



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΑΧΑΝΟΚΟΜΙΑΣ

Πτυχιακή Εργασία

«Αξιολόγηση της επίδρασης της ελλειμματικής άρδευσης και της εφαρμογής βιοδιεγερτών σε καλλιέργεια τομάτας στο θερμοκήπιο.»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΝΑΤΣΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2024

**«Αξιολόγηση της επίδρασης της ελλειμματικής άρδευσης και της εφαρμογής
βιοδιεγερτών σε καλλιέργεια τομάτας στο θερμοκήπιο.»**

The effect of deficit irrigation and biostimulant application on greenhouse tomato.

Νατσιός Ιωάννης

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- Πετρόπουλος Σπύρος, Αναπληρωτής Καθηγητής (ως επιβλέπων μέλος ΔΕΠ)
- Κατσούλας Νικόλαος, Καθηγητής
- Λύκας Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την πραγματοποίηση της πτυχιακής μου ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σπυρίδων Πετρόπουλο, αναπληρωτή καθηγητή λαχανοκομίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του ΠΘ., για την υποστήριξη, την υπομονή, το ενδιαφέρον και την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχε κατά την διάρκεια πραγματοποίησης του πειράματος.

Ευχαριστώ, τους φίλους και προπτυχιακούς συμφοιτητές μου, αλλά και μεταπτυχιακούς και το προσωπικό του εργαστηρίου λαχανοκομίας για την συνεισφορά και τη σημαντική βοήθεια στην καλλιέργεια, στο αγρόκτημα του πανεπιστημίου.

Ευχαριστώ, τέλος, την οικογένειά μου, τους γονείς και τα αδέρφια μου, για την στήριξη και το ειλικρινές ενδιαφέρον τους, καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Καλλιέργεια τομάτας	8
1.1.1 Βοτανική ταξινόμηση - Εξάπλωση	8
1.1.2 Απαιτήσεις σε θερμοκρασία και έδαφος	8
1.1.3 Λίπανση – Άρδευση	9
1.2 Καλλιέργεια τομάτας και έλλειψη νερού	10
1.3 Συστήματα ελλειμματικής άρδευσης	13
1.4 Βιοδιεγέρτες	14
1.5 Εφαρμογή βιοδιεγερτών	15
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	17
2.1 Φυτικό υλικό	17
2.2 Εφαρμογή βιοδιεγερτών	19
2.3 Συγκομιδές τομάτας	22
2.4 Μέτρηση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών Τομάτας	24
2.4.1 Μέτρηση Διαστάσεων	24
2.4.2 Χρώμα καρπών	25
2.4.3 Μέτρηση νωπού και ξηρού βάρους	25
2.4.4 Συνεκτικότητα καρπών	26
2.4.5 Μέτρηση βαθμών Brix	27
2.4.6 Αγωγιμότητα	28
2.4.7 Μέτρηση pH	28
2.4.8 Μέτρηση οξύτητας	29
2.5 Στατιστική ανάλυση	30
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	31
3.1 Μέσος όρος αριθμού καρπών τομάτας ανά φυτό	31
3.2 Μέσος όρος βάρους καρπών τομάτας ανά φυτό	32
3.3 Ποσοστό ξηράς ουσίας (%)	33
3.4 Διαστάσεις καρπών τομάτας	34
3.5 Χρώμα καρπών τομάτας	35
3.6 Συνεκτικότητα καρπών τομάτας	37
3.7 Ηλεκτρική αγωγιμότητα χυμού τομάτας	38
3.8 pH χυμού τομάτας	38
3.9 Οξύτητα χυμού τομάτας	39
3.10 Βαθμοί Brix χυμού τομάτας	39

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	41
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	44
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	45

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καλλιέργεια τομάτας γνωρίζει σήμερα μεγάλη εξάπλωση σε ολόκληρο τον κόσμο. Διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας, ποικιλίες και γεωργικές πρακτικές χρησιμοποιούνται ανάλογα με τους διαθέσιμους πόρους και το κλίμα κάθε περιοχής. Η κλιματική κρίση, όμως, δημιουργεί νέα δεδομένα στον αγροτικό τομέα. Κοινός παρονομαστής, της παγκόσμιας παραγωγής είναι η ανεύρεση τρόπων καλύτερης διαχείρισης του νερού και ορθής άρδευσης των φυτών ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής εξαιτίας της υδατικής καταπόνησης που υφίστανται τα φυτά. Ένας από τους τρόπους που μελετώνται τα τελευταία χρόνια προς αυτή την κατεύθυνση είναι και η χρήση βιοδιεγερτών.

Σκοπός της παρούσης πτυχιακής είναι να μελετηθεί ακριβώς η σύνδεση και η επίδραση της εφαρμογής βιοδιεγερτών στην καλλιέργεια τομάτας θερμοκηπίου υπό συνθήκες κανονικής και ελλειμματικής άρδευσης. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε πειραματική καλλιέργεια τομάτας στο θερμοκήπιο του αγροκτήματος του πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο κατά την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου 2022. Στην καλλιέργεια μελετήθηκε η επίδραση της εφαρμογής πέντε σκευασμάτων βιοδιεγερτών, τα οποία περιείχαν: α) οξείδιο του ασβεστίου (CaO), β) διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και γ) φύκη του είδους *Ascophyllum nodosum* σε διαφορετική δοσολογία, στη συνολική παραγωγή και την ποιότητα των καρπών τομάτας, σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Ταυτόχρονα, στην καλλιέργεια εφαρμόστηκαν δύο επίπεδα άρδευσης, κανονική και ελλειμματική, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση αυτού του παράγοντα, σε συνδυασμό με την εφαρμογή βιοδιεγερτών, στο τελικό αποτέλεσμα. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών που περιείχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου και πυριτίου οδήγησε σε αύξηση της παραγωγής. Το σκεύασμα του *Ascophyllum nodosum* ωφέλησε το μέγεθος και την συνεκτικότητα των καρπών αλλά και γενικότερα βελτίωσε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων καρπών, ιδιαίτερα στην περίπτωση της ελλειμματικής άρδευσης. Τέλος, ο βιοδιεγέρτης με την μικρότερη περιεκτικότητα σε ασβέστιο και πυρίτιο αύξησε τους βαθμούς Brix των καρπών τομάτας.

Λέξεις κλειδιά: ελλειμματική άρδευση, ασβέστιο, παραγωγή, φύκη, ποιοτικά χαρακτηριστικά

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

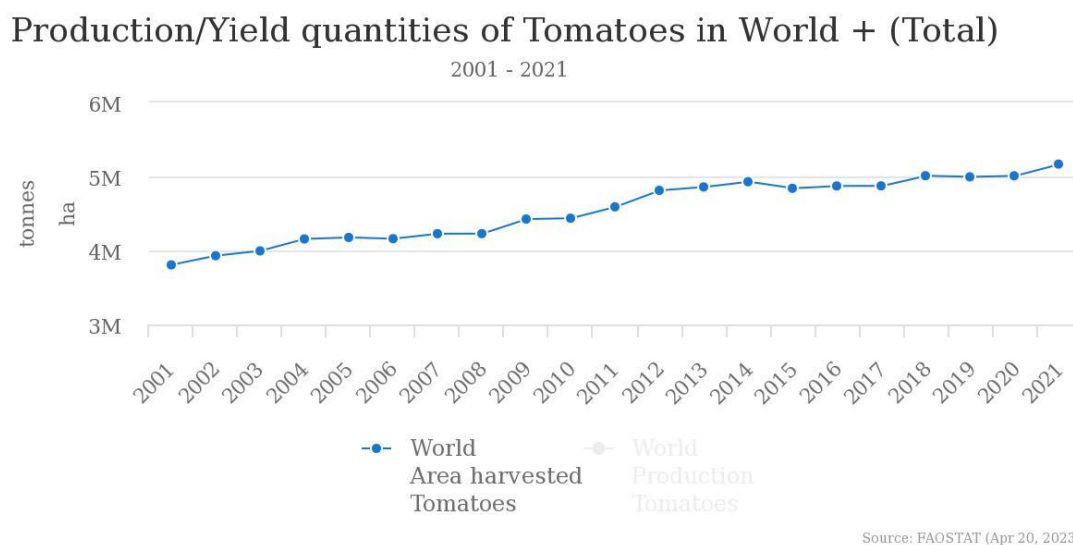
1.1 Καλλιέργεια τομάτας

1.1.1 Βοτανική ταξινόμηση - Εξάπλωση

Η τομάτα, επιστημονική ονομασία *Solanum lycopersicum* L., είναι ποώδες λαχανικό, πολυετές, που καλλιεργείται όμως ως ετήσιο για την παραγωγή του καρπού. Ανήκει στην οικογένεια Solanaceae και κατάγεται από την Ν. Αμερική.

Η καλλιέργεια της τομάτας εμφανίστηκε στην Ευρώπη περί τα μέσα του 16^{ου} αιώνα μετά τις εξερευνήσεις της Αμερικής από τους Ισπανούς. Η μεγάλη εξάπλωσή της, ωστόσο, ξεκίνησε μετά το 18^ο αιώνα καθώς μέχρι τότε η κατανάλωση του καρπού θεωρούνταν επικίνδυνη, εξαιτίας της ουσίας σολανίνης (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Σύμφωνα με το FAO, το 2021 οι καλλιεργούμενες εκτάσεις τομάτας ανά τον κόσμο ήταν περίπου 5,2 εκατομμύρια εκτάρια (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Καλλιεργούμενες εκτάσεις τομάτας ανά τον κόσμο 2001-2021 (Πηγή: FAOSTAT, 2023)



1.1.2 Απαιτήσεις σε θερμοκρασία και έδαφος

Η τομάτα καλλιεργείται σήμερα σε όλο τον κόσμο είτε ως υπαίθρια καλλιέργεια είτε σε θερμοκήπια, για την παραγωγή καρπών εκτός εποχής. Κατάλληλες θερμοκρασίες ανάπτυξης του φυτού θεωρούνται μεταξύ 13-25 °C, ενώ σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 35 °C μειώνεται η ανάπτυξη και το ποσοστό καρπώδεσης. Για την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου της τομάτας απαιτούνται τουλάχιστον 4 μήνες χωρίς παγετό.

Στην Ελλάδα, η σπορά της τομάτας ξεκινάει σε θερμοσπορεία τέλη Φεβρουαρίου και συνεχίζεται σε ψυχρά σπορεία κατά το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Μαρτίου μέχρι και τα τέλη Απριλίου. Ακολούθως, γίνεται η μεταφύτευση των νεαρών φυταρίων σε κατάλληλα προετοιμασμένα θερμοκήπια για την ανάπτυξη της καλλιέργειας ή εγκατάσταση στον αγρό, από τον Απρίλιο μέχρι τον Ιούνιο (Μπιλάλης κ.ά., 2019).



Εικόνα 1. Φυτά τομάτας έτοιμα για μεταφύτευση (προσωπικό αρχείο, 2022)

Η τομάτα καλλιεργείται και αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε ποικιλία εδαφών, προτιμά όμως αμμοπηλώδη εδάφη με καλή ικανότητα στράγγισης και pH 6-6,5.

1.1.3 Λίπανση – Άρδευση

Πριν την εγκατάσταση των φυτών στο χωράφι το έδαφος προετοιμάζεται κατάλληλα με την αφαίρεση υπολειμμάτων προηγούμενης καλλιέργειας, την ελαφριά άρωση του εδάφους και την ενσωμάτωση 6-8 τόνων κοπριάς ανά στρέμμα (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Ταυτόχρονα μπορεί να γίνει και βασική λίπανση με την εφαρμογή σύνθετου λιπάσματος N-P-K, που να περιέχει και μαγνήσιο. Γενικά, προτείνεται η εφαρμογή 20-24 μονάδων N, 20-24 μονάδων P, 20-24 μονάδων K και 4 μονάδων Mg ανά στρέμμα (Μπιλάλης κ.ά., 2019). Σε κάθε περίπτωση, κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας συνιστάται η διενέργεια φυλλοδιαγνωστικής για την ακριβή κατάρτιση ενός ορθού προγράμματος λίπανσης αλλά και για την παρακολούθηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων στα φυτά.

Από τις πιο σημαντικές καλλιεργητικές φροντίδες που απαιτεί η τομάτα είναι η άρδευση. Οι ετήσιες ανάγκες της καλλιέργειας ανέρχονται στα 400-500 m³/στρέμμα, τα οποία θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στην καλλιεργητική περίοδο.

Ωστόσο, κρίσιμες περιόδοι άρδευσης για την φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών και τον σχηματισμό των καρπών είναι τα στάδια μετά την εγκατάσταση της καλλιέργειας και η περίοδος ανάπτυξης των καρπών. Η μέθοδος άρδευσης, που κατ' εξοχήν προτείνεται τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξημένης αποδοτικότητας χρήσης του νερού, είναι η στάγδην άρδευση, τόσο σε υπαίθριες καλλιέργειες όσο και σε καλλιέργειες υπό κάλυψη, σε θερμοκήπια.

