



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

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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης νέων βιοδιεγερτών σε
θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας για τη μείωση των επιπτώσεων
της συνδυασμένης καταπόνησης που προκαλεί
η ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων (N, P) και νερού

Χρήστος Δ. Βούρδας

Επιβλέπων καθηγητής:

Δημήτριος Σάββας, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2022**

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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης νέων βιοδιεγερτών σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας για την μείωση των επιπτώσεων της συνδυασμένης καταπόνησης που προκαλεί η ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων (N, P) και νερού

“Investigation on the possibility of using novel biostimulants at greenhouse tomato crop in order to reduce the effects caused by combined water and nutrient (N, P) deficiency”

Χρήστος Δ. Βούρδας

Εξεταστική Επιτροπή:

Δημήτριος Σάββας, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Ιωάννης Καραπάνος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Γεωργία Ντάτση, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης νέων βιοδιεγερτών σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας για την μείωση των επιπτώσεων της συνδυασμένης καταπόνησης που προκαλεί η ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων (N, P) και νερού

ΠΜΣ Τομείς αιχμής & καινοτόμες εφαρμογές στην παραγωγή & συντήρηση οπωροκηπευτικών & ανθοκομικών ειδών

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καλλιέργεια της τομάτας σε υδροπονικά συστήματα καταναλώνει υπερβολικές ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων, τα οποία εισέρχονται μέσα από το θρεπτικό διάλυμα και η απορροή τους είναι επιβλαβής για το περιβάλλον ειδικά όταν το σύστημα υδροπονίας είναι ανοικτού τύπου. Μια πολλά υποσχόμενη λύση για την μείωση της χρήσης νερού και λιπασμάτων είναι η εφαρμογή βιοδιεγερτών οι οποίοι ενεργοποιούν μηχανισμούς των φυτών που αυξάνουν την αποδοτικότητα χρήσης του νερού και των θρεπτικών.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη μελετήθηκαν 3 διαφορετικά σκευάσματα βιοδιεγερτών σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας η οποία αναπτυσσόταν υπό ιδανικές συνθήκες και υπό συνθήκες συνδυασμένης καταπόνησης έλλειψης νερού και θρεπτικών στοιχείων. Τα 3 σκευάσματα που επιλέχτηκαν ήταν ένα με υδρολυμένες πρωτεΐνες (Edypro), ένα με στριγγολακτόνες (Strigolab) και ένα με εκχυλίσματα φυκών (Maxicrop). Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν την μελέτη των θρεπτικών στοιχείων στην ριζόσφαιρα, την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών και την ποιότητα των καρπών.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν πως η συνδυασμένη καταπόνηση επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, αφού μείωσε τόσο την βιομάζα και την φωτοσύνθεση τους, όσο και την τελική παραγωγή σε καρπούς. Η εφαρμογή των βιοδιεγερτών δεν κατάφερε να αντιμετωπίσει την επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Edypro μείωσε την παραγωγή των καρπών, ενώ η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Maxicrop δεν επηρέασε σημαντικά τις περισσότερες παραμέτρους ανάπτυξης και παραγωγής των φυτών. Αντίθετα, η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Strigolab αύξησε την φυλλική επιφάνεια των φυτών στο ενδιάμεσο της καλλιέργειας και την πρώιμη παραγωγή των καρπών. Ωστόσο, κατά το τέλος της καλλιέργειας, ούτε ο βιοδιεγέρτης Strigolab φαίνεται να επηρέασε σημαντικά την τελική παραγωγή.

Η χρήση των βιοδιεγερτών δεν έχει μελετηθεί εκτενώς για καλλιέργεια σε υδροπονικά συστήματα και θα πρέπει να πραγματοποιηθούν περισσότερες μελέτες για να εξακριβωθεί ποια σκευάσματα μπορούν να συνεισφέρουν στην μείωση των εισροών νερού και θρεπτικών στοιχείων στις υδροπονικές καλλιέργειες με ταυτόχρονη διατήρηση της υψηλής παραγωγής

Επιστημονική περιοχή: Κηπευτικές Καλλιέργειες

Λέξεις κλειδιά: Υδροπονία, έλλειψη νερού, έλλειψη αζώτου, έλλειψη φωσφόρου, εκχυλίσματα φυκών, φυτορμόνες, εκχυλίσματα πρωτεϊνών

Investigation on the possibility of using novel biostimulants at greenhouse tomato crop in order to reduce the effects caused by combined water and nutrient (N, P) deficiency

MSc Top sectors & innovative applications in the production & preservation of fruit & vegetable & floricultural products

Department of Crop Science

Laboratory of Vegetable Production

ABSTRACT

Hydroponically grown tomato consumes high amounts of water and nutrients, which are added through the nutrient solution and, consequently, resulting to environmental pollution due to the drainage solution at open systems. A promising solution to reduce the water and fertilizers is the application of biostimulants which can activate mechanisms in plants that increase water and nutrient use efficiency.

At the present study, 3 different biostimulants were tested at hydroponically grown tomato, cultivated under combined water and nutrient stress. The 3 selected biostimulants were: one with protein hydrolysates (Edypro), one with strigolactones (Strigolab) and one with seaweed extracts (Maxicrop). Obtained measurements focused on nutrient solution in plants rhizosphere, plant growth, fruit production and fruit quality characteristics.

Combined water and nutrients stress resulted in significantly decreased plant growth and yield, since plants had lower photosynthetic rate, biomass and total fruit production. The application of biostimulants was not able to sustain high yield under combined water and nutrient stress. More specifically, the application of Edypro biostimulant showed decreased fruit production. Application of Maxicrop biostimulant did not have any significant effect at most of growth parameters studied. On the contrary, the application of Strigolab biostimulant increased early leaf area development of plants and early fruit yield. However, total yield was not significantly affected by the application of Strigolab biostimulant.

Application of biostimulants is not extensively studied at hydroponic cultivation systems and more studies are needed to ascertain which biostimulant products are able to contribute to the reduction of water and nutrient consumption, by concomitantly sustaining high fruit yields.

Scientific area: Vegetables

Keywords: Hydroponics, water stress, nitrogen stress, phosphorus stress, seaweed extracts, phytormones, protein hydrolysates

Ευχαριστίες

Μετά την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου διατριβής θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Σάββα Δημήτρη, Καθηγητή του Τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παράγωγης, του Γ.Π.Α, για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση, την πολύτιμη βοήθεια του στο εργαστηριακό μέρος αλλά και για την γενικότερη συμπαράσταση του κατά την διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της παρούσας διατριβής.

Τις θερμές ευχαριστίες επιθυμώ επίσης να εκφράσω και στα άλλα δυο μέλη τις Τριμελούς Επιτροπής

- Δημήτριος Σάββας, Καθηγητής
- Ιωάννης Καραπάνος, Επίκουρος Καθηγητής
- Γεωργία Ντάτση, Επίκουρη Καθηγήτρια

του Τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παράγωγης, του Γ.Π.Α, που δέχτηκαν να βαθμολογήσουν και να αξιολογήσουν την παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον Καλοζούμη Παναγιώτη, Υποψήφιο Διδάκτορα του τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής του Γ.Π.Α, για την καθοδήγηση και την αμέριστη βοήθεια κατά την διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της παρούσας πτυχιακής μελέτης, καθώς και τους Μάρκελλο Γιάννη και Χριστοφή Ανδρέα για την άψογη συνεργασία και συνεννόηση καθ' όλη την διάρκεια της πτυχιακής μελέτης.

Τέλος, ευχαριστώ το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο και συγκεκριμένα το Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών για την διάθεση του εργαστηριακού χώρου, των υλικών και την παραχώρηση των οργάνων για την εκτέλεση του πειραματικού μέρους. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα, τους καθηγητές του Γεωπονικού Πανεπιστημίου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	8
1.1. Τομάτα - Γενικά	8
1.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά	8
1.3. Οικολογικές απαιτήσεις.....	10
1.3.1 Θερμοκρασία.....	10
1.3.2. Έδαφος.....	10
1.4. Παγκόσμιο προφίλ παραγωγής στην καλλιέργεια τομάτας τις τελευταίες δεκαετίες.....	11
1.5. Θερμοκήπια και υδροπονία.....	12
1.5.1 Γενικά στοιχεία για τα θερμοκήπια.....	12
1.5.2. Υδροπονία.....	14
1.6. Έλλειψη του νερού στον κόσμο και στις καλλιέργειες.....	17
1.6.1 Έλλειψη νερού στην τομάτα.....	19
1.6.2. Άζωτο και φωσφόρος δυο σημαντικά στοιχεία στον κόσμο και στις καλλιέργειες	20
1.6.3. Η χρήση του φωσφόρου στις καλλιέργειες.....	21
1.7. Βιοδιεγέρτες.....	23
1.7.1. Ορισμός και τρόπος δράσης.....	23
1.7.2. Κυριότερες κατηγορίες βιοδιεγερτών	23
1.7.3. Η χρήση των βιοδιεγερτών στην καλλιέργεια της τομάτας.....	24
1.7.4. Οι βιοδιεγέρτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη	25
1.8. Σκοπός της μελέτης.....	26
2. Υλικά και μέθοδοι	28
2.1. Χώρος και χρόνος καλλιέργειας	28
2.2. Το υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας	29
2.3. Η εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων.....	31
2.4. Η εφαρμογή των βιοδιεγερτών	33
2.4.1 Εφαρμογή του βιοδιεγέρτη της εταιρείας Edypro	33
2.4.2. Εφαρμογή του βιοδιεγέρτη της εταιρείας Strigolab	34

2.4.3. Εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Maxicrop.....	36
2.5. Καλλιεργητικές περιποιήσεις	38
2.5.1. Υποσύλωση.....	38
2.5.2. Κλαδέματα	38
2.5.3. Υποβοήθηση καρπόδεσης	41
2.5.4. Φυτοπροστασία από μυκητολογικές και εντομολογικές προσβολές.....	42
2.6. Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων	47
2.7. Μετρήσεις κατά την διάρκεια του πειράματος	49
2.7.1. Ημερήσια καταγραφή ηλεκτρικής αγωγιμότητας pH, απορροής.....	49
2.7.2. Μηνιαίες μετρήσεις θρεπτικών στην ριζόσφαιρα	50
2.7.3. Μετρήσεις φυλλικής επιφάνειας	51
2.7.4. Μετρήσεις βιομάζας.....	51
2.7.5. Μετρήσεις παραγωγής καρπών	52
2.7.6. Μετρήσεις ποιότητας καρπών.....	52
2.7.7. Μετρήσεις φωτοσύνθεσης	52
2.7.8. Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών.....	53
2.7.9. Φυλλοδιαγνωστική	55
3. Αποτελέσματα.....	56
3.1.1. Θρεπτική κατάσταση στο περιβάλλον των ριζών	56
3.2. Βιομάζα φυτών	60
3.3. Φυλλική επιφάνεια	61
3.4. Παραγωγή καρπών	62
3.5. Θρεπτική κατάσταση φύλλων και καρπών	64
3.6. Ποιότητα καρπών	66
3.7. Μετρήσεις φωτοσύνθεσης φυτών	67
4. Συζήτηση	69
4.1. Θρεπτική κατάσταση στο περιβάλλον των ριζών.....	69
4.1.1. Παρατηρήσεις σχετικά με τις ημερήσιες μετρήσεις του διαλύματος απορροής.....	69
4.1.2. Μετρήσεις θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον των ριζών.....	70
4.2.-4.3. Βιομάζα φυτών και φυλλική επιφάνεια	72
4.4. Παραγωγή καρπών και αποδοτικότητα χρήσης νερού	73

4.5	Θρεπτική κατάσταση φύλλων και καρπών.....	76
4.6	Ποιότητα καρπών.....	77
4.7	Μετρήσεις φωτοσύνθεσης φυτών	78
5.	Συμπεράσματα.....	80
5.1.	Γενικά συμπεράσματα για την εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης 80	
5.2.	Γενικά συμπεράσματα για την χρήση των βιοδιεγερτών της Edypro	80
5.3.	Γενικά συμπεράσματα για την χρήση του βιοδιεγέρτη Strigolab.....	82
5.4.	Γενικά συμπεράσματα για την χρήση του βιοδιεγέρτη Maxicrop.....	83
5.5.	Γενικά συμπεράσματα της μελέτης.....	84
6.	Βιβλιογραφία	85
6.1.	Ξένη Βιβλιογραφία	85
6.2.	Ελληνική Βιβλιογραφία	89
6.3.	Ιστοτόποι	89
7.	Παράρτημα.....	90
7.1.	Συνταγές υδρολίπανσης	90
7.2.	Ημερήσιες μετρήσεις απορροών	96
7.2.1.	Ημερήσια καταγραφή ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο διάλυμα απορροή 96	
7.2.2.	Ημερήσια καταγραφή του pH στο διάλυμα απορροής	97
7.2.3.	Ημερήσια καταγραφή του κλάσματος απορροής.....	98
7.3.	Καταγραφή θερμοκρασιών του θερμοκηπίου	99
7.4.	Ημερήσια καταγραφή πληθυσμού του εντόμου <i>Tuta absoluta</i>	99
7.5.	Πειραματικό σχέδιο.....	100

1. Εισαγωγή

1.1. Τομάτα - Γενικά

Η καλλιεργούμενη τομάτα (*Solanum Lycopersicum*) αποτελεί πολύ δημοφιλές ετήσιο λαχανικό και ανήκει στην οικογένεια των Σολανωδών (*Solanaceae*), στο γένος *Solanum*. Τα πλείστα είδη του γένους *Solanum* είναι θάμνοι ετήσιοι, βραχείας διάρκειας, με βιολογικό κύκλο πέντε ή και λιγότερους μήνες. Όλα τα είδη είναι ιθαγενή φυτά της ΝΑ Αμερικής. Η άγρια μορφή τομάτας *L. esculentum* var *cerasiforme* έχει βρεθεί στις Άνδεις της Νότιας Αμερικής. Αν και αρχικά επικρατούσε η άποψη ότι η χώρα καταγωγής της τομάτας είναι το Περού, σήμερα με τις πληροφορίες που έδωσε ο Jenkins (1948), γίνεται δεκτό ότι η καταγωγή της καλλιεργούμενης τομάτας είναι το Μεξικό και μάλιστα η περιοχή Vera Cruz-Puebla. Η μεταφορά της στην Ευρώπη έγινε το 16^ο αιώνα, ενώ η εισαγωγή της στην Ελλάδα έγινε το 1818. Η τομάτα καλλιεργείται σχεδόν διεθνώς, σε πολύ λίγες περιοχές της γης δεν καλλιεργείται με κάποια από τις γνωστές μεθόδους καλλιέργειας της. Μπορεί επίσης να διασταυρωθεί, με μικρή ή μεγάλη δυσκολία, με όλα τα άλλα είδη του γένους και να δημιουργήσει υβρίδια (Ολύμπιος, 2001).

1.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά

Η τομάτα είναι ποώδες, ετήσιο, διετές και σπανιότερα πολυετές φυτό. Στις εύκρατες περιοχές συναντάται ως ετήσιο φυτό ενώ στις τροπικές περιοχές μπορεί να υπάρξει και ως πολυετές.

Το ριζικό σύστημα του φυτού της τομάτας διαθέτει μια ευδιάκριτη κεντρική ρίζα, μερικές δευτερεύουσες και ριζικά τριχίδια. Όμως, κατά την διαδικασία της μεταφύτευσης των φυτών στο θερμοκήπιο, πολλές φορές η κεντρική ρίζα κόβεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το φυτό να παράγει πολλές δευτερεύουσες πλευρικές ρίζες, ακόμη και από τον λαιμό του φυτού, γεγονός που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα, αφού το φυτό μπορεί να μεταφυτευτεί και με γυμνή ρίζα (εφαρμογή σε υδροπονικές καλλιέργειες σε συστήματα NFT). Η τομάτα είναι φυτό που μεταφυτεύεται εύκολα, γιατί γρήγορα παράγει νέες ρίζες και το τραυματισμένο ριζικό σύστημα απορροφά νερό και θρεπτικά στοιχεία, που του επιτρέπουν να ανακάμψει γρήγορα από τη μεταφυτευτική διαταραχή.

Ο κεντρικός βλαστός της τομάτας φέρει τα πραγματικά φύλλα στις μασχάλες των οποίων εκφύονται πλευρικοί βλαστοί. Το σχήμα του βλαστού είναι κυλινδρικό και εσωτερικά είναι πλήρης. Στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης του είναι τρυφερός, χυμώδης, εύκαμπτος, αλλά και σχετικά εύθραυστος, αργότερα όμως τείνει να γίνεται σκληρός και λιγότερο εύθραυστος διατηρώντας την ευλυγισία του. Οι

γενετικοί παράγοντες καθορίζουν την ανάπτυξη του βλαστού όσον αφορά το μήκος, έτσι διακρίνονται ποικιλίες με απεριόριστη ανάπτυξη βλαστών (indeterminate) και ποικιλίες με καθορισμένο μήκος (determinate). Συνήθως σε υδροπονικά θερμοκήπια που καλλιεργούνται ντομάτες επιλέγονται indeterminate ποικιλίες με μεγάλο βιολογικό κύκλο. Όταν τα φυτά της τομάτας κλαδεύονται σε μονοστέλεχο σύστημα το μήκος του κεντρικού βλαστού μπορεί να ξεπεράσει τα 10 μέτρα, έτσι λόγω της ευλυγισίας του βλαστού και της ισορροπημένης θρέψης των φυτών που μας εξασφαλίζει η υδροπονία μπορούμε να διατηρήσουμε την καλλιέργεια μας για μεγάλο χρονικό διάστημα που μπορεί να ξεπεράσει και τους 9 μήνες.

Τα πραγματικά φύλλα της τομάτας είναι σύνθετα. Κάθε φύλλο αποτελείται από ζεύγη φυλλαρίων και παράφυλλων, με ένα μόνο φυλλάριο στην άκρη. Ανάλογα με την ποικιλία ο αριθμός των ζευγών των φυλλαρίων είναι διαφορετικός. Υπάρχουν ποικιλίες με 3, 4, ή 5 ζεύγη φυλλαρίων και ένα στην άκρη. Επίσης το μέγεθος των φύλλων πέραν από τους γενετικούς παράγοντες επηρεάζεται και από τις συνθήκες καλλιέργειας. Συνήθως οι μεγαλόκαρπες ποικιλίες έχουν πιο μακριά και πιο πλατιά φύλλα, ενώ στις μικρόκαρπες οι διαστάσεις των φύλλων είναι μικρότερες.

Τα άνθη της τομάτας εμφανίζονται σε ταξιανθίες των 2,3 έως 20 ανθέων. Το άνθος διαθέτει πράσινο δερματώδη κάλυκα, που αποτελείται από 5 ή περισσότερα σέπαλα, στεφάνη με 5 πέταλα και 5 ή περισσότερους στήμονες. Οι στήμονες είναι ενωμένοι στην βάση τους με την στεφάνη και στο εσωτερικό του κώνου που σχηματίζουν βρίσκεται ο στύλος, που συνήθως είναι πιο κοντός και εγκλωβισμένος από τους ανθήρες. Η ωοθήκη είναι πολύχωρη με 2-7 χώρους και κάθε χώρος έχει πολλά ωάρια.

Ο καρπός της τομάτας είναι πολύχωρος ράγα, με ποικίλα σχήματα. Ο καρπός ποικιλιών με δύο χωρίσματα είναι συνήθως σφαιρικός, απιοειδής, ενώ αυτών με 3, 4, 5 ή περισσότερα χωρίσματα είναι πεπλατυσμένος και πιθανόν ακανόνιστου σχήματος. Το μέγεθος του καρπού κυμαίνεται από 1-12 εκ. διάμετρο και το χρώμα κόκκινο, ροζέ, πορτοκαλί, μαυριδερό ή και λευκό.

Ο σπόρος είναι ωοειδής, πεπλατυσμένος, χρώματος κίτρινου καφέ χρυσαφένιου και η επιφάνειά του καλύπτεται με τριχοειδείς αποφύσεις, που του δίνουν μεταξώδη επιφάνεια. Το μέγεθος του σπόρου είναι μικρό, διαμέτρου 3-5 χιλιοστά. Εσωτερικά ο σπόρος φέρει ένα κυρτό έμβρυο, που περιβάλλεται από ένα μικρό ενδοσπέρμιο. Ο σπόρος της τομάτας διατηρεί την βλαστικότητα του υπό κανονικές συνθήκες αποθήκευσης για τουλάχιστον 4 χρόνια μετά την συγκομιδή του, εάν όμως αποθηκευτεί σε χαμηλή θερμοκρασία και με χαμηλή περιεκτικότητα των σπόρων σε υγρασία, εύκολα διατηρεί την βλαστικότητα του πάνω από 10 χρόνια. Ένα γραμμάριο “σπόρου” έχει 450 περίπου σπέρματα. (Ολύμπιος, 2001).

1.3. Οικολογικές απαιτήσεις

1.3.1 Θερμοκρασία

Η τομάτα είναι φυτό θερμής εποχής, δείχνει ανθεκτικότητα στις υψηλές θερμοκρασίες και στην ξηρασία, ενώ από τις χαμηλές θερμοκρασίες και τον παγετό ζημιώνεται. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες για το φυτό είναι 25-30 °C την ημέρα και 16-20 °C την νύχτα. Ωστόσο τα φυτά τομάτας που ανήκουν στις determinate ποικιλίες έχουν ανάγκη για 80 ημέρες χωρίς παγετό ενώ αυτά που ανήκουν στις indeterminate απαιτούν 120 ημέρες χωρίς παγετό. Η ανάπτυξη του φυτού σταματά, όταν η θερμοκρασία ξεπερνά τους 32 °C αλλά και όταν πέφτει κάτω από τους 12 °C. Παρατεταμένες θερμοκρασίες χαμηλότερες των 10 °C καταστρέφουν το φυτό.

Σχετικά με την καρπόδεση η καλύτερη θερμοκρασία είναι μεταξύ 18-24 °C, ενώ είναι φτωχή σε θερμοκρασίες μικρότερες των 15 °C και υψηλότερες των 30 °C. Προβλήματα εμφανίζονται στην καρπόδεση όταν η θερμοκρασία την ημέρα πέφτει για μεγάλα χρονικά διαστήματα κάτω από τους 16-17 °C. Σε ακραίες θερμοκρασίες όπως σε θερμοκρασία 10 °C η γύρη που σχηματίζεται δεν είναι γόνιμη και αδυνατεί να βλαστήσει, ενώ σε υψηλές θερμοκρασίες >32 °C η αδυναμία καρπόδεσης οφείλεται πολλές φορές στην ανθόπτωση.

Η θερμοκρασία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος του φυτού. Συγκεκριμένα σε θερμοκρασίες μικρότερες των 14 °C η ρίζα της τομάτας δεν αναπτύσσεται κανονικά, πράγμα που συμβαίνει λόγω μειωμένης μεταβολικής δραστηριότητας.

Όπως είναι γνωστό οι καρποί της τομάτας αποκτούν οικονομικό ενδιαφέρον όταν γίνονται αρεστοί στο αγοραστικό κοινό. Ένα από τα βασικότερα κριτήρια των καταναλωτών είναι το χρώμα της τομάτας, δηλαδή το έντονο κόκκινο. Έτσι λοιπόν, για ακόμη μια φορά η θερμοκρασία αποκτά νόημα για την καλλιέργεια της τομάτας, διότι σε θερμοκρασίες κάτω των 16 °C δεν σχηματίζονται χρωστικές (η λυκοπίνη δίνει το κόκκινο χρώμα, οι καροτίνες το πορτοκαλί και η ξανθοφύλλη το κίτρινο) και επομένως οι καρποί δεν κοκκινίζουν.

1.3.2 Έδαφος

Η τομάτα μπορεί να αναπτυχθεί ικανοποιητικά σε ποικιλία εδαφών. Τα εδάφη που διαθέτουν σταθερή δομή, υψηλό βαθμό υδατοϊκανότητας, καλή στράγγιση και υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι ιδανικά για καλλιέργεια τομάτας. Τέτοια εδάφη είναι τα μέσης μηχανικής συστάσεως δηλαδή τα αμμοπηλώδη και πηλοαμμώδη και είναι τα πιο κατάλληλα για καλλιέργεια ποικιλιών τομάτας με μεγάλο βιολογικό κύκλο. Επίσης το επιθυμητό εδαφικό pH

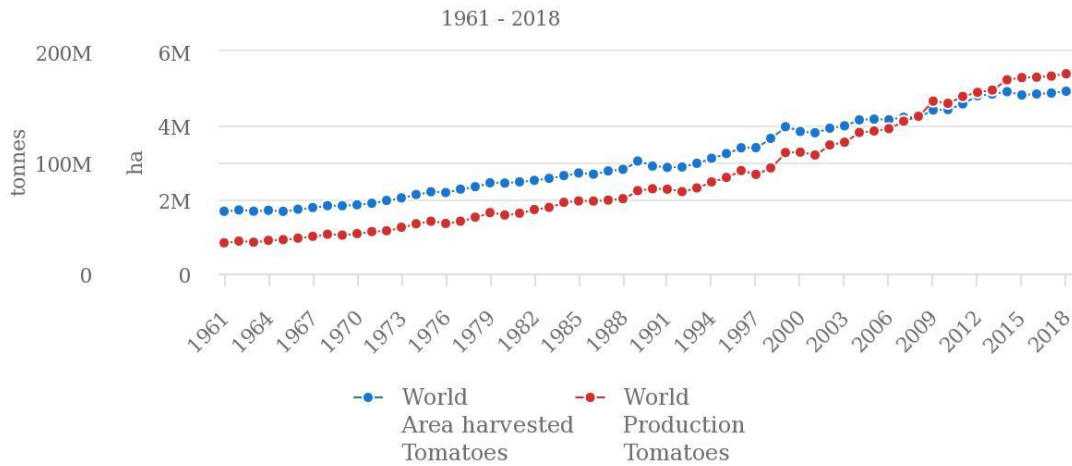
κυμαίνεται 6,0 με 6,5. Η τομάτα φαίνεται να είναι σχετικά ευαίσθητη σε χαμηλότερες τιμές του pH από τα άριστα επίπεδα, ενώ σε ελαφρά έως μέτρια υψηλότερες τιμές προσαρμόζεται ικανοποιητικά.

Σχετικά με την λίπανση η τομάτα είναι απαιτητικό φυτό σε θρεπτικά στοιχεία. Για να υπάρξει αυξημένη παραγωγή καθώς και υψηλή ποιότητα καρπών επιβάλλεται η βασική λίπανση του εδάφους πριν την μεταφύτευση των φυτών, αλλά και η προσθήκη λιπαντικών στοιχείων στο έδαφος κατά την διάρκεια της καλλιέργειας. Το έδαφος στο οποίο αναπτύσσονται τα φυτά πρέπει να έχει υψηλά επίπεδα οργανικής ουσίας, επαρκή ποσότητα φωσφόρου για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο. Σίγουρα αναγκαίο για την ανάπτυξη των φυτών είναι το άζωτο αλλά όχι σε υπερδοσολογίες γιατί προκαλεί ζωνή βλάστηση.

1.4. Παγκόσμιο προφίλ παραγωγής στην καλλιέργεια τομάτας τις τελευταίες δεκαετίες

Η τομάτα τα τελευταία χρόνια καλλιεργείται ολοένα και σε μεγαλύτερες εκτάσεις, δίνοντας ανοδική πορεία στην παγκόσμια ετήσια παράγωγή. Οι αυξανόμενες ανάγκες των αγορών για νωπή τομάτα αποτυπώνονται και στο διάγραμμα 1.4.1. της παγκόσμιας παραγωγής του FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) για τα έτη 1961 – 2018. Συγκεκριμένα το 2018, η παγκόσμια παραγωγή ντομάτας έφτασε στην μέγιστη τιμή των 179,897 εκατ. τόνων με καλλιεργούμενες εκτάσεις 49,249 εκατ. στρεμμάτων. Επίσης στο διάγραμμα 1.4.2. παρουσιάζεται η κατανομή του παραγόμενου προϊόντος ανά περιοχή, αναδεικνύοντας μεγαλύτερη παραγωγή χώρα τη Κίνα, με 60,811 εκατ. τόνους, δεύτερη την Ινδία με 19,759 εκατ. τόνους και τρίτες οι ΗΠΑ, με 12,613 εκατ. τόνους. Η Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία του FAO, βρίσκεται στην 25^η θέση παγκοσμίως, με 835.940 τόνους παραγωγή, από 160.200 στρέμματα καλλιέργειας, με μέση απόδοση 5,22 κιλά/τ.μ. Αξιοσημείωτη είναι η απόκλιση των στρεμματικών αποδόσεων των διαφόρων χωρών συγκεκριμένα, η Ολλανδία έχει την υψηλότερη στρεμματική απόδοση με μέση απόδοση 50,9 κιλά/τ.μ. και ετήσια παραγωγή 910.000 τόνους από 17.880 στρέμματα. Ωστόσο η χώρα με τη μικρότερη απόδοση είναι η Νιγηρία, με μόλις 0,64 κιλά/τ.μ. η παραγωγή της, όμως, λόγω των 6.081.116 στρεμμάτων ντοματοκαλλιέργειας, τη φέρνει στην 11η θέση παραγωγής στον κόσμο, σε σύνολο 30 χωρών. Η ανοδική πορεία στην παγκόσμια στρεμματική απόδοση οφείλεται ως ένα βαθμό στην αύξηση των στρεμμάτων καλλιέργειας σε θερμοκήπια καθώς και στην εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων καλλιέργειας που υποστηρίζονται από ένα σύνολο τεχνολογικά βελτιωμένων συστημάτων του θερμοκηπίου.

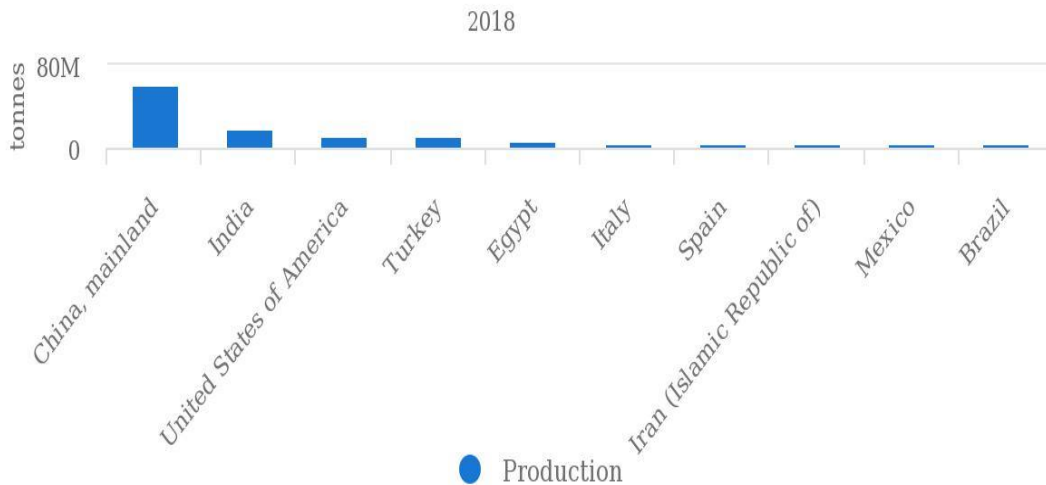
Production/Yield quantities of Tomatoes in World + (Total)



Source: FAOSTAT (Nov 21, 2021)

Διάγραμμα 1.4.1. Παγκόσμια παραγωγή νωπής τομάτας και καλλιεργούμενες εκτάσεις τομάτας από το έτος 1961 έως το 2018. Πηγή www.fao.org

Production of Tomatoes: top 10 producers



Source: FAOSTAT (Nov 21, 2021)

Διάγραμμα 1.4.1. Οι 10 παραγωγικότερες χώρες τομάτας για το έτος 2018. Πηγή www.fao.org

1.5. Θερμοκήπια και υδροπονία

1.5.1 Γενικά στοιχεία για τα θερμοκήπια

Θερμοκήπιο είναι μια κατασκευή, η οποία καλύπτεται με διαφανές υλικό, ώστε να είναι δυνατή η είσοδος του φυσικού φωτός, που απαιτείται για την ανάπτυξη των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2005). Η ανάγκη για καλλιέργεια σε θερμοκήπιο ξεκίνησε από την εποχή του Πλάτωνα, σύμφωνα με αναφορές

βεβαιώνεται ότι σε ειδικές λατρευτικές περιπτώσεις όπως τα Αδώνια μυστήρια, χρησιμοποιούσαν για συμβολικούς σκοπούς της τελετής, τους "κήπους του Άδωνη" (Άδώνιδος κήποι). Δηλαδή, γλάστρες με φυτά που αναπτύσσονταν γρήγορα σε ειδικούς κλειστούς χώρους, τα οποία αργότερα τοποθετούνταν πάνω στις στέγες των σπιτιών για περαιτέρω ανάπτυξη με τη βοήθεια του ήλιου. Στην αρχαία Κίνα όπως αναφέρεται, στη νότια πλευρά του τοίχου που κατασκευαζόταν από τούβλο (θερμαινόταν κατά τη διάρκεια της ημέρας από την ηλιακή ακτινοβολία), τοποθετούσαν υπό γωνία 35 μοιρών καλάμια επικαλυμμένα με λαδόχαρτο. Έτσι στον χώρο μεταξύ του τοίχου και του λαδόχαρτου αναπτυσσόταν το φυτό, το οποίο κατά τη διάρκεια της νύχτας επωφελούνταν από την αποθηκευμένη θερμότητα του τοίχου. Επίσης, στην Πομπηία βρέθηκαν κατασκευές μεγάλων εκτάσεων, που φαίνεται να καλύπτονταν από ένα είδος πρωτόγονου γυαλιού (Μαυρογιαννόπουλος, 2005). Κατά τη διάρκεια του μεσαίωνα δεν υπάρχουν αναφορές για χρήση του θερμοκηπίου. Το 18^ο αιώνα μ.Χ είχαν αναγνωριστεί πλήρως τα οφέλη από τον καλό φωτισμό στην υγιή ανάπτυξη του φυτού. Στα θερμοκήπια εκείνης της εποχής που αποτελούνταν από ξύλινο σκελετό και υαλοπίνακες άρχισε να λαμβάνεται υπόψη ο υπολογισμός της γωνίας κλίσης των υαλοπινάκων, προκειμένου να επιτευχθεί ο μέγιστος φωτισμός στο χώρο του θερμοκηπίου. Το 19^ο αιώνα το θερμοκήπιο εξελίχθηκε αρκετά με αποτέλεσμα μερικοί νεωτερισμοί του όπως τα πολλαπλά θερμοκήπια να χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα. Τον 20^ο αιώνα υπήρξε συνεχής εξέλιξη στα υλικά κατασκευής του θερμοκηπίου και στην ενεργειακή του υποστήριξη. Κατασκευάζονται θερμοκήπια από ξύλο, γαλβανισμένο χάλυβα και αλουμίνιο. Η αλλαγή όμως η οποία οδήγησε στην εξάπλωση τους είναι η δυνατότητα αντικατάστασης του γυαλιού με άλλα πιο οικονομικά υλικά κάλυψης όπως τα σκληρά και μαλακά πλαστικά (Μαυρογιαννόπουλος, 2005). Από φυσικής πλευράς, η παρουσία του καλύμματος του θερμοκηπίου διαχωρίζει το εσωτερικό με το εξωτερικό περιβάλλον και προκαλεί τη δημιουργία εντελώς διαφορετικών κλιματικών συνθηκών δίνοντας τη δυνατότητα της τροποποίησης και του ελέγχου του περιβάλλοντος αυτού (θερμοκρασία, υγρασία, CO₂ κ.α). Τα σύγχρονα θερμοκήπια διαθέτουν συστήματα ρύθμισης όλων εκείνων των παραγόντων του περιβάλλοντος που επιδρούν καθοριστικά στην ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών. Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες είναι ένας σύγχρονος αγροτικός τομέας που χαρακτηρίζεται από τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών καθώς και από την απόκριση στη ζήτηση για παραγωγή προϊόντων εκτός εποχής. Επίσης η θερμοκηπιακή παραγωγή διακρίνεται και από το αυξημένο κόστος των παραγόμενων προϊόντων κυρίως λόγω των μεγάλων απαιτήσεων σε εργατικό δυναμικό και εισροές ενέργειας. Σήμερα η τεχνολογική βελτίωση των θερμοκηπιακών μονάδων πραγματοποιείται με βάση δύο κύριους στόχους, οι οποίοι είναι η μείωση του κόστους παραγωγής και μεγιστοποίηση της ποιότητας και της ποσότητας του παραγόμενου προϊόντος σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αγοράς.

