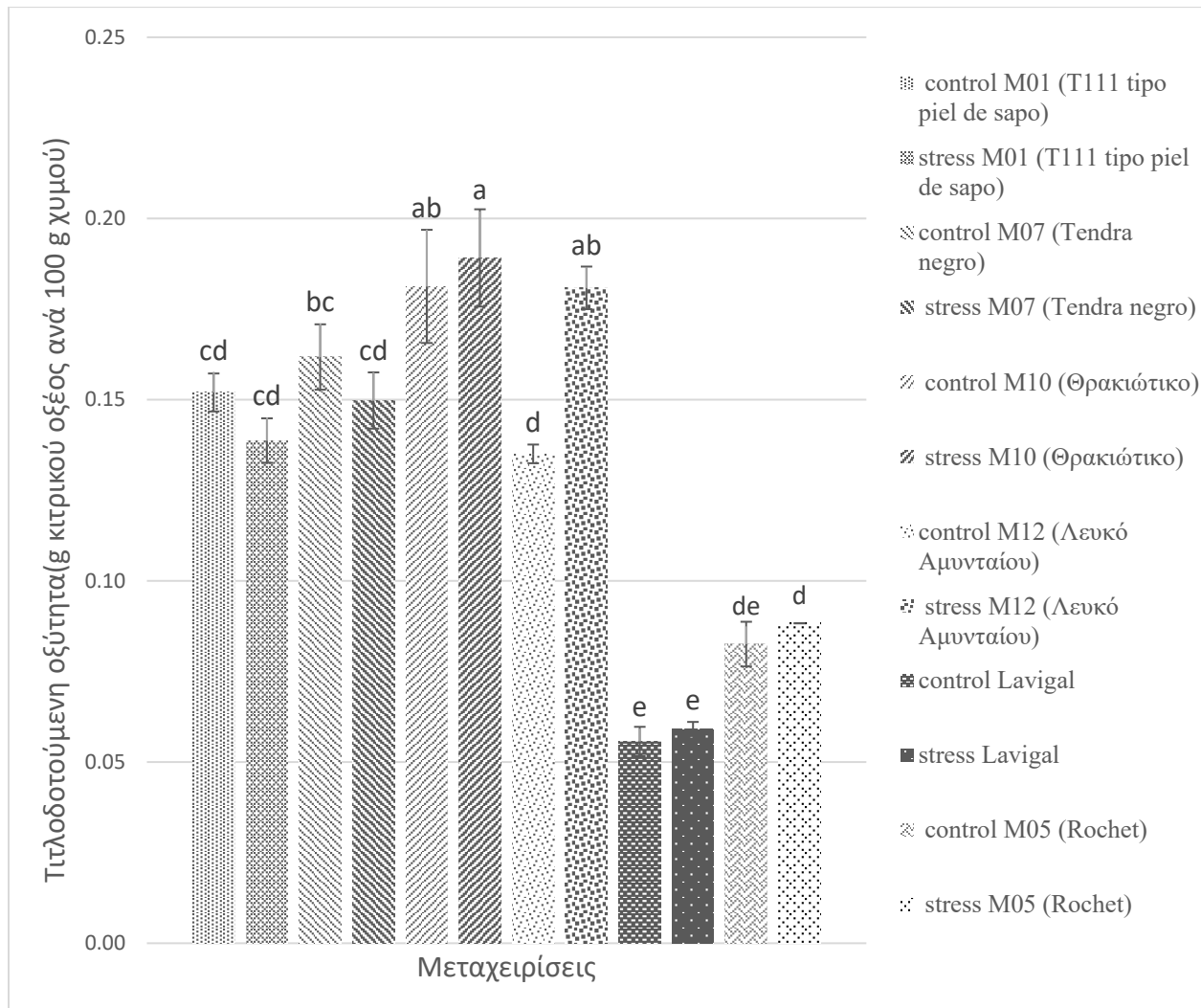
Πίνακας 11. Επίδραση των παραγόντων της ποικιλίας, της καταπόνησης σε συνθήκες αλατότητας και του συνδυασμού των δύο παραγόντων στην συνεκτικότητα της σάρκας των καρπών. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων σηματοδοτούνται με τα γράμματα a, b, c, d μέσω του ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Στον πίνακα στατιστικής σημαντικότητας το Μ.Σ. αντιστοιχεί σε μη σημαντική επίδραση, ενώ τα σύμβολα, *, ** και *** αντιστοιχούν σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ και $P \leq 0,001$ αντίστοιχα.

Προσδιορισμός συνεκτικότητας (N) της σάρκας των καρπών	
Επίδραση Ποικιλίας	
Ποικιλία	Συνεκτικότητα (N)
M01 (T111 tipo piel de sapo)	18.64 bc
M07 (Tendra negro)	20.59 b
M10 (Θρακιώτικο)	15.25 cd
M12 (Λευκό Αμυνταίου)	29.91 a
Lavigal	20.87 b
Επίδραση Αλατότητας	
Παράγοντας	Συνεκτικότητα (N)
Καταπόνηση Αλατότητας	21.00
Control	19.56
Στατιστική σημαντικότητα παραγόντων	
Ποικιλία	***
Αλατότητα	Μ.Σ.
Ποικιλία*Αλατότητα	Μ.Σ.

Ο παράγοντας της ποικιλίας είχε σημαντική επίδραση στην συνεκτικότητα των καρπών σε επίπεδο σημαντικότητας 0.001%, με την ποικιλία “Λευκό Αμυνταίου” να χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη συνεκτικότητα, η οποία ήταν μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της ποικιλίας “Lavigal” κατά 43.3%.

Αντίθετα οι παράγοντες της αλατότητας και η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

3.9. Τιτλοδοτούμενη οξύτητα των καρπών



Εικόνα 14. γραφική απεικόνιση της επίδρασης της καταπόνησης από υψηλή αλατότητα στις έξι ποικιλίες του πειράματος. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδεικνύονται από τα διαφορετικά γράμματα του ιστογράμματος σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan ($p < 0.01$).

Η τιτλοδοτούμενη οξύτητα των καρπών επηρεάζεται σημαντικά από τον παράγοντα της ποικιλίας και την αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων. Η υψηλότερη τιτλοδοτούμενη οξύτητα παρατηρήθηκε στην ποικιλία “Θρακιώτικο”. Σε συνθήκες καταπόνησης, η ποικιλία “ Λευκό Αμυνταίου” παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη συγκέντρωση κιτρικού οξέος σε σύγκριση με το μάρτυρα.

Ο παράγοντας της αλατότητας δεν φαίνεται να ασκεί σημαντική επίδραση στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα.

4. Συζήτηση

4.1. Παραγωγή και νωπό βάρος καρπών

Στο παρόν πείραμα μελετήθηκε η επίδραση των διαφορετικών ποικιλιών, της καταπόνησης σε συνθήκες αλατότητας, καθώς και η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων στην παραγωγή και την επίδραση στη θρέψη φυτών πεπονιάς σε υπό κάλυψη υδροπονική καλλιέργεια ανοιχτού συστήματος, χρησιμοποιώντας ως υπόστρωμα περλίτη. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν 5 ποικιλίες της Μεσογειακής λεκάνης και ένα εμπορικό υβρίδιο και αξιολογήθηκαν ως προς την περιεκτικότητα των καρπών και των φύλλων σε K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , το ποσοστό της ξηράς ουσίας των ιστών, η παραγωγή, το νωπό βάρος των καρπών, η συνεκτικότητα και η τιτλοδοτούμενη οξύτητά τους.

Η απόδοση μίας καλλιεργούμενης ποικιλίας αποτελεί ίσως το σημαντικότερο κριτήριο για την εμπορική της αξία. Σε συνδυασμό με το γεγονός πως η ανοχή σε δυσμενείς περιβαλλοντικές καταπονήσεις επηρεάζεται σημαντικά από το γονότυπο, ερευνητικά υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον στην αξιολόγηση των ποικιλιών ως προς την απόδοσή τους σε αυτές τις συνθήκες αλλά και για την ανάπτυξη νέων ποικιλιών με επιθυμητά γνωρίσματα (Akrami & Arzani, 2018). Στην παρούσα μελέτη, ο παράγοντας αλατότητα προκάλεσε μείωση στην παραγωγή η οποία άγγιξε το 19%. Παρόμοια ευρήματα αναφέρουν και οι Akrami και Arzani (2018) με τη μείωση στην παραγωγή να φτάνει το 43%. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε αξιολόγηση υβριδίων και εμπορικών ποικιλιών, όπου ο παράγοντας της αλατότητας εξηγεί σημαντικό ποσοστό της διακύμανσης της παραγωγής των ποικιλιών που μελετήθηκαν (Akrami & Arzani, 2019). Με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος, υπήρξε μείωση του νωπού βάρους των καρπών κατά 14.24%. Γενικότερα με βάση τα αποτελέσματα των περισσότερων μελετών, η μείωση της παραγωγής αποδίδεται κυρίως στη μείωση του μέσου νωπού βάρους των καρπών και όχι στο μικρότερο αριθμό τους. Σε διετές πείραμα με υδροπονική καλλιέργεια πεπονιάς με το υβρίδιο Cory f1, η μείωση του μέσου νωπού βάρους ως συνέπεια της αυξημένης αλατότητας του θρεπτικού διαλύματος φτάνει το 22% (Neocleous et al., 2017). Σημαντική μείωση του νωπού βάρους αναφέρουν και οι Botia και συν. (2005). Ωστόσο δεν αποδίδουν τη πτώση της παραγωγής στη μείωση του μέσου νωπού βάρους των καρπών, αλλά στο μειωμένο αριθμό καρπό λόγω ανθόρροιας όταν ο παράγοντας της αλατότητας εφαρμόζεται από το στάδιο της μεταφύτευσης ή της ανθοφορίας έως και την συγκομιδή. Τα αποτελέσματα συμφωνούν και με την εργασία των Tedeschi κ.α. (2011) όπου το μέγιστο ανεκτό όριο αλατότητας (τιμή-κατώφλι αλατότητας) των 1.54 έως 2.00 dS m^{-1} μειώνει την παραγωγή κατά 12% έως 15% για κάθε επιπλέον μονάδα

ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος, όταν ο παράγοντας καταπόνησης εφαρμόζεται από το στάδιο της μεταφύτευσης έως και την συγκομιδή. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους η μείωση της παραγωγής δεν οφείλεται μόνο στη μείωση του μέσου βάρους των καρπών, αλλά και στον μικρότερο αριθμό καρπών ανά φυτό. Οι Pereira και συν. (2017) δεν παρατήρησαν σημαντική επίδραση του παράγοντα της αλατότητας στο μέσο βάρος του συνόλου ή των εμπορεύσιμων καρπών. Αντίθετα, από τα αποτελέσματά τους προκύπτει πως η μείωση οφείλεται στο μικρότερο αριθμό καρπών ανά φυτό. Ο παράγοντας ποικιλία επηρεάζει σημαντικά όλες τις παραμέτρους της παραγωγικότητας για τους γονότυπους που μελετήθηκαν (Sancho – Pele de Sapo, Medellín – Pelede Sapo, Mandacaru, Néctar και Sedna).