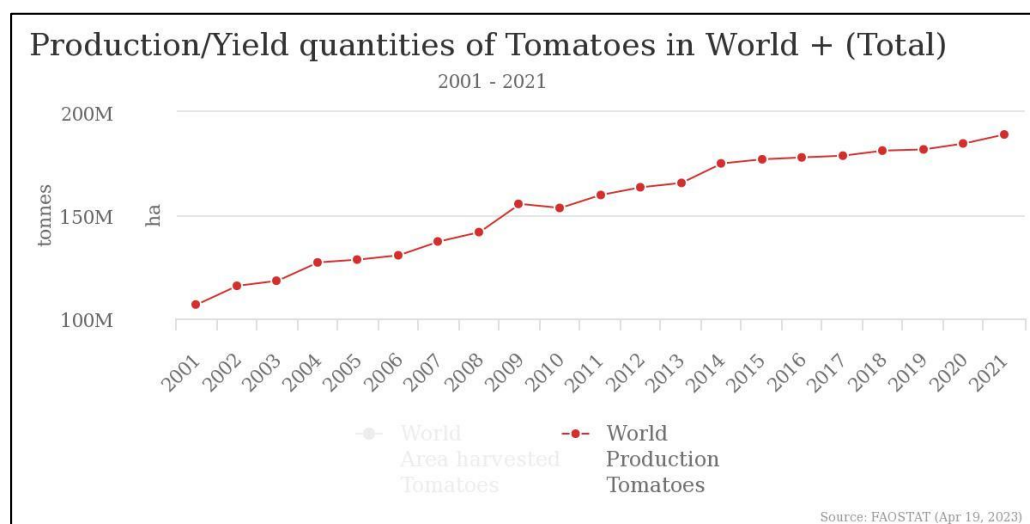


Εικόνα 2. Καλλιέργεια τομάτας στο θερμοκήπιο στο Βελεστίνο (προσωπικό αρχείο, 2022)

1.2 Καλλιέργεια τομάτας και έλλειψη νερού

Η τομάτα γνωρίζει σήμερα τεράστια εξάπλωση στον πλανήτη. Καλλιεργείται και καταναλώνεται όλο και περισσότερο σε ολόκληρο τον κόσμο, με τη συνολική παραγωγή να βαίνει συνεχώς αυξανόμενη, χρόνο με το χρόνο, συναρτήσει της αύξησης του πληθυσμού της γης και της ανάγκης για μεγαλύτερες ποσότητες τροφής. Σύμφωνα με το FAO η συνολική παγκόσμια παραγωγή τομάτας, το 2021, ήταν λίγο περισσότερο από 189 εκ. τόνους (Πίνακας 2). Αντίστοιχα στην Ελλάδα η συνολική παραγωγή ήταν 1.301.296 τόνοι.

Πίνακας 2. Παραγωγή τομάτας σε εκατομμύρια τόνους ανά έτος παγκοσμίως (Πηγή: FAOSTAT, 2023)



Έχοντας τα παραπάνω ως δεδομένα και με τον πληθυσμό της γης να αγγίζει πλέον τα 8 δισ., η ανάγκη για διαθέσιμη τροφή και επομένως η παραγωγή λαχανοκομικών προϊόντων αυξάνεται συνεχώς, με σκοπό την κάλυψη των επισιτιστικών αναγκών. Βεβαίως, η πρόοδος της γεωργικής τεχνολογίας και η χρήση εντατικών συστημάτων καλλιέργειας έχει συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγής και των αποδόσεων. Η επαναλαμβανόμενη όμως εφαρμογή συγκεκριμένων γεωργικών πρακτικών έχει οδηγήσει σε σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η μείωση των διαθέσιμων καλλιεργούμενων εκτάσεων και η αποψίλωση δασών για ανεύρεση νέων, η υποβάθμιση του εδάφους, η διάβρωση, η ρύπανση και η μείωση της στάθμης των υπόγειων υδάτων είναι μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών (Fernandes, et al., 2022).

Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια η κλιματική κρίση με τη μείωση των βροχοπτώσεων και τις μεγάλες περιόδους ξηρασίας που παρατηρούνται έχει οδηγήσει στη μείωση της στάθμης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και των αποθεμάτων νερού άρδευσης, σημαντικού παράγοντα ανάπτυξης της καλλιέργειας της τομάτας. Η έλλειψη νερού είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζει περισσότερο την αγροτική παραγωγή. Τα φαινόμενα ξηρασίας είναι ακόμη πιο έντονα στη λεκάνη της Μεσογείου, με σημαντικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη του φυτού αλλά και την παραγωγή ποιοτικών

καρπών τομάτας (Medyouni et al., 2021). Αρκεί να τονιστεί ότι η τομάτα είναι ένα λαχανικό που οι καρποί του αποτελούνται από 95% νερό, ώστε να γίνει αντιληπτή η σημασία της επαρκούς άρδευσης στην καλλιέργεια. Επομένως, η αυξανόμενη λειψυδρία και ο ανταγωνισμός για την εκμετάλλευση του νερού οδηγεί στην υιοθέτηση νέων και πιο κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης του νερού, ώστε να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα των καλλιεργειών ιδιαίτερα σε άνυδρες περιοχές (Petroopoulos et al., 2020). Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται πολλές έρευνες για την αναζήτηση κατάλληλων μεθόδων διαχείρισης του νερού και της άρδευσης, ιδιαίτερα σε καλλιέργειες, όπως η τομάτα, που επηρεάζονται άμεσα από την έλλειψη νερού, συμπεριλαμβανομένων μεθόδων ελλειμματικής άρδευσης αλλά και ανεύρεσης εναλλακτικών πηγών νερού (επεξεργασμένα λύματα, αλατούχο νερό) (Pereira et al., 2019).

Μία από τις πιο μελετημένες και καλύτερες μεθόδους για τη βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης του νερού, για τη μειωμένη δηλαδή άρδευση των καλλιεργειών διατηρώντας ταυτόχρονα την παραγωγή σε υψηλά επίπεδα (Costa et al., 2007), είναι η μέθοδος της ελλειμματικής άρδευσης. Της μειωμένης, δηλαδή, άρδευσης και κατανάλωσης νερού από την καλλιέργεια στην οποία διατηρείται ένα ελλειμματικό-ελάχιστο επίπεδο νερού (Medyouni et al., 2021). Βέβαια, η ποσότητα της άρδευσης είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανάπτυξη και την φυσιολογία του φυτού της τομάτας. Το κλείσιμο των στομάτων των φύλλων είναι η πρώτη και κύρια αντίδραση των φυτών σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης για την αντιμετώπιση της απώλειας νερού, με στόχο τη μείωση της διαπνοής. Κεντρική ιδέα της ελλειμματικής άρδευσης είναι ότι «στρεσάρει» σε ήπιο βαθμό το φυτό ώστε με τα κατάλληλα ερεθίσματα να βελτιώσει την αντοχή και την προσαρμοστικότητά του σε αντίξοες συνθήκες, χωρίς να επηρεαστεί αρνητικά η ανάπτυξη και παραγωγή του.

Η εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης, εκτός του ότι συμβάλλει στην εξοικονόμηση χρήσης νερού στην καλλιέργεια της τομάτας (Khapte et al., 2019), μπορεί να έχει και ευεργετική επίδραση στην ποιότητα των καρπών, ιδιαίτερα στο κομμάτι που σχετίζεται με την υψηλότερη συγκέντρωση σακχάρων και οργανικών οξέων. Ωστόσο, οι αναφερόμενες αυτές θετικές επιδράσεις στην ποιότητα των καρπών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ποικιλία του φυτού, το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο εφαρμόζεται η ελλειμματική άρδευση, τον τρόπο καλλιέργειας και την διάρκεια εφαρμογής της ελλειμματικής άρδευσης (Ripoll et al., 2014).

Στις περισσότερες των περιπτώσεων όμως η ελλειμματική άρδευση συνοδεύεται από τις αρνητικές επιπτώσεις της έλλειψης νερού, όπως η μείωση της φωτοσύνθεσης, της ανάπτυξης και της παραγωγής (Hao et al., 2019). Η έλλειψη νερού γενικά, είτε είναι αποτέλεσμα ξηρασίας εξαιτίας αβιοτικών-κλιματικών παραγόντων είτε προκαλείται τεχνητά με μειωμένη άρδευση, επιδρά αρνητικά σε πολλές λειτουργίες του κυττάρου και ολόκληρου του φυτού και προκαλεί διαταραχές στην μορφολογία και φυσιολογία των βλαστών, των φύλλων και των καρπών.

1.3 Συστήματα ελλειμματικής άρδευσης

Υπάρχουν διάφορα συστήματα ελλειμματικής άρδευσης που δοκιμάζονται σήμερα στις καλλιέργειες, ώστε να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις τους στην ποσότητα και την ποιότητα της παραγωγής. Παράδειγμα συστήματος ελλειμματικής άρδευσης είναι η ρυθμιζόμενη ελλειμματική άρδευση (regulated deficit irrigation). Με βάση αυτή την μέθοδο εφαρμόζεται στις καλλιέργειες κανονική άρδευση κατά τα φαινολογικά στάδια στα οποία τα φυτά είναι πιο ευαίσθητα στην έλλειψη νερού ή έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις (π.χ. λόγω καρπόδεσης) και ελλειμματική άρδευση στα στάδια κατά τα οποία είναι ανθεκτικότερα σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης (Galindo et al., 2018, Coyago-Cruz et al., 2019). Με τον τρόπο αυτό επιδιώκεται ο έλεγχος της φυτικής ανάπτυξης αλλά και της παραγωγής (Munitz et al., 2017).

Ένα άλλο σύστημα που εφαρμόζεται είναι η μειωμένη άρδευση της καλλιέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ώστε να δημιουργούνται συνθήκες καταπόνησης στο φυτό προοδευτικά, με την πάροδο του χρόνου (sustained deficit irrigation) (Munitz et al., 2017). Με την μέθοδο αυτή τα φυτά συνηθίζουν και προσαρμόζονται στη μειωμένη άρδευση, με τις κατά το δυνατό λιγότερες απώλειες σε παραγωγή (Feres et Soriano, 2007).

Τέλος, μία ακόμη μέθοδος ελλειμματικής άρδευσης είναι και η άρδευση του μισού ριζικού συστήματος των φυτών κάθε φορά (partial root zone drying). Στο σύστημα αυτό κάθε φορά που εφαρμόζεται άρδευση στην καλλιέργεια αρδεύεται μόνο το μισό ριζικό σύστημα, ενώ το υπόλοιπο μισό αφήνεται ξηρό μέχρι την επόμενη άρδευση οπότε και ποτίζεται αυτή τη φορά (Iqbal et al., 2020). Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου άρδευσης στοχεύει στην αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού, χωρίς να μειώνεται σημαντικά η παραγωγή.

1.4 Βιοδιεγέρτες

Προκειμένου να μετριαστούν, ως ένα βαθμό, οι επιπτώσεις της ξηρασίας στα καλλιεργούμενα φυτά αλλά και να αναπτυχθεί ανθεκτικότητα εφαρμόζονται διάφορες στρατηγικές, με σκοπό ταυτόχρονα την βιωσιμότητα της αγροτικής παραγωγής αλλά και τη μείωση χρήσης χημικών σκευασμάτων, επιβλαβών για το περιβάλλον (Colla and Roupshael, 2015). Ιδιαίτερα το τελευταίο αποτελεί υποχρέωση για τη χώρα μας αφού με βάση τη νέα ΚΑΠ ορίζονται ως στόχοι, μεταξύ των άλλων: α) μέχρι το 2030 οι βιολογικά καλλιεργούμενες εκτάσεις στην Ευρώπη να αποτελούν το 25% και β) μέχρι το 2030 η χρήση φυτοφαρμάκων και επικίνδυνων χημικών να περιοριστεί κατά 50%.

Μία από τις καλύτερες και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις που προτείνονται, για την αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων της έλλειψης νερού, ή άλλων αβιοτικών παραγόντων καταπόνησης, είναι η εφαρμογή βιοδιεγερτών. Ως βιοδιεγέρτες ορίζονται οι ουσίες ή οι μικροοργανισμοί που εφαρμόζονται σε μία καλλιέργεια με στόχο την καλύτερη αξιοποίηση, από τα φυτά, των διαθέσιμων θρεπτικών στοιχείων, την επιβίωση μετά από καταπονήσεις εξαιτίας αβιοτικών παραγόντων και τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας (du Jardin, 2015). Καθώς ο ορισμός αυτός βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη οι ουσίες και οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται στα σκευάσματα βιοδιεγερτών δεν έχουν καταγραφεί ακόμη αναλυτικά. Οι κατηγορίες των σκευασμάτων βιοδιεγερτών που κυκλοφορούν σήμερα στο εμπόριο κατατάσσονται με βάση τα συστατικά τους. Έτσι, διακρίνονται σε βιοδιεγέρτες με:

- α) Χουμικά και φουλβικά οξέα
- β) Προϊόντα υδρόλυσης πρωτεϊνών και άλλες αζωτούχες ενώσεις
- γ) Εκχυλίσματα φυκών και φυτών
- δ) Χιτοζάνη και άλλα βιοπολυμερή
- ε) Ανόργανες ενώσεις (Al, Co, Na, Se, Si)
- στ) Ωφέλιμοι μύκητες
- ζ) Ωφέλιμα βακτήρια (du Jardin, 2015).