1.5.2. Υδροπονία

Τα λαχανοκομικά φυτά όπως και όλα τα φυτά έχουν την ανάγκη να αναπτύξουν το ριζικό τους σύστημα, το έδαφος αποτελεί το πιο σύνηθες μέσο όπου τα καλλιεργούμενα φυτά μπορούν να εγκαταστήσουν το ριζικό τους σύστημα και να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο, παίρνοντας όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την επιβίωση τους από αυτό. Εδώ και μερικές δεκαετίες έχουν εμφανιστεί στο προσκήνιο της θερμοκηπιακής καλλιέργειας οι καλλιέργειες εκτός εδάφους, δηλαδή μέθοδοι καλλιέργειας φυτών των οποίων το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται εκτός του φυσικού εδάφους (Savvas, 2003; Gruda et al., 2016a). Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους είναι συνυφασμένες με τον ορό **υδροπονία**. Από το 1980 και έπειτα, κυρίως στην Βόρεια Ευρώπη αναπτύχθηκαν ραγδαία τόσο σε έκταση όσο και σε τεχνολογία οι υδροπονικές καλλιέργειες. Σημαντική εφαρμογή της υδροπονίας σημειώθηκε στην Ολλανδία (1995) και στο Βέλγιο (1994) με θερμοκηπιακή υδροπονική καλλιέργεια λαχανικών έκτασης 44.980 και 10.160 στρέμματα αντίστοιχα. Για την Ελλάδα αλλά και για τις υπόλοιπες χώρες του μεσογειακού νότου, η εξάπλωση της υδροπονίας καθυστέρησε αρκετά και εφαρμόστηκε με πιο αργούς ρυθμούς (Σάββας, 2003). Σύμφωνα με στοιχεία του IRTC (International Research and Training Centre for Sustainability), οι υδροπονικές καλλιέργειες στην Ελλάδα καταλαμβάνουν έκταση 1750 στρέμματα περίπου, όπου στα 1450 από αυτά στρέμματα καλλιεργούνται κηπευτικά ενώ στα υπόλοιπα ανθοκομικά φυτά. Η λέξη υδροπονία (hydroponics) παράγεται από δύο ελληνικές λέξεις: Ύδωρ που σημαίνει νερό και πόνος που σημαίνει εργασία, δηλαδή εργασία με το νερό. Η υδροπονία είναι μια τεχνολογικά εξελιγμένη μέθοδος γεωργικής παραγωγής, η οποία επεκτείνεται συνεχώς σε όλο τον κόσμο και η χρησιμοποίηση της επιστημονικής γνώσης και της τεχνολογίας δίνουν νέες διαστάσεις στις δυνατότητες της γεωργικής παραγωγής. Με την χρήση υδροπονικών συστημάτων μπορούμε να καλλιεργήσουμε λαχανικά εξασφαλίζοντας την σωστή τους θρέψη μέσω των θρεπτικών διαλυμάτων που τους χορηγούμε. Όλα τα σύγχρονα υδροπονικά συστήματα τα συναντούμε κατά το πλείστον σε καλλιέργειες εντός θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων.

Η υδροπονία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τους συμβατικούς τρόπους καλλιέργειας λαχανικών στα θερμοκήπια, μερικά από αυτά τα πλεονεκτήματα είναι:

- Η ουσιαστική αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούν τα παθογόνα εδάφους (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, πυρηνοχαίτη, έντομα εδάφους, νηματώδεις, ορισμένα βακτήρια, φυτοϊοί, κτλ) στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες.

- Περιορισμός της χρήσης χημικών σκευασμάτων για την αντιμετώπιση την παραπάνω ασθενειών καθώς και εκείνων των σκευασμάτων που σε διαφορετική περίπτωση προορίζονταν για καταστροφή ζιζανίων ή για απολύμανση του εδάφους.
- Ο απόλυτος έλεγχος της θρέψης των φυτών μέσω της υδροπονίας λύνει ριζικά το πρόβλημα της χαμηλής γονιμότητας που εμφανίζουν πολλά εδάφη θερμοκηπίου, είτε λόγω της υπερεντατικής τους εκμετάλλευσης και της μονοκαλλιέργειας (κόπωση εδαφών), είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (μηχανική σύσταση, ΙΑΚ, περιεκτικότητα οργανικής ουσίας, αλατότητα εδάφους (Savvas & Gruda, 2018)).
- Οι καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων βελτιώνουν την θρέψη των φυτών και διατηρούν υψηλότερες θερμοκρασίες στο ριζόστρωμα κατά την διάρκεια των χαμηλών θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων στις υδροπονικές καλλιέργειες.
- Ρύθμιση αλατότητας του νερού άρδευσης μέσω της σωστής σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων. Πρέπει όμως να σημειώσουμε ότι, όταν στο νερό άρδευσης υφίσταται πρόβλημα υπερβολικά υψηλής περιεκτικότητας σε ανόργανα άλατα, λύση αποτελεί μόνο η καλλιέργεια σε ανοιχτά υδροπονικά συστήματα.
- Οι υδροπονικές καλλιέργειες έχουν μειωμένο κόστος θέρμανσης. Σε ένα θερμοκήπιο που καλλιεργείται υδροπονικά, η εξάτμιση νερού από την επιφάνεια του εδάφους είναι πρακτικά αμελητέα, δεδομένου ότι αυτό είναι πλήρως καλυμμένο με φύλλο πλαστικού πολυαιθυλενίου. Συνεπώς, οι ανάγκες σε ενεργεία για την θέρμανση του αέρα μειώνονται.
- Συνήθως οι υδροπονικές καλλιέργειες πρωιμίζουν στην πρώτη συγκομιδή, όταν βεβαία σε αυτές χρησιμοποιούνται ποιοτικά υποστρώματα και θρεπτικά διαλύματα. Αυτή η πρωίμηση της παραγωγής οφείλεται στην εξασφάλιση υψηλότερης θερμοκρασίας ριζοστρώματος.
- Στις υδροπονικές καλλιέργειες, η αριστοποίηση της θρέψης αλλά και η αποφυγή μιας σειράς προβλημάτων δίνουν την δυνατότητα παραγωγής λαχανικών και καλλωπιστικών φυτών καλύτερης ποιότητας.
- Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι ο καλλιεργητής αποφεύγει όλες εκείνες τις εργασίες για την προετοιμασία του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, λίπανση), με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους καλλιέργειας
- Στην υδροπονία είναι αυξημένες οι δυνατότητες μηχανοποίησης και αυτοματοποίησης των καλλιεργητικών εργασιών (Σάββας, 2011).

- Η δυνατότητα αποτελεσματικότερης προστασίας του περιβάλλοντος όταν η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Αυτό προκύπτει λόγω της ανακύκλωσης του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος μετά από την κάθε εφαρμογή ποτίσματος έχοντας σαν αποτέλεσμα την μειωμένη παρουσία νιτρικών και φωσφορικών αλάτων στα επιφανειακά και στα υπόγεια ύδατα (Savvas & Gruda, 2018).

Η υδροπονία παρά τα πολλαπλά πλεονεκτήματα της έναντι των παραδοσιακών μεθόδων θερμοκηπιακής καλλιέργειας δεν έχει εξαπλωθεί σε μεγάλο βαθμό στην Ελλάδα. Τα βασικά μειονεκτήματα της υδροπονίας που δεν επιτρέπουν την εκτεταμένη εφαρμογή της είναι:

- Το υψηλό κόστος δημιουργίας μιας σύγχρονης υδροπονικής μονάδας.
- Το υψηλό κόστος του παραγόμενου προϊόντος λόγω της αυξημένης χρήσης λιπασμάτων συγκριτικά με την καλλιέργεια στο έδαφος
- Για την εφαρμογή υδροπονίας σε μια θερμοκηπιακή μονάδα χρειάζεται ένα ελάχιστο μορφωτικό επίπεδο.
- Η πιο γρήγορη και πιο άμεση εμφάνιση των δυσμενών επιπτώσεων ενός λάθους χειρισμού
- Στα κλειστά συστήματα υπάρχει ο κίνδυνος μόλυνσης και εξάπλωσης μίας μόλυνσης αν και σύμφωνα με τον Van Os (1982) ο κίνδυνος είναι σχετικά μικρός.

1.5.2.1. Ανοικτά και κλειστά συστήματα

Στις υδροπονικές καλλιέργειες έχουμε θρέψη των φυτών αποκλειστικά μέσω του θρεπτικού διαλύματος που παρασκευάζουμε κάθε φορά ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Ωστόσο έχουν αναπτυχθεί δυο τύποι συστημάτων υδροπονικής καλλιέργειας α) τα ανοικτά συστήματα και β) τα κλειστά συστήματα

α) Τα ανοικτά συστήματα υδροπονίας αφορούν την καλλιέργεια των φυτών σε υποστρώματα. Λόγω της πορώδους φύσης τους, τα υποστρώματα συγκρατούν σημαντικές ποσότητες θρεπτικού διαλύματος. Όταν όμως παρέχουμε στην καλλιέργεια μεγαλύτερη ποσότητα θρεπτικού διαλύματος από αυτήν που μπορεί να συγκρατήσει το υπόστρωμα τότε το περίσσιο διάλυμα απορρέει. Εκείνη η ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που απορρέει ονομάζεται κλάσμα απορροής. Όταν το διάλυμα απορροής δεν συλλέγεται αλλά απορρίπτεται στο περιβάλλον ή χρησιμοποιείται για άλλες καλλιέργειες, τότε το σύστημα καλλιέργειας ονομάζεται ανοιχτό υδροπονικό σύστημα.

β) Τα κλειστά υδροπονικά συστήματα αφορούν καλλιέργειες εντός και εκτός υποστρώματος. Στην περίπτωση όπου το κλάσμα απορροής συλλέγεται στις σύγχρονες εγκαταστάσεις του θερμοκηπίου, συμπληρώνεται κατάλληλα με νέο διάλυμα και οδηγείται προς τα φυτά για επαναχρησιμοποίηση τότε το σύστημα καλλιέργειας ονομάζεται κλειστό.

Στερεά υποστρώματα και συστήματα υδροκαλλιέργειας

Στις υδροπονικές καλλιέργειες πέραν από τον διαχωρισμό ανοικτών και κλειστών συστημάτων που αφορά την διαχείριση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος, υπάρχει και διαχωρισμός με βάση την εφαρμογή των φυτών στο σύστημα υδροπονίας. Συγκεκριμένα έχουν αναπτυχθεί δύο συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας α) καλλιέργεια σε στερεά υποστρώματα β) συστήματα υδροκαλλιέργειας

α) Με την μέθοδο της καλλιέργειας σε στερεά υποστρώματα τα φυτά αναπτύσσουν το ριζικό τους σύστημα σε πορώδη υλικά με ομοιόμορφη σύσταση και σταθερή δομή. Δηλαδή έχουν τις ίδιες στερεοχημικές ιδιότητες σε όλο τον όγκο τους.

β) Τα συστήματα υδροκαλλιέργειας σχετίζονται με τη καλλιέργεια λαχανικών χωρίς την χρήση υποστρωμάτων. Τέτοια συστήματα είναι i) τα συστήματα επίπλευσης (Floating system) ii) η καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT) iii) η αεροπονία iv) η καλλιέργεια σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (DeepFlowtechnique) και v) η επιδαπέδια υδροπονία (PlantPlaneHydroponics)

1.6. Έλλειψη του νερού στον κόσμο και στις καλλιέργειες

Το καθαρό νερό είναι ένας πολύ σημαντικός φυσικός πόρος, που απαιτεί προσεκτική διαχείριση καθώς είναι απαραίτητο για την ζωή και αναπόσπαστο μέρος σχεδόν όλων των οικονομικών δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής τροφίμων, ενέργειας και των βιομηχανικών εκροών. Η διαθεσιμότητα καθαρού νερού σε επαρκείς ποσότητες δεν αποτελεί μόνο προϋπόθεση για την ανθρώπινη υγεία και ευεξία, αλλά είναι απαραίτητη για τα οικοσυστήματα επηρεάζοντας την χλωρίδα και την πανίδα που φιλοξενούν. Ενώ οι περισσότεροι ευρωπαίοι πολίτες έχουν βιώσει ιστορικά τις κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις σοβαρές ελλείψεις νερού, η ισορροπία μεταξύ ζήτησης και διαθεσιμότητας νερού βρίσκεται σε κρίσιμα επίπεδα σε πολλές περιοχές της Ευρώπης. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του Πλανήτη, έχουν, κατά τις τελευταίες δεκαετίες,

αναγνωριστεί, και, ως εκ τούτου, καθιστούν τη διαθεσιμότητα του νερού και τα θέματα διαχείρισής του ιδιαίτερης σημασίας σε όλες τις ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές σε όλον τον κόσμο. Οι παρατεταμένες εξαιρετικά θερμές και ξηρές περιόδους, σε συνδυασμό με τις ολοένα χαμηλότερες ετήσιες ροές των ποταμών, επηρεάζουν αρνητικά τη γεωργική παραγωγή και θέτουν περιορισμούς στις προσπάθειες που καταβάλλονται τόσο για την εξασφάλιση πρόσβασης σε πηγές πόσιμου νερού, όσο και για την επισιτιστική ασφάλεια, στο συνεχώς αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό (March et al., 2012). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), η λειψυδρία πλήττει, ήδη, κάθε ήπειρο και είναι ένα από τα κύρια προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν, κατά τον 21^ο αιώνα (www.fao.org). Δεν είναι έκπληξη το γεγονός ότι, μέχρι το 2025, εκτιμάται ότι, περίπου 5 δισεκατομμύρια άνθρωποι, από το συνολικό πληθυσμό των, περίπου, 8 δισεκατομμυρίων, θα ζουν σε Χώρες που θα αντιμετωπίζουν προβλήματα έλλειψης νερού (Arnell, 2004). Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό, γεγονός που αποτελεί σήμερα και το βασικό πρόβλημα, έχει ως αποτέλεσμα:

1. Την υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων, με αποτέλεσμα τη μεταβίβαση των αντλήσεων σε όλο και βαθύτερους ορίζοντες.

2. Την δημιουργία ταμιευτήρων ή και άλλων έργων ταμίευσης επιφανειακών υδάτων σε ανεπαρκείς από πλευράς υδατικών αποθεμάτων ή και σε ακατάλληλες θέσεις.

3. Την αναγκαιότητα μεταφοράς νερού σε όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις, γεγονός που απαιτεί κατασκευή και συντήρηση εκτεταμένων και πλέον πολύπλοκων τεχνικών έργων.

4. Τη χρήση νερού σε τομείς έξω και πέραν των προσδιορισθέντων από το έργο, χωρίς κανένα σχεδιασμό, με αποτέλεσμα τη συχνή χρήση νερού ύδρευσης για ανάγκες τόσο άρδευσης, όσο και βιομηχανικές και βιοτεχνικές.

Η εντατική διαχείριση της γεωργικής γης, με στόχο τη συντήρηση του ολοένα αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού, έχει πετύχει την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών τις τελευταίες δεκαετίες. Από την άλλη πλευρά, όμως, η αύξηση των εισροών στα αγροτικά συστήματα έχει συμβάλλει στη ρύπανση των υδάτων και της ατμόσφαιρας, στην υποβάθμιση και απώλεια των μη-ανανεώσιμων φυσικών πόρων και την επακόλουθη μεταβολή των κύκλων του άνθρακα, του αζώτου και του νερού. Με αποτέλεσμα, η γεωργία πλέον να θεωρείται κύριος παράγοντας της σοβαρής υποβάθμισης της καλλιεργήσιμης γης και της μη-σημειακής πηγής ρύπανσης των υδάτων. Οι ίδιες πρακτικές διαχείρισης είναι υπεύθυνες για υπερεκμετάλλευση των υδάτινων πόρων. Στην Ελλάδα μόνο, υπολογίζεται ότι η γεωργία ευθύνεται για την ετήσια κατανάλωση νερού σε ποσοστό μεγαλύτερο από 85%.

Η γεωργία στην Ευρώπη είναι σημαντικός “καταναλωτής” νερού, αφού αντιπροσωπεύει περίπου το 33% της συνολικής χρήσης νερού. Αυτό το ποσοστό ποικίλλει σημαντικά, ωστόσο, μπορεί να φτάσει έως 80% σε περιοχές της νότιας Ευρώπης. Σε πολλές περιοχές της Νότιας Ευρώπης, η άρδευση των καλλιεργειών πραγματοποιείται εδώ και αιώνες, αποτελώντας βάση της οικονομικής και κοινωνικής δραστηριότητας. Σε άνυδρες και ημιάνυδρες περιοχές της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένων νότια Γαλλία, Ελλάδα, Ιταλία, Πορτογαλία, Κύπρος και Ισπανία, η άρδευση των καλλιεργειών επιτρέπει την παραγωγή όπου διαφορετικά το νερό θα αποτελούσε περιοριστικό παράγοντα (ΕΕΑ, 2012). Σύμφωνα με έρευνα των (Costa et al., 2007) η έλλειψη νερού και η αύξηση ανταγωνισμού για υδατικούς πόρους μεταξύ της γεωργίας και των άλλων υδατοκαταναλωτικών παραγόντων υποχρεώνουν την υιοθέτηση στρατηγικών άρδευσης σε ημιάνυδρες περιοχές της Μεσογείου, οι οποίες επιτρέπουν την εξοικονόμηση νερού άρδευσης και εξακολουθούν να διατηρούν ικανοποιητικά επίπεδα παραγωγής. Μια θετική προσέγγιση για την επίτευξη του στόχου της βελτίωσης της αποδοτικότητας χρήσης του νερού (Torcu et al., 2007) είναι η ελλειμματική άρδευση (deficit irrigation DI), μια στρατηγική εξοικονόμησης νερού σύμφωνα με την οποία επιτρέπεται η διατήρηση της καλλιέργειας έως κάποιο βαθμό έλλειψης νερού και μείωσης της απόδοσης (Pereira et al., 2002).

1.6.1 Έλλειψη νερού στην τομάτα

Οι απαιτήσεις σε νερό ανά καλλιεργητική περίοδο στην υπαίθρια ντομάτα κυμαίνονται μεταξύ των 450 και 650 κυβικών μέτρων ανά στρέμμα (Ολύμπιος Χ., 2015), ενώ η ντομάτα θερμοκηπίου απαιτεί συνολικά 600 με 700 κυβικά μέτρα ανά στρέμμα. Οι ανάγκες του φυτού σε νερό δεν είναι ίδιες κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, οι απαιτήσεις σε νερό διαφέρουν ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του φυτού και την εποχή. Έλλειψη ή περίσσεια νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες στην καλλιέργεια της ντομάτας. Οι ακανόνιστες αρδεύσεις είναι επικίνδυνες γιατί μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στην ανάπτυξη του φυτού, στην ανθοφορία, την καρπόδεση και στην ποιότητα των καρπών. Με έλλειψη νερού, το φυτό επιβραδύνει ή σταματά την ανάπτυξη του δίνοντας, 1) λεπτούς βλαστούς που ξυλοποιούνται, 2) μικρά φύλλα που παρουσιάζουν μαρασμό και αποπίπτουν 3) μικρές ταξιανθίες με άνθη που δυσκολεύονται να ανοίξουν και κατά το πλείστων μένουν αγονιμοποίητα, κιτρινίζουν και πέφτουν 4) υποανάπτυκτους καρπούς αλλά και μεγάλους καρπούς που χάνουν τη στιλπνότητά τους, δεν μεγαλώνουν κανονικά, ωριμάζουν πρόωρα αλλοιώνεται το χρώμα τους και παρουσιάζουν ξηρή σήψη κορυφής λόγω μειωμένης πρόσληψης ασβεστίου. Συνεπώς η καλλιέργεια της τομάτας είναι μια απαιτητική καλλιέργεια σε νερό και κρίνεται αναγκαία η εύρεση νέων μεθόδων

καλλιέργειας με στόχο την εξοικονόμηση του νερού άρδευσης όπου είναι περιορισμένο σε περιοχές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σύμφωνα με σχετική έρευνα η υιοθέτηση συστημάτων ελλειμματικής άρδευσης (DI) μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση του νερού άρδευσης (Costa et al., 2007). Επίσης σε άλλη μελέτη (Zegbe Dominguez et al., 2003) που πραγματοποιήθηκε σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια ντομάτας, η απόδοση σε ξηρή μάζα δεν μειώθηκε κάτω από μεταχείριση με ελλειμματική άρδευση (DI) σε σύγκριση με την πλήρη άρδευση, δίνοντας 50% εξοικονόμηση νερού και περίπου 200% αύξηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης νερού άρδευσης. Ωστόσο τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ορισμένων καρπών βελτιώθηκαν σε μια μεταχείριση (DI). Αντίστροφα, οι (Pulurci et al., 1996) παρατήρησαν σημαντική μείωση της απόδοσης ξηρής μάζας για μια ποικιλία θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τους (Kirda et al., 2004) σε περιοχές με λειψυδρία και μεγάλη ξηρασία το καλοκαίρι, όπως η Σικελία (Νότια Ιταλία), συνιστάται για καλλιέργεια ντομάτας η μεταχείριση με ελλειμματική άρδευση η οποία μετριάξει τις δραστικές μειώσεις της απόδοσης.

1.6.2. Άζωτο και φωσφόρος δυο σημαντικά στοιχεία στον κόσμο και στις καλλιέργειες

1.6.2.1. Η χρήση του αζώτου στις καλλιέργειες

Η παροχή του αζώτου είναι πολύ σημαντική στην παραγωγή και την ποιότητα της τομάτας. Η επαρκής διαθεσιμότητα αζώτου κατά την διάρκεια της καλλιέργειας πρέπει να εξασφαλιστεί ώστε να επιτευχθεί υψηλή παραγωγή και το μέγιστο οικονομικό όφελος (Elia & Conversa, 2012). Η έλλειψη αζώτου στην τομάτα επηρεάζει σημαντικά την φυλλική επιφάνεια, όπως και το νωπό και ξηρό βάρος ολόκληρου του φυτού (Savic et al., 2008). Από την άλλη πλευρά βέβαια, η υπερβολική λίπανση αζώτου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της βιταμίνης C, καθυστέρηση της ωρίμανσης των καρπών, να επηρεάσει το pH, τα ολικά διαλυτά στερεά, τη συγκέντρωση σε γλυκόζη και φρουκτόζη, καθώς και την αναλογία σακχάρων προς ολικά στερεά. Τέλος η υπερδοσολογία αζώτου μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία ιστών ευάλωτων σε παθογόνα και ασθένειες (Weichmann 1986; Parisi et al., 2006).

1.6.2.2. Η χρήση του αζώτου στην καλλιέργεια της τομάτας

Για την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης αζώτου, η καλλιέργεια της τομάτας δύναται να πραγματοποιηθεί με μειωμένη χρήση αζώτου. Οι Vasquez et al. (2006) παρατήρησαν ότι για βέλτιστη παραγωγή στην καλλιέργεια της τομάτας, η παροχή αζώτου πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στα 20 με 45 κιλά ανά στρέμμα. Σε μελέτες με διαφορετικά επίπεδα εφαρμογής αζώτου όμως, έχει παρατηρηθεί ότι η

τομάτα μπορεί να καλλιεργηθεί και με λιγότερα από 20 κιλά αζώτου ανά στρέμμα. Πιο συγκεκριμένα, οι Warner et al. (2004) αναφέρουν ότι η αύξηση παροχής αζώτου από τα 15 στα 20 κιλά το στρέμμα αύξησε σημαντικά τις τελικές αποδόσεις, όμως σε αντίστοιχη μελέτη των May & Gonzales (1993) παρατηρήθηκε ότι τα 17 κιλά ανά στρέμμα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά στην παραγωγή σε σχέση με τα 39 κιλά ανά στρέμμα. Συνεπώς, τα 17 κιλά αζώτου, μολονότι αποτελούν εφαρμογή έλλειψης αζώτου για μια καλλιέργεια, θα μπορούσαν να μας δώσουν ικανοποιητική παραγωγή εξοικονομώντας λιπάσματα σε άζωτο.



Εικόνα 1. Συμπτώματα έλλειψης αζώτου σε φύλλο τομάτας.

1.6.3. Η χρήση του φωσφόρου στις καλλιέργειες

Η ιδανική λίπανση φωσφόρου είναι σημαντική για να επιτευχθεί μέγιστη καρπώδωση, άρα και υψηλή παραγωγή (Savvas et al., 2008). Σύμφωνα με τους Roullton et al. (2001), η υψηλή εφαρμογή φωσφόρου σε τομάτα καλλιεργούμενη στο έδαφος αύξησε τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα της γύρης. Η ελάχιστη συγκέντρωση του φωσφόρου στα φύλλα όπου δεν εμφανίζονται συμπτώματα στο φυτό της τομάτας είναι τα 4000 mg kg⁻¹ στο ξηρό βάρος (Σάββας, 2016). Τα συμπτώματα της έλλειψης φωσφόρου είναι εμφάνιση μωβ προς βιολετί χρώματος στα φύλλα (Εικόνα 2). Τα φυτά τομάτας που αναπτύσσονται υπό συνθήκες έλλειψης φωσφόρου αυξάνουν την ανάπτυξη της ρίζας, ενώ παράλληλα μεταβάλλεται και η μορφολογία του ριζικού συστήματος (Lynch 1995). Η έλλειψη φωσφόρου μπορεί επίσης να εμφανιστεί ακόμα και όταν υπάρχει επάρκεια φωσφόρου στο έδαφος αλλά η θερμοκρασία του εδάφους είναι κάτω από 14°C. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, παρόλο που υπάρχει φώσφορος, δεν είναι διαθέσιμος στην ρίζα (Lingle & Davis, 1959).



Εικόνα 2. Συμπτώματα έλλειψης φωσφόρου σε φύλλο τομάτας

Η τομάτα είναι επιδεκτική στην αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στην ριζόσφαιρα αφού ο ρυθμός ανάπτυξης αυξάνεται κατακόρυφα με την αύξηση του φωσφόρου, όταν αυτή ξεπερνάει το κρίσιμο σημείο επάρκειας (De Groot et al., 2002). Βέβαια, η υπερβολική εφαρμογή φωσφόρου σπάνια προκαλεί τοξικότητα σε τομάτες που καλλιεργούνται στο έδαφος, λόγω της χαμηλής διαλυτοποίησης του. Παρόλα αυτά, στην υδροπονία είναι πιθανή η τοξικότητα φωσφόρου, καθώς ο πλεονάζων φωσφόρος βρίσκεται σε διαλυτές μορφές και είναι ενεργός. Τέλος, με βάση τον Jones (1998), η συγκέντρωση 1% στο ξηρό βάρος είναι το κρίσιμο σημείο μεταξύ επάρκειας και τοξικότητας φωσφόρου στην τομάτα.

1.6.3.1. Η χρήση του φωσφόρου στις υδροπονικές καλλιέργειες

Η επίδραση της έλλειψης φωσφόρου στην τομάτα όσον αφορά μορφολογικά και μοριακά χαρακτηριστικά μελετήθηκε εκτεταμένα από τους Biddinger et al. (1998) σε φυτά που καλλιεργούνταν εκτός εδάφους. Παρατηρήθηκε ότι σε συγκέντρωση φωσφόρου στο θρεπτικό διάλυμα κάτω από 0,15 mmol/L μειώνεται σημαντικά το ξηρό βάρος του υπέργειου και του υπόγειου μέρους της τομάτας, ενώ σε συγκέντρωση κάτω από 0,1 mmol/L επηρεάζεται και η συγκέντρωση καλίου, μαγνησίου και ασβεστίου στους ιστούς της τομάτας. Αντίθετα, σε συγκεντρώσεις φωσφόρου πάνω από 0,25 mmol/L στο θρεπτικό διάλυμα, δεν επηρεάζεται η συγκέντρωση των υπόλοιπων στοιχείων, το ξηρό βάρος των φυτών σταθεροποιείται, δηλαδή δεν επηρεάζεται πλέον από την αύξηση του φωσφόρου. Κατά την καλλιέργεια της τομάτας σε υδροπονικό σύστημα, στο θρεπτικό διάλυμα προστίθεται φωσφόρος με στόχο την τελική συγκέντρωση το 1,4-1,5 mmol/L (Savvas et al., 2013). Αυτό πρακτικά σημαίνει πως η τομάτα θα μπορούσε να καλλιεργηθεί με μειωμένη συγκέντρωση φωσφόρου στο θρεπτικό διάλυμα και να μην παρουσιάζει προβλήματα στην ανάπτυξη και συμπτώματα τροφοπενίας.

1.7. Βιοδιεγέρτες

1.7.1. Ορισμός και τρόπος δράσης

Ο ορισμός των φυτικών βιοδιεγερτών που προτάθηκε από τον du Jardin (2015) είναι «κάθε ουσία ή μικροοργανισμός που εφαρμόζεται σε φυτά με στόχο την ενίσχυση της αποδοτικότητας των θρεπτικών, την ανθεκτικότητα στο αβιοτικό στρες ή/και την διατήρηση ή αύξηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας, ανεξάρτητα από την περιεκτικότητα του σε θρεπτικά συστατικά». Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι βιοδιεγέρτες αποτελούν μια ξεχωριστή κατηγορία προϊόντων και έχουν διαφορετικούς μηχανισμούς και τρόπους δράσης από τα λιπάσματα και τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα κάτι το οποίο συχνά δημιουργεί σύγχυση.

Η χρήση βιοδιεγερτικών ουσιών στην γεωργική πρακτική επηρεάζει μια σειρά από διαδικασίες, όπως η διευκόλυνση της πρόσληψης θρεπτικών ουσιών, η αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας, η βελτίωση φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, η προστασία των φυτών σε αντίξοες βιοτικές και αβιοτικές συνθήκες, η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος αλλά και η ποσοτική και ποιοτική βελτίωση των παραγόμενων προϊόντων (Du Jardin, 2015, Halpern et. al., 2015).

1.7.2. Κυριότερες κατηγορίες βιοδιεγερτών

Οι βιοδιεγέρτες φυτών κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την πηγή των πρώτων υλών. Οι κύριες κατηγορίες είναι οι εξής:

- 1) Εκχυλίσματα φυκών και φυτικών μερών
- 2) Χουμικά και φουλβικά οξέα
- 3) Προϊόντα υδρόλυσης πρωτεϊνών και αμινοξέα
- 4) Εμβόλια μικροοργανισμών (μύκητες, βακτήρια)
- 5) Χιτοζάνη και άλλα βιοπολυμερή
- 6) Ανόργανες ενώσεις (Al, Co, Na, Se και Si)

Όπως αναφέρεται και παραπάνω, οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή βιοδιεγερτικών προϊόντων είναι ποικίλες. Κάποιες από αυτές χρησιμοποιούνται αυτούσιες και κάποιες άλλες υπόκεινται σε επεξεργασίες έως ότου βρεθούν σε μια ικανοποιητική και αξιοποιήσιμη μορφή ώστε να

χρησιμοποιηθούν στους βιοδιεγέρτες. Για παράδειγμα, τα φύκη προέρχονται κυρίως από θαλάσσια οικοσυστήματα ενώ φυτικά μέρη, όπως σπόροι, φύλλα, ρίζες και εκκρίματα, ανήκουν σε φυτά διάφορων οικογενειών με κυριότερες τις Amaryllidaceae, Brassicaceae, Ericaceae, Fabaceae, Fagaceae, Moringaceae, Plantaginaceae, Poaceae, Rosaceae, Solanaceae, Theaceae και Vitaceae (Yakhin et. al., 2017). Σχετικά με τα εμβόλια μικροοργανισμών, οι μύκητες, τα βακτήρια, οι ζυμομύκητες και οι μεταβολίτες αυτών απομονώνονται, καλλιεργούνται εργαστηριακά και αξιοποιούνται στη γεωργική πρακτική (Du Jardin, 2015, Yakhin et. al., 2017). Τα χουμικά και τα φουλβικά οξέα βρίσκονται και λαμβάνονται από πετρώματα, από την αποσύνθεση οργανικών αποβλήτων αλλά και από την δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων (Halpern et. al., 2015). Η κατηγορία των βιοδιεγερτών που περιλαμβάνει χιτοζάνη και άλλα βιοπολυμερή, παραλαμβάνονται από θαλάσσια καρκινοειδή και ένζυμα (Yakhin et al., 2017). Τέλος, τα προϊόντα υδρόλυσης πρωτεϊνών και τα αμινοξέα προέρχονται από ζωικά και φυτικά υποπροϊόντα και απόβλητα (Halpern et. al., 2015, Yakhin et. al., 2017).

1.7.3. Η χρήση των βιοδιεγερτών στην καλλιέργεια της τομάτας

Η χρήση των βιοδιεγερτών έχει ήδη μελετηθεί τα προηγούμενα χρόνια στην καλλιέργεια της τομάτας, αφού αποτελεί ένα φυτό πρότυπο για την μελέτη των λαχανικών. Τα υγρά εκχυλίσματα φυκών, για παράδειγμα, από *Ulva lactuca*, *Caulerpa sertularioides*, *Padina gymnospora* και *Sargassum liebmannii* μελετήθηκαν σε καλλιέργεια τομάτας ώστε να αξιολογηθεί η ανάπτυξη και η βλάστηση των φυτών. Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν έδειξαν αυξημένη βλαστική ικανότητα των σπόρων που έχουν υποστεί επεξεργασία με *Ulva lactuca* και *Padina gymnospora* ενώ σε ότι αφορά τα φυτά μετέπειτα, παρουσίασαν αυξημένο μήκος βλαστών, μήκος ρίζας και βάρος (Hernandez-Herrera et. al., 2013). Σε άλλη μελέτη στην καλλιέργεια της τομάτας όπου έγινε εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Viva (Valagro SpA, www.valagro.com) η ολική παραγωγή αυξήθηκε τόσο στα φυτά σε ιδανικές συνθήκες θρέψης (100% θρέψη σε NKP) όσο και στα φυτά που αναπτύσσονταν υπό συνδυασμένη καταπόνηση (-40% NKP) (Koleška et. al., 2017). Ομοίως στην μελέτη των Petrozza et al. (2014) ο βιοδιεγέρτης ο οποίος προερχόταν από μίγμα αμινοξέων, οδήγησε στην καλύτερη ανάπτυξη της βιομάζας των φυτών καθώς και στην ταχύτερη ανάρρωση των φυτών μετά από το πέρας της υδατικής καταπόνησης που εφαρμόζοταν στην συγκεκριμένη μελέτη. Η ποιότητα των καρπών της τομάτας έχει επίσης αποδειχθεί ότι βελτιώνεται με την χρήση βιοδιεγερτικών ουσιών καθώς ορισμένα σκευάσματα έχουν την ικανότητα να αυξάνουν την οξύτητα και τα ολικά διαλυτά στερεά της τομάτας, ειδικά όταν αυτή αναπτύσσεται σε συνθήκες έλλειψης νερού (Peripolli et al., 2020).