Από τα αποτελέσματα του πειράματος προκύπτει πως η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν ασκεί σημαντική επίδραση στη μάζα των καρπών. Με βάση τη βιβλιογραφία, ορισμένες ποικιλίες με την κατάλληλη στρατηγική άρδευσης μπορούν να δώσουν μεγαλύτερη μάζα καρπών σε συνθήκες αλατότητας. Οι Terceiro και συν. (2021) παρατηρούν πως η άρδευση φυτών πεπονιάς με υφάλμυρο νερό δεν επηρεάζουν τον αριθμό καρπών ανά φυτό αλλά ασκούν επίδραση στο μέσο βάρος τους. Με βάση το στάδιο ανάπτυξης που βρίσκονται τα φυτά και την ένταση της καταπόνησης που δέχονται, η μέση μάζα των καρπών μπορεί να επηρεαστεί θετικά ή αρνητικά. Οι ερευνητές παρατήρησαν αύξηση του μέσου βάρους με εναλλαγή νερού άρδευσης με $19 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Na}^+$ στο βλαστικό στάδιο και $2.79 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Na}^+$ κατά τη διάρκεια της καρποφορίας και της καρπόδεσης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων συχνά αναφέρεται ως μία παράμετρος με στατιστικά σημαντική επίδραση στη διακύμανση του νωπού βάρους, καθώς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανεκτικότητα των επιμέρους ποικιλιών στον παράγοντα καταπόνησης και το γονότυπο (Akrami & Arzani, 2018, 2019). Η ικανότητα της κάθε ποικιλίας να αποδώσει σε συνθήκες καταπόνησης εξαρτάται από γνωρίσματα όπως ο αριθμός των ανθέων κατά την ανθοφορία, η βλαστική ανάπτυξη και η ικανότητα των φυτών να τροφοδοτούν τους αναπτυσσόμενους καρπούς με φωτοσυνθετικά προϊόντα (Botía et al., 2005). Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την παραγωγή και εξαρτάται σημαντικά από το γονότυπο είναι η ικανότητα των φυτών να διατηρούν τη διαπνοή σε επαρκή επίπεδα σε συνθήκες καταπόνησης. Η καταπόνηση από την αλατότητα ασκεί ιδιαίτερα δυσμενή επίδραση στον ρυθμό της εξατμισοδιαπνοής και τη σύνθεση βιομάζας των φυτών, επηρεάζοντας τελικά την συνολική παραγωγή (Neocleous et al., 2017). Η οσμωτική και η ιοντική καταπόνηση έχουν ως συνέπεια το κλείσιμο το στομάτων ως μηχανισμό εξοικονόμησης το νερού με αποτέλεσμα τον περιορισμό της

εξατμισοδιαπνοής (da Silva et al., 2021; Morais et al., 2018). Άλλος μηχανισμός ο οποίος περιορίζει τις υδατικές απώλειες μέσω της διαπνοής είναι η μείωση του αριθμού των στομάτων στα φύλλα μέσω μορφολογικών διαφοροποιήσεων, ως συνέπεια της οσμωτικής καταπόνησης (Sarabi et al., 2017). Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες επιδεικνύουν διαφορετική απόκριση στην αβιοτική καταπόνηση ως προς αρκετές παραμέτρους ανάπτυξης, όπως το νωπό και το ξηρό βάρος των φυτικών οργάνων, γεγονός το οποίο υποδεικνύει τις διαφορές στην ανεκτικότητα στον παράγοντα καταπόνησης (da Silva et al., 2021). Η μείωση της συνολικής φυλλικής επιφάνειας παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση μεταξύ των ποικιλιών και σχετίζεται άμεσα με τη μείωση της συνολικής παραγωγής καθώς σχετίζεται άμεσα με τη μείωση του συνολικού φωτοσυνθετικού δυναμικού και την τροφοδοσία των αναπτυσσόμενων καρπών με φωτοσυνθετικά παράγωγα (da Silva et al., 2021; Ekinialp, 2019; Huang et al., 2012).

Ως προς τα παραγωγικά χαρακτηριστικά της, η ποικιλία Λευκό Αμυνταίου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της επίδρασης του γονοτύπου στη μάζα των καρπών συγκριτικά με τις άλλες ποικιλίες αλλά και για την απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των φυτών της σε συνθήκες παρουσίας και απουσίας της καταπόνησης. Σημαντική είναι η επίδραση της ποικιλίας και στην παραγωγή, καθώς η ποικιλία Λευκό Αμυνταίου χαρακτηρίζεται από υψηλή παραγωγή χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές από τη Lavígal, την στιγμή που στις άλλες ποικιλίες παρατηρείται σημαντική μείωση. Το συγκεκριμένο εύρημα ενδεχομένως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μία ένδειξη ανεκτικότητας της ποικιλίας σε δυσμενείς αβιοτικές συνθήκες λόγω υψηλής αλατότητας του θρεπτικού μέσου.

4.2. Συγκέντρωση Na^+ στα φύλλα και τους καρπούς

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης προκύπτει πως οι παράγοντες ξεχωριστά ασκούν σημαντική επίδραση στην συγκέντρωση Na^+ στα φύλλα και τους καρπούς σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,001$. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων φαίνεται να ασκεί σημαντική επίδραση της ίδιας τάξεως στην συγκέντρωση του κατιόντος στους καρπούς, όχι όμως και στα φύλλα όπου δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με την εργασία των Botia και συν. (2005) τόσο για τα νεότερα όσο και για τα μεγαλύτερα σε ηλικία φύλλα. Η συγκέντρωση των ιόντων Na^+ στα φύλλα έχει την τάση να αυξάνεται σε υψηλές συγκεντρώσεις NaCl στο θρεπτικό διάλυμα σε συγκεντρώσεις όμως οι οποίες είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες των βλαστών (da Silva et al., 2021; Huang et al., 2012; Neocleous et al., 2017; Sarabi et al., 2017). Η αυξητική επίδραση του παράγοντα της αλατότητας στην συγκέντρωση Na^+ στα φύλλα προκύπτει και από τα αποτελέσματα της εργασίας των Kaya et al. (2007), όπου ο παράγοντας αύξησε σημαντικά την συγκέντρωση του τοξικού ιόντος στους ιστούς που μελετήθηκαν. Σε ποικιλίες μη ανεκτικές σε υψηλή αλατότητα παρατηρείται αρνητική συσχέτιση της συγκέντρωσης ιόντων Na^+ στα φύλλα με τις παραμέτρους ανάπτυξης των φυτών. Ωστόσο, υπάρχουν γονότυποι οι οποίοι μπορούν να ανεχτούν υψηλές συγκεντρώσεις στα φύλλα χωρίς να συνοδεύεται από σημαντικό αντίκτυπο στην ανάπτυξή τους. Στην περίπτωση όπου μία ποικιλία έχει υψηλή περιεκτικότητα Na στα φύλλα και χαρακτηρίζεται ως ανεκτική σε αλατούχα περιβάλλοντα, η αντοχή συχνά αιτιολογείται από την ύπαρξη μηχανισμών και εξειδικευμένων πρωτεϊνών με την ικανότητα να απομονώνουν τα τοξικά ιόντα (Xiong et al., 2018).

Όπως έχει αναφερθεί, τα ιόντα Cl^- και κυρίως τα ιόντα Na^+ που προσλαμβάνονται από τα φυτά σε αλατούχα και νατριωμένα θρεπτικά μέσα επιδρούν δυσμενώς στη φυσιολογία τους μέσω ωσμωτικών και κυτταροτοξικών αλληλεπιδράσεων στις βιοχημικές λειτουργίες των ιστών και το φωτοσυνθετικό μηχανισμό (Munns & Tester, 2008). Η τοξικότητα του Na^+ μπορεί να αποδοθεί στις ομοιότητες του ιόντος με τα κατιόντα του K σε χαρακτηριστικά όπως η ενθαλπία ενυδάτωσης ή η ιοντική ακτίνα, επιτρέποντας τον ανταγωνισμό των δύο στοιχείων στην πρόσληψη από το υπόστρωμα και την συμμετοχή στις φυσιολογικές διεργασίες (Kaya et al., 2007). Μία από τις στρατηγικές που έχει επιλεχθεί στα τα φυτά για να ανταποκριθούν στον τοξικό παράγοντα είναι η παρεμπόδιση της συσσώρευσης Na^+ στα φύλλα μέσω διαφόρων μηχανισμών αποκλεισμού (Munns & Tester, 2008; Shabala & Munns, 2017). Στην περίπτωση των βλαστών και των φύλλων η συγκέντρωση των ιόντων Na^+ τείνει να ελαττώνεται όσο τα φυτικά όργανα απομακρύνονται από

γηραιότερους ιστούς κοντά στη βάση του φυτού (Tedeschi et al., 2011). Επομένως, η συγκέντρωση των κατιόντων Na^+ στα φύλλα σε συνθήκες υψηλής αλατότητας είναι ενδεικτική της ανεκτικότητας μίας ποικιλίας στον παράγοντα καταπόνησης και επηρεάζεται σημαντικά από το γονότυπο (Kusvuran et al., 2011).

Θέτοντας τη χαμηλή περιεκτικότητα των φύλλων σε Na^+ ως επιθυμητό κριτήριο, η παραδοσιακή ποικιλία που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η Piel de Sapo με 50% μεγαλύτερη συγκέντρωση από την αντίστοιχη της Lavigal.

4.3. Συγκέντρωση K^+ στα φύλλα και τους καρπούς

Το K αποτελεί ένα μακροστοιχείο στη θρέψη των φυτών με συμμετοχή σε μεγάλο αριθμό βιοχημικών διεργασιών όπως η ρύθμιση του ωσμωτικού δυναμικού των κυττάρων, η κίνηση των στομάτων, ο έλεγχος της πολικότητας των κυτταρικών μεμβρανών και η μεταφορά των φωτοσυνθετικών προϊόντων μέσω του φλοιώματος. Όπως και σε άλλες βιοτικές καταπονήσεις, έτσι και η αλατότητα ασκεί έντονη επίδραση στην ομοιόσταση του K και την απόκριση του φυτού στον παράγοντα καταπόνησης. Η συμβολή της περιεκτικότητας των ιστών σε K και της αναλογίας K/Na στην αντιμετώπιση του αβιοτικού παράγοντα αποτελεί ένα θέμα το οποίο έχει συζητηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία (Cakmak, 2005; Shabala & Pottosin, 2014).

