

**ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΤΟΥ ΣΥΜΒΙΩΤΙΚΟΥ ΜΥΚΗΤΑ
Trichoderma harzianum
ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΑΤΩΣΗΣ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του φοιτητή:
Κάρολου Β. Βάγκνερ

Επιβλέπων Καθηγητής:
Ιωάννης Κ. Τσάνης

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	vi
Περίληψη.....	vii
Abstract	viii
1. Εισαγωγή και θεωρητικό υπόβαθρο.....	1
1.1. Έδαφος	1
1.2. Αλάτωση εδαφών	2
1.2.1. Η αλάτωση στον Ελλαδικό χώρο και την Κρήτη	3
1.2.2. Επιδράσεις της αλατότητας στο έδαφος και τα φυτά	4
1.2.3. Ηλεκτρική αγωγιμότητα στο νερό.....	6
1.3. Το φυτό και αξία της τομάτας	6
1.3.1. Η αξία της τομάτας.....	6
1.3.2. Υβρίδια	7
1.3.3. Συνθήκες παραγωγής.....	8
1.4. Θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας.....	10
1.5. Trichoderma (Τριχόδερμα).....	12
1.6. Σκοπός του πειράματος	15
2. Μεθοδολογία	23
2.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	23
2.2. Αναλογία προσρόφησης νατρίου	23
2.3. Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου.....	24
2.4. Εδαφική υγρασία.....	25
2.5. Θρεπτικά.....	25
2.6. Αποικισμός ΤΗ.....	25
2.7. Δείκτης συγκομιδής.....	26
2.8. Διαστάσεις.....	26
2.9. Κριτήριο εμπορικότητας καρπών	27
2.10. Συλλογή και καταγραφή καρπών	27
2.11. Μετρήσεις ποιότητας καρπών	28

3. Περιοχή Μελέτης	30
3.1. Τυμπάκι	30
3.5. Προσομοίωση στο Πολυτεχνείο Κρήτης (ΠΚ)	31
3.6. Πειραματική διάταξη.....	33
3.7. Κλιματικά δεδομένα	34
3.8. Άρδευση και Υδρολίπανση	36
3.9. Εργασίες πεδίου.....	38
3.10. Μηχανολογικός εξοπλισμός.....	40
3.11. Παραδοχές και περιορισμοί.....	41
4. Αποτελέσματα	42
4.1. Χρονοδιάγραμμα	42
4.2. Αποικισμός	44
4.3 Αλατότητα στο έδαφος.....	44
4.3.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	44
4.3.2. Συγκεντρώσεις Μετάλλων (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})	45
4.3.3. Αναλογία προσρόφησης νατρίου (SAR)	47
4.3.4. Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου.....	48
4.3.5. Ποιοτική κατάσταση εδάφους.....	49
4.4.Θρεπτικά.....	49
4.5. Εδαφική Υγρασία	50
4.6. Ποσοτικά Χαρακτηριστικά	51
4.6.1. Ανάπτυξη και διαστάσεις	51
4.6.2. Συνολική παραγωγή	53
4.6.3. Εμπορεύσιμη παραγωγή.....	54
4.6.4. Πρώιμη παραγωγή.....	55
4.6.5. Διαφορές ολικής και εμπορεύσιμης βιομάζας.....	56
4.6.6. Σταθερότερη παραγωγή.....	56
4.6.7. Δείκτης συγκομιδής.....	56
4.6.8. Μέγεθος και αριθμός καρπών	57

4.7.Ποιότητα καρπών	58
4.5. Συμπεράσματα.....	60
Βιβλιογραφία.....	62

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Ιωάννη Τσάνη για την ανάθεση της εργασίας αυτής, την επίβλεψη και την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στο Εργαστήριο του Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ευχαριστώ θερμά όλα τα μέλη του εργαστηρίου για την βοήθειά τους και την συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Ιωάννη Δαλιακόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τη βοήθεια και την καθοδήγησή του, καθώς επίσης και για όλες τις δυνατότητες που μου έδωσε κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Το πείραμα αυτό στήθηκε και πραγματοποιήθηκε χάρις την συντονισμένη δουλειά πολλών ατόμων με άριστη συνεργασία. Ξεκινώντας από τη συνεργασία με τους παραγωγούς του Τυμπακίου θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Μαυρογιαννάκη Ελένη, Σβρινάκη Γιώργο και Σταυριανάκη Τίτο, για τη διάθεση και προθυμία τους να μοιραστούν της γνώσεις και το χώρο τους. Ευχαριστώ του υπεύθυνους του Εργαστηρίου Βιοχημικής Μηχανικής & Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης για την παραχώρηση του χώρου του θερμοκηπίου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Αριστείδη Σταματάκη για την καθοδήγησή του κατά τις αναλύσεις της ποιότητας καρπών που έλαβαν χώρα στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων (MAICh) όπως και τον Δρ. Νεκτάριο Ν. Κουργιαλά που προσέφερε τις γεωπονικές του γνώσεις για την ομαλή εξέλιξη του πειράματος. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τις υπεύθυνες του Εργαστηρίου Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών του Πολυτεχνείου Κρήτης, Μαρία-Λιλιάνα Σαρού και Στέλλα Βουτσαδάκη για την επίβλεψη των εδαφικών αναλύσεων. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την Εύα Μπόλου για την συμπαράστασή της και το σχεδιασμό του εξωφύλλου, τον συνεργάτη και φίλο Αντώνη Αποστολάκη για το χρόνο που αφιέρωσε και τις υποδείξεις του, τους Κουτσκουδή Δημήτριο και Δεληγιάννη Αναστασία καθώς και τους Χρήστο, Κάτρε, Γιώργη, Ελίζα και Μαρτσέλλα για την στήριξη και την κατανόησή τους.

Περίληψη

Η εργασία πραγματεύεται τη μελέτη θερμοκηπιακής καλλιέργειας της τομάτας (*Solanum lycopersicum*) «Ελπίδα» και την επίδραση της εφαρμογής του συμβιωτικού μύκητα *Trichoderma harzianum* (ΤΗ) υπό συνθήκες άρδευσης με νερό μέσης και υψηλής αγωγιμότητας. Για τη διερεύνηση των παραπάνω, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μια πειραματική θερμοκηπιακή διάταξη στο Πολυτεχνείου Κρήτης (ΠΚ) που προσομοιώνει τις καλλιεργητικές πρακτικές της περιοχής του Τυμπακίου (ΝΔ του Ν. Ηρακλείου Κρήτης) όπου παρουσιάζεται το πρόβλημα της υφαλμύρινης υδροφόρου ορίζοντα. Το έδαφος προήλθε από την περιοχή μελέτης και οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του νερού άρδευσης ήταν παρόμοιες με αυτές που συναντούνται στο πεδίο. Η διάταξη του πειράματος χωρίστηκε σε 4 μεταχειρίσεις που ανά δύο αρδεύονταν με αντιπροσωπευτικές τιμές μέσης και υψηλής EC στα 1,1 dS/m και 3,5 dS/m, αντίστοιχα, και ανά δύο είχαν παρουσία ή απουσία μύκητα ΤΗ στο ριζικό τους σύστημα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος μελετήθηκαν η ανάπτυξη και η εξέλιξη των φυτών και υπολογίστηκε ο δείκτης συγκομιδής. Επιπλέον καταγράφηκε το ύψος της συνολικής και εμπορεύσιμης παραγωγής. Όσον αφορά τους καρπούς, εκτιμήθηκε η ομοιομορφία τους όπως και η ποιότητα τους μέσω χημικών αναλύσεων. Ακόμα, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις εδαφικές δειγματοληψίες για τη διερεύνηση της πορείας βασικών παραμέτρων που σχετίζονται με την αλάτωση των εδαφών, όπως EC, SAR, pH και η παρουσία μετάλλων, η εδαφική υγρασία και η πορεία των θρεπτικών. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποτυπώνουν τις απώλειες στην τοπική παραγωγή αλλά και τις επιπτώσεις στο έδαφος λόγω της αλάτωσης. Σχετικά με την εφαρμογή του ΤΗ, τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά, ιδιαίτερα σε σχέση με την πρώιμη παραγωγή, την ομοιομορφία των καρπών, αλλά και την κατάσταση του εδάφους μετά το πέρας της καλλιέργειας, όπου υπήρξε βελτίωση του δείκτη SAR πάνω από 35%. Τα αποτελέσματα του πειράματος χρησιμοποιούνται για την ανάδειξη του προβλήματος την αλάτωσης καθώς και για την προώθηση μεθόδων αειφορικής καλλιέργειας στην περιοχή του Τυμπακίου. Στα πλαίσια της εργασίας έγιναν 4 παρουσιάσεις σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια.

Abstract

This thesis studies the greenhouse cultivation of tomato (*Solanum lycopersicum*) “ELPIDA” and the effect of the symbiotic fungi *Trichoderma harzianum* (TH) under moderate and high saline water irrigation conditions. For this purpose, a greenhouse installation was designed and applied in the Technical University of Crete (TUC) campus, simulating the field conditions of Tymbaki region in (NW of Herakleion Municipality, Crete) that faces seawater intrusion problems. The soil used was recovered from the study area, and the electrical conductivity (EC) of the irrigation water was similar to that met in field conditions due to salinization. The experimental setup is comprised of 4 pot treatments. The first two are characterized as modern-saline, being irrigated with EC of 1.1 dS/m, while the other two treatments are considered as high-saline, being irrigated with EC values of 3.5 dS/m. Each of the two groups was either inoculated or free of TH in its root system. During the experiment, the development and evolution of the tomato plants was investigated and the harvest index was estimated. Furthermore, the total and marketable yield was recorded. Regarding tomato fruits, their quality and overall characteristics were assessed using laboratory analysis. Moreover, 4 soil samplings were performed in order to assess the fate of basic parameters pertaining soil salinity, such as EC, SAR, pH and metals concentration, soil moisture and nutrients. Results demonstrate the losses in the local production as well as the effects local practices to the soil. Regarding TH application, results are encouraging, especially regarding early yield, fruit uniformity as well as soil quality after the end of the cultivation where an over 35% relative improvement of the SAR index was observed. Experimental results are used to highlight the problem of soil salinity as well as to promote sustainable agricultural practices in the area of Tymbaki. The context and the preliminary results of this research have been published in 4 presentations in international scientific conferences.

1. Εισαγωγή και θεωρητικό υπόβαθρο

Με την πρόβλεψη ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα αυξηθεί κατά ένα τρίτο έως το 2050 να τείνει να επαληθευτεί, η παραγωγή τροφής θα πρέπει να αυξηθεί δραματικά προκειμένου να ανταπεξέλθει στην αυξανόμενη ζήτηση. Το ερώτημα που τίθεται είναι αν οι φυσικοί πόροι όπως το νερό, το έδαφος και τα θρεπτικά επαρκούν για να καλύψουν 9 δισεκατομμύρια ανθρώπους έως το 2050. Οι καλλιέργειες θα πρέπει να χρησιμοποιούν τους φυσικούς πόρους με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα παράγοντας περισσότερα αγαθά ανά μονάδες νερού και χρήσεις γης. Οι δοκιμές διαφόρων στρατηγικών διαχείρισης για την μεγιστοποίηση της παραγωγής με τη μικρότερη δυνατή σπατάλη συνήθως απαιτεί πειράματα πεδίου για την ερμηνεία της εκάστοτε προοπτικής και τη βαθμονόμηση των διαφόρων μαθηματικών μοντέλων (Ragab 2002).

1.1. Έδαφος

Η αξία του εδάφους είναι ανεκτίμητη καθώς είναι ένα από τα σημαντικότερα συστατικά της βιόσφαιρας με καθοριστική σημασίας λειτουργίες για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων. Οι λειτουργίες του εδάφους είναι ποικίλες. Ενδεικτικά, μεγάλη σημασία έχει η παραγωγή βιομάζας καθώς αποτελεί τη βάση της βιοποικιλότητας, δηλαδή την υποστήριξη της ανάπτυξης οργανισμών, με αποτέλεσμα την παραγωγή αγαθών που μας εξασφαλίζουν τροφή, ένδυση, φάρμακα αλλά και καύσιμα. Το έδαφος ρυθμίζει επίσης την κίνηση και την κατανομή του νερού, επηρεάζοντας τον κύκλο του σε και συνεπώς τη χρήση του σε παγκόσμια και τοπική κλίμακα. Στο έδαφος εναποτίθενται, φιλτράρονται και μετατρέπονται αμέτρητοι κύκλοι ζωής στοιχείων, αφού αποτελεί τεράστια πηγή άνθρακα, ενώ παράλληλα πραγματοποιούνται διεργασίες κατά της οποίες συγκρατούνται στερεές, υγρές ή αέριες οργανικές και ανόργανες ουσίες. Στο έδαφος στηρίζεται ολόκληρη η ιστορία του ανθρώπινου πολιτισμού, καθώς αποτελεί βασικό μέρος του τοπίου, όπως και κρύβει αλλά και προστατεύει παλαιοντολογικά και αρχαιολογικά ευρήματα υψηλής αξίας. Η τεχνική, κοινωνικοοικονομική και βιομηχανική ανάπτυξη και οι κατασκευές, όλα εξαρτώνται από τη σταθερότητα και την φέρουσα ικανότητα του εδάφους.

Ο κίνδυνος της υποβάθμισης του εδάφους έγκειται σε φυσικά και ανθρωπογενή αίτια (Reach 2009):

1. Μείωση της οργανικής ύλης
2. Διάβρωση του εδάφους
3. Συμπίεση του εδάφους
4. Κατολισθήσεις
5. Πλημμύρες
6. Ρύπανση
7. Κάλυψη του εδάφους με έργα υποδομής
8. Αλάτωση

Η αναζήτηση εφαρμόσιμων συστημάτων διαχείρισης της γης προκειμένου να συντηρηθεί και να βελτιωθεί η κατάσταση του εδάφους ως άμυνα στους κινδύνους αυτούς, διαφυλάττοντας έτσι τη γεωργία και τον τρόπο ζωής μας κρίνεται μεγάλης σημασίας.

1.2. Αλάτωση εδαφών

Η αλάτωση (salinization) (Εικόνα 1) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο συγκεντρώνονται άλατα στην επιφάνεια του εδάφους. Χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις των διαλυτών αλάτων και ανάλογα με την τιμή της αγωγιμότητας του εδάφους. Η αλάτωση είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την υποβάθμιση του εδάφους. Σε συνδυασμό με τη μειωμένη φυτοκάλυψη έχει σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση εδαφών, τη μειωμένη διείσδυση του νερού στο υπέδαφος λόγω εξάτμισης εξαιτίας της αποξήρανσης και της σφράγισης των πόρων του εδάφους (Prager et al., 2011; Wong et al., 2010). Τα παραπάνω οδηγούν στην απώλεια της οργανικής ύλης και των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, γεγονότα που οδηγούν στην ερημοποίηση.



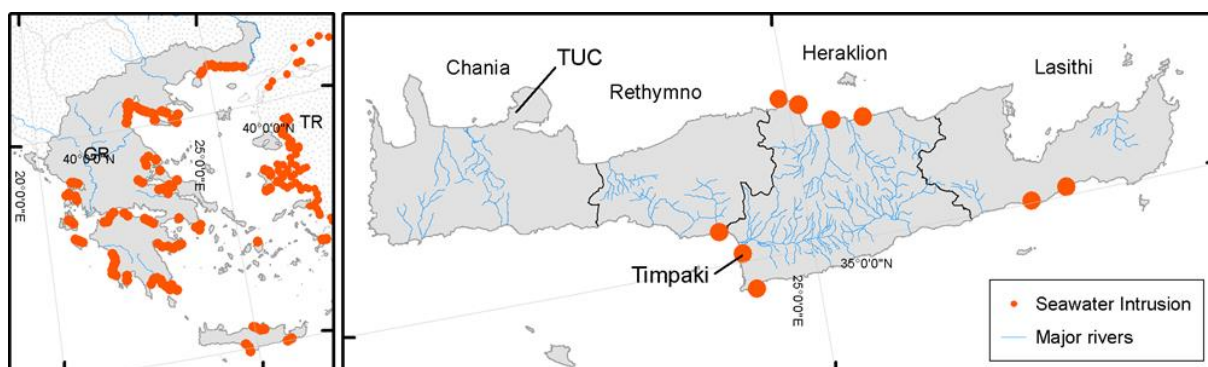
Εικόνα 1. Έδαφος υποβαθμισμένο από αλάτωση. (Source: <http://www.nova.org.au/> (accessed: 31/05/2016)).

Η αλάτωση μπορεί να προκύψει με φυσικό τρόπο σε περιοχές χαμηλού γεωργικού ενδιαφέροντος ή μέσω της αποψίλωσης των δασών και των αντλήσεων ή γεωτρήσεων (δευτερογενής αλάτωση). Τα κυριότερα ανθρωπογενή αίτια είναι οι μη αποδοτικές πρακτικές άρδευσης, η χρήση αρδευτικού ύδατος με υψηλή συγκέντρωση αλάτων και η περιορισμένη αποστράγγιση του καλλιεργούμενου εδάφους. Έχει υπολογιστεί ότι η αλάτωση έχει επηρεάσει περίπου 30,7 Mha στην Ευρώπη (Daliakopoulos et al., 2016b; Trnka et al. 2013; van Beek, C.L. and Tóth, G. 2012) μεγάλο μέρος των οποίων βρίσκεται στην Μεσόγειο (Geeson et al., 2003). Η αλάτωση μπορεί να προκύψει με φυσικό τρόπο σε περιοχές χαμηλού γεωργικού ενδιαφέροντος ή μέσω της αποψίλωσης των δασών και των αντλήσεων ή γεωτρήσεων (δευτερογενής αλάτωση). Τα σημεία όπου έχει προκύψει φυσικά βρίσκονται σε χώρες όπως η Ισπανία, η Ουγγαρία, η Βουλγαρία, η Αυστρία, η Ρουμανία, η Κροατία, περιοχές στην Κασπία θάλασσα και η Ελλάδα. Η ανθρωπογενής αλάτωση έχει επηρεάσει σημαντικά τμήματα της Σικελίας, την πεδιάδα του Έβρου στην Ισπανία και αρκετά σημεία στην Ιταλία, Ουγγαρία, Πορτογαλία, Γαλλία, Σλοβακία, Ρουμανία, Κύπρο και Ελλάδα (Jones et al. 2012) με τις λανθασμένες πρακτικές άρδευσης να ευθύνονται σε ποσοστό 30% και να επηρεάζουν το 25% της συνολικής αρδεύσιμης καλλιεργήσιμης έκτασης (Mateo-Sagasta & Burke, 2011; Geeson et al., 2003).

Παρόλο που η άρδευση με νερό υψηλής αγωγιμότητας ελλοχεύει περιορισμούς στις καλλιέργειες, σε ορισμένα μέρη του κόσμου γίνεται χρήση αυτού του νερού, καθώς είναι λύση ανάγκης σε περιπτώσεις ανεπάρκειας υδάτων. Όμως, για να πετύχει η καλλιέργεια με υφάλμυρο νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται κατάλληλες μέθοδοι καλλιέργειας. Το κλειδί για τη διαχείριση της αλάτωσης είναι η ολοκληρωμένη διαχείριση του αρδευτικού νερού, η σωστή επιλογή της καλλιέργειας και ο συνυπολογισμός του κύκλου του νερού (Ragab 2002; Ragab et al. 2005). Η έκπλυση των αλάτων από τα ανώτερα στα κατώτερα στρώματα είναι η επικρατέστερη μέθοδος μεταξύ άλλων για τον μετριασμό των επιπτώσεων της αλάτωσης. Παρόλο που μια τέτοια πρακτική μπορεί να δώσει προσωρινά αποτελέσματα, η αδιάκριτη χρήση του νερού που προέρχεται από την έκπλυση είναι ένας από τους λόγους που οδήγησε σταδιακά σε υποβάθμιση της γης (Qadir et al. 2000). Για τον παραπάνω λόγο γίνεται έρευνα για την εύρεση εναλλακτικών τρόπων διαχείρισης της αλατότητας στα εδάφη.

1.2.1. Η αλάτωση στον Ελλαδικό χώρο και την Κρήτη

Στην χώρα μας, οι ανάγκες για νερό καλύπτονται κυρίως από την άντληση υπογείων υδάτων μέσω γεωτρήσεων (πάνω από 300,000 πανελλαδικά). Η μεγαλύτερη χρήση νερού γίνεται με σκοπό την άρδευση καλλιεργειών σε ποσοστό 86% της ολικής κατανάλωσης. Οι υδροφορείς βρίσκονται κυρίως σε ανθρακικά πετρώματα (καρστικά) και Νεογενείς και Τεταρτοταγείς αποθέσεις (πορώδη) σε σχετικά μικρά βάθη. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί εντατικοποίηση των αντλήσεων λόγω της αστικοποίησης, της τουριστικής ανάπτυξης και επέκτασης των αρδευόμενων εκτάσεων, ιδιαίτερα σε παράκτιες περιοχές. Η αλόγιστη χρήση νερού οδηγεί σε ανισορροπία τους παράκτιους υδροφορείς προκαλώντας εισχώρηση θαλάσσιου νερού η οποία δημιουργεί σοβαρά σημαντική υποβάθμιση των υδάτων (Εικόνα 2, αριστερά), ιδίως σε περιοχές τα νότια Ελλάδας, όπου επικρατούν ξηροθερμικές κλιματικές συνθήκες (Daskalaki & Voudouris 2008). Ως αποτέλεσμα, περίπου το 9% της συνολικά 1.4 Mha καλλιεργήσιμης έκτασης να είναι επηρεασμένο από την αλάτωση (OECD, 2009).



Εικόνα 2. Περιοχές που έχουν υποστεί υφαλμύριση στην Ελλάδα (Αριστερά) και την Κρήτη (Δεξιά) (Apostolakis et al. 2016).

Σύμφωνα με την έκθεση του ευρωπαϊκού συμβουλίου για την κατάσταση και αξιολόγηση των υπογείων υδάτων, η Ελλάδα βρίσκεται στην 31 θέση ανάμεσα στις πρώτες 50 χώρες με σοβαρά

προβλήματα που αφορούν τη χρήση νερού. Στην Εικόνα 2 (δεξιά) παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα από τον αρχικό χαρακτηρισμό των υπόγειων υδατικών συστημάτων (ΥΥΣ), με βάση την χημική και ποιοτική αξιολόγησή τους. Από τα 91 υπόγεια υδατικά συστήματα του υδατικού διαμερίσματος της Κρήτης, τα 11 χαρακτηρίστηκαν σε κακή κατάσταση, 9 εκ των οποίων σχετίζονται με την αλάτωση εδαφών που οφείλεται σε ανθρωπογενή επίδραση (Κριτσωτάκης και Παυλίδου 2013).

1.2.2. Επιδράσεις της αλατότητας στο έδαφος και τα φυτά

Οι επιδράσεις στη βλάστηση περιλαμβάνουν: (1) τη μείωση του δυναμικού του νερού μειώνοντας τη δυνατότητα πρόσληψης νερού, (2) την τοξικότητα λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων Na και Cl, καθώς και (3) την παρεμπόδιση της πρόσληψης των θρεπτικών (Flowers & Flowers 2005). Προκαλεί καθιζήσεις, διάβρωση εδάφους και διαταραχή στην πρόσληψη νερού και θρεπτικών από τις ρίζες του φυτού (Ali 2011). Τέλος, συμβάλλει στη διόγκωση και στη διασπορά της αργίλου επηρεάζοντας τις υδραυλικές ιδιότητες και τη δομή του εδάφους δημιουργώντας προβλήματα και στη βλάστηση.

Οι παραπάνω μηχανισμοί επίδρασης της αλάτωσης στη βλάστηση οδηγούν σε μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, με άμεσο αποτέλεσμα το σχηματισμό μικρότερων φύλλων και κορμού, την μικρότερη κατά ύψος ανάπτυξη και μερικές φορές τον μικρότερο αριθμό φύλλων (Munns and Tester, 2008; Cuartero & Fernández-Muñoz, R 1999). Σημαντική είναι επίσης και η επίδραση στο υπεδάφιο τμήμα της βλάστησης με τις ρίζες να έχουν μικρότερο μήκος και βάρος γεγονός που παρουσιάζει προβλήματα στην ανάπτυξη της βλάστησης αφού το μέγεθος των ριζών ιδανικά πρέπει να είναι ανάλογο με αυτό του κορμού. Η μείωση στην ανάπτυξη των φυτών ποικίλει από είδος σε είδος ή ακόμη σε επίπεδο ποικιλίας μέσα στο ίδιο είδος (Πετρόπουλος 2013). Τα πιο συνηθισμένα άλατα τα οποία ευθύνονται για την υποβάθμιση των εδαφών είναι τα άλατα του ασβεστίου (Ca^{2+}) και του νατρίου (Na^+) σε ενώσεις τους με το χλώριο όπως το χλωριούχο ασβέστιο και το χλωριούχο νάτριο (CaCl_2 και NaCl).

Όσον αφορά την αλατότητα που οφείλεται στο νάτριο, το συνηθέστερο άλας που είναι υπεύθυνο για την εμφάνιση καταπόνησης στα φυτά είναι το NaCl . Έτσι, η παρουσία αλάτων στο νερό άρδευσης προκαλεί τη μείωση της πίεσης στο εσωτερικό των φυτικών κυττάρων που οφείλεται στην αλλαγή της υδροστατικής πίεσης των περιεχομένων του χυμοτόπου πάνω στο άκαμπτο κυτταρικό τοίχωμα. Έτσι προκύπτει και η μείωση της ταχύτητας δημιουργίας κυττάρων και προκαλούνται βλάβες στους χλωροπλάστες, οδηγεί στο σχηματισμό μικρότερων φύλλων, την μικρότερη καθ' ύψος ανάπτυξη και μερικές φορές τον μικρότερο αριθμό φύλλων με αποτέλεσμα τη μείωση της φωτοσύνθεσης και του ρυθμού ανάπτυξης (Munns 1993). Με την αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στο περιβάλλον που έρχεται σε άμεση επαφή με το ριζικό σύστημα των φυτών προκαλείται έμμεσα μια οσμωτική καταπόνηση στο φυτό, που αντιστοιχεί σε καταπόνηση λόγω έλλειψης νερού καθώς επίσης μειώνει και την αποδοτικότερη χρήση του από το φυτό. Το φαινόμενο αναφέρεται και ως μείωση πίεσης

σπαργής και κατατάσσεται στην κατηγορία του ωσμωτικού στρες λόγω των προβλημάτων που δημιουργούνται στην ωσμωτική πίεση στο εσωτερικό του φυτού (Κιτσάκη 2008). Το ωσμωτικό σοκ (Lang et al. 2005) ή στρες είναι η αλλαγή στην συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας γύρω από ένα κύτταρο, προκαλώντας μεταβολές στην κίνηση του νερού διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης λόγω διαφοράς συγκεντρώσεων. Στις περιπτώσεις υψηλής συγκέντρωσης αλάτων στο υπερκείμενο υγρό το νερό μετατοπίζεται έξω από το κύτταρο λόγω της ώσμωσης. Παράλληλα, εξαιτίας του ανταγωνισμού που υπάρχει στην πρόσληψη μεταξύ των διαφόρων θρεπτικών στοιχείων και του NaCl, δημιουργείται και έλλειψη θρεπτικών στοιχείων που εκδηλώνεται με την μορφή τροφopenίας (Batool et al. 2014; Πετρόπουλος 2013). Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως οι Kamaluldeen et al. (2014), παρατήρησαν πως η υψηλή αλατότητα του νερού άρδευσης αποδείχθηκε πιο επιβλαβής απ' ό,τι η υψηλή αλατότητα του χώματος όσον αφορά την παραγωγικότητα των κηπευτικών και πιο συγκεκριμένα της τομάτας.

Οι επιπτώσεις της αλατότητας στα εδάφη, μπορούν να γίνουν αισθητές πολλές φορές και με απλή παρατήρηση στο πεδίο πέρα από τη μείωση της παραγωγής. Μερικά από τα συμπτώματα είναι ο περιορισμός ή η έλλειψη βλάστησης, η ύπαρξη αγριόχορτων ανθεκτικών στην αλατότητα, περιοχές που το νερό παραμένει/λιμνάζει στην επιφάνεια του εδάφους, αφύσικο χρώμα στην επιφανειακή κρούστα (σκούρο ή λευκό), όπως και σκασίματα ή ρωγμές. Ένα άλλο σύμπτωμα που όμως απαιτεί ειδικές γνώσεις είναι η χαμηλή ανταπόκριση των φυτών μετά την πρόσληψη θρεπτικών και νερού. Σημειώνεται ότι δεν πρέπει να γίνεται σύγχυση των περιοχών με υψηλό pH, με εκείνες που έχουν προβλήματα αλατότητας καθώς πολλές φορές τα προβλήματα που προκύπτουν στη βλάστηση είναι παρόμοια. Παρακάτω (Πίνακας 1) παραθέτονται συνοπτικά οι επιπτώσεις της κάθε περίπτωσης αλατότητας (Daliakopoulos 2016b).

Πίνακας 1. Επιπτώσεις εδαφών με αλάτωση, νατρίωση και συνδυασμό αυτών στα φυτά (Daliakopoulos 2016b).

Περίπτωση	Πιθανά προβλήματα
Saline soil (Έδαφος με Αλάτωση)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Λευκή κρούστα στην επιφάνεια ◦ Φυτά που έχουν υποστεί στρες ◦ Χλώρωση / Νέκρωση φύλων (ή μέρους αυτών)
Sodic soil (Έδαφος με Νατρίωση)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Σκούρα κονιώδης εναπόθεση στην επιφάνεια του εδάφους ◦ Ελλιπής αποστράγγιση, δημιουργία κρούστας ◦ Χαμηλά ποσοστά διήθησης, μεγάλη υδατική απορροή και διάβρωση ◦ Υποανάπτυκτα φυτά με περιμετρικά μαραμένα
Saline-sodic soil with high soil pH (Έδαφος με Αλάτωση & Νατρίωση με υψηλό pH)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Παρόμοια προβλήματα με αυτά της αλάτωσης ◦ Υποανάπτυκτα φυτά, συνήθως σε κίτρινες αποχρώσεις ◦ Σκουροπράσινα ή φυτά που το χρώμα τους τείνει στο μωβ

1.2.3. Ηλεκτρική αγωγιμότητα στο νερό

Ο πιο σημαντικός δείκτης για την εκτίμηση της αλατότητας στο νερό είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα, EC (Electrical Conductivity) του διαλύματος. Η συγκεκριμένη μέτρηση εκτιμά την επίδραση όλων των διαλυμένων αλάτων του δείγματος. Ως μονάδες αναφοράς της EC θα χρησιμοποιηθούν τα dS/m στους 25°C προκειμένου οι μετρήσεις να μην επηρεάζονται από τη θερμοκρασία. Οι πιο διαδεδομένες μονάδες μέτρησης της αλατότητας που χρησιμοποιούνται από ψηφιακούς αισθητήρες ή βάση υπολογισμών είναι οι ακόλουθες.

- microSiemens per centimetre ($\mu\text{S/cm}$)
- deciSiemens per metre (dS/m)
- milliSiemens per centimetre (mS/cm)
- millimho per centimetre (mmho/cm)
- Parts per million in water (mg/L)

Ισχύει ότι:

$$1000 \mu\text{S/cm} = 1\text{dS/m} = 1\text{mS/cm} = 1\text{mmho/cm} = 640 \text{ ppm} \quad (1)$$

Πολλές φορές είναι χρήσιμο να μπορεί να γίνει κάποια σύγκριση μεταξύ τιμών συγκέντρωσης ανάλογα με τα δεδομένα που διαθέτουμε. Έτσι είναι βασικό να γνωρίζουμε πως η αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού είναι περίπου 54 dS/m. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει την καταλληλότητα των αρδευτικών υδάτων ανάλογα με την ηλεκτρική του αγωγιμότητα.

Πίνακας 2. Σχέση αγωγιμότητας με αντίκτυπο τις επιπτώσεις στα αρδευτικά ύδατα (Richards 1954).

EC (dS/m ⁻¹)	Επιπτώσεις στο νερό άρδευσης
0,00-0,25	Χαμηλές: νερό κατάλληλο προς χρήση
0,25-0,75	Μεσαίες: η χρήση του νερού κρίνεται οριακή.
0,75-2,25	Σοβαρές: το νερό κρίνεται ακατάλληλο για χρήση
>2,25	Πολύ σοβαρές επιπτώσεις

1.3. Το φυτό και αξία της τομάτας

1.3.1. Η αξία της τομάτας

Η τομάτα είναι το δεύτερο πιο σημαντικό οπωροκηπευτικά παγκοσμίως μετά την πατάτα (Vitti et al. 2015). Σύμφωνα με μελέτες, η παγκόσμια παραγωγή νωπής τομάτας αγγίζει τους 100 Mt σε συνολική έκταση εκτιμώμενη στα 3,7 Mha ετησίως και καλλιεργείται σε 144 χώρες (FAOSTAT Database, 2004; ELSTAT 2008). Η ντομάτα έχει ιδιαίτερη δημοτικότητα αφού αποτελεί μέρος της Μεσογειακής διατροφής που θεωρείται από τις πιο υγιεινές μεταξύ άλλων παγκοσμίως σύμφωνα με UNESCO στην αντιπροσωπευτική λίστα της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς από το 2010 (Vitti et al. 2015).

