



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ ΠΕΡΛΙΤΗ ΜΕ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΑ  
ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ**

**EVALUATION OF FOUR DIFFERENT MIXTURES OF PERLITE WITH INORGANIC AND  
ORGANIC MATERIALS ON A TOMATO CROP**



**ΣΠΗΛΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ**  
**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΚΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**  
**ΒΟΛΟΣ 2022**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ ΠΕΡΛΙΤΗ ΜΕ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΑ  
ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ**

**EVALUATION OF FOUR DIFFERENT MIXTURES OF PERLITE WITH INORGANIC AND  
ORGANIC MATERIALS ON A TOMATO CROP**

**ΣΠΗΛΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Καθηγητής Ν. Κατσούλας (Επιβλέπων),**

**Αναπλ. Καθηγητής Σ. Πετρόπουλος (Μέλος)**

**ΕΔΙΠ Ε. Κίττα (Μέλος)**

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

## **Ευχαριστίες**

Μετά την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, τον επιβλέποντα και μέλος της τριμελούς επιτροπής καθηγητή, κ. Νικόλαο Κατσούλα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα.

Στο ίδιο πλαίσιο ευγνωμοσύνης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Αναστασία Μπάρη μέλος του εργαστηρίου γεωργικών κατασκευών και ελέγχου περιβάλλοντος για την καθοριστική βοήθεια της και την όλη καθοδήγηση της κατά τη διάρκεια διεξαγωγής αλλά και διόρθωσης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσαν κατά τη διάρκεια φοίτησης μου στο τμήμα.

## Περίληψη

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση του υποστρώματος του περλίτη, καθώς και των μειγμάτων του με άλλα υποστρώματα σε μικρότερες αναλογίες. Το πείραμα έλαβε χώρα σε θερμοκήπιο του αγροκτήματος του τμήματος γεωπονίας Βόλου. Οι διαφορετικές μεταχειρίσεις, τοποθετήθηκαν σε ξεχωριστές γραμμές του θερμοκηπίου, από όπου συλλέγονταν δεδομένα εβδομαδιαία. Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση των υποστρωμάτων, ως προς την επίδρασή τους στα ποιοτικά στοιχεία της καλλιέργειας και συγκεκριμένα στη φωτοσύνθεση και στη συγκέντρωση χλωροφύλλης σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας αλλά και η επίδρασή τους στα ποσοτικά στοιχεία της καλλιέργειας, δηλαδή τη συνολική παραγωγή καθώς και το μέσο βάρος καρπών. Ολοκληρώνοντας το πείραμα προέκυψε ότι τα φυτά που είχαν τοποθετηθεί σε υποστρώματα με σκέτο περλίτη, παρουσίασαν τον καλύτερο φωτοσυνθετικό ρυθμό συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Αντίθετα η συγκέντρωση χλωροφύλλης φάνηκε να μην επηρεάζεται από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Τέλος τα βέλτιστα αποτελέσματα όσον αφορά την παραγωγή και το μέσο βάρος καρπών καταγράφηκαν στα υποστρώματα μόνο με περλίτη, χωρίς όμως οι τιμές του να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

*Λέξεις κλειδιά: υπόστρωμα, περλίτης, κοκοφοίνικας, υδροπονία, τομάτα*

## Summary

Subject of interest of the present dissertation is the evaluation of perlite's substrate, as well as its mixtures with other substrates in smaller quantities. The experiment took place in a greenhouse of the farm of the department of agriculture in Volos. The different treatments were placed in separate lines of the greenhouse, from where data were collected weekly. The purpose of this study is to evaluate the substrates, in terms of their effect on photosynthesis and chlorophyll concentration as well as the yield and the average crop weight in hydroponic tomato cultivation. Completing the experiment, it turned out that the plants that had been placed on perlite-only substrates, showed the best photosynthetic rate compared to the other treatments. In contrast, chlorophyll concentration did not appear to be affected by the different treatments. Finally, the best results in terms of production and average fruit weight were recorded in substrates with perlite and no statistically significant differences with the other treatments were documented.