1.7.4. Οι βιοδιεγέρτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη

1.7.4.1. Σκεύασμα εκχυλίσματων φυκών (*Maxicrop*)

Από τους βιοδιεγέρτες οι οποίοι περιέχουν εκχυλίσματα φυκών επιλέχτηκε προς μελέτη το σκεύασμα με την εμπορική ονομασία Maxicrop. Το Maxicrop είναι ένας από τους ευρέως χρησιμοποιούμενους βιοδιεγέρτες στην Ελλάδα, παρόλα αυτά σε πολλούς καταλόγους προϊόντων αναφέρεται ως λίπασμα-προϊόν θρέψης (ΕΛΛΑΓΡΕΤ ΑΒΕΕ, 2016, Φυτοπροστασία ΕΛΛΑΓΡΕΤ, 2015). Παρασκευάζεται από εκχυλίσματα φυκών *Ascophyllum nodosum* και περιέχει φυτορμόνες, φυσικούς βιοδιεγέρτες ανάπτυξης, μακροστοιχεία, ιχνοστοιχεία και ουσίες υψηλής βιολογικής αξίας για τα φυτά (ΕΛΛΑΓΡΕΤ ΑΒΕΕ, 2016, Maxicrop, 2018). Το πρώτο εκχύλισμα φυκών σε υγρή μορφή καταγράφηκε το 1940 και ήταν διαθέσιμο στην αγορά με το όνομα «Maxicrop» (Stirket. al., 2014). Οι επιδράσεις που έχει στους φυτικούς οργανισμούς αφορούν την φυτρωτικότητα, τη ριζοβολία και την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, την ανοχή σε αβιοτικές και βιοτικές καταπονήσεις καθώς και την βελτιωμένη ποιότητα και αυξημένη ποσότητα των παραγόμενων ειδών. Η εφαρμογή του γίνεται διαφυλλικά ή με προσθήκη στο έδαφος. Όσον αφορά την υδροπονική καλλιέργεια, το ριζοπότισμα προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα ανάπτυξης των φυτών γι' αυτό και συνήθως επιλέγεται σε αντίθεση με τον ψεκάσμο του φυλλώματος (Steveni et al., 1992).

1.7.4.2. Σκεύασμα πρωτεϊνών (*Edypro*)

Στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη μελετήθηκαν επίσης και σκευάσματα πρωτεϊνών. Με βάση των Ευρωπαϊκό κανονισμό (ΕΕ Νο. 354/2013) απαγορεύονται στην γεωργία η χρήση πρωτεϊνών από ζωικής προέλευσης προϊόντα. Αντιθέτως τα εκχυλίσματα φυτικών πρωτεϊνών έχουν δείξει ενδιαφέροντα αποτελέσματα έως τώρα. Γι' αυτόν τον λόγο επιλέχτηκε η εταιρεία Edypro η οποία εδρεύει στην Βαλένθια και ασχολείται με την βιοτεχνολογία και την καινοτομία σε αγροτικά προϊόντα και σκευάσματα που θα βοηθήσουν στην παραγωγή (www.edyro-online.com). Οι βιοδιεγέρτες που εφαρμόστηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη ονομάζονταν "COUPÉ REGENERACIÓN" και "PROCUAJE RADICULAR" τα οποία περιέχουν εκχυλίσματα φυτικών πρωτεϊνών και ιχνοστοιχείων αντίστοιχα. Η δράση τους αναφέρεται στην υποβοήθηση της γονιμοποίησης μέσω της αύξησης του σχηματισμού και της ποσότητας της γύρης στα άνθη. Ακόμη, ενισχύουν την διαθεσιμότητα των υδατανθράκων και αυξάνουν την φωτοσύνθεση.

1.7.4.3. Σκεύασμα με στριγολακτόνες (*Strigolab*)

Μια άλλη κατηγορία βιοδιεγερτών είναι οι στριγκολακτόνες. Είναι μια οικογένεια μορίων που παράγονται από όλα τα χερσαία φυτά. Συντίθενται σε μικρές ποσότητες κυρίως από ιστούς των ρίζων και μετατοπίζονται σε όλα τα μέρη του φυτού για να λειτουργήσουν ως ορμόνες ή για να ενεργήσουν ως μόρια - σηματοδότες προς τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Οι στριγκολακτόνες επιδρούν στα φυτά με :

- α) την διαμόρφωση της ριζά και την μορφολογία του βλαστού
- β) ρυθμίζοντας την αναπαραγωγή,
- γ) βελτιώνοντας την ανόργανη θρέψη
- δ) ρυθμίζοντας την αντοχή σε παθογόνους μύκητες, την ξηρασία και τα στρες γενικός. (<https://strigolab.eu/>)

Οι στριγγολακτόνες είναι μία ομάδα ενώσεων που προέρχονται από καροτενοειδή και προάγουν την συμβίωση με μυκορριζικούς μύκητες, προάγοντας την διακλάδωση αυτών. Οι στριγγολακτόνες έχουν διάφορους ρόλους με θετική ή αρνητική επίδραση, όμως σε έλλειψη θρεπτικών, αυξημένα επίπεδα στριγγολακτόνων (SLs) καταστέλλουν τη ανάπτυξη πλάγιων οφθαλμών και προάγουν την επιμήκυνση των ριζικών τριχιδίων, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της επιβίωσης των φυτών υπό καταπόνηση θρέψης (Victoria Gomez – Roldan et.al., 2008). Σε γενικές γραμμές, οι στριγγολακτόνες έχουν αποδειχθεί ότι εγκλιματίζουν ταχύτερα τα φυτά σε συνθήκες έλλειψης νερού και θρεπτικών στοιχείων με τον κυριότερο μηχανισμό τους να είναι η αλλαγή της μορφολογίας της ριζας και η προτροπή των φυτών για συμβίωση με ωφέλιμα βακτήρια και μύκητες (Umehara et al., 2011; Koltai et al., 2013; Marzec et al., 2013; Ruis-Lozano et al., 2016; Mostofa et al., 2018; Cardinale et al., 2018; Chesterfield et al., 2020)

1.8. Σκοπός της μελέτης

Η εφαρμογή νερού και λιπασμάτων στην καλλιέργεια της τομάτας πρέπει να ελαττωθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια για πολλούς λόγους οι οποίοι αναφέρθηκαν εκτενώς στην εισαγωγή. Η μείωση αυτή των εισροών στην καλλιέργεια θα πρέπει όμως να αποφευχθεί μέσω της αύξησης της αποδοτικότητας χρήσης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων. Η χρήση των βιοδιεγερτών έχει ήδη δείξει ενδιαφέροντα αποτελέσματα στην καλλιέργεια της τομάτας και θα μπορούσε να αποτελέσει μια αποτελεσματική λύση για την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού και λιπασμάτων. Η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη έχει σκοπό να μελετήσει 3 διαφορετικούς βιοδιεγέρτες οι οποίοι ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες βιοδιεγερτών ώστε να εξακριβωθεί κατά πόσο αυτοί μπορούν να

αυξήσουν την αποδοτικότητα χρήσης νερού και θρεπτικών στην καλλιέργεια της τομάτας όταν αυτή αναπτύσσεται κάτω από συνθήκες συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1. Χώρος και χρόνος καλλιέργειας

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε υαλόφρακτο θερμοκήπιο του εργαστηρίου Κηπευτικών εντός του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από την 10η Σεπτεμβρίου 2019 έως την 16η Ιανουαρίου 2020. Η ποικιλία τομάτας που μελετήθηκε ήταν η *Solanum lycopersicum* var. Nostymi B15F1 εμβολιασμένη στο υποκείμενο Bil-6335 (TOMPRES-149) ένας γονότυπος προερχόμενος από προγράμματα βελτίωσης που πραγματοποιούνται στο Ισραήλ για την δημιουργία γονοτύπων ανθεκτικών στην ξηρασία. Οι γονότυποι αυτοί προέρχονται από διασταυρώσεις της κοινής τομάτας με το άγριο είδος *Solanum pennelli* και έχουν περιγραφεί στην μελέτη των Ofner et al. (2016). Η μελέτη περιλάμβανε 2 μεταχειρίσεις και 4 επαναλήψεις, ενώ κάθε επανάληψη είχε αρχικά 9 και στην συνέχεια 8 φυτά αφού ένα φυτό ανά πειραματικό τεμάχιο αφαιρέθηκε στις 70 ημέρες της καλλιέργειας για προσδιορισμό του νωπού του βάρους, του ξηρού του βάρους, της φυλλικής επιφάνειας και άλλων παραμέτρων που θα αναλυθούν παρακάτω.



Εικόνα 3. Φυτά τομάτας κατά το βλαστητικό στάδιο.

Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν οι δυο θάλαμοι του θερμοκηπίου του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών. Οι θάλαμοι του πειράματος έχουν εμβαδόν 80 τ.μ. έκαστος και τα φυτά φυτεύτηκαν σε πυκνότητα 2,25 φυτά m^{-2} . Κάθε θάλαμος περιέχει 10 γραμμές φύτευσης. Από αυτές τις 10 γραμμές, οι δυο ακριανές, παρόλο που φυτεύτηκαν με φυτά τομάτας, δεν

συμμετείχαν στις επεμβάσεις του πειράματος και δεν συλλέχθηκαν δείγματα για αναλύσεις (φυτά border). Τα φυτά border ήταν της ίδια ποικιλίας εμβολιασμένα σε υποκείμενο EMPERATORF1. Όλοι οι θάλαμοι του θερμοκηπίου διαθέτουν σύστημα θέρμανσης, καθώς επίσης και τους περισσότερους αυτοματισμούς που υπάρχουν στα σύγχρονα θερμοκήπια. Τέτοιοι αυτοματισμοί είναι το αυτόματο άνοιγμα και κλείσιμο των παραθύρων, το αυτόματο σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου που εξασφαλίζει την σταθερή επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου και τα εντομοστεγή δίκτυα που εμποδίζουν την είσοδο των εντομών στο θερμοκήπιο. Επιπλέον, ο κάθε θάλαμος διέθετε 10 σειρές, σε ζεύγη ανά 2, ανυψωμένες με σταθερό επίπεδο πλαίσιο, όπου πάνω του στέκονται οι σάκοι του πετροβάμβακα (slabs).

Ο συνολικός χρόνος της καλλιέργειας ήταν 120 ημέρες ξεκινώντας από τις 12/09/2019 με την μεταφύτευση και ολοκληρώνοντας την πειραματική διαδικασία στις 16 Ιανουαρίου με την κοπή των στελεχών. Οι αναλύσεις των απορροών και οι μετρήσεις της πρώτης δειγματοληψίας των φυτών πραγματοποιούνταν στο Εργαστήριο των Κηπευτικών Καλλιεργειών ταυτόχρονα με την καλλιέργεια των φυτών, ενώ οι υπόλοιπες εργαστηριακές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν μετά το πέρας της καλλιέργειας των φυτών (Φεβρουάριος-Μάρτιος 2020).

2.2. Το υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε ανοικτό υδροπονικό σύστημα. Η κεφαλή υδρολίπανσης που διέθετε το θερμοκήπιο ήταν της εταιρίας ALAGRO με πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα τόσο ανάμιξης των λιπασμάτων της εκάστοτε συνταγής, όσο και της εφαρμογής ποτισμάτων, καθώς συνοδευόταν με αισθητήρες και κέντρο ελέγχου των μετεωρολογικών συνθηκών. Η παρασκευή των πυκνών διαλυμάτων γινόταν σε έναν μη-αυτοματοποιημένο κάδο ανάμιξης που έδινε τη δυνατότητα ανάδευσης και συμπλήρωσης με νερό. Σύμφωνα με την εκάστοτε συνταγή που δινόταν από το εργαστήριο, ζυγίζοντουσαν τα λιπάσματα και με κατάλληλη αραίωση (1:100), παράγονταν τα πυκνά διαλύματα όπου και αποθηκεύονταν σε δύο δοχεία των 50L. Εκτός από τα δοχεία Α και Β, υπήρχε και το δοχείο του οξέος. Από εκεί και πέρα η ανάμιξη πραγματοποιούνταν από την κεφαλή υδρολίπανσης, η οποία αντλούσε νερό και ποσότητες διαλυμάτων από τα τρία δοχεία, ώστε να παρασκευάσει το θρεπτικό διάλυμα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα και το pH που είχε ζητηθεί για να τροφοδοτήσει την καλλιέργεια. Ο μη-αυτοματοποιημένος κάδος ανάμιξης λιπασμάτων και προετοιμασίας αραιού θρεπτικού διαλύματος, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε αργότερα για την προετοιμασία του θρεπτικού διαλύματος για τα φυτά όπου εφαρμόστηκε η συνδυασμένη καταπόνηση.



Εικόνα 4. Κεφαλή υδρολίπανσης

Στον θάλαμο καλλιέργειας των φυτών υπήρχαν 10 σειρές καναλιών, διαμορφωμένες σε διπλές γραμμές, οι οποίες λειτουργούσαν και ως κανάλια απορροής, αφού είχαν την απαραίτητη κλίση και τα κατάλληλα λούκια ώστε να συλλέγουν την απορροή στην μια πλευρά. Επάνω στις σειρές τοποθετήθηκαν οι πλάκες του πετροβάμβακα. Σε κάθε πλάκα πετροβάμβακα τοποθετήθηκαν τρία φυτά τομάτας και κάθε φυτό τομάτας είχε ένα ή δυο μικροσωλήνες άρδευσης με λόγχη. Για την συλλογή των διαλυμάτων απορροής με σκοπό την τακτική μέτρηση της ποσότητας, της αγωγιμότητας και του pH τους καθημερινά, αλλά και την πιο συγκεκριμένη ανάλυση τους σε θρεπτικά στοιχεία στο τέλος κάθε καναλιού βρίσκονταν ογκομετρημένα δοχεία συλλογής.



Εικόνα 5. Εγκατάσταση πλακών πετροβάμβακα στους θαλάμους του θερμοκηπίου.

2.3. Η εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων

Από τις 8 γραμμές φύτευσης κάθε θαλάμου, όπου χρησιμοποιήθηκαν για τις επεμβάσεις των φυτών και την διενέργεια μετρήσεων, οι 4 χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των φυτών σε ιδανικές συνθήκες χορήγησης θρεπτικού διαλύματος, ενώ οι άλλες 4 για την ανάπτυξη των φυτών όπου εφαρμόστηκε η συνδυασμένη καταπόνηση νερού και θρεπτικών στοιχείων. Το πειραματικό σχέδιο των φυτών για τους δυο θαλάμους του θερμοκηπίου παρουσιάζεται στο παράρτημα και συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 7.5.

Κατά τις πρώτες 45 ημέρες της καλλιέργειας, η εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης πραγματοποιούνταν με την μικρότερη χορήγηση δόσης θρεπτικού διαλύματος σε κάθε κύκλο άρδευσης. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε no stress φυτό, η χορήγηση του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιούνταν με δυο σταλλάκτες οι οποίοι είχαν σταθερή ροή 4 και 2 λίτρα την ώρα (Εικ. 6). Σε αντίθεση, σε κάθε stress

φυτό, η χορήγηση πραγματοποιούνταν με έναν σταλλάκτη παροχής 4 λίτρων ανά ώρα. Με αυτόν τον τρόπο, στα φυτά stress χορηγούνταν 33% λιγότερο θρεπτικό διάλυμα σε σύγκριση με τα φυτά no stress.

Ο ημερήσιος αριθμός των κύκλων άρδευσης (κύκλος χορήγησης θρεπτικού διαλύματος) ήταν μεταβλητός και εξαρτώνταν από την ηλιοφάνεια της κάθε ημέρας. Πιο συγκεκριμένα, οι θάλαμοι του θερμοκηπίου διέθεταν ηλιόμετρο το οποίο καθόριζε την συχνότητα των ποτισμάτων ώστε το ποσοστό απορροής των no stress φυτών να διατηρείται περίπου στο 20%. Η συγκεκριμένη μέθοδος τροποποιήθηκε μετά τις πρώτες 45 ημέρες της καλλιέργειας. Για την χορήγηση θρεπτικού διαλύματος στα φυτά όπου εφαρμόζονταν η συνδυασμένη καταπόνηση, η παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων γινόταν ξεχωριστά από το υδροπονικό μηχάνημα μέσω χειρωνακτικής αραίωσης και παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος, το οποίο αποθηκευόταν σε δύο δεξαμενές (μία ανά θάλαμο) των 200L. Με αυτόν τον τρόπο, το θρεπτικό διάλυμα τροποποιήθηκε ώστε να περιέχει μικρότερες συγκεντρώσεις κάποιων συγκεκριμένων θρεπτικών στοιχείων, ενώ παράλληλα ήταν δυνατή και η μείωση της συχνότητας ποτισμάτων. Με την συγκεκριμένη επέμβαση, στα φυτά stress χορηγούνταν 40% λιγότερη ποσότητα θρεπτικού διαλύματος, ενώ και το θρεπτικό διάλυμα περιείχε και μειωμένες συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων. Οι αναλυτικές συνταγές για όλα τα θρεπτικά διαλύματα που παρασκευάστηκαν κατά την διάρκεια της καλλιέργειας είναι διαθέσιμες στο Παράρτημα της παρούσας μελέτης και συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 7.1.



Εικόνα 6. Χορήγηση θρεπτικού διαλύματος στα φυτά χωρίς συνδυασμένη καταπόνηση με την χρήση δυο σταλλακτών ροής 4 και 2 λίτρα ανά ώρα.

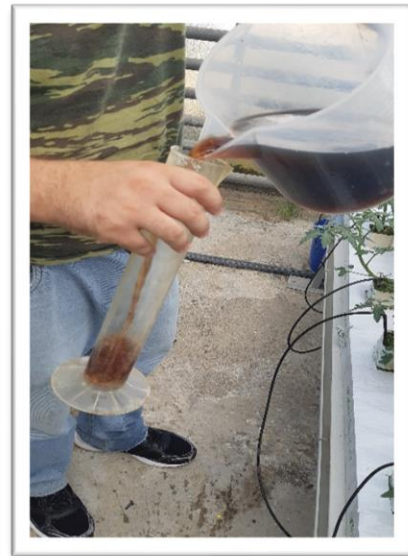
2.4. Η εφαρμογή των βιοδιεγερτών

2.4.1 Εφαρμογή του βιοδιεγέρτη της εταιρείας Edypro

Η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη της εταιρείας Edypro περιλάμβανε την χρήση δυο διαφορετικών προϊόντων. Το πρώτο προϊόν ονομάζεται COUPÉ REGENERACIÓN Plus και το δεύτερο προϊόν ονομάζεται PROCUAJE RADICULAR. Το Coupe Regeneracion Plus αποτελείται από πρωτεΐνες και εκχυλίσματα φυτών. Το συγκεκριμένο σκεύασμα έχει παρασκευαστεί με ένα συνδυασμό αμινοξέων και ενζυματικά υδρολυμένων φυτικών πρωτεϊνών μετά από ζύμωση με *Lactobacillus sp.* Το Procuaje Radicular περιέχει



Εικόνα 8. Εφαρμογή του βιοδιεγέρτη της εταιρείας Edypro



Εικόνα 7. Προετοιμασία του βιοδιεγέρτη της εταιρείας Edypro.

ιχνοστοιχεία και διεισδυτικούς παράγοντες καθώς και πρόδρομα στοιχεία λίπανσης. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα προϊόντα μπορούν να γίνουν προσβάσιμες από την ηλεκτρονική διεύθυνση της εταιρείας <https://www.edypro-online.com>. Το σκεύασμα Coupe Renegeracion Plus εφαρμόστηκε την ημέρα της μεταφύτευσης και 14 ημέρες αργότερα. Η εφαρμογή του γίνεται με την διάλυση 3.5 ml βιοδιεγέρτη σε κάθε φυτό μέσω του θρεπτικού διαλύματος. Το σκεύασμα Procuaje Radicular ξεκίνησε να εφαρμόζεται κατά την έναρξη της άνθισης ενώ έπειτα εφαρμοζόταν κάθε 7 ημέρες με δόση 0,69 ml ανά φυτό. Η χορήγησή του πραγματοποιούνταν και πάλι μέσω διάλυσής του στο θρεπτικό διάλυμα.



Εικόνα 9. Προετοιμασία του βιοδιεγέρτη της εταιρείας Edypro.

2.4.2. Εφαρμογή του βιοδιεγέρτη της εταιρείας Strigolab

Ο βιοδιεγέρτης της εταιρείας Strigolab είναι ένας βιοδιεγέρτης βασισμένος σε συνθετικές στριγγολακτόνες οι οποίες εκχυλίζονται από εξιδρώματα ριζών από φυτά τομάτας που αναπτύσσονται σε σύστημα αεροπονίας. Η προετοιμασία του σκευάσματος γίνεται με την διάλυση 3 ml βιοδιεγέρτη σε 3 ml ακετόνης. Τα 6 ml που προκύπτουν, διαλύονται σε 20 λίτρα ψεκαστικού υγρού (νερό) και ψεκάζονται στα φυτά. Ο ψεκασμός των φυτών πραγματοποιήθηκε στις 25 Σεπτεμβρίου 2019 (13 ημέρες μετά την μεταφύτευση). Για την αποφυγή ψεκασμού διπλανών σειρών, ανάμεσα στις σειρές της τομάτας τοποθετήθηκε μαύρο πλαστικό όπως αυτό εμφανίζεται στην εικόνα 10.



Εικόνα 10. Εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Strigolab.

2.4.3. Εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Maxicrop

Ο βιοδιεγέρτης Maxicrop αποτελείται κυρίως από εκχυλίσματα φυκών του είδους *Ascophyllum nodosum* και είναι διαθέσιμος στην ελληνική αγορά από την εταιρεία Ελλαγρέτ www.ellagret.gr. Ο συγκεκριμένος βιοδιεγέρτης μπορεί να εφαρμοστεί στα φυτά της τομάτας είτε με ψεκασμό είτε ως ριζοπότισμα. Σε μελέτη των Steveni et al. (1992) παρατηρήθηκε ότι σε υδροπονική καλλιέργεια με κριθάρι, το ριζοπότισμα έδωσε καλύτερα αποτελέσματα (φυλλική επιφάνεια, νωπό και ξηρό βάρος φυτών) συγκριτικά με τον ψεκασμό του βιοδιεγέρτη στο φύλλωμα. Συνεπώς, με βάση της βιβλιογραφία, αλλά και για λόγους πρακτικότητας, ο συγκεκριμένος βιοδιεγέρτης εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα στα φυτά της τομάτας. Η εφαρμογή πραγματοποιούταν με διάλυση 1 ml βιοδιεγέρτη στο θρεπτικό διάλυμα κάθε φυτού. Με βάση τις οδηγίες της ετικέτας, η πρώτη εφαρμογή πρέπει να γίνεται με μικρότερη ποσότητα σκευάσματος, γι αυτό και η πρώτη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε με 0,5 ml βιοδιεγέρτη. Η εφαρμογή ξεκίνησε κατά την μεταφύτευση και επαναλαμβανόταν κάθε 14 ημέρες.

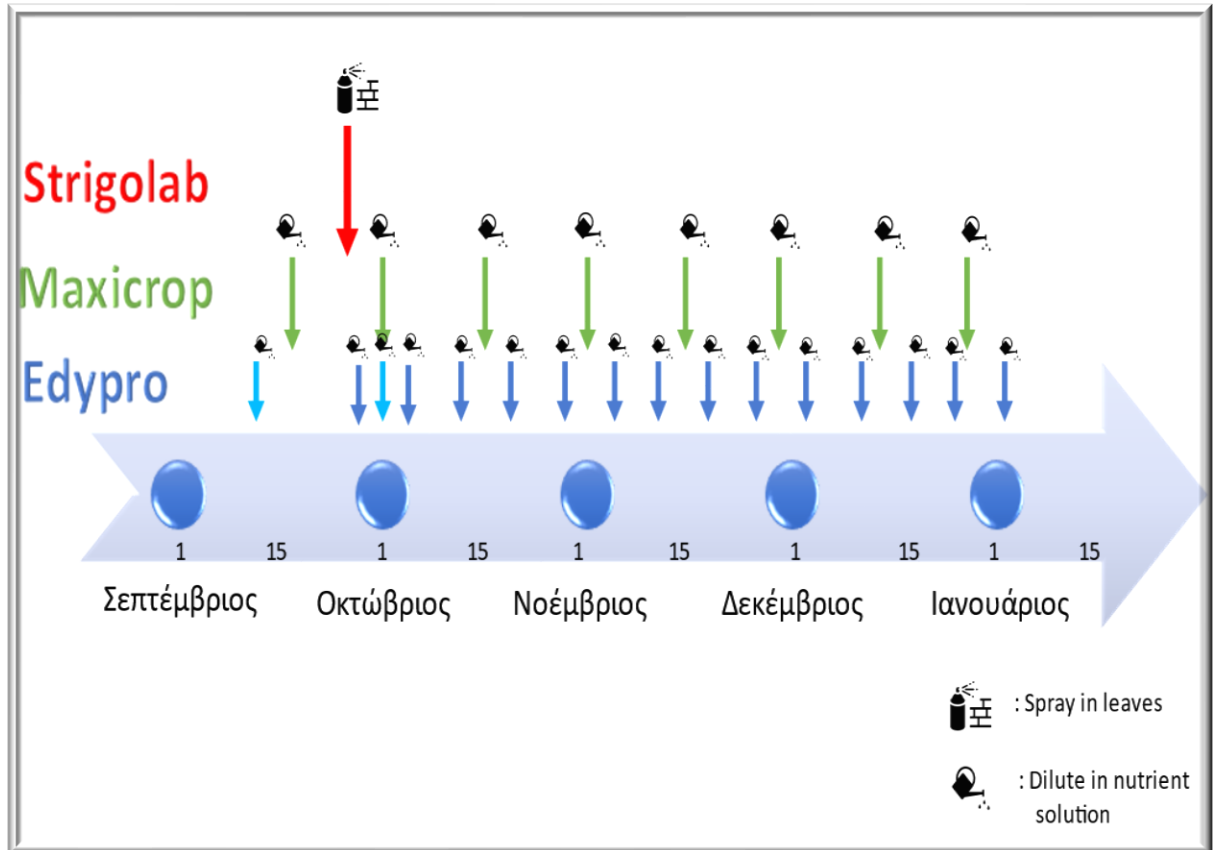


Εικόνα 12. Αραίωση του βιοδιεγέρτη Maxicrop



Εικόνα 11. Προσθήκη του βιοδιεγέρτη Maxicrop στο θρεπτικό διάλυμα.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2.4.3.1) παρατηρείται και σχηματικά η εφαρμογή των βιοδιεγερτών κατά την πορεία της καλλιέργειας της τομάτας στο θερμοκήπιο:



Διάγραμμα 2.4.3.1. Σχηματική απεικόνιση της εφαρμογής όλων των βιοδιεγερτών κατά την διάρκεια της καλλιέργειας.

2.5. Καλλιεργητικές περιποιήσεις

2.5.1. Υποστύλωση

Η υποστύλωση γίνεται σε συνδυασμό με το κλάδεμα για την καλύτερη αξιοποίηση του όγκου του θερμοκηπίου και σκοπό έχει να διευκολύνει 1) το κλάδεμα για ρύθμιση του φορτίου παραγωγής, 2) την εκτέλεση των καλλιεργητικών εργασιών (καταπολέμηση ασθενειών, συγκομιδή καρπών κλπ), 3) τον φυσικό και τεχνητό αερισμό και 4) το φωτισμό των φυτών.

Στην παρούσα μελέτη τα φυτά είχαν μονοστέλεχο σύστημα μόρφωσης. Η υποστύλωση των φυτών έγινε με την βοήθεια των οριζόντιων συρμάτων που υπήρχαν πάνω από τις γραμμές καλλιέργειας. Τα φυτά την ημέρα της εγκατάστασης τους πάνω στις πλάκες πετροβάμβακα περιελίχτηκαν με συνθετικό σπάγκο και αναρτήθηκαν στα οριζόντια σύρματα με τους ειδικούς μηχανισμούς περιέλιξης και ανάρτησης. Αυτοί οι μηχανισμοί μας εξασφάλισαν την καλή στήριξη των φυτών καθώς και το εύκολο "κατέβασμα" όταν τα φυτά βρεθήκαν σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης. Ωστόσο, για την αποφυγή τραυματισμών των βλαστών της κορυφής χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά κλιπ τα οποία συγκρατούσαν το στέλεχος του φυτού κοντά στο σπάγκο υποστύλωσης.

2.5.2. Κλαδέματα

Το κλάδεμα όπως και η υποστύλωση του φυτού της τομάτας στο θερμοκήπιο είναι εργασίες επιβεβλημένες και η εφαρμογή τους στα φυτά γίνεται ταυτόχρονα και συμβάλλουν στην καλύτερη αξιοποίηση του όγκου του θερμοκηπίου.

Οι κύριοι στόχοι του κλαδέματος είναι:

- α) η εξισορρόπηση βλάστησης και καρποφορίας
- β) ανάλογα με το σύστημα μόρφωσης που επιλέγουμε (μονοστέλεχο – διστέλεχο) περιορίζεται ο αριθμός των ταξιανθιών στον κεντρικό ή στους δυο βλαστούς αντίστοιχα
- γ) η συγκέντρωση της παραγωγής σε ορισμένη χρονική περίοδο
- δ) εξασφάλιση ομοιογένειας στους καρπούς και βελτίωση της ποιότητας τους (γεύση, συνεκτικότητα, χρώμα κλπ.) (Χρίστου Μ. Ολύμπιου, 2001).

Με το κλάδεμα μορφώνονται τα φυτά σε δυο κυρίως συστήματα, το μονοστέλεχο και το διστέλεχο σύστημα. Η καλλιεργητική περιποίηση του κλαδέματος περιλαμβάνει και τις εργασίες του **βλαστολογήματος**, του **κορυφολογήματος** και της **αποφύλλωσης** των φυτών. Στην συγκεκριμένη μελέτη δεν εφαρμόστηκε κλάδεμα μόρφωσης διότι τα φυτά που μας χορηγήθηκαν από το φυτώριο ήταν μονοστέλεχα.

Το βλαστολόγημα είναι η εργασία εκείνη κατά την οποία αφαιρούμε τους πλάγιους βλαστούς οι οποίοι σχηματίζονται από τους οφθαλμούς που βρίσκονται στις μασχάλες των φύλλων. Στο μονοστέλεχο σύστημα μόρφωσης που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια, οι πλάγιοι βλαστοί δεν είχαν καμία χρησιμότητα. Για τον λόγο αυτό καθ' όλη την διάρκεια της καλλιέργειας σε εβδομαδιαία βάση τα φυτά βλαστολογούνταν, ώστε να μην ζημιώνονται από τους πλάγιους βλαστούς σε επίπεδο ανάπτυξης και παραγωγής. Το βλαστολόγημα είναι μια προγραμματισμένη εργασία που δεν πρέπει να καθυστερεί διότι, όταν οι πλάγιοι βλαστοί μεγαλώσουν αρκετά είναι δύσκολο να αποκοπούν με το χέρι και δημιουργούνται μεγάλοι τραυματισμοί στο στέλεχος του φυτού. Όταν όμως το βλαστολόγημα πραγματοποιείται στην ώρα του τότε οι τρυφεροί και εύθραυστοι πλάγιοι βλαστοί αποκόπτονται εύκολα με το χέρι χωρίς να δημιουργούνται τραυματισμοί.



Εικόνα 13. Βλαστολόγημα τομάτας.

Το κορφολόγημα είναι μια τεχνική που γίνεται όταν η καλλιέργεια πλησιάζει προς το τέλος της (1,5 – 2μηνες πριν το τέλος). Επί της ουσίας είναι η αφαίρεση της κορυφής των φυτών με σκοπό να εμποδίσει το φυτό να παράγει νέα φύλλα και ταξικαρπίες. Ταυτόχρονα το κορφολόγημα συμβάλλει στην ταχύτερη ωρίμανση των υπαρχόντων καρπών. Στην παρούσα καλλιέργεια, η εργασία του κορφολογήματος πραγματοποιήθηκε λίγο πριν αφαίρεση των φυτών.



Εικόνα 14. Εικόνα φυτών μετά το κορυφολόγημα

Η αποφύλλωση είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται όταν πλέον τα φυτά έχουν μεγαλώσει αρκετά, δηλαδή σε στάδιο όπου πάνω στο φυτό υπάρχουν ταξικαρπίες προς ωρίμανση άλλα και ταξιανθίες που είναι έτοιμες για καρπόδεση. Με την αποφύλλωση αφαιρούμε τα φύλλα εκείνα που βρίσκονται κάτω από τις ωριμάζουσες ταξικαρπίες. Τα φύλλα αυτά συνήθως είναι γέρικα με χαμηλή φωτοσυνθετική ικανότητα. Οι κύριοι στόχοι της αποφύλλωσης είναι α) ο καλύτερος φωτισμός των καρπών που βρίσκονται κοντά στο στάδιο της ωρίμανσης, πράγμα που βελτιώνει την ποιότητα των καρπών β) ρύθμιση της προιμότητας ή της οψιμότητας της παραγωγής. Σε περιπτώσεις όπου γίνει αποφύλλωση νεαρών φύλλων τα οποία είναι χρήσιμα για το φυτό τότε έχουμε σαν συνέπεια την οψίμιση της παραγωγής. Το φυτό της τομάτας λόγω της φυσιολογίας που έχει, παρουσιάζει μια ευλυγισία του κεντρικού του στελέχους, πράγμα που μας δίνει τη δυνατότητα να καλλιεργούμε υβρίδια τομάτας με μεγάλο κύκλο καλλιέργειας σε υδροπονικά θερμοκήπια που έχουν περιορισμένο ύψος. Η τεχνική της αποφύλλωσης συνήθως πραγματοποιείται ταυτόχρονα με το κατέβασμα των φυτών. Στο πείραμα πραγματοποιήθηκε αποφύλλωση αφήνοντας 18 πραγματικά φύλλα πανώ σε κάθε φυτό. Για να εξυπηρετηθούν οι στόχοι του πειράματος και να αποφευχθούν οι αποκλίσεις και τα σφάλματα στις μετρήσεις, η αποφύλλωση των φυτών γίνονταν με σκοπό την διατήρηση της ομοιομορφίας ανά μεταχείριση.

Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας στα πλαίσια του κλαδέματος έγινε και αφαίρεση φύλλων με στόχο τον καλό αερισμό των φυτών και την αποφυγή ασθενειών όπως το οίδιο.

2.5.3. Υποβοήθηση καρπόδεσης

Η τομάτα είναι αυτογονιμοποιούμενο φυτό, όμως σε περιπτώσεις όπου επικρατούν συνθήκες χαμηλού φωτισμού το στίγμα βγαίνει έξω από τους ανθήρες και είναι δυνατόν να σταυρογονιμοποιηθεί. Κατά το άνοιγμα του άνθους το στίγμα είναι ώριμο. Πρέπει όμως να περάσουν 24-48 ώρες για να διαρραγούν οι ανθήρες και να γίνει η επικονίαση. Η γονιμοποίηση λαμβάνει χώρα μετά από 48 ώρες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα από το άνοιγμα του άνθους μέχρι την καρπόδεση να περνούν 3-4 ημέρες. Για να υπάρξει παραγωγή καρπών οι απαιτούμενες προϋποθέσεις είναι α) να έχουν σχηματιστεί άνθη και β) τα άνθη που σχηματιστήκαν να έχουν επιτυχία καρπόδεσης. Υπό ιδανικές συνθήκες για την γονιμοποίηση τα άνθη της τομάτας αυτογονιμοποιούνται σε υψηλό ποσοστό, όμως στα θερμοκήπια οι συνθήκες δεν είναι πάντα οι ευνοϊκές γι' αυτό συνίσταται η υποβοήθηση της καρπόδεσης με τεχνητά μέσα. Οι τρεις συνηθέστεροι μέθοδοι που εφαρμόζουμε είναι 1) η δόνηση, 2) η καρποδετικές ορμόνες και 3) η χρήση εντόμων (*Bombus terrestris* – Βομβίνος) για την επικονίαση. Κάθε μια από τις παραπάνω έχει διαφορετικά ποσοστά επιτυχίας, πλεονεκτήματα άλλα και μειονεκτήματα. Στην παρούσα πτυχιακή μελέτη πραγματοποιήθηκε υποβοήθηση της καρπόδεσης με την χρήση βομβίνων. Συγκεκριμένα εγκαταστάθηκε μια κυψέλη βομβίνων στον κάθε θάλαμο του θερμοκηπίου.



Εικόνα 15. Κυψέλη βομβίνων.

2.5.4. Φυτοπροστασία από μυκητολογικές και εντομολογικές προσβολές

Ασθένεια είναι η απόκλιση από την κανονικότητα στην εκδήλωση φυσιολογικών βιοχημικών και μοριακών διεργασιών του φυτού. Απόκλιση, της οποίας η διάρκεια και η ένταση είναι ικανές να προκαλέσουν αταξία, διαταραχή ή διακοπή της ζωτικής δραστηριότητας του φυτού (Τζάμος, 2007). Κατά την διάρκεια της καλλιέργειας υπήρχαν προσβολές των φυτών από μύκητες και έντομα ενώ ταυτόχρονα παρουσιάστηκαν προβλήματα σε καρπούς που οφείλονται σε κλιματολογικούς παράγοντες και σε τροφοπενίες (μη παρασιτικές ασθένειες). Παρακάτω παρουσιάζονται οι ασθένειες που συναντήσαμε στο πείραμα μας καθώς και οι χειρισμοί αντιμετώπισης του.