Στο πείραμα της παρούσας μελέτης ο παράγοντας της αλατότητας δεν άσκησε σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα των φύλλων και των καρπών σε K^+ . Αντίθετα η συγκέντρωση κατιόντων K στα φύλλα φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από την ποικιλία και την αλληλεπίδραση της ποικιλίας με την αλατούχο καταπόνηση. Το αποτέλεσμα είναι συνεπές με τις παρατηρήσεις του Bar-Yosef (2008), καθώς αναφέρει πως ανύψωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος ακόμα και έως τα 4.6 dS m^{-1} δεν ασκεί σημαντική επίδραση στην συγκέντρωση K^+ στους βλαστούς και τα φύλλα. Τα αποτελέσματα διαφέρουν από την εργασία των Kaya et. Al (2007). Στο πείραμά τους η μεταχείριση με 150 mM NaCl είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης K^+ στη ρίζα και τα φύλλα. Οι ερευνητές αποδίδουν τη μείωση στην ανταγωνιστική σχέση μεταξύ των δύο ιόντων στην πρόσληψη και την συμμετοχή σε βιοχημικές διεργασίες, συνέπεια των ομοιοτήτων που παρουσιάζουν στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Στη μεταχείριση της αλατότητας, ο παράγοντας δεν διέφερε σημαντικά από το μάρτυρα ως προς την συγκέντρωση K^+ και στα δύο φυτικά όργανα που μελετήθηκαν. Σύμφωνα με τους Da Silva και συν. (2021) οι ανθεκτικές ποικιλίες στην καταπόνηση από υψηλή αλατότητα χαρακτηρίζονται από τη διατήρηση υψηλής αναλογίας K^+/Na^+ στα φύλλα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μηχανισμών αποκλεισμού των ιόντων Na^+ από τους φωτοσυνθέτοντες ιστούς, περιορίζοντας την τοξική τους επίδραση. Σε παρόμοιο συμπέρασμα καταλήγει και ο Erdinc (2018) παρατηρώντας πως οι ανεκτικότερες ποικιλίες σε συνθήκες αλατότητας διατηρούν σχετικά υψηλή αναλογία K^+/Na^+ στα όργανά τους και χαρακτηρίζονται από μικρότερη μείωση του λόγου σε συνθήκες καταπόνησης συγκριτικά με ευπαθείς γονότυπους. Η ίδια παρατήρηση γίνεται και από τους Xiong και συν. (2018), καθώς παρατηρούν πως η ανεκτικότητα σε συνθήκες καταπόνησης συσχετίζεται με την υψηλή περιεκτικότητα του βλαστού σε K^+ και με τον αποκλεισμό του Na^+ από τα

φωτοσυνθέτοντες ιστούς, μέσω της δέσμευσης των ιόντων στα χυμοτόπια των κυττάρων του μεσοφύλλου.

Έχοντας ως κριτήριο τη σημασία της διατήρησης υψηλής περιεκτικότητας K^+ στα φύλλα σε συνθήκες καταπόνησης, στα αποτελέσματα ξεχωρίζει η ποικιλία Rochet λόγω της απουσίας σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων αλλά και η ποικιλία Piel de Sapo, καθώς σε περιβάλλον αλατότητας παρατηρείται στατιστικά μεγαλύτερη συγκέντρωση K^+ στα φύλλα.

4.4. Συγκέντρωση Ca^{2+} και Mg^{2+} στα φύλλα και τους καρπούς

Η συγκέντρωση των ιόντων Ca^{2+} σε συνθήκες καταπόνησης στα φύλλα είναι χαμηλότερη σε όλες τις ποικιλίες συγκριτικά με τη Lavigal. Οι χαμηλότερες στατιστικά σημαντικές μειώσεις παρατηρούνται στις ποικιλίες Λευκό Αμυνταίου, Θρακιώτικο και Tendra Negro, με μείωση από 24 έως 31%. Ο παράγοντας της ποικιλίας έχει σημαντική επίδραση στην πρόσληψη Ca^{2+} σε συνθήκες υψηλής αλατότητας. Σε μελέτη της ανάπτυξης μίας ανεκτικής και μιας μη ανεκτικής ποικιλίας σε συνθήκες αλατότητας (Kusvuran, 2012) η έκθεση των φυτών σε θρεπτικό μέσο με 100 mM NaCl μείωσε την περιεκτικότητα Ca στα νεότερα και τα γηραιότερα φύλλα, με την σημαντικά χαμηλότερη συγκέντρωση να παρατηρείται στα όργανα της ποικιλίας που χαρακτηρίζεται ως ευπαθής στην αβιοτική καταπόνηση. Χαρακτηριστικό της ανεκτικής ποικιλίας ήταν ο υψηλός λόγος Ca/Na υπό συνθήκες καταπόνησης μέσω αυξημένης πρόσληψης Ca και αποκλεισμού των ιόντων Na. Σύνδεση μεταξύ της συγκέντρωσης Ca και της αντοχής σε συνθήκες αλατότητας προκύπτει και από την εργασία του Erdinc (2018) όπου οι ποικιλίες με μεγαλύτερη ανοχή στον παράγοντα διατηρούν υψηλότερο λόγο Ca/Na και σημαντικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Ca συγκριτικά με ευπαθείς ποικιλίες. Οι da Silva και συν. (2021) Αναφέρουν πως περιεκτικότητα των φύλλων σε Ca και Mg εξαρτήθηκε σε μεγάλο βαθμό από την ποικιλία, καθώς σε συνθήκες καταπόνησης η συγκέντρωση Ca αυξήθηκε σε όλους τους γονότυπους έως και 31%, ενώ η συγκέντρωση του Mg είχε διαφορά από -74% έως και +47% σε σύγκριση με το μάρτυρα.

Το Ca μέσω του φυσιολογικού του ρόλου στην ανάπτυξη των φυτών συμβάλει σημαντικά στην αντοχή σε συνθήκες υψηλής αλατότητα στο θρεπτικό υπόστρωμα. Το Ca^{2+} είναι αναγκαίο για τη δομική ακεραιότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων και της κυτταρικής μεμβράνης στους φυτικούς ιστούς, ρυθμίζοντας παράλληλα τη δράση ενζύμων ως δευτερογενής μηνύτορας (Taiz et al., 2014; Τσέκος, 2004). Επιπλέον, η επάρκεια Ca^{2+} μειώνει την οσμωτική καταπόνηση στο περιβάλλον της ρίζας λόγω των ιόντων Na^+ μέσω της αύξησης της υδραυλικής αγωγιμότητας της ρίζας (Carnajal et al., 2000). Φυτά με αντοχή σε αυτές τις συνθήκες χαρακτηρίζονται από υψηλή αναλογία Ca/Na στο εσωτερικό των ιστών τους. Όπως παρατηρείται και με την αναλογία K/Na, υψηλός λόγος Ca/Na σχετίζεται αρνητικά με την ένταση των συμπτωμάτων της καταπόνησης στα φύλλα (Aktas et al., 2006). Συνεπώς, Η περιεκτικότητα των ιστών σε συνθήκες καταπόνησης αποτελεί κριτήριο για την επιλογή και την ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών (Ashraf, 2004).

Ως προς την συγκέντρωση των ιστών σε Mg, η επίδραση των παραγόντων είναι σημαντική σε διαφορετικούς βαθμούς σημαντικότητας σε όλες τις περιπτώσεις εκτός από την επίδραση της αλατότητας στους καρπούς. Οι ποικιλίες με τις υψηλότερες τιμές Mg στα φύλλα είναι η “Lavigal”, η “Rochet” και το Λευκό πεπόνι Αμυνταίου. Από τη μελέτη της αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων, φαίνεται πως η ποικιλία “Piel de Sapo” δεν έχει σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων στην περιεκτικότητα των καρπών, ενώ στην περίπτωση της ποικιλίας “Rochet”, τα φυτά υπό την επίδραση της καταπόνησης παρουσιάζουν αυξημένη συγκέντρωση Mg στα φύλλα κατά περίπου 12%. Θετική συσχέτιση με την αντοχή των φυτών σε συνθήκες αλατότητας φαίνεται να έχει και η περιεκτικότητα των ιστών σε Mg. Όπως και στην περίπτωση του Ca, υψηλός λόγος Mg/Na μετριάζει την τοξική επίδραση που έχει η συσσώρευση Na στους ιστούς μέσω της ρυθμιστικής επίδρασης που ασκούν τα δύο μακροστοιχεία στην απόκριση των φυτών σε συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης (Tedeschi et al., 2017).

4.5. Ποσοστό ξηρής Ουσίας

Το ποσοστό της ξηρής ουσίας επηρεάστηκε σημαντικά μόνο από τον παράγοντα ποικιλία στην περίπτωση των φύλλων, ενώ η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων ασκεί σημαντική επίδραση μόνο στο ποσοστό ξηρής ουσίας των καρπών. Στις ποικιλίες του πειράματος, η αλληλεπίδραση του γονότυπου με τον παράγοντα της αλατότητας άσκησε σημαντική επίδραση στο ποσοστό της ξηρής ουσίας των καρπών. Συγκεκριμένα, οι ποικιλίες “Piel de Sapo” και “Λευκό Αμυνταίου” δεν είχαν σημαντική μείωση του ποσοστού, ενώ η ποικιλία “Θρακιώτικο” χαρακτηρίζεται από σημαντική αύξηση της ξηρής ουσίας των καρπών σε σύγκριση με το μάρτυρα.

Σύμφωνα με τους Tedeschi και συν. (2011) η παρατεταμένη υψηλή αλατότητα στο θρεπτικό διάλυμα δεν επηρεάζει το ποσοστό της ξηρής μάζας στα φύλλα μέχρι το στάδιο του κορυφολογήματος. Ωστόσο κατά την συγκομιδή παρατηρήθηκε σημαντική μείωση για τα φύλλα, χωρίς να παρατηρούνται σημαντικές διαφορές ανά μεταχείριση στην ξηρή μάζα των καρπών. Σε μείωση του συνολικού ποσοστού της ξηρής ουσίας στα φύλλα, τους βλαστούς και τις ρίζες καταλήγει και η εργασία των Sarabi κ.α. (2017) με εφαρμογή αλατότητας σε συγκεντρώσεις 30, 60 και 90 mM. Η συνολική βιομάζα μειώθηκε έως και κατά 41.5% σε σύγκριση με το μάρτυρα, με το ποσοστό να εξαρτάται σημαντικά από την συγκέντρωση NaCl στο καλλιεργητικό υπόστρωμα. Τα αποτελέσματα συμφωνούν και με την εργασία των Tedeschi και συν. (2017) όπου η αύξηση της αλατότητας έχει ως αποτέλεσμα τη φθίνουσα αύξηση της ξηρής μάζας σε βάθος χρόνου, με ρυθμό που ακολουθεί τη μείωση της εξατμισοδιαπνοής και σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Η μείωση του ποσοστού της ξηρής μάζας στους ιστούς σε συνθήκες καταπόνησης λόγω υψηλής αλατότητας οφείλεται στη χαμηλότερη παραγωγή βιομάζας από το φυτό, ως συνέπεια της επίδρασης του παράγοντα καταπόνησης στις περισσότερες παραμέτρους ανάπτυξης (Sarabi et al., 2017; Tedeschi et al., 2017).

4.6. Συνεκτικότητα της σάρκας των καρπών

Η επίδραση της αλατότητας στην συνεκτικότητα των καρπών φαίνεται να είναι αμελητέα, καθώς η ελάχιστη διαφορά που παρατηρείται μεταξύ των πειραματικών μονάδων του control και της μεταχείρισης της καταπόνησης δεν ασκεί στατιστικά σημαντική επίδραση. Σε παρόμοιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Huang και συν.(2012), καθώς η συνεκτικότητα της σάρκας των καρπών της ποικιλίας που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμά τους (*Cucumis melo cv Huanghemi*) δεν επηρεάζεται από την καταπόνηση αλατότητας.