*Key words: substrate, perlite, coconut fiber, hydroponics, tomato*

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	iv
1. Εισαγωγή.....	7
1.1 Υδροπονία.....	7
1.2 Υδροπονικά Συστήματα.....	8
1.3 Υποστρώματα.....	8
1.3.1 Κατηγορίες Υποστρωμάτων .....	8
1.3.2 Ιδιότητες Υποστρωμάτων .....	8
1.3.3 Πλεονεκτήματα υποστρωμάτων .....	11
1.3.4 Μειονεκτήματα υποστρωμάτων.....	12
1.3.5 Μείγματα υποστρωμάτων.....	12
1.4 Περλίτης.....	13
1.4.1 Παραγωγή, Προέλευση και Γενικές Πληροφορίες.....	13
1.4.2 Φυσικά χαρακτηριστικά .....	13
1.4.3 Χημικά χαρακτηριστικά.....	13
1.4.4 Αποστείρωση, επαναχρησιμοποίηση και απόρριψη απορριμμάτων .....	13
1.5 Ζεόλιθος .....	14
1.5.1 Παραγωγή, Προέλευση και Γενικές Πληροφορίες.....	14
1.5.2 Φυσικά χαρακτηριστικά .....	15
1.5.3 Χημικά χαρακτηριστικά.....	15
1.5.4 Αποστείρωση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση απορριμμάτων. ....	15
1.6 Βερμικουλίτης .....	15
1.6.1 Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες .....	15
1.6.2 Φυσικά χαρακτηριστικά .....	15
1.6.3 Χημικά χαρακτηριστικά.....	15
1.6.4 Αποστείρωση, επαναχρησιμοποίηση και απόρριψη απορριμμάτων .....	16
1.7 Ίνες κοκοφοίνικα.....	16
1.8 Επιλογή Υποστρώματος.....	16

1.9 Η τομάτα.....	17
1.9.1 Προέλευση .....	17
1.9.2 Ταξινόμηση.....	18
1.9.3 Ο καρπός της τομάτας.....	18
1.9.4 Χρήσεις και θρεπτική αξία .....	18
1.9.5 Απαιτήσεις σε μικρόκλιμα.....	19
1.9.6 Στάδια ανάπτυξης της τομάτας.....	20
1.10 Σκοπός .....	20
2. Υλικά και Μέθοδοι.....	21
2.1 Τοποθεσία .....	21
2.2 Διάρκεια καλλιεργητικής περιόδου.....	21
2.3 Εγκατάσταση καλλιέργειας .....	21
2.4 Φυτά – Υποστρώματα .....	22
2.5 Καλλιεργητικές φροντίδες .....	22
2.6 Λίπανση και Άρδευση .....	23
2.7 Μετρήσεις φωτοσύνθεσης .....	24
2.8 Μετρήσεις χλωροφύλλης .....	24
3. Αποτελέσματα.....	26
3.1 Ρυθμός φωτοσύνθεσης .....	26
3.2 Περιεχόμενη χλωροφύλλη φύλλων.....	27
3.3 Ξηρή ουσία φύλλων και βλαστών .....	27
3.4 Παραγωγή .....	28
3.5 Συζήτηση .....	30
3.6 Συμπεράσματα .....	31
Βιβλιογραφία.....	32

## **Κατάλογος Διαγραμμάτων**

<b>Διάγραμμα 1.</b> Διακύμανση των τιμών του ρυθμού φωτοσύνθεσης των φυτών των τεσσάρων υποστρωμάτων.....	26
<b>Διάγραμμα 2.</b> Περιεχόμενη χλωροφύλλη φύλλων φυτών τομάτας ανά μεταχείριση .....	27
<b>Διάγραμμα 3.</b> Περιεχόμενη ξηρή ουσία φύλλων και βλαστών φυτών τομάτας κατά την τρίτη καλλιεργητική περίοδο .....	28
<b>Διάγραμμα 4.</b> Παραγωγή φυτών τομάτας εκφρασμένη ως kg καρπού ανά φυτό κατά την τρίτη καλλιεργητική περίοδο.....	29
<b>Διάγραμμα 5.</b> Μέσο βάρος καρπού ανά μεταχείριση κατά την τρίτη καλλιεργητική περίοδο .....	29

## **Κατάλογος εικόνων**

<b>Εικόνα 1</b> Το θερμοκήπιο στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα.....	22
<b>Εικόνα 2</b> Η καλλιέργεια σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης.....	19
<b>Εικόνα 3</b> Η καλλιέργεια σε μεταγενέστερο στάδιο ανάπτυξης.....	19