Ωίδιο: Το ωίδιο είναι μία πολύ συνήθης ασθένεια της τομάτας. Οφείλεται, συνήθως, στο μύκητα *Leveillula taurica* (Ασκομύκητες, Pyrenomucetes, Erysiphales) με ατελή μορφή τον *Oidiopsis sicula*. Προκαλείται και από διάφορα επιφυτικά (εκτοπαράσιτα) είδη των οποίων η ατελής μορφή ανήκει στο γένος *Oidium*. Το παθογόνο προσβάλλει κυρίως τα ώριμα φύλλα και αναπτύσσεται περισσότερο σε ξηρές περιοχές. Πάνω στα φύλλα σχηματίζονται συνήθως κιτρινοπράσινες ή κίτρινες ακανόνιστες ή γωνιώδεις κηλίδες και κάτω από ευνοϊκές συνθήκες μπορεί να σχηματιστεί υπόλευκη εξάνθηση στην κάτω επιφάνεια των φύλλων. Σε έντονες προσβολές οι κηλίδες αυξάνουν σε μέγεθος, συνενώνονται, και το έλασμα των φύλλων μαραίνεται και αποξηραίνεται (Χ. Γ. Παναγόπουλος, 1995). Η ασθένεια ευνοείται με συνθήκες χαμηλής σχετικής υγρασίας (52-75%) και θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 15-25 °C. Το θειάφισμα των φυτών δίνει πολύ καλά αποτελέσματα στην αντιμετώπιση της ασθένειας αυτής. Ο περιορισμός αλλά και η αντιμετώπιση του ωιδίου πραγματοποιήθηκε με το συνδυασμό δύο μεθόδων, του κλαδέματος και του ψεκασμού με φυτοπροστατευτικό χημικό σκεύασμα. Η αφαίρεση φύλλων βοήθησε στην απομάκρυνση φύλλων με υψηλό μυκητολογικό φορτίο και στον κάλο αερισμό των φυτών με συνέπεια την μείωση της υγρασίας. Ενώ ταυτόχρονα ο ψεκασμός που πραγματοποιήθηκε στις 13/12/19 με το "Cidely Top" (Syngenta, δραστικές ουσίες: Difenoconazole και Cyflufenamid) σε δοσολογία 8 mL φαρμάκου ανα 8 L ψεκαστικού υγρού οδήγησε στην ουσιαστική αντιμετώπιση της ασθένειας.



Εικόνα 16. Φυτοπροστατευτικό σκεύασμα για την αντιμετώπιση του ωιδίου.

Αλευρώδης

Τα είδη που προσβάλλουν την τομάτα είναι το *Trialeurodes Vaporariorum* (αλευρώδης του θερμοκηπίου) και το *Bemisia Tabaci* (αλευρώδης του καπνού). Ο αλευρώδης απομυζεί τους χυμούς του φυτού και το αποδυναμώνει, ενώ παράλληλα δημιουργεί κολλώδες έκκριμα στα φύλλα του φυτού, πάνω στα οποία αναπτύσσεται ο μύκητας της καπνιάς. Παρατήρηση αλευρώδη έγινε πρώτη φορά στις 18/11/19 σε φύλλα και σε κίτρινες κολλητικές παγίδες. Ωστόσο δεν παρουσιάστηκε κάποια σημαντική αύξηση του πληθυσμού, γι' αυτό δεν χρειάστηκε χημική αντιμετώπιση για τον αλευρώδη.

Τετράνυχος

Το κυρίαρχο είδος τετράνυχου που προσβάλλει την τομάτα είναι το *Tetranychus urticae*. Μόλις η θερμοκρασία ανέβει πάνω από τους 12°C δραστηριοποιούνται και ωοτοκούν. Οι αποικίες σχηματίζονται στην κάτω επιφάνεια των φύλλων, όπου δημιουργούνται κίτρινες και ελαφρά σταχτιές κηλίδες. Η ζημιά μπορεί να γίνει πολύ σοβαρή με τη μείωση της ανάπτυξης και της παραγωγής του φυτού. Οι προσβεβλημένοι νεαροί καρποί δεν αναπτύσσονται κανονικά και είναι μη εμπορεύσιμοι. Η καλλιέργεια μπορεί να καταστραφεί από αυτό. Τα άνθη και οι νεαρές βλαστήσεις δεν προσβάλλονται συνήθως. Πρώτη φορά παρατηρήθηκε τετράνυχος στην καλλιέργεια στις 20/11 και ακολούθησε ψεκασμός στις 22/11/19 με το Vertimec (Syngenta, δραστική ουσία: abamectin). Η δοσολογία ήταν 15 mL σε 16 L ψεκαστικού υγρού.



Εικόνα 17. Φυτοπροστατευτικό σκεύασμα για την αντιμετώπιση του αλευρώδη.

Λιριόμυζα

Οφείλεται στις *Liriomyza bryoniae*, *Liriomyza trifoliata* και *Liriomyza huldobrensis*. Πρόκειται για πολύ μικρές μύγες (μήκους 2 mm). Το χαρακτηριστικό της προσβολής είναι οι οφιοειδής στοές πάνω στα φύλλα, επειδή τα θηλυκά κάνουν διατροφικές κηλίδες στο φύλλο και γεννούν τα αυγά τους σε έναν αριθμό από αυτές. Ακολουθώντας τα φύλλα πέφτουν λόγω της μειωμένης φωτοσυνθετικής τους δραστηριότητας. Επίσης, μπορούν να προκαλέσουν πληγές πάνω στα φύλλα, δημιουργώντας πύλες εισόδου για άλλα παθογόνα. Προσβολές από λιριόμυζα απασχόλησαν την καλλιέργεια σε έναν βαθμό. Για την αντιμετώπιση της έγιναν αφαιρέσεις ασθενικών φύλλων, κατά το κλάδεμα του ξεφυλλίσματος, καθώς και ο ψεκάσμος που έγινε στις 22/11/19 για τετράνυχο που αφορούσε και την λιριόμυζα.

Tuta Absoluta

Το έντομο *Tuta Absoluta* είναι ένας πολύ σημαντικός και επιζήμιος εχθρός στην καλλιέργεια της τομάτας, προσβάλλοντας κυρίως τα φύλλα και τους καρπούς του φυτού. Ζημιές στα φυτά προκαλούνται **μονό από τις προνύμφες** σε όλα τα υπέργεια μέρη. Η ζημιά που προκαλείται στα φύλλα οδηγεί στην μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας του φυτού ενώ ταυτόχρονα οι πληγές αποτελούν πηγές εισόδου για προσβολές από μύκητες. Όταν εμφανίζονται μεγάλοι πληθυσμοί σε μια καλλιέργεια ντομάτας είναι δυνατόν μέσα σε λίγες μέρες να καταστραφεί το σύνολο της φυλλικής επιφάνειας με αποτέλεσμα την ξήρανση των φυτών και την καταστροφή της καλλιέργειας. Σε μία καλλιέργεια τομάτας που υπάρχει εκτεταμένη προσβολή στα φύλλα και στους καρπούς ενδείκνυται η αφαίρεση των προσβεβλημένων μερών του ή και ολοκληρωτική απομάκρυνση του φυτού από την

καλλιέργεια. Τα προσβεβλημένα φυτά καθώς και μέρη αυτών που έχουν αφαιρεθεί από την καλλιέργεια επιβάλλεται άμεση καταστροφή τους διότι λειτουργούν ως φυτά ξενιστές του εντόμου έξω από το θερμοκήπιο. Στην παρούσα μελέτη το πρώτο έντομο εμφανίστηκε στις 17/09/19 και καθ' όλη την διάρκεια της καλλιέργειας υπήρχαν πληθυσμοί, όχι όμως σε υπερβολικό βαθμό, καθώς δεν ευνοείται από τις συνθήκες του χειμώνα. Παρόλα αυτά, όσον αφορά την αντιμετώπιση δόθηκε μεγάλη έμφαση στην παρακολούθηση των πληθυσμών. Αρχικά τοποθετήθηκαν δύο, μία ανά θάλαμο, κατακόρυφες διάφανες κολλητικές παγίδες με λάμπα και λίγες μέρες τοποθετήθηκαν και μαύρες κολλητικές ταινίες κατά μήκος της κάθε σειράς και ανάμεσα στα ζεύγη σειρών, που ουσιαστικά αποτελούσαν μεγάλες παγίδες μαζικής παγίδευσης. Ακόμα, τοποθετήθηκαν 2 φερομονικές παγίδες τύπου Δ (μία ανά θάλαμο) με κολλητικό χαρτί για παρατήρηση, καταμέτρηση, καταγραφή των ενήλικων κάθε 2-3 ημέρες. Η φερομόνη αλλάχτηκε όταν έληξε η δράση της και το κολλητικό χαρτί επίσης όταν είχε ήδη πολλά έντομα κολλημένα πάνω του. Επιπλέον, έγινε εισαγωγή ωφέλιμων εντόμων (*Trichogramma*) κατά του *T. absoluta* στις 03/10/19. Έγινε ένας ψεκασμός στις 10/12/19 με το χημικό σκεύασμα Steward (δραστική ουσία: Indoxacarb). Η δοσολογία ήταν 1g σε 12 L ψεκαστικού υγρού. Και τέλος έγινε ένας ακόμα ψεκασμός με μείγμα των Voliam Targo (δραστικές ουσίες: chloratraniliprole και abamectin) και Support (δραστική ουσία: paraffin oil) με δοσολογίες 5 και 100 ml αντίστοιχα σε 8 L ψεκαστικού υγρού.

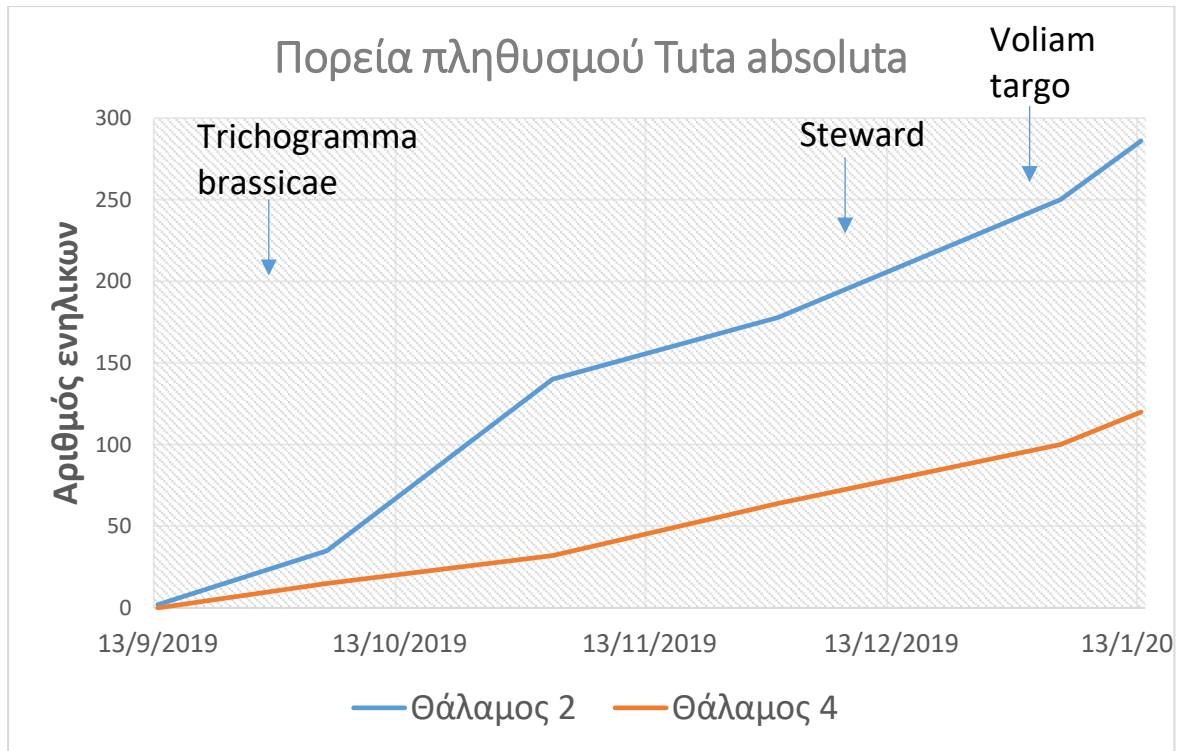


Εικόνα 18. Εφαρμογή του ωφέλιμου εντόμου *Trichogramma*

Στο διάγραμμα 2.5.4.1. παρουσιάζεται η πορεία καταγραφής των ενήλικων ατόμων του εντόμου *Tuta absoluta* κατά την πορεία της καλλιέργειας. Η καταγραφή των εντόμων έγινε με την χρήση της φερομονικής παγίδας τύπου 'Δ' η οποία προσελκύει τα ενήλικα αρσενικά άτομα του εντόμου. Στο διάγραμμα εμφανίζεται η πορεία του εντόμου ξεχωριστά για τους δυο θαλάμους του θερμοκηπίου, ενώ επίσης εμφανίζονται και οι ημερομηνίες όπου πραγματοποιήθηκε η εξαπόλυση των ωφέλιμων εντόμων *Trichogramma brassicae* καθώς και οι ψεκασμοί με τα εντομοκτόνα Steward (δραστική ουσία: Indoxacarb 30%) και Voliam targo (δραστική ουσία: 4,5% chloratraniliprole 1,8% abamectin). Στο κεφάλαιο 7.4 και πιο συγκεκριμένα στο διάγραμμα 7.4.1. εμφανίζεται και ο αριθμός νέων ενήλικων ατόμων του *Tuta absoluta* όπως αυτός καταγράφηκε από τις παγίδες τύπου 'Δ' για τους δυο θαλάμους του θερμοκηπίου.

Σε γενικές γραμμές, παρατηρήθηκε ότι η χρήση των ωφέλιμων εντόμων και ο ψεκασμός με τα δυο εντομοκτόνα δεν προκάλεσαν κάποια αξιοσημείωτη μείωση

των νέων ενήλικων ατόμων τα οποία καταγράφονταν στις παγίδες των δυο θαλάμων. Παρόλα αυτά, ο συνολικός πληθυσμός του εντόμου δεν ήταν ιδιαίτερα υψηλός για να δημιουργήσει ιδιαίτερα προβλήματα στα φύλλα και στους καρπούς της τομάτας.



Διάγραμμα 2.5.4.1. Πορεία καταγραφής ενήλικων αρσενικών εντόμων *Tuta absoluta* κατά την διάρκεια της καλλιέργειας, ξεχωριστά για τους δυο θαλάμους του υαλόφρακτου θερμοκηπίου του Εργαστηρίου Κηπευτικών καλλιεργειών.

Ξηρή σήψη κορυφής

Πρόκειται για στεγνή ξήρανση στο αντίθετο του ποδίσκου άκρο του καρπού. Αναφέρεται ότι οφείλεται σε τοπική έλλειψη ασβεστίου στην κορυφή του καρπού, είτε λόγω ανεπαρκών ρυθμών μεταφοράς του, είτε λόγω αυξημένων ρυθμών αύξησης του καρπού, είτε λόγω συνδυασμού και των δύο παραγόντων (Σάββας, 2016). Τα κύρια αίτια που προκαλούν αυτήν την ανωμαλία στους καρπούς είναι η χαμηλή σχετική υγρασία στο περιβάλλον του θερμοκηπίου, η ανεπάρκεια Ca στο έδαφος και ή υπερβολική λίπανση με K Mg ή NH₄-N. Η ξηρή σήψη κορυφής αντιμετωπίζεται με ρύθμιση της υγρασίας του αέρα στο θερμοκήπιο, μείωση της λίπανσης με K ή NH₄-N και ψεκασμό των καρπών με CaCl₂. Καρποί με ξηρή σήψη κορυφής παρατηρούνται σε αυξημένη συχνότητα την θερμή εποχή του έτους (Savvas et al., 2008). Στην παρούσα μελέτη ελάχιστοι καρποί εμφάνισαν συμπτώματα ξηρής σήψης κορυφής

πράγμα που ενδεχομένως να οφείλεται στην χειμερινή περίοδο καλλιέργειας. Σε θερμοκήπια που δεν διαθέτουν τα απαιτούμενα συστήματα δροσισμού και εξαερισμού το καλοκαίρι έχουμε έξαρση της ασθένειας. Ένα θερμοκήπιο μπορεί να αποτελεί μια κλειστή κατασκευή με ελεγχόμενες συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας, φωτισμού κτλ.) παρόλα αυτά όμως οι εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος μπορούν να επηρεάσουν μια καλλιέργεια όταν το θερμοκήπιο υστερεί στους κατάλληλους μηχανισμούς που διατηρούν τις βέλτιστες συνθήκες για τα φυτά.

2.6. Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων

Η σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων είναι η διαδικασία κατά την οποία παρασκευάζονται οι συνταγές των πυκνών διαλυμάτων Α και Β. Το θρεπτικό διάλυμα που χορηγούμε στα φυτά αποτελείται από ποσότητα των πυκνών διαλυμάτων Α και Β αραιωμένη σε συγκεκριμένη ποσότητα νερού. Αμέσως μετά την αραιώση (έχοντας πλέον ρυθμίσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα στο επιθυμητό) πραγματοποιείται και η ρύθμιση του pH. Για την σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων τροφοδοσίας συμβουλευόμαστε τις προτεινόμενες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων από πίνακες οι οποίοι διαθέτουν τα βέλτιστα χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος ανά βλαστικό στάδιο.

Πίνακας 1. Προτεινόμενες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων για το διάλυμα τροφοδοσίας στις καλλιέργειες τομάτας (Σάββας, 2012)

Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Διαβροχή υποστρώματος	Βλαστικό στάδιο (μέχρι άνθηση 1 ^{ου} άνθους 3 ^{ης} ταξιανθίας)	Άνθηση 1 ^{ου} άνθους 3 ^{ης} ταξιανθίας	Άνθηση 1 ^{ου} άνθους 5 ^{ης} ταξιανθίας	Μετά την άνθηση του 1 ^{ου} άνθους της 10 ^{ης} ταξιανθίας
EC	2,80	2,50	2,40	2,40	2,30
pH	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60
[K ⁺]	6,80	7,00	7,50	8,00	7,50
[Ca ²⁺]	6,40	5,10	4,70	4,50	4,40
[Mg ²⁺]	3,00	2,40	2,20	2,10	2,00
[NH ₄ ⁺]	0,80	1,50	1,20	1,20	1,20
[SO ₄ ²⁻]	4,50	3,60	4,10	4,00	3,60
[NO ₃ ⁻]	15,50	14,30	12,30	12,40	12,30
[H ₂ PO ₄]	1,40	1,50	1,50	1,50	1,50
[Fe]	20,0	15,00	15,00	15,00	15,00
[Mn]	12,00	10,00	10,00	10,00	10,00
[Zn]	6,00	5,00	5,00	5,00	4,00
[Cu]	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70
[B]	40,00	35,00	30,00	30,00	25,00
[Mo]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
[K] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,42	0,48	0,52	0,55	0,54
[Ca] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,40	0,35	0,33	0,31	0,32
[Mg] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,20	0,17	0,15	0,14	0,14
([NH ₄]+[NO ₃]) : [K]	2,40	2,25	1,80	1,70	1,80
[NH ₄] : ([NH ₄]+[NO ₃])	0,05	0,09	0,09	0,09	0,09

Η διαχείριση της θρέψης σε καλλιέργειες εκτός εδάφους δημιουργεί σοβαρές δυσκολίες στους καλλιεργητές, επειδή ο υπολογισμός των θρεπτικών στοιχείων που απαιτούνται για την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος (ΘΔ) απαιτεί καλό υπόβαθρο στη χημεία και είναι χρονοβόρα. Επιπλέον, η σύνθεση του ΘΔ που παρέχεται στα φυτά χρειάζεται τροποποιήσεις σε διαφορετικά στάδια καλλιέργειας. Η δημιουργία συνταγών για τα θρεπτικά διαλύματα των υδροπονικών συστημάτων αποτελεί πλέον μια εύκολη διαδικασία χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα υπολογισμού που μας παρέχεται από το εργαστήριο κηπευτικών καλλιεργειών (<https://nutrisense.online/>). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων αλλάζει ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκονται τα φυτά. Έτσι, λοιπόν πραγματοποιήθηκε αλλαγή στην συνταγή του διαλύματος τροφοδοσίας κατά το βλαστικό στάδιο αλλά και κατά το στάδιο καρποφορίας. Οι συνταγές που χρησιμοποιήθηκαν στην καλλιέργεια παρουσιάζονται στο παράρτημα της μελέτης (Κεφάλαιο 7.1).

2.7. Μετρήσεις κατά την διάρκεια του πειράματος

2.7.1. Ημερήσια καταγραφή ηλεκτρικής αγωγιμότητας pH, απορροής

Στο ανοιχτό σύστημα υδροπονίας που χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς του πειράματος, το απορρέον θρεπτικό διάλυμα συλλέγονταν σε πλαστικά δοχεία (κουβάδες) συγκεκριμένου όγκου (10 λίτρων) στο τέλος του κάθε καναλιού. Οι μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC , pH , κατανάλωσης θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα κάθε δύο μέρες από την αρχή μέχρι το τέλος της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα για τις μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε το φορητό αγωγιμόμετρο του εργαστηρίου κηπευτικών καλλιεργειών (Εικόνα 19), ενώ για τις μετρήσεις pH χρησιμοποιήθηκε το φορητό pH-μετρο που διαθέτει το εργαστήριο. Με την βοήθεια των παραπάνω οργάνων έγινε προσπάθεια ώστε να προσεγγιστούν κατά το δυνατόν οι επιθυμητές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (2,5 -4,5 dS/m) και του pH (5.5 – 6.5). Σχετικά με τις μετρήσεις κατανάλωσης θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιούνταν με στόχο την παρακολούθηση της κατανάλωσης των φυτών ανά μεταχείριση. Η εκτίμηση του καταναλωθέντος θρεπτικού διαλύματος προέκυπτε από την διαφορά



Εικόνα 19. Φορητό αγωγιμόμετρο.

του όγκου του θρεπτικού διαλύματος που παρείχαν τα μπεκ (ειδικά μπεκ καθορισμένης παροχής) ποτίσματος, με τον όγκο του διαλύματος απορροής που συγκεντρώνονταν στους κουβάδες. Ωστόσο οι μετρήσεις κατανάλωσης θρεπτικού διαλύματος βοήθησαν και στον υπολογισμό άλλων μεγεθών όπως της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού. Η ορθή μέτρηση του όγκου του διαλύματος απορροής ήταν εύκολη καθώς οι κουβάδες συλλογής διέθεταν βαθμονόμηση του όγκου τους. Ύστερα από τις ημερήσιες μετρήσεις το διάλυμα απορροής απορρίπτονταν στον περιβάλλον.

2.7.2. Μηνιαίες μετρήσεις θρεπτικών στην ριζόσφαιρα

Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση των βιοδιεγερτων στην ανάπτυξη της τομάτας, τα δείγματα του θρεπτικού διαλύματος συλλέγονταν από το ριζόστρωμα κάθε 30 ημέρες χρησιμοποιώντας σύριγγα των 10 ml και λαμβάνοντας απευθείας θρεπτικό διάλυμα από τον



Εικόνα 20. Προετοιμασία στηλών καδμίου για μέτρηση νιτρικών στο διάλυμα της ριζόσφαιρας

πετροβάμβακα. Σε περιπτώσεις όπου ήταν δύσκολο να συλλεχθεί δείγμα από τον πετροβάμβακα τότε πραγματοποιούνταν λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος είτε από κάποιο σημείο της σακούλας της πλάκας του υποστρώματος όπου συγκρατούσε θρεπτικό διάλυμα, είτε από το διάλυμα απορροής που υπήρχε στους κουβάδες. Τα NO_3^- προσδιορίστηκαν με την μέθοδο στηλών καδμίου όπου ανάγονται σε NO_2^- ενώ ο φώσφορος προσδιορίστηκε ως σύμπλοκο του μπλε φωσφομολυβδαινικού και το κάλιο χρησιμοποιώντας το φλογοφωτόμετρο.

2.7.3. Μετρήσεις φυλλικής επιφάνειας

Οι μετρήσεις φυλλικής επιφάνειας πραγματοποιήθηκαν 70 ημέρες μετά τη μεταφύτευση (DAT). Ένα φυτό χρησιμοποιήθηκε σαν αντιπροσωπευτικό δείγμα για τον υπολογισμό της επιφάνειας των φύλλων και της υπέργειας βιομάζας. Η επιφάνεια των φύλλων μετρήθηκε με μετρητή φυλλικής επιφάνειας LI-3100 (LI-COR Inc., Lincoln, NE). Η φρέσκια βιομάζα και η επιφάνεια των φύλλων προσδιορίστηκαν και πάλι στο τέλος της καλλιέργειας (περίοδος 4 μηνών).



Εικόνα 21. Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας.

2.7.4. Μετρήσεις βιομάζας

Οι μετρήσεις βιομάζας έγιναν πρώτη φορά στις 21/11/19. Σε αυτές τις μετρήσεις έγινε αποκοπή φύλλων από κάθε ομάδα της κάθε σειράς (κάθε σειρά έχει 2 ομάδες με 9 φυτά η κάθε ομάδα). Κατά την αποκοπή από την κάθε ομάδα έγινε επιλογή του πιο αντιπροσωπευτικού φυτού της ομάδας για να μπορεί να δοθεί ένας μέσος όρος ουσιαστικά. Κατά την μέτρηση γίνεται ζύγισμα του βάρους. Αυτή η μέτρηση είναι ενδεικτικός παράγοντας των επιπτώσεων της καταπόνησης και των βιοδιεγερτών στο φυτό και στην καλλιέργεια γενικότερα. Όταν συλλέχθηκαν τα δείγματα, καταγράφηκε το νωπό βάρος και στη συνέχεια τα δείγματα ξηράθηκαν στο φούρνο στους 65 ° C για τουλάχιστον 72 ώρες, μέχρι να

επιτευχθεί σταθερό ξηρό βάρος. Τα αποξηραμένα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους και της σύνθεσής τους.

2.7.5. Μετρήσεις παραγωγής καρπών

Οι μετρήσεις παραγωγής ανά μεταχείριση πραγματοποιήθηκαν με την μέτρηση του βάρους και του αριθμού των ώριμων καρπών που συγκομίζονταν καθ' όλη την διάρκεια της καρποφορίας. Η μέτρηση του νωπού βάρους των καρπών έγινε με την βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού Mettler PE 600 και Mettler PE 3600 της εταιρείας Mettler Toledo, που έχει ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων. Οι μετρήσεις παραγωγής καρπών έχουν μεγάλη σημασία για την καταγραφή της πορείας της παραγωγής καθώς στην καλλιέργεια έγινε εφαρμογή βιοδιεγερτών για την προώθηση της και ιδιαίτερα μάλιστα στα φυτά με καταπόνηση. Πρακτικά αυτό είναι μία σύγκριση των γενετικών χαρακτηριστικών των φυτών με βάση τις παραγωγικές τους ικανότητες και την ανθεκτικότητα τους στην καταπόνηση, καθώς και μία αξιολόγηση των βιοδιεγερτών που χρησιμοποιήθηκαν.

2.7.6. Μετρήσεις ποιότητας καρπών

Οι μετρήσεις ποιότητας γίνονταν ταυτόχρονα με τις μετρήσεις παραγωγή και αφορούν μια κατηγοριοποίηση των καρπών με βασικό κριτήριο το βάρος. Η κατηγοριοποίηση των καρπών γίνεται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια ποιότητας όπως αναφέρονται στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό (ΕΕ) 543/2011. Τα σπουδαιότερα κριτήρια είναι το βάρος, το χρώμα, η συνεκτικότητα, η ύπαρξη τραυματισμών, σήψεων και παραμορφώσεων. Ωστόσο κατά την συγκομιδή των καρπών διακρίθηκαν 4 κατηγορίες ποιότητας: 1)Extra Class, 2)Class A, 3)ClassB, 4)Non Marketable. Όσον αφορά το βάρος η κατηγορία Non Marketable αφορούσε τομάτες με βάρος κάτω 30 γραμμάρια, η κατηγορία B' Class με βάρος έως 90 γραμμάρια, η κατηγορία A' Class με βάρος έως 150 γραμμάρια και η κατηγορία Extra Class με βάρος πάνω από 150 γραμμάρια.

2.7.7. Μετρήσεις φωτοσύνθεσης

Οι μετρήσεις φωτοσύνθεσης έγιναν μία φορά στις 29/11/19 στο θερμοκήπιο κατά το διάστημα 10:00 πμ με 12:00 μμ όπου τα φυτά βρίσκονται σε πλήρη δραστηριότητα φωτοσύνθεσης. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν σε δυο φυτά από κάθε επανάληψη με την χρήση του οργάνου Li-Cor 6400 (Li-6400, Li-Cor, Inc., Lincoln, NE, USA).



Εικόνα 22. Μετρήσεις Φωτοσύνθεσης

2.7.8. Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών

Τα κυριότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών που μελετήθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι το χρώμα, η οξύτητα των καρπών και τα ολικά διαλυτά στερεά που περιείχαν. Συγκεκριμένα στις 3/12/2019 από την συγκομιδή καρπών επιλέχθηκαν 2 καρποί από κάθε σειρά για να χρησιμοποιηθούν σε μέτρηση χρώματος καρπών. Η μέτρηση χρώματος καρπών έγινε με την χρήση Χρωματόμετρου (Minolta CR-300). Το χρωματόμετρο χρησιμοποιούσε τον χρωματικό χώρο Lab. Το L αντιστοιχεί στην φωτεινότητα η οποία εμφανίζει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), το a στην ανάμειξη κόκκινου - πράσινου και το b στην ανάμειξη κίτρινου - μπλε. Η μέτρηση γινότανε 3 φορές για κάθε καρπό και η μέτρηση γινότανε από τρία διαφορετικά σημεία στον ισημερινό των καρπών. Το τελικό αποτέλεσμα εξαγότανε από τον μέσο ορό των τριών μετρήσεων για κάθε καρπό.



Εικόνα 23. Χρωματόμετρο

Στην συγκομιδή τις 9/12/2019 επιλέχθηκαν δυο καρποί από κάθε σειρά για να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση για Ολικά Διαλυτά Στερεά και οξύτητα. Οι καρποί αρχικά τεμαχίζονταν με μαχαίρι και στην συνέχεια πολτοποιούνται με την χρήση πολυκοπτικού μηχανήματος οικιακής χρήσης. Το πολυκοπτικό καθαριζόταν με αποσταγμένο νερό όταν τεμαχίζονταν καρποί από διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Για την μέτρηση των Ολικών Διαλυτών Στέρεων μεταφερόντανε μια σταγόνα από τους πολτοποιημένους καρπούς με την χρήση μικρής μεταλλικής σπάτουλας στην ειδική υποδοχή διαθλασίμετρου χειρός (Schmidt & Haensch HR32B) και καταγραφότανε η ένδειξη του οργάνου. Η διαδικασία πραγματοποιούταν 2 ή 3 φορές για κάθε καρπό, ενώ για όλους τους καρπούς η μέτρηση πραγματοποιούταν σε σταθερό φως και σταθερή θερμοκρασία. Κάθε φορά που γινότανε μέτρηση από διαφορετικές μεταχειρίσεις καθαριζότανε η υποδοχή του διαθλασίμετρου με ένα μαλακό χαρτί.

Η μέτρηση της οξύτητας των καρπών έγινε με την μέθοδο της τιτλοδοτήσης. 10 g πολτοποιημένου χυμού τομάτας αραιώθηκε με αποσταγμένο νερό μέχρι τελικού όγκου 150 ml. Στην συνέχεια ακολούθησε διήθηση του χυμού και το διήθημα μοιράστηκε σε 2 ποτήρια ζέσεως των 50 ml. Κάθε ποτήρι ζέσεως τιτλοδοτήθηκε με την χρήση NaOH 0,02M μέχρι το pH του διαλύματος να φτάσει στο 8,1. Ο μέσος όρος των δυο επαναλήψεων από κάθε μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε για να εκφραστεί η οξύτητα σε γραμμάρια κιτρικού οξέος ανά 100 g νωπού βάρους καρπού με την χρήση της σχέσης : $\text{g κιτρικού οξέος}/100 \text{ g καρπού} = \text{ml NaOH} \times 0,0512$.

2.7.9. Φυλλοδιαγνωστική

Για τον προσδιορισμό της θρεπτικής κατάστασης των φύλλων σε NO_3 , P,K, το 5ο ή 6ο φύλλο από την κορυφή ενός φυτού, συλλεκτικέ και τοποθετήθηκε σε φούρνο με θερμοκρασία ($65\text{ }^\circ\text{C}$) για τουλάχιστον 72 ώρες ώστε να επιτευχθεί πλήρη αποξήρανση. Έπειτα από την αποξήρανση από τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κάψες οι οποίες στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε πυραντήριο οπού παρέμειναν για 8ωρες στους $500\text{ }^\circ\text{C}$. Έπειτα στις κάψες τοποθετήθηκε διάλυμα HCl 1M, ενώ έπειτα έγινε διήθηση του με την χρήση διηθητικού φίλτρου σε γυάλινες ογκομετρικές φλάσκες των 100 mL Τέλος, οι γυάλινες φλάσκες συμπληρώθηκαν μέχρι τα 100 mL και αναδευτήκαν.

Για την χημική ανάλυση των καρπών συλλέχτηκαν τρεις καρποί από κάθε μεταχείριση οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους ($65\text{ }^\circ\text{C}$) μέχρι να αποξηραθούν τελείως. Αφού τελείωσε η αποξήρανση, οι καρποί αλεστήκαν σε μύλο και αποθηκεύονταν υπό μορφή σκόνης σε πλαστικά αριθμημένα σακουλάκια που κλείνουν αεροστεγώς.

Στα φύλλα ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου έγινε με την χρήση της μεθόδου Kjeldahl. Ο φωσφόρος σε φύλλα και καρπούς προσδιορίστηκε με την ανάπτυξη χρώματος με την μέθοδο Murphy and Riley. Το διάλυμα αναπτύσσει μπλε χρώμα και η συγκέντρωση φωσφόρου προσδιορίζεται με την χρήση φασματοφωτόμετρου στα 882nm. Τέλος, ο προσδιορισμός του καλίου έγινε με την χρήση φλωγοφωτόμετρου.