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η δυναμικότητα παραγωγής τομάτας της Ελλάδας σε της περιόδους υψηλής ζήτησης είναι 2200 t/d.

Η προσφορά της τομάτας στον ανθρώπινο οργανισμό είναι μεγάλη καθώς περιέχει ένα μίγμα αντιοξειδωτικών ουσιών όπως το λυκοπένιο, το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C), ενώσεις φαινολών, βιταμίνη B6, φλαβονοειδή, β-καροτένιο και βιταμίνη E. Στον καρπό περιέχονται επίσης αμινοξέα, πρωτεΐνες, λιπαρά οξέα και υδατάνθρακες (Heeb 2005), μακροστοιχεία όπως K (Wilcox et al. 2003), P, Mg, και Ca (Súarez et al. 2008), αλλά και ιχνοστοιχεία όπως Fe, Μαγγάνιο (Mn) και Ψευδάργυρος (Zn) (Ahmed et al. 2011). Διατροφικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι η τακτική κατανάλωση φρούτων και λαχανικών, συμπεριλαμβανομένων και της τομάτας, μπορούν να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην πρόληψη κατά του καρκίνου και των καρδιαγγειακών παθήσεων (Heber 2000; Rao & Agarwal 2000; Toor & Savage 2005). Έτσι οι ανάγκες για κατανάλωση τομάτας είναι υψηλές όλο το χρόνο με αποτέλεσμα να καλλιεργείται και σε υπαίθριες καλλιέργειες όταν η εποχή το επιτρέπει αλλά και σε θερμοκηπιακές με στόχο τη διαθεσιμότητα της καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για άμεση κατανάλωση ή βιομηχανική επεξεργασία (Vitti et al. 2015).

1.3.2. Υβρίδια

Στις μέρες μας, οι περισσότερες τομάτες στην αγορά είναι υβρίδια, για αυτό το λόγο άλλωστε, έχουν τις περισσότερες φορές πανομοιότυπο σχήμα, μέγεθος, ανθεκτικότητα και χρώμα. Τα υβρίδια είναι σπόροι που δημιουργούνται από γεωπόνους και συνδυάζουν χαρακτηριστικά δύο ή και περισσότερων ποικιλιών, με στόχο να δημιουργηθεί μια τρίτη, με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Πρέπει να σημειωθεί πως τα υβρίδια δεν πρέπει να συγχέονται με τα γενετικά τροποποιημένα προϊόντα, αφού κατά τη διαδικασία παραγωγής τους δεν παρεμβαίνει η βιοχημεία. Στη χώρα μας, το 99% των υβριδίων που χρησιμοποιούνται στη γεωργική παραγωγή προέρχονται από ενδοειδικό υβριδισμό δηλαδή μεταφορά γύρης μεταξύ των δύο φυτών (Tomatodirt 2016; Agrotikistegi 2016). Ο Πίνακας 3 παραθέτει επιγραμματικά τα θετικά και τα αρνητικά της καλλιέργειας υβριδίων και συμβατικών φυτών τομάτας.

Πίνακας 3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υ υβριδικών φυτών τομάτας σε σύγκριση με τα συμβατικά.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή και σταθερή παραγωγικότητα	Υψηλές απαιτήσεις σε χρήση νερού και λιπασμάτων
Πιο εύρωστα φυτά με αυξημένες αντοχές σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και περιπτώσεις αβιοτικού στρες	Μόνο η πρώτη γενιά εμφανίζει στο σύνολο όλα τα θετικά χαρακτηριστικά. Αδυναμία δημιουργίας απογόνων. Απαιτήση για αγορά νέων σπόρων ανά σεζόν.
Ανθεκτικότητα έναντι ασθενειών.	Όχι τόσο έντονη γεύση όσο οι παραδοσιακές
Σταθερή συνοχή και αντοχή κατά τη μεταφορά και διαχείριση	Στην περίπτωση των υβριδίων που έχουν αυξημένα ποσοστά νερού στη σύνθεσή τους, έχουν μικρότερη συγκέντρωση θρεπτικών ανά μονάδα βάρους
Ομοιομορφία: Πανομοιότυπα χαρακτηριστικά της εκάστοτε ποικιλίας	Κίνδυνος εξάλειψης παλαιών, παραδοσιακών ποικιλιών

Στην περιοχή της Κρήτης και ιδιαίτερα του νότιου άξονα όπου οι καλλιέργειες είναι πιο διαδεδομένες ο κύριος όγκος παραγωγής κηπευτικών για τους νομούς Χανίων και Ηρακλείου με τις επικρατέστερες καλλιέργειες να είναι διάφορες ποικιλίες και υβρίδια τομάτας. Καλλιεργούνται κλασικά υβρίδια της στρογγυλής μεσόκαρπης τομάτας όπως Ελπίδα F1, Μπελαντόνα και Δάφνη αλλά και εξειδικευμένα τύπου Τσέρυ, Τσαμπί, Πομοντόρι και Βελανίδι, των οποίων η ζήτηση ολοένα και αυξάνεται στην Ελλάδα αλλά και στο εξωτερικό.

1.3.3. Συνθήκες παραγωγής

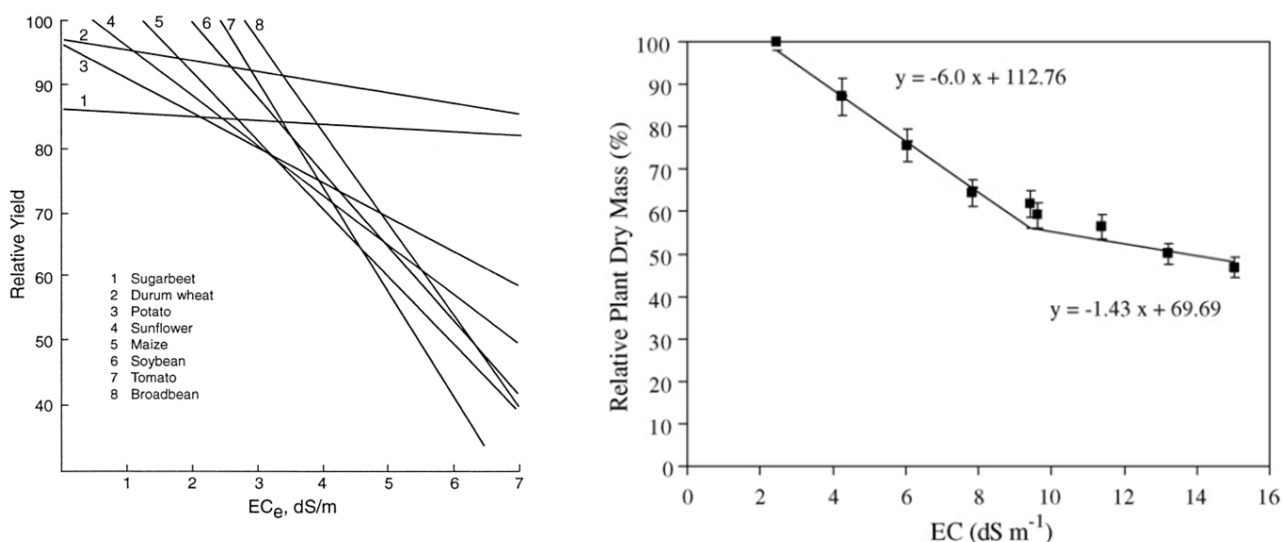
Το φυτό της τομάτας αναπτύσσεται καλύτερα σε στραγγιζόμενα, κατάλληλα λιπασμένα, και κατά κάποιο ποσοστό πηλώδη εδάφη, με ελαφρά όξινο pH (6,2-6,8). Το φυτό δεν θα πρέπει να φυτεύεται σε βαριά ή αμμώδη εδάφη παρά μόνο εάν ποτίζεται επαρκώς (μεγαλύτερες ανάγκες νερού) ή σε ρηχά εδάφη διότι οι ρίζες του μπορούν να εισχωρήσουν στο έδαφος σε βάθος 1.5 m. Οι ιδανικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας αναφέρονται όταν τα φυτά λαμβάνουν επαρκή ποσότητα νερού ώστε να διατηρούνται συνεχώς στομώδη. Η μετρήσιμη εξατμισοδιαπνοή υπό βέλτιστες συνθήκες είναι μεταξύ 5 και 6 mm/day. Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως το φυτό δεν ανέχεται κορεσμένες συνθήκες νερού στο χώμα (Snyder 2003; Benton Jones 2008). Η τομάτα θεωρείται φυτό με μέτριες προς αυξημένες απαιτήσεις σε θρεπτικά. Για την παραγωγή ποιοτικών καρπών τόσο η λίπανση σε Άζωτο (N), αλλά και σε Κάλιο (K) πρέπει να διαχειρίζεται σωστά.

Όσον αφορά τις βέλτιστες κλιματικές ζώνες, είναι εκείνες με θερμοκρασίες αέρα στους 18.3 °C με 32.2 °C κατά τους μήνες ανάπτυξης του φυτού. Το φυτό της τομάτας δεν μπορεί να ανεχτεί τον παγετό και τα άνθη του θα κινδυνεύσουν ακόμη και σε θερμοκρασίες νυκτός μικρότερες των 12.7 °C. Επιπρόσθετα, θερμοκρασίες άνω των 35 °C μειώνουν την καρπόδεση και αναστέλλουν τον φυσιολογικό χρωματισμό των καρπών. Ιδιαίτερα κατά την ανάπτυξη αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας, η κυκλοφορία του αέρα θα πρέπει να γίνεται ανεμπόδιστα και τακτικά διότι το φυτό δεν μεγαλώνει ιδανικά σε συνθήκες στάσιμου αέρα. Η βέλτιστη διαχείριση του αέρα στο θερμοκήπιο απαιτεί σχετικά ξηρό αέρα καθώς η υψηλή υγρασία σχετίζεται με την ύπαρξη εντόμων και ασθενειών.

Σχετικά με την αλατότητα του εδάφους, το φυτό της τομάτας δείχνει κάποια ανοχή, γεγονός που δεν είναι απαραίτητα θετικό από την άποψη της υπερ-λίπανσης των καλλιεργειών ή της χρήσης νερού προς άρδευση με υψηλή αγωγιμότητα. Ενδεικτικά αναφέρεται πως εδάφη με αλατότητα ως και 2.5 dS/m δεν επηρεάζουν αρνητικά τη φυσιολογία του φυτού (Psarras et al. 2008; Yurtseven and Kesmez 2005; Katerji et al. 2000). Το κύριο πρόβλημα λόγω της αυξημένης αλατότητας εντοπίζεται κατά τη διάρκεια της αρχικής ανάπτυξης όπου σε αυτή την περίπτωση οι κίνδυνοι για βλάβες είναι αυξημένοι. Παράλληλα το φυτό, εξαιτίας του ανταγωνισμού που υπάρχει στην απορρόφηση μεταξύ των διαφόρων θρεπτικών στοιχείων και του NaCl, υφίσταται και έλλειψη θρεπτικών στοιχείων που εκδηλώνεται με την μορφή τροφοπενίας (Πετρόπουλος 2013). Σύμφωνα με μετρήσεις από τους Katerji et al. (2000), η σταδιακή αύξηση της αλατότητας στο νερό άρδευσης προκαλεί και ανάλογη

μείωση της ξηρής βιομάζας της βλάστησης. Τα φυτά σε αυτή την περίπτωση τείνουν να μαραθούν ξεκινώντας από την κορυφή και παρατηρείται διόγκωση στο αρχικό μήκος των κλαδιών ενώ στη συνέχεια έχουν την τάση να γίνονται ατροφικά/ισχνά.

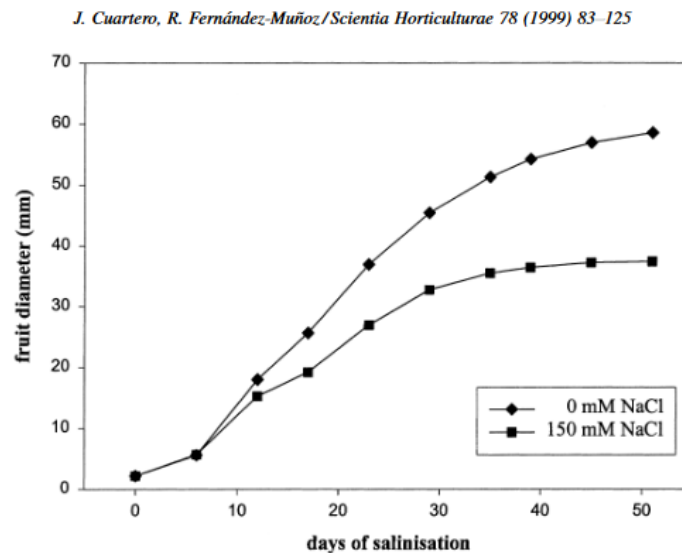
Οι μεταβολές στη φυσιολογία του φυτού λόγω της αλάτωσης επηρεάζουν την τελική μάζα και την παραγωγικότητα (Zhai et al. 2015; Yurtseven & Kesmez 2005). Η μείωση της ξηρής βιομάζας αποδίδεται στη μείωση του αριθμού των παραγόμενων καρπών, καθώς και στη μείωση του βάρους (Εικόνα 3, δεξιά), τον αριθμό και του όγκου τους. Η μείωση γίνεται αισθητή ύστερα από το κατώφλι των 2,5 dS/m (Katerji et al. 1988; Katerji et al. 2000) σύμφωνα και με την κλίση του διαγράμματος στην Εικόνα 3 (αριστερά) εκφρασμένη σαν ποσοστό μείωσης επί της συνολικής παραγωγής από φυτά που δεν έχουν υποβληθεί σε ανάλογο στρες. Έτσι η τομάτα θεωρείται μέτριας ευαισθησίας στο στρες λόγω αλατότητας με μία μείωση στην παραγωγή της τάξης του 10% σε κάθε μονάδα ECe πέραν του ορίου των 2,5 dS/m (Maas, 1986). Στην Εικόνα 3 παρατηρείται μείωση της παραγωγικότητας για τιμές αλατότητας υψηλότερες από 2,5 dS/m ($p < 0.05$) σύμφωνα με τους Maggio et al. (2007) και Yurtseven & Kesmez (2005).



Εικόνα 3. Αριστερά: Σχετική παραγωγικότητα λαχανικών σε σχέση με την αλατότητα (Katerji et al. 2000). Δεξιά: Κατώφλι επιρροής αλατότητας στην παραγωγή βιομάζας του φυτού της τομάτας ύστερα από πειραματικές μετρήσεις (Maggio et al. 2007).

Στην τομάτα, μέτρια επίπεδα αλατότητας σχετίζονται με βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων καρπών, καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητά τους σε ολικά διαλυτά στερεά και βελτιώνεται η γεύση τους (Πετρόπουλος 2013; Hao et al. 2000; Inal 2002). Αξίζει να σημειωθεί πως αρκετές έρευνες παρατηρούν αύξηση των τιμών οργανοληπτικών παραμέτρων, όπως τα διαλυτά στερεά, η φρουκτόζη, η γλυκόζη, τα αμινοξέα και η βιταμίνη C με την αύξηση της αλατότητας, ενώ το pH του χυμού των φρούτων παρουσιάζει μείωση (Nebauer et al. 2013; Huang et al. 2010; Tuna et al. 2007; Dorais et al. 2001; Cuartero & Fernández-Muñoz 1998). Ακόμη προκύπτει πως η αλατότητα σχετίζεται και με την βελτιωμένη σχετικά ποιότητα των καρπών λόγω των παραπάνω αυξημένων παραμέτρων. Άλλες

μελέτες υποστηρίζουν ότι η τομάτα παρουσιάζει ευαισθησία στην αλατότητα, ειδικά υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας ή έλλειψης νερού (Jensen CR et al. 2010; Karlberg et al. 2007; Adams et al. 2001). Ωστόσο η υψηλή αλατότητα, αδιαμφισβήτητα επηρεάζει το μέγεθος και την ομοιομορφία και συνεπώς την εμπορευσιμότητα των καρπών (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Μείωση μέσης διαμέτρου καρπών λόγω συνεχούς άρδευσης υπό συνθήκες αλάτωσης που αντιστοιχούν σε EC: 15 dS/m (Cuartero and Fernández-Muñoz 1999).

1.4. Θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας

Οι ανάγκες για παραγωγή οπωροκηπευτικών εκτός εποχής και η προστασία τους από έντονα καιρικά φαινόμενα έχουν κάνει πολύ δημοφιλή την εφαρμογή θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Κύριοι στόχοι της χρήσης θερμοκηπίου είναι η επίτευξη μιας πρώιμης ωρίμανσης των κηπευτικών με τη φυσική αύξηση της θερμοκρασίας υπό ελεγχόμενες συνθήκες μέσα στον προστατευμένο χώρο λόγω της ηλιοφάνειας και του αερισμού. Επιπλέον οι θερμοκηπιακές μονάδες παρέχουν προστασία της καλλιέργειας από παράγοντες όπως η βροχή και το χαλάζι, ο αέρας και τα βλαβερά έντομα. Τέλος καλύπτεται η ανάγκη για παραγωγή εμφανίσιμων, αλλά κυρίως υγιεινών και εύγευστων προϊόντων για τον καταναλωτή, απαλλαγμένων από υπολείμματα χημικών ουσιών, κάτι που γίνεται ευκολότερα εφικτό σε ένα προστατευμένο και ελεγχόμενο περιβάλλον όπως ο χώρος του θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του χώρου.

Για να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα και βιώσιμη η ανάπτυξη των θερμοκηπίων, κρίνεται αναγκαία η υιοθέτηση τεχνικών και τεχνολογιών προσαρμοσμένων στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και την διατήρηση των αγροτικών οικοσυστημάτων. Οι πρακτικές αυτές στοχεύουν μεταξύ άλλων στη βελτίωση της ποιότητας και ποσότητας των παραγόμενων προϊόντων, στις βέλτιστες χρήσεις νερού, αλλά και στη διατήρηση του εδάφους στα επιθυμητά επίπεδα. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με τη χρήση νέων τεχνικών καλλιέργειας, την πρακτική διαχείριση των υδάτων προς

άρδευση, τη χρήση νέων υποστρωμάτων (Tzortzakis and Economakis 2008), τις υδροπονικές καλλιέργειες (Zekki, et al 1996), τα βιολογικά πρόσθετα όπως το *Trichoderma* και οι ενεργοί μικροοργανισμοί όπως και η σωστή εφαρμογή θρεπτικών διαλυμάτων.

Η προετοιμασία του εδάφους εντός του θερμοκηπίου ξεκινάει με το όργωμα του χωραφιού και ακολουθεί η απολύμανση. Η διαδικασία γίνεται κυρίως με τη μέθοδο της ηλιοαπολύμανσης ή και σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους όπως η χρήση βιολογικών ή χημικών πρόσθετων και διαρκεί 4-5 εβδομάδες. Κατά την απολύμανση το έδαφος καλύπτεται με πλαστικό αδιαπέρατο φιλμ που εγκλωβίζει τη θερμότητα με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να αυξάνει σε επίπεδα 65-70°C. Με την παραπάνω μέθοδο και τις περισσότερες φορές χωρίς τη χρήση χημικών επιτυγχάνεται: (1) η καταπολέμηση των ζιζανίων (2) η καταπολέμηση άλλων παθογόνων μικροοργανισμών (όπως για παράδειγμα τα νηματοειδή που βρίσκονται στα ανώτερα στρώματα του εδάφους) και (3) ο έλεγχος διαφόρων ασθενειών, ενώ παράλληλα (4) διατηρούνται πολλοί ωφέλιμοι μικροοργανισμοί, κυρίως θερμόφιλοι μύκητες και ορισμένα βακτήρια. Οι ωφέλιμοι μικροοργανισμοί που επιζούν από τη θερμική δράση (π.χ. μύκητες μυκόρριζων, *Trichoderma spp.*, ωφέλιμα βακτήρια (*Bacillus spp.* και *Pseudomonas spp.*)) αργότερα δρουν ανταγωνιστικά έναντι των εξασθενημένων από τη θερμική δράση φυτοπαθογόνων και αυτών που εισάγονται μετά την ηλιοαπολύμανση, με αποτέλεσμα τη μακροχρόνια επίδρασή της στις μετέπειτα καλλιέργειες (Γρινιεζάκη 2013). Με την ηλιοαπολύμανση πραγματοποιείται και έμμεση λίπανση καθώς απελευθερώνονται διαλυτά θρεπτικά στοιχεία, όπως το άζωτο (N), νιτρικές και αμμωνιακές ρίζες (NO_3^- , NH_4^+), Ca^{2+} και Mg^{2+} που ευνοούν την ανάπτυξη της βλάστησης κατά την επόμενη καλλιεργητική περίοδο (Snyder 2003; Benton Jones, 2008).

Μετά την κατάλληλη προετοιμασία του εδάφους, ακολουθεί η φύτευση των σπορόφυτων περίπου 25 - 40 d από την μεταφύτευση στα κύπελλα ή στα ομαδικά μέσα σποράς δίπλα στις γραμμές ποτίσματος. Η μεταφύτευση πρέπει να γίνεται απογευματινές ώρες και σε έδαφος με κανονική υγρασία, σχετικά νωπό, αφού έχει ποτιστεί προηγουμένως. Πριν την φύτευση τα κύπελλα ή τα ομαδικά μέσα σποράς ποτίζονται για να διευκολυνθεί η εξαγωγή των φυταρίων. Οι λάκκοι που θα ανοιχτούν στο έδαφος με ειδικό κωνικό εργαλείο πρέπει να έχουν κατάλληλες διαστάσεις και να γίνουν δίπλα στο μπεκάκι ή το άνοιγμα του κεντρικού λάστιχου από όπου εξέρχεται το νερό. Επιλέγονται εύρωστα φυτά, ομοιόμορφα και καλής ανάπτυξης. Οι αποστάσεις φύτευσης καθορίζονται από διάφορους παράγοντες όπως (1) η εποχή φύτευσης, (2) ο τύπος του θερμοκηπίου, (3) το σύστημα άρδευσης, (4) η καλλιεργούμενη ποικιλία και (5) το σύστημα μόρφωσης που εφαρμόζεται, το οποίο δύναται να είναι είτε μονοστέλεχο (one-stem), όπου η φύτευση είναι πιο πυκνή, είτε διστέλεχο (two-stem) όπου η φύτευση είναι πιο αραιή. Το βάθος πρέπει να είναι τέτοιο ώστε το ανώτερο σημείο του αρχικού χώματος του υποστρώματος του φυτού να βρίσκεται ακριβώς στην επιφάνεια του εδάφους. Μεγαλύτερο βάθος δημιουργεί πρόβλημα στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Στη βαθιά φύτευση οι παλιές ρίζες καταστρέφονται και το φυτό δημιουργεί νέες στην επιφάνεια του εδάφους. Έτσι καθυστερεί η ανάπτυξη του φυτού και δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για προσβολή των ριζών

από ασθένειες. Αμέσως μετά το φύτεμα ακολουθεί το πότισμα των φυτών. Στην Κρήτη συνηθίζεται η φύτευση να γίνεται σε διπλές γραμμές και οι αποστάσεις φύτευσης διαφέρουν ανάλογα την εποχή.

Το σύστημα φύτευσης σε διπλές γραμμές επιλέγεται για τους εξής λόγους:

- 1) Αξιοποιείται καλύτερα ο χώρος του θερμοκηπίου, με γνώμονα τη μεγιστοποίηση του αριθμού των φυτών, επιτρέποντάς την κανονική ανάπτυξη τους.
- 2) Δεν συμπιέζεται ο χώρος μεταξύ των διπλών γραμμών φύτευσης κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας και εξασφαλίζεται καλός αερισμός του ριζικού συστήματος. Όλες οι καλλιεργητικές φροντίδες από το προσωπικό και τα μηχανήματα γίνονται μέσω των διαδρόμων του θερμοκηπίου.
- 3) Μπορεί να εξασφαλιστεί σημαντική οικονομία στην εγκατάσταση του συστήματος στάγδην άρδευσης, γιατί με έναν κεντρικό σωλήνα άρδευσης που βρίσκεται στο μέσο των διπλών γραμμών μπορεί να αρδεύονται και οι δύο γραμμές φυτών.

Για τις καλοκαιρινές ή φθινοπωρινές φυτεύσεις έχουν επικρατήσει αποστάσεις 110-120 cm μεταξύ των διπλών γραμμών για τη διέλευση των αγροτών, 90 cm μεταξύ των γραμμών και 30-50 cm μεταξύ των φυτών πάνω στη γραμμή φύτευσης ή σε άλλη περίπτωση παρόμοια συστοιχία με απόσταση 130-140 cm μεταξύ των διπλών γραμμών, 80 cm μεταξύ των γραμμών και την απόσταση μεταξύ των φυτών να είναι στα 33 cm πάνω στη γραμμή φύτευσης. Για φυτεύσεις τέλη χειμώνα οι αποστάσεις μεταξύ των διπλών γραμμών και μεταξύ των γραμμών μπορεί να είναι μικρότερες, για να χωρέσουν περισσότερα φυτά στο στρέμμα και να αυξηθεί η πρώιμη παραγωγή καθώς σε αυτή στηρίζεται η παραπάνω πρακτική φύτευσης. Συμπερασματικά φυτεύονται 24,000-26,000 φυτά τομάτας ανά ha (Σταυριανάκης 2016, προσωπική επικοινωνία). Υπό βέλτιστες συνθήκες, η μέση παραγωγή ενός φυτού ντομάτας που καλλιεργείται στο θερμοκήπιο φτάνει τα 1,8-3,5 kg, ενώ η μέση απόδοση της καλλιέργειας ντομάτας υπό κάλυψη ανέρχεται σε 45-90 t/ha (Γρινιζάκη 2013; Daliakopoulos et al. 2016b).

1.5. Trichoderma (Τριχόδερμα)

Η χρήση βιολογικών μέσων προερχόμενα από ποικίλους μικροοργανισμούς ή ουσίες αυτών χρησιμοποιείται στις καλλιέργειες με στόχο την ενίσχυση της ανάπτυξης των φυτών και την προσαρμογή τους σε μη-ιδανικό περιβάλλον όπως σε περιπτώσεις ξηρασίας ή υψηλής αλατότητας που τους προκαλείται αβιοτικό στρες. Η χρήση τους προτιμάται σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγαλύτερη ανοχή των φυτών έναντι στο στρες που προκαλείται λόγω έλλειψης νερού ή υψηλής αλατότητας, προστασία των φυτών από παθογόνους μικροοργανισμούς, βελτίωση της δομής του εδάφους (Altomare et al., 1999). Το *Trichoderma* είναι ένας συμβιωτικός μικροοργανισμός και κατατάσσεται στην κατηγορία των μυκήτων (Harman, 2000). Τα πρόσθετα αυτού, (*Trichoderma-based products*) έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία την τελευταία δεκαετία κυρίως γιατί συνδυάζουν τις

ευεργετικές ιδιότητες προάγοντας τις έμφυτες αμυντικές ιδιότητες του φυτού, μαζί με μια ολοκληρωμένη προστασία από τους φυτοπαθογόνους μύκητες με ασφάλεια, χωρίς να προκαλούν επιπλοκές για τον άνθρωπο, την κτηνοτροφία και τις καλλιέργειες απαλλάσσοντας τις από την έντονη χρήση φυτοφαρμάκων και μυκητοκτόνων (López-bucio et al. 2015). Το *Trichoderma spp.* είναι γνωστό για τον βιοέλεγχο ασθενειών των φυτών για περισσότερο από 70 χρόνια (Weindling, 1932; Weindling & Fawcett 1936) με πάνω από 200 μοριακά αναγνωρισμένα είδη (Atanasova et al. 2013). Η εφαρμογή του περιλαμβάνει μια μεγάλη γκάμα φυτών, συμπεριλαμβανομένων λαχανικών, μαλακών φρούτων, βοτάνων, βολβών, διακοσμητικών φυτών, πολυετών φυτών, τύρφης και δενδροκομίας σε υπαίθριες και ελεγχόμενες καλλιέργειες. Το *Trichoderma* αποικεί φυσικά στις ρίζες των φυτών χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στο φυτό και οι κύριοι μηχανισμοί που λαμβάνουν χώρα είναι η επίδραση του σε διάφορα επίπεδα μεταξύ κορμού και ριζών καθώς απελευθερώνει αυξίνες, πεπτίδια, πηκτικούς και άλλους μεταβολίτες οι οποίοι προάγουν την εξάπλωση των ριζών και την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών και συνεπώς προάγει την ανάπτυξη και παραγωγή του φυτού, μειώνοντας τις ανάγκες σε χρήση λιπασμάτων και νερού έως και 35-40% (Cai et al. 2015).

Η ιδιότητα του *Trichoderma* να εντοπίζει, και να καταστρέφει άλλους μύκητες έχει οδηγήσει στην ευρεία χρήση του, με πάνω από το 60% των εγγεγραμμένων βιο-φυτοφαρμάκων να περιέχουν απομονώσεις από είδη *Trichoderma* ή συνδυασμό αυτών. Τα κυριότερα, πιο μελετημένα και πιο διαδεδομένα γένη του *Trichoderma* είναι: *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. virens*, *T. viride* και *T. harzianum* με το τελευταίο να είναι και το αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Ο συμβιωτικός μύκητας συνυπάρχει με το ριζικό σύστημα έτσι η εφαρμογή του γίνεται κατά προτίμηση ανά φυτό. Ο συνηθέστερος τρόπος εφαρμογής που εφαρμόστηκε και στο παρόν πείραμα είναι με εμβολιασμό. Σε άλλες περιπτώσεις είναι δυνατή η χρήση του σε διαλυμένη μορφή στο νερό άρδευσης ή ως pellets. Συνοψίζοντας οι ωφέλιμοι μικροοργανισμοί παρεμβαίνουν στην ανάπτυξη παθογόνων με τους εξής μηχανισμούς: (α) Ανταγωνισμός (τροφικός), (β) παράγοντας αντιβιοτικές ουσίες (για παράδειγμα γλυοβιρίνη και γλυτοξίνη), (γ) με παρασιτισμό, (δ) με αποικισμό καταλαμβάνοντας μεγάλο μέρος του διαθέσιμου χώρου, και (ε) μέσω ανοσοποίησης, ενεργοποιώντας μηχανισμούς αντοχής του φυτού. Στη συνέχεια αναγράφονται τα οφέλη και η δυνατότητες του *Trichoderma* (Kumar et al. 2014; Γρινιεζάκη 2013):

1. Έλεγχος ασθενειών φυτών: Διάφορες παθήσεις (Πίνακες 4 και 5) των φυτών από παθογόνους μύκητες μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση ειδών της οικογένειας του *Trichoderma*.

2. Αντοχή έναντι αβιοτικού στρες: Το *Trichoderma* αναπτύσσει μηχανισμούς που ενισχύουν την αντοχή του φυτού αυξάνοντας τον όγκο των ριζών και την πρόσληψη θρεπτικών αλλά και νερού από το χώμα όπως επίσης και από την παραγωγή ενζύμων

3. Ανάπτυξη φυτού: το *Trichoderma* διαλυτοποιεί ενώσεις φωσφόρου και άλλα μικροθρεπτικά. Λόγω του φαινομένου αυτού το φυτό αναπτύσσει μεγαλύτερο ριζικό σύστημα και συνεπώς κορμό καθώς τα 2 μεγέθη είναι ανάλογα

4. Βιοχημικοί διεγέρτες για την αντίσταση έναντι ασθενειών: Με τη χρήση του *Trichoderma* παράγονται ουσίες που προκαλούν αυξημένη αντοχή στο φυτό. Οι ουσίες αυτές προκαλούν παραγωγή αιθυλενίου, υπερευαισθησία όσον αφορά την ανταπόκριση και άλλες αντιδράσεις που σχετίζονται με την άμυνα του καλλιεργήσιμου φυτού.

5. Διαγονιδιακά είδη: Οι οργανισμοί στους οποίους έχει ενσωματωθεί στο γονιδίωμά τους ένα νέο γονίδιο. Η παρουσία ενδοκυτινάζων λόγω του *Trichoderma* αυξάνει την ανοχή τους έναντι στην ανάπτυξη μυκήτων και νηματώδων αλλά και ασθενειών του φυλλώματος (Πίνακας 5).

6. Φυτοεξυγίανση: το *Trichoderma* παίζει σημαντικό ρόλο στην φυτοεξυγίανση του εδάφους ρυπασμένου από φυτοφάρμακα και ζιζανιοκτόνα. Ο μηχανισμός δράσης του βασίζεται στην ικανότητά του να υποβαθμίζει-διαλυτοποιεί ένα μεγάλο μέρος των εντομοκτόνων όπως οργανοχλώριων, οργανοφωσφορικών και ανθρακικών.