Αυτό δεν ισχύει για τον παράγοντα της ποικιλίας, καθώς παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων γονοτύπων που χρησιμοποιήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας 0.001%. Το αποτέλεσμα συμφωνεί με την εργασία των Botia και συν.(2005). Στην εργασία τους αξιολογήθηκαν δύο διαφορετικές ποικιλίες (Galia, Amarillo Oro) οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετική απόκριση. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως στο συγκεκριμένο πείραμα παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην συνεκτικότητα των καρπών με βάση το φαινολογικό στάδιο στο οποίο εφαρμόστηκε ο παράγοντας καταπόνησης.

Η συνεκτικότητα της σάρκας σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από την διατήρηση της ισορροπίας ανάμεσα στις διαλυμένες ουσίες των καρπών και του υδατικού τους περιεχομένου. Ως εκ τούτου, η ικανότητα διατήρησης της συνεκτικότητας μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένδειξη ανεκτικότητας στην αλατότητα (Garriga et al., 2015). Από τους γονότυπους που μελετήθηκαν, η ποικιλία “Λευκό Αμυνταίου” παρουσιάζει την υψηλότερη συνεκτικότητα ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή μη του παράγοντα καταπόνησης.

4.7. Χρωματικά χαρακτηριστικά της σάρκας των καρπών

Με βάση τα αποτελέσματα, τα χρωματικά χαρακτηριστικά L^* , a^* , b^* και Chroma επηρεάζονται σημαντικά μόνο από τον παράγοντα ποικιλία σε επίπεδο σημαντικότητας 0.001%. Αντίθετα, η αλατότητα και η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν ασκούν σημαντική επίδραση σε κανένα από τα χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν. Τα αποτελέσματα είναι συνεπή με τις παρατηρήσεις των Colla και συν. (2006), καθώς από την εργασία τους προκύπτει το συμπέρασμα πως το χρωματικό προφίλ των καρπών δεν επηρεάζεται από την αλατότητα.

Ως εκ τούτου ευσταθεί ο ισχυρισμός πως οι γονότυποι που αξιολογήθηκαν διατηρούν το χρωματικό προφίλ που είναι χαρακτηριστικό για τους καρπούς της ποικιλίας σε συνθήκες καταπόνησης από υψηλή αλατότητα. Η ποικιλία “Λευκό Αμυνταίου” διακρίνεται για τις υψηλότερες τιμές στις παραμέτρους Chroma και b^* (κίτρινη απόχρωση με σχετικά υψηλό κορεσμό) ενώ η ποικιλία “Θρακιώτικο” χαρακτηρίζεται από την σημαντικά υψηλότερη τιμή L^* (ένταση φωτεινότητας).

4.8. Τιτλοδοτούμενη οξύτητα της σάρκας των καρπών

Η καταπόνηση της αλατότητας δεν φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα των καρπών σε κιτρικό οξύ, κάτι το οποίο δεν ισχύει για την επίδραση της ποικιλίας και την αλληλεπίδραση των παραγόντων όπου παρατηρούνται διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας 0.001% και 0.01% αντίστοιχα. Το pH του χυμού των καρπών και η περιεκτικότητα σε οργανικά οξέα αποτελούν γνωρίσματα χαρακτηριστικά της κάθε ποικιλίας (Burger et al., 2003, 2006). Από τη μελέτη της βιβλιογραφίας προκύπτει το συμπέρασμα πως η επίδραση της αλατότητας στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα των καρπών διαφοροποιείται σημαντικά με βάση την ποικιλία που εξετάζεται. Συγκεκριμένα, οι Colla και συν. (2006). παρατηρούν πως η τιτλοδοτούμενη οξύτητα φυτών της ποικιλίας “Cyano” σχετίζεται γραμμικά με την αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος. Ανάλογα με την ποικιλία αλλά και το χρόνο εφαρμογής του παράγοντα καταπόνησης (Botía et al., 2005).

Από τους γονότυπους που μελετήθηκαν, η ποικιλία “Λευκό Αμυνταίου” αύξησε σημαντικά την περιεκτικότητα της σάρκας των καρπών σε κιτρικό οξύ, χωρίς να υπάρξει σημαντική μείωση της ξηρής ουσίας σε συνθήκες καταπόνησης.

5. Συμπεράσματα

Η υψηλή αλατότητα των θρεπτικών μέσων και ιδιαίτερα ο τύπος αλατότητας που παρατηρείται στα νατριωμένα εδάφη και θρεπτικά διαλύματα αποτελεί μία επιζήμια συνθήκη για τη σύγχρονη αγροτική παραγωγή, τόσο στις υπαίθριες όσο και στις υπό κάλυψη καλλιέργειες. Κατά την αξιολόγηση των ποικιλιών της εργασίας σε συνθήκες καταπόνησης παρατηρήθηκε η δυσμενής επίδραση του παράγοντα στις διάφορες παραμέτρους ανάπτυξης των φυτών, επιβεβαιώνοντας όσα αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Οι μετρήσεις που ακολούθησαν ανέδειξαν την ποικιλομορφία στην απόκριση των ποικιλιών σε συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης.

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φυτά της ποικιλίας Λευκό Αμυνταίου λόγω της υψηλής απόδοσης υπό συνθήκες καταπόνησης και της διατήρησης υψηλού ποσοστού ξηρής ουσίας στους ιστούς που μελετήθηκαν. Παράλληλα παρατηρήθηκε βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών διατηρώντας υψηλό νωπό βάρος στις συνθήκες καταπόνησης του πειράματος για τον συγκεκριμένο γονότυπο.

Με βάση τα ευρήματα της μελέτης, η απόκριση των παραδοσιακών ποικιλιών που αξιολογήθηκαν θα μπορούσε να μελετηθεί εκτενέστερα με σκοπό την χρήση τους σε βελτιωτικά προγράμματα και την ανάπτυξη ανεκτικών ποικιλιών σε συνθήκες αλατότητας με υψηλή προσαρμογή στις κλιματολογικές συνθήκες των Μεσογειακών περιοχών.

6. Βιβλιογραφία

- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 207–225. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00086-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00086-6)
- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. In *Agronomy* (Vol. 7, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Akrami, M., & Arzani, A. (2018). Physiological alterations due to field salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(5), 91. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2657-0>
- Akrami, M., & Arzani, A. (2019). Inheritance of fruit yield and quality in melon (*Cucumis melo* L.) grown under field salinity stress. *Scientific Reports*, 9(1), 7249. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43616-6>
- Aktas, H., Abak, K., & Cakmak, I. (2006). Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Scientia Horticulturae*, 110(3), 260–266. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.017>
- Albuquerque, B., Lidon, F., & Barreiro, M. G. (2006). A case study on the flavor properties of melon (*Cucumis melo* L.) cultivars. *Fruits*, 61, 333–339. <https://doi.org/10.1051/fruits:2006032>
- Ashraf, M. (2004). Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 199(5), 361–376. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00165>
- Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163–190. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6>
- Barry, C. S., & Giovannoni, J. J. (2007). Ethylene and Fruit Ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(2), 143. <https://doi.org/10.1007/s00344-007-9002-y>
- Bartels, D., & Sunkar, R. (2005). Drought and Salt Tolerance in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(1), 23–58. <https://doi.org/10.1080/07352680590910410>
- Bar-Yosef, B. (2008). Fertigation Management and Crops Response to Solution Recycling in Semi-Closed Greenhouses. In *Soilless Culture: Theory and Practice* (pp. 341–424). <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50011-3>
- Ben, G. O., & Kafkafi, U. (2002). Melon fruit quality as affected by timing, duration and concentration of phosphate and nitrogen sources in recycled hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*, 25(7), 1563–1583. <https://doi.org/10.1081/PLN-120005408>
- Bomfim, I., Freitas, B., Aragão, F., & Walters, A. (2016). Pollination in Cucurbit Crops. In M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of cucurbits* (pp. 181–200). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19233-16>

- Botía, P., Carvajal, M., Cerdá, A., & Martínez, V. (1998). Response of eight Cucumis melo cultivars to salinity during germination and early vegetative growth. *Agronomie*, 18(8–9), 503–513. <https://doi.org/10.1051/agro:19980801>
- Botía, P., Navarro, J. M., Cerdá, A., & Martínez, V. (2005). Yield and fruit quality of two melon cultivars irrigated with saline water at different stages of development. *European Journal of Agronomy*, 23(3), 243–253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.11.003>
- Burger, Y., Sa'ar, U., Distelfeld, A., Katzir, N., Yeselson, Y., Shen, S., & Schaffer, A. A. (2003). Development of Sweet Melon (Cucumis melo) Genotypes Combining High Sucrose and Organic Acid Content. *Journal of the American Society for Horticultural Science Jashes*, 128(4), 537–540. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.4.0537>
- Burger, Y., Sa'ar, U., Paris, H. S., Lewinsohn, E., Katzir, N., Tadmor, Y., & Schaffer, A. A. (2006). Genetic variability for valuable fruit quality traits in Cucumis melo. *Israel Journal of Plant Sciences*, 54(3), 233–242. https://doi.org/10.1560/IJPS_54_3_233
- Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 521–530. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>
- Cardona, A., Carrillo-Rivera, J. J., Huizar-Álvarez, R., & Graniel-Castro, E. (2004). Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico. *Environmental Geology*, 45(3), 350–366. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0874-2>
- Carvajal, M., Cerdá, A., & Martínez, V. (2000). Does calcium ameliorate the negative effect of NaCl on melon root water transport by regulating aquaporin activity? *New Phytologist*, 145(3), 439–447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00593.x>
- Cheng, M., Wang, H., Fan, J., Wang, X., Sun, X., Yang, L., Zhang, S., Xiang, Y., & Zhang, F. (2021). Crop yield and water productivity under salty water irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 256, 107105. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107105>
- Choudhary, B. R., & Pandey, S. (2016). Muskmelon genetics, Breeding, and cultural practices. In M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of cucurbits: Growth, cultural practices and physiology* (pp. 214–232). CRC Press.
- Colla, G., Roupshael, Y., Cardarelli, M., Massa, D., Salerno, A., & Rea, E. (2006). Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(1), 146–152. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512041>
- Da Silva, F. H. A., de Moraes, P. L. D., da Silva Dias, N., de Sousa Nunes, G. H., de Moraes, M. B., Melo, M. F., & de Albuquerque Nascimento, M. T. (2021). Physiological Aspects of Melon (Cucumis melo L.) as a Function of Salinity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(3), 1298–1314. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10190-5>