3. Αποτελέσματα

3.1.1. Θρεπτική κατάσταση στο περιβάλλον των ριζών

Τις πρώτες 30 ημέρες από την μεταφύτευση, η συγκέντρωση των νιτρικών επηρεάστηκε από την εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης και της χρήσης βιοδιεγερτών. Πιο συγκεκριμένα, στα φυτά που αναπτύσσονταν σε ιδανικές συνθήκες και δέχονταν τον βιοδιεγέρτη *Maxicrop* αύξησαν την συγκέντρωση των νιτρικών στο διάλυμα απορροής συγκριτικά με αυτά που αναπτύσσονταν στις ίδιες συνθήκες και δέχονταν τον βιοδιεγέρτη *Strigolab* και με αυτά που δεν δέχονταν κάποιον βιοδιεγέρτη, ενώ τα φυτά όπου χορηγήθηκε ο *Edypro* δεν εμφάνισαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με κανέναν από τις άλλες επεμβάσεις βιοδιεγερτών. Στο ίδιο χρονικό διάστημα αλλά στα φυτά που αναπτύσσονταν κάτω από συνδυασμένη καταπόνηση, τα φυτά που δέχονταν τον βιοδιεγέρτη *Strigolab* είχαν αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών στο ριζικό τους σύστημα συγκριτικά με αυτά που δέχονταν το βιοδιεγέρτη *Edypro*. Μεταξύ των άλλων επεμβάσεων (*Μάρτυρας* και *Maxicrop*) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Στις 60 ημέρες μετά την μεταφύτευση τα φυτά που δέχονταν την συνδυασμένη καταπόνηση είχαν μικρότερη συγκέντρωση νιτρικών στο ριζικό τους σύστημα συγκριτικά με αυτά που αναπτύσσονταν υπό κανονικές συνθήκες, ενώ για τις επεμβάσεις των βιοδιεγερτών, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Στις 90 και 120 ημέρες από την μεταφύτευση οι διαφορές στις συγκεντρώσεις των νιτρικών μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων ήταν σημαντικά διαφορετικές αφού τα φυτά με την συνδυασμένη καταπόνηση είχαν αισθητά μικρότερες συγκεντρώσεις. Η χρήση των βιοδιεγερτών στις 90 ημέρες της καλλιέργειας δεν φαίνεται να επηρέασε την συγκέντρωση των νιτρικών στην ριζόσφαιρα όταν τα φυτά αναπτύσσονταν σε ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης. Εν αντιθέσει, στα φυτά που δέχονταν την συνδυασμένη καταπόνηση και εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης *Edypro* και αυτά που δεν δέχονταν κάποιον βιοδιεγέρτη είχαν σημαντικά μειωμένες συγκεντρώσεις νιτρικών συγκριτικά με τα φυτά που δέχονταν τους βιοδιεγέρτες *Strigolab* και *Maxicrop*. Μάλιστα, τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο *Strigolab* είχαν παρόμοια συγκέντρωση νιτρικών συγκριτικά και με τα φυτά όπου αναπτύσσονταν σε ιδανικές συνθήκες ανεξαρτήτως της εφαρμογής βιοδιεγερτών στις συνθήκες αυτές. Ομοίως παρόμοια ανάπτυξη είχε και ο βιοδιεγέρτης *Maxicrop*, μόνο που η συγκέντρωση των νιτρικών ήταν μειωμένη συγκριτικά με τα φυτά χωρίς βιοδιεγέρτη και κάτω από ιδανικές συνθήκες. Σε αντίθεση με τις 90 ημέρες, στις 120 ημέρες από την μεταφύτευση, τα φυτά που αναπτύσσονταν κάτω από συνδυασμένη καταπόνηση και δέχονταν τους βιοδιεγέρτες *Maxicrop* και *Strigolab* είχαν μειωμένες συγκεντρώσεις νιτρικών στο ριζικό τους σύστημα συγκριτικά με αυτά που

αναπτύσσονταν στις ίδιες συνθήκες και εφαρμοζόταν ο βιοδιεγέρτης Edypro. Ενώ ο βιοδιεγέρτης Maxicrop διέφερε σημαντικά και με τα φυτά όπου δεν εφαρμόστηκε βιοδιεγέρτης αφού είχε μειωμένη συγκέντρωση νιτρικών συγκριτικά με αυτά. Σε αντίθεση με τα φυτά όπου αναπτύσσονταν κάτω από συνδυασμένη καταπόνηση, τα φυτά όπου αναπτύσσονταν σε ιδανικές συνθήκες είχαν αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών στην ριζόσφαιρα και οι βιοδιεγέρτες δεν φαίνεται να επηρέασαν σημαντικά αυτήν την μέτρηση.

Σχετικά με τις συγκεντρώσεις φωσφόρου στην ριζόσφαιρα των φυτών, όπως παρατηρείται στον Πίνακα 2, στις πρώτες 30 ημέρες από την μεταφύτευση η διαφορά του φωσφόρου στο ριζικό σύστημα, τα φυτά που αναπτύσσονταν κάτω από ιδανικές συνθήκες και δέχονταν τον βιοδιεγέρτη Maxicrop είχαν αυξημένες συγκεντρώσεις φωσφόρου στο ριζικό τους σύστημα συγκριτικά με αυτά που αναπτύσσονταν στις ίδιες συνθήκες και είτε δέχονταν τον βιοδιεγέρτη Edypro είτε δεν δέχονταν κάποιον βιοδιεγέρτη και με αυτά που αναπτυσσόταν κάτω από συνθήκες συνδυασμένης καταπόνησης αλλά δεν δέχονταν κάποιον βιοδιεγέρτη.

Στις 60 ημέρες καλλιέργειας όμως, δεν παρατηρείται κάποια επίδραση των βιοδιεγερτών στην συγκέντρωση του φωσφόρου στην ριζόσφαιρα. Βέβαια τα φυτά που αναπτύσσονταν σε συνθήκες συνδυασμένης καταπόνησης είχαν στατιστικώς σημαντικά μειωμένο φωσφόρο κατά 53% συγκριτικά με αυτά που αναπτύσσονταν κάτω από ιδανικές συνθήκες. Ίδια εικόνα υπήρξε στις 90 ημέρες και στις 120 ημέρες με τα αντίστοιχα ποσοστά να είναι 52% και 36%.

Η επίδραση των βιοδιεγερτών εμφανίζεται εκ νέου στις 90 ημέρες της καλλιέργειας, με τα φυτά όπου εφαρμόζονταν ο βιοδιεγέρτης Edypro είχαν αυξημένη συγκέντρωση φωσφόρου σε σύγκριση με όλες τις άλλες μεταχειρίσεις βιοδιεγερτών. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αύξηση του φωσφόρου που παρατηρήθηκε στα φυτά όπου δεν εφαρμόζονταν καταπόνηση, αφού για τα φυτά stress η χρήση βιοδιεγερτών δεν εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Τέλος, η χρήση βιοδιεγερτών δεν επηρέασε σημαντικά την συγκέντρωση φωσφόρου στην ριζόσφαιρα των φυτών κατά τις μετρήσεις στο τέλος της καλλιέργειας (120 ημέρες).

Η εφαρμογή των βιοδιεγερτών και η συνδυασμένη καταπόνηση επηρέασαν σημαντικά την συγκέντρωση του καλίου στην ριζόσφαιρά των φυτών κατά τις πρώτες 30 ημέρες της καλλιέργειας. Τα φυτά που δέχονταν την συνδυασμένη καταπόνηση είχαν κατά μέσο όρο 11,3 % αυξημένη συγκέντρωση καλίου με στατιστικώς σημαντική διαφορά συγκριτικά με τα φυτά όπου αναπτύσσονταν σε ιδανικές συνθήκες. Η χρήση των βιοδιεγερτών αλληλεπίδρασε με την συνδυασμένη καταπόνηση αφού τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Strigolab είχαν αυξημένη συγκέντρωση καλίου στην ριζόσφαιρα συγκριτικά με τα φυτά όπου δεν

δέχτηκαν κάποιο βιοδιεγέρτη, για την περίπτωση της ανάπτυξης των φυτών υπό συνδυασμένη καταπόνηση. Αντιθέτως, τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο Strigolab είχαν την μικρότερη συγκέντρωση καλίου συγκριτικά με τον μάρτυρα και τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο Maxicrop οι συνθήκες λίπανσης και άρδευσης ήταν ιδανικές.

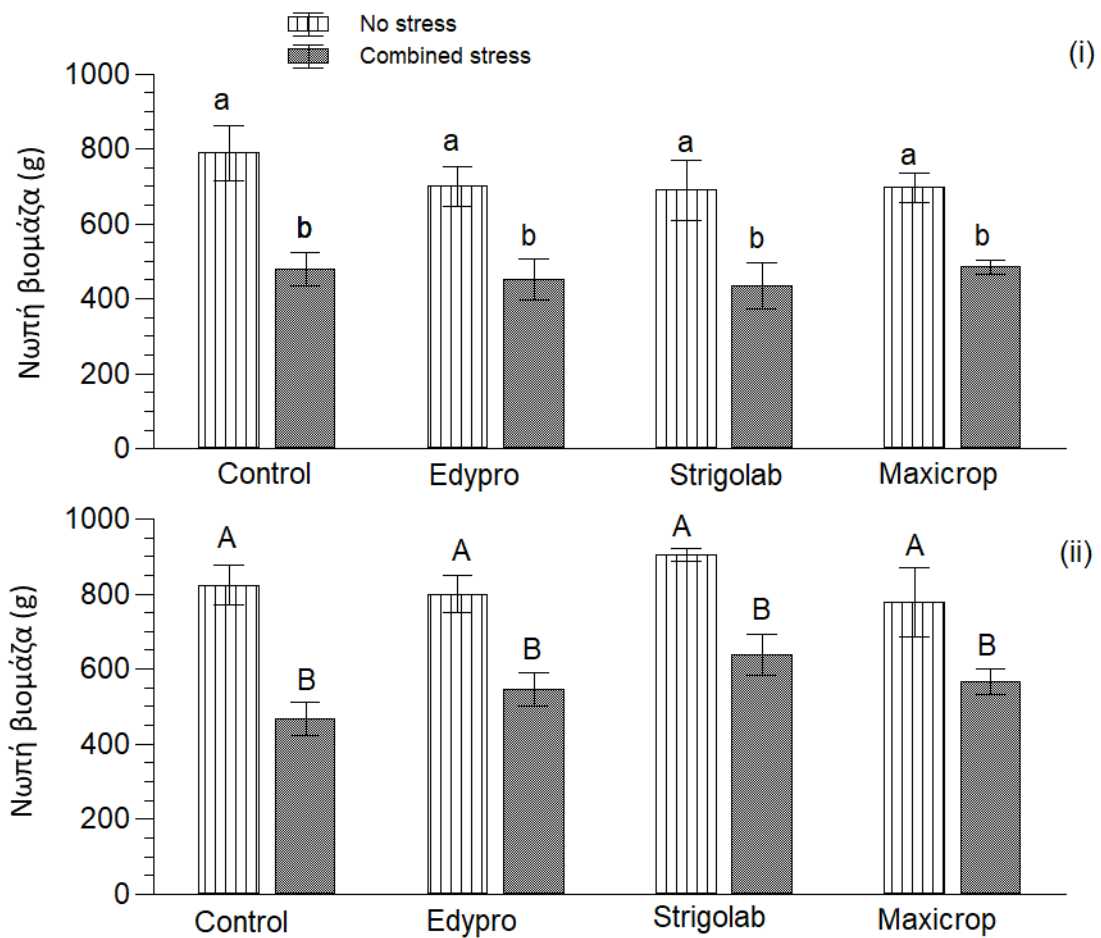
Κατά τους επόμενους μήνες της καλλιέργειας, οι βιοδιεγέρτες δεν επηρέασαν σημαντικά την συγκέντρωση του καλίου στην ριζόσφαιρα. Αντίθετα με τους βιοδιεγέρτες, η εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά την συγκέντρωση του καλίου αφού αυτή ήταν μειωμένη συγκριτικά με την συγκέντρωση στην ριζόσφαιρά των φυτών που αναπτύσσονταν υπό ιδανικές συνθήκες κατά 38%, 30% και 26% για τις 60, 90 και 120 ημέρες αντίστοιχα.

Πίνακας 2. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) και της εφαρμογής βιοδιεγερτών (Control: Μη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, Edypro, Strigolab και Maxicrop) στις συγκεντρώσεις νιτρικών, φωσφόρου και καλίου κατά την διάρκεια της καλλιέργειας (30, 60, 90 και 120 ημέρες μετά την μεταφύτευση).

Θρ. στοιχείο Ημέρες από την μεταφύτευση	NO ₃ (mmol/L)				P (mmol/L)				K (mmol/L)			
	30	60	90	120	30	60	90	120	30	60	90	120
No stress	10.3	10.7 a	10.5 a	10.2 a	1.7	1.9 a	2.1 a	1.4 a	11.5 b	6.3 a	6.9 a	6.2 a
Combined Stress	10.3	8.0 b	6.8 b	5.3 b	1.7	0.9 b	1.0 b	0.9 b	12.8 a	3.9 b	4.8 b	4.6 b
Control	9.9	9.4	7.9	7.8	1.5	1.6	1.5 b	1.2	12.3	4.7	6.0	5.2
Edypro	9.8	8.2	8.1	8.2	1.7	1.4	2.0 a	1.2	11.8	5.1	6.1	5.3
Strigolab	10.4	10.1	9.7	7.9	1.8	1.3	1.4 b	1.2	11.9	4.9	5.1	5.4
Maxicrop	11.4	9.6	9.0	7.3	1.9	1.3	1.4 b	1.0	12.6	5.6	6.2	5.6
No stress × Control	9.8 bc		11.9 a	9.7 a	1.5 b		2.2 b		13.3 ab			
No stress × Edypro	10.2 abc		10.4 ab	9.6 a	1.4 b		2.8 a		10.7 cd			
No stress × Strigolab	9.4 c		9.4 ab	10.9 a	1.9 ab		1.8 b		9.7 d			
No stress × Maxicrop	11.7 a		10.5 ab	10.7 a	2.1 a		1.7 b		12.3 abc			
Stress × Control	10.0 abc		3.9 d	5.8 bc	1.5 b		0.9 c		11.3 bcd			
Stress × Edypro	9.4 c		5.8 cd	6.8 b	2.0 ab		1.2 c		12.9 abc			
Stress × Strigolab	11.4 ab		9.9 ab	4.8 cd	1.8 ab		1.0 c		14.2 a			
Stress × Maxicrop	10.5 abc		7.5 bc	3.9 d	1.6 ab		1.1 c		12.9 abc			
Στατιστική σημαντικότητα												
Stress	ns	*	***	***	ns	*	***	***	*	***	***	***
Bioestimulant	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
Stress × Bioestimulant	*	ns	*	**	*	ns	*	ns	**	ns	ns	ns

3.2. Βιομάζα φυτών

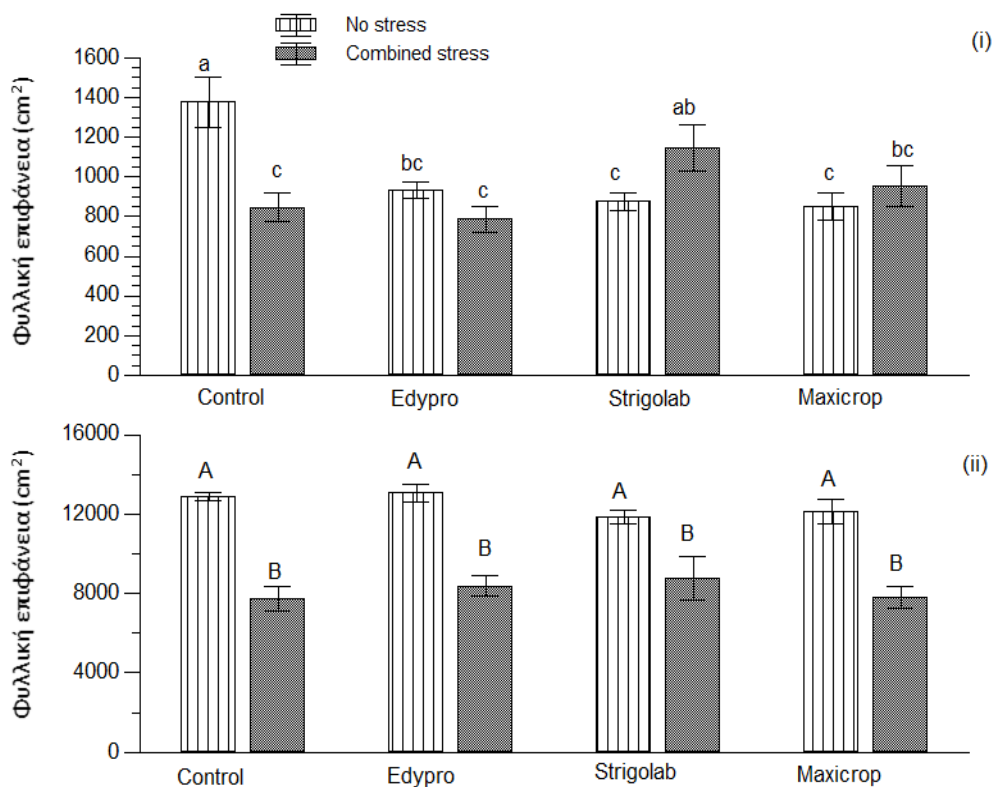
Στο διάγραμμα 3.2.1 παρουσιάζονται μετρήσεις της νωπής βιομάζας των φυτών στις 70 (Διάγραμμα 3.2.1i) και στις 120 (Διάγραμμα 3.2.1ii) μέρες της καλλιέργειας. Είναι φανερό ότι η συνδυασμένη καταπόνηση νερού και θρεπτικών στοιχείων μείωσε σημαντικά την βιομάζα των φυτών τόσο στις 70 όσο και στις 120 ημέρες της καλλιέργειας, ενώ η χρήση των βιοδιεγερτών Edypro, Strigolab και Maxicrop δεν εμφάνισαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ούτε μεταξύ τους, ούτε συγκριτικά με την μεταχείριση όπου δεν εφαρμόστηκε βιοδιεγέρτης (Μάρτυρας).



Διάγραμμα 3.2.1. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) και της εφαρμογής βιοδιεγερτών (Control: Μη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, Edypro, Strigolab και Maxicrop) στην νωπή βιομάζα των φυτών 70 ημέρες (επάνω) και 120 ημέρες (κάτω) μετά την μεταφύτευση.

3.3. Φυλλική επιφάνεια

Με βάση το διάγραμμα 3.3.1, η φυλλική επιφάνεια των φυτών μειώθηκε σημαντικά στις 70 και στις 120 ημέρες καλλιέργειας λόγω της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων με εξαίρεση τα φυτά όπου παρόλο την συνδυασμένη καταπόνηση, η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Strigolab αύξησε την φυλλική επιφάνεια στις 70 ημέρες καλλιέργειας σε επίπεδα που δεν είχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές συγκριτικά με τα φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν σε ιδανικές συνθήκες και δεν εφαρμόστηκε κάποιος βιοδιεγέρτης. Οι βιοδιεγέρτες Edypro και Maxicrop δεν επηρέασαν σημαντικά την φυλλική επιφάνεια των φυτών στο τέλος της καλλιέργειας, ενώ επιπλέον μείωσαν την φυλλική επιφάνεια στις 70 ημέρες καλλιέργειας στα φυτά που αναπτύσσονταν υπό ιδανικές συνθήκες συγκριτικά με τα φυτά που αναπτύσσονταν στις ίδιες συνθήκες και δεν εφαρμόστηκε κάποιος βιοδιεγέρτης.



Διάγραμμα 3.3.1. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) και της εφαρμογής βιοδιεγερτών (Control: Μη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, Edypro, Strigolab και Maxicrop) στην φυλλική επιφάνεια (cm²) των φυτών 70 ημέρες (επάνω) και 120 ημέρες (κάτω) μετά την μεταφύτευση.

3.4. Παραγωγή καρπών

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 3, η παραγωγή κατά τον πρώτο μήνα δεν επηρεάστηκε από την συνδυασμένη καταπόνηση που εφαρμόστηκε στα φυτά της τομάτας. Σε ότι αφορά βέβαια την τελική παραγωγή των φυτών, παρατηρήθηκε ότι η συνδυασμένη καταπόνηση μείωσε σημαντικά την παραγωγή των καρπών συγκριτικά με τα φυτά που αναπτύσσονταν σε ιδανικές συνθήκες άρδευσης και λίπανσης. Η συνδυασμένη καταπόνηση μείωσε επίσης και το μέσο βάρος καρπών, τον αριθμό καρπών ανά φυτό και την ποσότητα των καρπών που κατατάχτηκαν στις υψηλές κατηγορίες ποιότητας (Extra class, Class I). Αντιθέτως, αύξησε τους καρπούς που κατατάχτηκαν στην Β' ποιότητα (Class II), ενώ όσον αφορά το ξηρό βάρος των καρπών, η συνδυασμένη καταπόνηση δεν το επηρέασε σημαντικά. Παρόλα αυτά, η αποδοτικότητα τόσο του νερού, όσο και του αζώτου και του φωσφόρου ανά κιλό παραγόμενου προϊόντος αυξήθηκε στα φυτά όπου εφαρμόστηκε η συνδυασμένη καταπόνηση, σε σύγκριση με τα φυτά χωρίς συνδυασμένη καταπόνηση.

Η χρήση των βιοδιεγερτών έδωσε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα, με τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Strigolab να παράγουν σημαντικά περισσότερους πρώιμους καρπούς συγκριτικά με τον βιοδιεγέρτη Maxicrop και τα Control φυτά, τα οποία με την σειρά τους έδωσαν υψηλότερη πρώιμη παραγωγή σε σχέση με τον βιοδιεγέρτη Edypro. Όσον αφορά βέβαια την τελική παραγωγή καρπών, η χρήση των βιοδιεγερτών Strigolab και Maxicrop δεν διέφεραν σημαντικά από τα φυτά όπου δεν εφαρμόστηκε βιοδιεγέρτης αλλά όλες οι παραπάνω μεταχειρίσεις αύξησαν την παραγωγή συγκριτικά με τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Edypro. Το μέσο βάρος καρπών, ο αριθμός καρπών ανά φυτό και το ξηρό βάρος καρπών δεν επηρεάστηκε από την χρήση των βιοδιεγερτών, με εξαίρεση να αποτελεί ο αριθμός καρπών ανά φυτό που μειώθηκε με την χρήση του βιοδιεγέρτη Edypro σε σύγκριση με τις άλλες μεταχειρίσεις βιοδιεγερτών. Όσον αφορά την ποιοτική κατάταξη των καρπών στην κατηγορία "ExtraClass" η εφαρμογή Control και ο βιοδιεγέρτης Strigolab έδωσαν τις μεγαλύτερες τιμές, οι βιοδιεγέρτες Edypro έδωσαν τιμές σημαντικά μικρότερες με στατιστικά σημαντική διαφορά, ενώ ο βιοδιεγέρτης Maxicrop έδωσε τιμές στο ενδιάμεσο των παραπάνω χωρίς στατιστικά σημαντική διαφορά με κανέναν. Στις άλλες δύο κατηγορίες, δηλαδή στις κατηγορίες A και B, δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων.

Η αποδοτικότητα χρήσης νερού, αζώτου και φωσφόρου, όπως αυτή εμφανίζεται στον Πίνακα 3, δεν αυξήθηκε με την χρήση των βιοδιεγερτών της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης συγκριτικά με τα φυτά μάρτυρες. Αντιθέτως, τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Edypro μείωσαν την αποδοτικότητα χρήσης των προαναφερμένων εισροών στην καλλιέργεια.

Πίνακας 3. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) και της εφαρμογής βιοδιεγερτών (Control: Μη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, Edypro, Strigolab και Maxicrop) στην πρώιμη παραγωγή, την τελική παραγωγή, το μέσο βάρος καρπού, το βάρος των καρπών ανά ποιοτική κατηγορία, το ξηρό βάρος των καρπών της τομάτας και την αποδοτικότητα χρήσης νερού, αζώτου και φωσφόρου

Επέμβαση	Παραγωγή κατά τον πρώτο μήνα (kg/m ²)	Τελική παραγωγή (Kg/m ²)	Μέσο βάρος Καρπού (g)	Αριθμός καρπών ανά φυτό	Extra class (kg/m ²)	Class I (kg/m ²)	Class II (kg/m ²)	Ξηρό βάρος καρπών %	Αποδοτικότητα χρήσης νερού (kg / m ³ νερού)	Αποδοτικότητα χρήσης Αζώτου (kg/ g N)	Αποδοτικότητα χρήσης Φωσφόρου (kg / g P)
No stress	1.75	3.35 a	125.7 a	13.4 a	0.85 a	1.84 a	0.65 a	4.83%	18,42 B	76,67 B	322,63 B
Combined Stress	1.68	2.69 b	115.9 b	11.5 b	0.65 b	1.52 b	0.52 b	5.07%	22,97 A	116,86 A	494,16 A
Control	1.82 b	3.29 a	125.6	13.1 a	0.92 a	1.74	0.63	4.76%	22,35 a	104,12 a	439,35 a
Edypro	1.27 c	2.51 b	116.2	10.8 b	0.52 b	1.45	0.55	5.15%	17,13 b	79,91 b	337,37 b
Strigolab	2.07 a	3.17 a	121.2	13.1 a	0.83 a	1.80	0.54	5.15%	21,89 a	102,67 a	433,32 a
Maxicrop	1.71 b	3.10 a	120.3	12.9 a	0.73 ab	1.75	0.62	4.73%	21,40 a	100,36 a	423,53 a
Στατιστική σημαντικότητα											
Stress	ns	***	***	**	*	*	**	Ns	***	***	***
Biostimulant	***	**	ns	*	*	ns	ns	Ns	**	*	*
Stress × Biostimulant	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns

3.5. Θρεπτική κατάσταση φύλλων και καρπών

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη εικόνα για την θρεπτική κατάσταση των φύλλων και των καρπών. Πιο συγκεκριμένα, στα φύλλα των φυτών όπου εφαρμόστηκε συνδυασμένη καταπόνηση υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις ολικού αζώτου και φωσφόρου με τιμές μικρότερες από εκείνες των φυτών που δεν είχαν υποβληθεί σε στρες. Σχετικά με την ξηρή ουσία, το κάλιο και τον ψευδάργυρο δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις των δύο επεμβάσεων. Ωστόσο στους καρπούς υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις του καλίου με μεγαλύτερες τιμές να παίρνουν οι συγκεντρώσεις των καρπών που προέρχονται από τις επεμβάσεις χωρίς καταπόνηση. Η ξηρή ουσία και η συγκεντρώσεις φωσφόρου και στις δύο επεμβάσεις δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Η εφαρμογή βιοδιεγερτών δεν επηρέασε το ποσοστό της ξηρής ουσίας και τις συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου και του φωσφόρου στα φύλλα σε σχέση με τα φυτά των επεμβάσεων που δεν έγινε εφαρμογή βιοδιεγερτών. Επίσης οι επεμβάσεις με βιοδιεγέρτες δεν επηρέασαν το ποσοστό ξηρής ουσίας και τις συγκεντρώσεις του φωσφόρου στους καρπούς σε σύγκριση με τα φυτά που δεν εφαρμόστηκαν βιοδιεγέρτες. Στα φύλλα των φυτών όπου δεν εφαρμόστηκαν βιοδιεγέρτες οι συγκεντρώσεις καλίου είναι υψηλότερες με στατιστικά σημαντική διαφορά συγκριτικά με αυτές των επεμβάσεων με βιοδιεγέρτες. Η συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα φύλλα των φυτών που έγινε εφαρμογή βιοδιεγέρτη Edygro έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά και υψηλότερη τιμή συγκριτικά με τα φυτά μάρτυρες και με τα φυτά που έγινε εφαρμογή βιοδιεγέρτη Maxicrop. Η επέμβαση με βιοδιεγέρτη Strigolab δεν έχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα φύλλα έναντι των συγκεντρώσεων των υπόλοιπων επεμβάσεων. Στους καρπούς οι τιμές των συγκεντρώσεων καλίου στα φυτά “μάρτυρες” και έπειτα στα φυτά της επέμβασης με βιοδιεγέρτη Maxicrop είναι υψηλότερες συγκριτικά με τις άλλες μεταχειρίσεις, έχοντας στατιστικά σημαντική διαφορά με την επέμβαση με τον βιοδιεγέρτη της Edygro. Ωστόσο η επέμβαση με τον βιοδιεγέρτη Strigolab δεν έχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση καλίου στους καρπούς σε σύγκριση με τις άλλες επεμβάσεις

Πίνακας 4. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) και της εφαρμογής βιοδιεγερτών (Control: Μη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, Edypro, Strigolab και Maxicrop) στο ξηρό βάρος των φύλλων, το ολικό άζωτο τον φώσφορο, το κάλιο και τον ψευδάργυρο των φύλλων, το ξηρό βάρος των καρπών και το φώσφορο και το κάλιο των καρπών.

Επέμβαση	Φύλλα				Καρποί			
	% Ξηρή Ουσία	Ολικό N	P %	K %	Zn (ppm)	% Ξηρή Ουσία	P %	K %
No stress	10.4	3.86 a	0.86 a	4.68	37,58	4.83	0.59	3.81 a
Combined Stress	11.0	3.49 b	0.70 b	4.70	45,25	5.07	0.63	3.34 b
Control	10,3	3,74	0,77	4,54 b	31,75 b	4,76	0,63	3,16 b
Edypro	10,3	3,47	0,68	5,03 a	58,50 a	5,15	0,61	3,89 a
Strigolab	11,2	3,7	0,91	4,59 b	44,50 ab	5,15	0,59	3,49 ab
Maxicrop	11,1	3,76	0,76	4,59 b	30,92 b	4,73	0,62	3,76 a
Στατιστική σημαντικότητα								
Stress	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	*
Biostimulant	ns	ns	ns	*	**	ns	ns	*
Stress × Biostimulant	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

3.6. Ποιότητα καρπών

Στο πίνακα 5 παρουσιάζονται οι διαφορές των επεμβάσεων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών και συγκεκριμένα στα ολικά διαλυτά στερεά, στην οξύτητα και στο Chroma. Συγκεκριμένα οι καρποί των επεμβάσεων όπου εφαρμόστηκε συνδυασμένη καταπόνηση και οι καρποί των επεμβάσεων χωρίς καταπόνηση δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ολικών διαλυτών στερεών της οξύτητας και του δείκτη L του χρώματος. Ωστόσο οι καρποί των επεμβάσεων με συνδυασμένη καταπόνηση παρουσίασαν υψηλότερες τιμές στους δείκτες a και b του χρώματος έχοντας στατιστικά σημαντική διαφορά από τις επεμβάσεις χωρίς καταπόνηση.

Σχετικά με τις επεμβάσεις που έγινε εφαρμογή βιοδιεγερτών, στατιστικά σημαντική διαφορά υπήρχε μόνο στο δείκτη L του χρώματος. Μάλιστα οι καρποί των επεμβάσεων χωρίς εφαρμογή βιοδιεγέρτη παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά δίνοντας υψηλότερη τιμή στο δείκτη L σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις βιοδιεγερτών.

Πίνακας 5. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) και της εφαρμογής βιοδιεγερτών (Control: Μη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, Edypro, Strigolab και Maxicrop) στα ολικά διαλυτά στερεά, την οξύτητα και το χρώμα των καρπών.

Επέμβαση	ΟΔΣ (° Brix)	Οξύτητα γρ κιτρικού οξέως/ 100 γρ NB	L	A	b
No stress	3,45	0,33	45,2	18,9 b	22,1 b
Combined Stress	3,74	0,34	44,5	21,7 a	23,4 a
Control	3,68	0,34	44,5 b	21,0	23,1
Edypro	3,66	0,35	46,0 a	19,3	23,0
Strigolab	3,59	0,35	44,4 b	20,6	22,8
Maxicrop	3,46	0,33	44,3 b	20,3	22,3
Στατιστική σημαντικότητα					
Stress	ns	ns	ns	***	**
Biostimulant	ns	ns	*	ns	ns
Stress × Biostimulant	ns	ns	ns	ns	ns

3.7. Μετρήσεις φωτοσύνθεσης φυτών

Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται οι διαφορές των επεμβάσεων στην φωτοσύνθεση των φυτών και συγκεκριμένα στο ρυθμό φωτοσύνθεσης στην στοματική αγωγιμότητα και στον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής. Τα φυτά των επεμβάσεων με συνδυασμένη καταπόνηση παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά έχοντας μικρότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης συγκριτικά με τα φυτά των επεμβάσεων χωρίς καταπόνηση. Σχετικά με την στοματική αγωγιμότητα και τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των αναφερόμενων επεμβάσεων.

Οι επεμβάσεις με εφαρμογή βιοδιεγερτών δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές ως προς το ρυθμό φωτοσύνθεσης και τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής σε σύγκριση με τις επεμβάσεις χωρίς την εφαρμογή βιοδιεγέρτη. Ωστόσο στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσίασαν οι επεμβάσεις χωρίς την εφαρμογή βιοδιεγέρτη και οι επεμβάσεις με την εφαρμογή βιοδιεγέρτη "Strigolab" όπου έχουν υψηλότερη στοματική αγωγιμότητα συγκριτικά με τις επεμβάσεις με βιοδιεγέρτες "Edypro" και "Maxicrop".

Πίνακας 6. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) και της εφαρμογής βιοδιεγερτών (Control: Μη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, Edypro, Strigolab και Maxicrop) στον ρυθμό φωτοσύνθεσης, την στοματική αγωγιμότητα και τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής των φυτών της τομάτας.

Επέμβαση	Ρυθμός Φωτοσύνθεσης (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Στοματική Αγωγιμότητα (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	Ρυθμός εξατμισοδιαπνοής (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)
No stress	22,6 a	0,25	4,30
Combined Stress	13,9 b	0,25	4,23
Control	21,8	0,26 a	4,56
Edypro	19,7	0,23 b	4,04
Strigolab	21,6	0,26 a	4,36
Maxicrop	20,6	0,23 b	4,11
Στατιστική σημαντικότητα			
Stress	***	ns	ns
Biostimulant	ns	*	ns
Stress × Biostimulant	ns	ns	ns

4. Συζήτηση

4.1. Θρεπτική κατάσταση στο περιβάλλον των ριζών

4.1.1. Παρατηρήσεις σχετικά με τις ημερήσιες μετρήσεις του διαλύματος απορροής

Η ημερήσια καταγραφή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του pH και του ποσοστού απορροής, μετρήσεις οι οποίες παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Κεφάλαιο 7.2.1-7.2.2), έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην παρακολούθηση της πορείας της καλλιέργειας όσον αφορά την ομαλή θρέψη των φυτών και την συνεχή εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης. Η αγωγιμότητα κυμάνθηκε σε επιθυμητά επίπεδα για την καλλιέργεια της τομάτας κατά το μεγαλύτερο διάστημα της. Βέβαια είναι σημαντικό να τονιστεί πως η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά τον πρώτο μήνα της καλλιέργειας, διορθώθηκε με την αναπροσαρμογή του διαλύματος τροφοδοσίας ώστε να μην συσσωρεύονται ταχύτατα τα θρεπτικά στοιχεία στην ριζόσφαιρα. Η κίνηση αυτή οδήγησε σε μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των φυτών όπου δέχονταν την συνδυασμένη καταπόνηση, με αποτέλεσμα να μην υπερβεί τα ικανοποιητικά επίπεδα. Η εφαρμογή των βιοδιεγερτών δεν επηρέασε σημαντικά ούτε την ηλεκτρική αγωγιμότητα ούτε το pH του διαλύματος απορροής, με εξαίρεση τις πρώτες 15 ημέρες της καλλιέργειας όπου καταγράφηκαν υψηλές τιμές pH στην μεταχείριση με τον βιοδιεγέρτη της Edypro. Οι δυο ακραίες τιμές του pH συνέπεσαν με την εφαρμογή του πρώτου βιοδιεγέρτη της Edypro (Coupe Regeneracion Plus) ο οποίος φαίνεται πως οδήγησε στην αύξηση του pH αφού η αύξηση αυτή δεν καταγράφηκε ξανά κατά την πορεία της καλλιέργειας, αλλά δεν εφαρμόστηκε ούτως ή άλλως ξανά το σκεύασμα Coupe Regeneracion Plus της Edypro. Η αύξηση αυτή του pH οδήγησε τα Edypro φυτά να μείνουν για ένα διάστημα 5-10 ημερών σε συνθήκες pH μη ιδανικές για την ανάπτυξη των φυτών της τομάτας (Adams, 2002). Τέλος η εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης δεν φαίνεται να επηρέασε σημαντικά το pH του διαλύματος απορροής (Διάγραμμα 7.2.2.2)

Στο διάγραμμα 7.2.3.1. εμφανίζεται και το ποσοστό απορροής των φυτών που αναπτύχθηκαν υπό ιδανικές συνθήκες άρδευσης και λίπανσης και υπό συνθήκες συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρείται ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν υπό ιδανικές συνθήκες είχαν ποσοστό απορροής 20-40%, ένα ποσοστό επιθυμητό για την ανάπτυξη των φυτών της τομάτας (Sonneveld, 2009). Αντιθέτως, τα φυτά τα οποία αναπτύσσονταν υπό συνδυασμένη καταπόνηση, δεν είχαν ποσοστό απορροής για το πλείστο των ημερών καλλιέργειας, με ορισμένες μέρες να εμφανίζουν ποσοστό απορροής που κυμαίνονταν από 0-10%. Η απορροή των φυτών που αναπτύσσονταν με

καταπόνηση είναι αδύνατο να διατηρηθεί καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος σε μηδενικό ποσοστό για διάφορους λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ότι κατά τις πρώτες ημέρες της καλλιέργειας τα φυτά δεν έχουν καλύψει με το ριζικό τους σύστημα το υπόστρωμα και είναι αδύνατο να συγκρατήσουν ακόμη και μικρές ποσότητες θρεπτικού διαλύματος. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι σε νεφροσκεπείς ημέρες, η χρήση του ηλιόμετρου αν και περιορίζει τους κύκλους χορήγησης θρεπτικού διαλύματος, δεν τους μειώνει κάτω από 3 κύκλους την ημέρα. Ο τρίτος λόγος είναι ότι η αρχική εφαρμογή του 33% μείωση της χορήγησης του θρεπτικού διαλύματος η οποία αναπροσαρμόστηκε μετά στο 40%, μπορεί να είναι αρκετή για τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών, όμως κατά το τέλος της καλλιέργειας, όπου η φυλλική επιφάνεια των stress φυτών είναι σημαντικά μειωμένη (Διάγραμμα 3.3.1), οι ανάγκες των φυτών υπερκαλύπτονται με την συγκεκριμένη ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που τους χορηγείται. Σε γενικές γραμμές όμως, το μειωμένο ποσοστό απορροής αποτελεί μια σημαντική ένδειξη ότι η εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης εφαρμόστηκε σωστά καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής μελέτης.