Η χρήση βιοδιεγερτών μπορεί να προωθήσει την ανάπτυξη και άνθηση των φυτών και να αυξήσει την καρπόδεση και την ποιότητα των παραγόμενων καρπών. Εκτός όμως

από τα παραπάνω θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και ως βιώσιμο εργαλείο για την μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της έλλειψης νερού μέσω της ανάπτυξης ανθεκτικότητας των καλλιεργειών σε αβιοτικούς στρεσογόνους παράγοντες (Fernandes et al., 2022).

Καθώς η σύγχρονη γεωργική πρακτική αναζητά λύσεις ώστε να αντισταθμίσει τις επιπτώσεις από την έλλειψη αρδευτικού νερού, οι βιοδιεγέρτες έρχονται να δώσουν μία καινοτόμο διέξοδο, αυξάνοντας την ανθεκτικότητα των φυτών. Η ανάγκη για βιωσιμότητα της παραγωγής στρέφει την προσοχή όλο και περισσότερο στην μελέτη και χρήση των βιοδιεγερτών. Ενθαρρυντικά αποτελέσματα έχουν δοθεί σε ό,τι αφορά την ανάπτυξη των φυτών και την προσαρμογή τους σε στρεσογόνα περιβάλλοντα, μετά την εφαρμογή βιοδιεγερτών με εκχυλίσματα φυκών (Fernandes et al., 2022).

Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών σε καλλιέργειες τομάτας είναι μία πολλά υποσχόμενη πρακτική που φιλοδοξεί να δώσει απάντηση στο πρόβλημα της υδατικής καταπόνησης. Η τομάτα αποτελεί μία σημαντική καλλιέργεια στον παγκόσμιο χάρτη, παρ' ό,τι ευαίσθητη σε αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης, ιδιαίτερα στην ξηρασία. Η καλλιέργειά της απαιτεί μεγάλες ποσότητες εισροών ώστε να δώσει ικανοποιητική παραγωγή, ειδικά όταν πρόκειται για θερμοκηπιακή καλλιέργεια και παραγωγή καρπών εκτός εποχής όπου χρειάζεται μεγάλη εισροή ενέργειας και φυσικών πόρων (Petrooulos, 2020). Έτσι, η σύγχρονη γεωργία καλείται να αναζητήσει νέες πρακτικές που θα επιτρέψουν την αύξηση της παραγωγής, ώστε να καλυφθούν οι αυξανόμενες ανάγκες για τροφή, με μειωμένο κόστος παραγωγής, χωρίς όμως να γίνουν εκπτώσεις στην προστασία του περιβάλλοντος. Η χρήση βιοδιεγερτών είναι μια φιλική προς το περιβάλλον και βιώσιμη λύση που γίνεται όλο και πιο δημοφιλής για την επίτευξη αυτών των στόχων.

1.5 Εφαρμογή βιοδιεγερτών

Μεταξύ των ουσιών που μελετώνται για την χρήση τους ως βιοδιεγέρτες στις καλλιέργειες και τις επιδράσεις τους στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων καρπών είναι α) το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), β) το διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) και γ) φύκη του είδους *Ascophyllum nodosum* (εμπορικό σκεύασμα *Acadian*).

Η παρουσία ασβεστίου στα φυτά είναι ιδιαίτερα σημαντική. Το ασβέστιο είναι απαραίτητο για την ομαλή ανάπτυξη και επιβίωση των φυτών τόσο κάτω από φυσιολογικές συνθήκες όσο και υπό συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης (υψηλές θερμοκρασίες, έλλειψη νερού), καθώς διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην δημιουργία των κυτταρικών τοιχωμάτων αλλά και την σύνθεση των πρωτεϊνών (Θεριός, 1996). Η ύπαρξη ασβεστίου στα φυτά έχει δείξει ότι προάγει την άνθηση και αυξάνει αργότερα τη συνεκτικότητα των παραγόμενων καρπών. Αντίθετα, η έλλειψη του έδειξε ότι καθιστά τα φυτά ευπαθή σε ασθένειες (Thor, 2019). Για τους λόγους αυτούς η χρήση του ως βιοδιεγέρτη μελετάται αρκετά.

Εξίσου σημαντική και η παρουσία του πυριτίου. Πολλές μελέτες τα τελευταία χρόνια κατέδειξαν την ωφέλιμη επίδραση του πυριτίου στα φυτά, ρυθμίζοντας βιοχημικές διεργασίες, ώστε να επιβιώσουν κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας ή ξηρασίας (Zhu και Gong, 2014). Επίσης, η εφαρμογή πυριτίου σε καλλιέργεια τομάτας υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας έδειξε να διατηρεί τον ρυθμό φωτοσύνθεσης σε καλύτερα επίπεδα σε σχέση με το μάρτυρα (Romero-Aranda et al., 2006). Γενικά το πυρίτιο, ως βιοδιεγέρτης, αυξάνει την αντοχή των φυτών στους διάφορους παράγοντες καταπόνησης χωρίς να προκαλεί τοξικότητα στον άνθρωπο ή το περιβάλλον (Savvas και Ntatsi, 2015).

Τα εκχυλίσματα φυκών μελετώνται ευρέως, επίσης, για τις ευεργετικές τους επιδράσεις στην ανάπτυξη των φυτών. Πιο διαδεδομένο και με κυκλοφορία στο εμπόριο σήμερα, σε μορφή σκόνης ή συμπυκνώματος, είναι το είδος *Ascophyllum nodosum*. Μελέτες έχουν δείξει ότι η εφαρμογή του συγκεκριμένου φύκου ως βιοδιεγέρτη έχει οδηγήσει σε καλύτερη απορρόφηση από τα φυτά των διαθέσιμων θρεπτικών του εδάφους καθώς και σε αύξηση της παραγωγής και της ανθεκτικότητας σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης (Craigie, 2011, Santaniello et al., 2017).

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να ερευνηθεί, μέσω της πειραματικής διαδικασίας καλλιέργειας τομάτας σε θερμοκήπιο, η επίδραση της εφαρμογής βιοδιεγερτών στην ανάπτυξη των φυτών, την παραγωγή και την ποιότητα των καρπών υπό συνθήκες κανονικής και ελλειμματικής άρδευσης. Τα αποτελέσματα του πειράματος φιλοδοξούν να αποτελέσουν μία ακόμη πηγή εξαγωγής συμπερασμάτων για τη συνεισφορά και την χρήση των βιοδιεγερτών στην γεωργική πρακτική τα προσεχή χρόνια.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Φυτικό υλικό

Η διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκε στο θερμοκήπιο του αγροκτήματος του πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο. Η διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας ήταν περίπου 6 μήνες, από τις 16/4/2022 (ημέρα φύτευσης των φυτών τομάτας στο θερμοκήπιο) μέχρι τις 9/9/2022 (ημέρα εκρίζωσης των φυτών). Φυτεύτηκαν συνολικά 216 φυτά τομάτας (*Solanum lycopersicum*), σε 6 σειρές με την εξής διάταξη:

- 3 σειρές πλήρους αρδεύσεως
- 3 σειρές ελλειμματικής αρδεύσεως (εικ. 7)



Εικόνες 3 και 4. Η ετικέτα που συνόδευε τα φυτά τομάτας καθώς και τα κιβώτια παραλαβής των φυτών (προσωπικό αρχείο, 2022)



Εικόνες 5 και 6. Τα φυτά τομάτας όπως παραλήφθηκαν την ημέρα φύτευσής τους (προσωπικό αρχείο, 2022)



Εικόνα 7. Ο τρόπος φύτευσης και η διάταξη των φυτών τομάτας στο θερμοκήπιο (προσωπικό αρχείο, 2022)



Εικόνες 8 και 9. Υποστύλωση των φυτών τομάτας (προσωπικό αρχείο, 2022)

Για την υποστύλωση των φυτών χρησιμοποιήθηκε σπάγκος, του οποίου η μία άκρη δέθηκε στην βάση κάθε φυτού και η άλλη άκρη σε συγκεκριμένο σημείο ακριβώς από πάνω. Καθώς μεγάλωναν τα φυτά πλέκονταν ελικοειδώς στο σκοινί ώστε να συγκρατούνται όρθια (εικ. 8,9,10,11).

Η άρδευση πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο των σταγόνων. Απαραίτητη καλλιεργητική εργασία για την ομαλή ανάπτυξη της καλλιέργειας ήταν η αντιμετώπιση

των ζιζανίων με την τακτική και σε εβδομαδιαία βάση αφαίρεση τους. Επίσης, η οποιαδήποτε προσβολή των φυτών παρατηρήθηκε από κάποια ασθένεια ή εχθρό αντιμετωπίστηκε εγκαίρως, με κατάλληλες επεμβάσεις, ώστε να μην δημιουργηθεί πρόβλημα στην καλλιέργεια.



Εικόνες 10 και 11. Περιέλιξη και υποστύλωση των φυτών κατά την διάρκεια της ανάπτυξής τους (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.2 Εφαρμογή βιοδιεγερτών

Στην παρούσα πειραματική καλλιέργεια τομάτας θερμοκηπίου μελετήθηκε η επίδραση τριών ουσιών που χρησιμοποιούνται ή δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως βιοδιεγέρτες στα φυτά: α) το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), β) το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και γ) φύκη του είδους *Ascophyllum nodosum* (εμπορικό σκεύασμα Acadian). Στο κύριο κομμάτι της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκαν εφαρμογές των σκευασμάτων βιοδιεγερτών, ανά δέκα ημέρες περίπου, με πρώτη εφαρμογή στις 26/5/2022 (πίνακας 4). Εφαρμόστηκαν με την μέθοδο του ριζοποτίσματος πέντε σκευάσματα (M1, M2, M3, M4, M5) και μία επιπλέον κατηγορία που είναι ο μάρτυρας (control). Τα σκευάσματα M1, M2, M3, M4 αποτελούνται από βιοδιεγέρτη που περιείχε οξείδιο του ασβεστίου (CaO) και διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (AGR111), σε συνδυασμό με έναν παράγοντα κινητοποίησης και μετατόπισης ασβεστίου (AGR112). Επιπλέον, απαντώνται και τα ιχνοστοιχεία Mo, Bo και Zn (AGR121). Οι μεταχειρίσεις που αναφέρονται περιλάμβαναν τα παραπάνω συστατικά σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (πίνακας 5). Το σκεύασμα M5 αποτελείτο από φύκη του είδους *Ascophyllum nodosum* (εμπορικό σκεύασμα Acadian). Σε κάθε μεταχείριση και ανά έξι φυτά εφαρμόστηκε διαφορετικός βιοδιεγέρτης με βάση το παρακάτω σχεδιάγραμμα:

Πίνακας 3. Σχηματική απεικόνιση της εφαρμογής βιοδιεγερτών στο θερμοκήπιο

ΠΛΗΡΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗ	3	M2	M3	M4	M5	M1	CONTROL
	2	M5	M4	CONTROL	M1	M2	M3
	1	CONTROL	M1	M2	M3	M4	M5
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ							
ΕΛΛΕΙΜ ΜΑΤΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ	3	M2	M3	M4	M5	M1	CONTROL
	2	M5	M4	CONTROL	M1	M2	M3
	1	CONTROL	M1	M2	M3	M4	M5
είσοδος							

Πίνακας 4. Ημερομηνίες εφαρμογής βιοδιεγερτών

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΩΝ	
1	26/5/2022
2	9/6/2022
3	17/6/2022
4	27/6/2022
5	7/7/2022
6	16/7/2022
7	25/7/2022
8	3/8/2022



Εικόνες 12 και 13. Εφαρμογή βιοδιεγερτών στο θερμοκήπιο (προσωπικό αρχείο, 2022)

Πίνακας 5. Δοσολογίες βιοδιεγερτών που εφαρμόστηκαν

Βιοδιεγέρτης	Συστατικό	Σύσταση	Ποσότητα (L/στρ.)
M1	AGR111	CaO και SiO ₂	1,275
	AGR112	Παράγοντας κινητοποίησης και μετατόπισης ασβεστίου	0,100
	AGR121	Mo, Bo, Zn	0,225
M2	AGR111	CaO και SiO ₂	0,850
	AGR112	Παράγοντας κινητοποίησης και μετατόπισης ασβεστίου	0,100
	AGR121	Mo, Bo, Zn	0,150
M3	AGR111	CaO και SiO ₂	0,425
	AGR112	Παράγοντας κινητοποίησης και μετατόπισης ασβεστίου	0,100
	AGR121	Mo, Bo, Zn	0,075
M4	AGR111	CaO και SiO ₂	0,213
	AGR112	Παράγοντας κινητοποίησης και μετατόπισης ασβεστίου	0,100
	AGR121	Mo, Bo, Zn	0,038
M5	<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Ascophyllum nodosum</i>	100 (g/στρ.)



Εικόνες 14 και 15. Τα σκευάσματα των βιοδιεγερτών που εφαρμόστηκαν (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.3 Συγκομιδές τομάτας

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά επτά συγκομιδές τομάτας (πίνακας 5). Σε κάθε συγκομιδή και για κάθε μεταχείριση σημειωνόταν ο αριθμός των ώριμων και προς συγκομιδή καρπών ανά φυτό καθώς και το συνολικό βάρος των καρπών που συλλέχθηκαν από κάθε φυτό τομάτας (εικόνες 17 και 18). Για την μέτρηση του βάρους των καρπών χρησιμοποιήθηκε μια ζυγαριά ακριβείας ADAM LUNA (εικόνα 16).