7. Βιομηχανική χρήση: τα γένη *T. reesei* και *T. Harzianum* (TH) χρησιμοποιούνται για την παραγωγή cellulase και hemicellulase (κελλουλάσης και ημικελλουλάσης), ένζυμα με κυτταρολυτικές ιδιότητες κυρίως έναντι πολυσακχαριτών σε μονοσακχαριτών. Ακόμη το TH παράγει Chitinases (κιτινάζες) που χρησιμοποιούνται για τη καταστροφή του κυτταρικού τοιχώματος που περιέχει χιτίνη. Χρήση κυρίως για βιομηχανίες υφασμάτων. Τέλος το *T. longibratum* χρησιμοποιείται για την παραγωγή ξυλανάσης. Ακόμη έχει αναφερθεί πως το *T.hamatum*, έχει τη δυνατότητα διάσπασης ορισμένων πλαστικών (Έρευνα ΔΕΔΙΣΑ Χανίων, 2015)

Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως η δράση του *Trichoderma* αναστέλλεται με την υψηλή παρουσία αλάτων, με κατώφλι τιμές πάνω από 12.5 dS/m υποθέτοντας πως η αλατότητα μειώνει τις παραγόμενες ποσότητες αντιμυκητιακών μεταβολιτών, χωρίς όμως να χάνει απαραίτητα την δράση του έναντι στα παθογόνα (Regragui & Lahlou 2005). Στον παρακάτω Πίνακα 4 αναφέρονται επιγραμματικά 19 μελέτες σχετικά με τις ιδιότητες του *Trichoderma* σε φυτά τομάτας, οι περισσότερες από τις οποίες σχετίζονται με την προστατευτική του δράση έναντι συγκεκριμένων παθογόνων, τα περισσότερα εξ αυτών συναντιούνται και στη χώρα μας και περιγράφονται στον Πίνακα 5. Άλλες σχετικές μελέτες αφορούν την ποιότητα των καρπών, την επιρροή του μύκητα στην ταχύτητα βλάστησης και της βιομάζας του φυτού καθώς και τις προσυζήσεις στην παραγωγή σε περιπτώσεις που το φυτό είχε προσβληθεί από κάποιο παθογόνο. Δεν βρέθηκε σχετική μελέτη που να αφορά συνδυασμό *Trichoderma* και συνθηκών αλάτωσης και το αποτέλεσμα αυτών στο έδαφος όπως και το ύψος παραγωγής υγρών φυτών τομάτας. γεγονός που κάνει το θέμα του παρόντος πειράματος την πρώτη προσπάθεια εκτίμησης των ιδιοτήτων του μύκητα σε τέτοιο επίπεδο.

1.6. Σκοπός του πειράματος

Με δεδομένα τις υψηλές τιμές αλατότητας που παρουσιάζουν οι υδροφορείς στα σημεία άντλησης στην περιοχή του Τυμπακίου και την αδυναμία χρήσης άλλων πηγών άρδευσης κυρίως λόγω κόστους και έλλειψης συντονισμού από τους τοπικούς φορείς, πραγματοποιήθηκε έρευνα για τη χρήση του μύκητα *Trichoderma harzianum* (TH). Το συγκεκριμένο πρόσθετο εξετάζεται ως παράγοντας αύξησης της παραγωγής και ως μέσο διατήρησης της ποιότητας του εδάφους σε αρδεύσιμες εκτάσεις με νερό υψηλής αλατότητας με τις τιμές EC πολλές φορές να βρίσκονται πάνω από 2 dS/m.

Στην παρούσα διπλωματική ερευνάται η ανταπόκριση των φυτών στο ωσμωτικό στρες σε βάθος χρόνου μιας σεζόν (Οκτώβριος- Απρίλιος) και η επίδραση του μύκητα με μια πλήρη καταγραφή των βασικότερων παραμέτρων που επηρεάζουν την καλύτερη δυνατή διαχείριση της τομάτας θερμοκηπίου. Στα πλαίσια του πειράματος εξετάσθηκε η εξέλιξη των φυτών υπό συνθήκες δυο διαφορετικών επιπέδων, για μέσες και υψηλές τιμές αλατότητας νερού άρδευσης με 1.1 και 3.5 dS/m, αντίστοιχα. Η τιμή της «μέσης» αγωγιμότητας επιλέχθηκε λόγω των καλλιεργητικών πρακτικών της περιοχής μελέτης του Τυμπακίου, όπου η περιοχή του 1 dS/m θεωρείται νερό άρδευσης καλής ποιότητας. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως, το η αγωγιμότητα του νερού άρδευσης ξεπερνά τα 2 dS/m και σε συνδυασμό με τα διαλυτοποιημένα λιπάσματα το νερό άρδευσης σημειώνει ακόμα υψηλότερες τιμές. Συγχρόνως η τιμή των 2.5 dS/m είναι η τιμή κατωφλιού για την οποία δεν επηρεάζεται το φυτό της τομάτας σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Snyder 2003; Benton Jones 2008; Maggio et al. 2007; Yurtseven & Kesmez 2005; Katerji et al 1988; Maas, 1986). Έτσι, η τιμή της «υψηλής» αγωγιμότητας επιλέχθηκε καθώς είναι κοντά στην περιοχή των 3 dS/m που οι καλλιεργητές θεωρούν απαγορευτική για χρήση στην καλλιέργεια τομάτας, ενώ παράλληλα δεν είναι καταστρεπτική με αποτέλεσμα να είναι δυνατές οι μετρήσεις παραγωγής. Παρόλο που έχουν δημοσιευτεί πολλές έρευνες σχετικά με τη γεωπονική και αγρονομική ανταπόκριση της ντομάτας υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας και διαφορετικών επιπέδων υγρασίας στο χώμα, λίγες είναι εκείνες που ερεύνησαν τα συνδυαστικά αποτελέσματα αυτών των παραμέτρων στην τελική ανάπτυξη, την ποιότητα και την παραγωγικότητα των φυτών (Zhai et al. 2015).

Στόχος λοιπόν είναι να αναλυθεί η επίδραση της αλατότητας σε συγκεκριμένη ποικιλία τομάτας Ελπίδα καθώς είναι η πιο διαδεδομένη που καλλιεργείται στην περιοχή σε συνδυασμό με την εφαρμογή του *Trichoderma harzianum* και για τις δύο περιπτώσεις αλάτωσης όσον αφορά: (1) την ποιότητα του εδάφους, (2) των φυτών, (3) των καρπών και (4) το ύψος της παραγωγής. Για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων λήφθηκαν υπ' όψιν χημικές αναλύσεις του εδάφους, η ανάπτυξη των φυτών, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των καρπών, η ποιότητά τους, το ύψος της παραγωγής σε κάθε περίπτωση και αν τελικά η χρήση του μύκητα αποδίδει κέρδος στον παραγωγό και στην διατήρηση και αειφορία της κατάστασης του εδάφους υπό ενιαίους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Πίνακας 4. Επίδραση *Trichoderma* σε καλλιέργειες ή φυτά ντομάτας. TH: *Trichoderma harzianum*, DAT: Ημέρες μετά την μετεμφύτευση

Περιοχή	Καλλιέργεια	Περίοδος	Αντικείμενο	Μύκητας	Αποτελέσματα	Αναφορά
Πρετόρια, Νότιος Αφρική	Greenhouse conditions, Sandy loam	2 χρονιές, Νοέμβριος- Μάιος, περίοδος ανάπτυξης 12 μηνών	Εμβολιασμός με TH που περιέχει σπόρια 1×10^9 CFU/g σε μορφή σκόνης.	TH	Οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες, η βιταμίνη C και η συγκέντρωση φλαβονοειδών δεν επηρεάστηκαν από το TH. Το λυκοπένιο παρουσίασε αύξηση. Ο αρχικός εμβολιασμός οδήγησε σε αύξηση της ποιότητας του καρπού αλλά όχι στην παραγωγή. Ο αποικισμός του TH ήταν πάνω από 90% σε όλες τις περιπτώσεις.	Nzanza et al. 2012
Κάιρο, Αίγυπτος	Field conditions & Greenhouse conditions: γλάστρες διαμέτρου:30cm με non-saline & saline soil (EC: 6.4 mhs), 5 replicates	2000-2001 και 2001-2002	Βιοέλεγχος των 2 μεταλλάξεων του TH με υψηλή αντοχή στην αλατότητα ενάντια στο παθογόνο Φουζάριο Οξύσπορο .	TH Th50M6 & Th50M11	Μειώθηκαν αισθητά τα συμπτώματα ασθένειας μαρασμού. Αυξήθηκε η παραγωγή και τα διαλυτά μέταλλα των καρπών υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας καθώς και υπό συνθήκες όπου το φυτό είχε προσβληθεί από τον μύκητα F. Οxysporum συγκριτικά με τις γλάστρες ελέγχου	Mohamed & Haggag 2006
Ισραήλ	Σπορόφυτα με 6 replicates υπό συνθήκες θερμοκηπίου (27±3°C). Σύσταση χώματος: raw red- brown sandy loam soil	3 εβδομάδες	Σύγκριση βλαστικής ικανότητας TH με τους 3 παρακάτω τρόπους: Peat bran preparation, Conidial suspension, Seed coating.	TH T-203	Καλύτερη απόδοση με peat/ wheat-bran preparation. Όμως ειδικότερα για τη τομάτα η πιο αποδοτική μέθοδος ήταν αυτή του seed coating. Παρατηρήθηκε αύξηση 20% καθ' ύψος και 10% σε ξηρό βάρος των φυτών	Kleifeld & Chet 1992
Τουρκία	Μη-θερμαινόμενο Θερμοκήπιο	2004	Επιδράσεις στην παραγωγή και ποιότητα των φυτών τομάτας.	TH	Αύξηση της διαμέτρου των καρπών στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του φυτού. Πιθανώς να χρειάζεται ανανέωση του πληθυσμού του TH στη ριζόσφαιρα.	Bal & Altintas 2006

Περιοχή	Καλλιέργεια	Περίοδος	Αντικείμενο	Μύκητας	Αποτελέσματα	Αναφορά
Κίνα	Συνθήκες θερμοκηπίου σε φυτά τομάτας. clay loam. Περιορισμός θρεπτικών.		Διαλυτότητα Φωσφορικών και μικροθρεπτικών συστατικών από το ΤΗ και η επιρροή του στην ανάπτυξη των φυτών.	ΤΗ	Το ΤΗ έχει τη δυνατότητα να αυξάνει την διαλυτότητα των φυτικών αλάτων, των FeO ₃ , CuO, K και του Zn σε ένα φάσμα μεταξύ 21-73% συγκριτικά με τις γλάστρες ελέγχου. Το ξηρό βάρος των σπορόφυτων αυξήθηκε κατά 31%. Αντιθέτως δεν υπήρχαν διαφορές όσον αφορά την πρόσληψη Ca ₃ (PO ₄) ₂ και μη υπό τη μορφή MnO ₂	Li et al. 2015
Σαουδική Αραβία	Συνθήκες θερμοκηπίου σε γλάστρες των 1.5 kg, Sand, sandy loam, peat moss (2:1:1).	2015	Καταπολέμηση του νηματώδους παθογόνου Meloidogyne Javainca στην τομάτα.	ΤΗ vs <i>T. viride</i>	Το ΤΗ αποδείχτηκε πιο αποτελεσματικό από το <i>T. viride</i> ειδικότερα σε υψηλότερες συγκεντρώσεις (10^{10} spore/g soil) κατά του νηματώδους παθογόνου και το root galling και αύξησε τη βιομάζα των φυτών συγκριτικά με τα φυτά ελέγχου.	Al-hazmi & Tariqjaveed 2015
Potenza, Ιταλία	Φυτά στο στάδιο της πρώτης και δεύτερης καρποφορίας.		Προστασία ενάντια στον Ιό μωσαϊκού αγγουριάς (CMV).	ΤΗ T-22	Αύξηση της αντοχής του φυτού έναντι στο παθογόνο, αύξηση της παραγωγής και του μεγέθους των ριζών, προστασία ενάντια άλλων παθογόνων μυκήτων	Vitti et al. 2015.
Τυνησία	Συνθήκες Θερμοκηπίου.	90 DAT	Μαρασμός από Βερτισιλλίωση, Ενίσχυση ύψους φυτού.		Αύξηση του ύψους κατά 24%. Ο δείκτης αποχρωματισμού μειώθηκε σημαντικά συγκριτικά με τα φυτά ελέγχου. μείωση εξάπλωσης μυκηλίων. Μείωση του δείκτη βλαβών στα φύλλα κατά 60%	Hayfa Jabnoun-Khiareddine et al 2009
Μαρόκο	Εγαστηριακό πείραμα.	7ήμερος εμβολιασμός	Χρήση ΤΗ υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας Ενάντια στη Βερτισιλλίωση: ασθένεια μααρασμού που προκαλείται από 6 διαφορετικά παθογόνα.	ΤΗ Moroccan strain	Η βιωσιμότητα του ΤΗ δεν επηρεάστηκε από την αυξημένη συγκέντρωση αλάτων στο χώμα. Το ΤΗ μπορεί και αποικεί σε ποσοστά πάνω από 97%. Το ΤΗ μείωσε την αποίκιση του παθογόνου <i>V. dahliae</i> σε ποσοστά 8% σε σχέση με αυτή των φυτών ελέγχου η οποία άγγιζε το 57%. Αύξησε σημαντικά το μέγεθος των ριζών. Ο ρυθμός παραγωγής των κονιδίων του ΤΗ μειώνεται με την αύξηση της αλατότητας.	Chahdi et al. 2014

Περιοχή	Καλλιέργεια	Περίοδος	Αντικείμενο	Μύκητας	Αποτελέσματα	Αναφορά
Κίνα	Συνθήκες Πεδίου & Εργαστηριακές	Μάρτιος-Ιούνιος & Αύγουστος-Νοέμβριος	Επιτυχής αποικίωση του ΤΗ σε ρίζες τομάτας και η σχέση αυτού με την αύξηση της βιομάζας, τη διαθεσιμότητα θρεπτικών και της μικροπανίδας.	ΤΗ SQR-T037	Το ΤΗ T037 μπορούσε επιτυχώς να αποικίσει στις ρίζες του φυτού. Αυξημένα ποσοστά βιομάζας σε αρχικό στάδιο. Σταθερή παραγωγή τομάτας η οποία πιθανώς να οφείλεται στη διαλυτοποίηση θρεπτικών και στην παρουσία ωφέλιμων μικροοργανισμών του εδάφους (βακτήρια, κοινοτήτων μυκήτων, ακτινομυκήτων και <i>Trichoderma</i>). Η ανάπτυξη των φυτών με 75% της συνιστώμενης ποσότητας Χημικού λιπάσματος σε συνδυασμό με ΤΗ ήταν συγκρίσιμη με εκείνη με χρήση 100% χημικού λιπάσματος	Cai et al. 2015
Ισραήλ	Συνθήκες Θερμοκηπίου. Sandy soil Με σύστημα στάγδην N,P,K:120,30,150 mg/L, EC: 2.2 dS/m		Αντοχή έναντι ασθενειών του φυλλώματος <i>Botrytis cinerea</i> και του <i>Podosphaera xanthii</i> με Ηλιοαπολύμανση σε συνδυασμό με ΤΗ.	ΤΗ T39	Η πρόσθεση ΤΗ παρουσίασε σημαντική μείωση της εμφάνισης των παθογόνων στα φυτά συγκριτικά με εκείνα χωρίς το πρόσθετο	Levy et al. 2015; Zimand et al. 1996
Η.Π.Α.	Συνθήκες θερμοκηπίου (16-34 °C)	3 μήνες	Το ΤΗ ενάντια στην ασθένεια του πρώιμου μαρασμού <i>Alternaria Solani</i> .	ΤΗ T-22	Έως και 80% μείωση του πρώιμου μαρασμού στο πεδίο	Seaman A 2003
Αλγερία	Πειραματική διαδικασία σε καρπούς.		Χρήση ΤΗ για την καταπολέμηση του παθογόνου <i>Phytophthora oomycete</i> .	ΤΗ	Έως και 80% παρεμπόδιση του παθογόνου που προκαλεί Περονόσπορο, σήψη ριζών και ανώτερου τμήματος και άλλες ασθένειες.	Fatima et al. 2015

Περιοχή	Καλλιέργεια	Περίοδος	Αντικείμενο	Μύκητας	Αποτελέσματα	Αναφορά
Ινδία	Συνθήκες πεδίου και εργαστηριακός έλεγχος σε τρυβλία	60 DAT	Συνδυασμός TH για την καταπολέμηση του νηματώδους <i>Meloidogyne incognita</i> που προκαλεί σάπισμα των ριζών του φυτού.	TH & Acremonium strictum talc	Άμεσα και θετικά αποτελέσματα που αποδίδονται στις αυξητικές ορμόνες που προσφέρει το TH στο φυτό προσφέροντάς του μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. Ο Συνδυασμός των 2 μυκήτων όπου παρουσίασε αξιοσημείωτη νηματική δραστηριότητα, μειώθηκε η παρουσία ασθeneιών όπως ο μαρασμός και το σάπισμα των ριζών.	Goswami et al. 2015
Αίγυπτος	Πειραματική εξέταση σε τρυβλία	4, 8 και 12 ημέρες μετά την επώαση	TH & P. Oligandrum για την καταπολέμηση των παθογόνων <i>Fusarium oxysporum</i> και <i>Pythium ultimum</i> var. <i>Ultimum</i> .	TH T-22	Υψηλή δόση TH παρουσίασε έως και 100% εξάλειψη του παθογόνου <i>Fusarium oxysporum</i> και έως και 50% μείωση εξάπλωσης του <i>Pythium ultimum</i> , ενώ το πρόσθετο P. <i>Oligandrum</i> παρουσίασε 100% και 15% αντίστοιχα. Οι ανασταλτικές ουσίες του T-22 είναι ένας πιθανός μηχανισμός βιοελέγχου.	El-Katatny et al. 2006
Ινδία	Περιβαλλοντικά ελεγχόμενο γυάλινο θερμοκήπιο. Μέση T: 15–22 °C. γλάστρες 20x15 cm. Αποστειρωμένο φυσικό χώμα και εμβολιασμός με παθογόνο.	Καλλιέργεια Αύγουστος-Νοέμβριος	Καταπολέμηση του Οξύσπορο φουζάριο της τομάτας (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill)	TH	Το TH παρουσιάζει τα υψηλότερα ποσοστά βιομάζας όσον αφορά τον κορμό και τις ρίζες (μέγεθος και μάζα) στα φυτά τομάτας που έχουν προσβληθεί από <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (Fol) (tomato wilt)	Singh 2016

Περιοχή	Καλλιέργεια	Περίοδος	Αντικείμενο	Μύκητας	Αποτελέσματα	Αναφορά
Νιγηρία	Εργαστηριακό πείραμα	-	Απομόνωση 5 παθογόνων από δείγματα μολυσμένων φύλλων τομάτας ή χώματος.	ΤΗ	Το αποτέλεσμα έδειξαν ότι εάν έχει προηγηθεί εφαρμογή του ΤΗ κατά 9 μέρες τα αποτελέσματα είναι τα βέλτιστα (80-90%). Σε περίπτωση ταυτόχρονου εμβολιασμού παθογόνου και ΤΗ τα ποσοστά ήταν αντιστοίχως της τάξης του: 60-80%. Εμβολιασμός αρχικά του παθογόνου και στη συνέχεια του ΤΗ έχει αποτελεσματικότητα 40-50%.	Ewekeye et al. 2013
Η.Π.Α.	Εργαστηριακό πείραμα σε σπόρια και σπορόφυτα.	-	Χρήση ΤΗ για την καταπολέμηση του αβιοτικού στρες σε ντοματιές, έλεγχος αύξησης ανοχής έναντι του Pythium, δημιουργία βιομάζας υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας και επιρροή του χρόνου βλάστησης .	ΤΗ T-22	Υψηλή αλατότητα: Η πρόσθεση T22 ενίσχυσε την ταχύτητα βλάστησης των σπορόφυτων. Σημειώνεται ακόμα ότι με τη χρήση του πρόσθετου αυξήθηκε το σφρίγος των σπορόφυτων υπό τις παραπάνω συνθήκες. Στην περίπτωση του μολυσμένου χώματος από Pythium η ξηρή βιομάζα των ριζών ήταν αυξημένη κατά 46%. Αντίθετα το ξηρό βάρος του βλαστού δεν επηρεάστηκε από το T22.	Mastouri et al. 2010
Η.Π.Α	Εργαστηριακό πείραμα		Ρόλος του ΤΗ στην αύξηση ανοχής στην έλλειψη νερού.	ΤΗ T-22	Παραγωγή περισσότερων ενζύμων (superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase) που αφορούν το στρες λόγω έλλειψης νερού συγκριτικά με τα σπορόφυτα ελέγχου. Το T22 επηρεάζει τον σχηματισμό γονιδίων που κωδικοποιούν αντιοξειδωτικά ένζυμα, ειδικά στον ιστό των φυτών. Ο αποικισμός με T22 μειώνει την οξειδωτική μείωση της βλάστησης των σπορόφυτων λόγω της έλλειψης νερού . Η χρήση ΤΗ ενίσχυσε την ανάπτυξη των σπορόφυτων (P<0.0001) και της ομοιομορφίας τους.	Mastouri et al. 2012

**Πίνακας 5: Αποτελεσματικότητα του TH: *Trichoderma harzianum*, έναντι διαφόρων παθογόνων και των συμπτωμάτων τους, που αφορούν το φυτό της τομάτας. Συμβολισμοί:
✓: προσφέρει προστασία και ✖: δεν προσφέρει προστασία**

Παθογόνο	Χαρακτηριστικά	Δράση	Βιβλιογραφία
Αδρομυκώσεις: Φουζάριο (<i>Fusarium oxysporum</i> f.)	Προκαλεί σήψη λαιμού και ριζών, η οποία εκδηλώνεται με απότομο μαρασμό και βαθμιαία ξήρανση των φύλλων.	✓	Singh 2016
Αδρομυκώσεις: Βερτισίλλιο (<i>Verticillium dahliae</i>)	Τα φυτά που έχουν προσβληθεί εμφανίζουν το σύνδρομο του βραδέως μαρασμού, ενώ πολλές φορές εμφανίζεται με μορφή ημιπληγίας. Στα αρχικά στάδια η ασθένεια εκδηλώνεται με μαρασμό μεμονωμένων φυλλιδίων ή φύλλων.	✓	Chahdi et al. 2014 Clement et al. 2012
<i>Rhizoctonia</i> (soilborne fungal pathogen)	Προσβολή ριζικού συστήματος και καρπού. Το παθογόνο προσβάλλει τα φυτά σε όλα τα στάδια της ανάπτυξής τους και μεταδίδεται με τη βροχή, το νερό αρδεύσεως, τα καλλιεργητικά εργαλεία.	✓	Vitti et al. 2015; Weindling, R. & H. S. Fawcett. 1936; Kumar et al 2014
Βοτρυτίδα (<i>Botrytis cinerea</i> (foliar pathogen))	Τα φυτά που έχουν μολυνθεί μαραίνονται και ξηραίνονται.	✓ T39	Levy et al. 2015; Zimand et al. 1996; Kumar et al. 2014
Ιός του μωσαϊκού της αγγουριάς (CMV)	Η ίωση (CMV) αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη στην Ελλάδα.	✓	Vitti et al. 2015
Root-knot nematodes (<i>Meloidogyne</i> spp.)	52 isolates from Crete (Tzortzakis et al. 2011), Νηματόδες του εδάφους.	✓	Goswami et al. 2015 Al-hazmid 2015
Σκληροτίαση/ <i>Sclerotinia</i> (Μύκητας: <i>Sclerotium rolfsii</i> ή <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	Εντοπίζεται στο έδαφος και προσβάλλει όλα τα μέρη του φυτού και σε όλα τα στάδια ανάπτυξής του. Ευνοείται από συνθήκες κακής στράγγισης του εδάφους, χαμηλού pH και υψηλής θερμοκρασίας (30-35°C).	✓	Vitti et al. 2015.
<i>Pythium</i> spp.	Το παθογόνο βρίσκεται στο έδαφος και προσβάλλει όλα τα μέρη του φυτού και προκαλεί τήξεις των νεαρών φυταρίων και σήψεις στους καρπούς και στις ρίζες.	✓	Mastouri et al. 2010; El-Katatny et al. 2006

Παθογόνο	Χαρακτηριστικά	Δράση	Βιβλιογραφία
Ιός του μωσαϊκού του καπνού (TMV)	Η συγκεκριμένη ίωση (TMV) είναι αρκετά διαδεδομένη στην Ελλάδα και προσβάλλει όλα τα σολανώδη λαχανικά με εξαίρεση τη μελιτζάνα.	✓ Trichodex	Vitti et al. 2015
Κλαδοσπορίωση (Fulvia fulva, Cladosporium fulvum)	Το παθογόνο προσβάλλει τα φύλλα, στα οποία αρχικά παρατηρούνται κυκλικές ή ακανόνιστες κιτρινοπράσινες ή κίτρινες κηλίδες. Με την εξέλιξη της προσβολής, τα φύλλα γίνονται κατσαρά μαραίνονται και πέφτουν.	✓	El-Katatny et al. 20011
Αλτερναρίωση. (Alternaria solani και Alternaria alternata)	Προσβάλλει τα φυτά σε όλα τα στάδια ανάπτυξής τους. Εντοπίζονται στο έδαφος, στα υπολείμματα από προηγούμενη καλλιέργεια, σε μολυσμένους σπόρους, μολυσμένα φυτάρια και σε ζιζάνια. Η μόλυνση ξεκινάει με σπόρια του μύκητα, που μεταφέρονται τον άνεμο, βροχή ή με τον ίδιο τον άνθρωπο.	✓	El-katatny 2010; Ewekeye et al. 2013; Seaman A 2003
Ωΐδιο	Προσβάλλει κυρίως τα ώριμα φύλλα και αναπτύσσεται περισσότερο σε ξηρές περιοχές.	✗	
Alternaria solani / Phytophthora oomycete Περονόσπορος	Ο περονόσπορος προσβάλλει όλα τα υπέργεια όργανα του φυτού.	✓	Fatima et al. 2015

2. Μεθοδολογία

2.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Για τον προσδιορισμό της αλατότητας του εδάφους η πιο έμπιστη μέτρηση από την άποψη του ορισμού της αλατότητας είναι η EC_f (field capacity) καθώς υπολογίζεται η πραγματική συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος απομονώνοντας το περιεχόμενο νερό. Ωστόσο για πρακτικούς λόγους ευκολίας μεταφοράς των δειγμάτων και χωρίς να υπάρχει αυστηρή τήρηση χρόνου, η αλατότητα προσδιορίζεται και ύστερα από εκχύλιση ξηρού χώματος με αποσταγμένο νερό. Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει ως αποτέλεσμα την τιμή EC_e (saturation extract). Η σχέση των παραπάνω μετρήσεων εξαρτάται από τη δομή του χώματος. Τυπικά, για το συσχετισμό ετοιμάζουμε ένα διάλυμα 1:n (1 μέρος χώμα, n μέρη αποσταγμένο νερό, όπου n συνήθως 1, 2.5 ή 5) με δείγμα χώματος από το πεδίο τηρώντας τις απαραίτητες προϋποθέσεις δειγματοληψίας (βάθος δείγματος, ποσότητα, στεγανότητα, προφύλαξη από έκθεση στον ήλιο, υψηλές θερμοκρασίες, υγρασία κ.λπ.) και με τη χρήση πινάκων (Dahnke & Whitney 1988) ή εξισώσεων (Sonmez et al. 2008) ερμηνεύουμε την μέτρηση EC_e σύμφωνα με την EC_f . Με βάση την EC_e , το χώμα γίνεται να συγκριθεί και να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με τους κινδύνους της αλατότητας και τις επιδράσεις της στις καλλιέργειες (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Κατηγοριοποίηση αλατότητας με βάση την επίδραση στις καλλιέργειες (Richards 1954; Ali 2011).

EC_e (dS/m ⁻¹)	Χαρακτηρισμός	Επίδραση
0-2	Non saline (Χωρίς Αλάτωση)	Αμελητέα
2-4	Slightly saline (Ελαφρά)	Μείωση παραγωγής των ευαίσθητων καλλιεργειών
4-8	Moderately saline (Μέτρια)	Μείωση Παραγωγής των περισσότερων καλλιεργειών
8-15	Strongly saline (Μεγάλη)	Μέσες παραγωγές για φυτά ανεκτικά στην αλατότητα
>15	Very strongly saline (Αρκετά Μεγάλη)	Πιθανές παραγωγές μόνο για φυτά με υψηλή ανθεκτικότητα έναντι στην αλατότητα.

Για τον προσδιορισμό του EC χρησιμοποιήθηκε το όργανο HQ40d multi της Hach. Κατά την πειραματική διαδικασία τοποθετούνται 10 g εδάφους προς ανάλυση σε πλαστικά σωληνάρια των 50 ml και ανάμειξη με 20 ml απιονισμένο νερό (αναλογία διαλύματος 1:2) για 2 h. Στη συνέχεια, το εδαφικό διάλυμα διηθήθηκε και η μέτρηση του EC πραγματοποιήθηκε στο διηθημένο διάλυμα.

2.2. Αναλογία προσρόφησης νατρίου

Κάθε χώμα χαρακτηρίζεται από την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Cation Exchange Capacity, CEC), δηλαδή της ικανότητάς του να απορροφά θετικά φορτισμένα ιόντα (συνεπώς και άλατα) όπως Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} . Η διαδικασία περιλαμβάνει μια ανταλλαγή κατιόντων και η έκταση αυτής της ανταλλαγής εξαρτάται κυρίως από α) τις σχετικές συγκεντρώσεις τους στο έδαφος, β) τα επίπεδα

ενέργειας των κατιόντων που εμπλέκονται και γ) τη φύση και τα ποσοστά των υπολοίπων κατιόντων που παρευρίσκονται στο διάλυμα, δηλαδή της πολυπλοκότητας του συστήματος. Το πόσο νατριούχο είναι το δείγμα χώματος εκφράζεται σε ιόντα Νατρίου (Na^+) συγκριτικά με τα ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} . Αυτή η αναλογία απορρόφησης νατρίου ονομάζεται SAR (Sodium Adsorption Ratio). Με τον δείκτη SAR εκτιμάται και η καταλληλότητα του νερού προς άρδευση όπως και η κατάσταση του χώματος. Ο δείκτης υπολογίζεται με βάση τις συγκεντρώσεις των διαλυμένων στερεών στο νερό είτε από νερό που εκχυλίζεται από το χώμα όταν πρόκειται για τη περίπτωση του εδάφους. Η εξίσωση δίνεται από τη σχέση (Shahid et al. 2013; Van Beek & Tóth 2012):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{1/2(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \quad (2)$$

Οι μονάδες του δείκτη είναι $(\text{mmoles L}^{-1})^{0.5}$ και οι συγκεντρώσεις των Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} εκφράζονται σε milliequivalents per litre (meq L^{-1}) για εκχύλισμα χώματος. Ο δείκτης SAR είναι αδιάστατος. Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των μετάλλων, αναμειγνύουμε συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος με απιονισμένο νερό με αραιώση 1:2 και τα αναδεύουμε για 1 h. Για λόγους ευκολίας και εξοικονόμησης χρόνου κατά τη διήθηση, επιλεκτικά, φυγοκεντρίζουμε τα δείγματα πριν τα διηθήσουμε υπό καινό αέρος. Μετά τη διήθηση με διηθητικό χαρτί Whatman με άνοιγμα πόρων 0,45 μm και κατάλληλη αραιώση μέσα στο εύρος της καμπύλης βαθμονόμησης (1:10), πραγματοποιείται όξυνση με νιτρικό οξύ (HNO_3) αρχικής συγκέντρωσης 69% μέχρι να φτάσει στην τιμή του 2% v/v ($\text{pH} < 2$) προκειμένου να μην γίνει ελλιπής μέτρηση μετάλλων λόγω καθίζησης καθώς το οξύ διατηρεί τα διαλυμένα μέταλλα με τη μορφή ιόντων στο νερό. Τέλος οι συγκεντρώσεις μετρούνται με το όργανο HQ40d multi της Hach.

2.3. Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου

Μία άλλη σημαντική παράμετρος για τις μετρήσεις αλατότητας είναι και το pH. Πιο συγκεκριμένα εάν η τιμή του pH είναι μεγαλύτερη από 8.5 το χώμα τείνει να έχει υψηλή αλατότητα-αλκαλικότητα. Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει τις κατηγοριοποιήσεις των εδαφών με βάση τις παραπάνω παραμέτρους (EC, SAR και pH). Για τον προσδιορισμό του pH ακολουθούμε η ίδια διαδικασία με αυτή του προσδιορισμού του EC καθώς το όργανο HQ40d multi έχει τη δυνατότητα μέτρησης και της αγωγιμότητας.

Πίνακας 7. Κατηγοριοποίηση εδαφών με βάση τους δείκτες EC, SAR και pH (Van Beek & Tóth 2012).