4.1.2. Μετρήσεις θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον των ριζών

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων, του φωσφόρου και του καλίου αποτελούν μια ένδειξη για την πορεία της θρέψης της τομάτας και πραγματοποιήθηκαν τόσο για την παρατήρηση και αναπροσαρμογή του θρεπτικού διαλύματος, όσο και για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τους παράγοντες που μελετήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη, δηλαδή την επίδραση της καταπόνησης λόγω έλλειψης νερού και θρεπτικών στοιχείων και την επίδραση των βιοδιεγερτών στην αντιμετώπιση της καταπόνησης αυτής.

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στα φυτά που αναπτύχθηκαν δίχως συνδυασμένη καταπόνηση κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με τα επίπεδα που περιγράφουν οι Savvas & Gruda (2018). Πιο συγκεκριμένα, οι Savvas & Gruda (2018) αναφέρουν συγκεντρώσεις 18 και 17,2 mmol/L στην ριζόσφαιρα για τα φυτά της τομάτας που βρίσκονται στο βλαστητικό και στο αναπαραγωγικό στάδιο, αντίστοιχα. Βέβαια, οι Savvas & Gruda (2018) προτείνουν και υψηλότερη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στο διάλυμα τροφοδοσίας σε σύγκριση με την συγκέντρωση που εφαρμόστηκε στο συγκεκριμένο πείραμα (10,5 έως 14,8 mmol/L).

Σχετικά με την συγκέντρωση του φωσφόρου στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε ιδανικές συνθήκες, η συγκέντρωση διατηρήθηκε πάνω από 1 mmol/L για όλη την διάρκεια της καλλιέργειας, πράγμα που σημαίνει ότι τα φυτά τα οποία αναπτύσσονταν σε ιδανικές συνθήκες, είχαν όντως επάρκεια φωσφόρου στο διάλυμα του ριζοστρώματος (Savvas & Gruda, 2018). Αντιθέτως, στα φυτά όπου

εφαρμόστηκε η συνδυασμένη καταπόνηση, τα επίπεδα φωσφόρου στο διάλυμα ριζοστρώματος ήταν οριακά για την υδροπονική καλλιέργεια της τομάτας σε ανοικτό σύστημα καλλιέργειας από τις 60 ημέρες μέχρι και το τέλος της καλλιέργειας.

Όσον αφορά την συγκέντρωση του καλίου στο διάλυμα ριζοστρώματος, η αύξηση του που παρατηρήθηκε κατά τις πρώτες 30 ημέρες στα φυτά τα οποία αναπτύσσονταν υπό συνδυασμένη καταπόνηση, είναι αυτή που οδήγησε στην αναπροσαρμογή της επέμβασης της συνδυασμένης καταπόνησης από εκεί και έπειτα μέχρι και το τέλος του πειράματος στο θερμοκήπιο. Η μείωση του καλίου και στο θρεπτικό διάλυμα των καταπονημένων φυτών οδήγησε τελικά στην μειωμένη συγκέντρωσή του για τους υπόλοιπους μήνες της καλλιέργειας κάτι το οποίο αποτελεί ιδιαίτερα μειωμένη συγκέντρωση καλίου για την ανάπτυξη της τομάτας (Savvas & Gruda, 2018). Αντιθέτως, η συγκέντρωση του καλίου στην ριζόσφαιρα των φυτών που αναπτύσσονταν υπό ιδανικές συνθήκες διατηρήθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα για την ανάπτυξη των φυτών τομάτας, ενώ επιπρόσθετα, η μείωση που παρατηρήθηκε από τις 30 ημέρες και έπειτα, είναι δικαιολογημένη, αφού τα φυτά τομάτας είναι απαιτητικά σε κάλιο όταν αρχίσουν να εισέρχονται στο αναπαραγωγικό στάδιο της ζωής τους (Savvas & Gruda, 2018: Passam et al., 2007).

Η επίδραση της χρήσης των βιοδιεγερτών στην συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον των ριζών των φυτών που καλλιεργούνται σε υδροπονικό σύστημα δεν έχει μελετηθεί ακόμη εκτενώς από τους ερευνητές, γι αυτό και θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι αποτελεί καινοτόμα γνώση στην συγκεκριμένη εργασία. Η αύξηση ή μείωση των θρεπτικών στοιχείων στη ριζόσφαιρα δεν μπορεί να οφείλεται σε τυχόν θρεπτικά στοιχεία που μπορεί να περιέχονται στα σκευάσματα των βιοδιεγερτών, αφού η δόσολογία των βιοδιεγερτών ήταν πολύ μικρή και η εφαρμογή τους πραγματοποιήθηκε σε πολύ αραιά διαστήματα (1 εφαρμογή για τον βιοδιεγέρτη Strigolab, 1 εφαρμογή ανά 14 ημέρες για τον βιοδιεγέρτη Coupe Regeneracion Plus της Edypro, 1 εφαρμογή ανά 7 ημέρες για τον βιοδιεγέρτη Procuaje Radicular της Edypro και 1 εφαρμογή ανά 14 ημέρες για τον βιοδιεγέρτη Maxicrop) (Kalozoumis et al., 2021). Με την υπάρχουσα διαθέσιμη βιβλιογραφία, είναι γνωστό ότι τα σκευάσματα πρωτεϊνών που χρησιμοποιούνται ως βιοδιεγέρτες, μπορούν να επηρεάσουν την συγκέντρωση του αζώτου στην ριζόσφαιρα (Sestili et al., 2018), παρόλα αυτά ο βιοδιεγέρτης της Edypro ο οποίος περιείχε πρωτεΐνες δεν έδειξε σημαντική επίδραση στην συγκέντρωση του αζώτου.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι ο βιοδιεγέρτης της Strigolab μετέβαλε την συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων και του καλίου, ειδικά κατά τον πρώτο μήνα της καλλιέργειας συγκριτικά με τον Μάρτυρα. Είναι προφανές ότι ο βιοδιεγέρτης Strigolab αφού εφαρμόστηκε μέσα στον πρώτο μήνα της καλλιέργειας, θα είχε και την μεγαλύτερη επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών κατά το διάστημα

αυτό. Είναι γνωστό ότι οι συνθετικές στριγγολακτόνες μπορούν να επηρεάσουν το άνοιγμα και το κλείσιμο των στομάτων και να εγκλιματίσουν τα φυτά σε συνθήκες έλλειψης θρεπτικών στοιχείων (Visentin et al., 2016; Lv et al., 2018) και ότι η εφαρμογή στριγγολακτόνης μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη της ρίζας, ειδικά κάτω από έλλειψη φωσφόρου, με αποτέλεσμα να επηρεαστεί η απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά (Mostofa et al., 2018; Chesterfield et al., 2020). Και πάλι όμως, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δεν μπορούν να δικαιολογηθούν πλήρως με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία, για το πως έδρασε ακριβώς ο βιοδιεγέρτης *Strigolab* και μεταβλήθηκαν οι συγκεντρώσεις, κυρίως των νιτρικών ιόντων και του καλίου.

4.2.-4.3. Βιομάζα φυτών και φυλλική επιφάνεια

Η νωπή βιομάζα των φυτών και η φυλλική επιφάνειά τους, στο ήμισυ και στο τέλος της καλλιέργειας, μειώθηκε σημαντικά από την συνδυασμένη καταπόνηση νερού και θρεπτικών στοιχείων. Αυτό είναι λογικό, καθώς τα καταπονημένα φυτά έλαβαν σημαντικά μικρότερες ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων (αζώτου και φωσφόρου), τα οποία είναι υψηλής σημασίας για την παραγωγή νωπής βιομάζας και γενικά για την καλλιέργεια των κηπευτικών. Η έλλειψη νερού προκαλεί σοβαρές διαταραχές σε μορφολογικό, φυσιολογικό και μοριακό επίπεδο, κάτι το οποίο έχει άμεση επιρροή στην ανάπτυξη των βλαστών και των φύλλων. Επιβεβαίωση στο γεγονός ότι η έλλειψη νερού μειώνει την ολική νωπή βιομάζα έρχεται να δώσει ένα πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην Ιταλία, από τους Ratanè et. al. (2011), όπου εφαρμόστηκαν τέσσερις διαφορετικές εφαρμογές με προοδευτική μείωση της ολικής ποσότητας άρδευσης, ξεκινώντας από το 100 % των αναγκών της τομάτας και φτάνοντας σε εφαρμογή με καθόλου άρδευση. Τα αποτελέσματα έδειξαν αντίστοιχη προοδευτική μείωση της ολικής νωπής βιομάζας. Το πείραμα επαναλήφθηκε την επόμενη χρονιά και προέκυψαν παραπλήσια αποτελέσματα. Επιπλέον, σε ότι αφορά τις ελλείψεις αζώτου και φωσφόρου, στα πειράματα των Warner J. et. al. (2004) και Biddinger et. al. (1998), τα αποτελέσματα έδειξαν πως έλλειψη αζώτου και φωσφόρου αντίστοιχα, προκάλεσαν μείωση και της ολικής νωπής βιομάζας της καλλιέργειας. Ειδικά για το άζωτο, είναι γνωστή η σημαντικότητα και η συνεισφορά του στην βλάστηση. Επομένως, δικαιολογείται η μειωμένη νωπή βιομάζα και η φυλλική επιφάνεια των καταπονημένων φυτών της μεταπτυχιακής μελέτης και από την εφαρμογή των μειωμένων ποσοτήτων αζώτου και φωσφόρου.

Από την άλλη, η χρήση των βιοδιεγερτών είχε μηδενική επίδραση στην νωπή βιομάζα των φυτών στο μέσον και στο τέλος της καλλιέργειας, κάτι το οποίο δεν ισχύει και για την φυλλική επιφάνεια, αφού αυτή επηρεάστηκε σημαντικά από την εφαρμογή των βιοδιεγερτών. Η χρήση των βιοδιεγερτών σε φυτά που αναπτύσσονταν υπό ιδανικές συνθήκες άρδευσης και λίπανσης εμφάνισαν

μειωμένη φυλλική επιφάνεια στις πρώτες 70 ημέρες της καλλιέργειας σε σύγκριση με τον μάρτυρα, ενώ αντίθετα, τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε η συνδυασμένη καταπόνηση και ο βιοδιεγέρτης Strigolab αύξησαν την φυλλική τους επιφάνεια συγκριτικά με τα φυτά που αναπτύσσονταν υπο συνδυασμένη καταπόνηση και δεν εφαρμόστηκε βιοδιεγέρτης ή εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Edygro.

Σχετικά με τον βιοδιεγέρτη Edygro, παρόμοιες μελέτες με σκευάσματα πρωτεϊνών (Rouphael et al., 2017) που εφαρμόστηκαν σε φυτά τομάτας οι οποίες αναπτύσσονταν κάτω από ιδανικές συνθήκες τα φυτά της τομάτας είχαν αυξημένο ύψος και βιομάζα αντίστοιχα, κάτι το οποίο δεν παρατηρήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Για την χρήση των στριγγολακτόνων, είναι γνωστό πως οι συνθετικές στριγγολακτόνες μπορούν να επηρεάσουν το άνοιγμα και το κλείσιμο των στομάτων του φυτού (Visentin et al., 2016; Lv et al., 2018) και έτσι να επηρεάσουν τόσο την απορρόφηση του νερού, όσο και την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων (Mostofa et al., 2018), κάτι το οποίο παρατηρήθηκε στις μετρήσεις των νιτρικών στην ριζόσφαιρα των φυτών. Τα φυτά που αναπτύσσονταν σε συνθήκες συνδυασμένης καταπόνησης και εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Strigolab εμφάνισαν αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων και καλίου στην ριζόσφαιρα κατά τον πρώτο μήνα της καλλιέργειας, η οποία στην πορεία μειώθηκε σημαντικά μέσα στους επόμενους μήνες. Ο εγκλιματισμός αυτός των φυτών κατά τον πρώτο μήνα της καλλιέργειας στην συνδυασμένη καταπόνηση, ίσως είναι αυτό που οδήγησε στην αύξηση της φυλλικής επιφάνειας στο μέσον της καλλιέργειας, χωρίς βέβαια αυτή η υπόθεση να μπορεί να δικαιολογηθεί πλήρως από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Τέλος, σχετικά με τα σκευάσματα εκχυλισμάτων φυκών, σε μελέτη με καλλιέργεια τομάτας οι Oancea et. al. (2013) παρατήρησαν ότι ο βιοδιεγέρτης "Maxicrop" κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού δεν κατάφερε να αυξήσει το ύψος των φυτών της τομάτας, όμως αύξησε το μήκος της ρίζας και τον αριθμό των φύλλων 56 μέρες μετά την μεταφύτευση. Συνεπώς, δεν είναι εντελώς ξεκάθαρο αν ο βιοδιεγέρτης Maxicrop αυξάνει την βιομάζα του υπέργειου μέρους κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού. Σε άλλες μελέτες βέβαια με εκχυλίσματα φυκιών (Zodape et al., 2011) που εφαρμόστηκαν σε φυτά τομάτας οι οποίες αναπτύσσονταν κάτω από ιδανικές συνθήκες τα φυτά της τομάτας είχαν αυξημένο ύψος και βιομάζα αντίστοιχα.

4.4. Παραγωγή καρπών και αποδοτικότητα χρήσης νερού

Στη παραγωγή κατά τον πρώτο μήνα η εφαρμογή με τα μη καταπονημένα φυτά έδωσε τιμές παραγωγής (Kg/m^2) χωρίς σημαντική διαφορά από τα καταπονημένα φυτά, διαφορά η οποία αμβλύθηκε κατά πολύ στην τελική

παραγωγή, όπου η εφαρμογή των καταπονημένων φυτών έδωσε σχεδόν 20 % λιγότερη παραγωγή σε Kg/m². Η αυξημένη παραγωγή μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι η νωπή βιομάζα των μη καταπονημένων φυτών ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν κάτω από συνθήκες συνδυασμένης καταπόνησης. Η μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια, ο κατά 15% υψηλότερος φωτοσυνθετικός ρυθμός μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων και οι αυξημένες εισροές (νερό και θρεπτικά στοιχεία) συνολικά που έλαβαν τα μη καταπονημένα φυτά έδωσαν, όπως ήταν αναμενόμενο, και αυξημένη παραγωγή σε καρπούς. Παράλληλα, η εφαρμογή του stress επηρέασε και το μέσο βάρος του καρπού και τον αριθμό των καρπών ανά φυτό. Τα μη καταπονημένα φυτά είχαν μέσο βάρος καρπού τα 125,7 g έναντι των καταπονημένων που είχαν 115,9 g, ενώ ταυτόχρονα τα πρώτα έδωσαν σχεδόν 2 καρπούς περισσότερους ανά φυτό. Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την επίδραση της καταπόνησης νερού ή των θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια της τομάτας. Στις περισσότερες περιπτώσεις προκύπτουν παρόμοιας λογικής αποτελέσματα με τα παραπάνω. Μεταξύ άλλων αυτό επιβεβαιώνεται και από την μελέτη των Patané et. al. (2011), που αναλύθηκε παραπάνω, όπου μία προοδευτική μείωση του νερού άρδευσης σε καλλιέργεια τομάτας μείωσε την ολική παραγωγή, το βάρος του καρπού, καθώς και την ποιότητα των καρπών.

Η επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων μείωσε την ποσότητα των καρπών σε κάθε κατηγορία ποιότητας χωρίς όμως να μεταβάλει το ποσοστό που συμμετείχε η κάθε κατηγορία ποιότητας στην συνολική παραγωγή. Με άλλα λόγια, η συνδυασμένη καταπόνηση δεν επηρέασε την ποιοτική κατάταξη των καρπών, καθώς στα μη καταπονημένα φυτά το 25% των καρπών ήταν στην κατηγορία "Extra Class", το 55 % στην κατηγορία "A Class" και το 20% περίπου στην κατηγορία "B Class", ενώ στα καταπονημένα φυτά τα ποσοστά ήταν 24%, 56% και 20% αντίστοιχα. Επομένως, παρόλο που στον πίνακα 2 φαίνεται ότι η καταπόνηση μείωσε κάθε μία από τις κατηγορίες ποιότητας, δεν μετέβαλε το ποσοστό τους σχετικά με την ολική παραγωγή.

Η εφαρμογή των βιοδιεγερτών έδειξε πως επηρεάζει την παραγωγή και τις παραμέτρους αυτής, και πιο συγκεκριμένα την ποσοτική παραγωγή, τον αριθμό καρπών ανά φυτό, καθώς την κατηγορία ποιοτικής κατάταξης "Extra Class". Το σημαντικότερο, θα λέγαμε, αποτέλεσμα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι το γεγονός ότι τα φυτά Strigolab παρήγαγαν περισσότερους πρώιμους καρπούς σε σύγκριση με τον μάρτυρα, αλλά και με τους άλλους βιοδιεγέρτες. Το αποτέλεσμα αυτό αποτελεί ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα διότι η χρήση του βιοδιεγέρτη Strigolab είναι αρκετά απλή και θα μπορούσε να εφαρμοστεί από οποιονδήποτε παραγωγό, ο οποίος με την χρήση αυτού του βιοδιεγέρτη, μπορεί να παράξει μεγαλύτερη πρώιμη παραγωγή. Βέβαια η αύξηση της πρώιμης παραγωγής

δεν οδήγησε τελικά σε αυξημένη τελική παραγωγή ούτε σε κάποια βελτίωση της ποιότητας των καρπών συγκριτικά με τον μάρτυρα.

Στον αντίποδα, η χρήση του βιοδιεγέρτη *Edygro* μείωσε την πρώιμη και την τελική παραγωγή συγκριτικά με τον μάρτυρα. Η μειωμένη συνολική παραγωγή ήταν αποτέλεσμα του μειωμένου αριθμού καρπών ανά φυτό, αφού το μέσο βάρος καρπού δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την χρήση του συγκεκριμένου βιοδιεγέρτη, ενώ τέλος η μειωμένη παραγωγή ήταν αποτέλεσμα μείωσης κυρίως των καρπών που κατατάχτηκαν στην κατηγορία "Extra class".

Όσον αφορά την επίδραση του βιοδιεγέρτη *Maxicrop*, η εφαρμογή του συγκεκριμένου βιοδιεγέρτη δεν εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές όσον αφορά την παραγωγή και την ποιοτική κατάταξη των φυτών συγκριτικά με τον μάρτυρα, συνεπώς δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για να αναλυθεί περαιτέρω.

Η αύξηση της παραγωγής με την χρήση διάφορων σκευασμάτων βιοδιεγερτών έχει παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές (Ali et al., 2016; Colla et al. 2017). Μάλιστα οι Colla et al. (2017) όπου μελέτησαν την επίδραση διαφορετικών βιοδιεγερτών στην παραγωγή θερμοκηπιακής τομάτας καλλιεργούμενη υδροπονικά, παρατήρησαν ότι η πρώιμη παραγωγή της τομάτας αυξήθηκε με την χρήση των διαφορετικών βιοδιεγερτών σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες. Πιο συγκεκριμένα, στην μελέτη των Colla et al. (2017) παρατηρήθηκε επίσης ότι η τελική παραγωγή ήταν αυξημένη με την χρήση βιοδιεγερτών από εκχυλίσματα τροπικών φυτών συγκριτικά με τους βιοδιεγέρτες από εκχυλίσματα φυκιών και από υδρολυμένη πρωτεΐνη ψυχανθών, οι οποίοι δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η αύξηση της παραγωγής μάλιστα, ήταν αποτέλεσμα του μεγαλύτερου αριθμού καρπών ανά φυτό, ενώ το μέσο βάρος καρπού δεν επηρεάστηκε από την χρήση των διαφορετικών βιοδιεγερτών.

Για τον βιοδιεγέρτη *Edygro*, δεν υπάρχουν επιστημονικές έρευνες διαθέσιμες, όμως η μειωμένη παραγωγή σχετίζεται σίγουρα με την παρατήρηση ότι πολλοί καρποί δεν είχαν φυσιολογική ανάπτυξη και υποβαθμίστηκαν σε κατηγορίες ποιότητας πέραν της Extra class ή κατατάχθηκαν ως μη εμπορεύσιμοι.

Ο βιοδιεγέρτης *Maxicrop* δεν φαίνεται να επηρέασε θετικά την παραγωγή των καρπών σε σχέση με τον μάρτυρα, κάτι το οποίο έρχεται σε αντίθεση με τους Oancea et al. (2013) όπου παρατήρησαν ότι το *Maxicrop* αύξησε την παραγωγή της τομάτας τόσο σε ιδανικές συνθήκες όσο και σε συνθήκες έλλειψης νερού. Τα εκχυλίσματα φυκών έχουν μελετηθεί αρκετά από πολλούς ερευνητές για καλλιέργεια τομάτας στο έδαφος και έχουν εμφανίσει θετικά αποτελέσματα παραγωγής (Heuvelink et al., 2004; Zodape et al., 2011; Colla et al., 2017). Παρόλα αυτά, η χρήση τους σε υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας δεν έχει μελετηθεί

εκτενώς, ενώ ορισμένες μελέτες με εκχυλίσματα φυκών σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας και πιπεριάς δεν έδειξαν κάποια ιδιαίτερη επίδραση στην τελική παραγωγή των φυτών (Vernieri et al., 2006; Singh and Shono, 2012)

4.5 Θρεπτική κατάσταση φύλλων και καρπών

Η συνδυασμένη καταπόνηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων αζώτου και φωσφόρου επηρέασε σημαντικά, όπως ήταν προφανές, την θρεπτική κατάσταση των φύλλων της τομάτας και πιο συγκεκριμένα την συγκέντρωση του αζώτου και του φωσφόρου σε αυτά. Το ολικό άζωτο μειώθηκε κατά 10% και ο φώσφορος κατά 18% στα φυτά combined stress συγκριτικά με τα φυτά no stress. Το κάλιο, παρόλο που ήταν μειωμένο και αυτό από τις 65 ημέρες μετά την μεταφύτευση μέχρι και το πέρας του πειράματος, δεν εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές στα φύλλα της τομάτας. Στην περίπτωση των καρπών όμως, δεν παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης του φωσφόρου, αλλά σημαντική μείωση του καλίου κατά 12%. Παρόλα αυτά οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων αζώτου φωσφόρου και καλίου βρίσκονται εντός των ιδανικών ορίων για το φυτό της τομάτας (Savvas et al., 2008). Μάλιστα, όσον αφορά την συγκέντρωση του φωσφόρου στα φύλλα, οι Biddinger et al. (1998) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση των 0,75 mmol/L P στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας είναι μια πέραν από επαρκής ποσότητα, συνεπώς η συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας των φυτών με συνδυασμένη καταπόνηση δεν είναι τόσο χαμηλή. Τέλος, όσον αφορά την συγκέντρωση του καλίου, για τα φυτά της τομάτας, οι καρποί της είναι οι πλέον απαιτητικοί σε κάλιο (Savvas et al., 2008), και η έλλειψη καλίου στο διάλυμα του ριζοστρώματος (Πίνακας 1) οδήγησε σε μείωση της συγκέντρωσής τους στους καρπούς. Το μειωμένο κάλιο στους καρπούς μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση της γεύσης των καρπών, μείωση των σακχάρων και μείωση της μετασυλλεκτικής ζωής των καρπών (Schnitzler and Gruda, 2002). Βέβαια και η υψηλή συγκέντρωση καλίου θα πρέπει να αποφεύγεται στην τομάτα, αφού μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της ξηρής σήψης κορυφής (BER, Blossom end rot) (Savvas et al., 2008).

Η εφαρμογή των βιοδιεγερτών της παρούσας μελέτης δεν επηρέασε σημαντικά την ξηρή ουσία, το ολικό άζωτο και το φώσφορο στα φύλλα της τομάτας. Το κάλιο στα φύλλα της τομάτας διέφερε σημαντικά ο βιοδιεγέρτης Edypro αφού αύξησε την συγκέντρωση του καλίου συγκριτικά με τα φυτά χωρίς βιοδιεγέρτη και τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Maxicrop και Strigolab. Τα φυτά Edypro αύξησαν επίσης τη συγκέντρωση ψευδαργύρου στα φύλλα της τομάτας σε σύγκριση με τα φυτά που δεν εφαρμόστηκε βιοδιεγέρτης και τα φυτά που εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Maxicrop.

Στα φυτά όπου εφαρμόστηκε οι βιοδιεγέρτες της Edygro είχαν αυξημένο pH στο διάλυμα απορροής κατά τις πρώτες εβδομάδες του πειράματος στο θερμοκήπιο και αυξημένες συγκεντρώσεις φωσφόρου στο διάλυμα ριζοστρώματος κατά το τέλος της καλλιέργειας, όταν οι συνθήκες άρδευσης και λίπανσης ήταν ιδανικές. Το αυξημένο pH οδηγεί σε τροφопενία φωσφόρου για τα φυτά (Sonneveld, 2002) και είναι πιθανό η μείωση της απορρόφησης του φωσφόρου να οφείλεται για την αύξησή του στο διάλυμα ριζοστρώματος καθώς και για την αύξηση του ψευδαργύρου στα φύλλα της τομάτας αφού ο φώσφορος και ο ψευδάργυρος αποτελούν ανταγωνιστικά στοιχεία και η αυξημένη απορρόφηση του ενός συχνά οδηγεί σε έλλειψη (τροφопενία) του άλλου (Kaya and Higgs, 2001). Για τους βιοδιεγέρτες Strigolab και Maxicrop δεν παρατηρήθηκε κάποια αξιολογη επίδρασή τους στις συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα και στους καρπούς της τομάτας. Σε γενικές γραμμές, δεν υπάρχουν πολλές μελέτες που να έχουν αξιολογήσει την επίδραση των βιοδιεγερτών, και ειδικά την περίπτωση των στριγγολακτόνων, στην θρέψη των φυτών της τομάτας. Υπάρχουν βέβαια έρευνες που να έχουν επιβεβαιώσει ότι τα εκχυλίσματα φυκών μπορούν να αυξήσουν την συγκέντρωση καλίου στα φυτά της τομάτας που αναπτύσσονται στο έδαφος (Zodape et al., 2011; Ali et al., 2016).

4.6. Ποιότητα καρπών

Η οξύτητα και τα ολικά διαλυτά στερεά δεν επηρεάστηκαν ούτε από την εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων ούτε από την εφαρμογή των βιοδιεγερτών. Αντίθετα με την παρούσα μελέτη είναι τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών που έχουν παρατηρήσει ότι τόσο η συνδυασμένη καταπόνηση, όσο και η χρήση των βιοδιεγερτών οδηγούν σε αύξηση των ολικών διαλυτών στερεών και της οξύτητας στους καρπούς της τομάτας (Liu et al., 2011, Colla et al., 2017, Peripolli et al., 2020).

Το χρώμα των καρπών αποτελεί επίσης σημαντικό κριτήριο ποιότητας για τους καρπούς της τομάτας. Το χρώμα αποτελεί δείκτη της ωριμότητας του καρπού και είναι μια κύρια παράμετρος ποιότητας κατά την αγορά των προϊόντων από τους καταναλωτές, αφού η παρουσία και το είδος του χρώματος επηρεάζει θετικά ή αρνητικά την ποιότητα του λαχανικού. Στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη, η μέτρηση του χρώματος πραγματοποιήθηκε με την τεχνική της χρωματομετρίας, μια τεχνική που δίνει ακριβή αποτελέσματα ανεξαρτήτως των συνθηκών του εργαστηρίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκριθεί το χρώμα των καρπών με άλλες παρόμοιες μελέτες. Μια τέτοια μελέτη είναι η μελέτη των Carouso et al. (2019) όπου μελετήθηκε η επίδραση των βιοδιεγερτών σε υπαίθρια καλλιέργεια τομάτας στο χρώμα των καρπών. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν δυο σκευάσματα

βιοδιεγερτών, το ένα με υδρολυμένη πρωτεΐνη προερχόμενη από ψυχανθή και το άλλο από εκχυλίσματα τροπικών φυτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, τόσο το σκεύασμα με υδρολυμένη πρωτεΐνη όσο και τα εκχυλίσματα τροπικών φυτών αύξησαν το L και το a των καρπών της τομάτας, ενώ δεν επηρέασαν σημαντικά το b. Αυτό σημαίνει πως οι βιοδιεγέρτες αύξησαν την φωτεινότητα των καρπών και την ένταση του κόκκινου χρώματος. Στην παρούσα μελέτη, η φωτεινότητα των καρπών επηρεάστηκε μόνο από την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Edygro, ένας βιοδιεγέρτης που περιέχει υδρολυμένες πρωτεΐνες. Αντίθετα, το 'a' και το 'b' δεν επηρεάστηκε από κανέναν από τους βιοδιεγέρτες που μελετήθηκαν. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι το χρώμα των καρπών μπορεί να επηρεαστεί και από την έλλειψη νερού στα φυτά της τομάτας. Σε μελέτη των Nurudin et al. (2003) παρατηρήθηκε ότι όταν η έλλειψη νερού εφαρμόστηκε καθ' όλη την διάρκεια της καλλιέργειας ή από την ανάπτυξη των καρπών κι έπειτα, το χρώμα των καρπών μεταβλήθηκε, ενώ όταν η υδατική καταπόνηση εφαρμόστηκε μόνο κατά την άνθιση και καρπόδεση, το χρώμα δεν μεταβλήθηκε συγκριτικά με τα φυτά όπου δεν εφαρμόστηκε υδατική καταπόνηση.

4.7. Μετρήσεις φωτοσύνθεσης φυτών

Η συνδυασμένη καταπόνηση επηρέασε αρκετά τον φωτοσυνθετικό ρυθμό των φυτών της παρούσας μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, τα καταπονημένα φυτά είχαν σημαντικά μικρότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης από τα μη καταπονημένα, της τάξης του 15 %. Η έλλειψη νερού σε ένα φυτό οδηγεί σε αναστολή της φωτοσύνθεσης, αναλόγως πάντα με το επίπεδο της έλλειψης. Το άζωτο είναι επίσης ένα στοιχείο που είναι απαραίτητο για την σύνθεση του μορίου της χλωροφύλλης, καθώς η έλλειψη αζώτου οδηγεί σε χλώρωση των φύλλων. Ο φώσφορος (ως φωσφορικό ιόν, PO_4^{3-}) είναι και αυτός με την σειρά του αναπόσπαστο συστατικό σημαντικών ενώσεων των φυτικών κυττάρων, όπως των φωσφορικών σακχάρων που είναι ενδιάμεσες ενώσεις της αναπνοής και της φωτοσύνθεσης (Taiz and Zeiger, 2010). Επομένως, έλλειψη αυτών των στοιχείων επηρεάζει έμμεσα και άμεσα τον φωτοσυνθετικό ρυθμό. Η μείωση του φωτοσυνθετικού ρυθμού έχει μελετηθεί και από τους Rao et al., 2000 οι οποίοι μελέτησαν τον φωτοσυνθετικό ρυθμό διαφορετικών ποικιλιών τομάτας κάτω από έλλειψη νερού και παρατήρησαν μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης σε όλες τις περιπτώσεις υδατικής καταπόνησης.

Η στοματική αγωγιμότητα των δύο εφαρμογών ήταν ακριβώς η ίδια στα 0,25 mmol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι το αναμενόμενο, καθώς σύμφωνα με τα παραπάνω μία τέτοια συνδυασμένη καταπόνηση που εφαρμόζεται σε ένα φυτό, το ωθεί να λειτουργήσει αποταμιευτικά και συντηρητικά και να μην καταναλώνει τις ήδη μειωμένες εισροές νερού που είναι διαθέσιμες. Αυτό γίνεται

με την ικανότητα των φυτών να ρυθμίζουν το κατά πόσο και κατά πόση διάρκεια θα είναι ανοιχτά τα στομάτια. Επομένως, η στοματική αγωγιμότητα των καταπονημένων φυτών θα έπρεπε να ήταν μικρότερη από των μη καταπονημένων, δεδομένου και ότι υπήρχε σημαντική διαφορά στους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς των δύο εφαρμογών. Οι ρυθμοί διαπνοής των δύο εφαρμογών ήταν επίσης παραπλήσιοι, κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς ο ρυθμός διαπνοής είναι ανάλογος της στοματικής αγωγιμότητας, δηλαδή του κατά πόσο και κατά πόση διάρκεια τα στομάτια παραμένουν ανοιχτά. Όσο περισσότερο ανοιχτά είναι τα στομάτια τόσο μεγαλύτερες τιμές λαμβάνει ο ρυθμός διαπνοής, και αντιστρόφως. Επομένως, οι τιμές αυτές δικαιολογούνται, σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές στοματικής αγωγιμότητας.

Από την άλλη πλευρά, η χρήση βιοδιεγερτών, σύμφωνα με τον πίνακα 5, επηρέασε την στοματική αγωγιμότητα, ενώ δεν είχε σημαντική επιρροή στον φωτοσυνθετικό ρυθμό και τον ρυθμό διαπνοής των φυτών. Πιο συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά την στοματική αγωγιμότητα η μη εφαρμογή κάποιου βιοδιεγέρτη και η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη *Strigolab* έδωσαν τις μεγαλύτερες τιμές ($0,26 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) με στατιστικά σημαντική διαφορά από τις τιμές ($0,23 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) των εφαρμογών με τους βιοδιεγέρτες *Maxicrop* και *Edypro*. Συμπερασματικά λοιπόν, οι τιμές του ρυθμού φωτοσύνθεσης και στοματικής αγωγιμότητας των φυτών όπου εφαρμόστηκαν οι βιοδιεγέρτες της μελέτης δείχνουν ότι τα συγκεκριμένα σκευάσματα δεν είχαν σημαντική επίδραση στην φωτοσύνθεση των φυτών σε σχέση με τον μάρτυρα και γι' αυτό και καμία μεταχείριση δεν επηρέασε ιδιαίτερα σημαντικά την ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών.

5. Συμπεράσματα

5.1. Γενικά συμπεράσματα για την εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης

Η εφαρμογή 33-40% της μειωμένης χορήγησης θρεπτικού διαλύματος και η μείωση των θρεπτικών στοιχείων που εμπεριέχονταν στο θρεπτικό διάλυμα των καταπονημένων φυτών οδήγησε στην ιδιαίτερη μείωση του κλάσματος απορροής των φυτών και σε σημαντική μείωση των νιτρικών ιόντων και καλίου στην ριζόσφαιρα. Τα φυτά τα οποία αναπτύσσονταν στις συνθήκες αυτές ανέπτυξαν μικρότερη βιομάζα, φυλλική επιφάνεια και είχαν μειωμένο φωτοσυνθετικό ρυθμό. Οι συνθήκες αυτές οδήγησαν τελικά σε μειωμένη τελική παραγωγή των φυτών σε καρπούς σε όλες τις κατηγορίες ποιότητας, ενώ και το κάλιο στους καρπούς ήταν μειωμένο συγκριτικά με τα φυτά που αναπτύσσονταν κάτω από ιδανικές συνθήκες. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών (Οξύτητα, Ολικά διαλυτά στερεά) δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την συνδυασμένη καταπόνηση, παρά τις αναφορές από μελέτες όπου έχει παρατηρηθεί ότι η συνδυασμένη καταπόνηση αυξάνει την οξύτητα και τα ολικά διαλυτά στερεά στους καρπούς (Liu et al., 2011). Συνεπώς τα αποτελέσματα της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης επιβεβαιώνουν ότι η συγκεκριμένη μορφή καταπόνησης είναι μια οξεία καταπόνηση για τα φυτά της τομάτας, κάτι το οποίο έχει τονιστεί και από άλλες έρευνες (Kalozoumis et al., 2021) και αναπόφευκτα οδηγεί σε μείωση της ανάπτυξης και της παραγωγής των φυτών.