## 1. Εισαγωγή

Με τη ραγδαία αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού και τις προβλέψεις να δείχνουν ότι το 2050 ο πληθυσμός της Γης θα έχει φτάσει τα 9.7 δισεκατομμύρια (Bruinsma, 2011) μία από τις κύριες μελλοντικές προκλήσεις για τη σύγχρονη γεωργία είναι η παραγωγή επαρκών ποσοτήτων τροφίμων ώστε να μπορούν να καλύψουν τις διατροφικές ανάγκες περισσότερων ατόμων, ακόμα και σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες. Η εφαρμογή νέων συστημάτων όπου θα μπορούν να ανταποκριθούν ποσοτικά στις τροφικές ανάγκες της αγοράς αλλά ταυτόχρονα θα καταναλώνουν ελάχιστους πόρους, είναι απαραίτητη (Gashgari *et al.*, 2018). Τα υδροπονικά συστήματα με καλλιέργειες εκτός εδάφους μπορεί να είναι μέρος της λύσης στα προβλήματα της έλλειψης τροφής. Με τη χρήση των υδροπονικών συστημάτων, δίνεται η δυνατότητα σε μια σχετικά μικρή καλλιεργούμενη έκταση να μπορεί να καλύψει τις διατροφικές ανάγκες μεγάλου πληθυσμού. Μάλιστα κατά τη σύγκριση υδροπονικής καλλιέργεια μαρουλιού με καλλιέργεια μαρουλιού στον αγρό, στην υδροπονική καταγράφηκε 11 φορές μεγαλύτερη παραγωγή (Barbosa *et al.*, 2015). Παράλληλα οι υδροπονικές καλλιέργειες δίνουν τη δυνατότητα για εξοικονόμηση εισροών, αφού το φυτό τροφοδοτείται μόνο με ποσότητες τις οποίες έχει πραγματικά ανάγκη και ταυτόχρονα το κόστος παραγωγής μειώνεται (Rouphael *et al.*, 2004).

Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία της υδροπονικής καλλιέργειας είναι το υπόστρωμα. Το μεγαλύτερο ποσοστό υποστρωμάτων στον κόσμο που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία είναι ανόργανα υποστρώματα όπως ο πετробάμβακας, η άμμος, ο περλίτης, ο βερμικουλίτης, η διογκωμένη άργιλος, η ελαφρόπετρα και άλλα (Böhme *et al.*, 2008), ενώ μόνο το 12% αυτών είναι οργανικά υλικά, όπως τύρφη, πριονίδι, κοκκοφοίνικας κ.α. Το πιο ευρέως διαδεδομένο υπόστρωμα για την παραγωγή λαχανοκομικών φυτών είναι ο πετробάμβακας (Islam, 2008).

### 1.1 Υδροπονία

Η καλλιέργεια εκτός εδάφους είναι το σύγχρονο σύστημα καλλιέργειας φυτών που χρησιμοποιούν είτε με αδρανή οργανικά υποστρώματα είτε με ανόργανα μέσω τροφοδοσίας με θρεπτικό διάλυμα. Ίσως πρόκειται για το πιο διαδεδομένο και εντατικό σύστημα καλλιέργειας το οποίο αξιοποιεί όλους τους πόρους αποτελεσματικά, δίνει τη δυνατότητα καλλιέργειας σε περιοχές που υπό κανονικές συνθήκες είναι αδύνατη και στόχο έχει τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των θερμοκηπιακών καλλιεργειών (Grillas *et al.*, 2001, Asaduzzaman *et al.*, 2015). Με τη μέθοδο αυτή όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία μεταφέρονται μέσω του νερού άρδευσης στα φυτά (θρεπτικό διάλυμα). Οι ρίζες των φυτών

μπορεί είτε να έρχονται σε επαφή απευθείας με το θρεπτικό διάλυμα είτε να αναπτύσσονται μέσα σε στερεά υλικά τα οποία διαβρέχονται με αυτό (υποστρώματα) (Σάββας, 2011).