$\text{EC}_e (\text{dS/m}^{-1})$	SAR	pH	Soil type (Τύπος εδάφους)
<4	<13	<8.5	Μη αλατούχο (Non saline/alkaline)
≥ 4	<13	<8.5	Αλατούχο (Saline)
<4	≥ 13	>8.5	Νατριωμένο ή Αλκαλικό (Sodic ή Alkaline)
≥ 4	>13	>8.5	Αλατούχο - Αλκαλικό (Saline- Sodic)

2.4. Εδαφική υγρασία

Η υγρασία του χώματος μετρήθηκε και καταγράφηκε με χρήση ηλεκτροδίων σε data loggers, μοντέλο Em50 της εταιρίας Decagon (Πίνακας 11) σε 2 διαφορετικά ύψη 5 cm και 15 cm σε κάθε γλάστρα, με βήμα 15 min για τον υπολογισμό της συμπεριφοράς και των αναγκών του φυτού σχετικά με την αλατότητα όπως η πρόσληψη νερού από τα φυτά (water uptake), αλλά και η συγκράτηση του όγκου του νερού προκειμένου να γίνει σύγκριση στις γλάστρες με ΤΗ και σε αυτές χωρίς.

2.5. Θρεπτικά

Για την ολοκληρωμένη μελέτη της επίδρασης της αλατότητας και του ΤΗ στα φυτά της τομάτας, αλλά και για την επιβεβαίωση της ικανοποιητικής λίπανσης και της συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις για να εκτιμηθεί η κατάσταση του εδάφους. Ο οργανικός άνθρακας, οι διάφορες μορφές του αζώτου και του φωσφόρου είναι τα πιο σημαντικά συστατικά των εδαφών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες ποιότητας και παραγωγικότητας του εδάφους. Είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της εδαφικής δομής του εδάφους, τη συγκράτηση της υγρασίας, τη μείωση της διάβρωσης, τη διήθηση του νερού και του αέρα και τέλος για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των γεωργικών λιπάνσεων στο έδαφος. Ο ολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon, TOC) προσδιορίζεται με καύση με τη χρήση αισθητήρα μη διαχεόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας (Nondispersive infrared sensor, NDIR) του αναλυτή Multi N/C 2100S (Analytik Jena). Στον ίδιο αντιδραστήρα, ο αισθητήρας χημικού φωσφορισμού (Chemiluminescence detector, CLD) προσδιορίζει την συγκέντρωση ολικού αζώτου (Total nitrogen, TN). Το ολικό άζωτο υπολογίστηκε επίσης με τη μέθοδο Kjeldahl (Kjeldahl, 1883) (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN). Ο διαθέσιμος προς αξιοποίηση από τα φυτά φώσφορος υπολογίστηκε με την μέθοδο Olsen-P (Olsen et al. 1954) ενώ ο ολικός φωσφόρος (Total phosphorus, TP) προσδιορίστηκε και χρωματομετρικά με το φασματοφωτόμετρο HACH DR2800 στα 880 nm, ύστερα από αντίδραση του με μολυβδαινικό αμμώνιο, χρησιμοποιώντας ασκορβικό οξύ ως αναγωγικό μέσο. Τα παραπάνω, ο ρόλος τους στην ανάπτυξη των φυτών και την υγεία του εδάφους, καθώς και τα σχετικά αποτελέσματα αναλύονται εκτενώς στην εργασία Δεληγιάννη και Τσάνης (2016).

2.6. Αποικισμός ΤΗ

Προκειμένου να επιβεβαιωθεί η επιτυχής αποικισμός των ριζών με ΤΗ μπορεί να γίνει ταυτοποίησή του με επιλεκτικό άγαρ ως βάση για την ανάπτυξη και την απομόνωση του μύκητα. Η εργαστηριακή μέθοδος ακολουθήθηκε με βάση το πρωτόκολλο της εταιρίας HIMEDIA®. Κατά την πειραματική διαδικασία διαλύονται 25.54 γραμμάρια αποξηραμένο άγαρ M1836 της εταιρίας HIMEDIA® σε 960 ml αποσταγμένο νερό και θερμαίνουμε σε αυτόκαυστο και αυτόκλειστο κλίβανο στους 121 °C για 15 min υπό ατμοσφαιρική πίεση. Στη συνέχεια το διάλυμα ψύχεται σε θερμοκρασία 45-50 °C σε άσπρες συνθήκες και σε αυτό συμπληρώνεται το περιεχόμενο φιάλης επιλεκτικού πρόσθετου FD276 της HIMEDIA® που περιέχει μίγμα αντιβιοτικών. Το άγαρ μοιράζεται σε τρυβλία υπο μορφή ροζ γέλης και

στη συνέχεια τοποθετούνται σε αυτά τμήματα ριζών. Μετά από επώαση 5 ημερών στους 25-30 °C, δημιουργούνται πράσινες ή χρυσαφί αποικίες υπό μορφή σκόνης στα τρυβλία με ρίζες που έχουν αποικισθεί από ΤΗ.

2.7. Δείκτης συγκομιδής

Ο δείκτης συγκομιδής ή αλλιώς Harvest Index (HI) είναι μια κλασσική μέθοδος εκτίμησης της παραγωγικότητας. Για την περίπτωση της καλλιέργειας ντομάτας ισούται με το πηλίκο της συνολικής νωπής παραγωγής καρπών που παρήγαγε το φυτό προς τη συνολική βιομάζα (Wang et al. 2012; Cornell.edu 2016). Αποτελεί δηλαδή, την αναλογία μεταξύ του αναπαραγωγικού και βλαστικού.

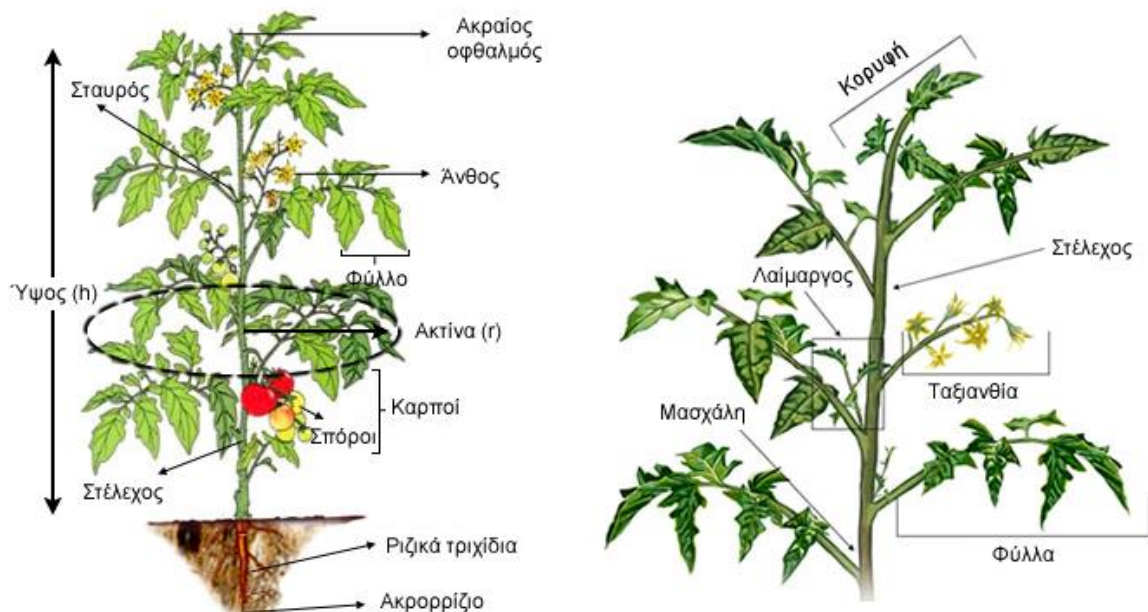
$$HI = \frac{W_f}{(W_f + W_p)} \quad (3)$$

όπου W_f το νωπό βάρος καρπού και W_p το νωπό βάρος του φυτού συμπεριλαμβανομένων των καρπών. Αποτελεί δηλαδή, την αναλογία μεταξύ του αναπαραγωγικού και του βλαστικού μέρους του φυτού.

2.8. Διαστάσεις

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις διαστάσεων σε εβδομαδιαία βάση μέχρι το δέσιμο των πρώτων καρπών για τη μελέτη του χρόνου ανάπτυξης των φυτών υπό διαφορετικές συνθήκες. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν μη καταστρεπτική, θεωρώντας το φυτό ως κύλινδρο μετρώντας το ύψος από το έδαφος ως τον ακραίο οφθαλμό και το μέσο πλάτος ως τη διάμετρο του κυλίνδρου (Εικόνα 5) και ακολουθώντας την εξίσωση:

$$V_p = h \times \pi r^2 \quad (4)$$



Εικόνα 5. Τρόπος μέτρησης για την εκτίμηση του όγκου των φυτών.

Με την παραπάνω μέτρηση εκτιμήσαμε τον ρυθμό ανάπτυξη της βιομάζας με τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ των φυτών χωρίς όμως τα νούμερα να αντιστοιχούν στις πραγματικές τιμές διατηρώντας ανέπαφη την καλλιέργεια. Στο τέλος του πειράματος έγινε μια τελική μέτρηση διαστάσεων των φυτών προτού τοποθετηθούν στο φούρνο για την εκτίμηση της ξηρής βιομάζας.

2.9. Κριτήριο εμπορικότητας καρπών

Προκειμένου το τελικό προϊόν να διοχετευτεί στην αγορά πρέπει να τηρεί κάποιες προϋποθέσεις ποιότητας. Οι βασικότερες εξ αυτών είναι πρώτα απ όλα, η υγεία των καρπών ποιοτικά αλλά και στην όψη. Καρποί που παρουσιάζουν συμπτώματα ασθενειών, χαρακιές, στίγματα, λοιπές παραμορφώσεις ή είναι τραυματισμένοι, απορρίπτονται. Ένα άλλο βασικό κριτήριο είναι το μέγεθος το οποίο καθορίζεται από το βάρος και τη διάμετρο. Στην ελληνική αγορά οι κύριες διαφοροποιήσεις λόγω μεγέθους, διαχωρίζουν τους καρπούς της τομάτας σε δύο κλάσεις, Α και Β με τις πρώτες να είναι και οι μεγαλύτερες σε διάμετρο. Στη βιβλιογραφία ωστόσο ο διαχωρισμός διακρίνεται από περισσότερα στάδια τα οποία ακολουθήθηκαν κατά τη διαδικασία ταξινόμησης των καρπών στο πείραμα και αναφέρονται παρακάτω στον Πίνακα 9 σύμφωνα και με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς της αγοράς (EU marketing regulations, EU 790/2000 and EU 717/2001). Τέλος ένα άλλο κριτήριο που πρέπει να αναφερθεί είναι το χρώμα το οποίο πρέπει να είναι κόκκινο φανερώνοντας την ωριμότητα του καρπού. Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως παρατηρήθηκε ότι το χρώμα μεταβάλλεται μετά το κόψιμο του καρπού για μεγάλη διάρκεια, όσο οι συνθήκες το επιτρέπουν (Clement et al. 2012; OJ 2009).

Πίνακας 8. Κατηγοριοποίηση μεγέθους καρπού τομάτας. (OJ, 2006; EU790/2000).

Κωδικός Μεγέθους	Ονομασία	Κλίμακα διαμέτρου d [mm]
10	GGG	d>102
9	GG	81<d≤102
8	G	66<d≤81
7	M	56<d≤66
6	MM	47<d≤56

2.10. Συλλογή και καταγραφή καρπών

Η συλλογή των καρπών γίνεται με το χέρι και πρέπει να φέρουν τον κάλυκα και μέρος του ποδίσκου. Είναι προτιμότερο η συγκομιδή να γίνεται τις πρωινές ώρες, όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή και να μεταφέρονται γρήγορα σε δροσερό μέρος για διαλογή και συσκευασία. Το χειμώνα η συγκομιδή γίνεται 1 φορά την εβδομάδα, κυρίως για τη μείωση του κόστους παραγωγής, ενώ τις άλλες εποχές του χρόνου γίνεται 2-3 φορές την εβδομάδα. Στα πλαίσια τις καταγραφής των καρπών εκτιμήθηκε και η ταχύτητα ωρίμανσης με βάση ποιοτικά χαρακτηριστικά της διεθνής βιβλιογραφίας. Με βάση την Εικόνα 6, προέκυψαν πέντε βασικές ομάδες σύμφωνα με τα τελευταία στάδια ωρίμανσης.



Εικόνα 6. Κατάταξη καρπών με βάση το χρώμα (US Department of Agriculture).

Για την εκτίμηση της ανάπτυξης των καρπών με μη καταστρεπτική μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν μεζούρες (cups) και η εκτίμηση έγινε σύμφωνα με τα πρότυπα μεγέθους όπως δείχνει ο Πίνακας 9. Η παραγωγή εξετάστηκε τόσο σε επίπεδο συνολικού όσο και εμπορεύσιμου προϊόντος. Ως εμπορεύσιμοι καρποί θεωρήθηκαν όσοι ανήκαν στις κατηγορίες G, GG και GGG, με την ελάχιστη επιτρεπτή τιμή διαμέτρου να είναι στα 6,6 cm. Επομένως οι καρποί έπρεπε να ανήκουν στην κατηγορία μεγέθους «B» και άνω. Επίσης αποκλείστηκαν και όσοι καρποί δεν τηρούσαν τα χαρακτηριστικά εμπορικότητας.

Πίνακας 9. Ταξινόμηση μεγέθους καρπών με βάση δοχεία.

Τρόπος μέτρησης	Όγκος [ml]	Διάμετρος scoup Ø [cm]	Κατηγορία
1/8 cup	30	4.25	MMM
1/4 cup	60	5.6	MM
1/3 cup	80	6.5	M
1/2 cup	125	7.1	G
1 cup	250	8.5	G
>1 cup	>250	>8.4	GG

2.11. Μετρήσεις ποιότητας καρπών

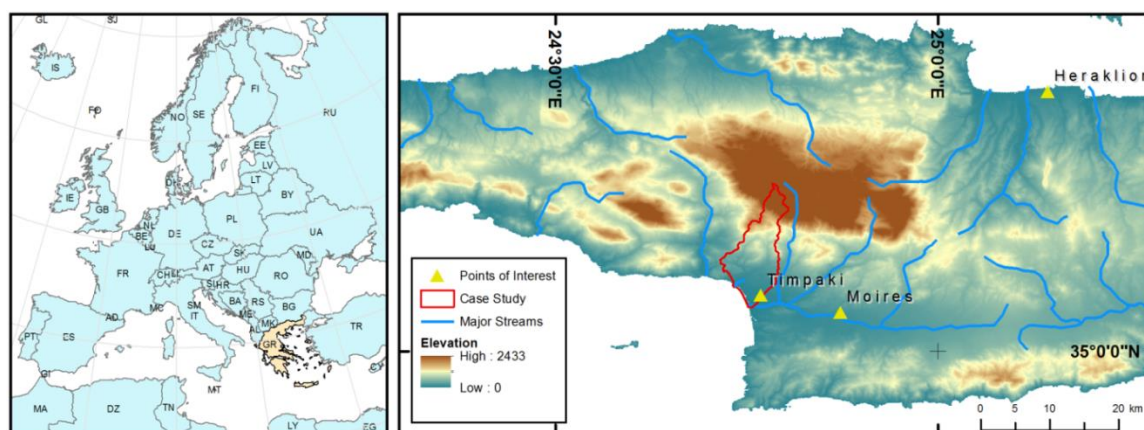
Για την ερμηνεία και την κατανόηση της επιρροής της αλατότητας και του *Trichoderma* έγιναν εργαστηριακές αναλύσεις οι οποίες περιλάμβαναν τις ακόλουθες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα των οποίων αναλύονται εκτενέστερα από τους Apostolakis et al. (2016) και Κουτσκουδή και Τσάνη (2016). Επιγραμματικά, τα οξέα επηρεάζουν σημαντικά τη γεύση της ντομάτας αλληλεπιδρώντας με τα σάκχαρα και δημιουργώντας οξύτητα ενώ το κιτρικό οξύ (9 % σε βάση ξηρής μάζας) παίζει μεγαλύτερο ρόλο στην ξινή γεύση του φρούτου και αυξάνονται ανάλογα με την αλάτωση. Για τον υπολογισμό των οξέων χρησιμοποιείται ογκομετρική ανάλυση με αλκαλικό διάλυμα. Η γλυκύτητα (σάκχαρα) είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλει στη ποιότητα της ντομάτας και

καθορίζεται από το ποσοστό των διαλυμένων στερεών στο φρούτο (TSS) (Hartz et al. 2005; Hayashi et al. 2014). Για τον προσδιορισμό των ολικών διαλυμένων στερεών, χρησιμοποιήθηκε το όργανο (ρεφλεκτόμετρο) ATAGO PR-100 με μονάδα μέτρησης το °Brix %. Οι υψηλές τιμές Brix στους νωπούς καρπούς προσδίδουν: (1) μεγαλύτερο ποσοστό υδατανθράκων, (2) υψηλότερες συγκεντρώσεις σε μέταλλα, (3) αποτελούν δείκτη υγείων φυτών και (4) προσδίδουν γεύση (highbrixgardens.com, 2016). Το ασκορβικό οξύ γνωστό και ως Βιταμίνη C στα φρούτα της ντομάτας καθορίστηκε με την οξειδοαναγωγική ογκομετρική μέθοδο τιτλοδότησης της 2.6 – Διχλωροινδοφαινόλης (AOAC 1995). Αξίζει να σημειωθεί πως η συγκεκριμένη μέτρηση πρέπει να γίνει μέσα σε χρονικό διάστημα 5 min καθώς το ασκορβικό οξύ, έχει την τάση να οξειδώνεται γρήγορα. Για τις φρέσκοις τομάτες ένας πολύ σημαντικός παράγοντας της ποιότητας είναι η υφή της σάρκας που χρησιμοποιείται σαν δείκτης ποιότητας για το φρούτο. Η αντίσταση της σάρκας στη πίεση μετρήθηκε με το όργανο GY-2 Penetrometer (Zhejiang Top Instrument, China). Το χρώμα των καρπών αποτελεί δείκτη προσδιορισμού τόσο της ωριμότητας όσο και της ποιότητας του φρούτου της ντομάτας και μπορεί να προσδιοριστεί με τη βοήθεια του χρωματόμετρου Minolta CR-300 στην κλίμακα CIE (Commission Internationale de l' Eclairage). Στην ντομάτα συγκεκριμένα το λικοπένιο αντιπροσωπεύει το 90% των καρωτινοειδών και υψηλές συγκεντρώσεις λικοπενίου (περίπου 30 – 100 mg/g νωπού βάρους) προσδίδουν το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα.

3. Περιοχή Μελέτης

3.1. Τυμπάκι

Το πείραμά μας αποτελεί περιπτώσιολογική μελέτη (case study), της περιοχής του Τυμπακίου στη Νότια Κρήτη. Πρόκειται για πεδινό και παραθαλάσσιο δήμο, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου βρίσκεται στην έξοδο του κάμπου της Μεσσαράς, και βρέχεται από το Λιβυκό πέλαγος. Σύμφωνα με την απογραφή του 2001 ο δήμος είχε συνολικά 10.000 κατοίκους και έκταση 157.122 km² (Εικόνα 7). Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη λεκάνη απορροής του Τυμπακίου που εκτείνεται από το κεντρικό προς το νότιο κομμάτι της Κρήτης, πιο συγκεκριμένα βρίσκεται στην νότια πλευρά της περιφερειακής ενότητας Ηρακλείου και ανήκει στο Δήμο Φαιστού (Σύστημα Καλλικράτης Ν.3852/2010).



Εικόνα 7. Περιοχή μελέτης.

Το κλίμα που επικρατεί στην πεδιάδα της Μεσσαράς χαρακτηρίζεται από ημι-υγρό μεσογειακό ή ημι-ξηρό με ήπιους υγρούς χειμώνες, μέσης θερμοκρασίας 12 °C και ξηρά ζεστά καλοκαίρια μέσης θερμοκρασίας 23 °C, ενώ δέχεται μέσο ύψος βροχής περίπου 500 mm. Το διάστημα ηλιοφάνειας στο Τυμπάκι ανέρχεται σε 2.948 h. Το Τυμπάκι αποτελεί μέρος και επικοινωνεί με την πεδιάδα της Μεσσαράς, περιοχή με έντονη αγροτική ανάπτυξη - κυρίως ελαιώνες. Επίσης γειτνιάζει και με τον ποταμό Γεροπόταμο μέσω του ρήγματος της Φαιστού κοντά στα αρχαία Μηνωϊκά ανάκτορα της Φαιστού. Η λεκάνη απορροής καλύπτει μια έκταση 50 km² με μέσο υψόμετρο τα 200 m (ΠΕΣΔΑ 2010). Στην περιοχή του Τυμπακίου τα εδάφη αποτελούνται κατά κανόνα από παχιά άργιλο ή αμμώδης παχιά άργιλο «terra rossa» (κοκκινόχωμα) με σύσταση άργιλος 29.1±6%, άμμος 49.6±8% και ιλύς 21.4±4%, φτωχό σε οργανικά υλικά (<1%) και σε νιτρικά (περίπου 20 mg/kg). Η στάθμη των υπογείων υδάτων ποικίλει από 3 έως 7 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η περιοχή έχει αξιοποιηθεί κυρίως για θερμοκηπιακές καλλιέργειες αλλά και ελαιώνες (43%), αροτραίες καλλιέργειες (39%) και καλλιέργεια κηπευτικών (19%). Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (HSA, 2008) έχει διαπιστωθεί μια έκταση 2500 εκταρίων καλλιεργήσιμης γης

στο Τυμπάκι ενώ άλλες έρευνες εκτιμούν περίπου 7800 εκτάρια εκ των οποίων 4000 ποτίζονται αποκλειστικά από γεωτρήσεις, με παροχές συνολικού όγκου 7,000,000 m³ το χρόνο (Paritsis, 2005; Vafiadis et al., 2013). Εξαιτίας των ευνοϊκών συνθηκών που επικρατούν το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, το Τυμπάκι είναι μια περιοχή με μεγάλο βαθμό εκμετάλλευσης σε ότι αφορά τις καλλιέργειες σε θερμοκήπια και μπορεί να συγκριθεί ακόμα και με το δήμο της Φαιστού. Η πλειονότητα των θερμοκηπίων του Ν. Ηρακλείου βρίσκεται στην περιοχή μελέτης, δηλαδή πάνω από 3.580 m² (Spyridaki 2008) περιλαμβάνοντας κυρίως μη-ενδημικά είδη λαχανικών όπως: τομάτες (*Solanum lycopersicum*), αγγούρια (*Cucumis sativus*), κολοκύθια (*Cucurbita pepo*), μελιτζάνες (*Solanum melongena*), πιπεριές (*Capsicum annuum*) και πράσινα φασόλια (*Phaseolus vulgaris*) (Thanopoulos et al. 2008). Η εντατική καλλιέργεια της γης σε συνδυασμό με την τουριστική δραστηριότητα ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στα διαθέσιμα ποσά νερού στην περιοχή αν και το πρόβλημα είναι γενικευμένο στις περισσότερες παραθαλάσσιες περιοχές της Κρήτης.

Επειδή η επιφανειακή απορροή είναι ελάχιστη, πέραν του χειμώνα, τα υπόγεια ύδατα αποτελούν την κύρια πηγή νερού άρδευσης και τον βασικό παράγοντα οικονομικής ανάπτυξης της περιοχής (Vardavas et al. 1997). Η ταχεία αγροτική ανάπτυξη των τελευταίων ετών με τις ανεξέλεγκτες γεωτρήσεις που έχουν σημειώσει ραγδαία αύξηση, έχουν αντίκτυπο στα υδατικά αποθέματα με τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε νερό. Η περιοχή της Μεσσαράς κρίνεται η πλέον προβληματική από πλευράς ποσότητας αλλά και ποιότητας των υπογείων υδάτων, ενώ έχουν σημειωθεί και αρκετές καθιζήσεις (Αβραμίδου 2007). Η υπεράντληση των υπογείων υδάτων για λόγους άρδευσης σε συνδυασμό με τις σχετικές απώλειες του συστήματος και τις παρατεταμένες συνθήκες ξηρασίας εντείνουν το πρόβλημα (Tsanis and Apostolaki 2008) οδηγώντας στην ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα με αποτέλεσμα την υποβοήθηση της εισχώρησης του θαλασσινού νερού (Paritsis, 2005; Vafidis et al. 2013). Το φαινόμενο της υφαλμύρισης οφείλεται στη διαφορά υδροστατικής πίεσης που ασκείται από το «γλυκό νερό» προς το θαλάσσιο στις παραθαλάσσιες περιοχές για όσο καιρό γίνεται άντληση υδάτων. Σε κάποιες περιοχές της Κρήτης η υφαλμύριση οφείλεται σε γεωλογικούς παράγοντες, σε γενικές γραμμές όμως οι ανθρωπογενείς παράγοντες είναι η κύρια αιτία του φαινομένου. Παρά τα μέτρα που λήφθηκαν για την προστασία των υδάτινων πόρων από την αρμόδια αρχή ήδη από το 1984, η εφαρμογή τους αντιμετώπισε δυσκολίες (Kritsotakis and Tsanis 2009).

3.2. Προσομοίωση στο Πολυτεχνείο Κρήτης (ΠΚ)

Το θερμοκήπιο του πολυτεχνείου Κρήτης βρίσκεται στη γεωγραφική θέση 35°32'00.2"N 24°04'12.4"E με νοτιοδυτικό προσανατολισμό στην περιοχή του Ακρωτηρίου, περίπου 7 km από το κέντρο των Χανίων. Αποτελείται από μονό γυαλί προσαρμοσμένο σε ειδικά αλουμινένια πλαίσια με διαστάσεις 3×6×2.6 m (Εικόνα 8) ενώ η μία του πλευρά συνορεύει με άλλο γειτονικό θερμοκήπιο και τηρεί όλες τις απαιτήσεις σωστής λειτουργίας. Αρχικά από άποψη θέσης, πρέπει να αποφεύγονται τα ανοίγματα να έχουν βόριο προσανατολισμό και μάλιστα να υπάρχει σαφής κάλυψη από την εκτεθειμένη πλευρά

(Εικόνα 9). Παρόλα αυτά η τοποθέτηση εξυπηρετεί να βρίσκεται στον άξονα βορά-νότου με τις σειρές να εκτείνονται σε όμοια κατεύθυνση, όπως και να βρίσκεται σε σημείο με την μέγιστη ηλιοφάνεια στην περιοχή. Η περιοχή που θα κατασκευασθεί το θερμοκήπιο θα πρέπει να μην είναι εκτεθειμένη σε δυνατούς ανέμους και το έδαφος να είναι σταθερό και κατάλληλο. Στην περίπτωση του πειράματος μοναδική πηγή σκίασης αποτέλεσε ο σκελετός και ο εξοπλισμός του γειτονικού θερμοκηπίου. Τέλος για τη σωστή λειτουργία απαιτείται καλό σύστημα στράγγισης με μεγάλη διηθητική ικανότητα, το οποίο εξασφαλίστηκε από τις γλάστρες. Το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα αποτελείται κατά 30.9% άργιλο και 45.3% ιλύς και εμπλουτίστηκε με την προσθήκη βιολογικού λιπάσματος Agrimartin® 3-3-1 σε αναλογία 6:100 με στόχο την επίτευξη τελικής συγκέντρωσης οργανικής ουσίας στο 5%.



Εικόνα 8. Αριστερά: Αρχική εικόνα θερμοκηπίου στο ΠΚ. Δεξιά: τα φυτά την ημέρα της 3^{ης} δειγματοληψίας.



Εικόνα 9. Τοποθεσία (αριστερά) και σχέδιο θερμοκηπίου με τη χρήση software (δεξιά).

Η ποικιλία που καλλιεργήθηκε στο πείραμά μας είναι Ελπίδα (Elpida) και επιλέχθηκε με βάση την διαδεδομένη καλλιέργειά της στην περιοχή μελέτης. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της είναι οι ομοιόμορφοι και μεγάλοι καρποί με σύνηθες βάρος τα 240-270 g, και ελκυστικό, έντονο κόκκινο χρώμα, με υψηλή συνεκτικότητα και με εξαιρετική αναγνωρισμένη γεύση. Το φυτό αποτελεί υβρίδιο αναρριχώμενης τομάτας κατάλληλο για φθινοπωρινή και χειμωνιάτικη θερμοκηπιακή καλλιέργεια, καθώς και για όψιμες υπαίθριες καλλιέργειες. Η συγκεκριμένη ποικιλία παρουσιάζει ιδιαίτερη ανθεκτικότητα απέναντι στη διακύμανση θερμοκρασιών. Αποτελεί πολύ δυνατό, αναρριχώμενο

σκουροπράσινο φυτό με καλή καρπώδευση μεγάλης διάρκειας της συνολικής καλλιέργειας ακόμα και σε συνθήκες αβιοτικού στρες προσφέροντας έτσι υψηλό δυναμικό παραγωγής.

Η εποχή φύτευσης της τομάτας ορίζεται από τα μέσα Αυγούστου έως τα μέσα-τέλη Οκτωβρίου για την κύρια φύτευση. Η κύρια σοδιά με σχετικά ευνοϊκές συνθήκες φτάνει έως τον Ιούνιο. Στις περιπτώσεις όπου πραγματοποιείται και δεύτερης καλλιέργεια στην ίδια σεζόν, η φύτευση ξεκινάει από τα τέλη Ιανουαρίου και ολοκληρώνεται συνήθως, ανάλογα με το είδος και το υβρίδιο που θα καλλιεργηθεί, στα τέλη Ιουλίου. Η διαδικασία της παραγωγής διαρκεί περίπου 18-24 εβδομάδες. Για την περίπτωση του παρόντος πειράματος η διάρκεια της καλλιέργειας ανήλθε στις 25 εβδομάδες. Δηλαδή για τις ημερομηνίες από 22/10/2015 μέχρι 12/4/2015, σύνολο 173 ημέρες.

Για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών του *Trichoderma* και την δυνατότητα εφαρμογής του, μελετήθηκαν στοιχεία που συλλέχθηκαν από καλλιεργητές της περιοχής του Τυμπακίου στους οποίους δόθηκαν φυτά εμβολιασμένα με το συγκεκριμένο μύκητα και πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στο έδαφος γύρω από αυτά αλλά και όσον αφορά την ανάπτυξη και την παραγωγικότητά τους. Τα φυτά παρέμειναν υγιή και παραγωγικά καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας παρουσιάζοντας υψηλή παραγωγικότητα και ανθεκτικούς καρπούς. Για την καλύτερη δυνατή προσομοίωση σημειώθηκαν και εφαρμόστηκαν κατά το δυνατόν οι πρακτικές άρδευσης, φυτοπροστασίας, αραιώσης των φυτών και σκίασης του θερμοκηπίου. Επίσης διασταυρώθηκαν στοιχεία σχετικά με την συνολική παραγωγή και οι υποκειμενικές εντυπώσεις από την παραγωγή των εμβολιασμένων φυτών.

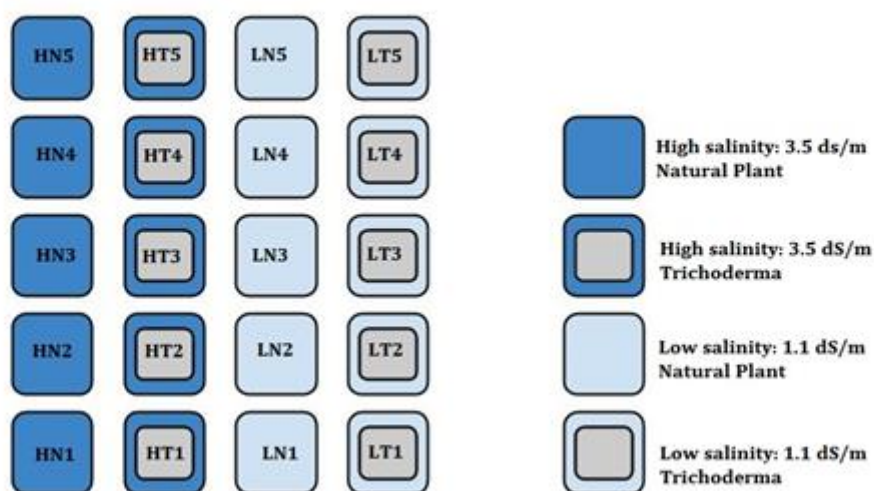
3.3. Πειραματική διάταξη

Οι γλάστρες τοποθετήθηκαν σε τέσσερις σειρές των πέντε, με τη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση που επέτρεπε ο χώρος η οποία τηρούσε τα όρια απόστασης των φυτών σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Papadopoulos and Pararajasingham 1996; Snyder 2003). Επομένως ο συνολικός αριθμός των γλαστρών είναι είκοσι (20). Η πειραματική διάταξη αποτελείται από δυο βαρέλια χωρητικότητας 75 L έκαστο, ένα για κάθε επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας (1,1 και 3,5 dS/m αντίστοιχα).