- Del Amor, F. M., Martinez, V., & Cerdá, A. (1999). Salinity Duration and Concentration Affect Fruit Yield and Quality, and Growth and Mineral Composition of Melon Plants Grown in Perlite. *HortScience HortSci*, 34(7), 1234–1237.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.34.7.1234>
- Ekincialp, A. (2019). The differences among melon genotypes and varieties under salt stress based on certain morphological and physiological properties - Mixture modeling and principal component analysis (PCA). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 2965–2981. https://doi.org/10.15666/aeer/1702_29652981
- Erdinc, C. (2018). Changes in ion (K, Ca and Na) regulation, antioxidant enzyme activity and photosynthetic pigment content in melon genotypes subjected to salt stress – a mixture modeling analysis. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 17(1), 165–183.
<https://doi.org/10.24326/asphc.2018.1.16>
- Eswar, D., Karuppusamy, R., & Chellamuthu, S. (2021). Drivers of soil salinity and their correlation with climate change. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Vol. 50, pp. 310–318). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.10.015>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Stuart Chapin, F., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Colin Prentice, I., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), 570–574.
<http://science.sciencemag.org/>
- Garriga, M., Muñoz, C., Caligari, P., & Retamales, J. (2015). Effect of salt stress on genotypes of commercial (*Fragaria x ananassa*) and Chilean strawberry (*F. chiloensis*). *Scientia Horticulturae*, 195, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.036>
- Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82(2), 121–145.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- Hodges, D. M., & Lester, G. (2011). Cucurbits [cucumber, melon, pumpkin and squash]. *Health-Promoting Properties of Fruit and Vegetables*, 118–134.
- Huang, C. H., Zong, L., Buonanno, M., Xue, X., Wang, T., & Tedeschi, A. (2012). Impact of saline water irrigation on yield and quality of melon (*Cucumis melo* cv. Huanghemi) in northwest China. *European Journal of Agronomy*, 43, 68–76.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.05.008>
- Isaac, R. A., & Kerber, J. D. (1971). Atomic Absorption and Flame Photometry: Techniques and Uses in Soil, Plant, and Water Analysis. In *Instrumental Methods for Analysis of Soils and Plant Tissue* (pp. 17–37). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/https://doi.org/10.2136/1971.instrumentalmethods.c2>

- Kaya, C., Tuna, A., Ashraf, M., & Altunlu, H. (2007). Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. *Environmental and Experimental Botany*, *60*, 397–403. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.12.008>
- Kerje, T., & Grum, M. (2000). The origin of melon, *Cucumis melo*: A review of the literature. *Acta Horticulturae*, *510*, 37–44. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.510.5>
- Khan, S., Purohit, A., & Vadsaria, N. (2021). Hydroponics: current and future state of the art in farming. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(10), 1515–1538. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1860217>
- Kusvuran, S. (2012). Ion Regulation in Different Organs of Melon (*Cucumis melo*) Genotypes under Salt Stress. *INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY*, *14*.
- Kusvuran, S., Abak, K., Dasgan, H. Y., & Çoban, G. A. (2011). Determination of Genotypical Differences of Melons to Salt Tolerance. *Acta Horticulturae*, *918*, 777–783.
- Kyriacou, M. C., Leskovar, D. I., Colla, G., & Rouphael, Y. (2018). Watermelon and melon fruit quality: The genotypic and agro-environmental factors implicated. *Scientia Horticulturae*, *234*, 393–408. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.032>
- Lester, G. E., & Hodges, D. M. (2008). Antioxidants associated with fruit senescence and human health: Novel orange-fleshed non-netted honey dew melon genotype comparisons following different seasonal productions and cold storage durations. *Postharvest Biology and Technology*, *48*(3), 347–354. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.11.008>
- Lim, T. K. (2012). *Cucumis melo* (Inodorus Group). In T. K. Lim (Ed.), *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 2, Fruits* (pp. 210–218). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1764-0_33
- Lin, D., Huang, D., & Wang, S. (2004). Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture. *Scientia Horticulturae*, *102*(1), 53–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.12.009>
- Madrid, R., Valverde, M., Alcolea, V., & Romojaro, F. (2004). Influence of calcium nutrition on water soaking disorder during ripening of Cantaloupe melon. *Scientia Horticulturae*, *101*(1), 69–79. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.10.005>
- Manos, D.-P., & Xydis, G. (2019). Hydroponics: are we moving towards that direction only because of the environment? A discussion on forecasting and a systems review. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(13), 12662–12672. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04933-5>
- Massa, D., Magán, J. J., Montesano, F. F., & Tzortzakis, N. (2020). Minimizing water and nutrient losses from soilless cropping in southern Europe. *Agricultural Water Management*, *241*, 106395. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106395>

- Meena, M. D., Yadav, R. K., Narjary, B., Yadav, G., Jat, H. S., Sheoran, P., Meena, M. K., Antil, R. S., Meena, B. L., Singh, H. v, Singh Meena, V., Rai, P. K., Ghosh, A., & Moharana, P. C. (2019). Municipal solid waste (MSW): Strategies to improve salt affected soil sustainability: A review. *Waste Management*, *84*, 38–53. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.020>
- Morais, P., da Silva Dias, N., Oliveira, A., Neto, O., Sarmiento, J., & Gonzaga, M. (2018). Effects of nutrient solution salinity on the physiological performance of melon cultivated in coconut fiber. *Revista Caatinga*, *31*, 713–718. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n321rc>
- Munns, R., Guo, J., Passioura, J. B., & Cramer, G. R. (2000). Leaf water status controls day-time but not daily rates of leaf expansion in salt-treated barley. *Functional Plant Biology*, *27*(10), 949–957. <https://doi.org/10.1071/PP99193>
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*(1), 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Neocleous, D., Ntatsi, G., & Savvas, D. (2017). Physiological, nutritional and growth responses of melon (*Cucumis melo* L.) to a gradual salinity built-up in recirculating nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, *40*(15), 2168–2180. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346673>
- Neocleous, D., & Savvas, D. (2015). Effect of different macronutrient cation ratios on macronutrient and water uptake by melon (*Cucumis melo*) grown in recirculating nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *178*(2), 320–332. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jpln.201400288>
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E., & Katsoulas, N. (2020). Implementing Sustainable Irrigation in Water-Scarce Regions under the Impact of Climate Change. *Agronomy*, *10*(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy10081120>
- Nuñez-Palenius, H. G., Gomez-Lim, M., Ochoa-Alejo, N., Grumet, R., Lester, G., & Cantliffe, D. J. (2008). Melon Fruits: Genetic Diversity, Physiology, and Biotechnology Features. *Critical Reviews in Biotechnology*, *28*(1), 13–55. <https://doi.org/10.1080/07388550801891111>
- Ojo, D. O. (2016). *Cucumis melo* L. (Muskelon). In M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of cucurbits: Growth, cultural practices, and physiology* (pp. 37–43). CRC Press.
- Papadopoulos, A., Bar-Tal, A., Silber, A., Saha, U., & Raviv, M. (2008). Inorganic and Synthetic Organic Components of Soilless Culture and Potting Mixes. In *Soilless Culture: Theory and Practice* (pp. 505–543). <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50014-9>
- Paris, H. S. (2016). Overview of the origins and history of the five major cucurbit crops: issues for ancient DNA analysis of archaeological specimens. *Vegetation History and Archaeobotany*, *25*(4), 405–414. <https://doi.org/10.1007/s00334-016-0555-1>

- Paris, H. S., Tadmor, Y., & Schaffer, A. A. (2017). Cucurbitaceae Melons, Squash, Cucumber. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 3, 209–217. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00063-0>
- Pereira, F., Medeiros, J., Gheyi, H., da Silva Dias, N., Preston, W., & Vasconcelos, C. (2017). Tolerance of melon cultivars to irrigation water salinity. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21, 846–851. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p846-851>
- Pitrat, M. (2008a). Melon. In J. Prohens-Tomás & F. Nuez (Eds.), *Handbook of Plant Breeding* (pp. 283–315). Springer.
- Pitrat, M. (2008b). Melon. In J. Prohens & F. Nuez (Eds.), *Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae* (pp. 283–315). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-30443-4_9
- Pitrat, M. (2013). Phenotypic diversity in wild and cultivated melons (*Cucumis melo*). *Plant Biotechnology*, 30(3), 273–278. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.13.0813a>
- Pitrat, M., Hanlet, P., & Hammer, K. (2000). Some comments on infraspecific classification of cultivars of melon. In *Acta Horticulturae* (Vol. 510, pp. 29–36).
- Raviv, M., & Lieth, J. H. (2008). 1 - Significance of soilless culture in agriculture. In M. Raviv & J. H. Lieth (Eds.), *Soilless Culture* (pp. 1–11). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50003-4>
- Rodríguez-Pérez, C., Quirantes-Piné, R., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2013). Comparative characterization of phenolic and other polar compounds in Spanish melon cultivars by using high-performance liquid chromatography coupled to electrospray ionization quadrupole-time of flight mass spectrometry. *Food Research International*, 54(2), 1519–1527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.011>
- Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., de Pascale, S., & Colla, G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 234, 275–289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>
- Sahab, S., Suhani, I., Srivastava, V., Chauhan, P. S., Singh, R. P., & Prasad, V. (2021). Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies. *Science of The Total Environment*, 764, 144164. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144164>
- Sarabi, B., Bolandnazar, S., Ghaderi, N., & Ghashghaie, J. (2017). Genotypic differences in physiological and biochemical responses to salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.) plants: Prospects for selection of salt tolerant landraces. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 294–311. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.006>

- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280–293. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>
- Seymour, G. B., & McGlasson, W. B. (1993). Melons. In G. B. Seymour, J. E. Taylor, & G. A. Tucker (Eds.), *Biochemistry of Fruit Ripening* (pp. 273–290). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1584-1_9
- Shabala, S., & Munns, R. (2017). Salinity stress: Physiological constraints and adaptive mechanisms. In S. Shabala (Ed.), *Plant Stress Physiology* (2nd ed., pp. 24–63). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781845939953.0059>
- Shabala, S., & Pottosin, I. (2014). Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiologia Plantarum*, 151(3), 257–279. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ppl.12165>
- Shiple, B., & Vu, T.-T. (2002). Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts. *New Phytologist*, 153(2), 359–364. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00320.x>
- Silber, A., & Bar-Tal, A. (2008). Nutrition of Substrate-Grown Plants. In *Soilless Culture: Theory and Practice* (pp. 291–339). <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50010-1>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010a). Mineral nutrition. In *Plant physiology* (5th ed., pp. 67–86). Sinauer Associates, Inc.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010b). Stress physiology. In *Plant physiology* (5th ed., pp. 591–623). Sinauer Associates, Inc.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2014). Mineral Nutrition. In *Plant Physiology and Development* (6th ed., pp. 119–142). Sinauer Associates, Inc.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). Abiotic stress. In *Plant physiology & development* (6th ed., pp. 731–761). Sinauer Associates, Inc.
- Tedeschi, A., Lavini, A., Riccardi, M., Pulvento, C., & d'Andria, R. (2011). Melon crops (*Cucumis melo* L., cv. Tendral) grown in a mediterranean environment under saline-sodic conditions: Part I. Yield and quality. *Agricultural Water Management*, 98(9), 1329–1338. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.007>
- Tedeschi, A., Zong, L., Huang, C. H., Vitale, L., Volpe, M. G., & Xue, X. (2017). Effect of Salinity on Growth Parameters, Soil Water Potential and Ion Composition in *Cucumis melo* cv. Huanghemi in North-Western China. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(1), 41–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jac.12161>
- Terceiro Neto, C. P. C., de Medeiros, J. F., Dias, N. da S., Gheyi, H. R., Santos Júnior, J. A., Chipana-Rivera, R., Suddarth, S. R. P., Lima, B. L. de C., Fernandes, C. dos S., & Lemos Neto, H. de S. (2021). Irrigation Management Strategies with Brackish Water in Production