## **1.2 Υδροπονικά Συστήματα**

Όσων αφορά τον τρόπο διαχείρισης των απορροών τα υδροπονικά συστήματα διακρίνονται σε κλειστά και ανοικτά. Στα κλειστά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα οδηγείται μέσω του συστήματος άρδευσης στα φυτά και οι απορροές που προέρχονται από το περιβάλλον της ρίζας οδηγούνται πίσω στη δεξαμενή, ελέγχονται, διορθώνονται και επαναχρησιμοποιούνται. Από την άλλη στα ανοικτά συστήματα οι απορροές μετά την τροφοδοσία των φυτών με θρεπτικό διάλυμα απορρίπτονται (Μαυρογιαννόπουλος, 2017).

## **1.3 Υποστρώματα**

Γενικά εφόσον το υπόστρωμα είναι υποκατάστατο του εδάφους, οφείλει να επιτελεί όλες τις λειτουργίες αυτού και μάλιστα αποδοτικότερα. Κύριος ρόλος του λοιπόν είναι η εξισορροπημένη παροχή νερού και οξυγόνου στα φυτά (Σάββας, 2011).

### **1.3.1 Κατηγορίες Υποστρωμάτων**

Τα υποστρώματα χωρίζονται σε οργανικά και ανόργανα αλλά λόγω ιδιαίτερων αναγκών κάποιων καλλιεργειών έχουν προκύψει και μείξεις αυτών. Κάποια από τα οργανικά υποστρώματα είναι ο κοκοφοίνικας, η τύρφη, τα ροκανίδια, τα στέμφυλα, ο φλοιός κ.λπ. ενώ ανόργανα υποστρώματα φυσικής προέλευσης είναι ο περλίτης, ο βερμικουλίτης, ο ζεόλιθος, ο πετροβάμβακας, η άμμος, ο υαλοβάμβακας, η ελαφρόπετρα κ.α. (Olle *et al.*, 2012). Κάθε υπόστρωμα ή μείξεις αυτών έχουν διαφορετικές ιδιότητες όποτε είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις ανάγκες της καλλιέργειας μας πριν την επιλογή υποστρώματος για να έχουμε τη βέλτιστη απόδοση (Gungor and Yildirim , 2013).

### **1.3.2 Ιδιότητες Υποστρωμάτων**

#### **1.3.2.1 Φυσικές**

##### **1.3.2.1.1 Κοκκομετρία**

Τα υποστρώματα στην πλειοψηφία τους αποτελούνται από σωματίδια. Αυτά λέγονται κόκκοι. Το σχήμα τους δεν είναι σταθερό, ούτε και το μέγεθός τους. Με βάση την διάταξη των κόκκων, τα υποστρώματα διακρίνονται σε σταθερού σχήματος και σε κοκκώδη. Στην πρώτη περίπτωση τα σωματίδια είναι συνδεδεμένα ενώ στην δεύτερη δεν συνδέονται (Σάββας, 2011). Τα διαφορετικά μεγέθη των κόκκων, καθώς και η αναλογία τους επηρεάζουν άμεσα τις φυσικές ιδιότητες των υποστρωμάτων (Ravin and Lieth 2008).

### **1.3.2.1.2 Ολικό πορώδες**

Εκφράζεται ως ποσοστό του συνολικού όγκου του υποστρώματος. Προκύπτει από το άθροισμα των όγκων της υδατικής και της αέριας φάσης ενός υποστρώματος (Ravin and Lieth 2008, Σάββας, 2011).

### **1.3.2.1.3 Φαινόμενο ειδικό βάρος**

‘Ορίζεται από συγκεκριμένη ποσότητα υποστρώματος σε ξηρή μορφή, ως προς τον όγκο που καταλαμβάνεται από αυτήν την ποσότητα υπό τυποποιημένες συνθήκες’ (Σάββας, 2011).

### **1.3.2.1.4 Ειδική επιφάνεια**

‘Ορίζεται από την επιφάνεια των στερεών τεμαχιδίων του υποστρώματος ανά μονάδα μάζας’ (Σάββας, 2011).

### **1.3.2.1.5 Υδατοχωρητικότητα φυτοδοχείου**

‘Ορίζεται από τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να βρίσκεται σε ένα υπόστρωμα που είναι τοποθετημένο σε συγκεκριμένο φυτοδοχείο με δυνατότητα στράγγισης του νερού από το φυτοδοχείο’ (Σάββας, 2011)

### **1.3.2.1.6 Υδραυλική αγωγιμότητα**

‘Εκφράζει το διαθέσιμο νερό για την καλλιέργεια. Εξαρτάται από το πορώδες του κάθε υποστρώματος, τον χρόνο που έχει περάσει μετά από το πότισμα της καλλιέργειας, και το ύψος του φυτοδοχείου’ (Σάββας, 2011).