Το πότισμα επιτυγχάνεται μέσω αντλιών των οποίων η λειτουργία ξεκινάει και παύει αυτόματα με τη χρήση floaters (πλωτήρα). Ο συνολικός όγκος νερού υπολογίστηκε αφού προστέθηκαν 30 L στο υπολειπόμενο νερό μετά την παύση λειτουργίας των αντλιών και σημειώθηκε το ύψος νερού στο εσωτερικό του βαρελιού. Με αυτόν τον τρόπο η ποσότητα ήταν μετρήσιμη και σταθερή για το καθημερινό πότισμα. Η κάθε αντλία συνδέθηκε με λάστιχο το οποίο πραγματοποιεί ανακύκλωση-επιστροφή του νερού στο βαρέλι-δεξαμενή αφού αρδεύσει την ομάδα αλατότητας που της αντιστοιχεί (ήτοι 10 γλάστρες). Πραγματοποιήθηκε πότισμα επί καθημερινής βάσης με σταλάκτες για τους οποίους φροντίσαμε να μην έρχονται σε απευθείας επαφή με τον κορμό στη βάση του φυτού. Για να εξασφαλισθεί η ομαλή και συνάμα ισόποση άρδευση για όλες τις γλάστρες, πραγματοποιήθηκαν

συχνοί έλεγχοι για τη μέτρηση του όγκου νερού (με ογκομετρικό σωλήνα) που προκύπτει από το πότισμα κάθε γλάστρας σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Οι γλάστρες με διαστάσεις 30×30 cm (διάμετρος, ύψος) έφεραν τρύπες στο κάτω μέρος για την ομαλή στράγγιση του νερού από τα φυτά και για την αποφυγή υπεράρδευσης. Τα στραγγίσματα της εκάστοτε γλάστρας μετρήθηκαν για τον προσδιορισμό της αλατότητας αλλά και του απαιτούμενου όγκου νερού για την επιβεβαίωση των αναγκών του φυτού. Παρακάτω στην Εικόνα 10 απεικονίζεται σχηματικά η διάταξη του πειράματος.



Εικόνα 10. Σχηματική διάταξη του πειράματος.

Συνοψίζοντας πρέπει να αναφερθεί πως στο κείμενο και στα διαγράμματα οι διαχειρίσεις αναφέρονται ως εξής για χάριν συνομιίας.

LT: Μέση αλατότητα (1,1 dS/m) με TH

LN: Μέση αλατότητα (1,1 dS/m) χωρίς TH

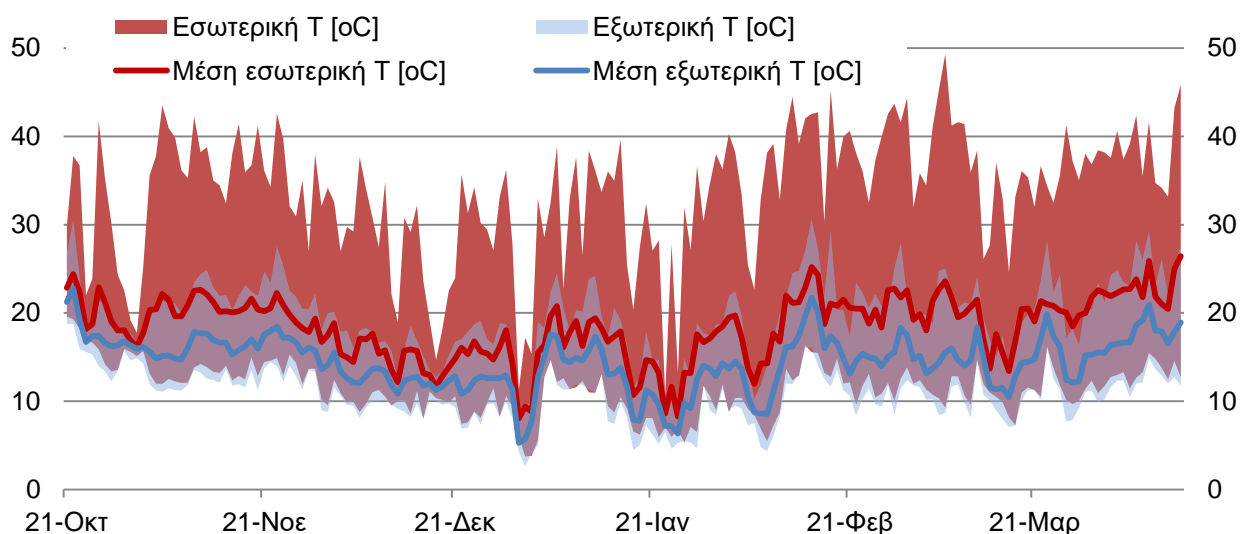
HT: Υψηλή αλατότητα (3,5 dS/m) με TH

HN: Υψηλή αλατότητα (3,5 dS/m) χωρίς TH

3.4. Κλιματικά δεδομένα

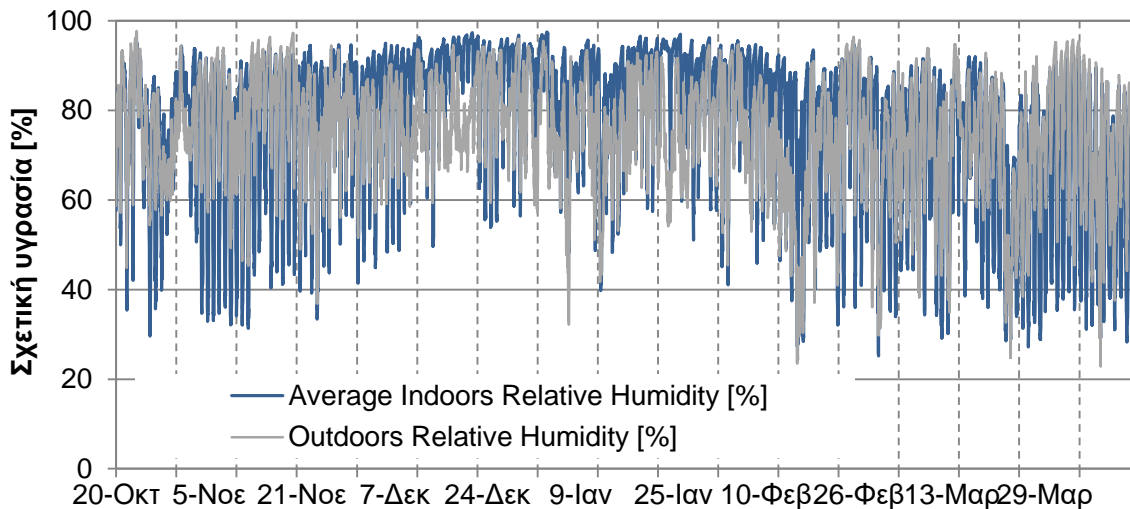
Οι κλιματικές παράμετροι εντός και εκτός του θερμοκηπίου καταγράφηκαν σε όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας. Η θερμοκρασία αέρα (°C) και η σχετική υγρασία (%) μετρήθηκαν με βήμα 15 min από αισθητήρες (HOBO Pro V2® sensors, Πίνακας 10) τοποθετημένους σε διαφορετικά σημεία του θερμοκηπίου. Παρατηρείται πως οι θερμοκρασίες κυμάνθηκαν στα επιτρεπτά όρια. Στις περιπτώσεις ακραίων θερμοκρασιών λήφθηκαν κατάλληλα μέτρα για την διατήρηση της καλλιέργειας. Για το σκοπό αυτό, το θερμοκήπιο αερίζονταν επί καθημερινής βάσεως με φυσικό αερισμό τις πρωινές ώρες

για την εξισορρόπηση τη θερμοκρασίας, και την απαραίτητη ανανέωση του αέρα. Με την εισαγωγή φρέσκου αέρα κυρίως λόγω της διαφοράς πίεσης που δημιουργεί ο άνεμος επιδιώκεται ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας πέρα από τα επιθυμητά επίπεδα και η διόρθωση της αναλογίας των σωματιδίων και συστατικών του αέρα, όπως της συγκέντρωσης των υδρατμών, του διοξειδίου του άνθρακα, της γύρης και των λοιπών αερίων. Με την ανάδευση του εσωτερικού αέρα επιδιώκεται επίσης η δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών σε όλο το χώρο αλλά και η επιτυχής επικοινωνία των φυτών.



Εικόνα 11. Μετρήσεις θερμοκρασιών εντός και εκτός θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του πειράματος με βήμα 30 min.

Το επίπεδο της υγρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου προκύπτει από την ισορροπία ανάμεσα στις πηγές και τις απώλειες των υδρατμών στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Η κύρια πηγή υδρατμών στο χώρο του θερμοκηπίου είναι η διαπνοή της καλλιέργειας. Η διαπνοή εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία, τη συγκέντρωση του CO_2 , τη θερμοκρασία και σχετική υγρασία στο θερμοκήπιο. Μια άλλη πηγή υδρατμών είναι η εξάτμιση του νερού από επιφάνειες μέσα στο θερμοκήπιο, όπως η επιφάνεια του εδάφους (Λυκοσκούφης, 2011). Το φυτό της τομάτας ευδοκμεί σε σχετικά μέσα επίπεδα υγρασίας καθώς τα συνεχή υψηλά επίπεδα υγρασίας τείνουν να σχετίζονται με την ύπαρξη εντόμων και παθογόνων (Benton Jones 2008). Η μέση υγρασία καταγράφηκε με τιμές κοντά στο $77\% \pm 17.3$.



Εικόνα 12. Μετρήσεις σχετικής υγρασίας εντός και εκτός θερμοκηπίου με βήμα 30 min.

3.5. Άρδευση και Υδρολίπανση

Η άρδευση των καλλιεργειών στο πεδίο γίνεται σχεδόν αποκλειστικά από άντληση του υπόγειου υδροφορέα. Για την προσομοίωση επιλέχθηκε νερό προέρχεται από το δίκτυο ύδρευσης. Για να εξασφαλίσουμε τις επιθυμητές συνθήκες αλατότητας προστέθηκε ανεπεξέργαστο αλάτι χωρίς πρόσθετες ουσίες κατά των συμπλόκων. Για την ευκολότερη και γρηγορότερη εφαρμογή η ποσότητα του απαιτούμενου αλατιού ήταν προ-ζυγισμένη στο εργαστήριο. Η τιμή της EC κάθε δεξαμενής μετρήθηκε και καταγράφηκε με χρήση αγωγιμόμετρου *HM Digital: EC/TDS/TEMP COM-100* (Πίνακας 10) επί καθημερινής βάσης πριν από κάθε πότισμα ώστε να βρίσκεται στα επιθυμητά επίπεδα. Οι αγρότες στην περιοχή μελέτης αρδεύουν τις καλλιέργειες εφαρμόζοντας το σύστημα στάγδην. Οι ποσότητες νερού για άρδευση για μία χρονιά αγγίζουν τα $10.000 \text{ m}^3/\text{ha}$ ενώ η άρδευση αλλάζει με τα στάδια ανάπτυξης του φυτού. Ενδεικτικά από την περίοδο Οκτωβρίου–Απριλίου το πότισμα διαρκεί περίπου μισή ώρα δηλαδή $20\text{--}30 \text{ m}^3/\text{day}/\text{ha}$ για τη χειμερινή φύτευση ενώ σταδιακά από Απρίλιο μέχρι και το τέλος της καλλιέργειας, για περίπου 2 h ημερησίως δηλαδή $100 \text{ m}^3/\text{day}/\text{ha}$. Ομοίως, αυτός ο τρόπος ποτίσματος επιλέχθηκε και για το παρόν πείραμα καθώς είναι ο προτεινόμενος για το είδος της καλλιέργειας, προσφέροντας τη δυνατότητα ελέγχου της ροής του νερού σε κάθε σταλάκτη ξεχωριστά (Πίνακας 10). Προκειμένου να εξασφαλισθεί ομοιόμορφο πότισμα σε όλες τις γλάστρες της κάθε πειραματικής διάταξης, πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές δοκιμές για τη μέτρηση του όγκου του νερού που απορρέει από τον κάθε σταλάκτη σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα με τη χρήση ογκομετρικών φιαλών. Έτσι εκτιμήθηκε ο συνολικός χρόνος ποτίσματος στην μιάμιση ώρα (1.5 h) ενώ η ποσότητα νερού που δέχεται η κάθε γλάστρα αγγίζει το 1.5 L επομένως η παροχή ποτίσματος ρυθμίστηκε στο ένα λίτρο ανά ώρα.

Τα ανώτερα φυτά έχουν ανάγκη από 16 χημικά στοιχεία για να αναπτυχθούν και να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο. Από τα στοιχεία αυτά, τα 9 είναι απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες και

ονομάζονται μακροστοιχεία ενώ τα υπόλοιπα 7 είναι απαραίτητα μόνο σε ίχνη, δηλαδή σε πολύ μικρότερες ποσότητες σε σχέση με τα μακροστοιχεία και γι' αυτό ονομάζονται ιχνοστοιχεία. Τα μακροστοιχεία είναι ο άνθρακας (C), το οξυγόνο (O), το υδρογόνο (H), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το θείο (S), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca), και το μαγνήσιο (Mg). Τα ιχνοστοιχεία είναι ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn) ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu) το βόριο (B), το μολυβδαίνιο (Mo) και το χλώριο (Cl). Εκτός από τον άνθρακα, όλα τα άλλα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα στα φυτά περιέχονται είτε ως συστατικά (H, O) είτε σε διαλυμένη μορφή στο εδαφικό νερό και από εκεί προσλαμβάνονται από τις ρίζες. Αν όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία προστεθούν σε νερό σε κατάλληλες ποσότητες, προκύπτει ένα υδατικό διάλυμα το οποίο καλείται θρεπτικό διάλυμα γιατί μπορεί να καλύψει πλήρως τις θρεπτικές ανάγκες των φυτών (Σάββας 2012). Οι αναλογίες των λιπασμάτων προέκυψαν βάσει της βιβλιογραφίας, ύστερα από συμβουλή γεωπόνου και σε συνδυασμό χρήσης λογισμικού συμπληρώνοντας τις απαραίτητες παραμέτρους για την κάλυψη των αναγκών του φυτού της τομάτας. Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει on-line πλατφόρμα στον ιστότοπο: <http://www.ekk.aua.gr/excel/>.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ									
Πυκνά διαλύματα			Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.			Χημική σύσταση νερού			
Πυκνό διάλυμα A	V, m ³	A	E _c *	2,80	dS/m	E.C.	0,32	dS/m	
Πυκνό διάλυμα B	0,5	100	pH opt.	5,6		pH	7,3		
Πυκνό διάλυμα οξέως	0,2	200	X: (K)	6,000		Ca ²⁺	0,90	mmol/l	
Επιλογή λιπάσματος φωσφόρου: Επιλέξτε 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ	1		Y: (Ca)	5,000		Mg ²⁺	0,30	mmol/l	
			Z: (Mg)	2,500		K ⁺	0,00	mmol/l	
			R (tot-N/K)	2,500		NH ₄ ⁺	0,00	mmol/l	
			Nr (NH ₄ /tot-N)	0,100		Na ⁺	0,40	mmol/l	
Επιλογή λιπάσματος βορίου: Επιλέξτε 1 για βορικό οξύ, 2 για τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (solubor)	1		[H ₂ PO ₄]	1,250	mmol/l	SO ₄ ²⁻	0,20	mmol/l	
			[Fe] _t	12,00	μmol/l	NO ₃ ⁻	0,00	mmol/l	
			[Mn] _t	10,00	μmol/l	H ₂ PO ₄ ⁻	0,00	mmol/l	
			[Zn] _t	4,00	μmol/l	HCO ₃ ⁻	2,00	mmol/l	
Επιλογή λιπάσματος μολυβδαινίου: Επιλέξτε 1 για επταμολυβδαινικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδαινικό νάτριο	2		[Cu] _t	0,75	μmol/l	Cl ⁻	0,40	mmol/l	
			[B] _t	20,00	μmol/l	Fe	0,00	μmol/l	
			[Mo] _t	0,50	μmol/l	Mn ⁺⁺	0,00	μmol/l	
			[S] _t	0,00	mmol/l	Zn ⁺⁺	2,15	μmol/l	
Επιθυμητές ημές K, Ca, Mg: Επιλέξτε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) ή 2 για συγκεντρώσεις (mmol/L)	1		% καθαρό λίπασμα			Cu ⁺⁺	0,00	μmol/l	
			καθαρό HNO ₃	68	(% w/w)	B	0,00	μmol/l	
			καθαρό H ₃ PO ₄	85	(% w/w)	Mo	0,00	μmol/l	
			Fe σε χηλικό	6	(% w/w)	Si	0,00	mmol/l	
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής ημής N/K (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NO ₃ (mmol/L)	1		[NH ₄]/([C17=1, C23=1, C20=1, 1, 2])			1,50	Σcat _w	2,80	meq/l
			λίπασματα (kg/δοχεία)			60,75	Σan _w	2,80	meq/l
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ									
Καπόντα/ανιόντα	C.C.S	C.C.W	C.A.F	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Si
C.A.S.	26,03			8,64	15,38	1,25	0,37	0,40	0,00
C.A.W.		2,80		0,40	0,00	0,00	2,00	0,40	0,00
A.A.F.			24,86	8,24	15,38	1,25	0,00	0,00	0,00
Ca ²⁺	11,39	1,80	9,59	0,00	9,59	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg ²⁺	5,70	0,60	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ⁺	6,83	0,00	6,83	3,14	2,44	1,25	0,00	0,00	0,00
NH ₄ ⁺	1,71	0,00	1,71	0,00	1,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ⁺	0,40	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ⁺	0,00	0,00	1,63	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00
* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εισάγεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροκατόνια (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις.									

Καλλιεργητής:	TUC		
Καλλιεργούμενο είδος:			
Τύπος θρεπτικού διαλύματος:			
Ημερομηνία:			
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ			
E.C.	2,80 dS/m		
pH	5,60		
Πυκνό διάλυμα A 500 ΛΙΤΡΑ			
1 Νιτρικό ασβέστιο	51,819	Kg	
2 Νιτρικό κάλιο	5,368	Kg	
3 Νιτρικό αμμώνιο	3,000	Kg	
4 Χηλικός σίδηρος	0,559	Kg	
Πυκνό διάλυμα B 500 ΛΙΤΡΑ			
1 Νιτρικό κάλιο	6,990	Kg	
2 Θεϊκό μαγνήσιο	31,378	Kg	
3 Νιτρικό μαγνήσιο	0,000	Kg	
4 Φωσφορικό μονοκάλιο	8,506	Kg	
5 Θεϊκό κάλιο	13,684	Kg	
6 Φωσφορικό οξύ	0,000	λίτρα	
7 Θεϊκό μαγγάνιο	84,50	g	
8 Θεϊκός ψευδάργυρος	26,59	g	
9 Θεϊκός χαλκός	9,36	g	
10 Βορικό οξύ	61,80	g	
11 Βόρακας	0,00	g	
12 Solubor	0,00	g	
13 Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0,00	g	
14 Μολυβδαινικό νάτριο	6,05	g	
Πυκνό διάλυμα οξέως 200 ΛΙΤΡΑ			
1 Νιτρικό οξύ	4,264	λίτρα	
Υπολογισμοί (C ₂) για προσθήκη οξέως			
[H ₂ O ⁺] _w	5,01187233	C ₁ (C17=1)	
B _w	11,01	26,03	
[CO ₃ ²⁻]+[HCO ₃ ⁻]+[H ₂ CO ₃]	0,002202	[K] _t (C17=1, C20=1, C23=1)	
[H ₂ O ⁺] _(n.s.)	0,00000251		
B _(n.s.)	1,19953021	6,83	
[K]	6,83	Σcation(n)	26,03
[NH ₄ ⁺]	1,71	Σanion(n)	26,03

Εικόνα 13. Λογισμικό για τον υπολογισμό της κατάλληλης ποσότητας λιπάσματος

Τελικά η λίπανση που εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν η ακόλουθη και εξαρτάται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του φυτού.

- ☛ Για τον πρώτο μήνα σε 30 L νερού, δηλαδή 1.5 L ανά φυτό:
 - 10g Νιτρικό Κάλιο (KNO_3)
 - 5g Νιτρικό Ασβέστιο (CaNO_3)
 - 5g Μονοφωσφορικό Κάλιο (KH_2PO_4)
- ☛ Μετά τον πρώτο μήνα σε 30 L νερού, δηλαδή 1.5 L ανά φυτό:
 - 20g Νιτρικό Κάλιο (KNO_3)
 - 10g Νιτρικό Ασβέστιο (CaNO_3)
 - 5g Μονοφωσφορικό Κάλιο (KH_2PO_4)
 - 2.5g Νιτρικό Μαγνήσιο (MgNO_3)

Η μορφή των λιπασμάτων αποφασίστηκε ώστε να μην περιέχουν ανιόντα που θα επηρέαζαν σημαντικά τους δείκτες αλατότητας. Για παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε KNO_3 αντί KCl , ωστόσο τις καθορισμένες ημέρες λίπανσης τα ποσοστά αλατότητας ήταν αυξημένα και στις δύο δεξαμενές, γεγονός που φαίνεται και στα διαγράμματα, τα δεδομένα των οποίων σημειώνονταν καθημερινά. Η αρχικές τιμές αλατότητας πριν την λίπανση ήταν οι καθορισμένες επομένως η πρόσθεση λιπασμάτων είχε προσθετική δράση στα επίπεδα της αλατότητας όπως συμβαίνει και στο πεδίο.

3.6. Εργασίες πεδίου

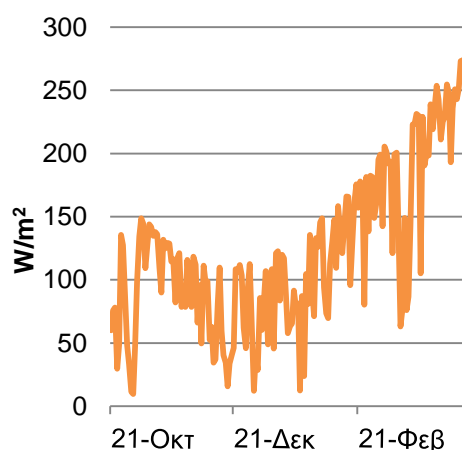
Κατά την εξέλιξη του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 2 μόνον εφαρμογές κίτρινου θειαφιού με επιφανειακό πασπάλισμα σε όλο τον όγκο των φυτών (Εικόνα 14, αριστερά) ενώ αποφεύχθηκε η επαφή του με το χώμα στις γλάστρες με ειδικό κάλυμμα (Εικόνα 14, δεξιά). Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω των ελεγχόμενων συνθηκών και της χρήσης του *Trichoderma* δεν χρησιμοποιήθηκε κανένα παρασιτοκτόνο ή μυκητοκτόνο παράγοντας έτσι ένα προϊόν που τηρεί όλες της προϋποθέσεις βιολογικής γεωργίας του Κανονισμού (ΕΚ) 889/2008 απαλλαγμένο από χημικά σκευάσματα για την καταπολέμηση των ασθενειών και των λοιπών κινδύνων συγκριτικά με τις συμβατικές καλλιέργειες. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίστηκε και ο έλεγχος της προστασίας που προσφέρει το *Trichoderma*.



Εικόνα 14. Εφαρμογή θειαφιού (αριστερά) με αποφυγή επαφής με το χώμα (δεξιά).

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών, κρίνεται αναγκαίο να γίνεται τακτικό κλάδεμα για την εξασφάλιση της ευρωστίας τους σε διάφορα στάδια της ανάπτυξης τους. Μια περίπτωση που συναντάται στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης των φυτών και καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας και μάλιστα χρήζει ιδιαίτερης προσοχής είναι αυτή των «λαίμαργων» (Εικόνα 5) και αυτό γιατί αυτά τα τμήματα/κλαδιά παρεκκλίνουν από τον κυρίως κορμό και μάλιστα αναπτύσσονται αρκετά γρήγορα με αποτέλεσμα να καθυστερείται η ομαλή ανάπτυξη του υπόλοιπου φυτού έτσι ώστε να γίνει γερό και να αποδώσει καρπούς. Ακόμη, το κατώτερο φύλλωμα πρέπει να κλαδεύεται μόλις αναπτυχθεί αρκετά για να μην έρχεται σε επαφή με το χώμα. Με το κλάδεμα επιτυγχάνεται καλύτερος αερισμός του φυτού και καλύτερος φωτισμός των καρπών. Φύλλα γερασμένα τα οποία δεν δέχονται αρκετό φωτισμό για φωτοσύνθεση κόβονται και απομακρύνονται προληπτικά φύλλα που ακουμπούν στο έδαφος προλαμβάνοντας τις μυκητιάσεις. Τέλος το κορφολόγημα γίνεται όταν τα φυτά έχουν πάρει το επιθυμητό ύψος όπου κλαδεύεται το ανώτερο τμήμα του κορμού με σκοπό να δοθεί έμφαση στο δέσιμο των καρπών από το φυτό.

Λόγω της παρατεταμένης ηλιοφάνειας και της αύξησης των τιμών της, ιδιαίτερα στο τέλος της περιόδου φύτευσης όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της ηλιακής ακτινοβολίας με στοιχεία που συλλέχθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό του ΠΚ (Εικόνα 15, αριστερά) μπορούν να παρουσιαστούν προβλήματα στους καρπούς. Τέτοιου είδους παρατεταμένη έκθεση μπορεί να επιφέρει τη δημιουργία λευκό-κίτρινων κηλίδων στο τμήμα του καρπού που είναι εκτεθειμένο στον ήλιο κάνοντάς τους μη εμπορεύσιμους και πιο ευαίσθητους. Η λύση που εφαρμόστηκε ήταν η επικάλυψη του θερμοκηπίου με σοβά σε υγρή μορφή ώστε να μετριαστεί η ένταση της ηλιοφάνειας στις 19 Μαρτίου (Εικόνα 15, δεξιά).



Εικόνα 15. Ισχύς ηλιακής ακτινοβολίας από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΠΚ (αριστερά). Σοβάτισμα θερμοκηπίου για προστασία από τον ήλιο (δεξιά).

3.7. Μηχανολογικός εξοπλισμός

Εκτός από τον εξειδικευμένο εργαστηριακό εξοπλισμό για την ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών, χρησιμοποιήθηκαν συσκευές και υλικά απαραίτητα για τη διεξαγωγή του πειράματος. Τα βασικότερα εξ αυτών αναγράφονται παρακάτω στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10. Βασικός Μηχανολογικός Εξοπλισμός και υλικά.

Αγωγιμόμετρο HM Digital: EC/TDS/TEMP COM-100 Εύρος μέτρησης: 0.1-9.9 Μονάδες Μέτρησης: dS/m Αναγωγή σε T δωματίου	
8 x αισθητήρες εδαφικής υγρασίας με 5 κανάλια καταγραφής δεδομένων. Data Loggers μοντέλο Em50 της εταιρίας Decagon	
3 x αισθητήρες θερμοκρασίας [°C] και υγρασίας [%] HOBO Pro V2® sensors	
2 x αντλίες ισχύος 400 W, με φλοτέρ για αυτόματο κλείσιμο και 2 x Βαρέλια χωρητικότητας 70 L	
Ρυθμιζόμενοι σταλάκτης 1-8 LT/H GARDENA Micro-Drip-System, αγωγός άρδευσης Ø 20, βάνες, κλπ.	
25 x γλάστρες 30 x 30 cm (διάμετρος, ύψος)	

3.8. Παραδοχές και περιορισμοί

Δεδομένων των διαφορετικών πρακτικών που ακολουθούνται στο πεδίο και σε ένα πειραματικό θερμοκήπιο υπάρχουν περιορισμοί στη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Βασικός περιορισμός είναι οι διαφορετικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν μεταξύ Χανίων και Τυμπακίου. Αναμένεται ότι το Τυμπάκι είναι θερμότερο και με περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας, συνεπώς τα αποτελέσματα που σχετίζονται με την αλατότητα πιθανώς να υποεκτιμώνται.

Περαιτέρω περιορισμοί σχετίζονται με διάφορους κατασκευαστικούς παράγοντες (λ.χ. υλικά κατασκευής θερμοκηπίου, μέγεθος) που σαν αποτέλεσμα έχουν την δημιουργία διαφορετικού μικροκλίματος εντός της κατασκευής. Λόγω των περιορισμών χώρου του πειραματικού θερμοκηπίου η διάταξη των φυτών δεν μπορούσε να είναι τυχαία και απομακρυσμένη από τις πλευρικές επιφάνειες δίνοντας έτσι μια πιθανότητα για συστηματικά σφάλματα. Περιορισμοί στην ανάπτυξη των φυτών τίθενται και από την επιλογή γλάστρας αντί για φύτευση στο έδαφος. Όπως τα περισσότερα φυτά έτσι και στην τομάτα υπάρχει μια αναλογία μεταξύ κορμού και ριζικού συστήματος. Με το ριζικό σύστημα να εξαπλώνεται σε απόσταση έως και 1.5 m (Snyder 2003; Benton Jones 2008), τα φυτά σε γλάστρα είναι περιορισμένα συγκριτικά με αυτά που βρίσκονται φυτεμένα στο έδαφος. Για τον λόγο αυτό ενδέχεται η ανάπτυξη και η καρποφορία να μην αποδειχθούν οι μεγαλύτερες δυνατές, παρόλα αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να είναι συγκρίσιμα. Παρόλα αυτά θεωρείται ότι έγινε προσπάθεια για την προσομοίωση του υποστρώματος στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, για περιβαλλοντικούς και ηθικούς λόγους, επιλέχθηκε μια συμβατική προς υποεκτιμημένη λίπανση των φυτών και η αποφυγή φυτοπροστασίας εκτός βιολογικών σκευασμάτων, πρακτικές που δεν ακολουθούνται κατ' ανάγκη στην περιοχή του Τυμπακίου. Επίσης, για πρακτικούς λόγους ακολουθήθηκαν διαφορετικές πρακτικές κλαδέματος. Έτσι, συγκριτικά για τη σεζόν 2014-2015 οι παραγωγοί της περιοχής εκτίμησαν την παραγωγή τους στα 150-200 t/ha ανάλογα τις μεθόδους φύτευσης, τιμές που ήταν σημαντικά εκτός των βιβλιογραφικών ορίων και των αποτελεσμάτων του πειράματος. Ακόμα, κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, θεωρήθηκε ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών του 2^{ου} και του 4^{ου} σταυρού είναι αντιπροσωπευτικά, ενώ για πρακτικούς λόγους τα φυτά. Συνήθως οι 3 πρώτοι σταυροί συνεισφέρουν πάνω από το 50% της παραγωγής καρπών (Adams 2001), συνεπώς θεωρούμε ότι τα αποτελέσματα του πειράματος είναι αντιπροσωπευτικά.

Τέλος, σημαντικό ρόλο στη δειγματοληψία παίζει το χωρικό και χρονικό σημείο λήψης δειγμάτων χώματος από τη γλάστρα καθώς η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του εδάφους είναι πολύ μεγάλη. Θεωρήθηκε λοιπόν ότι σε μια μέση απόσταση μεταξύ του άξονα και της περιμέτρου της γλάστρας (όπου άλλωστε εφαρμόζεται και το πότισμα/υδρολίπανση) και στα δύο βάθη παρατήρησης, η μέτρηση ήταν αντιπροσωπευτική όλου του όγκου του δοχείου.

4. Αποτελέσματα

4.1. Χρονοδιάγραμμα

Στο χρονοδιάγραμμα (Εικόνα 16) αναγράφονται δραστηριότητες οι οποίες έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του πειράματος τα αποτελέσματα των οποίων βοήθησαν στην κατανόηση των μηχανισμών του *Trichoderma* στο έδαφος και τα φυτά. Έτσι η ανάπτυξη των φυτών μέχρι την πρώτη καρποφορία διήρκησε 4 μήνες, ενώ η αύξηση του λιπάσματος έγινε μετά τον σχηματισμό των πρώτων καρπών. Οι συγκομιδές διήρκησαν περίπου για δύο μήνες και οι αναλύσεις συσχετίζονταν πάντα με κάποιο γεγονός όπως την αρχική κατάσταση του εδάφους, πριν την αλλαγή της λίπανσης, την πάροδο της μισής χρονικής διάρκειας της καλλιέργειας υπό συνθήκες αλάτωσης και το τελικό στάδιο του εδάφους μετά το τέλος της σεζόν.



Εικόνα 16. Χρονοδιάγραμμα και δραστηριότητες πειράματος για τη χειμερινή σεζόν 2015-2016.

Ο Πίνακας 11 αναφέρει τα στοιχεία που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος κατά χρονική σειρά. Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 4 δειγματοληψίες με τον αριθμό των δειγμάτων να ξεπερνάει τα 180 συνολικά σε καθορισμένες ημερομηνίες για την εκτίμηση της κατάστασης του εδάφους και της επιρροής των διαφόρων παραγόντων. Οι χρονικές στιγμές της εκάστοτε δειγματοληψίας φαίνονται στο χρονοδιάγραμμα του πειράματος και σχετίζονται με διάφορα

γεγονότα με αντίκτυπο στην μορφολογία και σύσταση του χώματος και στα στάδια ανάπτυξης των φυτών.