Πίνακας 5. Ημερομηνίες συγκομιδής τομάτας

Συγκομιδές τομάτας	
1	23/6/2022
2	28/6/2022
3	5/7/2022
4	14/7/2022
5	21/7/2022
6	1/8/2022
7	12/8/2022



Εικόνα 16. Ζυγαριά ADAM LUNA (προσωπικό αρχείο, 2022)



Εικόνες 17 και 18. Ζύγιση του βάρους των ώριμων καρπών τομάτας ανά φυτό (προσωπικό αρχείο, 2022)



Εικόνα 19. Συγκομιδή τομάτας 21/7/2022 (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.4 Μέτρηση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών Τομάτας

Την 1/8/2022 πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών. Άμεσα, μετά την συγκομιδή τους οι καρποί μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, όπου αρχικά συλλέχθηκαν 15 αντιπροσωπευτικά δείγματα από κάθε μεταχείριση (ελλειμματική/πλήρης άρδευση και M1/M2/M3/M4/M5/Control).



Εικόνα 20. Συλλογή και διαχωρισμός των καρπών τομάτας ανά μεταχείριση (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.4.1 Μέτρηση Διαστάσεων

Αρχικά, οι 15 ντομάτες χωρίστηκαν σε 3 πεντάδες (εικόνες 21 και 22). Έπειτα, μετρήθηκαν οι διαστάσεις κάθε καρπού (ύψος και διάμετρος) με ένα ψηφιακό παχύμετρο, σε mm (εικόνα 23).



Εικόνες 21 και 22. Δείγματα καρπών που προορίζονται για επεξεργασία (προσωπικό αρχείο, 2022)



Εικόνα 23. Ψηφιακό παχύμετρο (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.4.2 Χρώμα καρπών

Για την μέτρηση του χρώματος των καρπών χρησιμοποιήθηκε το χρωματόμετρο KONICA MINOLTA CR-400 (εικόνα 24), με χρωματικό μοντέλο Lab. Στο συγκεκριμένο μοντέλο η παράμετρος L (Luminosity) αναφέρεται στην φωτεινότητα του χρώματος των καρπών, η παράμετρος a αναφέρεται στο χρώμα ανάμεσα στο κόκκινο και το πράσινο και η παράμετρος b αναφέρεται στο χρώμα ανάμεσα στο μπλε και το κίτρινο. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων η κεφαλή του χρωματόμετρου τοποθετήθηκε σε 3 διαφορετικά σημεία στον ισημερινό του καρπού.



Εικόνα 24. Φορητό χρωματόμετρο KONICA MINOLTA CR-400 (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.4.3 Μέτρηση νωπού και ξηρού βάρους

Για την μέτρηση του νωπού και του ξηρού βάρους επιλέχθηκαν δείγματα καρπών από κάθε μεταχείριση τα οποία αφού τεμαχίστηκαν ζυγίστηκε το νωπό βάρος τους (εικόνα

25). Έπειτα, τοποθετήθηκαν σε κλίβανο ξήρανσης Memmert στο εργαστήριο στους 60 °C. Μετά την ξήρανση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε μέτρηση του ξηρού βάρους (εικόνα 26) και κατόπιν υπολογισμός του ποσοστού ξηράς ουσίας.



Εικόνες 25 και 26. Μέτρηση νωπού βάρους δείγματος και αποξηραμένα δείγματα μετά την παραμονή τους στον κλίβανο (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.4.4 Συνεκτικότητα καρπών

Για την μέτρηση της σκληρότητας των καρπών χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό πενετρόμετρο (μετρητής σκληρότητας φρούτων) (Penetrometer, fruit firmness tester, TR Turoni, Italy). Για την πραγματοποίηση της μέτρησης το έμβολο του πενετρόμετρου βυθίζεται στον ισημερινό της τομάτας από την μία μεριά, κατόπιν το πενετρόμετρο μηδενίζεται και λαμβάνεται μία δεύτερη τιμή από την ακριβώς αντίθετη πλευρά (εικόνα 27).



Εικόνα 27. Ψηφιακό πενετρόμετρο (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.4.5 Μέτρηση βαθμών Brix

Για τον υπολογισμό των βαθμών Brix, αρχικά, αλέσθηκαν οι 3 πεντάδες καρπών, ξεχωριστά με οικιακό blender. Στη συνέχεια, ο πολτός κάθε πεντάδας αφού περάστηκε από σίτα τοποθετήθηκε σε ποτήρια ζέσεως. Έπειτα, από τον χυμό κάθε πεντάδας λήφθηκαν 2-3 σταγόνες ώστε να μετρηθεί η περιεκτικότητα σε σάκχαρα με την χρήση οπτικού διαθλασίμετρου ATC (εικόνα 28).



Εικόνα 28. Οπτικό διαθλασίμετρο (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.4.6 Αγωγιμότητα

Για την μέτρηση της αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε το αγωγιμόμετρο CyberScan CON 10 (εικόνα 29). Σε κάθε ποτήρι ζέσεως με χυμό τομάτας βυθίστηκε το ηλεκτρόδιο του αγωγιμόμετρου μέχρι να σταθεροποιηθεί η ένδειξη.



Εικόνα 29. Αγωγιμόμετρο CyberScan CON 10 (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.4.7 Μέτρηση pH

Στα ίδια ποτήρια ζέσεως με τον χυμό τομάτας μετρήθηκε και το pH των χυμών, κάθε φορά, με το ψηφιακό pHμετρο HANNA instruments HI 9026 (εικόνα 30).



Εικόνα 30. Ψηφιακό pHμετρο HANNA instruments HI 9026 (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.4.8 Μέτρηση οξύτητας

Για την μέτρηση της οξύτητας του χυμού τομάτας σε ένα ποτήρι ζέσεως προστέθηκαν 2 g από τον χυμό και 18 g απιονισμένου νερού. Αφού αναμείχθηκαν μεταξύ τους τοποθετήθηκε μέσα στο ποτήρι ζέσεως το ηλεκτρόδιο του pHμέτρου. Έπειτα, από μία προχοΐδα (εικόνα 31) που περιέχει διάλυμα 0,1N NaOH αφέθηκε να τρέξει σιγά σιγά το NaOH στο διάλυμα στο ποτήρι ζέσεως μέχρι η ένδειξη στο pHμετρο να δείξει 8,1. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε πόσο NaOH χρησιμοποιήθηκε από την προχοΐδα. Για τον τελικό υπολογισμό της έκφρασης οξύτητας χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$A = V \cdot N \cdot G / 10 \cdot v$$

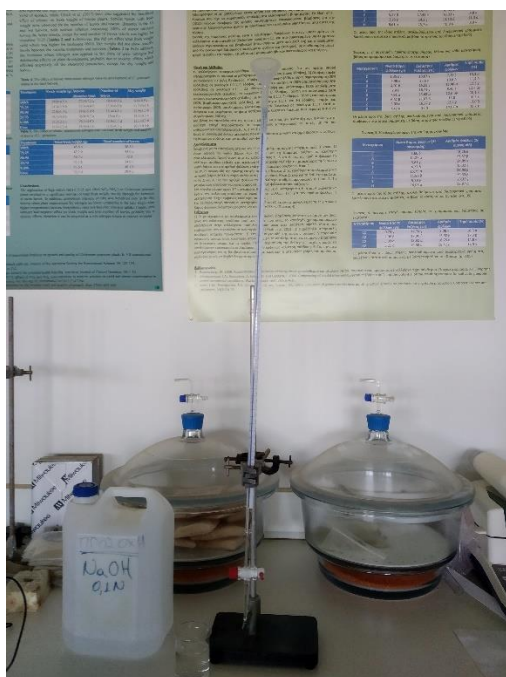
Όπου A: η οξύτητα του δείγματος εκφρασμένη σε g οξέως/ 100 mL δείγματος

V: τα ml NaOH που καταναλώθηκαν

N: η κανονικότητα του διαλύματος (0,1 N)

G: το γραμμοϊσοδύναμο οξέος ως προς το οποίο γίνεται η έκφραση σε g (64)

v: ο όγκος του δείγματος σε mL



Εικόνα 31. Το διάλυμα NaOH 0,1 N και η προχοΐδα (προσωπικό αρχείο, 2022)

2.5 Στατιστική ανάλυση

Για τα αποτελέσματα του πειράματος πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν και ομαδοποίηση σε διαγράμματα, ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους και ακολούθως να εξαχθούν συμπεράσματα. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο Stagraphics 5.1.

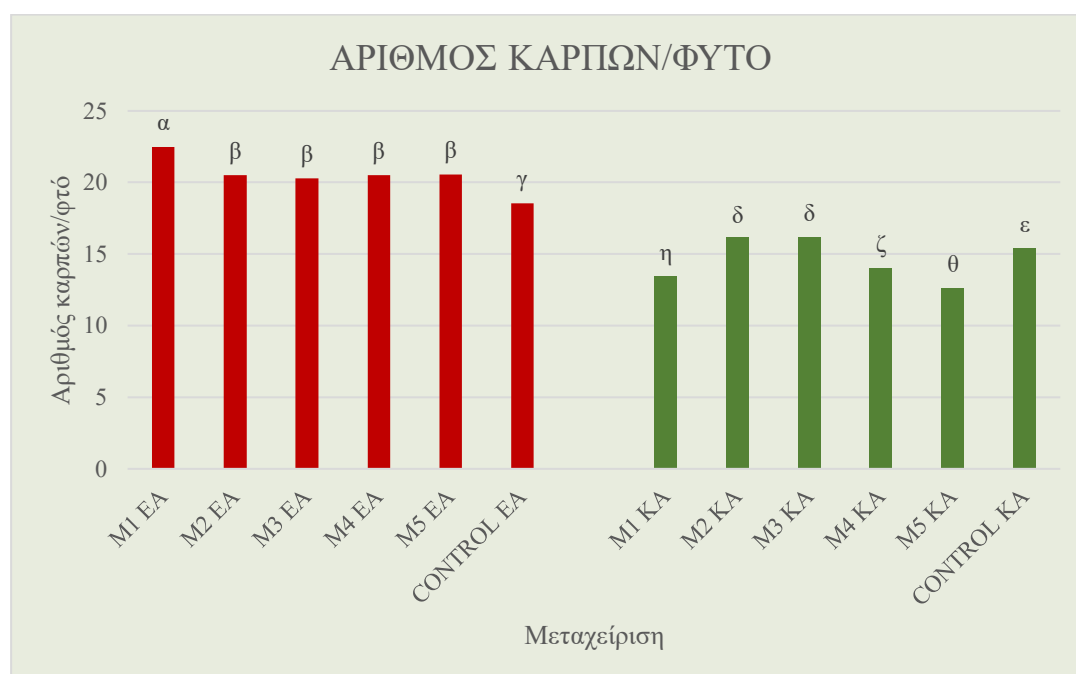
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μέσος όρος αριθμού καρπών τομάτας ανά φυτό

Κατά την διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου πραγματοποιήθηκαν 7 συγκομιδές καρπών. Από την μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε, αρχικά, ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ ελλειμματικής και κανονικής άρδευσης καθώς η εφαρμογή βιοδιεγερτών στα φυτά της ελλειμματικής άρδευσης είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερου αριθμού καρπών/φυτό απ' ότι στα φυτά με κανονική άρδευση (Διάγραμμα 1).

Πιο συγκεκριμένα, στην ελλειμματική άρδευση παρατηρείται ότι μεταξύ των βιοδιεγερτών και του control υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά, καθώς στο control σημειώνεται ο μικρότερος αριθμός καρπών. Οι βιοδιεγέρτες M2, M3, M4, M5 δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά. Μόνο ο βιοδιεγέρτης M1 διαφέρει στατιστικά από τους υπόλοιπους καθώς έδωσε κατά μέσο όρο τον μεγαλύτερο αριθμό καρπών/φυτό.

Στα φυτά που εφαρμόστηκε κανονική άρδευση παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων, εκτός από τους βιοδιεγέρτες M2 και M3 που δεν διέφεραν.