## **1.3.2.2 Χημικές**

### **1.3.2.2.1 Χημική σύνθεση**

Με τον όρο χημική σύνθεση εννοείται η περιεκτικότητα των συστατικών ενός υποστρώματος, είτε οργανικής είτε ανόργανης φύσεως. Τα ανόργανα υποστρώματα προέρχονται είτε από φυσικά πετρώματα, τα οποία έχουν τεμαχιστεί, είτε είναι προϊόντα τα οποία προκύπτουν από την επεξεργασία πετρωμάτων. Στην πρώτη περίπτωση τα υποστρώματα διατηρούν τη χημική σύσταση των υλικών προέλευσής τους, ενώ στα επεξεργασμένα παρατηρούνται πολλές μεταβολές. Τα οργανικά υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες στην πλειοψηφία τους είναι φυτικής προελεύσεως. Επομένως αποτελούνται από πολυσακχαρίτες και ινώδεις ουσίες, χαρακτηριστικό που τα κάνει πολύ ανθεκτικά και με μεγάλη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης (Σάββας, 2011).

#### **1.3.2.2.2 Ανταλλακτική ικανότητα**

Πρόκειται για την ικανότητα των υποστρωμάτων να δεσμεύουν και να ανταλλάσσουν κατιόντα. Αυτή ιδιότητα εξαρτάται άμεσα από τη χημική τους σύσταση. Με βάση την ανταλλακτική ικανότητα διακρίνονται δύο τύποι υποστρωμάτων. Τα χημικά ενεργά και τα χημικά αδρανή υποστρώματα. Τα χημικά ενεργά μπορούν να δεσμεύσουν θρεπτικά, όταν αυτά βρίσκονται σε αφθονία στο θρεπτικό διάλυμα και τα καθιστούν διαθέσιμα στο φυτό σε περιόδους έλλειψης. Λειτουργούν δηλαδή όπως ένα γόνιμο έδαφος. Αντίθετα τα χημικά αδρανή υποστρώματα χαρακτηρίζονται από έλλειψη ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων. Αυτό το χαρακτηριστικό τους τα καθιστά να χρησιμοποιούνται κατά κόρων στις υδροπονικές καλλιέργειες, διότι η θρέψη των καλλιεργούμενων φυτών εξαρτάτε μόνο από τη χορήγηση του θρεπτικού διαλύματος και όχι από τις χημικές ιδιότητες του υποστρώματος και επομένως είναι πού πιο εύκολο να βελτιστοποιηθεί (Σάββας, 2011).

#### **1.3.2.2.3 Οξύτητα**

Οξύτητα ή αλλιώς pH, εκφράζει τη συγκέντρωση ελεύθερων ιόντων υδρογόνου σε ένα υδατικό διάλυμα. Ο προσδιορισμός του pH των υποστρωμάτων γίνεται με χρήση εκχυλισμάτων. Η διαδικασία αυτή αφορά μόνο τα χημικά ενεργά υποστρώματα. Επίσης λόγω του μικρού τους όγκου, είναι εύκολο να γίνουν διορθώσεις οξύτητας (Σάββας, 2011). Οι περισσότερες υδροπονικές καλλιέργειες αναπτύσσονται καλύτερα σε τιμές pH μεταξύ 5,4 – 6,6 (Owen and Lopez, 2015).

#### **1.3.2.2.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα**

Εκφράζει την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε ανόργανα άλατα. Ο προσδιορισμός της γίνεται με τη χρήση εκχυλισμάτων, όπως και στον προσδιορισμό οξύτητας. Όσο μεγαλύτερη η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τόσο πιο ακατάλληλο το υπόστρωμα. Ουσιαστικά υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας εκφράζουν μεγάλη παρουσία υδατοδιαλυτών αλάτων στο υπόστρωμα. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα, συνίσταται πλύση του υποστρώματος με νερό που δεν περιέχει πολλά άλατα (Σάββας, 2011).