Πίνακας 11. Κατηγορίες δεδομένων πειράματος.

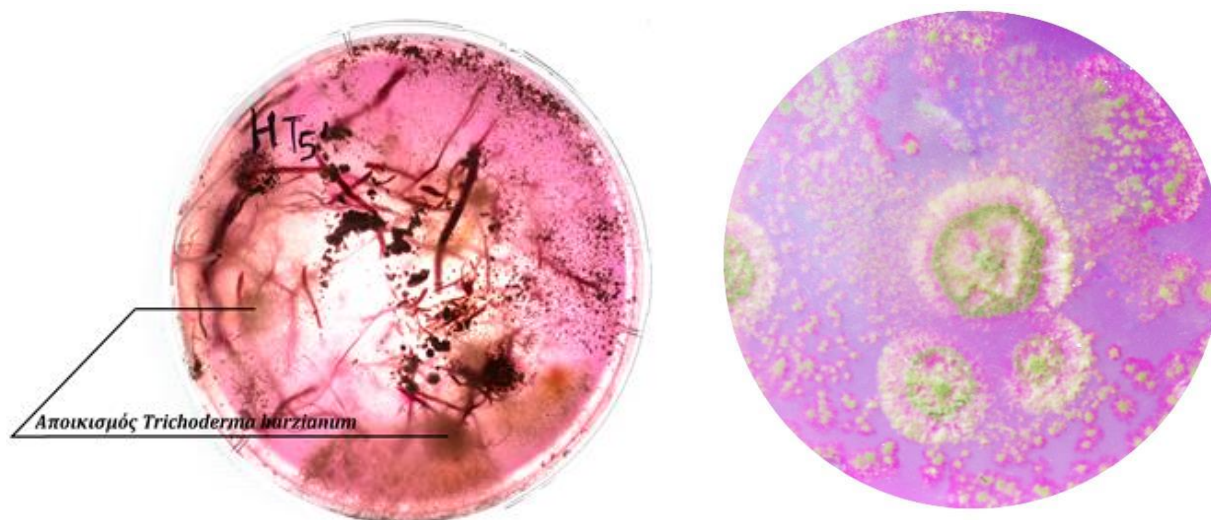
Πριν	Αναλύσεις Χώματος, Κοκκομετρία
	Παροχή άρδευσης
Κατά τη διάρκεια του πειράματος	EC, Χρόνος και ποσότητα άρδευσης
	Αναλύσεις Χώματος: (TOC, TN, NO ₃ -, N-NH ₃ , EC, SAR, TKN, TP, Olsen P, pH, Μέταλλα)
	Σχετική Υγρασία στο εσωτερικό της κάθε γλάστρας
	Θερμοκρασία, σχετική υγρασία περιβάλλοντος
	Διαστάσεις φυτών
	Στραγγίσματα (Αγωγιμότητα και Ποσότητα)
	Μέτρηση διαστάσεων
	Ταξιανθίες
	Αριθμός καρπών
	Χρώμα καρπών και στάδιο ωρίμανσης
	Μετρήσεις εδαφικής πανίδας
	Αριθμός, διαστάσεις, μάζα και χημικές αναλύσεις καρπών κατά τη συγκομιδή
	Χλωροφύλλη
Μετά	Διαστάσεις κορμού και ριζών
	Ξηρή υπέργεια βιομάζα
	Επιβεβαίωση αποίκισης του μύκητα <i>Trichoderma</i> στο ριζικό σύστημα

Πίνακας 12. Ημερομηνίες δειγματοληψιών σχετικά με την κατάσταση του εδάφους.

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ
Sampling 1 (Αρχικό στάδιο χώματος)	02/11/2015
Sampling 2 (4 μέρες μετά από λίπανση)	01/12/2015
Sampling 3 (2 μέρες μετά από λίπανση)	01/02/2016
Sampling 4 (Τέλος καλλιέργειας)	13/04/2016

4.2. Αποικισμός

Εντοπίστηκε και επιβεβαιώθηκε επανειλημμένα η αποίκιση του μύκητα σε όλα τα φυτά που είχαν εμβολιαστεί με ΤΗ (Εικόνα 17), ενώ δεν διαπιστώθηκε αποίκιση σε φυτά της μεταχείρισης χωρίς ΤΗ. Με την παραπάνω διαπίστωση εξασφαλίσαμε την ορθότητα και την αντικειμενικότητα των αποτελεσμάτων γνωρίζοντας ότι τα φυτά αντιδρούσαν ανάλογα με το αν ο εμβολιασμός ήταν επιτυχής χωρίς να υπάρχει αβεβαιότητα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ενδεικτικά μια φωτογραφία ενός από τα δείγματα σε σύγκριση με φωτογραφία από πρότυπη αποικία σε τρυβλίο (Εικόνα 17).

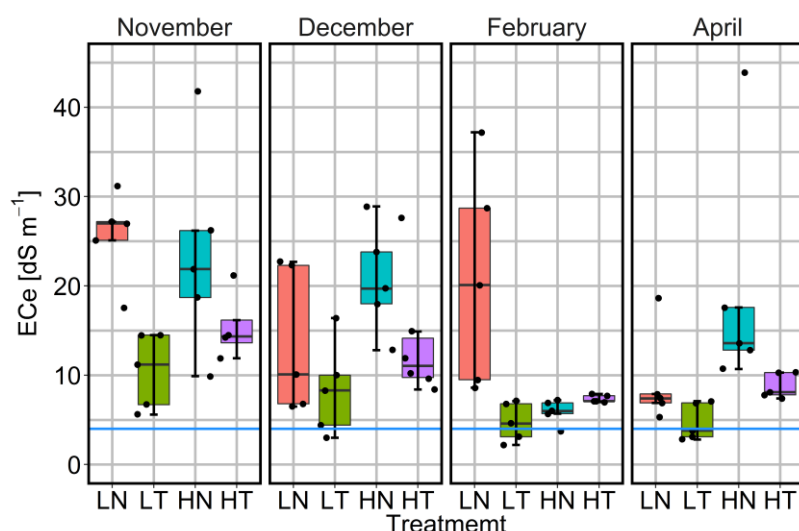


Εικόνα 17. Αριστερά: Φωτογραφία τρυβλίου με δείγματα ριζών αποικισμένα από το μύκητα ΤΗ στα πλαίσια του πειράματος (Φωτό: Ι. Δαλιακόπουλος). Δεξιά: πρότυπη αποικία ΤΗ ύστερα από επώαση 5 ημερών σε θερμοκρασία 25-30 °C (Πηγή: HIMEDIA, προσωπική επικοινωνία).

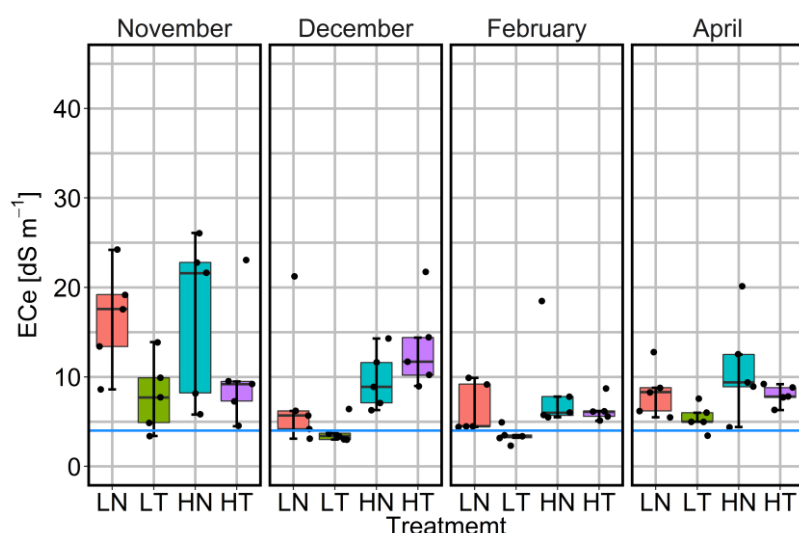
4.3 Αλατότητα στο έδαφος

4.3.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Διαπιστώθηκε μείωση των τιμών της ECe με την πάροδο του χρόνου από την έναρξη της άρδευσης (Εικόνα 18 και Εικόνα 19). Η πτώση της ECe έρχεται σε αντίθεση με την αρχική υπόθεση για αύξηση του ECe λόγω της συσσώρευσης αλάτων στη ριζόσφαιρα. Οι τιμές ECe στους πρώτους μήνες της καλλιέργειας βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα με μέση τιμή τα 15 dS/m. Οι τιμές αυτές προκύπτουν λόγω της ετερογένειας του εδάφους, με μέση τιμή τα ξεπερνώντας τα 20 dS/m για τις μεταχειρίσεις χωρίς *Trichoderma* και για τις δύο περιπτώσεις αλατότητας, ενώ η δράση του μύκητα φαίνεται να επιδρά θετικά εξ αρχής, καθιστώντας το έδαφος λιγότερο αλατούχο για τις περιπτώσεις LT και HT. Συγκρίνοντας τις τιμές της δειγματοληψίας του Απριλίου στο τέλος της σεζόν με της αρχικές παρατηρείται μια ξεκάθαρη μείωση της ECe που από 7 έως 27 φθάνει τα 5 έως 9 dS/m για το βάθος 0-5 cm και από 7 έως 21 φθάνει τα 4 έως 13 dS/m για το βάθος 5-10 cm . Μάλιστα και για τα δύο βάθη οι μέσες τιμές της ομάδας HT είναι συγκρίσιμες με εκείνες της ομάδας LN αν και η πρώτη ποτίζονταν με νερό υπερδιπλάσιας περιεκτικότητας σε άλατα, γεγονός που αποδεικνύει την ευεργετική δράση του μύκητα *T.harzianum* έναντι στην αλατότητα εδαφών.



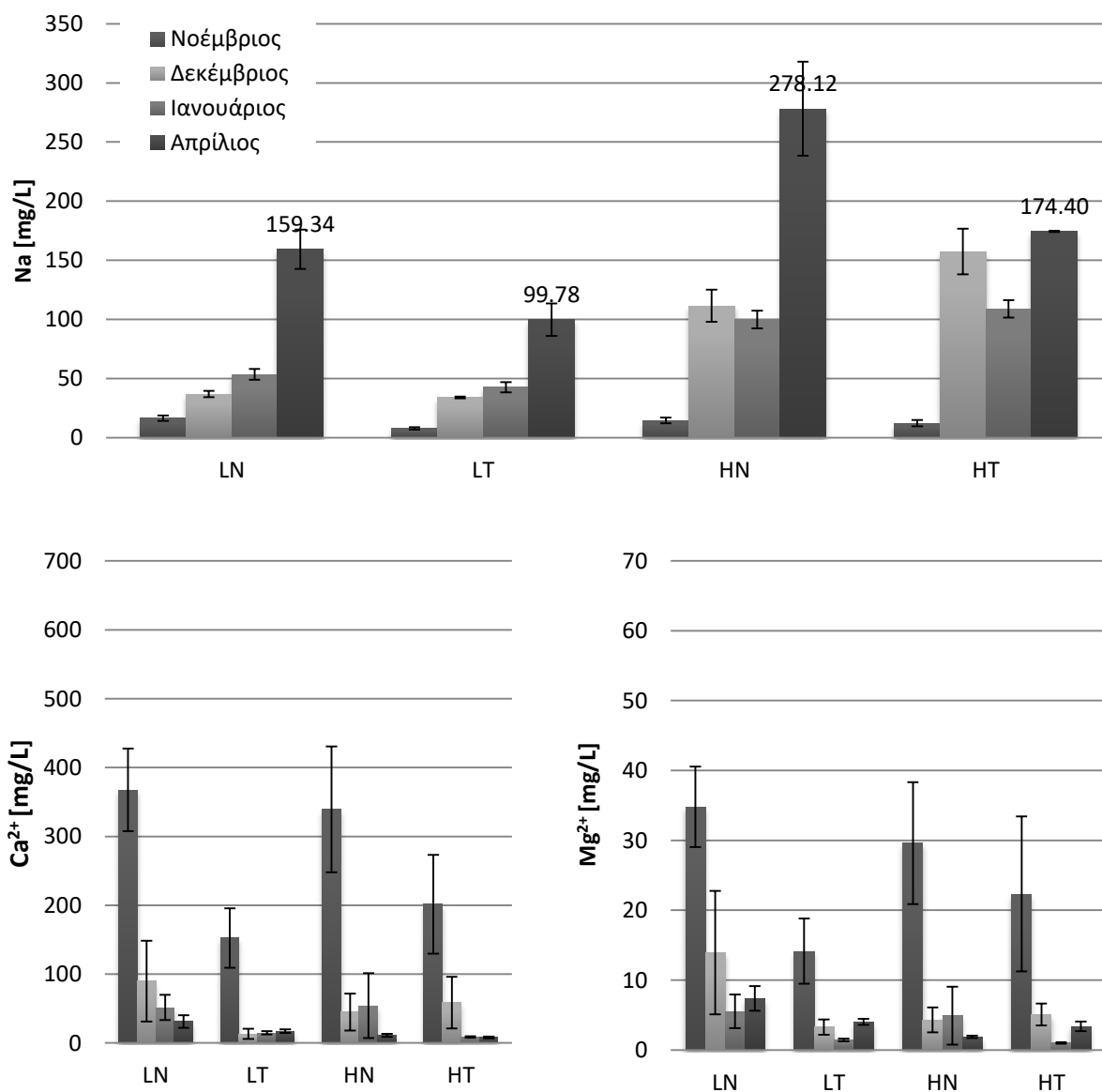
Εικόνα 18. ECe στα πρώτα 5 cm του εδάφους



Εικόνα 19. ECe σε βάθος εδάφους 5-10 cm

4.3.2. Συγκεντρώσεις Μετάλλων (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

Η αρχική συγκέντρωση του Na^+ είναι 12,8 mg/L για το βάθος 0 – 5 cm, ενώ τα Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ είναι 312,8, 36,8 και 69,2 mg/L, αντίστοιχα. Οι υψηλές τιμές του Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ δικαιολογούν την αρχικά υψηλή ECe, που όπως αποδεικνύεται δεν προέρχεται από υψηλές συγκεντρώσεις Na^+ . Η πτωτική τάση της ECe που παρατηρείται κατά την εξέλιξη του πειράματος οφείλεται στην αυξημένη παρουσία Na^+ στην εδαφική διάλυση λόγω της άρδευσης με υφάλμυρο νερό και την τάση του να προσροφάται στα σωματίδια του εδάφους μέσω της ιοντοανταλλαγής αντικαθιστώντας άλλα κατιόντα όπως το Ca^{2+} και Mg^{2+} , τα οποία στη συνέχεια υπόκεινται σε έκπλυση. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η συνολική ECe να μειώνεται. Οι συγκεντρώσεις στις αναλύσεις των μετάλλων επαληθεύουν την παραπάνω ερμηνεία (Εικόνα 20).

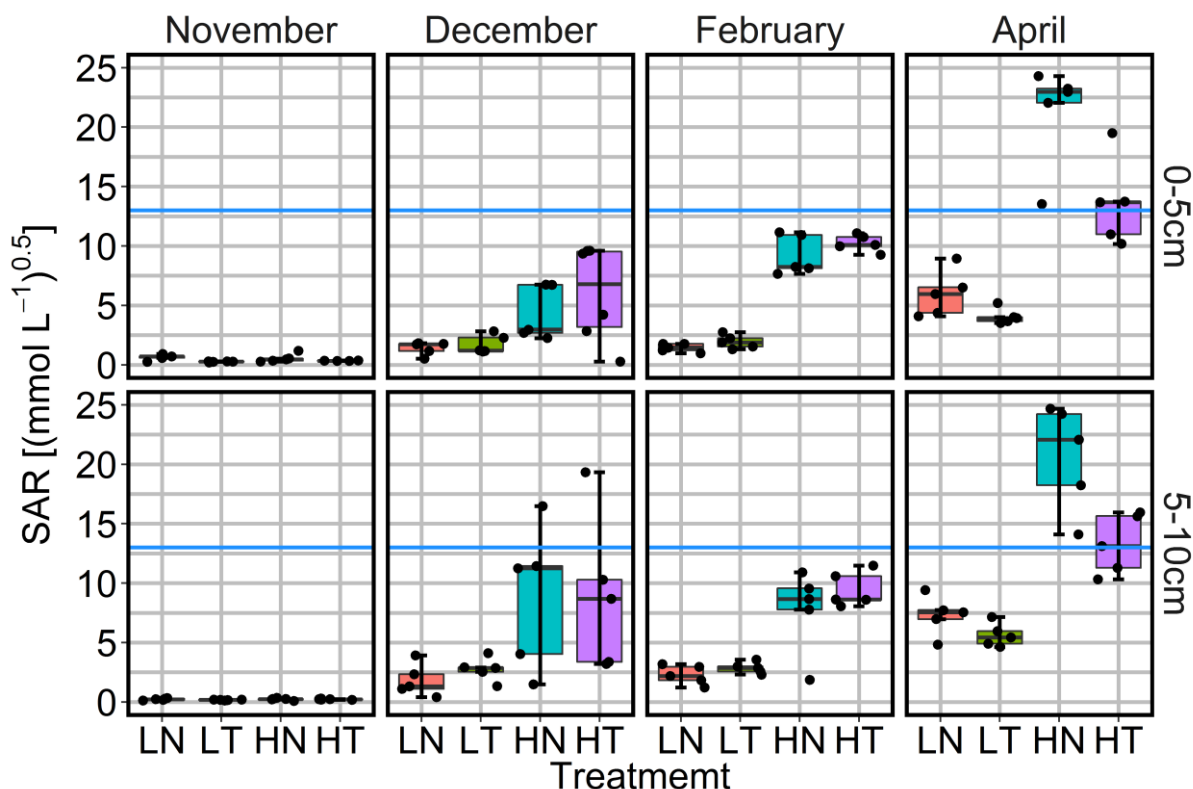


Εικόνα 20. Πάνω: Αύξηση στη συγκέντρωση Na⁺. Αριστερά: Μείωση στη συγκέντρωση Ca²⁺. Δεξιά: Μείωση του Mg²⁺ για τις τέσσερις δειγματοληψίες

Για τις δύο περιπτώσεις αναλύσεων των κατιόντων Ca²⁺ και Mg²⁺ (Εικόνα 20, Αριστερά και Δεξιά) παρατηρείται απότομη μείωση των συγκεντρώσεών τους από την έναρξη της άρδευσης λόγω των ιδιοτήτων του Na⁺, το οποίο βρίσκεται σε αφθονία και προσκολλάται στο αρνητικά φορτισμένα σωματίδια του εδάφους κατά την ιοντοανταλλαγή. Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του Na⁺ για τη μεταχείριση LN αυξάνει από 16.6 σε 160 mg/L, ενώ η μεταχείριση LT μεταβάλλεται από τα 8 σε 100 mg/L. Η διαφορά μεταξύ των τελικών συγκεντρώσεων Na⁺ για τις μεταχειρίσεις LN και LT είναι της τάξης του 37,5% και αποτελεί ένδειξη για τη συνεισφορά του *Trichoderma* στην προστασία των εδαφικών πόρων από την αλάτωση. Αντίστοιχα για τις μεταχειρίσεις HN και HT η διαφορά των τελικών συγκεντρώσεων ανέρχεται και πάλι στο 37,4%, επαληθεύοντας την ευεργετική δράση του *Trichoderma* ακόμη και υπο συνθήκες άρδευσης με υψηλή EC.

4.3.3. Αναλογία προσρόφησης νατρίου (SAR)

Στην Εικόνα 21 παρουσιάζεται η αύξηση του SAR κατά την εξέλιξη του πειράματος. Κατά την τέταρτη δειγματοληψία (Απρίλιος) που έλαβε χώρα στο τέλος του πειράματος είναι αισθητή η επίδραση της αλατότητας ειδικά στις κατηγορίες HN και HT, η οποία έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την υποβάθμιση του εδάφους, προκαλώντας ανεπανόρθωτες ζημιές στην καλλιέργεια με αποτέλεσμα τα φυτά να έχουν σχεδόν νεκρωθεί, μη μπορώντας να συγκρατήσουν και να απορροφήσουν το νερό διατηρώντας το πηλίκο SAR σε υψηλές τιμές.



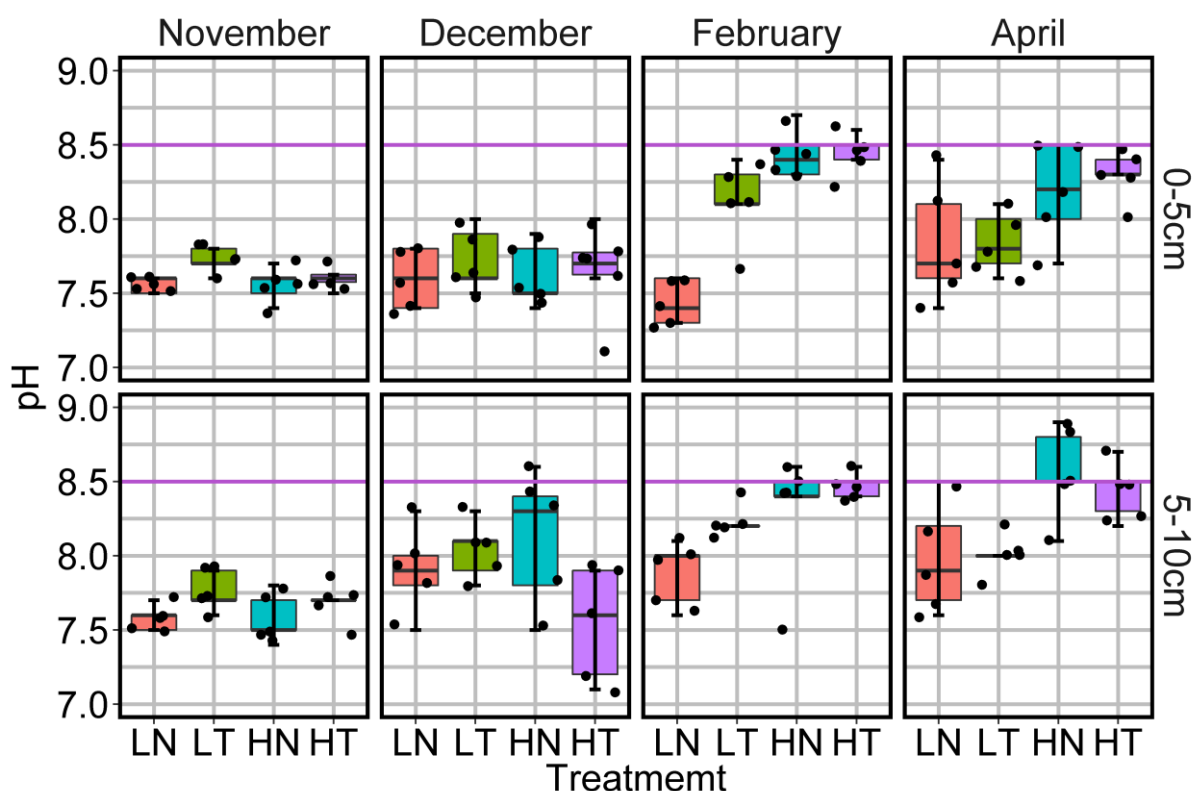
Εικόνα 21. Διαγράμματα εύρους για τις τιμές SAR.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει μια ξεκάθαρη διαφορά για τις μεταχειρίσεις με φυτά αποικισμένα από το TH συγκριτικά με εκείνες χωρίς. Ο SAR, ενώ αρχικά είχε μηδενική τιμή, κατά την τελευταία δειγματοληψία με τον χρόνο ποτίσματος να έχει ξεπεράσει τους 5 μήνες ξεπέρασε το κατώφλι των 13 μονάδων κατηγοριοποιώντας το έδαφος ως Αλατούχο – Αλκαλικό. Πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση της υψηλής αλατότητας (HN και HT), η διαφορά του δείκτη SAR είναι μειωμένη κατά $35,8 \pm 1,7\%$, ενώ για την περίπτωση μέσης αλατότητας (LN και LT) μειωμένη κατά $23,0 \pm 0,6\%$. Η μικρότερη τιμή βρέθηκε για τη μεταχείριση LT και ισούταν με 6. Η μελέτη του δείκτη σε μεγαλύτερο βάθος εξυπηρετεί περισσότερο στην εκτίμηση του εδάφους από την άποψη ότι το ριζικό σύστημα των φυτών έρχεται σε επαφή με το χώμα στο συγκεκριμένο βάθος επηρεάζοντας το φυτό σε μεγαλύτερο βαθμό όπως και για το λόγο ότι τα άλατα συγκρατούνται παρουσιάζοντας μια πιο πλήρη εικόνα για την κατάσταση του εδάφους, σε σχέση με την επιφάνεια.

Όπως και για την περίπτωση του ECe, ομοίως και για τα αποτελέσματα του δείκτη SAR, η εφαρμογή του *Trichoderma* φάνηκε να ευνόησε την κατάσταση του εδάφους.

4.3.4. Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το ιδανικό pH του χώματος για καλλιέργεια τομάτας κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 6,8 με βέλτιστο εύρος τιμών μεταξύ 6,0 και 6,5. Με την εξασφάλιση αυτών των τιμών pH επιτυγχάνεται η υψηλότερη δυνατή διαθεσιμότητα των απαραίτητων μετάλλων (Benton Jones 2008). Καθώς το έδαφος προέρχεται σκόπιμα από την περιοχή του Τυμπακίου για καλύτερη προσομοίωση εφόσον πρόκειται για περιπτώσιολογική μελέτη η αρχική τιμή του pH ήταν στα 7,6. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, σε καμία από τις περιπτώσεις δεν παρατηρήθηκε μείωση του δείκτη. Η αρχικές τιμές κυμαίνονταν μεταξύ 7,5 και 7,75, ενώ κατά τη δειγματοληψία του Απριλίου το pH τείνει να ξεπεράσει την οριακή τιμή 8,5, ιδιαίτερα για τις μεταχειρίσεις HT και HN σε βάθος 5 – 10 cm.



Εικόνα 22. Διαγράμματα εύρους για τιμές pH και για τα 2 βάθη.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα εύρους της Εικόνα 22, το pH του εδάφους έχει την τάση να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου και την εφαρμογή υφάλμυρου νερού σύμφωνα και με τους Alva and Syvertsen (1991). Στην περίπτωση νερού άρδευσης με αλατότητα 3.5 dS/m, για τα φυτά χωρίς TH οι τιμές δείχνουν να έχουν μία πιο αυξητική τάση. Το αρχικό pH του χώματος ήταν ήδη αρκετά υψηλό επομένως δεν αναμένεται σημαντική αύξηση. Για την μεταχείριση της υψηλής EC, αξιοσημείωτο

είναι το γεγονός ότι το pH της ομάδας HN (χωρίς TH), αντίθετα με αυτό της ομάδας HT, ξεπερνά το κατώφλι της τιμής 8,5 καθιστώντας το έδαφος αλκαλικό.

4.3.5. Ποιοτική κατάσταση εδάφους

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του κεφαλαίου 4.3., των τεσσάρων εδαφικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε δύο βάθη ανά φυτό και σχετίζονται με την αλατότητα του εδάφους και τη δράση του *Trichoderma* αποδεικνύονται τα εξής. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (ECe) τείνουν να μειωθούν με την πάροδο του χρόνου ποτίσματος (Εικόνα 18 και Εικόνα 19) λόγω της μείωσης στις συγκεντρώσεις μετάλλων που φαίνεται στην Εικόνα 20 (αριστερά & δεξιά). Αντιθέτως οι τιμές του Na^+ στη Εικόνα 20 (πάνω), του SAR (Εικόνα 21) και του pH (Εικόνα 22) παρουσίασαν ανάλογη αύξηση με το χρόνο άρδευσης και για τις 2 περιπτώσεις EC Σε σχέση με το κατώφλι των τιμών EC (μπλε γραμμή, Εικόνα 16), SAR (μπλε γραμμή, Εικόνα 19) και pH (μοβ γραμμή, Εικόνα 20), γίνεται ευκολότερα η κατηγοριοποίηση της κατάστασης του εδάφους σύμφωνα με τα επίπεδα των δεικτών. Συγκεντρώνοντας όλες τις παραπάνω παραμέτρους δίνεται η δυνατότητα χαρακτηρισμού του εδάφους σύμφωνα με τον Πίνακα 7 του κεφ. 2.3. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, το έδαφος της μεταχείρισης LN προέκυψε Αλατούχο (Saline) με τιμή ECe 8.75 ± 1.85 dS/m. Όσο για την περίπτωση LT το έδαφος χαρακτηρίζεται και αυτό ως Αλατούχο αλλά σε καλύτερη κατάσταση με τιμές ECe 5.25 ± 1.05 dS/m κοντά στην οριακή ECe 4 dS/m. Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας το έδαφος της HN χαρακτηρίζεται ως Αλατούχο – Αλκαλικό (Saline- Sodic) με τιμή SAR: 18.5 ± 3.2 , αρκετά μεγαλύτερη από την οριακή τιμή SAR: 13 και με το pH να είναι 8.5, ενώ το έδαφος της HT χαρακτηρίζεται οριακά Αλατούχο και Νατριωμένο με τιμές SAR 13.44 ± 1.38 κοντά στην οριακή τιμή.

4.4.Θρεπτικά

Τα επίπεδα Οργανικού άνθρακα (Total Organic Carbon, TOC) αποτελούν ένδειξη της ποιοτικής κατάστασης του εδάφους. Γενικά, εδάφη με περιεχόμενο TOC >30 g/kg χαρακτηρίζονται ως γόνιμα, ενώ τιμές μικρότερες του παραπάνω ορίου αναφέρονται σε εδάφη για τα οποία υπάρχει δυνητικά κίνδυνος υποβάθμισης (Αποστολάκης 2015). Η μέση τιμή των γλαστρών στο παρόν πείραμα κυμαίνονταν στα 14 g/kg. Σύμφωνα με τις δειγματοληψίες δε παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφορές για τις διάφορες μεταχειρίσεις. Σε γενικές γραμμές τα εδάφη που πλήττονται από αλατότητα παρουσιάζουν μικρότερο οργανικό φορτίο σε σχέση με τα υγιή εδάφη (Reinemann et al. 2005). Τα επιθυμητά ποσοστά TOC θα μπορούσαν να επιτευχθούν, εάν είχε προηγηθεί καλλιέργεια με *Trichoderma*, με τα υπολείμματα των ριζών αποικισμένων από το μύκητα να αποτελούν πηγή άνθρακα και με την υψηλότερη εφαρμογή λιπάσματος κατά προτίμηση στην αρχή της σεζόν

Το άζωτο (N) αποτελεί έναν παράγοντα ιδιαίτερης σημασίας για τη γονιμότητα των εδαφών, αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη της βλάστησης, τη σύνθεση της μικροβιακής κοινότητας αλλά και τις εισροές C. Χαρακτηριστικά οι αγρότες που συνεργαστήκαν ανέφεραν πως το άζωτο

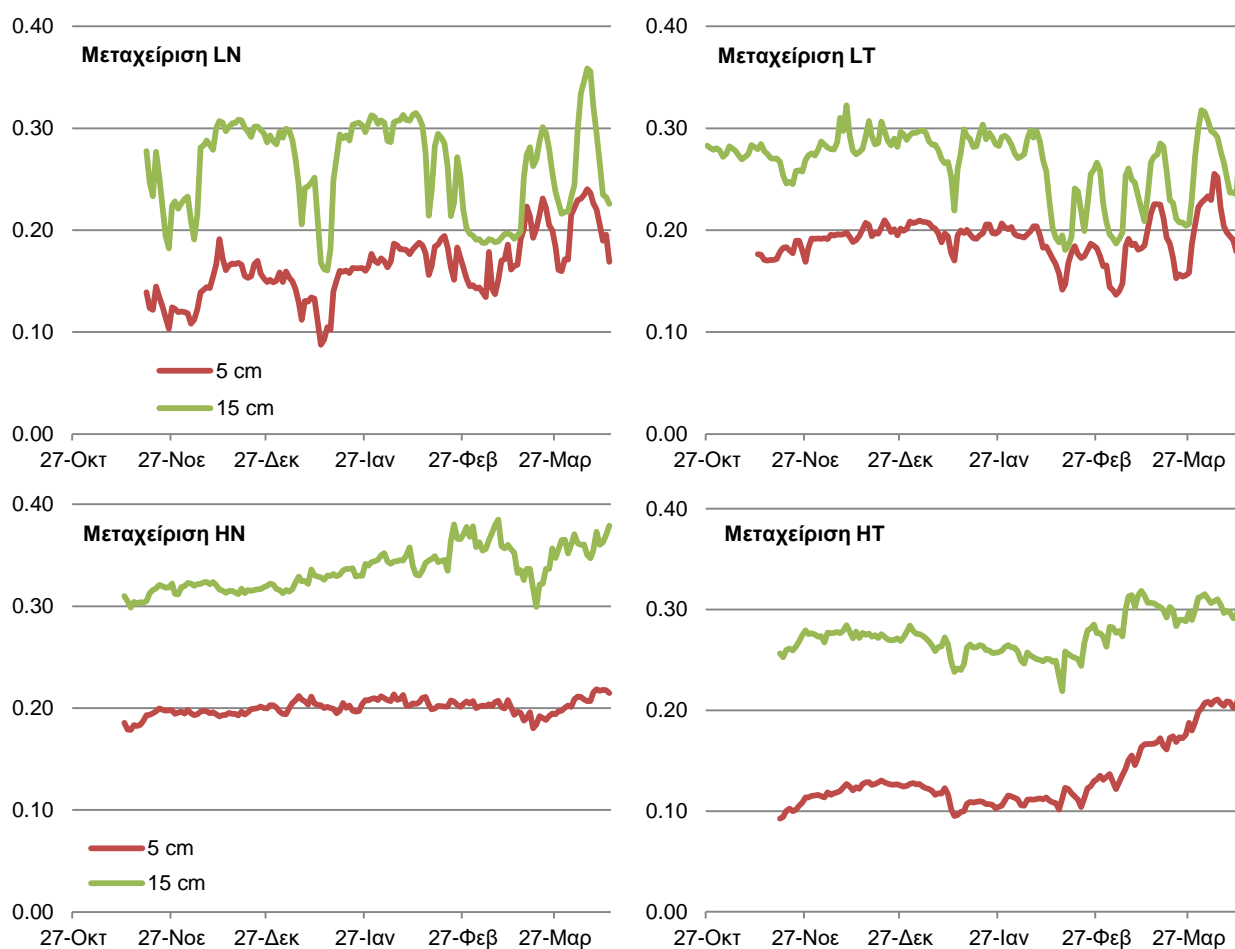
‘φουσκώνει’ τους καρπούς εννοώντας πως τους αυξάνει το μέγεθος. Η μέση τιμή των μεταχειρίσεων κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας ανέρχεται σε 1,1 g/kg. Γενικότερα τα επίπεδα αζώτου δεν είχαν ιδιαίτερες μεταβολές παρουσιάζοντας μια μικρή αύξηση με την πάροδο του χρόνου λόγω της συχνής λίπανσης (2 φορές την εβδομάδα). Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως κάποιοι αγρότες λιπαίνουν τα χωράφια τους συχνότερα από ότι στο παρόν πείραμα, σε κάποιες περιπτώσεις και καθημερινά. Έτσι συμπεραίνουμε πως η αλατότητα δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τα επίπεδα αζώτου στο έδαφος εάν λιπαίνεται τακτικά σύμφωνα και με τους Alva and Syvertsen (1991). Η εφαρμογή του *Trichoderma* επίσης έδειξε να μην επηρεάζει τις συγκεντρώσεις.