- and Post-harvest Quality of “Toad Skin” Melon. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(6), 231. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05189-x>
- Thompson, A. K. (2003). Assessment of crop maturity. In *Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling and Storage* (pp. 9–18). <https://doi.org/10.1002/9781118653975.ch2>
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Treftz, C., & Omaye, S. T. (2016). Hydroponics: potential for augmenting sustainable food production in non-arable regions. *Nutrition & Food Science*, 46(5), 672–684. <https://doi.org/10.1108/NFS-10-2015-0118>
- Valantin-Morison, M., VaissiÈre, B. E., Gary, C., & Robin, P. (2006). Source-sink balance affects reproductive development and fruit quality in cantaloupe melon (*Cucumis melo* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(1), 105–117. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512036>
- Van Os, E. A., Gieling, Th. H., & Lieth, J. H. (2019). Chapter 13 - Technical Equipment in Soilless Production Systems. In M. Raviv, J. H. Lieth, & A. Bar-Tal (Eds.), *Soilless Culture (Second Edition)* (pp. 587–635). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00013-X>
- Van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt Tolerance Mechanisms of Plants. *Annual Review of Plant Biology*, 71(1), 403–433. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005>
- Wada, T. (2019a). Chapter 1.1 - Theory and Technology to Control the Nutrient Solution of Hydroponics. In M. Anpo, H. Fukuda, & T. Wada (Eds.), *Plant Factory Using Artificial Light* (pp. 5–14). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813973-8.00001-4>
- Wada, T. (2019b). Chapter 1.1 - Theory and Technology to Control the Nutrient Solution of Hydroponics. In M. Anpo, H. Fukuda, & T. Wada (Eds.), *Plant Factory Using Artificial Light* (pp. 5–14). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813973-8.00001-4>
- Wallach, R. (2019). Chapter 3 - Physical Characteristics of Soilless Media. In M. Raviv, J. H. Lieth, & A. Bar-Tal (Eds.), *Soilless Culture (Second Edition)* (pp. 33–112). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00003-7>
- Wehner, T. C., Naegele, R. P., Myers, J. R., Dhillon, N. P. S., & Crosby, K. (2020a). Fruit and seed production. In *Cucurbits* (2nd ed., pp. 149–157). CAB International.
- Wehner, T. C., Naegele, R. P., Myers, J. R., Dhillon, N. P. S., & Crosby, K. (2020b). Melon. In *Cucurbits* (2nd ed., pp. 62–70). CAB International.

- Wehner, T. C., Naegele, R. P., Myers, J. R., Dhillon, N. P. S., & Crosby, K. (2020c). What are cucurbits? In *Cucurbits* (2nd ed., pp. 1–19). CAB International.
- Xiong, M., Zhang, X., Shabala, S., Shabala, L., Chen, Y., Xiang, C., Nawaz, M. A., Bie, Z., Wu, H., Yi, H., Wu, M., & Huang, Y. (2018). Evaluation of salt tolerance and contributing ionic mechanism in nine Hami melon landraces in Xinjiang, China. *Scientia Horticulturae*, 237, 277–286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.023>
- Yasuor, H., Yermiyahu, U., & Ben-Gal, A. (2020). Consequences of irrigation and fertigation of vegetable crops with variable quality water: Israel as a case study. *Agricultural Water Management*, 242, 106362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106362>
- Zong, Y., Chen, Z., Innes, J. B., Chen, C., Wang, Z., & Wang, H. (2007). Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China. *Nature*, 449(7161), 459–462. <https://doi.org/10.1038/nature06135>
- ΕΛ.Γ.Ο. “ΔΗΜΗΤΡΑ.” (2016). «Προκήρυξη ανοικτού διαγωνισμού για την παραχώρηση του δικαιώματος της παραγωγής και εμπορίας σπόρων σποράς ποικιλιών σιτηρών, βάμβακος και κηπευτικών, κυριότητας του ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ».
https://www.elgo.gr/Images/Pdf/6%CE%9D78%CE%9F%CE%9E3%CE%9C-1%CE%A61_%CE%91%CE%94%CE%91_%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97%CE%A1%CE%A5%CE%9E%CE%97%CE%A3.Pdf.
- Ζιώγας, Β. Ν., & Μάρκογλου, Α. Ν. (2010). Απολυμαντικά - υποκαπνιστικά. In *Γεωργική Φαρμακολογία* (2nd ed., pp. 707–716). Ζιώγας Βασίλειος.
- Μήτσιοι, Ι. (2001). Αλατούχα και νατριομένα εδάφη. In *Εδαφολογία* (3rd ed., pp. 219–292). Zymel.
- Ολύμπιος, Χ. (2001). Πεπόνι. In *Η τεχνική της καλλιέργειας τω κηπευτικών στα θερμοκήπια* (pp. 457–560). Εκδόσεις Σταμούλη ΑΕ.
- Ολύμπιος, Χ. (2015). Πεπονιά. In *Η τεχνική της Καλλιέργειας των Υπαίθριων Κηπευτικών* (pp. 220–239). Unibooks I.K.E.
- Πάσσαμ, Χ.-Κ., Τσαντίλη, Ε., Χριστόπουλος, Μ., Καυκαλέτου, Μ., Αλεξόπουλος, Α., & Καραπάνος, Ι. (2015). Μετασυλλεκτική φυσιολογία και χειρισμοί των καρπών κηπευτικών ειδών: πεπόνι. In *Μετασυλλεκτική μεταχείριση καρπών και λαχανικών* (pp. 164–166). ΣΕΑΒ, Κάλλιπος.
- Σάββας, Δ. (2011a). Ειδική τεχνική για τα κυριότερα φυτά θερμοκηπίου. In *Καλλιέργειες εκτός εδάφους - Υδροπονία, υποστρώματα* (pp. 417–501). Αγρότυπος Α.Ε.
- Σάββας, Δ. (2011b). Εισαγωγή. In *Καλλιέργειες εκτός εδάφους - Υδροπονία, υποστρώματα* (pp. 13–25). Αγρότυπος Α.Ε.
- Σάββας, Δ. (2011c). Θρέψη-λίπανση φυτών στις καλλιέργειες εκτός εδάφους. In *Καλλιέργειες εκτός εδάφους - Υδροπονία, υποστρώματα* (pp. 243–355). Αγρότυπος Α.Ε.

- Σάββας, Δ. (2011d). Συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους. In *Καλλιέργειες εκτός εδάφους - Υδροπονία, υποστρώματα* (pp. 175–242). Αγρότυπος Α.Ε.
- Σάββας, Δ. (2011ε). Υποστρώματα καλλιεργειών εκτός εδάφους. In *Καλλιέργειες εκτός εδάφους - Υδροπονία, υποστρώματα* (pp. 29–115). Αγρότυπος Α.Ε.
- Τσέκος, Ι. (2004). Οι θρεπτικές Ουσίες και η Συμμετοχή τους στις Διεργασίες του Μεταβολικού Κυκλώματος. In *Φυσιολογία Φυτών* (2nd ed., pp. 163–208). Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε.
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. (2019). *Στατιστικά στοιχεία εκτάσεων και παραγωγής φυτικών προϊόντων*. <http://www.minagric.gr/index.php/el/the-ministry-2/statistikes-tekmhrioshs/8510-statistika-ekt-parag-fytikonproionton>
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. (2021, August 20). *Εθνικός κατάλογος ποικιλιών καλλιεργούμενων φυτικών ειδών*.

7. Παράρτημα

Αριθμός αναφοράς - Ημερομηνία:	1/20-4-2021	Θέση της καλλιέργειας:	Πλαστικό θερμοκήπιο
Πλήρες όνομα:	VEGADAPT-NTANASΗ	Είδος καλλιέργειας:	Πεπόνι
Διεύθυνση:	ΓΠΑ	Στάδιο καλλιέργειας:	Διάλυμα διαβροχής
Αριθμός τηλεφώνου:		Εποχή (κλιματικές συνθήκες):	Άνοιξη ή Φθινόπωρο
Email:	ntanasi@aua.gr	Ανοιχτό ή κλειστό υδροπονικό σύστημα:	Ανοιχτό υδροπονικό σύστημα

Nutrient solution characteristic	Μονάδα	Νερό άρδευσης	Composition of the drip solution
EC	dS/m	0.32	2.91
pH		7.30	5.60
K ⁺	mmol/L	0.00	6.80
Ca ²⁺	mmol/L	0.90	7.00
Mg ²⁺	mmol/L	0.30	2.50
NH ₄ ⁺	mmol/L	0.00	1.25
SO ₄ ²⁻	mmol/L	0.20	3.80
NO ₃ ⁻	mmol/L	0.00	18.00
H ₂ PO ₄ ⁻	mmol/L	0.00	1.25
Fe	μmol/L	0.00	24.00
Mn ⁺⁺	μmol/L	0.00	10.00
Zn ⁺⁺	μmol/L	2.15	7.00
Cu ⁺⁺	μmol/L	0.00	1.00
B	μmol/L	0.00	50.00
Mo	μmol/L	0.00	0.50
Si	mmol/L	0.00	0.00
Cl ⁻	mmol/L	0.40	0.40
Na ⁺	mmol/L	0.60	0.60
HCO ₃ ⁻	mmol/L	2.20	0.40
K/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.42
Ca/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.43
Mg/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.15
N/K	mol/mol		2.83
NH ₄ -N/Total-N	mol/mol		0.06

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ						
				Πυκνό διάλυμα Β	20	ΛΙΤΡΑ (L)
Στόχος EC για την κεφαλή υδρολίπανσης	2.91	dS/m		Νιτρικό κάλιο	0.557	Kg
pH	5.60			Θεικό μαγνήσιο	1.084	Kg
Πυκνό διάλυμα Α	20	ΛΙΤΡΑ (L)		Νιτρικό μαγνήσιο	0.000	Kg
Νιτρικό ασβέστιο	2.636	Kg		Φωσφορικό μονοκάλιο	0.340	Kg
Χλωριούχο ασβέστιο, 48% Cl	0.000	Kg		Θεικό κάλιο	0.488	Kg
Νιτρικό κάλιο	0.000	Kg		Φωσφορικό οξύ	0.000	kg
Νιτρικό αμμώνιο	0.005	Kg		Φωσφορικό μονοαμμώνιο	0.000	Kg
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.045	Kg		Θεικό αμμώνιο	0.000	Kg
Πυκνό διάλυμα νιτρικού οξέος	20	ΛΙΤΡΑ (L)		Θεικό οξύ	0.000	Kg
Νιτρικό οξύ	0.359	Kg		Θεικό μαγγάνιο	3.4	g
Πυκνό διάλυμα πυριτικού καλίου	0	ΛΙΤΡΑ (L)		Θεικός ψευδάργυρος	2.8	g
Πυριτικό κάλιο (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg		Θεικός χαλκός	0.5	g
				Βορικό οξύ	6.2	g
				Επτααμλυβδαινικό αμμώνιο	0.2	g

calculator.nutrisense.online:5001/solution/result

Εικόνα 15. Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε για την αρχική διαβροχή του υποστρώματος καλλιέργειας.