#### **1.3.2.2.5 Θρεπτικά στοιχεία στα υποστρώματα και η διαθεσιμότητά τους**

Στα υποστρώματα, στο επίπεδο της ρίζας των φυτών υπάρχουν δύο τύποι διαθέσιμων θρεπτικών, τα άμεσα διαθέσιμα και τα δυνητικά διαθέσιμα. Τα άμεσα διαθέσιμα αφορούν θρεπτικά στοιχεία τα οποία προέρχονται από το θρεπτικό διάλυμα και είναι διαλυμένα στο νερό. Τα δυνητικά διαθέσιμα αφορούν θρεπτικά τα οποία είναι προσροφημένα από τα υποστρώματα. Επίσης στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται και τα στοιχεία τα οποία

απελευθερώνουν τα οργανικά υποστρώματα μέσω της διαδικασίας της μικροβιακής αποδόμησης. Για τον προσδιορισμό των θρεπτικών στοιχείων των υποστρωμάτων μπορούν να γίνουν μετρήσεις με αναρρόφηση θρεπτικού διαλύματος απευθείας από το σάκο είτε με τη χρήση εκχυλισμάτων (Σάββας, 2011).

### **1.3.2.3 Μικροβιολογικές**

Τα ανόργανα υποστρώματα στην πλειοψηφία τους είναι απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς καθώς και σπόρους ζιζανίων, επομένως τα φυτά της καλλιέργειας δεν κινδυνεύουν να προσβληθούν από παθογόνα αίτια που προέρχονται από το υπόστρωμα. Αντίθετα λόγω της παντελής απουσίας μικροοργανισμών, μαζί και των ωφέλιμων ανταγωνιστών των παθογόνων, ο κίνδυνος για μόλυνση ελλοχεύει κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Σάββας, 2011).

Τα περισσότερα οργανικά υποστρώματα χρησιμοποιούνται στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες χωρίς να απολυμανθούν. Αυτά τα υποστρώματα ενδέχεται να παρουσιάζουν μια τάση για καταστολή φυτοπαθογόνων προσβολών. Αυτή η τάση οφείλεται στον τρόπο παρασκευής τους και πιο συγκεκριμένα στους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται κατά τη ζύμωσή τους (Σάββας, 2011).

### **1.3.3 Πλεονεκτήματα υποστρωμάτων**

Ο κύριος λόγος που ώθησε στην αντικατάσταση του εδάφους με τα υποστρώματα είναι η απουσία φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών, νηματωδών καθώς και σπόρων ζιζανίων. Αυτό το πλεονέκτημα προκύπτει λόγω της επεξεργασίας που υφίστανται κατά τη διαδικασία παρασκευής τους. Ως αποτέλεσμα μειώνεται η εφαρμογή φυτοφαρμάκων, η καλλιέργεια γίνεται πιο φιλική στο περιβάλλον αποφεύγεται η ρύπανση και ο παραγωγός έχει σαφή οικονομικά οφέλη. Επιπροσθέτως παρέχουν τη δυνατότητα απολύμανσης και μπορούν έτσι να επαναχρησιμοποιηθούν για παραπάνω από μια καλλιεργητικές περιόδους. Επίσης το υπόστρωμα υπερτερεί του εδάφους όσον αφορά τη διάθεση του νερού στο φυτό. Σε αντίθεση με το χώμα, το υπόστρωμα συγκρατεί το νερό με μικρότερες δυνάμεις άρα το φυτό σπαταλά πολύ λιγότερη ενέργεια για να το απορροφήσει. Επιπλέον η διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών στις ρίζες των φυτών μπορεί να χειριστεί και να εμποτευθεί καλύτερα σε καλλιέργειες χωρίς έδαφος. Εφόσον στην υδροπονία δεν υπάρχουν οι σύνθετες μεταβλητές του εδάφους (π.χ. περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, ανταλλακτική ικανότητα) η θρέψη είναι πιο αποδοτική (Ravin and Lieth 2008). Τέλος το υπόστρωμα δεν απαιτεί εργασίες προετοιμασίας, όπως το έδαφος πχ. όργωμα, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ανάγκες σε εργατικά χέρια (Σάββας, 2011).