5.2. Γενικά συμπεράσματα για την χρήση των βιοδιεγερτών της Edypro

Τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Edypro βιοδιεγέρτη παρουσίασαν αυξημένο pH στην αρχή του πειράματος και οι δύο μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν ακριβώς τις ημέρες της εφαρμογής του βιοδιεγέρτη Edypro COUPÉ REGENERACIÓN Plus (0 και 14 ημέρες μετά την μεταφύτευση). Αυτός ο βιοδιεγέρτης δεν εφαρμόστηκε ξανά καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος και δεν παρατηρήθηκε ξανά αυξημένο pH. Το αυξημένο pH πάνω από 7 είναι γνωστό ότι μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμούς της ανάπτυξης (Sonneveld et al., 2002) καθώς εμφανίζονται ελλείψεις σε P, Fe, Mn και Zn. Όσον αφορά τα N, P, K στο ριζόστρωμα της τομάτας, οι υδρολυμένες πρωτεΐνες μπορούν να επηρεάσουν τη συγκέντρωση N στο ριζόστρωμα της υδροπονικής ντομάτας, ειδικά όταν εφαρμόζονται ως διαβροχή υποστρώματος και όχι ως ψεκασμός φυλλώματος (Sestili, F. et al., 2018) αλλά οι μεταχειρίσεις με βιοδιεγέρτη Edypro δεν αύξησαν σημαντικά τη συγκέντρωση N, ειδικά σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις που δεν εφαρμόστηκαν βιοδιεγέρτες. Η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Edypro αύξησε μόνο το P 90 ημέρες μετά την

μεταφύτευση στο ριζόστρωμα των μη καταπονημένων φυτών σε σύγκριση με τα φυτά που δεν υποβλήθηκαν σε μεταχείριση με βιοδιεγέρτη και τα φυτά που έλαβαν μεταχείριση με βιοδιεγέρτη με βάση το Maxicrop και Strigolab. Το PROCUAJE RADICULAR της EDYPRO περιείχε μόνο ιχνοστοιχεία και όχι N ή P. Ωστόσο, ο αυξημένος P στο ριζόστρωμα των φυτών που μεταχειρίστηκαν με Edypro θα μπορούσε να σχετίζεται με τον αυξημένο Zn που παρέχεται από το βιοδιεγέρτη Edypro, καθώς το αυξημένο επίπεδο Zn στο θρεπτικό διάλυμα μειώνει τα επίπεδα του P στην ντομάτα (Kaya et al., 2001) επομένως το αυξημένο P στη ζώνη των ριζών σχετίζεται πιθανώς με τη χαμηλότερη πρόσληψη P από τα φυτά. Πράγματι, η συγκέντρωση Zn στα φύλλα της τομάτας ήταν αυξημένη σε σύγκριση με τα φυτά όπου δεν εφαρμόστηκε κάποιος βιοδιεγέρτης, ενώ ο P ήταν ελαφρώς μειωμένος, αλλά όχι σημαντικά. Ωστόσο, ο P και ο Zn ήταν μεταξύ των βέλτιστων ορίων για τα φύλλα τομάτας (Passam et al., 2007) παρόλο που σε γενικές γραμμές παρατηρήθηκαν συμπτώματα κάποια τοξικότητας στα φύλλα της τομάτας. Αυξημένη συγκέντρωση K σε φύλλα και καρπούς τομάτας που καλλιεργούνται στο έδαφος λόγω της εφαρμογής βιοδιεγερτών με βάση τις πρωτεΐνες έχουν ήδη αναφερθεί από τους (Rourhael et al., 2017) και θα μπορούσε να εξηγηθεί όχι μόνο από την αυξημένη ανάπτυξη των ριζών των φυτών, αλλά και λόγω της υψηλότερης έκφρασης των μεταφορέων θρεπτικών συστατικών στις κυτταρικές μεμβράνες, με αποτέλεσμα υψηλότερη συσσώρευση θρεπτικών ουσιών στους βλαστούς της τομάτας (Ertani et al., 2017) Οι διατροφικές διαταραχές των φυτών που μεταχειρίστηκαν με Edypro είναι πιθανώς υπεύθυνες για τη μείωση κατά την πρώιμη και συνολική παραγωγή καρπού σε σύγκριση με τα φυτά που δεν δέχτηκαν μεταχείριση με βιοδιεγέρτες και τα φυτά που έλαβαν μεταχείριση με βιοδιεγέρτη με βάση τη Strigolactone και Maxicrop. Οι βιοδιεγέρτες EDYPRO COUPÉ REGENERACIÓN Plus και PROCUAJE RADICULAR δεν έχουν δοκιμαστεί προηγουμένως σε καλλιέργεια τομάτας εκτός εδάφους και μελλοντικές μελέτες με τροποποιήσεις στις δόσεις των βιοδιεγερτών θα μπορούσαν ενδεχομένως να αποκαλύψουν διαφορετικά αποτελέσματα απόδοσης.



Εικόνα 24. Συμπτώματα στα φύλλα των φυτών όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Edypro

5.3. Γενικά συμπεράσματα για την χρήση του βιοδιεγέρτη Strigolab

Είναι γνωστό ότι όταν εφαρμόζονται συνθετικές στριγολακτόνες σε φύλλα τομάτας, παρατηρείται ενίσχυση στο κλείσιμο των στομάτων (Lv et al., 2018; Visentin et al., 2016) και αυτή η δράση είναι ως επί το πλείστον ανεξάρτητη από το ABA (Cardinale et al., 2018) καθώς οι στριγκολακτόνες δρουν ως εξωγενής ρυθμιστές στο κλείσιμο των στομάτων (Lv et al., 2018). Μελέτες έχουν δείξει ότι φυτά που καλλιεργήθηκαν υπό συνδυασμένη καταπόνηση και εφαρμόστηκε βιοδιεγέρτης με βάση τις στριγκολακτόνες παρουσίασαν βελτιωμένη προσαρμογή στην καταπόνηση λόγω της υψηλότερης ευαισθησίας του στοματικού κλεισίματος και των μειωμένων στοματικών ανοιγμάτων (Lv et al., 2018). Η αποτελεσματικότητα χρήσης θρεπτικών συστατικών μπορεί επίσης να βελτιωθεί με άλλους μηχανισμούς που σχετίζονται με το βιοδιεγέρτη Strigolab. Με βάση την τρέχουσα γνώση, κάτω από περιορισμένη παρουσία θρεπτικών στοιχείων, η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη Strigolab μπορεί να αυξήσει τον σχηματισμό πλευρικών ριζών και να επιμηκύνει τα τριχίδια της ρίζας, αποτέλεσμα που δεν παρατηρείται υπό βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης (Chesterfield et al., 2020) και επομένως τα φυτά έχουν αργότερα την ικανότητα να αυξήσουν την ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων (Mostofa et al., 2018). Είναι επίσης γνωστό ότι σημαντικές διαφορές στην πρόσληψη και μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων παρατηρούνται όταν τα φυτά που έχουν υποστεί μεταχείριση με στριγκολακτόνες και συνδυάζονται με την εφαρμογή μυκόριζων, επειδή οι στριγκολακτόνες συνδέονται κυρίως με τη συμβίωση των μικροοργανισμών που δεσμεύουν N (Marzec et al., 2013; Umehara., 2011; Mostofa et al., 2018). Ωστόσο, οι διαφορές του N και το K στην ριζόσφαιρα των φυτών που μεταχειρίστηκαν με βιοδιεγέρτη Strigolab δεν μπορούν να δικαιολογηθούν πλήρως και πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω. Όσον αφορά την αυξημένη φυλλική επιφάνεια των φυτών, είναι γνωστό ότι αυτή μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της παραγωγής καρπών τομάτας (Heuvelink et al., 2004) και τα φυτά όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Strigolab κατάφεραν να αυξήσουν την παραγωγή πρώιμων καρπών, χωρίς βέβαια αυτό να οδηγήσει σε αύξηση της συνολικής απόδοσης καρπών, αφού εν τέλει η φυλλική επιφάνεια στο τέλος της καλλιέργειας δεν διέφερε σημαντικά με τα φυτά που δεν δέχτηκαν κάποιο βιοδιεγέρτη. Τέλος, η συγκέντρωση θρεπτικών ουσιών στα φύλλα στο τέλος του πειράματος δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές καθώς η επίδραση της μεταχείρισης με βιοδιεγέρτη Strigolab στις 15 ημέρες μετά την μεταφύτευση δεν φάνηκε να διαρκεί μέχρι το τέλος του πειράματος.

5.4. Γενικά συμπεράσματα για την χρήση του βιοδιεγέρτη Maxicrop

Τα εκχυλίσματα φυκών δεν έχουν ακόμη μελετηθεί σχετικά με την επίδρασή τους στα N, P ή K στη ριζόσφαιρα. Ο βιοδιεγέρτης Maxicrop περιέχει ίχνη μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων (Steveni et al., 1992), αλλά τα μεσοδιαστήματα των 14 ημερών μεταξύ των εφαρμογών δεν μπορούν να δικαιολογήσουν τα αυξημένα NO_3^- και P σε σύγκριση με τα φυτά που δεν έγινε εφαρμογή βιοδιεγέρτη σε συνθήκες χωρίς καταπόνηση. Ωστόσο, η εφαρμογή εκχυλισμάτων φυκών έχει ήδη αναφερθεί ότι αυξάνει τη βιομάζα και τη φυλλική επιφάνεια τομάτας που καλλιεργείται με υψηλή και χαμηλή παροχή αζώτου (Ali et al., 2016; Goñi et al., 2018; González-González et al., 2020), αλλά ο βιοδιεγέρτης Maxicrop δεν κατάφερε να αυξήσει και τις δύο παραμέτρους στην παρούσα μελέτη και στις δύο συνθήκες, δηλαδή τις βέλτιστες και τις συνδυασμένης καταπόνησης. Όσον αφορά την επίδραση του Maxicrop στην πρώιμη απόδοση, οι (Colla et al., 2017) δήλωσαν ότι τα εκχυλίσματα φυκών είναι ικανά να αυξήσουν την πρώιμη απόδοση της τομάτας που καλλιεργείται στο έδαφος σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες. Σε αντίθεση με την πρώιμη απόδοση, η συνολική απόδοση δεν αυξήθηκε σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες, αν και παρά τον αριθμό των μελετών που ανέφεραν ότι τα εκχυλίσματα φυκών, μπορούν να αυξήσουν την απόδοση τομάτας (Zodape et al., 2011; Colla et al., 2017; Ali et al., 2016) υπό συνθήκες αγρού. Σε καλλιέργειες εδάφους, η ενίσχυση της πρόσληψης θρεπτικών συστατικών οφείλεται κυρίως στη βελτίωση της δομής του εδάφους, με τη διαλυτοποίηση των ιχνοστοιχείων και την αύξηση του αποικισμού από μυκόρριζες δηλαδή συμβιωτικούς μύκητες (Halpern et al., 2015). Οι Zodape et al. (2011) ανέφεραν επίσης ότι τα εκχυλίσματα φυκών θα μπορούσαν να είναι ανώτερα από τα χημικά λιπάσματα επειδή η οργανική τους ύλη όχι μόνο συγκρατεί την υγρασία πιο αποτελεσματικά, αλλά και τα μέταλλα που περιέχονται στην οργανική ύλη μπορούν να παραμείνουν στο ανώτερο επίπεδο του εδάφους και να είναι εύκολα προσβάσιμα από τις ρίζες. Ωστόσο, οι περισσότεροι από αυτούς τους μηχανισμούς είναι άσχετοι με τις καλλιέργειες εκτός εδάφους. Όταν τα εκχυλίσματα φυκών εφαρμόστηκαν σε ρόκα (*Eruca sativa*) που καλλιεργήθηκε εκτός εδάφους και πιπεριά (*Capsicum annuum*), δεν υπήρξε καμία επίδραση στη συνολική τους απόδοση (Vernieri et al., 2006; Παπαδικονιά et al., 2011). Τέλος, ο βιοδιεγέρτης Maxicrop αύξησε τη συγκέντρωση K σε καρπούς ντομάτας, αποτέλεσμα που έχει ήδη αναφερθεί από τους Zodape et al. (2011) και Ali et al. (2016) σε ντομάτες που καλλιεργούνται στο έδαφος, ενώ οι Colla et al. (2017) δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση K μεταξύ των εκχυλισμάτων φυκών και του μάρτυρα. Συμπερασματικά λοιπόν, ο βιοδιεγέρτης Maxicrop δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών τα οποία καλλιεργούνται σε υδροπονική καλλιέργεια.

5.5. Γενικά συμπεράσματα της μελέτης

Η εφαρμογή της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων αποτελεί μια οξεία καταπόνηση για τα φυτά της τομάτας και αναπόφευκτα οδηγεί σε μείωση τόσο της ανάπτυξης, όσο και της παραγωγής των φυτών σε εμπορεύσιμους καρπούς. Η εφαρμογή των βιοδιεγερτών της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης, παρόλο που επηρέασαν ορισμένα χαρακτηριστικά της ανάπτυξης των φυτών (φυλλική επιφάνεια, απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων) δεν κατάφεραν εν τέλει να αυξήσουν την παραγωγή των φυτών ούτε σε ιδανικές συνθήκες ούτε σε συνθήκες συνδυασμένης καταπόνησης. Σημαντική παρατήρηση αποτελεί βέβαια το γεγονός ότι ο βιοδιεγέρτης Strigolab, ο οποίος εφαρμόστηκε μόνο στην αρχή της καλλιέργειας, κατάφερε να αυξήσει την πρώιμη παραγωγή των καρπών συγκριτικά με τα φυτά στα οποία δεν εφαρμόστηκε κάποιος βιοδιεγέρτης. Το αποτέλεσμα αυτό πιθανόν να οφείλεται σε ορισμένες μεταβολές στην θρέψη και ανάπτυξη των φυτών, αφού τα φυτά φαίνεται πως μετέβαλλαν την απορρόφηση των νιτρικών και του καλίου, ενώ παράλληλα αύξησαν την φυλλική τους επιφάνεια κατά τις πρώτες 70 ημέρες της καλλιέργειας. Αντίθετα με τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Strigolab, τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Edygro μείωσαν την πρώιμη και την τελική παραγωγή των φυτών της τομάτας, ένα αποτέλεσμα που πιθανόν να οφείλεται σε ορισμένες διαταραχές στην θρέψη των φυτών. Τέλος τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης Maxicrop δεν μετέβαλλαν σημαντικά την ανάπτυξη, την παραγωγή, την θρεπτική κατάσταση των φυτών και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών.

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, είναι γνωστό ότι η εφαρμογή των βιοδιεγερτών μπορεί να ενισχύσει την ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών της τομάτας, κυρίως επιδρώντας στους μηχανισμούς της θρέψης και αυξάνοντας την αποδοτικότητα χρήσης ορισμένων θρεπτικών στοιχείων. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες μελέτες με εφαρμογή βιοδιεγερτών στην τομάτα έχουν εστιάσει σε καλλιέργεια στο έδαφος, ενώ λίγες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σε υδροπονική καλλιέργεια. Οι κυριότεροι μηχανισμοί αύξησης της αποδοτικότητας χρήσης των θρεπτικών στοιχείων βασίζονται στην καλύτερη ανάπτυξη της ρίζας και της βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους. Οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη των φυτών στην υδροπονική καλλιέργεια. Συνεπώς, η παρούσα μελέτη παρουσίασε κάποιες πρώτες ενδείξεις για την δράση των βιοδιεγερτών στην υδροπονική καλλιέργεια τομάτας η οποία αναπτύσσεται σε επάρκεια και υπο-επάρκεια νερού και θρεπτικών στοιχείων και θα βοηθήσει τις επόμενες έρευνες για την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια της τομάτας.

6. Βιβλιογραφία

6.1. Ξένη Βιβλιογραφία

- Adams, P. (2002). Nutritional control in hydroponics. *Hydroponic production of vegetables and ornamental*.
- Ali, N., Farrell, A., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2016). The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. *Journal of applied phycology*, 28(2), 1353-1362.
- Arnell, N.W. (2004). Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14(1): 31-52
- Biddinger, Eric J., et al. "Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato plants to phosphorus deficiency." *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123.2 (1998): 330-333.
- Calvo, P., Nelson, L. & Kloepper J. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, 383, pp. 3-41. doi: 10.1007/s11104-014-2131-8.
- Cardinale, F.; Korwin Krukowski, P.; Schubert, A.; Visentin, I. Strigolactones: mediators of osmotic stress responses with a potential for agrochemical manipulation of crop resilience. *J. Exp. Bot.* 2018, 69, 2291-2303.
- Caruso, G., De Pascale, S., Cozzolino, E., Cuciniello, A., Cenvinzo, V., Bonini, P., ... & Roupheal, Y. (2019). Yield and nutritional quality of Vesuvian Piennolo tomato PDO as affected by farming system and biostimulant application. *Agronomy*, 9(9), 505.
- Chesterfield, R. J.; Vickers, C. E.; Beveridge, C. A. Translation of strigolactones from plant hormone to agriculture: achievements, future perspectives, and challenges. *Trends Plant Sci.* 2020 25, 1087–1106.
- Colla, G., Cardarelli, M., Bonini, P., & Roupheal, Y. (2017). Foliar applications of protein hydrolysate, plant and seaweed extracts increase yield but differentially modulate fruit quality of greenhouse tomato. *HortScience*, 52(9), 1214-1220.
- Costa, J.M., Ortuno, M.F., Chaves, M.M., 2007. Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology* 49, 142-16.
- Du Jardin, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hort.* 2015, 196, 3-14. 1–1434.
- De Groot, C. C., Marcelis, L. F. M., Van Den Boogaard, R., & Lambers, H. (2002, August). Response of growth of tomato to phosphorus and nitrogen nutrition. In XXVI International Horticultural Congress: Protected Cultivation 2002: In Search of Structures, Systems and Plant Materials for 633 (pp. 357-364).
- EEA Report (2012). Towards efficient use of water resources in Europe.
- Ertani, A.; Schiavon, M.; Nardi, S. Transcriptome-wide identification of differentially expressed genes in *Solanum lycopersicon* L. in response to an alfalfa-protein hydrolysate using microarrays. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 1159.
- Goñi, O.; Quille, P.; O'Connell, S. *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Phycol. Biochem.* 2018, 126, 63-73.
- González-González, M. F.; Ocampo-Alvarez, H.; Santacruz-Ruvalcaba, F.; Sánchez-Hernández, C. V.; Casarrubias-Castillo, K.; Becerril-Espinosa, A., Castañeda-Nava, J.J.;

- Hernández-Herrera, R. M. Physiological, ecological, and biochemical implications in tomato plants of two plant biostimulants: Arbuscular mycorrhizal fungi and seaweed extract. *Front. Plant Sci.* 2020, *11*, 999.
- Gruda, N., Gianquinto, G., Tüzel, Y., and Savvas, D. (2016a). Culture Soil-less. In *Encyclopedia of Soil Sciences*, 3rd edn., R. Lal., ed. (CRC Press, Taylor & Francis Group), p. 533–537. doi: 10.1081/E-ESS3-120053777
- Heuvelink, E.; Bakker, M. J.; Elings, A.; Kaarsemaker, R. C.; Marcelis, L. F. M. Effect of leaf area on tomato yield. In *International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys2004*, 2004, *691*, 43-50.
- Jones Jr, J. B. (1998). Phosphorus toxicity in tomato plants: when and how does it occur?. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *29*(11-14), 1779-1784.
- Kalozoumis, P., Savvas, D., Aliferis, K., Ntatsi, G., Marakis, G., Simou, E., ... & Karapanos, I. (2021). Impact of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Inoculation and Grafting on Tolerance of Tomato to Combined Water and Nutrient Stress Assessed via Metabolomics Analysis. *Frontiers in plant science*, *12*, 814.
- Kaya, C.; Higgs, D. Inter-relationships between zinc nutrition, growth parameters, and nutrient physiology in a hydroponically grown tomato cultivar. *J. Plant Nutr.* 2001, *24*, 1491-1503.
- Koltai, H. Strigolactones activate different hormonal pathways for regulation of root development in response to phosphate growth conditions. *Ann. Bot.* 2013, *112*, 409-415.
- Kirda, C., Cetin, M., Dasgan, Y., Topcu, S., Kaman, H., Ekici, B., Derici, M.R., Ozguven, A.I., (2004). Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agricultural Water Management* *69*, 191–201.
- Liu, K.; Zhang, T. Q.; Tan, C. S.; Astatkie, T. Responses of fruit yield and quality of processing tomato to drip-irrigation and fertilizers phosphorus and potassium. *Agronomy*, 2011, *103*, 1339-1345.
- Lv, S.; Zhang, Y.; Li, C.; Liu, Z.; Yang, N.; Pan, L.; Wu, J.; Wang, J.; Yang, J.; Lv, Y.; Zhang, Y.; Jiang, W.; She, X.; Wang, G. Strigolactone-triggered stomatal closure requires hydrogen peroxide synthesis and nitric oxide production in an abscisic acid-independent manner. *New Phytol.* 2018, *217*, 290-304.
- Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol.* *109*:7-13
- March, H., Therond, O. and Leenhardt, D. (2012). Water futures: Reviewing water-scenario analyses through an original interpretative framework. *Ecological Economics* *82*(0): 126-137.
- Marzec, M.; Muszynska, A.; Gruszka, D. The role of strigolactones in nutrient-stress responses in plants. *Int. J. Mol. Sci.* 2013, *14*, 9286-9304
- Mostofa, M. G.; Li, W.; Nguyen, K. H.; Fujita, M.; Tran, L. S. P. Strigolactones in plant adaptation to abiotic stresses: An emerging avenue of plant research. *Plant Cell Environ.* 2018, *41*, 2227-2243.
- Nuruddin, M. M., Madramootoo, C. A., & Dodds, G. T. (2003). Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *HortScience*, *38*(7), 1389-1393.

- Oancea, F., Velea, S., Fătu, V., Mincea, C., & Ilie, L. (2013). Micro-algae based plant biostimulant and its effect on water stressed tomato plants. *Rom. J. Plant Prot*, 6, 104-117.
- Parađiković, N.; Vinković, T.; Vinković Vrček, I.; Žuntar, I.; Bojić, M.; Medić-Šarić, M. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *J. Sci. Food Agric.* 2011, 91, 2146-2152.
- Passam, H. C., Karapanos, I. C., Bebeli, P. J., & Savvas, D. (2007). A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1(1), 1-21.
- Patanè, Cristina, Simona Tringali, and Orazio Sortino. "Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions." *Scientia Horticulturae* 129.4 (2011): 590-596.
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A., 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management* 57, 175–206
- Peripolli, M., SILVA, A. C. F. D., Dornelles, S. H. B., SANCHOTENE, D., & Trivisio, V. S. (2020). USE OF SEED+® AND CROP+® BIOESTIMULANTS ON THE QUALITY OF TOMATO FRUITS UNDER WATER STRESS. *Revista Caatinga*, 33, 266-273.
- Petrozza, A.; Santaniello, A.; Summerer, S.; Di Tommaso, G.; Di Tommaso, D.; Paparelli, E.; Piaggese, A.; Perata, P.; Cellini, F. Physiological responses to Megafol® treatments in tomato plants under drought stress: a phenomic and molecular approach. *Sci. Hort.* 2014, 174, 185-192.
- Poulton, J. L., Bryla, D., Koide, R. T., & Stephenson, A. G. (2002). Mycorrhizal infection and high soil phosphorus improve vegetative growth and the female and male functions in tomato. *New Phytologist*, 154(1), 255-264.
- Pulupol, L.U., Behboudian, M.H., Fisher, K.J., (1996). Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. *HortScience* 31, 926–929
- Rao, N. S., Bhatt, R. M., & Sadashiva, A. T. (2000). Tolerance to water stress in tomato cultivars. *Photosynthetica*, 38(3), 465-467.
- Rouphael, Y., Colla, G., Giordano, M., El-Nakhel, C., Kyriacou, M. C., & De Pascale, S. (2017). Foliar applications of a legume-derived protein hydrolysate elicit dose-dependent increases of growth, leaf mineral composition, yield and fruit quality in two greenhouse tomato cultivars. *Scientia horticulturae*, 226, 353-360.
- Ruiz-Lozano, J. M.; Aroca, R.; Zamarreño, Á. M.; Molina, S.; Andreo-Jiménez, B.; Porcel, R.; García-Mina, G. M.; Ruyter-Spira C.; López-Ráez, J. A. Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant Cell Environ.* 2016, 39, 441-452.
- Savvas, D. (2003). Hydroponics: A modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. *J. Food, Agric. Environ.* 1, 80–86.
- Savvas, D., Ntatsi, G., & Passam, H. C. (2008). Plant nutrition and physiological disorders in greenhouse grown tomato, pepper and eggplant. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2(1), 45-61.

- Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., & Gruda, N. (2013). Soilless culture. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops.
- Savvas, D., Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review
- Schnitzler, W. H., & Gruda, N. (2002). Hydroponics and product quality. *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*, 373-411.
- Singh, I. M.; Shono. Heat-stress effects on dry matter partitioning, pollen viability and fruit yield in tomato genotypes. *Indian J. Plant. Physiol.* 2012, 17, 103–112
- Sestili, F.; Roupael, Y.; Cardarelli, M.; Pucci, A.; Bonini, P.; Canaguier, R.; Colla, G. Protein hydrolysate stimulates growth in tomato coupled with N-dependent gene expression involved in N assimilation. *Front Plant Sci.* 2018, 9, 1233.
- Sonneveld, C. Composition of nutrient solutions. In *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, D. Savvas, and H.C. Passam, eds. (Athens, Greece: Embryo Publ.), 2002; pp. 179–210.
- Sonneveld, C., Voogt, W. (2009). *Plant Nutrition of Greenhouse Crops* Springer publisher.
- Steveni, C. M.; Norrington-Davies, J.; Hankins, S. D. Effect of seaweed concentrate on hydroponically grown spring barley. *J. Appl. Phycol.* 1992, 4, 173-180.
- Taiz L. and E. Zeiger. 2010. *Plant Physiology* fifth Edition. Sinauer Associates., Inc. 23 Plum tree Road, Sunderland, MA 01375, USA.
- Tanimoto E. 2005. Regulation and root growth by plant hormones roles for auxins and gibberellins. *Critical Rev. Plant. Sci.* 24: 249–265
- Topcu, S., Kirda, C., Dasgan, Y., Kaman, H., Cetin, M., Yazici, A., Bacon, M.A., (2007). Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation. *European Journal of Agronomy* 26, 64–70
- Van Os, E. A. (1982). Dutch developments in soilless culture. *Outlook on Agriculture*, 11(4), 165-171.
- Vernieri, P.; Borghesi, E.; Tognoni, F.; Serra, G.; Ferrante, A.; Piagessi, A. Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. In III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation, October 2006, 718, pp. 477-484.
- Visentin, I.; Vitali, M.; Ferrero, M.; Zhang, Y.; Ruyter-Spira, C.; Novák, O.; Strnad, M.; Lovisolo, C.; Schubert, A.; Cardinale, F. Low levels of strigolactones in roots as a component of the systemic signal of drought stress in tomato. *New Phytol.* 2016, 212, 954-963.
- Umehara, M. Strigolactone, a key regulator of nutrient allocation in plants. *Plant Biotechnol.* 2011, 28, 429-437.
- Warner J., T. Q. Zhang, and X. Hao. "Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes." *Canadian journal of plant science* 84.3 (2004): 865-871.
- Zodape, S. T., Gupta, A., Bhandari, S. C., Rawat, U. S., Chaudhary, D. R., Eswaran, K., & Chikara, J. (2011). Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.).
- Zegbe-Domínguez, J.A., Behboudian, M.H., Lang, A., Clothier, B.E., (2003). Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in 'Petopride' processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae* 98, 505–510

6.2. Ελληνική Βιβλιογραφία

- Μαυρογιαννόπουλος, Γ. Ν. (2005) : Θερμοκήπια Δ΄ Έκδοση . Εκδόσεις Σταμούλη.
- Ολύμπιος, Χ. (2001) : Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια . Εκδόσεις Σταμούλη.
- Ολύμπιος, Χ. (2015) : Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών. Εκδόσεις Σταμούλη.
- Σάββας, Δ. (2003) : Γενική Ανθοκομία. ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου
- Σάββας, Δ. (2012) : Καλλιέργειες εκτός εδάφους. Υδροπονία – Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγρότυπος
- Σάββας, Δ., (2016) : Γενική Λαχανοκομία. Εκδόσεις Πεδίο, Αθήνα, σελ. 706. (ISBN 978-960-546-782-1)
- Τζάμος Ε., (2007) : Φυτοπαθολογία. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα

6.3. Ιστοτόποι

www.fao.org

7. Παράρτημα

7.1. Συνταγές υδρολίπανσης

Αριθμός αναφοράς - Ημερομηνία:	2/16-9-2019	Θέση της καλλιέργειας:	Πείραμα με βιοδιεγέρτες
Πλήρες όνομα:	Παναγιώτης Καλοζούμης	Είδος καλλιέργειας:	Τομάτα
Διεύθυνση:	ΓΠΑ	Στάδιο καλλιέργειας:	Βλαστικό στάδιο
Αριθμός τηλεφώνου:		Season (climatic conditions):	Άνοιξη ή Φθινόπωρο
Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο:	kalozoumis@aua.gr	Open or closed system:	Ανοχτό υδροπονικό σύστημα

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	Στόχος EC, pH και συγκεντρώσεων στο διάλυμα απορροής					EC, pH & συγκεντρώσεις στο θρεπτικό διάλυμα	
	Νερό άρδευσης	Διάλυμα απορροής	Κατώτατο όριο	Μέση τιμή-στόχος	Ανώτατο όριο		
EC	0.32		3.10	3.30	3.50	2.71	dS/m
pH	7.30		5.92	6.30	6.68	5.60	
K ⁺	0.00		7.05	7.50	7.95	7.30	mmol/L
Ca ²⁺	0.90		7.80	8.30	8.80	5.25	mmol/L
Mg ²⁺	0.30		3.38	3.60	3.82	2.60	mmol/L
NH ₄ ⁺	0.00		0.09	0.10	0.11	1.50	mmol/L
SO ₄ ²⁻	0.20		5.88	6.25	6.63	4.00	mmol/L
NO ₃ ⁻	0.00		15.98	17.00	18.02	14.80	mmol/L
H ₂ PO ₄ ⁻	0.00		0.94	1.00	1.06	1.50	mmol/L
Fe	0.00		23.50	25.00	26.50	15.00	mmol/L
Mn	0.00		2.82	3.00	3.18	10.00	mmol/L
Zn	2.15		6.58	7.00	7.42	5.00	mmol/L
Cu	0.00		0.75	0.80	0.85	0.80	mmol/L
B	0.00		47.00	50.00	53.00	35.00	mmol/L
Mo	0.00		0.47	0.50	0.53	0.50	mmol/L
Si	0.00					0.00	mmol/L
Cl ⁻	0.40					0.40	mmol/L
Na ⁺	0.60					0.60	mmol/L
HCO ₃ ⁻	2.20					0.40	mmol/L

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ						
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ						
				Πυκνό διάλυμα Β	40	ΛΙΤΡΑ (L)
Στόχος EC για την κεφαλή υδρολίπανσης	2.71	dS/m		Νιτρικό κάλιο	0.502	Kg
pH	5.60			Θεικό μαγνήσιο	2.266	Kg
Πυκνό διάλυμα Α	40	ΛΙΤΡΑ (L)		Νιτρικό μαγνήσιο	0.000	Kg
Νιτρικό ασβέστιο	3.760	Kg		Φωσφορικό μονοκάλιο	0.817	Kg
Calcium chloride (48% Cl)	0.000	Kg		Θεικό κάλιο	1.045	Kg
Νιτρικό κάλιο	0.631	Kg		Φωσφορικό οξύ	0.000	Kg
Νιτρικό αμμώνιο	0.202	Kg		Φωσφορικό μονοαμμώνιο	0.000	Kg
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.061	Kg		Θεικό αμμώνιο	0.000	Kg
Πυκνό διάλυμα νιτρικού οξέος	40	ΛΙΤΡΑ (L)		Θεικό οξύ	0.000	Kg
Νιτρικό οξύ	0.719	Kg		Θεικό μαγγάνιο	7	g
Πυκνό διάλυμα πυριτικού καλίου	0	ΛΙΤΡΑ (L)		Θεικός ψευδάργυρος	3	g
Πυριτικό κάλιο (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg		Θεικός χαλκός	1	g
				Βορικό οξύ	13	g
				Ammonium heptabolybdate	0	g

Διάγραμμα 7.1.1. Συνταγή υδρολίπανσης της τομάτας κατά το βλαστικό στάδιο

Αριθμός αναφοράς - Ημερομηνία: 2/16-9-2019
 Πλήρες όνομα: Παναγιώτης Καλοζούμης
 Διεύθυνση: ΓΠΑ
 Αριθμός τηλεφώνου:
 Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο: kalozoumis@aua.gr

Θέση της καλλιέργειας: Πείραμα με βιοδιεγέρτες
 Είδος καλλιέργειας: Τομάτα
 Στάδιο καλλιέργειας: Βλαστικό στάδιο
 Εποχή έτους (κλιματικές συνθήκες): Άνοιξη ή Φθινόπωρο
 Ανοιχτό ή κλειστό σύστημα: Ανοιχτό υδροπονικό σύστημα

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	Στόχος EC, pH και συγκεντρώσεων στο διάλυμα απορρόφησης					EC, pH & συγκεντρώσεις στο θρεπτικό διάλυμα	
	Νερό άρδευσης	Διάλυμα απορρόφησης	Κατώτατο όριο	Μέση τιμή-στόχος	Ανώτατο όριο		
EC	0.32		3.10	3.30	3.50	2.40	dS/m
pH	7.30		5.92	6.30	6.68	5.60	
K ⁺	0.00		7.05	7.50	7.95	6.29	mmol/L
Ca ²⁺	0.90		7.80	8.30	8.80	4.52	mmol/L
Mg ²⁺	0.30		3.38	3.60	3.82	2.24	mmol/L
NH ₄ ⁺	0.00		0.09	0.10	0.11	1.69	mmol/L
SO ₄ ²⁻	0.20		5.88	6.25	6.63	3.72	mmol/L
NO ₃ ⁻	0.00		15.98	17.00	18.02	12.36	mmol/L
H ₂ PO ₄ ⁻	0.00		0.94	1.00	1.06	1.50	mmol/L
Fe	0.00		23.50	25.00	26.50	15.00	mmol/L
Mn	0.00		2.82	3.00	3.18	10.00	mmol/L
Zn	2.15		6.58	7.00	7.42	5.00	mmol/L
Cu	0.00		0.75	0.80	0.85	0.80	mmol/L
B	0.00		47.00	50.00	53.00	35.00	mmol/L
Mo	0.00		0.47	0.50	0.53	0.50	mmol/L
Si	0.00					0.00	mmol/L
Cl ⁻	0.40					0.40	mmol/L
Na ⁺	0.60					0.60	mmol/L
HCO ₃ ⁻	2.20					0.40	mmol/L