Ο φώσφορος (P) επιδρά στη σταθερότητα της εδαφικής δομής έμμεσα, καθώς η διαθεσιμότητα του επηρεάζει την ανάπτυξη της βλάστησης και του ριζικού συστήματος. Είναι πλέον αποδεκτό ότι οι μια σειρά από συμβιωτικούς μύκητες συμβάλλουν σε σημαντικό βαθμό στην παροχή των φυτών με P, μέσα από την συμβιωτική σχέση που αναπτύσσεται (Smith et al. 2014). Ωστόσο, υπάρχουν αναφορές που υποστηρίζουν ότι η ίδια η παρουσία του P ευνοεί την ανάπτυξη μυκήτων, όπως οι AMF (Bronick & Lal 2005; Facelli & Facelli 2002). Οι δειγματοληψίες έδειξαν να υπάρχει εξάρτηση των συγκεντρώσεων του P από το αν έχει προηγηθεί λίπανση. Έτσι, για τη περίπτωση της δεύτερης δειγματοληψίας του Δεκεμβρίου η λίπανση είχε προηγηθεί 2 μέρες πριν, ενώ όσον αφορά την τρίτη δειγματοληψία του Φεβρουαρίου η λίπανση είχε γίνει προ 4^{ων} ημερών με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των μετάλλων και του φωσφόρου να είναι χαμηλότερες συγκριτικά με τη 2^η. Οι μεταχειρίσεις με *Trichoderma* δεν παρουσίασαν διαφορές με τις υπόλοιπες σχετικά με τον P, έτσι ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων ανήλθε στα 2 g/kg διατηρώντας τις συγκεντρώσεις στα επιθυμητά επίπεδα με ανώτερο όριο για τη συσσώρευση τα 4 g/kg.

4.5. Εδαφική Υγρασία

Η εδαφική υγρασία αναμένεται να είναι χαμηλότερη στην επιφάνεια λόγω εξατμισοδιαπνοής και υψηλότερη στο εσωτερικό και στα κατώτερα στρώματα του εδάφους όπου το νερό συγκρατείται από το ριζικό σύστημα για την κάλυψη των αναγκών του φυτού. Τα ποσοστά συγκράτησης εξαρτώνται επίσης και από το είδος του χώματος, κάτι που δεν επηρεάζει τις μετρήσεις μας αφού το χώμα σε όλες τις περιπτώσεις είχε παρόμοια χαρακτηριστικά. Οι ιδανικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας αναφέρονται όταν τα φυτά λαμβάνουν επαρκή ποσότητα νερού ώστε να διατηρούνται συνεχώς στομφώδη (Snyder 2003; Benton Jones 2008). Ακολουθούν αντιπροσωπευτικά διαγράμματα ημερήσιων διακυμάνσεων στην υγρασία του χώματος (Εικόνα 23). Κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του πειράματος τα φυτά διατηρούνταν σε καλή κατάσταση, ωστόσο τις τελευταίες εβδομάδες παρατηρήθηκε τοπικός μαρασμός κυρίως στα υψηλότερα τμήματα των φυτών ιδιαίτερα των μεταχειρίσεων HT και HN. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται από τις υψηλές ποσότητες νερού σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Για την περίπτωση της μέσης αλατότητας (LN και LT), η πτώση στα μέσα Ιανουαρίου οφείλεται σε τεχνικό πρόβλημα που υπέστη η αντλία ποτίσματος η οποία

και αντικαταστάθηκε. Η αύξηση της υγρασίας στο τέλος του πειράματος φανερώνει την αδυναμία απορρόφησης του νερού από το φυτό λόγω της συσσώρευσης των αλάτων. Στην περίπτωση της μεταχείρισης με ΤΗ, οι τιμές της υγρασίας στο εσωτερικό είναι ελαφρώς μειωμένες γεγονός που αποδεικνύει την μεγαλύτερη απορρόφηση νερού από το φυτό. Η υγρασία για την περίπτωση της υψηλής αλατότητας (ΗΝ και ΗΤ) παρουσιάζει την ίδια αυξητική τάση με την πάροδο του χρόνου καθώς το φυτό αδυνατεί να απορροφήσει το νερό. Και σε αυτή την περίπτωση αξίζει να σημειωθεί η αυξημένη πρόσληψη του φυτού με ΤΗ καθώς τα επίπεδα υγρασίας είναι χαμηλότερα στα κατώτερα στρώματα του εδάφους.



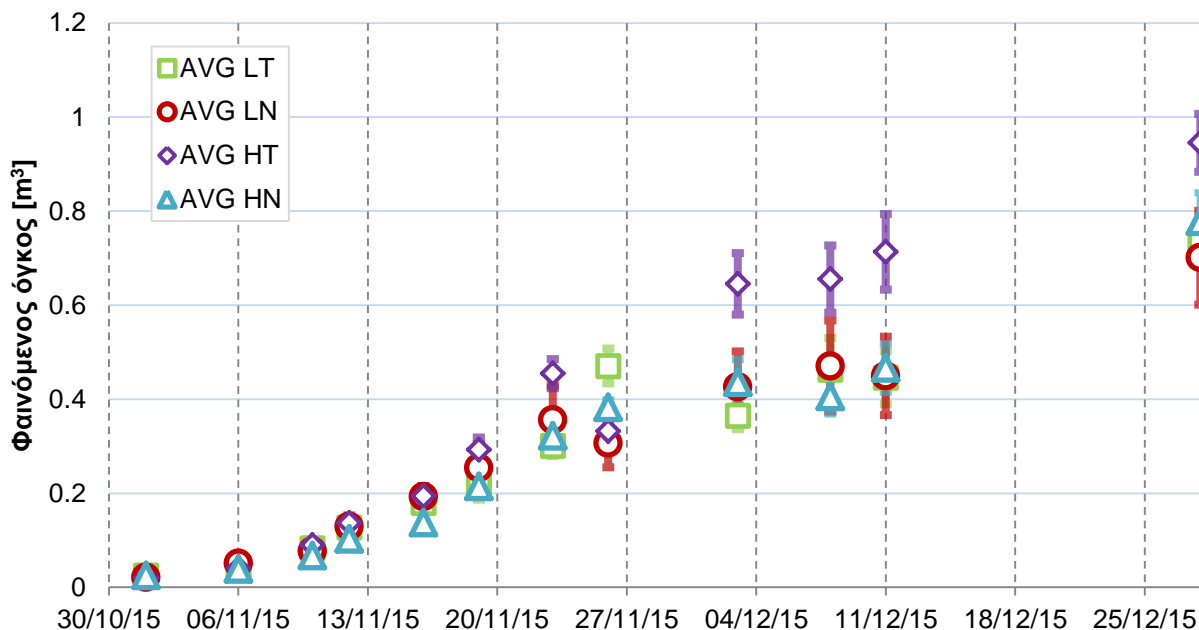
Εικόνα 23. Εδαφική Υγρασία (m^3/m^3).

4.6. Ποσοτικά Χαρακτηριστικά

4.6.1. Ανάπτυξη και διαστάσεις

Από τη στιγμή που τα σπορόφυτα φυτεύτηκαν στο θερμοκήπιο του ΠΚ, πραγματοποιήθηκαν εβδομαδιαίες μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ταχύτητας ανάπτυξης των φυτών (Εικόνα 24) Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αφορούν μετρήσεις συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας καθώς ύστερα από ένα χρονικό σημείο, πρωτεύοντα ρόλο στην έρευνα έπαιζε πλέον το μέγεθος της παραγωγής και όχι η ανάπτυξη των φυτών. Εξάλλου τα φυτά άρχισαν να μεγαλώνουν καθ' ύψος σε τέτοιο βαθμό

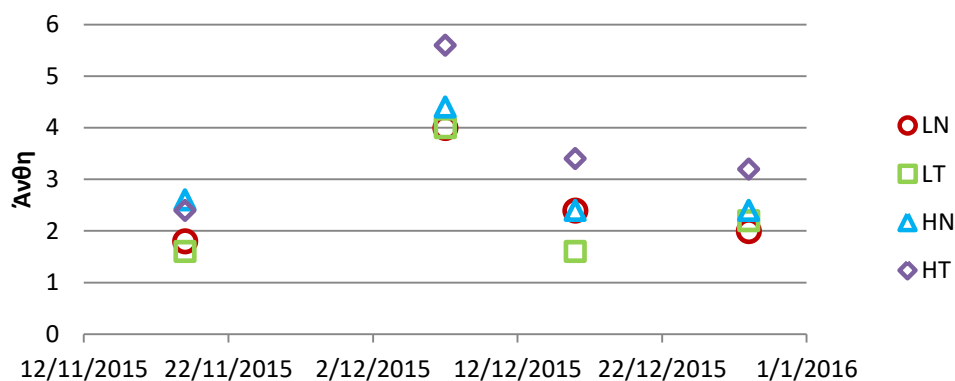
ώστε η μέτρηση του ύψους να καθίσταται μη πρακτική. Αξίζει να σημειωθεί πως ορισμένα από τα φυτά ξεπέρασαν τα 2 m, ακουμπώντας στη γυάλινη οροφή κάνοντας μια συστροφή εωσότου χρειάστηκαν κλάδεμα των κορυφών ίσου ύψους για όλες τις περιπτώσεις, προκειμένου να ενισχυθεί η καρποφορία και η καρπόδεση.



Εικόνα 24: Φαινόμενος όγκος υπολογισμένος με βάση την Εξίσωση (2).

Στην Εικόνα 24 παρατηρείται η πιο πρόωμη ανάπτυξη των φυτών που ποτίζονται με νερό υψηλής αλατότητας. Συγκεκριμένα, τα φυτά της ομάδας HT, σε ηλικία 2 μηνών, προηγούνται σε φαινόμενο όγκο κατά μέσο όρο 21% συγκριτικά με τα αμέσως επόμενα τα οποία άνηκαν στη μεταχείριση HN. Οι ομάδες LT και LN ακολουθούν με μειωμένη ανάπτυξη κατά 27.8 και 34.8%, αντίστοιχα. Το μέσο σφάλμα των μετρήσεων υπολογίστηκε σε ποσοστό $\pm 7\%$. Μια πιθανή εξήγηση για τις παραπάνω διαφορές είναι ότι το στρες στο οποίο υποβάλλονται τα φυτά αυτά, τα οδηγεί σε ταχύτερη ανάπτυξη. Και στις δυο περιπτώσεις αλατότητας τα φυτά αποικισμένα με TH παρουσίασαν ταχύτερη ανάπτυξη.

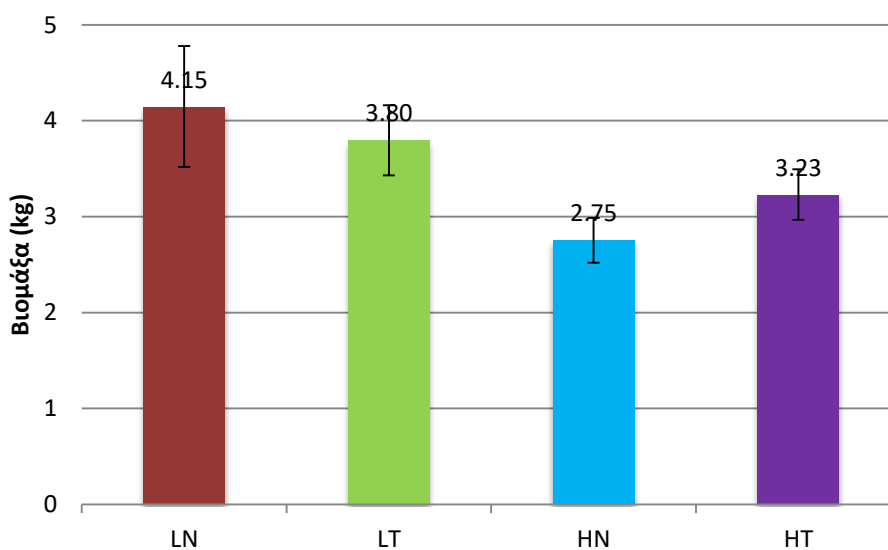
Για την εκτίμηση της πρόωμης παραγωγής και του δεσίματος των καρπών καταμετρήθηκαν και οι ταξιανθίες μέχρις ότου να αρχίσουν να σχηματίζονται οι καρποί. Έτσι σύμφωνα με την Εικόνα 25, τα φυτά στις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας έχουν την τάση να αναπτύσσονται γρηγορότερα όπως και να σχηματίζουν περισσότερους καρπούς. Ιδιαίτερα στην περίπτωση HT είναι εμφανής η διαφορά. Όπως παρατηρήθηκε παρακάτω η τελική παραγωγή δεν έχει ανάλογη σχέση με τον αριθμό καρπών αφού πρωτεύοντα ρόλο παίζει το μέγεθος και η μάζα του καρπού.



Εικόνα 25. Αριθμός Ταξιανθιών.

4.6.2. Συνολική παραγωγή

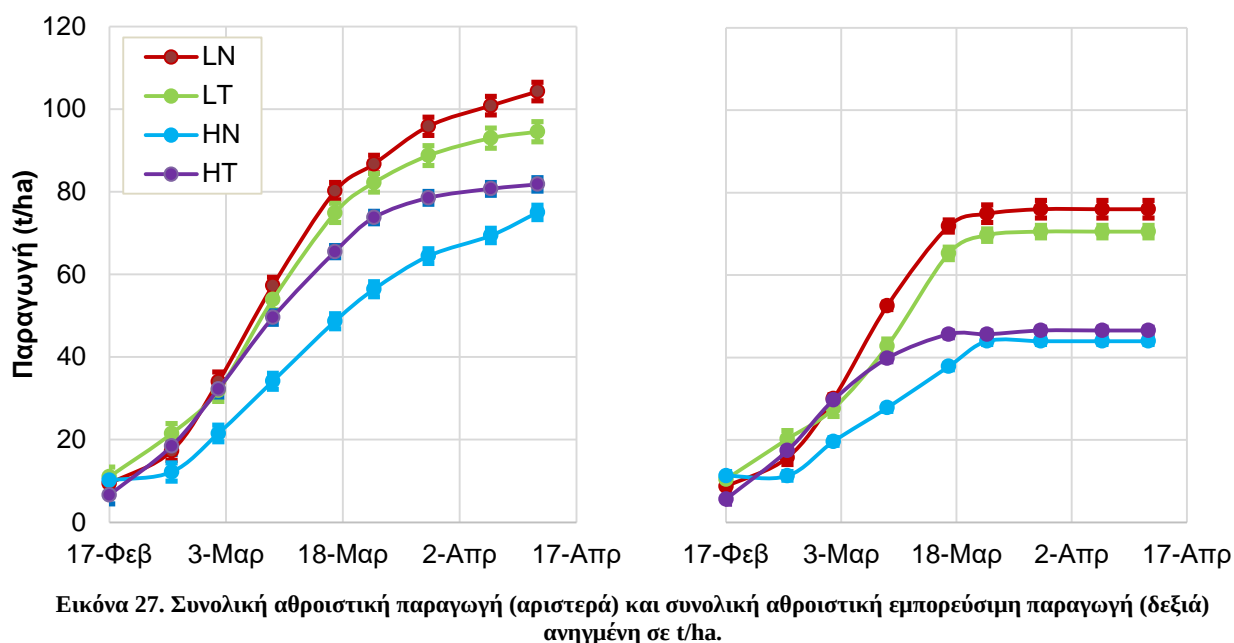
Η σοδειά της τομάτας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια για την βιωσιμότητα της καλλιέργειας. Στην Εικόνα 26 παρουσιάζεται η συνολική βιομάζα καρπών που παράχθηκε. Από τα αποτελέσματα φαίνεται μια εμφανής μείωση στην παραγωγή για την περίπτωση της υψηλής αλατότητας (HN και HT) συγκριτικά με αυτή της μέτριας (LN και LT). Η μέγιστη διαφορά παρατηρείται μεταξύ των μεταχειρίσεων LN και HN σε ποσοστό 28%, αποτέλεσμα που συμφωνεί και με τη βιβλιογραφία (Katerji et al. 1998). Πιο αναλυτικά, τα φυτά υπό άρδευση με νερό χαμηλής EC (LN και LT) δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές καθώς βρίσκονται μέσα στα περιθώρια σφάλματος. Συγκεκριμένα, η διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων υπολογίστηκε στο 9,3% με την LN να παρουσιάζει αυξημένη παραγωγή. Αντίστοιχα, η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (HN και HT) για την περίπτωση της υψηλής αλατότητας (3,5 dS/m) υπολογίστηκε στο 8,3% με τη χρήση TH να οδηγεί σε υψηλότερη παραγωγή.



Εικόνα 26 Συνολική βιομάζα καρπών ανά διαχείριση

4.6.3. Εμπορεύσιμη παραγωγή

Η συνολική παραγωγή για την κάθε μεταχείριση παρουσιάζεται στην Εικόνα 27 (αριστερά), εκφρασμένη σε t/ha με την υπόθεση ότι φυτεύονται 25,000 φυτά ανά ha (Σβηρινάκης 2016, προσωπική επικοινωνία). Πιο συγκεκριμένα το ύψος παραγωγής ανέρχεται σε 104,2 t/ha για την μεταχείριση LN, ενώ ακολουθεί η LT με παραγωγή ίση με 94,5 t/ha, υποδεικνύοντας ότι το *Trichoderma* δεν επηρεάζει την παραγωγή υπό συνθήκες άρδευσης με νερό μέσης EC. Αντίθετα η συνολική παραγωγή για τις μεταχειρίσεις HN και HT ήταν 75 και 81,8 t/ha αντίστοιχα. Το ύψος της παραγωγής μεταβάλλεται λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές των εμπορεύσιμων καρπών όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 27 (Δεξιά). Η αθροιστική εμπορεύσιμη παραγωγή της μεταχείρισης LN είναι αυξημένη κατά 7,2% σε σχέση με την LT. Ενώ η αθροιστική εμπορεύσιμη παραγωγή της μεταχείρισης HT είναι αυξημένη κατά 5,6% σε σχέση με την HN. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφορά στο μοτίβο της καμπύλης HN καθώς εξ αρχής παρουσιάζεται μειωμένη παραγωγή συγκριτικά με την μεταχείριση HT. Η τελευταία παρουσιάζει την ίδια τάση με τις μεταχειρίσεις μέσης αλατότητας ωστόσο η παραγωγή είναι μειωμένη όπως αναμένονταν. Το ύψος της εμπορεύσιμης παραγωγής που προέκυψε, συμπίπτει με τη βιβλιογραφία με τη μέση απόδοση της καλλιέργειας ντομάτας υπό κάλυψη να ανέρχεται μεταξύ 45-90 t/ha (Γρινιεζάκη 2013; Daliakopoulos et al. 2016b).

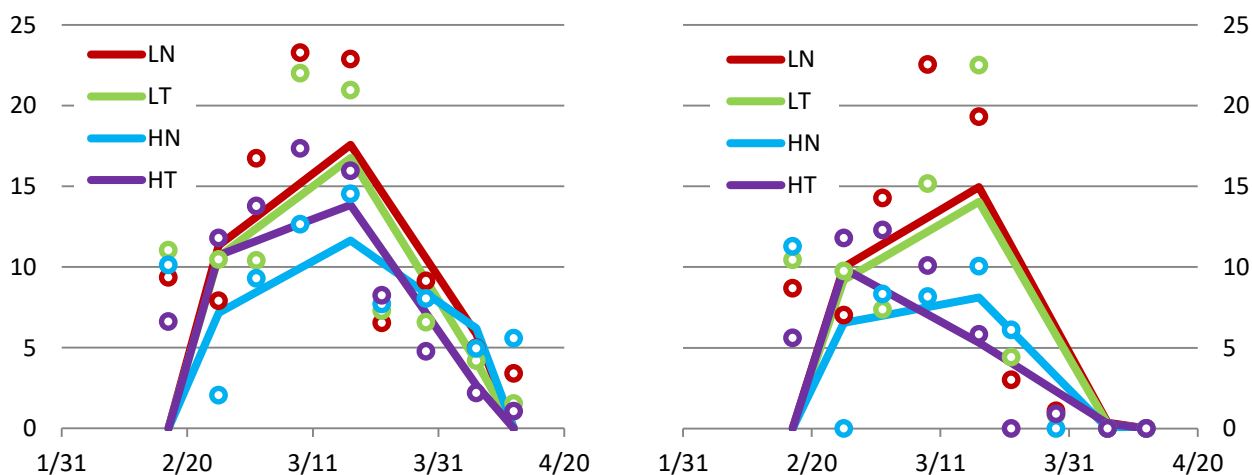


Τα αποτελέσματα δείχνουν μια αρχική ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών με *T. harzianum* αναλόγως και με τη συνολική παραγωγή για τις τρεις πρώτες συγκομιδές. Στη συνέχεια όμως η παραγωγή εξισορροπείται. Για την περίπτωση HT, αν και το ύψος της συνολικής παραγωγής καρπών ήταν αρκετά υψηλό (Εικόνα 26), οι καρποί δεν κάλυπταν τις προϋποθέσεις εμπορικότητας, κυρίως του μεγέθους, με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντική μείωση της εμπορεύσιμης παραγωγής για τη συγκεκριμένη διαχείριση (Εικόνα 27). Ωστόσο στις παραγωγικές περιόδους η διαφορά της καμπύλης

μεταξύ των δύο διαχειρίσεων υψηλής αλατότητας είναι εμφανής. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της παύσης της εμπορεύσιμης παραγωγής μετά το πέρας της 6^{ης} συγκομιδής. Χρονικά η διαφορά αυτή αντιστοιχεί ακριβώς στον δεύτερο μήνα από τη στιγμή που τα φυτά παρήγαγαν εμπορεύσιμους καρπούς (1η συγκομιδή: 17/02/2016 και 5η συγκομιδή: 17/03/2016).

4.6.4. Πρώιμη παραγωγή

Η Εικόνα 28 προσφέρει αποτυπώνει την ταχύτητα βλάστησης της τομάτας για κάθε μεταχείριση. Οι μεγαλύτερες κλίσεις που παρατηρούνται για τις μεταχειρίσεις LT και HT οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η χρήση του *Trichoderma* επηρέασε την ταχύτητα βλάστησης με αποτέλεσμα να επιτευχθεί αυξημένη πρώιμη παραγωγή. Η δυνατότητα αυτή αποτελεί χρήσιμη πληροφορία για παραγωγούς που έχουν στόχο την κάλυψη των καταναλωτικών αναγκών σε περίοδο μεγάλης ζήτησης. Σύμφωνα με την Εικόνα 30, η παραγωγικότερη περίοδος των φυτών συμπίπτει, με εξαίρεση τα φυτά της ομάδας HN, της οποίας η παραγωγικότητα δεν ήταν ιδιαίτερα αυξημένη. Τα φυτά κατά την 4^η και 5^η συγκομιδή, σε ηλικία 20 εβδομάδων από την ημερομηνία φύτευσης, παρουσίασαν την υψηλότερη παραγωγικότητα. Η συμπεριφορά των φυτών που αρδεύονταν με νερό μέσης EC φαίνεται να είναι παρόμοια στην Εικόνα 28 (δεξιά) για την εμπορεύσιμη παραγωγή, δείχνοντας αμελητέα επίδραση της εφαρμογής *Trichoderma*. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζεται ένα μέγιστο στην παραγωγή μέσης αλατότητας. Παρόμοια συμπεριφορά, αλλά μειωμένης όμως παραγωγής παρουσιάζει και η μεταχείριση HN. Αντιθέτως, τα φυτά της HT παρουσιάζουν μια αυξημένη αρχική παραγωγή (Εικόνα 28) που συνοδεύεται από απότομη μείωση. Κατά τις δύο τελευταίες συγκομιδές δεν βρέθηκε κανένας εμπορεύσιμος καρπός για καμία από τις τέσσερις μεταχειρίσεις, πιθανώς ως αποτέλεσμα της κόπωσης των φυτών από την επίδραση της αλάτωσης.



Εικόνα 28: Διακύμανση συνολικής (αριστερά) και εμπορεύσιμης (δεξιά) βιομάζας ανά μεταχείριση. Τα σημεία αποτελούν στιγμιαίες μετρήσεις συγκομιδής και οι γραμμές σταθμικούς μέσους ανά τρεις συγκομιδές.

4.6.5. Διαφορές ολικής και εμπορεύσιμης βιομάζας

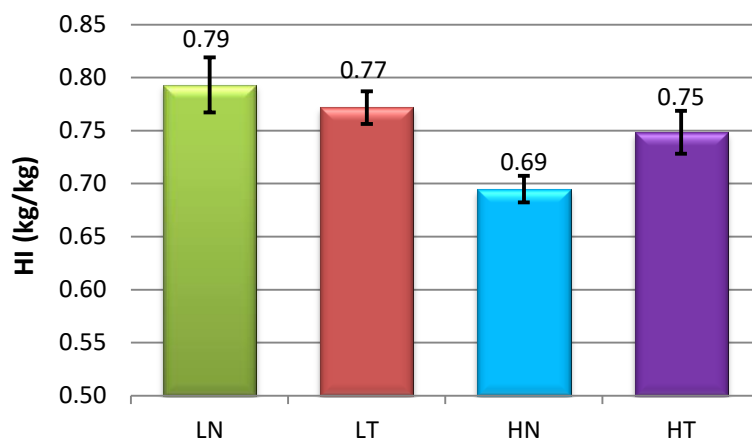
Η μείωση τις συνολικής με την εμπορεύσιμη παραγωγή για την εκάστοτε μεταχείριση είναι της τάξης του: 43,1% για HT, 41,4% για HN, 25,4% για LT και 27,1% για LN. Αυτές οι ποσοστιαίες μεταβολές υποδεικνύουν τις απώλειες της παραγωγής, συμπεραίνοντας πως η μεταχείριση LT είχε τις λιγότερες απώλειες λόγω διαφοράς εμπορικότητας καρπών. Έτσι διαπιστώνεται το πρόβλημα της αλατότητας καθώς οι διαφορές στην εμπορεύσιμη παραγωγή ξεπερνούν το 20% και για τις δύο ποιότητες νερού άρδευσης, επαληθεύοντας τα αποτελέσματα των Katerji et al. (2000) (Εικόνα 3). Τα αποτελέσματα για τα φυτά με *Trichoderma* δεν δείχνουν να υπάρχει σημαντική διαφορά στα ποσοστά της παραγωγής, αφού η αρχική τους αυξημένη παραγωγή είχε απότομη πτώση ύστερα από το συνεχή άρδευση υψηλής αλατότητας.

4.6.6. Σταθερότερη παραγωγή

Για την περίπτωση της μέσης αλατότητας (μεταχείριση LN και LT) η παραγωγή ήταν σχετικά σταθερή παρουσιάζοντας παρόμοια συμπεριφορά κατά την 3^η, 4^η, και 5^η συγκομιδή. Ωστόσο, για την περίπτωση της άρδευσης με νερό υψηλής αλατότητας (μεταχείριση HN και HT) παρατηρήθηκαν έντονες αυξομειώσεις στην παραγωγή. Πιο συγκεκριμένα, η μεταχείριση HT είχε μεγαλύτερη αρχική παραγωγή συγκριτικά με την HN η οποία άργησε να παράξει καρπούς. Για τους παραπάνω λόγους η παραγωγή για την περίπτωση του *Trichoderma* για τις τέσσερις πρώτες συγκομιδές είναι αυξημένη συγκριτικά με την HN κατά 31% για τη συνολική και 30% για την εμπορεύσιμη, γεγονός που σημαίνει ότι σχεδόν όλοι οι καρποί τηρούσαν τις προδιαγραφές εμπορικότητας. Για τις υπόλοιπες 5 συγκομιδές, όμως, η εικόνα αναστρέφεται με την κατηγορία HN να παρουσιάζει αύξηση στην συνολική παραγωγή κατά 21% και στην εμπορεύσιμη κατά 58%. Η μεγάλη αυτή διαφορά οφείλεται στις αβιοτικές πιέσεις που αντιμετώπισαν τα αποικισμένα φυτά της μεταχείρισης υψηλής αλατότητας καθώς οι καρποί ωρίμαζαν πρόωρα παρεμποδίζοντας την φυσιολογική, αναμενόμενη ανάπτυξη.

4.6.7. Δείκτης συγκομιδής

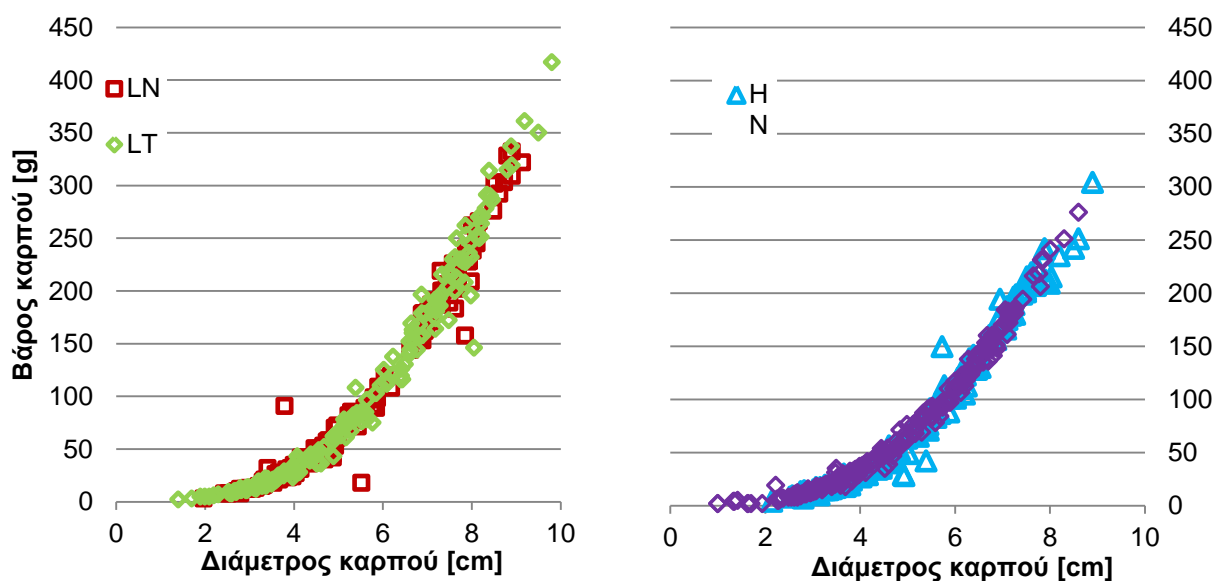
Εφαρμόζοντας την Εξίσωση (3), ο δείκτης HI για όλες τις μεταχειρίσεις αναγράφεται παρακάτω στην Εικόνα 29. Οι μεταχειρίσεις LN και LT, με τιμές 0,79 και 0,77 αντίστοιχα, δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στον δείκτη HI συνυπολογίζοντας και τις γραμμές σφάλματος, με τα φυτά της ομάδας LN να έχουν αποδώσει τις περισσότερες τομάτες σχετικά με τον όγκο τους. Ενδεικτικά οι LT και LN βρίσκονται μέσα στο εύρος των επιθυμητών τιμών 0,75 -0,85 για καλλιέργεια τομάτας υπό συνθήκες μέτριας αλατότητας (Wang et al. 2012; Cornell.edu 2016). Σε αντίθετη περίπτωση η μεταχείριση της υψηλής αλατότητας έδειξε να επηρεάζει τον HI ιδιαίτερα για την ομάδα HN με αποτέλεσμα τα φυτά στο σύνολο τους να έχουν παράξει λιγότερους καρπούς σε σχέση με τον συνολικό τους όγκο συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Όσον αφορά τις τιμές για την περίπτωση HT ο δείκτης φαίνεται να είναι στα επιθυμητά επίπεδα αφού τα φυτά είχαν υψηλή παραγωγή που όμως δεν τηρούσε τις προϋποθέσεις της εμπορικότητας.