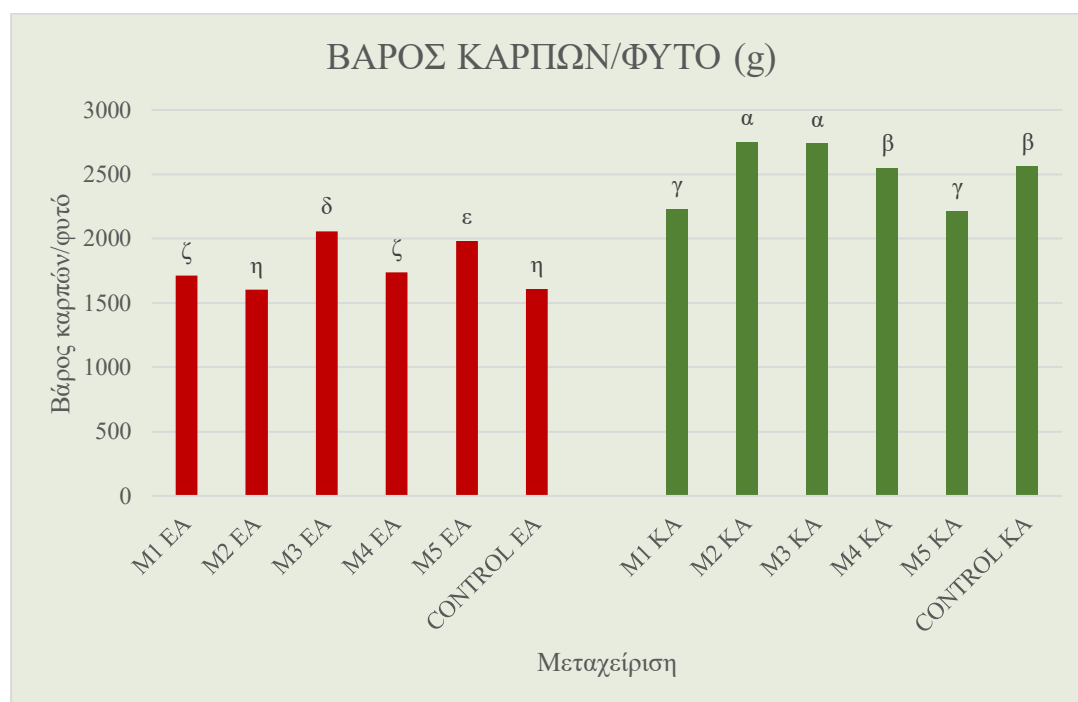
Διάγραμμα 1. Μέσος όρος αριθμού καρπών τομάτας ανά φυτό

3.2 Μέσος όρος βάρους καρπών τομάτας ανά φυτό

Σε ό,τι αφορά το μέσο βάρος καρπών τομάτας ανά φυτό, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ ελλειμματικής και κανονικής άρδευσης, καθώς η εφαρμογή βιοδιεγερτών στα φυτά με κανονική άρδευση έδωσε καρπούς με μεγαλύτερο βάρος κατά μέσο όρο απ' ό,τι στα φυτά με ελλειμματική άρδευση (Διάγραμμα 2).

Στην ελλειμματική άρδευση διαπιστώθηκαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, ωστόσο, οι βιοδιεγέρτες M1 και M4 δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ ο βιοδιεγέρτης M2 δεν έδωσε στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με το control. Ο βιοδιεγέρτης M3 έδωσε το μεγαλύτερο, κατά μέσο όρο, βάρος καρπών.

Στα φυτά με κανονική άρδευση παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Οι βιοδιεγέρτες M2 και M3 δεν διαφέρουν μεταξύ τους και έδωσαν το μεγαλύτερο βάρος καρπών. Ο βιοδιεγέρτης M4 δεν διαφέρει από το control, ενώ οι βιοδιεγέρτες M1 και M5, που έδωσαν το μικρότερο βάρος καρπών, δεν έχουν μεταξύ τους, επίσης, στατιστικά σημαντική διαφορά.



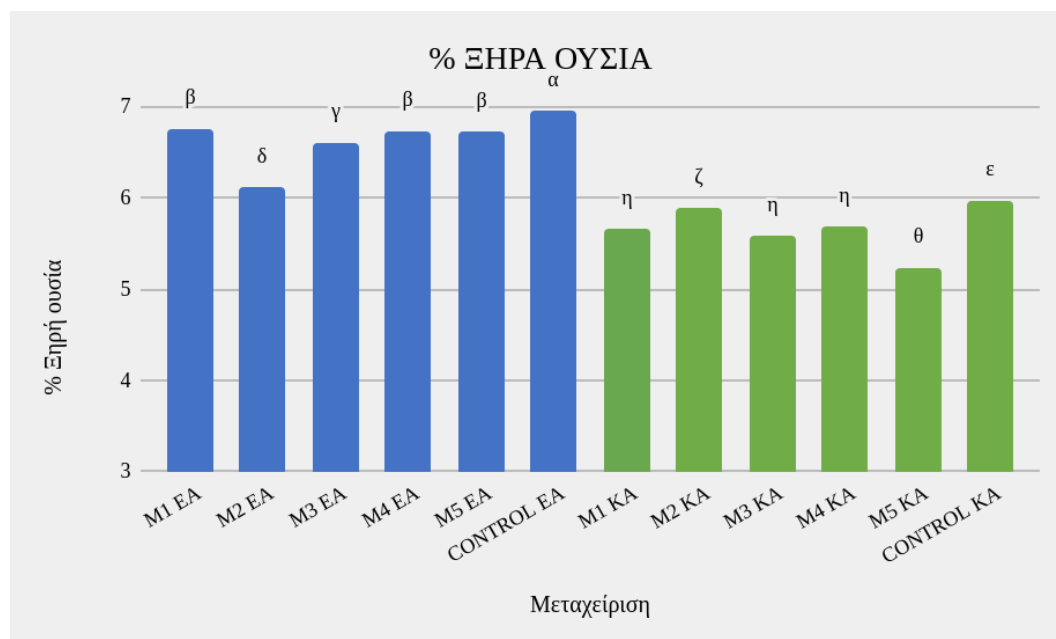
Διάγραμμα 2. Μέσο βάρος καρπών τομάτας ανά φυτό

3.3 Ποσοστό ξηράς ουσίας (%)

Αρχικά, διαπιστώνονται στατιστικές διαφορές στα ποσοστά ξηράς ουσίας μεταξύ των μεταχειρίσεων ελλειμματικής και κανονικής άρδευσης. Ωστόσο, ως κοινός παρονομαστής όλων των μεταχειρίσεων φαίνεται ότι το Control διαφέρει στατιστικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, συγκεντρώνοντας τα μεγαλύτερα ποσοστά ξηράς ουσίας (Διάγραμμα 3).

Πιο συγκεκριμένα, στην ελλειμματική άρδευση παρατηρούνται στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Το control έδωσε το μεγαλύτερο ποσοστό ξηράς ουσίας και διαφέρει στατιστικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Οι βιοδιεγέρτες M1, M4 και M5 δεν διαφέρουν μεταξύ τους ενώ ο βιοδιεγέρτης M2 έδωσε το μικρότερο ποσοστό ξηράς ουσίας.

Στην κανονική άρδευση υπάρχουν, επίσης, διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, εκτός από τους βιοδιεγέρτες M1, M3 και M4, που δεν διαφέρουν σημαντικά. Ο βιοδιεγέρτης M5 έδωσε το μικρότερο ποσοστό ξηράς ουσίας. Και σε αυτή την περίπτωση, της κανονικής άρδευσης, το control έδωσε το μεγαλύτερο ποσοστό ξηράς ουσίας μεταξύ των μεταχειρίσεων.

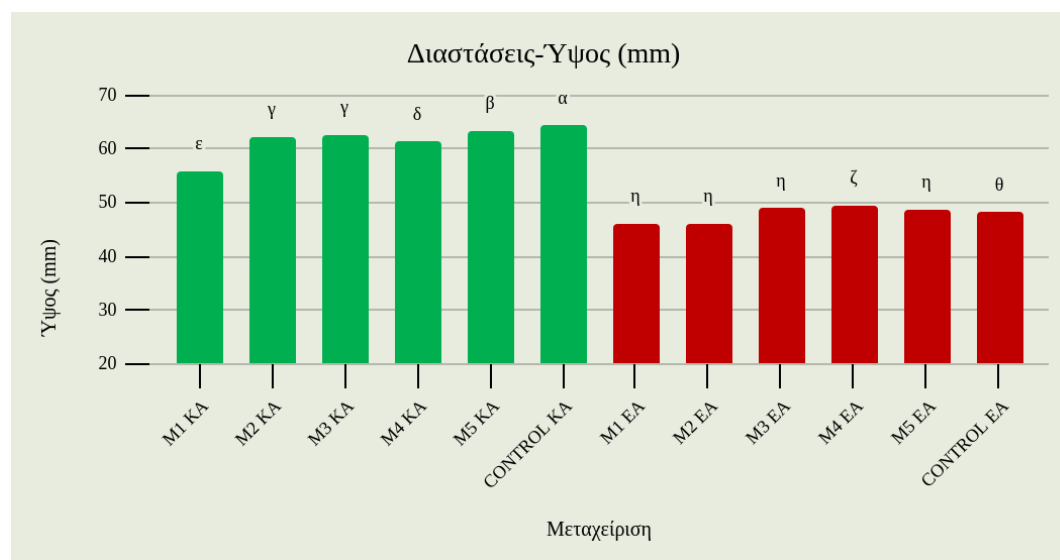


Διάγραμμα 3. Ποσοστό % ξηράς ουσίας

3.4 Διαστάσεις καρπών τομάτας

Κατά την ανάλυση των διαστάσεων των καρπών τομάτας παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Διάγραμμα 4 και 5).

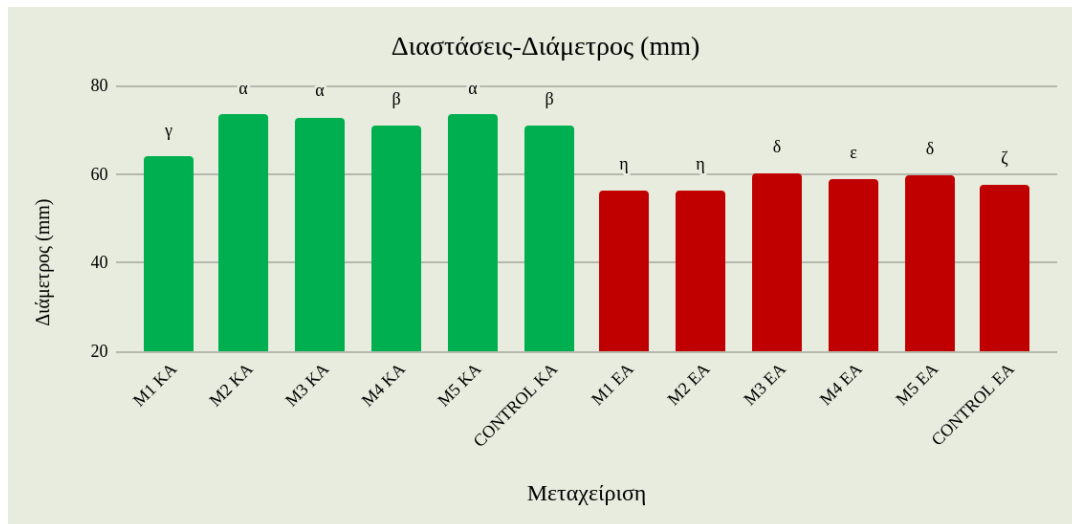
Πιο συγκεκριμένα το ύψος των καρπών είναι μεγαλύτερο στα φυτά τομάτας που εφαρμόστηκε κανονικά άρδευση. Μεταξύ, όμως και αυτών των μεταχειρίσεων υπάρχουν στατιστικές διαφορές καθώς ο βιοδιεγέρτης M1 έδωσε το μικρότερο ύψος καρπού ενώ το control το μεγαλύτερο. Στην ελλειμματική άρδευση οι βιοδιεγέρτες M1, M2, M3 και M5 δεν διέφεραν μεταξύ τους (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4. Ύψος σε mm καρπών τομάτας.

Όσον αφορά τη διάμετρο των καρπών υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων κανονικής-ελλειμματικής άρδευσης. Η διάμετρος των καρπών στην κανονική άρδευση είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι αυτών στην ελλειμματική. Στην κανονική άρδευση οι βιοδιεγέρτες M2, M3 και M5 δεν διέφεραν μεταξύ τους και έδωσαν τη μεγαλύτερη διάμετρο. Ο βιοδιεγέρτης M4 δεν διέφερε από το control, ενώ ο βιοδιεγέρτης M1 έδωσε τη μικρότερη διάμετρο καρπού.

Μεταξύ των καρπών των φυτών που εφαρμόστηκε ελλειμματική άρδευση, μεγαλύτερη διάμετρο έδωσαν οι βιοδιεγέρτες M3 και M5, χωρίς να διαφέρουν στατιστικά. Σημαντική διαφορά δεν υπάρχει, επίσης, και μεταξύ των βιοδιεγερτών M1 και M2, που έδωσαν τη μικρότερη διάμετρο (Διάγραμμα 5).



Διάγραμμα 5. Διάμετρος σε mm καρπών τομάτας

Γενικά, διαπιστώνεται ότι οι διαστάσεις-μέγεθος των καρπών τομάτας (ύψος και διάμετρος) ήταν μεγαλύτερες στα φυτά που εφαρμόστηκαν βιοδιεγέρτες συνδυαστικά με κανονική άρδευση. Επίσης, τις μικρότερες διαστάσεις καρπών είτε με κανονική είτε με ελλειμματική άρδευση έδωσε ο βιοδιεγέρτης M1.

3.5 Χρώμα καρπών τομάτας

Η ανάλυση του χρώματος των καρπών έγινε σε τρεις παραμέτρους, L, a και b.