Αριθμός αναφοράς - Ημερομηνία:	2/20-4-2021	Θέση της καλλιέργειας:	Θάλαμος 2 (γυάλινο θερμοκήπιο)
Πλήρες όνομα:	VEGADAPT-NTANASIH	Είδος καλλιέργειας:	Πεπόνι
Διεύθυνση:	ΓΠΑ	Στάδιο καλλιέργειας:	Βλαστικό στάδιο
Αριθμός τηλεφώνου:		Εποχή (κλιματικές συνθήκες):	Άνοιξη ή Φθινόπωρο
Email:	ntanasi@aua.gr	Ανοικτό ή κλειστό υδροπονικό σύστημα:	Ανοικτό υδροπονικό σύστημα

Nutrient solution characteristic	Μονάδα	Νερό άρδευσης	Composition of the drip solution
EC	dS/m	0.38	2.30
pH		7.40	5.60
K ⁺	mmol/L	0.00	7.75
Ca ²⁺	mmol/L	1.40	4.30
Mg ²⁺	mmol/L	0.18	1.40
NH ₄ ⁺	mmol/L	0.00	1.40
SO ₄ ²⁻	mmol/L	0.25	1.93
NO ₃ ⁻	mmol/L	0.00	15.00
H ₂ PO ₄ ⁻	mmol/L	0.00	1.25
Fe	μmol/L	0.00	15.00
Mn ⁺⁺	μmol/L	0.00	10.00
Zn ⁺⁺	μmol/L	2.15	5.00
Cu ⁺⁺	μmol/L	0.00	0.80
B	μmol/L	0.00	25.00
Mo	μmol/L	0.00	0.50
Si	mmol/L	0.00	0.00
Cl ⁻	mmol/L	0.56	0.56
Na ⁺	mmol/L	0.60	0.60
HCO ₃ ⁻	mmol/L	2.70	0.49
K/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.58
Ca/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.32
Mg/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.10
N/K	mol/mol		2.12
NH4-N/Total-N	mol/mol		0.09

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ						
			Πυκνό διάλυμα Β		20	ΛΙΤΡΑ (L)
Στόχος EC για την κεφαλή υδρολίπανσης	2.30	dS/m	Νιτρικό κάλιο		0.716	Kg
pH	5.60		Θεικό μαγνήσιο		0.601	Kg
Πυκνό διάλυμα Α			Νιτρικό μαγνήσιο		0.000	Kg
Νιτρικό ασβέστιο	1.253	Kg	Φωσφορικό μονοκάλιο		0.340	Kg
Χλωριούχο ασβέστιο, 48% Cl	0.000	Kg	Θεικό κάλιο		0.159	Kg
Νιτρικό κάλιο	0.413	Kg	Φωσφορικό οξύ		0.000	kg
Νιτρικό αμμώνιο	0.131	Kg	Φωσφορικό μονοαμμώνιο		0.000	Kg
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.028	Kg	Θεικό αμμώνιο		0.000	Kg
Πυκνό διάλυμα νιτρικού οξέος			Θεικό οξύ		0.000	Kg
Νιτρικό οξύ	0.443	Kg	Θεικό μαγγάνιο		3.4	g
Πυκνό διάλυμα πυριτικού καλίου			Θεικός ψευδάργυρος		1.6	g
Πυριτικό κάλιο (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg	Θεικός χαλκός		0.4	g
			Βορικό οξύ		3.1	g
			Επτααμλυβδαινικό αμμώνιο		0.2	g

calculator.nutrisense.online:5001/solution/result

Εικόνα 16. Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε στο βλαστικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών πεπονιάς.

Αριθμός αναφοράς - Ημερομηνία:	3/31-5-2021	Θέση της καλλιέργειας:	Θάλαμος 2 (γυάλινο θερμοκήπιο)
Πλήρες όνομα:	VEGADAPT-NTANΑΣH	Είδος καλλιέργειας:	Πεπόνι
Διεύθυνση:	ΓΠΑ	Στάδιο καλλιέργειας:	Καρποφορία
Αριθμός τηλεφώνου:		Εποχή (κλιματικές συνθήκες):	Ήπιο καλοκαίρι
Email:	ntanasi@aua.gr	Ανοικτό ή κλειστό υδροπονικό σύστημα:	Ανοικτό υδροπονικό σύστημα

Nutrient solution characteristic	Μονάδα	Νερό άρδευσης	Composition of the drip solution
EC	dS/m	0.38	2.20
pH		7.40	5.60
K ⁺	mmol/L	0.00	8.00
Ca ²⁺	mmol/L	1.40	4.20
Mg ²⁺	mmol/L	0.18	1.40
NH ₄ ⁺	mmol/L	0.00	0.75
SO ₄ ²⁻	mmol/L	0.25	2.66
NO ₃ ⁻	mmol/L	0.00	11.50
H ₂ PO ₄ ⁻	mmol/L	0.00	1.25
Fe	μmol/L	0.00	15.00
Mn ⁺⁺	μmol/L	0.00	9.30
Zn ⁺⁺	μmol/L	2.15	4.65
Cu ⁺⁺	μmol/L	0.00	0.74
B	μmol/L	0.00	24.00
Mo	μmol/L	0.00	0.50
Si	mmol/L	0.00	0.00
Cl ⁻	mmol/L	0.56	2.00
Na ⁺	mmol/L	0.60	0.60
HCO ₃ ⁻	mmol/L	2.70	0.49
K/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.59
Ca/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.31
Mg/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.10
N/K	mol/mol		1.53
NH4-N/Total-N	mol/mol		0.06

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ						
			Πυκνό διάλυμα Β		20	ΛΙΤΡΑ (L)
Στόχος EC για την κεφαλή υδρολίπανσης	2.20	dS/m	Νιτρικό κάλιο	0.464		Kg
pH	5.60		Θεικό μαγνήσιο	0.601		Kg
Πυκνό διάλυμα Α	20	ΛΙΤΡΑ (L)	Νιτρικό μαγνήσιο	0.000		Kg
Νιτρικό ασβέστιο	0.899	Kg	Φωσφορικό μονοκάλιο	0.340		Kg
Χλωριούχο ασβέστιο, 48% Cl	0.213	Kg	Θεικό κάλιο	0.414		Kg
Νιτρικό κάλιο	0.421	Kg	Φωσφορικό οξύ	0.000		kg
Νιτρικό αμμώνιο	0.053	Kg	Φωσφορικό μονοαμμώνιο	0.000		Kg
Fe- EDDHA (6% Fe)	0.028	Kg	Θεικό αμμώνιο	0.000		Kg
Πυκνό διάλυμα νιτρικού οξέος	20	ΛΙΤΡΑ (L)	Θεικό οξύ	0.000		Kg
Νιτρικό οξύ	0.443	Kg	Θεικό μαγγάνιο	3.2		g
Πυκνό διάλυμα πυριτικού καλίου	0	ΛΙΤΡΑ (L)	Θεικός ψευδάργυρος	1.4		g
Πυριτικό κάλιο (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg	Θεικός χαλκός	0.4		g
			Βορικό οξύ	3.0		g
			Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0.2		g

Εικόνα 17. Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε στο βλαστικό στάδιο της καρποφορίας των φυτών πεπονιάς.

Reference number - Date:	3/31-5-2021	Location of the crop:	Θάλαμος 2 (γυάλινο θερμοκήπιο)
Full name:	VEGADAPT-NTANASIH	Crop species:	Melon
Address:	ΓΠΑ	Cultivation stage:	Fruiting
Phone number:		Season (climatic conditions):	Mild summer
Email:	ntanasi@aia.gr	Open or closed hydroponic system:	Open hydroponic system

Nutrient solution characteristic	Unit	Irrigation water	Composition of the drip solution
EC	dS/m	0.38	2.20
pH		7.40	5.60
K ⁺	mmol/L	0.00	8.00
Ca ²⁺	mmol/L	1.40	4.20
Mg ²⁺	mmol/L	0.18	1.40
NH ₄ ⁺	mmol/L	0.00	0.42
SO ₄ ²⁻	mmol/L	0.25	2.49
NO ₃ ⁻	mmol/L	0.00	11.50
H ₂ PO ₄ ⁻	mmol/L	0.00	1.25
Fe	μmol/L	0.00	15.00
Mn ⁺⁺	μmol/L	0.00	9.30
Zn ⁺⁺	μmol/L	2.15	4.65
Cu ⁺⁺	μmol/L	0.00	0.74
B	μmol/L	0.00	24.00
Mo	μmol/L	0.00	0.50
Si	mmol/L	0.00	0.00
Cl ⁻	mmol/L	0.56	2.00
Na ⁺	mmol/L	0.60	0.60
HCO ₃ ⁻	mmol/L	2.70	0.49
K/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.59
Ca/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.31
Mg/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.10
N/K	mol/mol		1.49
NH ₄ -N/Total-N	mol/mol		0.03

REQUIRED AMOUNTS OF FERTILIZERS FOR THE PREPARATION OF STOCK SOLUTIONS						
			Stock solution B	20	LITERS	
Target EC for the fertigation head	2.20	dS/m	Potassium nitrate	0.500	Kg	
pH	5.60		Magnesium sulphate	0.601	Kg	
Stock solution A	20	LITERS	Magnesium nitrate	0.000	Kg	
Calcium nitrate	0.899	Kg	Monopotassium phosphate	0.340	Kg	
Calcium chloride (48% Cl)	0.213	Kg	Potassium sulphate	0.356	Kg	
Potassium nitrate	0.452	Kg	Phosphoric acid	0.000	kg	
Ammonium nitrate	0.000	Kg	Monoammonium phosphate	0.000	Kg	
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.028	Kg	Ammonium sulphate	0.000	Kg	
Stock solution of Nitric Acid	20	LITERS	Sulphuric acid	0.000	Kg	
Nitric Acid	0.443	Kg	Manganese sulphate	3.2	g	
Stock solution of Potassium Silicate	0	LITERS	Zinc sulphate	1.4	g	
Potassium Metasilicate (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg	Copper sulphate	0.4	g	
			Boric acid	3.0	g	
			Ammonium heptamolybdate	0.2	g	

calculator.nutrisense.online:5001/solution/result

1/2

Εικόνα 18. Η σύνθεση του πρώτου αναπροσαρμοσμένου θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε στο βλαστικό στάδιο της καρποφορίας των φυτών πεπονιάς.