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ						
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ						
				Πυκνό διάλυμα Β	50	ΛΙΤΡΑ (L)
Στόχος EC για την κεφαλή υδρολίπανσης	2.40	dS/m		Νιτρικό κάλιο	0.191	Kg
pH	5.60			Θεικό μαγνήσιο	2.390	Kg
Πυκνό διάλυμα Α	50	ΛΙΤΡΑ (L)		Νιτρικό μαγνήσιο	0.000	Kg
Νιτρικό ασβέστιο	3.915	Kg		Μονοροτassium phosphate	1.021	Kg
Χλωριούχο ασβέστιο, 48% Cl	0.000	Kg		Θεικό κάλιο	1.377	Kg
Νιτρικό κάλιο	0.633	Kg		Φωσφορικό οξύ	0.000	Kg
Νιτρικό αμμώνιο	0.385	Kg		Φωσφορικό μονοαμμώνιο	0.000	Kg
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.076	Kg		Θεικό αμμώνιο	0.000	Kg
Πυκνό διάλυμα νιτρικού οξέος	50	ΛΙΤΡΑ (L)		Θεικό οξύ	0.000	Kg
Νιτρικό οξύ	0.899	Kg		Θεικό μαγγάνιο	9	g
Πυκνό διάλυμα πυριτικού καλίου	0	ΛΙΤΡΑ (L)		Θεικός ψευδάργυρος	4	g
Πυριτικό κάλιο (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg		Θεικός χαλκός	1	g
				Βορικό οξύ	17	g
				Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0	g

Διάγραμμα 7.1.2. Αναπροσαρμογή της συνταγής υδρολίπανσης της τομάτας κατά το βλαστικό στάδιο

Reference number - Date: 3/20-10-2019
Full name: Γιανναγιάτης Καλοζούμης
Address: ΓΠΑ
Phone number:
E-mail: kalozoumis@aau.gr

Location of the crop: Πείραμα με βιοδιεγέρτες (Control)
Crop species: Τομάτο
Cultivation stage: Fruiting 1
Season (climatic conditions): Spring or Fall
Open or closed system: Open hydroponic system

DATA FROM CHEMICAL ANALYSIS	Target EC, pH & concentrations in drainage solution					EC, pH & concentrations in the nutrient solution	
	Irrigation water	Drainage solution	Lower threshold	Mean target value	Higher threshold		
EC	0.32		3.29	3.50	3.71	2.20	dS/m
pH	7.30		5.83	6.20	6.57	5.60	
K ⁺	0.00		6.86	7.30	7.74	6.45	mmol/L
Ca ²⁺	0.90		8.27	8.80	9.33	3.99	mmol/L
Mg ²⁺	0.30		3.76	4.00	4.24	1.87	mmol/L
NH ₄ ⁺	0.00		0.09	0.10	0.11	1.38	mmol/L
SO ₄ ²⁻	0.20		6.11	6.50	6.89	3.84	mmol/L
NO ₃ ⁻	0.00		16.26	17.30	18.34	10.15	mmol/L
H ₂ PO ₄ ⁻	0.00		1.13	1.20	1.27	1.50	mmol/L
Fe	0.00		23.50	25.00	26.50	15.00	mmol/L
Mn	0.00		2.82	3.00	3.18	10.00	mmol/L
Zn	2.15		6.58	7.00	7.42	5.00	mmol/L
Cu	0.00		0.75	0.80	0.85	0.80	mmol/L
B	0.00		47.00	50.00	53.00	30.00	mmol/L
Mo	0.00		0.47	0.50	0.53	0.50	mmol/L
Si	0.00					0.00	mmol/L
Cl ⁻	0.40					0.40	mmol/L
Na ⁺	0.60					0.60	mmol/L
HCO ₃ ⁻	2.20					0.40	mmol/L

OUTCOME			
REQUIRED AMOUNTS OF FERTILIZERS FOR THE PREPARATION OF STOCK SOLUTIONS			
Target EC for the fertigation head	2.20	dS/m	
pH	5.60		
Stock solution A	50	LITERS	
Calcium nitrate	3.336	Kg	
Calcium chloride (48% Cl)	0.000	Kg	
Potassium nitrate	0.403	Kg	
Ammonium nitrate	0.307	Kg	
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.076	Kg	
Stock solution of Nitric Acid	50	LITERS	
Nitric Acid	0.899	Kg	
Stock solution of Potassium Silicate	0	LITERS	
Potassium Metasilicate (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg	
			Stock solution B 50 LITERS
			Potassium nitrate 0.000 Kg
			Magnesium sulphate 1.929 Kg
			Magnesium nitrate 0.000 Kg
			Monopotassium phosphate 1.021 Kg
			Potassium sulphate 1.809 Kg
			Phosphoric acid 0.000 Kg
			Monoammonium phosphate 0.000 Kg
			Ammonium sulphate 0.000 Kg
			Sulphuric acid 0.000 Kg
			Manganese sulphate 9 g
			Zinc sulphate 4 g
			Copper sulphate 1 g
			Boric acid 14 g
			Ammonium heptabolybdate 0 g

Διάγραμμα 7.1.3. Συνταγή υδρολίπανσης της τομάτας κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας στα φυτά χωρίς συνδυασμένη καταπόνηση

Reference number - Date: 4/20-10-2019
 Full name: Παναγιώτης Καλοζούμης
 Address: ΓΠΑ
 Phone number:
 E-mail: kalozoumis@aua.gr

Location of the crop: Πείραμα με βιοδιεγέρτες (Stress)
 Crop species: Tomato
 Cultivation stage: Fruiting 1
 Season (climatic conditions): Spring or Fall
 Open or closed system: Open hydroponic system

DATA FROM CHEMICAL ANALYSIS	Target EC, pH & concentrations in drainage solution					EC, pH & concentrations in the nutrient solution	
	Irrigation water	Drainage solution	Lower threshold	Mean target value	Higher threshold		
EC	0.32		3.29	3.50	3.71	1.20	dS/m
pH	7.30		5.83	6.20	6.57	5.60	
K ⁺	0.00		6.86	7.30	7.74	3.21	mmol/L
Ca ²⁺	0.90		8.27	8.80	9.33	1.98	mmol/L
Mg ²⁺	0.30		3.76	4.00	4.24	0.93	mmol/L
NH ₄ ⁺	0.00		0.09	0.10	0.11	0.69	mmol/L
SO ₄ ²⁻	0.20		6.11	6.50	6.89	1.84	mmol/L
NO ₃ ⁻	0.00		16.26	17.30	18.34	5.08	mmol/L
H ₂ PO ₄ ⁻	0.00		1.13	1.20	1.27	0.75	mmol/L
Fe	0.00		23.50	25.00	26.50	15.00	mmol/L
Mn	0.00		2.82	3.00	3.18	10.00	mmol/L
Zn	2.15		6.58	7.00	7.42	5.00	mmol/L
Cu	0.00		0.75	0.80	0.85	0.80	mmol/L
B	0.00		47.00	50.00	53.00	30.00	mmol/L
Mo	0.00		0.47	0.50	0.53	0.50	mmol/L
Si	0.00					0.00	mmol/L
Cl ⁻	0.40					0.40	mmol/L
Na ⁺	0.60					0.60	mmol/L
HCO ₃ ⁻	2.20					0.40	mmol/L

OUTCOME					
REQUIRED AMOUNTS OF FERTILIZERS FOR THE PREPARATION OF STOCK SOLUTIONS					
				Stock solution B	50 LITERS
Target EC for the fertigation head	1.20	dS/m		Potassium nitrate	0.000 Kg
pH	5.60			Magnesium sulphate	0.774 Kg
Stock solution A	50	LITERS		Magnesium nitrate	0.000 Kg
Calcium nitrate	1.170	Kg		Monopotassium phosphate	0.510 Kg
Calcium chloride (48% Cl)	0.000	Kg		Potassium sulphate	0.886 Kg
Potassium nitrate	0.214	Kg		Phosphoric acid	0.000 Kg
Ammonium nitrate	0.191	Kg		Monoammonium phosphate	0.000 Kg
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.076	Kg		Ammonium sulphate	0.000 Kg
Stock solution of Nitric Acid	50	LITERS		Sulphuric acid	0.000 Kg
Nitric Acid	0.899	Kg		Manganese sulphate	9 g
Stock solution of Potassium Silicate	0	LITERS		Zinc sulphate	4 g
Potassium Metasilicate (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg		Copper sulphate	1 g
				Boric acid	14 g
				Ammonium heptabolybdate	0 g

Διάγραμμα 7.1.4. Συνταγή υδρολίπανσης της τομάτας κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας στα φυτά με συνδυασμένη καταπόνηση.

Αριθμός αναφοράς - Ημερομηνία: 5/15-11-2019
 Πλήρες όνομα: Παναγιώτης Καλοζούμης
 Διεύθυνση: ΓΠΑ
 Αριθμός τηλεφώνου:
 Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο: kalozoumis@aau.gr

Θέση της καλλιέργειας: Πείραμα με βιοδιεγέρτες (Control)
 Είδος καλλιέργειας: Τομάτα
 Στάδιο καλλιέργειας: Καρποφορία 1
 Εποχή έτους (κλιματικές συνθήκες): Άνοιξη ή Φθινόπωρο
 Ανοιχτό ή κλειστό σύστημα: Ανοιχτό υδροπονικό σύστημα

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	Στόχος EC, pH και συγκεντρώσεων στο διάλυμα απορροής					EC, pH & συγκεντρώσεις στο θρεπτικό διάλυμα	
	Νερό άρδευσης	Διάλυμα απορροής	Κατώτατο όριο	Μέση τιμή-στόχος	Ανώτατο όριο		
EC	0.32		3.29	3.50	3.71	2.60	dS/m
pH	7.30		5.83	6.20	6.57	5.60	
K ⁺	0.00		6.86	7.30	7.74	7.60	mmol/L
Ca ²⁺	0.90		8.27	8.80	9.33	4.70	mmol/L
Mg ²⁺	0.30		3.76	4.00	4.24	2.65	mmol/L
NH ₄ ⁺	0.00		0.09	0.10	0.11	1.20	mmol/L
SO ₄ ²⁻	0.20		6.11	6.50	6.89	4.70	mmol/L
NO ₃ ⁻	0.00		16.26	17.30	18.34	12.40	mmol/L
H ₂ PO ₄ ⁻	0.00		1.13	1.20	1.27	1.50	mmol/L
Fe	0.00		23.50	25.00	26.50	22.00	mmol/L
Mn	0.00		2.82	3.00	3.18	10.00	mmol/L
Zn	2.15		6.58	7.00	7.42	5.00	mmol/L
Cu	0.00		0.75	0.80	0.85	0.80	mmol/L
B	0.00		47.00	50.00	53.00	40.00	mmol/L
Mo	0.00		0.47	0.50	0.53	0.50	mmol/L
Si	0.00					0.00	mmol/L
Cl ⁻	0.40					0.40	mmol/L
Na ⁺	0.60					0.60	mmol/L
HCO ₃ ⁻	2.20					0.40	mmol/L

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ			
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ			
			Πυκνό διάλυμα Β 50 ΛΙΤΡΑ (L)
Στόχος EC για την κεφαλή υδρολίπανσης	2.60	dS/m	Νιτρικό κάλιο
pH	5.60		Θεικό μαγνήσιο
Πυκνό διάλυμα Α	50	ΛΙΤΡΑ (L)	Νιτρικό μαγνήσιο
Νιτρικό ασβέστιο	4.106	Kg	Μονοποτάσσιο phosphate
Χλωριούχο ασβέστιο, 48% Cl	0.000	Kg	Θεικό κάλιο
Νιτρικό κάλιο	0.911	Kg	Φωσφορικό οξύ
Νιτρικό αμμώνιο	0.176	Kg	Φωσφορικό μονοαμμώνιο
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.112	Kg	Θεικό αμμώνιο
Πυκνό διάλυμα νιτρικού οξέος	50	ΛΙΤΡΑ (L)	Θεικό οξύ
Νιτρικό οξύ	0.899	Kg	Θεικό μαγγάνιο
Πυκνό διάλυμα πυριτικού καλίου	0	ΛΙΤΡΑ (L)	Θεικός ψευδάργυρος
Πυριτικό κάλιο (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg	Θεικός χαλκός
			Βορικό οξύ
			Επταμολυβδαινικό αμμώνιο

Διάγραμμα 7.1.5. Συνταγή υδρολίπανσης της τομάτας κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας στα φυτά χωρίς συνδυασμένη καταπόνηση

Αριθμός αναφοράς - Ημερομηνία: 6/15-11-2019
 Πλήρες όνομα: Παναγιώτης Καλοζούμης
 Διεύθυνση: ΓΠΑ
 Αριθμός τηλεφώνου:
 Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο: kalozoumis@aua.gr
 Θέση της καλλιέργειας: Πείραμα με βιοδιεγέρτες (Stress)
 Είδος καλλιέργειας: Τομάτα
 Στάδιο καλλιέργειας: Καρποφορία 1
 Εποχή έτους (κλιματικές συνθήκες): Άνοιξη ή Φθινόπωρο
 Ανοιχτό ή κλειστό σύστημα: Ανοιχτό υδροπονικό σύστημα

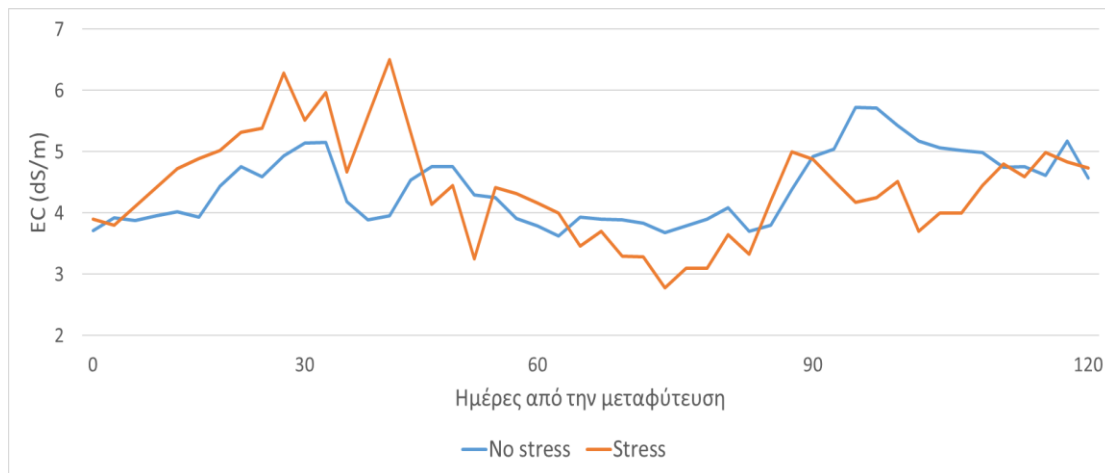
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	Στόχος EC, pH και συγκεντρώσεων στο διάλυμα απορροής					EC, pH & συγκεντρώσεις στο θρεπτικό διάλυμα	
	Νερό άρδευσης	Διάλυμα απορροής	Κατώτατο όριο	Μέση τιμή-στόχος	Ανώτατο όριο		
EC	0.32		3.29	3.50	3.71	2.00	dS/m
pH	7.30		5.83	6.20	6.57	5.60	
K ⁺	0.00		6.86	7.30	7.74	6.00	mmol/L
Ca ²⁺	0.90		8.27	8.80	9.33	3.50	mmol/L
Mg ²⁺	0.30		3.76	4.00	4.24	1.80	mmol/L
NH ₄ ⁺	0.00		0.09	0.10	0.11	1.00	mmol/L
SO ₄ ²⁻	0.20		6.11	6.50	6.89	4.35	mmol/L
NO ₃ ⁻	0.00		16.26	17.30	18.34	6.00	mmol/L
H ₂ PO ₄ ⁻	0.00		1.13	1.20	1.27	0.60	mmol/L
Fe	0.00		23.50	25.00	26.50	23.00	mmol/L
Mn	0.00		2.82	3.00	3.18	10.00	mmol/L
Zn	2.15		6.58	7.00	7.42	5.00	mmol/L
Cu	0.00		0.75	0.80	0.85	0.80	mmol/L
B	0.00		47.00	50.00	53.00	40.00	mmol/L
Mo	0.00		0.47	0.50	0.53	0.50	mmol/L
Si	0.00					0.00	mmol/L
Cl ⁻	0.40					2.50	mmol/L
Na ⁺	0.60					0.60	mmol/L
HCO ₃ ⁻	2.20					0.40	mmol/L

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ			
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ			
			Πυκνό διάλυμα Β 50 ΛΙΤΡΑ (L)
Στόχος EC για την κεφαλή υδρολίπανσης	2.00	dS/m	Νιτρικό κάλιο
pH	5.60		Θεικό μαγνήσιο
Πυκνό διάλυμα Α	50	ΛΙΤΡΑ (L)	Νιτρικό μαγνήσιο
Νιτρικό ασβέστιο	1.675	Kg	Μονοποτάσιου phosphate
Χλωριούχο ασβέστιο, 48% Cl	0.772	Kg	Θεικό κάλιο
Νιτρικό κάλιο	0.052	Kg	Φωσφορικό οξύ
Νιτρικό αμμώνιο	0.276	Kg	Φωσφορικό μονοαμμώνιο
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.117	Kg	Θεικό αμμώνιο
Πυκνό διάλυμα νιτρικού οξέος	50	ΛΙΤΡΑ (L)	Θεικό οξύ
Νιτρικό οξύ	0.899	Kg	Θεικό μαγγάνιο
Πυκνό διάλυμα πυριτικού καλίου	0	ΛΙΤΡΑ (L)	Θεικός ψευδάργυρος
Πυριτικό κάλιο (K ₂ SiO ₃)	0.000	Kg	Θεικός χαλκός
			Βορικό οξύ
			Επταμολυβδανικό αμμώνιο

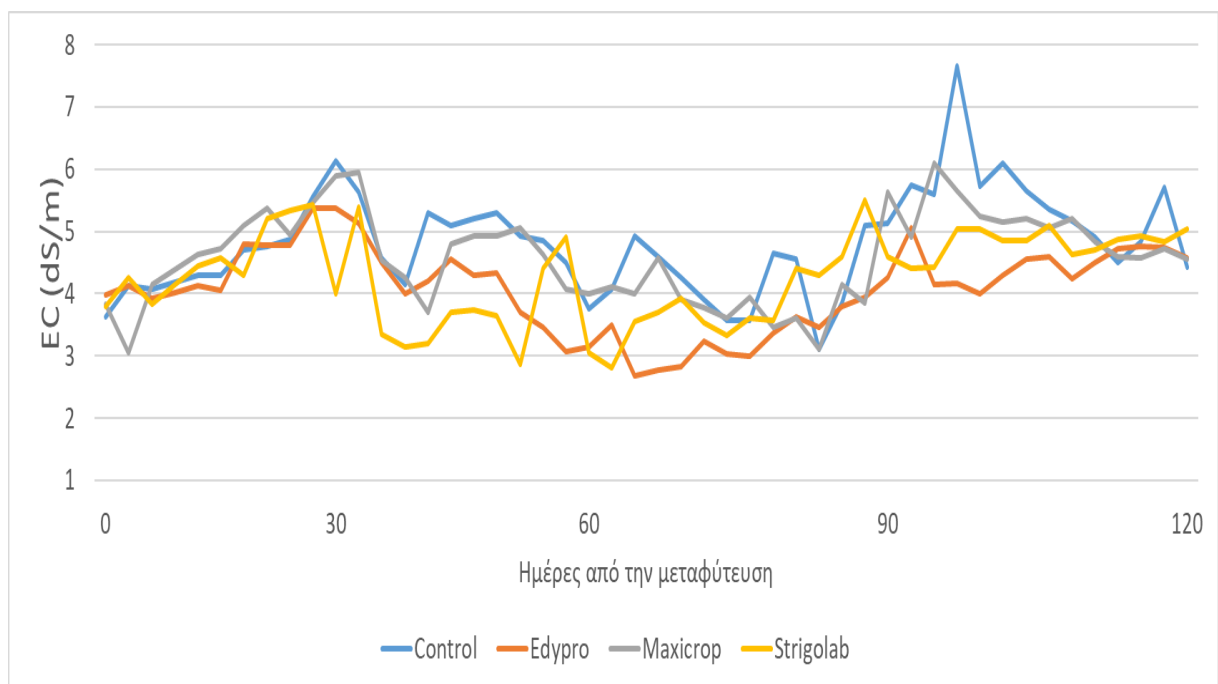
Διάγραμμα 7.1.6. Συνταγή υδρολίπανσης της τομάτας κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας στα φυτά με συνδυασμένη καταπόνηση

7.2. Ημερήσιες μετρήσεις απορροών

7.2.1. Ημερήσια καταγραφή ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο διάλυμα απορροή

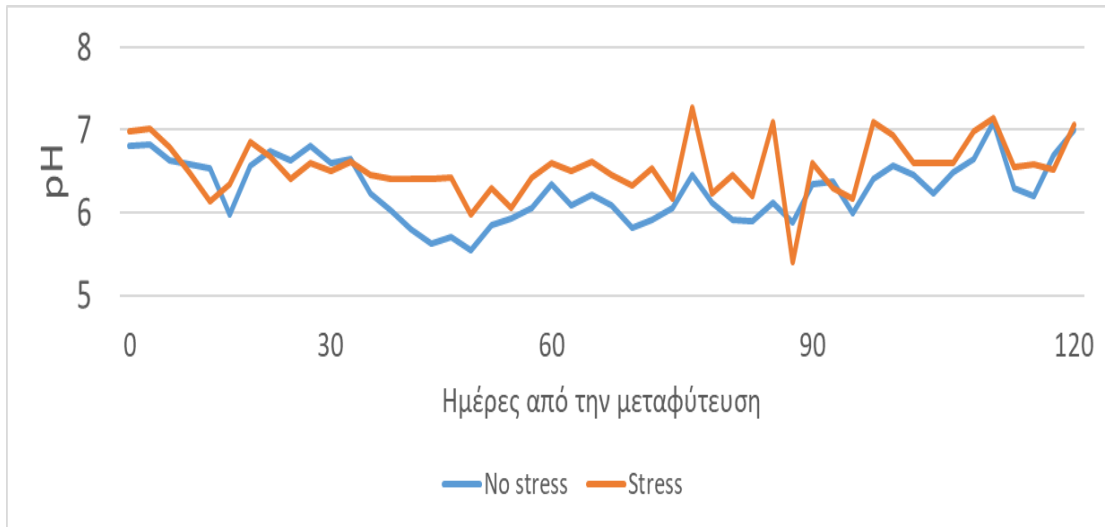


Διάγραμμα 7.2.1.1. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής.

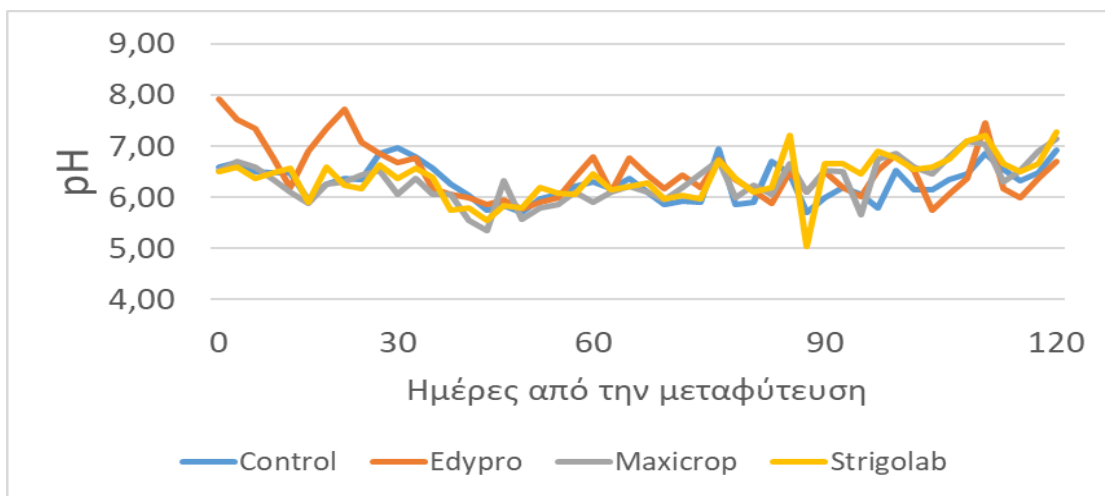


Διάγραμμα 7.2.1.2. Επίδραση της εφαρμογής βιοδιεγερτών (Control: Μη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, Edypro, Strigolab και Maxicrop) στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής.

7.2.2. Ημερήσια καταγραφή του pH στο διάλυμα απορροής

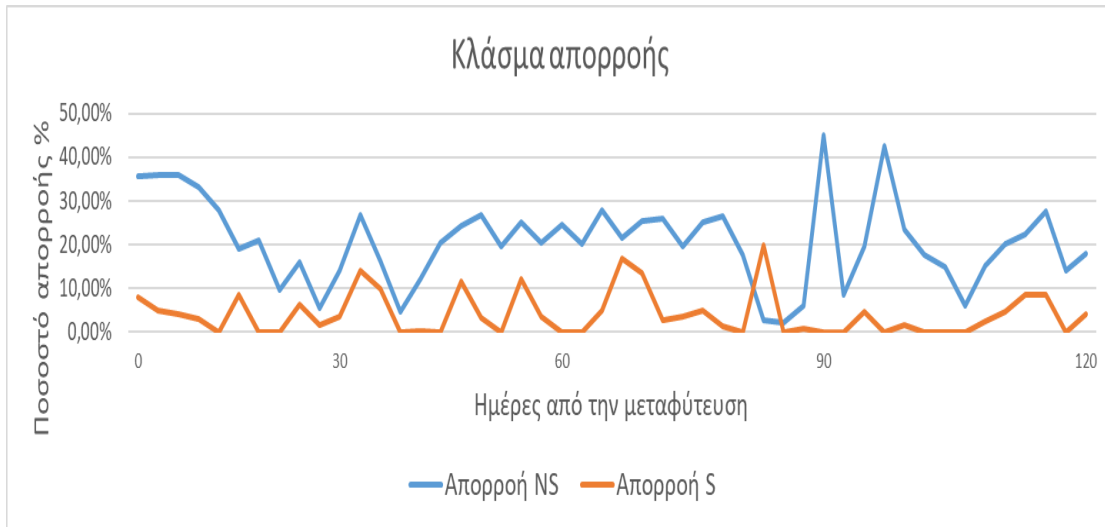


Διάγραμμα 7.2.2.1. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) στο pH του διαλύματος απορροής.



Διάγραμμα 7.2.2.2. Επίδραση της εφαρμογής βιοδιεγερτών (Control: Μη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, Edypro, Strigolab και Maxicrop) στο pH του διαλύματος απορροής.

7.2.3. Ημερήσια καταγραφή του κλάσματος απορροής



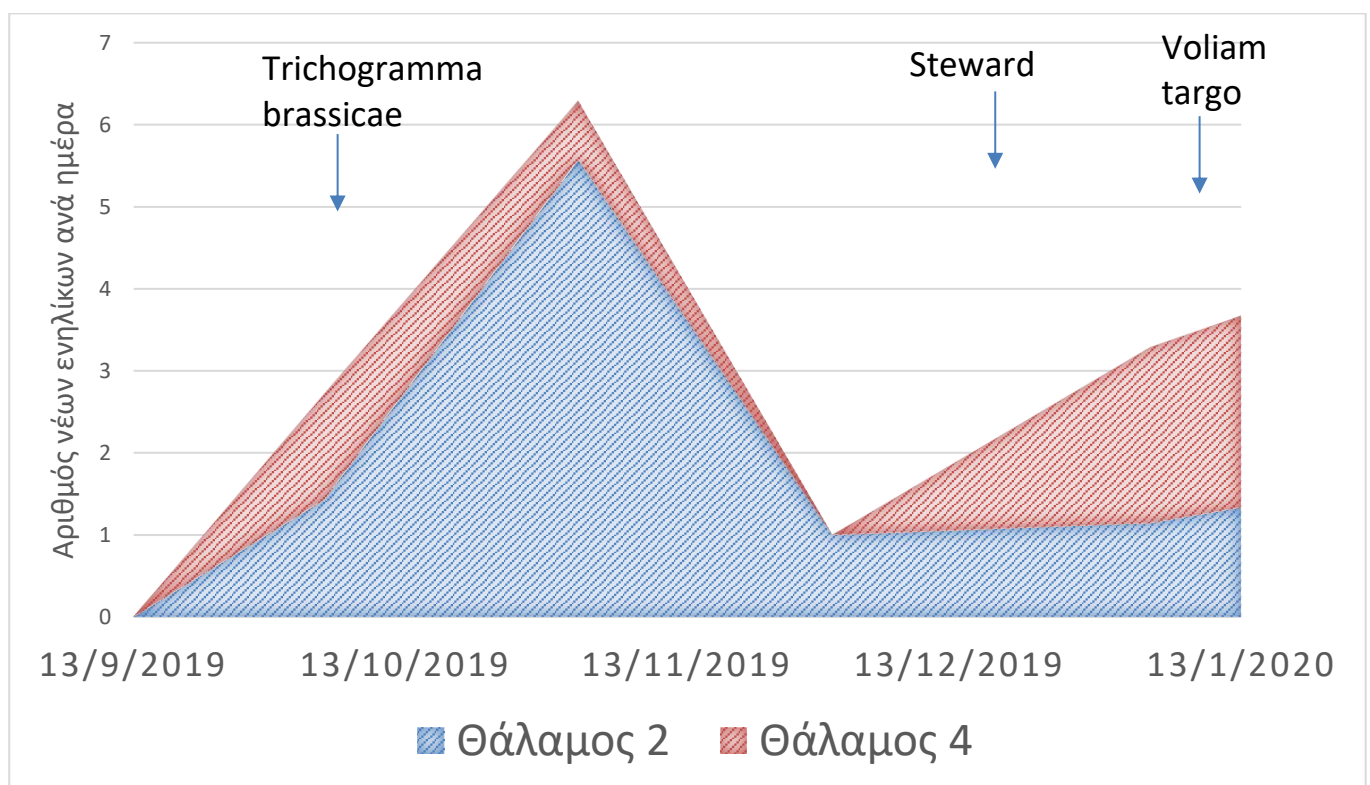
Διάγραμμα 7.2.3.1. Επίδραση της συνδυασμένης καταπόνησης νερού και θρεπτικών στοιχείων (No stress, Combined stress) στο κλάσμα απορροής.

7.3. Καταγραφή θερμοκρασιών του θερμοκηπίου

Πίνακας 7. Μέση θερμοκρασία, μέση μέγιστη θερμοκρασία, μέση ελάχιστη θερμοκρασία και μέση σχετική υγρασία κατά την διάρκεια της καλλιέργειας για τους δυο θαλάμους του θερμοκηπίου.

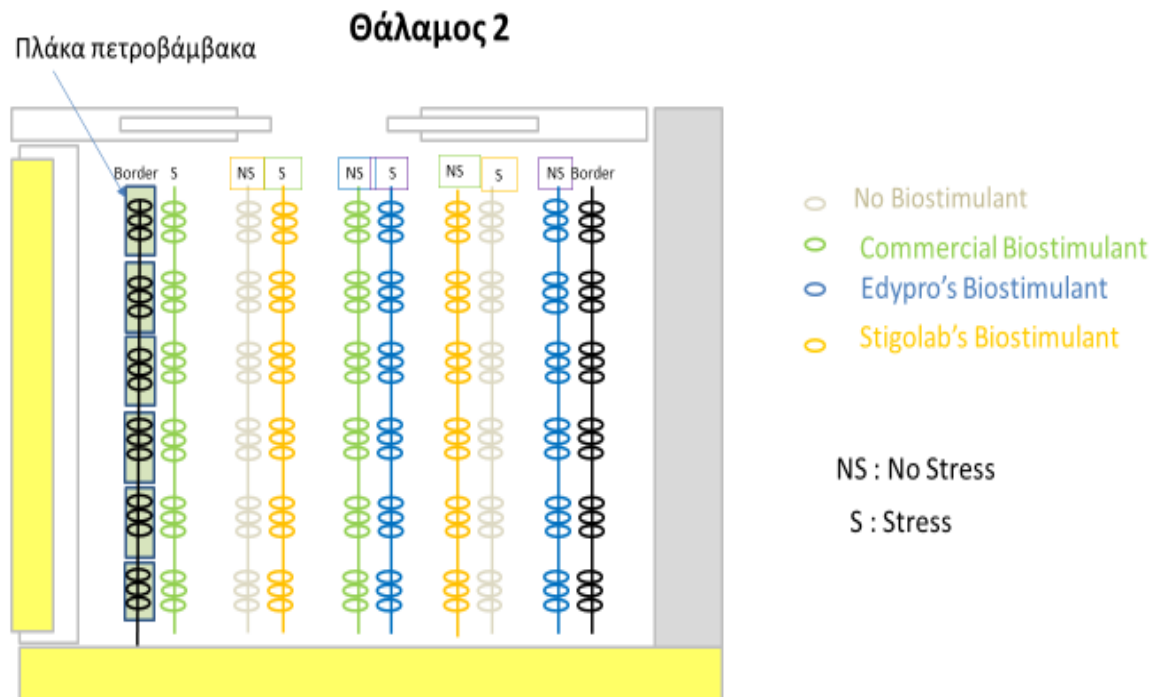
Μήνας	Θάλαμος 2				Θάλαμος 4			
	T_mean	(avg) T_max	(avg) T_min	Mean RH %	T_mean	(avg) T_max	(avg) T_min	Mean RH %
Σεπτέμβριος	25,1	35	18,6	57,5	26,8	38,8	18,9	58,1
Οκτώβριος	21,8	32,6	15,2	75,7	22,3	33,9	15,2	77,4
Νοέμβριος	19,7	30	14,6	89,3	19,9	28,9	14,8	87,9
Δεκέμβριος	17,8	26,2	13,8	76,6	17,5	24,9	13,6	72,5
Ιανουάριος	18	25,2	14,2	60,6	17,5	24,3	14	54,4

7.4. Ημερήσια καταγραφή πληθυσμού του εντόμου *Tuta absoluta*

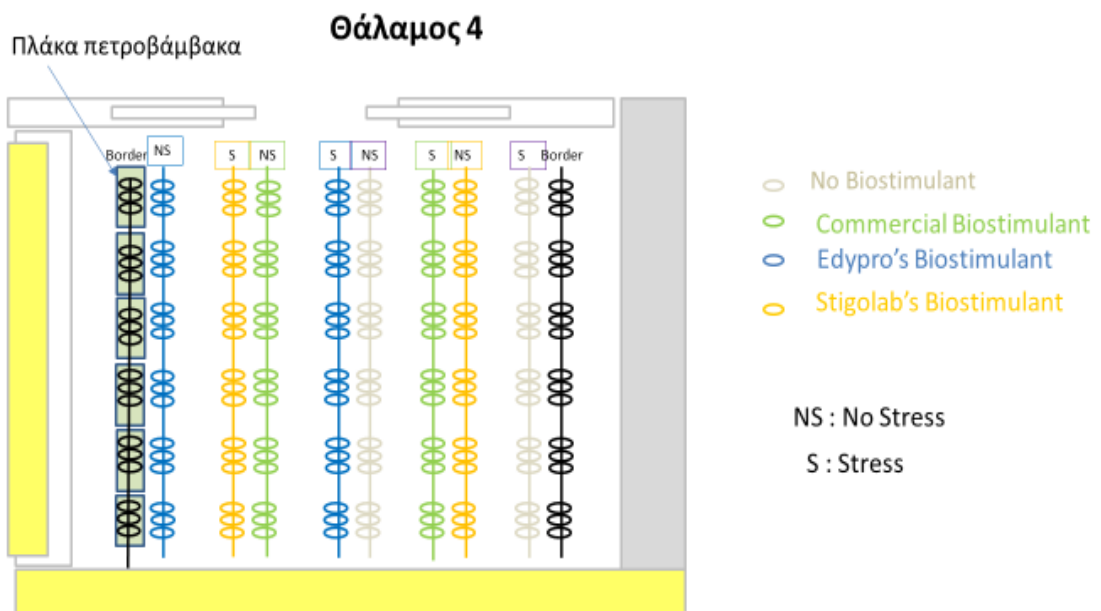


Διάγραμμα 7.4.1. Πορεία ημερήσιας καταγραφής των ενήλικων αρσενικών ατόμων του εντόμου *Tuta absoluta* από τις παγίδες τύπου ‘Δ’ για τους δυο θαλάμους του θερμοκηπίου.

7.5. Πειραματικό σχέδιο



Διάγραμμα 7.5.1. Πειραματική διάταξη φυτών στον θάλαμο 2 του θερμοκηπίου.



Διάγραμμα 7.5.2. Πειραματική διάταξη φυτών στον θάλαμο 2 του θερμοκηπίου.