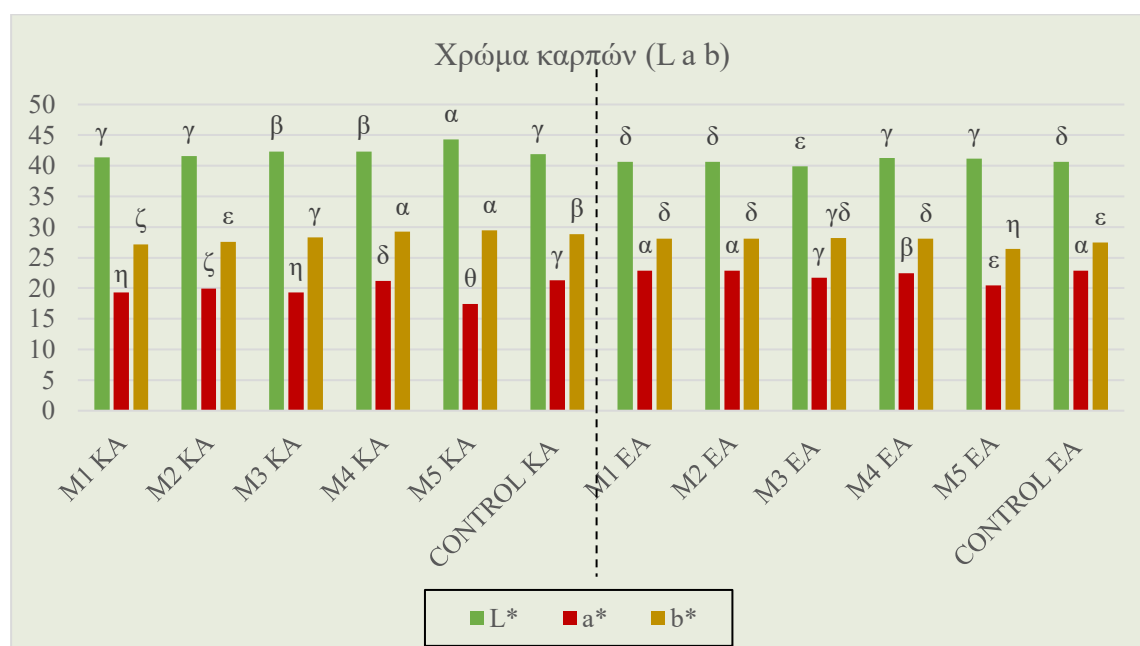
Για την παράμετρο L, που αναφέρεται στην φωτεινότητα του χρώματος των καρπών γενικά, υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων, ενώ παρατηρείται ότι οι χαμηλές τιμές της κανονικής άρδευσης προσεγγίζουν τις ψηλές τιμές της ελλειμματικής (Διάγραμμα 6). Στην κανονική άρδευση υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του βιοδιεγέρτη M5, που έδωσε και τη μεγαλύτερη τιμή, των βιοδιεγερτών M3 και M4, που δεν διέφεραν μεταξύ τους, και των βιοδιεγερτών M1, M2 και του Control, που είχαν τη χαμηλότερη τιμή.

Στην ελλειμματική άρδευση οι βιοδιεγέρτες M1, M2 και Control δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Έχουν όμως στατιστικά σημαντική διαφορά με τους M4, M5 που έδωσαν τις μεγαλύτερες τιμές στην ελλειμματική άρδευση και με το βιοδιεγέρτη M3 που έχει τη χαμηλότερη τιμή. Και στις δύο περιπτώσεις άρδευσης ο βιοδιεγέρτης M5 έδωσε τη μεγαλύτερη τιμή (Διάγραμμα 6).

Για την παράμετρο *a*, που αναφέρεται στο κόκκινο χρώμα, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων, ενώ παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές στα φυτά που εφαρμόστηκαν βιοδιεγέρτες με ελλειμματική άρδευση σε σχέση με τα φυτά με κανονική άρδευση (Διάγραμμα 6). Στην κανονική άρδευση οι βιοδιεγέρτες M1 και M3 δεν διαφέρουν μεταξύ τους, υπάρχει όμως στατιστική διαφορά ανάμεσα στους υπόλοιπους βιοδιεγέρτες.

Στην ελλειμματική άρδευση οι βιοδιεγέρτες M1, M2 και το Control, που έδωσαν τις μεγαλύτερες τιμές, δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Στατιστικά σημαντική διαφορά υπάρχει μεταξύ των M3, M4 και M5. Ο βιοδιεγέρτης M5 έδωσε τη μικρότερη τιμή.

Όσον αφορά την παράμετρο *b*, που αναφέρεται στο κίτρινο χρώμα, στην κανονική άρδευση οι βιοδιεγέρτες M4 και M5 έδωσαν τις μεγαλύτερες τιμές και δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους. Ο βιοδιεγέρτης M1 έδωσε τη μικρότερη τιμή. Στην ελλειμματική άρδευση δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των βιοδιεγερτών M1, M2, M3 και M4. Ο βιοδιεγέρτης M5 έδωσε εδώ τη μικρότερη τιμή (Διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 6. Χρώμα καρπών τομάτας

3.6 Συνεκτικότητα καρπών τομάτας

Η ανάλυση των δεδομένων για την συνεκτικότητα των καρπών έδειξε σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στην κανονική άρδευση ο βιοδιεγέρτης M5 έδωσε πιο συνεκτικούς καρπούς και ακολουθεί το Control (Διαγρ 7). Στις υπόλοιπες τέσσερις μεταχειρίσεις (M1, M2, M3, M4), παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές και γενικότερα μικρότερος βαθμός συνεκτικότητας των καρπών.

Στην ελλειμματική άρδευση, οι βιοδιεγέρτες M1 και M2 έδωσαν μεγαλύτερη συνεκτικότητα, ενώ το Control τη μικρότερη. Μεταξύ των μεταχειρίσεων παρατηρούνται στατιστικές διαφορές.

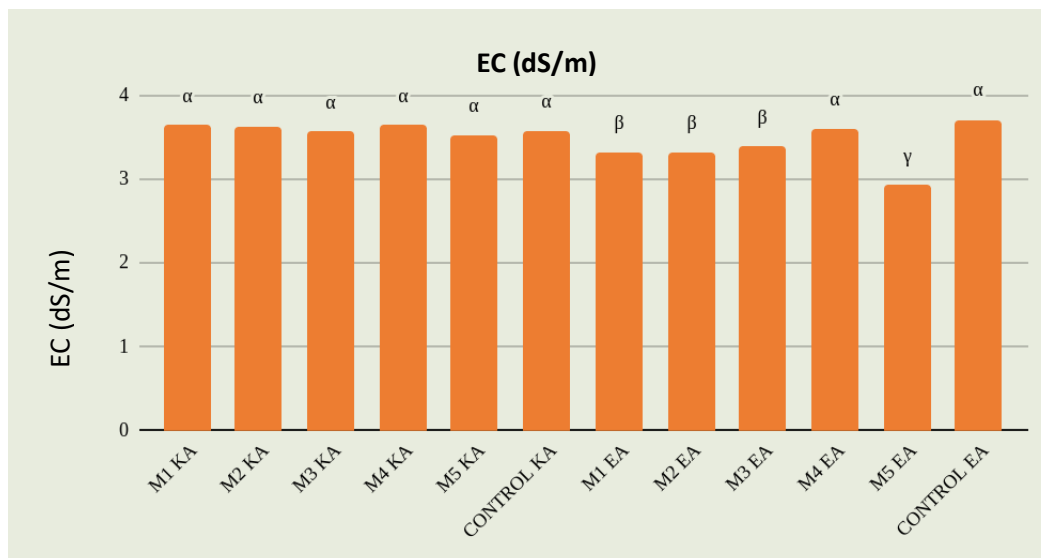
Γενικά, οι καρποί των φυτών στα οποία εφαρμόστηκε ελλειμματική άρδευση σε συνδυασμό με προσθήκη βιοδιεγερτών παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνεκτικότητα, κατά μέσο όρο, από τους καρπούς των φυτών με κανονική άρδευση (Διάγραμμα 7).



Διάγραμμα 7. Συνεκτικότητα καρπών τομάτας

3.7 Ηλεκτρική αγωγιμότητα χυμού τομάτας

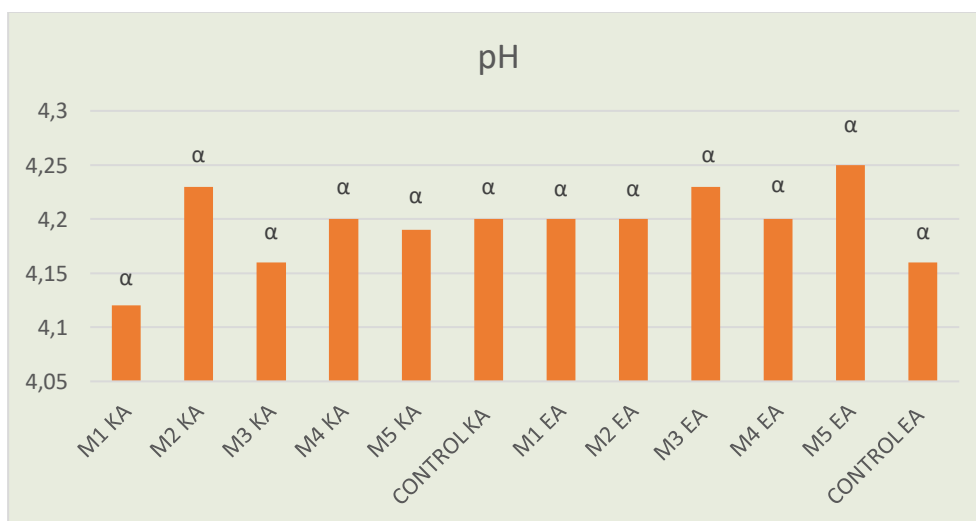
Κατά τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του χυμού τομάτας δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στα φυτά με κανονική άρδευση δεν παρατηρούνται διαφορές ενώ στην ελλειμματική άρδευση ο βιοδιεγέρτης M4 και το Control διαφέρουν στατιστικά από τους βιοδιεγέρτες M1, M2 και M3. Ο βιοδιεγέρτης M5 έδωσε τη μικρότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Διάγραμμα 8).



Διάγραμμα 8. Ηλεκτρική αγωγιμότητα χυμού τομάτας (mS/cm)

3.8 pH χυμού τομάτας

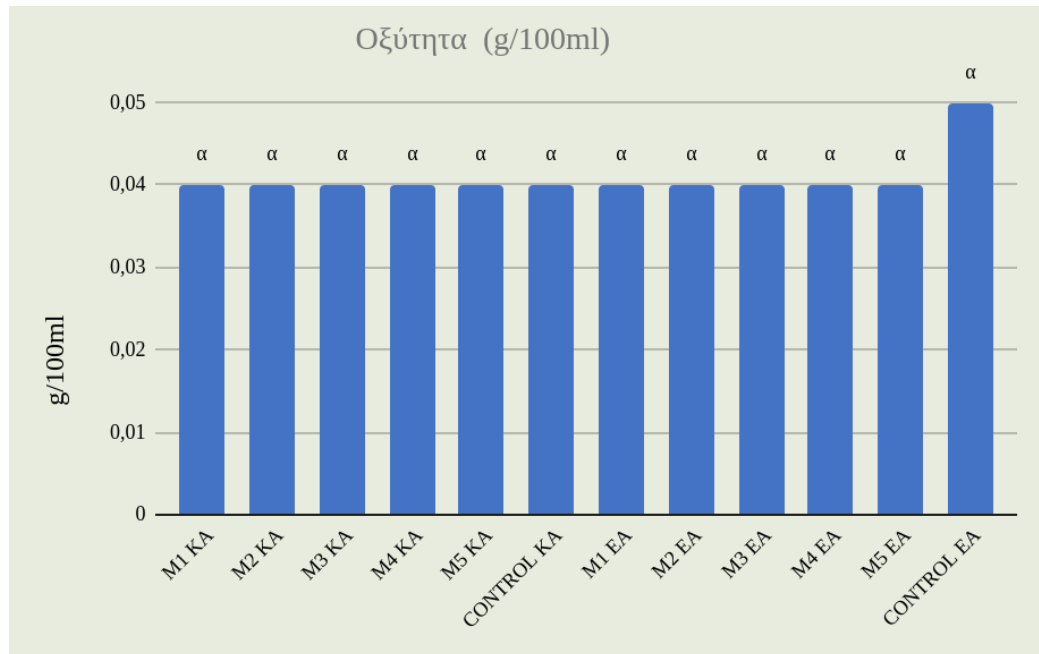
Κατά την ανάλυση των μετρήσεων του pH του χυμού τομάτας δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Διάγραμμα 9).



Διάγραμμα 9. pH χυμού τομάτας

3.9 Οξύτητα χυμού τομάτας

Κατά την ανάλυση των μετρήσεων της οξύτητας του χυμού τομάτας δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Διάγραμμα 10).