Εικόνα 29. Δείκτης συγκομιδής HI (kg/kg) για όλες τις μεταχειρίσεις.

4.6.8. Μέγεθος και αριθμός καρπών

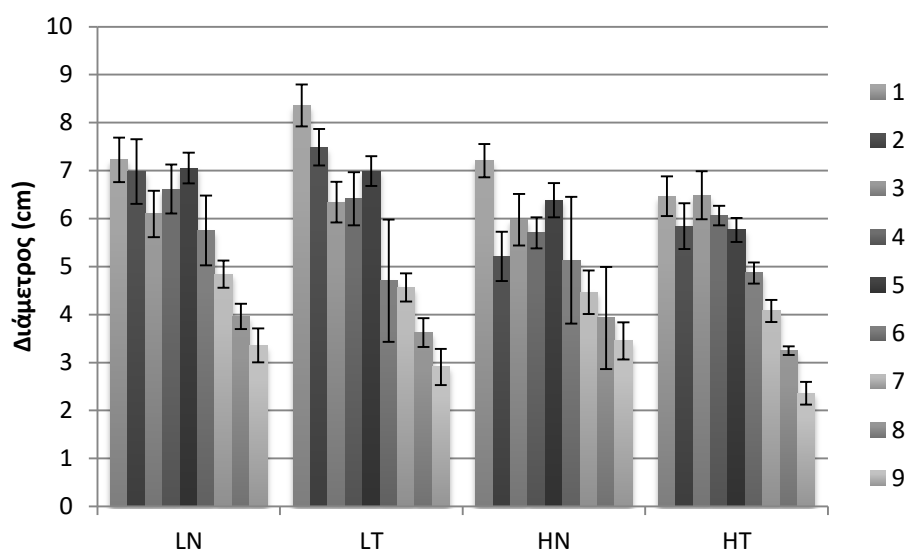
Όπως αναφέρθηκε και από τους Cuartero and Fernández-Muñoz (1999), αναμένονται μειωμένες τιμές σχετικά με τη βιομάζα των καρπών με την αύξηση της αλατότητας κάτι που αποδεικνύεται και από τα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 30.). Καρποί μεγαλύτεροι από 304 g παράχθηκαν μόνο στις μεταχειρίσεις μέσης αλατότητας, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 337 g παρατηρήθηκαν μόνο στην μεταχείριση LT. Για τις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας οι καρποί δεν ξεπέρασαν το βάρος των 304 g, ενώ δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των αποικισμένων και μη φυτών. Ωστόσο ο μεγαλύτερος καρπός προήλθε από τη μεταχείριση HN. Συνολικά, καμία μεταχείριση δεν παρήγαγε καρπούς με διάμετρο μεγαλύτερη των 10,2 cm που αποτελούν το όριο του μεγέθους για την κατηγορία GGG. Ενδιαφέρον έχει να διατυπωθεί ο βαρύτερος καρπός της καλλιέργειας ο οποίος ζύγιζε 417 g, άνηκε στην ομάδα (LT3) και συλλέχθηκε κατά την 1^η συγκομιδή.



Εικόνα 30. Αριστερά: Διάμετρος καρπών για όλες τις μεταχειρήσεις . Δεξιά: Διάμετρος καρπών για τις μεταχειρήσεις υψηλής αλατότητας (3.5 dS/m).

Το μέγεθος των καρπών μειώνεται από την έλλειψη νερού ειδικότερα στην φάση της ανάπτυξής τους. Παρόμοια επίδραση έχει και υπέρμετρη αλατότητα στη ριζόσφαιρα. Από το διάγραμμα της Εικόνας 30 οι καρποί που παράχθηκαν από φυτά αποικισμένα ήταν μεγαλύτεροι, παράγοντας περισσότερες τομάτες στα επιθυμητά μεγέθη Εικόνα 32 (δεξιά). Θεωρώντας ως ενδεικτικό βάρος για την συγκεκριμένη ποικιλία τα 240 g, αναφέρεται ότι η μεταχείριση LT παρήγαγε 22 καρπούς αντίστοιχου ή μεγαλύτερου βάρους, ενώ οι LN, HN και HT παρήγαγαν 14, 4 και 3 καρπούς αντίστοιχα.

Μια σημαντική παρατήρηση είναι το ότι με την πάροδο του χρόνου ποτίσματος με νερό υψηλής αλατότητας οι καρποί είχαν συνεχώς μειωμένο όγκο συμφωνώντας με τις παρατηρήσεις των Cuartero and Muñoz (1999). Από την Εικόνα 31. διαπιστώνεται η μείωση της μέσης διαμέτρου με την πάροδο του χρόνου ποτίσματος σύμφωνα με τις μετρήσεις της εκάστοτε συγκομιδής, όπως και η τάση των φυτών με *Trichoderma* για πρώιμη παραγωγή μεγαλύτερων καρπών. Μέχρι την 5^η συγκομιδή, οι καρποί που παράχθηκαν από φυτά εμβολιασμένα με *Trichoderma* παρουσιάζουν μεγαλύτερες μέσες διαμέτρους. Αντίθετα μετά το πέρας της 5^{ης} συγκομιδής παρατηρείται απότομη μείωση στη μέση διάμετρο των αποικισμένων φυτών συγκριτικά με τα LN και HN .



Εικόνα 31.Μέση διάμετρος καρπών ανά συγκομιδή.

4.7.Ποιότητα καρπών

Βιβλιογραφικά, η συγκέντρωση ζακχάρων όπως και η οξύτητα των καρπών αυξάνονται λόγω της υψηλής αλατότητας (Ho and Hewitt 1986; Mitchell and Shennan 1991). Πειραματικά, σχετικά με το ασκορβικό οξύ παρατηρείται μικρή αύξηση για όλες τις περιπτώσεις συγκριτικά με την πρώτη ανάλυση που έλαβε χώρα τον Φεβρουάριο όπου οι τιμές κυμαίνονταν μεταξύ 20-25 mg/100 g χυμού και τη δεύτερη που πραγματοποιήθηκε τον Μάρτιο με όλες τις τιμές να ξεπερνάνε τα 25 mg/100 g χυμού. Οι τιμές των μεταχειρίσεων LT και HT είναι ελαφρά υψηλότερες. Όσον αφορά τη συγκέντρωση των ζακχάρων, όλες η μεταχειρίσεις έδειξαν να έχουν αυξητική τάση με την πάροδο του

χρόνου άρδευσης. Κατά την τελευταία ανάλυση που έλαβε χώρα τον Μάρτιο, υψηλότερες συγκεντρώσεις σε TSS παρουσίασε η μεταχείριση HT. Για την ολική οξύτητα, παρατηρείται μια γενική πτώση των μέσων τιμών με την πάροδο του χρόνου (από τον Φεβρουάριο έως τον Μάρτιο) για όλες τις μεταχειρίσεις σε αντίθεση με τη βιβλιογραφία. Η μεγαλύτερη πτώση παρατηρείται για την μεταχείριση HT καθώς οι συγκεντρώσεις πλησιάζουν το κατώτερο όριο των 0,25 g citric acid/100g. Μικρότερη πτώση της ολικής οξύτητας παρουσιάζουν οι μεταχειρίσεις χωρίς προσθήκη τριχοδέρματος (LN, HN). Έτσι η πρόταση των Ho and Hewitt (1986) και Mitchell and Shennan (1991), επιβεβαιώνεται εν μέρη αναφερόμενοι στις συγκεντρώσεις των TSS και της βιταμίνης C (ασκορβικό οξύ). Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις της αυξημένης αλατότητας οι τιμές της μεταχείρισης HT ήταν αυξημένες όσον αφορά και τις δύο αυτές παραμέτρους. Τέλος όσον αφορά τις αναλύσεις του χρώματος, τα αποτελέσματα έδειξαν παρεμφερή χρωματισμό για τα δείγματα των καρπών και για τις δύο αναλύσεις αποδεικνύοντας πως οι καρποί βρισκόντουσαν σε παρόμοιο στάδιο ωρίμανσης κατά τις συγκομιδές. Τα αποτελέσματα αναλύονται εκτενέστερα από τους Apostolakis et al. (2016) και Κουτσκουδή και Τσάνη (2016).

5. Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση του παρόντος πειράματος έγινε ένα ακόμα βήμα στην εξακρίβωση της συμπεριφοράς των φυτών τομάτας που υποβάλλονται σε στρες αλατώσης και στην κατανόηση των μηχανισμών του *Trichoderma harzianum*. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών αποικισμού είναι σαφές ότι το συγκεκριμένο είδος συμβιωτικού μύκητα υπό τη μορφή εμβολιασμού σε σπορόφυτα είναι σε θέση να αποικίζει επιτυχώς το συγκεκριμένο φυτό, συμφωνώντας με τα συμπεράσματα των Cai et al. (2015).

Σημαντικό συμπέρασμα αποτελεί η μείωση των τιμών ECe με την πάροδο του χρόνου ποτίσματος με υφάλμυρο ύδωρ στα συγκεκριμένα εδάφη. Το γεγονός αυτό υπογραμμίζει την αρχικά μεγάλη περιεκτικότητά τους σε Ca^{+} οπότε η τιμή ECe δεν επαρκεί για τον πλήρη χαρακτηρισμό του βαθμού αλάτωσης των εδαφών αλλά απαιτείται και ο υπολογισμός του SAR και του pH. Αντίθετα, ο δείκτης SAR αυξάνεται σημαντικά και το pH παρουσιάζει μικρή άνοδο. Έτσι, μετά το πέρας του πειράματος, το έδαφος των μεταχειρίσεων LN προέκυψε Αλατούχο (Saline), αυτό των LT χαρακτηρίζεται επίσης Αλατούχο αλλά σε καλύτερη κατάσταση. Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας το έδαφος της HN χαρακτηρίζεται ως Αλατούχο – Αλκαλικό (Saline- Sodic) με τιμή SAR αρκετά μεγαλύτερη από την οριακή τιμή κατωφλίου, ενώ το έδαφος της HT χαρακτηρίζεται οριακά Αλατούχο και Νατριωμένο με τιμές SAR κοντά στην οριακή τιμή.

Μέσω της εδαφικής υγρασίας δίνεται μια εικόνα της συνοχής του χώματος και της ικανότητάς του να συγκρατεί το νερό αλλά και την κατάσταση του φυτού το οποίο απορροφά τις απαραίτητες ποσότητες για την επιβίωσή του. Για την περίπτωση της υψηλής αλατότητας χωρίς την εφαρμογή του *Trichoderma* παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες ποσότητες ύδατος παγιδευμένου στις γλάστρες καθώς τα φυτά δεν ήταν σε θέση να απορροφήσουν της αντίστοιχες ποσότητες λόγω της αύξησης των συγκεντρώσεων των αλάτων. Δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες διαφορές στις μεταχειρίσεις μέσης αλατότητας. Το παραπάνω γεγονός επαληθεύει τη θετική επίδραση του μύκητα στην εδαφική δομή.

Όσον αφορά την παραγωγικότητα, σχετικά με την αλατότητα και το *Trichoderma harzianum* φαίνεται πως για τις τιμές μέσης αλατότητας για τις περιπτώσεις LN και LT οι οποίες κυμαίνονταν στα 1,1 dS/m δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την παραγωγή επομένως δεν αναμένεται σημαντική προσφορά του μύκητα. Αντιθέτως, το *Trichoderma* έδειξε να ευνοεί την παραγωγή για υψηλότερες τιμές αλατότητας που κυμαίνονταν στα 3,5 dS/m για τις περιπτώσεις HN και HT ιδιαίτερα στις πρώτες συγκομιδές όπου οι διαφορές ήταν μεγαλύτερες. Από τα διαγράμματα των κλίσεων της αθροιστικής παραγωγής, της ανάπτυξης της βιομάζας και των τάσεων των φυτών για παραγωγή ταξιανθιών παρατηρείται μια ταχύτερη ανάπτυξη των αποικισμένων φυτών. Οι παρατηρήσεις συμφωνούν με τα συμπεράσματα των Mastouri et al. (2010). Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα ανάπτυξης είναι φανερό και η ταχύτερη ανάπτυξη φυτών που υποβάλλονται σε μεγαλύτερο στρες λόγω άρδευσης υφάλμυρου ύδατος αφού

και στις δύο περιπτώσεις τα φυτά ξεπέρασαν εκείνα τις μεταχείρισης μέσης αλατότητας ενώ τα δεύτερα αναπτύχθηκαν ομαλότερα και τελικά ξεπέρασαν τα πρώτα ως προς τον δείκτη Harvest Index.

Όπως η ανάπτυξη, έτσι και η παραγωγή των φυτών HT και HN έδειξε να είναι πιο πρόωμη και τελικά μειωμένη σε ποσοστό πάνω από 20% από τη μεταχείριση μέσης αλατότητας όπως προβλέπεται και από τη βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα τα φυτά αποικισμένα με *Trichoderma* (HT) παρουσίασαν ομοιόμορφη αρχική παραγωγή. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την αύξηση της διαμέτρου των καρπών στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του φυτού, όπως παρατηρήθηκε και από τους Bal and Altintas (2006). Στη συνέχεια όμως προέκυψαν προβλήματα καθώς οι καρποί παρουσίαζαν πρόωρη ωρίμανση με αποτέλεσμα την παραγωγή μη εμπορεύσιμων καρπών λόγω μεγέθους. Τα φυτά της ομάδας HN δεν παρουσίασαν σταθερή παραγωγή, ωστόσο η παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών συνεχίστηκε για μεγαλύτερη περίοδο αν και η τελική μάζα αποδείχθηκε μειωμένη.

Σχετικά με την ποιότητα των καρπών, οι τιμές των μεταχειρίσεων LT και HT είναι ελαφρά υψηλότερες από τις αντίστοιχες LN και HN λαμβάνοντας υπόψη το μικρότερο σφάλμα και τη μικρότερη διασπορά των αποτελεσμάτων. Κατά την τελευταία ανάλυση που έλαβε χώρα τον Μάρτιο, υψηλότερες συγκεντρώσεις σε TSS παρουσίασε η μεταχείριση HT, ενώ όλες οι μεταχειρίσεις είχαν αυξημένες τιμές συγκριτικά με τις προηγούμενες αναλύσεις.

Στα πλαίσια της συνεργασίας με τους παραγωγούς της περιοχής μελέτης, δόθηκε η δυνατότητα ανταλλαγής απόψεων και σύγκρισης των αποτελεσμάτων του ΤΗ σχετικά με την ανάπτυξη των φυτών και την ποιότητα των καρπών υπό συνθήκες αλάτωσης. Σε γενικές γραμμές παρατηρήθηκε ότι οι τομάτες ήταν πιο ομοιόμορφες και κυρίως Α ποιότητας, δεν είχαν διακυμάνσεις στο μέγεθος παρουσιάζοντας ομοιομορφία και το φυτό ήταν πιο «ζωηρό» και πιο σκουρόχρωμο. Σε άλλη περίπτωση παρατηρήθηκε αυξημένη παραγωγή από τον καλλιεργητή το στοιχείο αυτό όμως δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί. Σημαντικό είναι επίσης και το γεγονός ότι δεν καταγράφηκε φυτό αποικισμένο με ΤΗ το οποίο να προσβλήθηκε από κάποιο παθογόνο του εδάφους ενώ σε κάποια από τα θερμοκήπια εμφανίστηκε βοτρίτης.

Ενθαρρυντικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι οι τιμές πεδίου κυμαίνονται κάτω από την τιμή HT παρέχοντας περιθώριο δράσης και αισιοδοξίας για τη διατήρηση των εδαφών. Τέλος προτείνεται η ποσοτικοποίηση του αποτυπώματος της χρήσης του μύκητα *Trichoderma harzianum* έναντι του οικονομικού οφέλους του παραγωγού σε επίπεδο περιφέρειας καθώς με την παραπάνω πρακτική αποφεύγεται η χρήση χημικών σκευασμάτων για την αλλαγή της αλατότητας του εδάφους και ως εντομοκτόνων με γνώμονα την προστασία και διατήρηση του περιβάλλοντος.

Βιβλιογραφία

Agrotikistegi, 2016. www.agrotikistegi.gr, accessed: 1/4/2016

Ahmed, L., Martin-Diana, A.B., Rico, D. & Barry-Ryan, C., 2011. The antioxidant properties of whey permeate treated fresh-cut tomatoes. *Food Chem.* 124, 1451–1457. ALBERTSEN.

Al-hazmi, A.S. & Tariqjaveed, M., 2015. Effects of different inoculum densities of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* against *Meloidogyne javanica* on tomato. *SAUDI JOURNAL OF BIOLOGICAL SCIENCES*, pp.0–4. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.04.007>.

Ali, M.H., 2011. Practices of Irrigation & On-farm Water Management: Volume 2. In New York, NY: Springer New York, pp. 271–325.

AOAC 1995. Official Methods of Analysis.

Atanasova, L., Le Crom, S., Gruber, S., Couplier, F., Seidl-Seiboth, V., Kubicek, C.P. & Druzhinina, I.S., 2013. Comparative transcriptomics reveals different strategies of *Trichoderma mycoparasitism*. *BMC Genom.* 14, 121.

Bal, U. & Altintas, S., 2006. Effects of *Trichoderma harzianum* on the yield and fruit quality of tomato plants (*Lycopersicon esculentum*) grown in an unheated greenhouse. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46, 131–136.

Van Beek, C.L. & Tóth, G., 2012. Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe. JRC Scientific and Policy Reports EUR 24097.

Benton Jones, J.J., 2008. *Tomato Plant Culture. 2nd Edition*.

Bouyoucos, G.J., 1927. The Hydrometer as a new Method for Mechanical Analysis of Soils. Michigan Agricultural Experiment Station.

Cai, F., Chen, W., Wei, Z. & Pang, G., 2015. Colonization of *Trichoderma harzianum* strain SQR-T037 on tomato roots and its relationship to plant growth, nutrient availability and soil microflora. , pp.337–350.

Chahdi, A.O., Chliyah, M., Mouria, B., Dahmani, J. & Ouazzani, A., 2014. of Recent Scientific Research Article In Vitro And In Vivo Effect Of Salinity On The Antagonist Potential Of *Trichoderma Harzianum* And Sensitivity Of Tomato To *Verticillium Wilt* 781 pp.780–791.

Clement, J., Novas, N., Gazquez, J.-A. & Manzano-Agugliaro, F., 2012. High speed intelligent classifier of tomatoes by colour, size and weight. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(2), pp.314–325..

Cornell.edu, 2016. http://zamir.sgn.cornell.edu/Qtl/Trait_card/HI.html accessed: 13/10/2016

Cuartero, J. & Fernández-Muñoz, R., 1998. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 83–125.

Daami-remadi, H.J.M., 2009. Biological Control of Tomato *Verticillium Wilt* by Using Indigenous *Trichoderma* spp .

Dahnke, W. & Whitney, D., 1988. Measurement of soil salinity. Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region. *North Dakota Agric. Exp. Stn. Bull.* , pp.32–34.

Daliakopoulos I.N., Pappa, P., Grillakis, M.G., Varouchakis, E.A., Tsanis, I.K., 2016a. Modelling soil salinity in greenhouse cultivations under a changing climate with SALTMED: Model

- modification and application in Timpaki, Crete. *Soil Science*, 181 (6), 241-251.)
- Daliakopoulos, I.N., Tsanis, I.K., Koutroulis, A., Kourgialas, N.N., Varouchakis, A.E., Karatzas, G.P., Ritsmema, C.J., 2016b. The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of the Total Environment* 573 (2016). pp. 727-739. ELSEVIER
- Daskalaki, P., and K. Voudouris. "Groundwater quality of porous aquifers in Greece: a synoptic review." *Environmental Geology* 54.3 (2008): 505-513.
- Dorais, M., Papadopoulos, A. & Gosselin, A., 2001. Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Reviews* 26: 239–319.
- El-katatny, M.H., 2010. Enzyme Production and Nitrogen Fixation by Free , Immobilized and Coimmobilized Inoculants of *Trichoderma harzianum* and *Azospirillum brasilense* and Their Possible Role in Growth Promotion of Tomato. , 48(2), pp.161–174.
- El-Katatny, M.H., Abdelzaher, H.M. a. & Shoulkamy, M. a., 2006. Antagonistic actions of *Pythium oligandrum* and *Trichoderma harzianum* against phytopathogenic fungi (*Fusarium oxysporum* and *Pythium ultimum* var. *ultimum*). *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*, 39(4), pp.289–301. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03235400500222396>.
- Ewekeye, T.S., Oke, O.A., Seriki, O.B. & Bello, A.T., 2013. NIn-vitro Biocontrol of Fungi Associated with Leaf Diseases of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) using *Trichoderma* Specieso Title. , 11(7), pp.124–128.
- Fatima, K., Noureddine, K., Henni, J.E. & Mabrouk, K., 2015. Antagonistic effect of *Trichoderma harzianum* against *Phytophthora infestans* in the North-west of Algeria. , 6(4), pp.44–53.
- Geeson, N.A., Brandt, C.J., Thornes, J.B., 2003. Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Goswami, J., Pandey, R.K., Tewari, J.P. & Goswami, B.K., 2015. Management of root knot nematode on tomato through application of fungal antagonists, *Acremonium strictum* and *Trichoderma harzianum*. *Journal of environmental science and health. Part. B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, 43(3), pp.237–240.
- Hao, X., Papadopoulos, A., Dorais, M., Ehret, D.L., Turcotte, G. & Gosselin, A., 2000. Improving tomato fruit quality by raising the EC of NFT nutrient solutions and calcium spraying: Effects on growth, photosynthesis, yield and quality. *Acta Hort.* 511. , pp.213–224.
- Hartz, T.K., Johnstone, P.R., Francis, D.M., Miyao, E.M., 2005. Processing Tomato Yield and Fruit Quality Improved with Potassium Fertilization. *HORT SCIENCE* 40(6):1862–1867.
- Hayashi, H., Toyofuku, K., Taguchi, T., & Ogawa, A. (2014). Cultivation Methods for Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with High Soluble Solids Content Using the Vertically Split Root System. *Environmental Control in Biology*, 52(3), 123-129.
- Chicago Heber, D., 2000. Colorful cancer prevention: alpha-carotene, lycopene and lung cancer. *Am. J. Clin. Nutr.* 72, 901–902.
- Heeb, A., 2005. Organic or mineral fertilization. Effects on tomato plant growth and fruit quality. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. HEIN.
- Huang, Z., He, C., He, Z., Zou, Z. & Zhang, Z., 2010. The Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Reactive Oxyradical Scavenging System of Tomato Under Salt Tolerance. *Agricultural Sciences in China.* , pp.1150–1159.
- Inal, A., Growth, proline accumulation and ionic relations of tomato as influenced by NaCl and

- NaSO₄. TUBITAK Turk. J. Bot. 26, 285–290. 2002.
- Jabnoun-Khiareddine, H., Daami-Remadi, M., Ayed, F., El Mahjoub., M., 2009. Biological Control of Tomato Verticillium Wilt by Using Indigenous Trichoderma spp. The African Journal of Plant Science and Biotechnology.
- Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S. & Bouraoui, F., 2012. *The state of soil in Europe*.
- Katerji, N., Van Hoorn, J.W., Hamdy, A. & Mastrorilli, M., 2000. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agricultural Water Management*, 43(1), pp.99–109.
- Kleifeld, O. & Chet, I., 1992. Trichoderma harzianum- interaction with plants and effect on growth response increased number of blooms in Periwinkles. , 203, pp.267–272.
- Koutroulis, A.G., Tsanis, I.K., Daliakopoulos, I.N., 2010. Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology*. ELSEVIER
- Kritsotakis, M., and I. K. Tsanis. "An integrated approach for sustainable water resources management of Messara basin, Crete, Greece." *Eur Water* 27.28 (2009): 15-30.
- Levy, N.O., Harel, Y.M., Haile, Z.M., Elad, Y., Rav-david, E., Jurkevitch, E. & Katan, J., 2015. Induced resistance to foliar diseases by soil solarization and Trichoderma harzianum. , (365), pp.365–374.
- Li, R., Cai, F., Pang, G., Shen, Q., Li, R. & Chen, W., 2015. Solubilisation of Phosphate and Micronutrients by Trichoderma harzianum and Its Relationship with the Promotion of Tomato Plant Growth. , pp.1–16. Available at: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0130081>.
- López-bucio, J., Pelagio-flores, R. & Herrera-estrella, A., 2015. Scientia Horticulturae Trichoderma as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Scientia Horticulturae*, 196, pp.109–123. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.043>.
- Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A. & De Pascale, S., 2007. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, 59(3), pp.276–282.
- Mastouri, F., Björkman, T. & Harman, G.E., 2010. Seed Treatment with Trichoderma harzianum Alleviates Biotic , Abiotic , and Physiological Stresses in Germinating Seeds and Seedlings. , 100(11).
- Mastouri, F., Björkman, T. & Harman, G.E., 2012. Trichoderma harzianum Enhances Antioxidant Defense of Tomato Seedlings and Resistance to Water Deficit. , 25(9), pp.1264–1271.
- Mohamed, H.A.L.A. & Haggag, W.M., 2006. Biocontrol potential of salinity tolerant mutants of Trichoderma harzianum against Fusarium oxysporum. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37(2), pp.181–191.
- Nebauer, S., Sánchez, M., Martínez, L., Lluch, Y. & Renau-Morata, B, et al., 2013. Differences in photosynthetic performance and its correlation with growth among tomato cultivars in response to different salts. *Plant Physiology and Biochemistry* 63: 61–69. doi: 10.1016/j.plaphy.2012.11.006 PMID: 23232248.
- Nzanza, B., Marais, D. & Soundy, P., 2012. Scientia Horticulturae Yield and nutrient content of tomato (Solanum lycopersicum L .) as influenced by Trichoderma harzianum and Glomus mosseae inoculation. , 144, pp.55–59.
- OJ, 2009. Establishing the standard import values for determining the entry price of certain fruit and vegetables. Commission Regulation (EC) No 771/2009 of 25 August 2009 amending Regulation

(EC) No 1580/2007.

- Peinemann, N., Guggenberger, G., & Zech, W. (2005). Soil organic matter and its lignin component in surface horizons of salt-affected soils of the Argentinian Pampa. *Catena*, 60(2), 113–128.
- Prager, K., Schuler, J., Helming, K., Zander, P., Ratinger, T., Hagedorn, K., 2011. Soil degradation, farming practices, institutions and policy responses: An analytical framework. *Land degradation & development* 22, 32–46.
- Ragab, R., 2002. A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: the SALTMED model. *Environmental Modelling & Software*, 17(4), pp.345–361.
- Rao, A.V. & Agarwal, S., 2000. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *J. Am. Coll. Nutr.* 19. , pp.563–569.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Regragui, A. & Lahlou, H., 2005. Effect of Salinity on in vitro *Trichoderma harzianum* Antagonism Against *Verticillium dahliae*.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science* 78.
- Seaman, A., Seaman A (2003), Efficacy of OMRI-approved products for tomato foliar disease control. New York State Integrated Pest Management Program publication, Vol. 129, pp. 164-167.
- Shahid, S., Abdelfattah, M.A. & Taha, F.K. (Eds. , 2013. *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Singh, M., 2016. Archives of Phytopathology and Plant Protection Interactions among arbuscular mycorrhizal fungi , *Trichoderma harzianum* , *Aspergillus niger* and biocontrol of wilt of tomato. , 5408(January).
- Snyder, R.G., Contents. *Greenhouse Tomato Handbook*, Mississippi State University.
- Sonmez, S., Buyuktas, D., Okturen, F. & Citak, S., 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma* 144, pp.361–369.
- Spyridaki, E., 2008. *Preliminary study on the causes of death in areas Timpaki Messara (P. Heraclion) and Anogia Mylopotamos (P.Rethimno) in the period 1980-2006*. Greece: Technical University of Crete.
- Súarez, M.H., Rodriguez, E.M.R. & Romero, C., 2008. Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chem.* 106. , pp.1046–1056.
- Thanopoulos, R., Samaras, S., Ganitis, K., Gatzelaki, C., Kotaki, E., Psara, E., Kipriotakis, Z., Tzitzikas, E., Kalaitzis, P., Terzopoulos, P. & Mpempeli, P., 2008. Local varieties of cultivated species in Crete emphasizing on vegetables, A potential for multiple use. *Agriculture - Livestock*, (9).
- Tomatodirt, 2016. Tomatodirt.com/heirloom-tomatoes.html, accessed: 7/10/2016
- Toor, R.K. & Savage, G.P., 2005. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. , 38, pp.487–494.
- Tuna, A., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H. & Yokas, I., 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress.

Environmental and Experimental Botany, 59, pp.173–178.

- Tzortzakos, E.A., da Conceicao, I.L.P.M., dos Santos, M.C.V. & Abrantes, O., 2011. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Greece. *Hellenic Plant Protection Journal* 4.
- Tzortzakos, N. G., Economakis, C. D., 2008. Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. *Hort. Sci. (Prague)*, 35, 2008 (2): 83–89
- Vafidis A., Andronikidis N., Hamdan H., Kritikakis G., Economou N., Panagopoulos G., Soupios P., Steiakakis E., Manoutsoglou E., 2013. The Clearwater Project: preliminary results from the geophysical survey in Tympakitr, Crete, Greece
- Vitti, A., Sofo, A., Scopa, A. & Nuzzaci, M., 2015. Sustainable Agricultural Practices in Disease Defence of Traditional Crops in Southern Italy : The Case Study of Tomato Cherry Protected by *Trichoderma harzianum* T-22 Against Cucumber Mosaic Virus (CMV). , (Cmv), pp.133–143.
- Wilcox, J.K., Catignani, G.L. & Lazarus, C., 2003. Tomatoes and cardiovascular health. *Crit. Rev. Food Sci.* 43. , pp.1–18.
- Yurtseven, E. & Kesmez, G.D., 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield , fruit quality and water consumption of a native central anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*). , 78, pp.128–135.
- Zekki, H., Gauthier, L., Gosselin, A., 1996. Growth, Productivity, and Mineral Composition of Hydroponically Cultivated Greenhouse Tomatoes, with or without Nutrient Solution Recycling. *Journal of the American Society for Horticultural Science*
- Zhai, Y., Yang, Q. & Hou, M., 2015. The effects of saline water drip irrigation on tomato yield, quality, and blossom-end rot incidence "a 3a case study in the South of China. *PLoS ONE*, 10(11), pp.1–17. Available at: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0142204>.
- Zimand, G., Elada, Y. & Chet, I., 1996. Effect of *Trichoderma harzianum* on *Botrytis cinerea* Pathogenicity.
- Αβραμίδου, Ε., 2007. Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στον Ελλαδικό χώρο, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτελείο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- ΔΕΔΙΣΑ. 2016. Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων. Έρευνα για τη δυνατότητα διάσπασης πλαστικών υπολειμμάτων .
- Γρινιεζάκη, Ε., 2013. Βιολογική καλλιέργεια ντομάτας υπό κάλυψη, Πτυχιακή εργασία, Ηράκλειο.
- Κριτωτάκης, Μ. και Παυλίδου, Σ., 2013. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΚΡΗΤΗΣ. Αποκεντρωμένη διοίκηση Κρήτης. Γενική δ/ση χωροταξικής και περιβαλλοντικής πολιτικής. Διεύθυνση υδάτων
- Λυκοσκούφης, Ι.Ηλ. 2011. Ανάπτυξη Συστήματος Μείωσης της Σχετικής Υγρασίας στο Θερμοκήπιο με τη Χρήση Αντλίας Θερμότητας και Υγροσκοπικών Υλικών. Διδακτορική Διατριβή
- Πετρόπουλος, Σ., 2013. Επιδρασεις Του Αβιοτικού Και Βιοτικού Περιβάλλοντος Στην Παραγωγή Λαχανικών, Προγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος 2η Κατεύθυνση-Φυτική Παραγωγή και Περιβάλλον, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.