Reference number - Date:	5/7-7-2021	Location of the crop:	Θάλαμος 2 (γυάλινο θερμοκήπιο)
Full name:	VEGADAPT-NTANAΣΗ	Crop species:	Melon
Address:	0	Cultivation stage:	Fruiting
Phone number:		Season (climatic conditions):	Hot summer
Email:	ntanasi@aau.gr	Open or closed hydroponic system:	Open hydroponic system

Nutrient solution characteristic	Unit	Irrigation water	Composition of the drip solution
EC	dS/m	0.38	1.70
pH		7.40	5.60
K ⁺	mmol/L	0.00	5.26
Ca ²⁺	mmol/L	1.40	3.09
Mg ²⁺	mmol/L	0.18	1.24
NH ₄ ⁺	mmol/L	0.00	0.85
SO ₄ ²⁻	mmol/L	0.25	1.58
NO ₃ ⁻	mmol/L	0.00	10.21
H ₂ PO ₄ ⁻	mmol/L	0.00	0.96
Fe	μmol/L	0.00	8.00
Mn ⁺⁺	μmol/L	0.00	8.00
Zn ⁺⁺	μmol/L	2.15	4.00
Cu ⁺⁺	μmol/L	0.00	0.64
B	μmol/L	0.00	16.00
Mo	μmol/L	0.00	0.40
Si	mmol/L	0.00	0.00
Cl ⁻	mmol/L	0.56	0.56
Na ⁺	mmol/L	0.60	0.60
HCO ₃ ⁻	mmol/L	2.70	0.49
K/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.55
Ca/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.32
Mg/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.13
N/K	mol/mol		2.10
NH ₄ -N/Total-N	mol/mol		0.08

REQUIRED AMOUNTS OF FERTILIZERS FOR THE PREPARATION OF STOCK SOLUTIONS					
			Stock solution B	20	LITERS
Target EC for the fertigation head	1.70	dS/m	Potassium nitrate	0.352	Kg
pH	5.60		Magnesium sulphate	0.521	Kg
Stock solution A	20	LITERS	Magnesium nitrate	0.000	Kg
Calcium nitrate	0.732	Kg	Monopotassium phosphate	0.261	Kg
Calcium chloride (48% Cl)	0.000	Kg	Potassium sulphate	0.095	Kg
Potassium nitrate	0.407	Kg	Phosphoric acid	0.000	kg
Ammonium nitrate	0.082	Kg	Monoammonium phosphate	0.000	Kg
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.015	Kg	Ammonium sulphate	0.000	Kg
Stock solution of Nitric Acid	20	LITERS	Sulphuric acid	0.000	Kg
Nitric Acid	0.443	Kg	Manganese sulphate	2.7	g
Stock solution of Potassium Silicate	0	LITERS	Zinc sulphate	1.1	g
Potassium Metasilicate (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg	Copper sulphate	0.3	g
			Boric acid	2.0	g
			Ammonium heptamolybdate	0.1	g

Εικόνα 19. Η σύνθεση του δεύτερου αναπροσαρμοσμένου θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε στο βλαστικό στάδιο της καρποφορίας των φυτών πεπονιάς.

Πίνακας 12. Συγκεντρωτικός πίνακας επίδρασης της ποικιλίας και σύγκριση ως προς την ποικιλία Lavigal.

Επίδραση Ποικιλίας						
K ⁺ (mg g ⁻¹)						
Σ.Σ	P≤0,001			P≤0,05		
Ποικιλία	Φύλλα	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal	Καρποί	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal
Piel de sapo	48.13	b	13.92%	56.9	b	-11.44%
Tendra negro	43.25	cd	2.37%	71.88	b	11.88%
Λευκό Αμυνταίου	40.38	d	-4.43%	62.44	b	-2.82%
Θρακιώτικο	44.5	cd	5.33%	65.5	b	1.95%
Rochet	54.13	a	28.12%	94.5	a	47.08%
Lavigal	42.25	cd	-	64.25	b	-
Na ⁺ (mg g ⁻¹)						
Σ.Σ	P≤0,001			P≤0,001		
Ποικιλία	Φύλλα	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal	Καρποί	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal
Piel de sapo	0.75	cd	47.06%	4.71	c	58.05%
Tendra negro	1.07	b	109.80%	9.15	ab	207.05%
Λευκό Αμυνταίου	1.42	a	178.43%	8.38	ab	181.21%
Θρακιώτικο	1.31	ab	156.86%	6.72	b	125.50%
Rochet	1.02	bc	100.00%	7.48	ab	151.01%
Lavigal	0.51	d	-	2.98	c	-
Mg ²⁺ (mg g ⁻¹)						
Σ.Σ	P≤0,001			P≤0,001		
Ποικιλία	Φύλλα	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal	Καρποί	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal
Piel de sapo	5.38	c	-36.85%	2.7	b	28.57%
Tendra negro	7.12	b	-16.43%	2.78	b	32.38%
Λευκό Αμυνταίου	7.49	ab	-12.09%	1.88	cd	-10.48%
Θρακιώτικο	5.94	c	-30.28%	1.43	d	-31.90%
Rochet	7.36	ab	-13.62%	4.61	a	119.52%
Lavigal	8.52	a	-	2.1	c	-
Ca ²⁺ (mg g ⁻¹)						
Σ.Σ	P≤0,001			P≤0,001		
Ποικιλία	Φύλλα	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal	Καρποί	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal
Piel de sapo	24.46	c	-56.52%	0.022	c	-63.93%
Tendra negro	38.85	b	-30.93%	0.043	b	-29.51%
Λευκό Αμυνταίου	42.21	b	-24.96%	0.044	b	-27.87%
Θρακιώτικο	38.65	b	-31.29%	0.044	b	-27.87%
Rochet	14.37	d	-74.45%	0.059	a	-3.28%
Lavigal	56.25	a	-	0.061	a	-

Πίνακες 13, 14. Συγκεντρωτικός πίνακας επίδρασης της ποικιλίας και σύγκριση ως προς την ποικιλία Lavigal.

Επίδραση Ποικιλίας						
Παραγωγή (kg m ⁻²) και νωπό βάρος καρπού (g)						
Σ.Σ	P≤0,001			P≤0,01		
Ποικιλία	Παραγωγή	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal	N.B.	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal
Piel de sapo	2.79	b	-29.72%	1217.2	b	-2.21%
Tendra negro	2.93	b	-26.20%	1279.2	b	2.77%
Λευκό Αμυνταίου	3.8	a	-4.28%	1583.6	a	27.23%
Θρακιώτικο	2.09	bc	-47.36%	1167.8	b	-6.18%
Rochet	1.64	c	-58.69%	1021.6	b	-17.92%
Lavigal	3.97	a	-	1244.7	b	-
Ξηρή ουσία %						
Σ.Σ	P≤0,05			Μη σημαντικές διαφορές		
Ποικιλία	Φύλλα	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal	Καρποί	Σ.Σ.	σύγκριση με Lavigal
Piel de sapo	10.44	a	15.74%	4.59	-	-
Tendra negro	10.28	a	13.97%	3.71	-	-
Λευκό Αμυνταίου	10.04	a	11.31%	4.34	-	-
Θρακιώτικο	9.7	ab	7.54%	4.3	-	-
Rochet	10.08	a	11.75%	2.56	-	-
Lavigal	9.02	b	-	4.16	-	-

Χρωματικές παράμετροι						Συνεκτικότητα
Σ.Σ	P≤0,001	P≤0,001	P≤0,001	P≤0,001	ΜΣΔ	P≤0,001
Ποικιλία	L*	a*	b*	Chroma	Hue	συνεκτικότητας (N)
Piel de sapo	85.60 ab	-1.45 a	8.21 b	8.41 b	- 0.66	18.64 bc
Tendra negro	77.38 bc	-2.15 a	9.72 b	9.97 b	- 1.16	20.59 b
Λευκό Αμυνταίου	65.43 d	-10.36 c	22.23 a	24.90 a	- 1.12	29.91 a
Θρακιώτικο	88.41 a	-1.20 a	4.85 c	9.63 b	-0.8	15.25 cd
Rochet	37.42 e	-0.47 a	7.29 b	7.31 b	- 0.72	
Lavigal	72.96 cd	-6.31 b	20.37 a	21.35 a	- 1.28	20.87 b

Πίνακας 15. Συγκεντρωτικός πίνακας επίδρασης της αλατότητας.

Επίδραση Αλατότητας						
	Ca ²⁺ (mg g ⁻¹)		Mg ²⁺ (mg g ⁻¹)		K ⁺ (mg g ⁻¹)	
	Καρποί	Φύλλα	Καρποί	Φύλλα	Καρποί	Φύλλα
Αλατότητα	0.041	34.75	2.52	6.15 b	62.2	44.67
Control	0.047	37.83	2.41	7.71 a	70.75	46.21
	Na ⁺ (mg g ⁻¹)		Ξηρή ουσία %		Παραγωγή (kg m ⁻²)	
	Καρποί	Φύλλα	Καρποί	Φύλλα	Παραγωγή	N.B.
Αλατότητα	10.58 a	1.16 a	4.39	9.84	2.57 b	1156.0 b
Control	2.05 b	0.86 b	3.81	10.01	3.17 a	1348.6 a
	L*	a*	b*	Chroma	Hue	
Αλατότητα	76.58	-4.66	14.22	15.63	-1.09	
Control	74.65	-3.89	12.76	14.49	-0.98	
	Συνεκτικότητα					
Αλατότητα	21.00		P≤0,001		P≤0,01	
Control	19.56		P≤0,05		Μη σημαντικές διαφορές	

Πίνακας 16. Συγκεντρωτικός πίνακας αλληλεπίδρασης της αλατότητας και σύγκριση μεταξύ των μεταχειρίσεων της ίδιας ποικιλίας.

Αλληλεπίδραση παραγόντων: αλατότητα και ποικιλία

	Φύλλα								
	Ca ²⁺			Mg ²⁺			K ⁺		
	P≤0,01			P≤0,05			P≤0,01		
Stress - tipo piel de sapo	12.48	e	-65.76%	4.93	fg	-15.44%	50	ab	8.11%
Control - tipo piel de sapo	36.45	cd		5.83	d-g		46.25	bcd	
Stress - Rochet	10.66	e	-41.04%	7.78	abc	11.94%	53.75	a	-1.38%
Control - Rochet	18.08	e		6.95	b-e		54.5	a	
Stress - Tendra negro	37.74	cd	-5.58%	5.64	efg	-31.47%	40.5	ef	-11.96%
Control - Tendra negro	39.97	cd		8.23	ab		46	bcd	
Stress - Θρακιώτικο	34.13	d	-20.92%	4.29	g	-43.55%	41.5	def	-12.63%
Control - Θρακιώτικο	43.16	bcd		7.6	a-d		47.5	bc	
Stress - Λευκό Αμυνταίου	50.06	abc	45.69%	6.22	c-f	-29.00%	37.5	f	-13.29%
Control - Λευκό Αμυνταίου	34.36	d		8.76	ab		43.25	cde	
Stress - Lavigal	57.87	a	5.95%	7.95	abc	-14.33%	44.75	b-e	12.58%
Control - Lavigal	54.62	ab		9.28	a		39.75	ef	

	Καρποί								
	Mg ²⁺			Na ⁺			Ξηρή Ουσία		
	P≤0,01			P≤0,001			P≤0,05		
Stress - tipo piel de sapo	2.64	cd	-5.04%	6.75	c	311.59%	4.45	abc	-7.48%
Control - tipo piel de sapo	2.78	c		1.64	e		4.81	ab	
Stress - Rochet	5.45	a	34.57%	14	ab	347.28%	2.39	d	-8.78%
Control - Rochet	4.05	b		3.13	de		2.62	cd	
Stress - Tendra negro	2.74	c	-3.52%	12.9	b	344.83%	3.51	bcd	-11.59%
Control - Tendra negro	2.84	c		2.9	de		3.97	a-d	
Stress - Θρακιώτικο	1.56	ef	20.00%	11.5	b	492.78%	5.53	a	80.13%
Control - Θρακιώτικο	1.3	f		1.94	de		3.07	bcd	
Stress - Λευκό Αμυνταίου	1.47	f	-35.53%	16.25	a	677.51%	4.1	a-d	-9.69%
Control - Λευκό Αμυνταίου	2.28	cde		2.09	de		4.54	ab	
Stress - Lavigal	1.91	def	-16.96%	4.88	cd	347.71%	4.84	ab	48.47%
Control - Lavigal	2.3	cde		1.09	e		3.26	bcd	