Διάγραμμα 10. Οξύτητα χυμού τομάτας

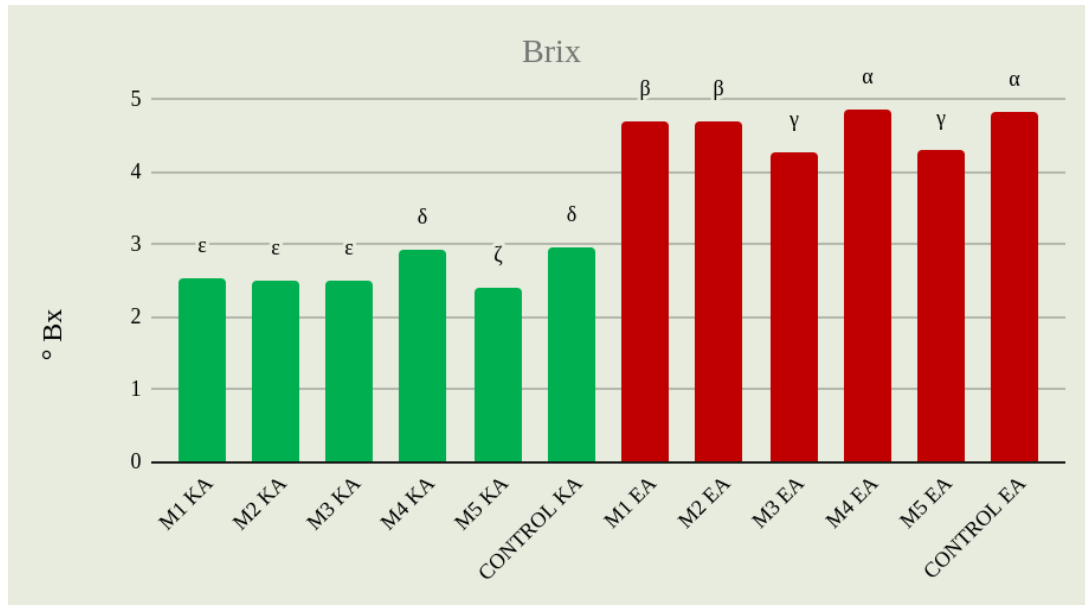
3.10 Βαθμοί Brix χυμού τομάτας

Η ανάλυση των μετρήσεων των βαθμών Brix έδειξε σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Αρχικά, διαπιστώνεται ότι ο χυμός τομάτας των καρπών από την ελλειμματική άρδευση είχε περισσότερους βαθμούς Brix από το χυμό των καρπών με κανονική άρδευση (Διαγρ 11).

Πιο συγκεκριμένα, στην κανονική άρδευση δεν παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των βιοδιεγερτών M1, M2, M3 και μεταξύ των βιοδιεγερτών M4 και Control. Ο βιοδιεγέρτης M5 έδωσε το μικρότερο βαθμό Brix.

Στην ελλειμματική άρδευση ο βιοδιεγέρτης M4 έδωσε τη μεγαλύτερη τιμή Brix, χωρίς όμως να διαφέρει στατιστικά από το Control. Ακολουθούν οι βιοδιεγέρτες M1 και M2, χωρίς να διαφέρουν μεταξύ τους και τέλος οι βιοδιεγέρτες M3 και M5. Παρατηρείται

ότι τόσο στην κανονική όσο και στην ελλειμματική άρδευση ο βιοδιεγέρτης M5 έδωσε τις χαμηλότερες τιμές Brix (Διαγρ. 11).



Διάγραμμα 11. Βαθμοί Brix χυμού τομάτας

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην πειραματική καλλιέργεια τομάτας θερμοκηπίου, που πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του πανεπιστημίου, η εφαρμογή βιοδιεγερτών οδήγησε σε αυξημένη παραγωγή, αύξηση δηλαδή τόσο του αριθμού των καρπών τομάτας ανά φυτό όσο και του βάρους των καρπών. Αντίστοιχα, αυξημένες ήταν και οι διαστάσεις των παραγόμενων καρπών (ύψος, διάμετρος), αποτέλεσμα που επιβεβαιώνεται και από άλλες μελέτες (Suchithra et al., 2022). Ιδιαίτερα ωφέλιμη για την παραγωγή φαίνεται να είναι η επίδραση της χρήσης των βιοδιεγερτών όταν το φυτό αντιμετωπίζει συνθήκες υδατικής καταπόνησης αφού σε διαφορετική περίπτωση είναι μικρότερη, όπως φαίνεται από την σύγκριση των μεταχειρίσεων βιοδιεγερτών – Control. Παρόμοια πειράματα έχουν γίνει ώστε να διαπιστωθεί η δυνατότητα παραγωγής και η αντοχή των φυτών τομάτας, αλλά και άλλων καλλιεργούμενων λαχανικών, σε συνθήκες ξηρασίας, κατόπιν εφαρμογής σκευασμάτων βιοδιεγερτών (Younes et al., 2023). Σε πειραματική καλλιέργεια τομάτας από τους Goñi et al. (2018) παρατηρήθηκε ότι η εφαρμογή του είδους *Ascophyllum nodosum* αύξησε την αντοχή των φυτών στην ξηρασία, ενώ τα αποτελέσματα του πειράματος των Wang et al. (2022) έδειξαν ότι ουσίες ζωικής προέλευσης (υδολυμένη πρωτεΐνη από αίμα χοίρου) οδηγούν σε αύξηση της χλωροφύλλης στα φυτά, της περιεκτικότητας των σακχάρων των καρπών αλλά και των ανόργανων ιόντων.

Σε ανάλογες πειραματικές καλλιέργειες, που μελετήθηκε η επίδραση της εφαρμογής βιοδιεγερτών, παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής, του βάρους των παραγόμενων καρπών (Gitau et al., 2022) αλλά και των επιπέδων των ωφέλιμων συστατικών της τομάτας (φυτοένιο, καροτενοειδή, λυκοπένιο, βιταμίνη E) (Distefano et al., 2022). Επιπλέον, μελετάται η χρήση των βιοδιεγερτών, παραγόμενων από μικροφύκη, ακόμη και ως βιολογικό λίπασμα αφού έχει παρατηρηθεί βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους σε καλλιέργεια τομάτας, έπειτα από εφαρμογή αντίστοιχων βιοδιεγερτών (Suchithra et al., 2022).

Τα ποσοστά ξηράς ουσίας δεν φαίνεται να επηρεάζονται ιδιαίτερα, με την εφαρμογή βιοδιεγερτών αφού το Control έδωσε περισσότερη ξηρά ουσία. Ωστόσο, διαφορετικής σύστασης βιοδιεγέρτες δοκιμάζονται με διαφορετικά αποτελέσματα. Βιοδιεγέρτες παραγόμενοι από παραπροϊόντα της τροφικής επεξεργασίας αύξησαν τα ποσοστά ξηράς ουσίας σε βιολογική καλλιέργεια τομάτας (Abou Chehade et al., 2018), όπως

συνέβη και σε άλλες περιπτώσεις εφαρμογής βιοδιεγερτών (Turan et al., 2021, Cozzolino et al., 2021, Bertoldo et al., 2023).

Αντίστοιχα και στο χρωματισμό των καρπών τομάτας, παρόλο που σε ορισμένες μεταχειρίσεις της κανονικής άρδευσης που εφαρμόστηκαν βιοδιεγέρτες, τα χρωματικά χαρακτηριστικά των καρπών είναι βελτιωμένα δεν παύουν να είναι τελικά στα ίδια περίπου επίπεδα με το Control. Το ίδιο συμβαίνει και στα φυτά με ελλειμματική άρδευση (συνθήκες υδατικής καταπόνησης). Η μείωση της έντασης του κόκκινου και κίτρινου χρωματισμού των καρπών σε σχέση με το Control, μετά από εφαρμογή βιοδιεγερτών, παρατηρήθηκε και σε πειραματική καλλιέργεια που πραγματοποιήθηκε από τους Tallarita et al. (2021). Αντίθετα, διαπιστώνεται ότι η φωτεινότητα του χρώματος των καρπών είναι μεγαλύτερη όταν εφαρμόστηκαν βιοδιεγέρτες, όπως αναφέρεται και από τους Caruso et al. (2019). Σε κάθε περίπτωση, το χρώμα των ώριμων καρπών της τομάτας επηρεάζεται σημαντικά από το γενότυπο της ποικιλίας που επιλέγεται κάθε φορά για καλλιέργεια (Sidhu et al., 2017).

Η συνεκτικότητα των καρπών φαίνεται να επηρεάζεται διαφορετικά από την προσθήκη βιοδιεγερτών, ανάλογα με το αν εφαρμόζεται στην καλλιέργεια κανονική ή ελλειμματική άρδευση. Πιο συγκεκριμένα, στην κανονική άρδευση η εφαρμογή βιοδιεγερτών οδήγησε σε μειωμένη συνεκτικότητα σε σύγκριση με το Control. Ανάλογα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και από την έρευνα των Chrysargyris et al. (2020). Σημαντικό είναι εδώ να τονιστεί ότι η μειωμένη συνεκτικότητα των καρπών αυξάνει τον ρυθμό γήρανσής τους και επομένως μειώνει το χρόνο αποθήκευσης.

Αντίθετα, στην ελλειμματική άρδευση η προσθήκη βιοδιεγερτών οδήγησε σε πιο συνεκτικούς καρπούς σε σχέση με το Control. Το ίδιο αποτέλεσμα προέκυψε από την έρευνα των Tallarita et al. (2021).

Από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της εργασίας διαπιστώνεται, επίσης, ότι το pH και η οξύτητα του χυμού της τομάτας δεν επηρεάζονται σημαντικά από την ποσότητα της άρδευσης αλλά ούτε και από την εφαρμογή των βιοδιεγερτών. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνεται και από τους Kalouzoumis et al. (2021). Σε μερικές, μάλιστα, περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί μείωση της οξύτητας όταν εφαρμόζονται βιοδιεγέρτες (Chrysargyris et al., 2020, Subramaniyan et al., 2023).

Επιπλέον, η προσθήκη βιοδιεγερτών δεν επηρέασε την ηλεκτρική αγωγιμότητα του χυμού της τομάτας, όταν εφαρμόστηκε κανονική άρδευση. Στην ελλειμματική όμως

άρδευση, παρατηρήθηκε μια διαφοροποίηση καθώς οι βιοδιεγέρτες μείωσαν την αγωγιμότητα σε σχέση με το Control.

Η περιεκτικότητα του χυμού τομάτας σε διαλυτά στερεά μετρήθηκε σε βαθμούς Brix ($^{\circ}\text{Bx}$). Στα φυτά με κανονική άρδευση μεταξύ των μεταχειρίσεων παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη βιοδιεγερτών μείωσε τους βαθμούς Brix σε σύγκριση με το Control. Επιπλέον, η περιεκτικότητα των καρπών σε διαλυτά στερεά ήταν σε χαμηλότερα επίπεδα από τους καρπούς των φυτών με ελλειμματική άρδευση. Οι μειωμένες αυτές τιμές εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, πολλές φορές όμως μπορεί να είναι και αποτέλεσμα της άρδευσης (Beckles, 2012). Από την άλλη στην ελλειμματική άρδευση η εφαρμογή βιοδιεγερτών οδήγησε γενικά σε αύξηση της περιεκτικότητας σε διαλυτά στερεά, πάλι όμως σε επίπεδα ανάλογα με το Control. Αντίστοιχα αποτελέσματα έδωσαν και άλλες ερευνητικές εργασίες (Chrysargyris et al., 2020, Mzibra et al., 2021, Liava et al., 2023, Melini et al., 2023).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή βιοδιεγερτών στις καλλιέργειες είναι μία νέα καινοτόμα γεωργική πρακτική που υπόσχεται να δώσει λύση στο ζήτημα της παραγωγής τροφής υπό συνθήκες βιοτικών ή αβιοτικών καταπονήσεων. Έτσι, από τη μία η αναζήτηση νέων βιώσιμων πρακτικών εξαιτίας της υπερβολικής χρήσης χημικών λιπασμάτων, με την συνακόλουθη επιβάρυνση του εδάφους αλλά και της υγείας των ανθρώπων (Suchithra et al., 2022), και από την άλλη η κλιματική αλλαγή, με την αυξανόμενη ξηρασία και επομένως την υδατική καταπόνηση των φυτών και τη μειωμένη παραγωγή, οδηγούν στη συστηματική διερεύνηση και εφαρμογή των βιοδιεγερτών ως μία απάντηση με πολλαπλά οφέλη στα παραπάνω θέματα.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων επιβεβαίωσε την αύξηση της παραγωγής, αλλά και τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των παραγόμενων καρπών, ειδικά σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, μετά από την εφαρμογή των βιοδιεγερτών. Ιδιαίτερα τα σκευάσματα M2 και M3 που περιείχαν οξείδιο του ασβεστίου και διοξείδιο του πυριτίου με δοσολογία 0,850 και 0,425 L/στρ., αντίστοιχα οδήγησαν σε αύξηση τόσο του αριθμού όσο και του βάρους των καρπών τομάτας. Επιπλέον, η εφαρμογή των φυκών του είδους *Ascophyllum nodosum* οδήγησε σε μεγαλύτερους και πιο συνεκτικούς καρπούς.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσης πειραματικής διαδικασίας έδειξαν ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών έχει θετική επίδραση στην καλλιέργεια τομάτας υπό κάλυψη, τόσο σε κανονικές συνθήκες άρδευσης όσο και όταν εφαρμόζεται ελλειμματική άρδευση. Ιδιαίτερα η δεύτερη περίπτωση, είναι και το ζητούμενο αφού η ελλειμματική άρδευση προσομοιάζει τις πιθανές γεωργικές πρακτικές, που θα κληθούν να ακολουθήσουν οι αγρότες, υπό το πρίσμα της κλιματικής κρίσης.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Abou Chehade, L., Al Chami, Z., de Pascali, S. A., Cavoški, I., & Fanizzi, F. P. (2018). Biostimulants from food processing by-products: agronomic, quality and metabolic impacts on organic tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture, 98(4), 1426–1436. <https://doi.org/10.1002/JSFA.8610>
2. Beckles, D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. Postharvest Biology and Technology, 63(1), 129–140. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2011.05.016>
3. Bertoldo, G., Lucia, M. C. della, Baghdadi, A., Mangione, F., Cagnin, M., Chiodi, C., Concheri, G., Stevanato, P., & Nardi, S. (2023). Molecular and ionic responses of *Solanum lycopersicum* L. (cv. Micro-Tom) plants treated with a novel calcium-based plant biostimulant. Plant Gene, 34, 100408. <https://doi.org/10.1016/J.PLGENE.2023.100408>
4. Caruso, G., de Pascale, S., Cozzolino, E., Cuciniello, A., Cenvinzo, V., Bonini, P., Colla, G., & Rouphael, Y. (2019). Yield and Nutritional Quality of Vesuvian Piennolo Tomato PDO as Affected by Farming System and Biostimulant Application. Agronomy, 9(9), 505. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090505>
5. Chrysargyris, A., Charalambous, S., Xylia, P., Litskas, V., Stavrinides, M., & Tzortzakis, N. (2020). Assessing the Biostimulant Effects of a Novel Plant-Based Formulation on Tomato Crop. Sustainability 2020, Vol. 12, Page 8432, 12(20), 8432. <https://doi.org/10.3390/SU12208432>
6. Colla, G., & Rouphael, Y. (2015). Biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196, 1–2. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2015.10.044>
7. Costa, J.M., Ortuño, M.F. and Chaves, M.M. (2007). Deficit Irrigation as a Strategy to Save Water: Physiology and Potential Application to Horticulture. Journal of Integrative Plant Biology, Vol. 49, Page 1421-1434(10). <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00556.x>

8. Coyago-Cruz, E., Melendez-Martínez, A.J., Moriana, A., Giron, I.F., Martín-Palomo, M.J., Galindo, A., Lopez-Perez, D., Torrecillas, A., Beltran-Sinchiguano, E., Corell, M., 2019. Yield response to regulated deficit irrigation of greenhouse cherry tomatoes. *Agric. Water Manag.* 213, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.020>
9. Cozzolino, E., di Mola, I., Ottaiano, L., El-Nakhel, C., Roupahel, Y., & Mori, M. (2021). Foliar application of plant-based biostimulants improve yield and upgrade qualitative characteristics of processing tomato. *Italian Journal of Agronomy*, 16(2). <https://doi.org/10.4081/IJA.2021.1825>
10. Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 371–393. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
11. del Buono, D. (2021). Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. *Science of The Total Environment*, 751, 141763. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141763>
12. Distefano, M., Steingass, C. B., Leonardi, C., Giuffrida, F., Schweiggert, R., & Mauro, R. P. (2022). Effects of a plant-derived biostimulant application on quality and functional traits of greenhouse cherry tomato cultivars. *Food Research International*, 157, 111218. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111218>
13. du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2015.09.021>
14. Fereres, E., Soriano, MA. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use, *Journal of Experimental Botany*, Volume 58, Issue 2, Pages 147–159, <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
15. Fernandes, Â., Chaski, C., Pereira, C., Kostić, M., Roupahel, Y., Soković, M., Barros, L., & Petropoulos, S. A. (2022). Water Stress Alleviation Effects of Biostimulants on Greenhouse-Grown Tomato Fruit. *Horticulturae* 2022, Vol. 8, Page 645, 8(7), 645. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE8070645>
16. Galindo, A., Collado-Gonzalez, J., Grinan, I., Corell, M., Centeno, A., Martín-Palomo, M. J., Perez-Lopez, D., 2018. Deficit irrigation and emerging fruit

- crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. *Agric. Water Manag.* 202, 311–324. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.015>
17. Gitau, M. M., Farkas, A., Ördög, V., & Maróti, G. (2022). Evaluation of the biostimulant effects of two Chlorophyta microalgae on tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Cleaner Production*, 364, 132689. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132689>
 18. Goñi, O., Quille, P., & O'Connell, S. (2018). *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 63–73. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2018.02.024>
 19. Hao, S., Cao, H., Wang, H., & Pan, X. (2019). The physiological responses of tomato to water stress and re-water in different growth periods. *Scientia Horticulturae*, 249, 143–154. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.01.045>
 20. Iqbal, R., Raza, M.A.S., Toleikiene, M., Ayaz, M., Hashemi, F., M Habib-ur-Rahman, Zaheer, MS., Ahmad, S., Riaz, U., Ali, M., Aslam, MU., Haider, I (2020) Partial root-zone drying (PRD), its effects and agricultural significance: a review. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 159. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00413-w>
 21. Kalozoumis, P., Vourdas, C., Ntatsi, G., & Savvas, D. (2021). Can biostimulants increase resilience of hydroponically-grown tomato to combined water and nutrient stress? *Horticulturae*, 7(9), 297. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090297>
 22. Khapte, P. S., Kumar, P., Burman, U., & Kumar, P. (2019). Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. *Scientia Horticulturae*, 248, 256–264. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.01.006>
 23. Liava, V., Chaski, C., Añibarro-Ortega, M., Pereira, A., Pinela, J., Barros, L., & Petropoulos, S. A. (2023). The Effect of Biostimulants on Fruit Quality of Processing Tomato Grown under Deficit Irrigation. *Horticulturae* 2023, Vol. 9, Page 1184, 9(11), 1184. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE9111184>
 24. Mathobo, R., Marais, D., & Steyn, J. M. (2017). The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural Water Management*, 180, 118–125. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2016.11.005>

25. Medyouni, I., Zouaoui, R., Rubio, E., Serino, S., Ahmed, H. ben, & Bertin, N. (2021). Effects of water deficit on leaves and fruit quality during the development period in tomato plant. *Food Science & Nutrition*, 9(4), 1949–1960. <https://doi.org/10.1002/FSN3.2160>
26. Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., Abou Jaoudé, R., Ficca, A. G., & Ruzzi, M. (2023). Effect of microbial plant biostimulants on fruit and vegetable quality: current research lines and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1251544. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2023.1251544/BIBTEX>
27. Munitz, S., Netzer, Y., and Schwartz, A. (2017). Sustained and regulated deficit irrigation of field-grown Merlot grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23: 87–94. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12241>
28. Mzibra, A., Aasfar, A., Khouloud, M., Farrie, Y., Boulif, R., Kadmiri, I. M., Bamouh, A., & Douira, A. (2021). Improving Growth, Yield, and Quality of Tomato Plants (*Solanum lycopersicum L*) by the Application of Moroccan Seaweed-Based Biostimulants under Greenhouse Conditions. *Agronomy* 2021, Vol. 11, Page 1373, 11(7), 1373. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11071373>
29. Pék, Z., Szuvandzsiev, P., Daood, H., Neményi, A., & Helyes, L. (2014). Effect of irrigation on yield parameters and antioxidant profiles of processing cherry tomato. *Central European Journal of Biology*, 9(4), 383–395. <https://doi.org/10.2478/s11535-013-0279-5>
30. Pereira, C., Dias, M. I., Petropoulos, S. A., Plexida, S., Chrysargyris, A., Tzortzakis, N., Calhelha, R. C., Ivanov, M., Stojković, D., Soković, M., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). The Effects of Biostimulants, Biofertilizers and Water-Stress on Nutritional Value and Chemical Composition of Two Spinach Genotypes (*Spinacia oleracea L.*). *Molecules* 2019, Vol. 24, Page 4494, 24(24), 4494. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES24244494>
31. Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Plexida, S., Chrysargyris, A., Tzortzakis, N., Barreira, J. C. M., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Biostimulants Application Alleviates Water Stress Effects on Yield and Chemical Composition of Greenhouse Green Bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 181, 10(2), 181. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10020181>

32. Petropoulos, S. A. (2020). Practical Applications of Plant Biostimulants in Greenhouse Vegetable Crop Production. *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 1569, 10(10), 1569. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10101569>
33. Rai, N., Rai, S. P., & Sarma, B. K. (2021). Prospects for Abiotic Stress Tolerance in Crops Utilizing Phyto- and Bio-Stimulants. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 754853. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.754853>
34. Ripoll, J., Urban, L., Staudt, M., Lopez-Lauri, F., Bidel, L. P. R., & Bertin, N. (2014). Water shortage and quality of fleshy fruits—making the most of the unavoidable. *Journal of Experimental Botany*, 65(15), 4097–4117. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERU197>
35. Ripoll, J., Urban, L., Brunel, B., & Bertin, N. (2016). Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. *Journal of Plant Physiology*, 190, 26–35. <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2015.10.006>
36. Romero-Aranda, M. R., Jurado, O., & Cuartero, J. (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*, 163(8), 847–855. <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2005.05.010>
37. Santaniello, A., Scartazza, A., Gresta, F., Loreti, E., Biasone, A., di Tommaso, D., Piaggese, A., & Perata, P. (2017). *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression. *Frontiers in Plant Science*, 8, 275332. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.01362>
38. Savvas, D., & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 66–81. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2015.09.010>
39. Sidhu, V., Nandwani, D., Wang, L., & Wu, Y. (2017). A Study on Organic Tomatoes: Effect of a Biostimulator on Phytochemical and Antioxidant Activities. *Journal of Food Quality*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5020742>
40. Subramaniyan, L., Veerasamy, R., Prabhakaran, J., Selvaraj, A., Algarswamy, S., Karuppasami, K. M., Thangavel, K., & Nalliappan, S. (2023). Biostimulation Effects of Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) on Phytomorpho-Physiological, Yield, and Quality Traits of Tomato (*Solanum*

- lycopersicum L.*). Horticulturae 2023, Vol. 9, Page 348, 9(3), 348.
<https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE9030348>
41. Suchithra, M. R., Muniswami, D. M., Sri, M. S., Usha, R., Rasheeq, A. A., Preethi, B. A., & Dinesh kumar, R. (2022). Effectiveness of green microalgae as biostimulants and biofertilizer through foliar spray and soil drench method for tomato cultivation. South African Journal of Botany, 146, 740–750.
<https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2021.12.022>
 42. Tallarita, A. v, Vecchietti, L., Cozzolino, E., Mirabella, M., Cuciniello, A., Maiello, R., Cenvinzo, V., Leone, V., & Vincenzo, A. (2021). Biostimulant application improves tomato (*Solanum lycopersicum l.*) fruit yield and quality during the autumn-winter season. Research Journal of Agricultural Science, 53(4), 3–9.
 43. Thor, K. (2019). Calcium—nutrient and messenger. Frontiers in Plant Science, 10, 449564. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00440>
 44. Toresano-Sánchez, F., Valverde-García, A., & Camacho-Ferre, F. (2012). Effect of the application of silicon hydroxide on yield and quality of cherry tomato. Http://Dx.Doi.Org/10.1080/01904167.2012.644375, 35(4), 567–590.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2012.644375>
 45. Turan, M., Yildirim, E., Ekinici, M., & Argin, S. (2021). Effect of Biostimulants on Yield and Quality of Cherry Tomatoes Grown in Fertile and Stressed Soils. HortScience, 56(4), 414–423. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15568-20>
 46. Van Oosten, M. J., Pepe, O., de Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 4(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>
 47. Wang, W., Zheng, W., Lv, H., Liang, B., Jin, S., Li, J., & Zhou, W. (2022). Animal-derived plant biostimulant alleviates drought stress by regulating photosynthesis, osmotic adjustment, and antioxidant systems in tomato plants. Scientia Horticulturae, 305, 111365.
<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111365>
 48. Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. Frontiers in Plant Science, 7, 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

49. Younes, N. A., Anik, T. R., Rahman, M. M., Wardany, A. A., Dawood, M. F. A., Tran, L. S. P., Abdel Latef, A. A. H., & Mostofa, M. G. (2023). Effects of microbial biostimulants (*Trichoderma album* and *Bacillus megaterium*) on growth, quality attributes, and yield of onion under field conditions. *Heliyon*, 9(3), e14203. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E14203>
50. Zhu, Y., & Gong, H. (2013). Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development* 2013 34:2, 34(2), 455–472. <https://doi.org/10.1007/S13593-013-0194-1>

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

51. Θεριός, Ι. (1996). ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΘΡΕΨΗ & ΛΙΠΑΜΣΑΤΑ. Εκδόσεις Γαρταγάνη.
52. Μπιλάλης, Δ., Παπαστυλιανού, Π.-Θ., & Τραυλός, Η. Σ. (2019). ΓΕΩΡΓΙΑ ΦΥΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ. Εκδόσεις Πεδίο.
53. Χα, Ι.-Α., & Πετρόπουλος, Σ. (2014). Γενική Λαχανοκομία & Υπαίθρια Καλλιέργεια Λαχανικών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.