### 1.3.4 Μειονεκτήματα υποστρωμάτων

Βασικό μειονέκτημα των καλλιεργειών εκτός εδάφους, αποτελεί το αρχικό κεφάλαιο που πρέπει δαπανηθεί για την αγορά των υποστρωμάτων. Η διάρκεια ζωής τους είναι πεπερασμένη, επομένως χρήζουν ανανέωση. Ένα ακόμα μειονέκτημα της καλλιέργειας εκτός εδάφους έναντι της καλλιέργειας με βάση το έδαφος είναι το γεγονός ότι στην δεύτερη περίπτωση ο όγκος της ρίζας είναι απεριόριστος ενώ στη πρώτη είναι περιορισμένος. Αυτό το φαινόμενο από τη μία περιορίζει την παροχή θρεπτικών ουσιών που μπορεί το φυτό να λάβει ενώ ταυτόχρονα αυξάνει τον ανταγωνισμό από ρίζα σε ρίζα, καθώς υπάρχουν περισσότερες ρίζες ανά μονάδα όγκου επιφάνειας (Ravin and Lieth 2008).

### 1.3.5 Μείγματα υποστρωμάτων

Στην αγορά υπάρχουν άφθονα μείγματα υποστρωμάτων από τα οποία μπορεί να επιλέξουν οι παραγωγοί και να τα εγκαταστήσουν στις καλλιέργειες τους. Δεν υπάρχει όμως επαρκής βιβλιογραφία που να επιβεβαιώνει τις ευεργετικές ιδιότητες τους (Ravin and Lieth 2008).

Βασική αρχή της ανάμειξης υποστρωμάτων αποτελεί την ανάμειξη υλικών με μικρό πορώδες, με υλικά με μεγαλύτερο, έτσι ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες αερισμού και αποστράγγισης στα οργανικά υποστρώματα και παράλληλα συγκράτησης και αύξησης της διαθεσιμότητας του νερού στα ανόργανα (Bar-Tal *et al.*, 2019).

Όταν ένα υπόστρωμα παρασκευάζεται από δύο συστατικά που δεν αντιδρούν μεταξύ τους, τότε οι χημικές ιδιότητες του τελικού υποστρώματος αναμένεται να είναι το άθροισμα των ιδιοτήτων των επιμερών συστατικών τους. Για παράδειγμα ο ζεόλιθος διαθέτει μοναδική ικανότητα προσρόφησης με υψηλή ανταλλαγή κατιόντων και ικανότητα αφυδάτωσης-επανυδάτωσης (Mumpton, 1999). Ο περλίτης, από την άλλη, είναι ένα αδρανές υλικό με το μεγαλύτερο μέρος του νερού του να συγκρατείται επιφανειακά και απελευθερώνεται σε σχετικά χαμηλή τάση, παρέχοντας εξαιρετική αποστράγγιση του μέσου και επαρκή αερισμό της ριζόσφαιρας. Έτσι, ο περλίτης όταν αναμιγνύεται με ζεόλιθο βελτιώνει τις υδροφυσικές ιδιότητες του ζεόλιθου (Grillas *et al.*, 2001). Από την άλλη πλευρά, η υψηλή ικανότητα ανταλλαγής ιόντων του ζεόλιθου προσδίδει ρυθμιστική ιδιότητα στα μείγματα υποστρωμάτων, περιορίζοντας έτσι τις διακυμάνσεις του pH και της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας. Ο ζεόλιθος και ο περλίτης έχουν σχετικά σταθερή δομή το οποίο συνεπάγεται τη δυνατότητα να επαναχρησιμοποιηθούν για πολλές διαδοχικές καλλιέργειες. Παρόλο όμως που τα μείγματα συνδυάζουν τις ιδιότητες των υποστρωμάτων που περιέχουν, οι διαφορετικές αναλογίες των επιμερών συστατικών τους κατέχουν διαφορετικές ιδιότητες (Bilderback *et al.*, 2005).

## 1.4 Περλίτης

### 1.4.1 Παραγωγή, Προέλευση και Γενικές Πληροφορίες

Ο περλίτης είναι ένα υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα με ρυολιθική σύνθεση και 2–5 % συνδυασμένου νερού (Alkan and Dögan 1998, Kaufhold *et al.*, 2014). Τα κύρια γνωστά αποθέματα περλίτη στον κόσμο (περίπου 70%) βρίσκονται κατά μήκος των ακτών του Αιγαίου στην Τουρκία. Το εμπορικό προϊόν παράγεται με θέρμανση του εδάφους, κοσκινισμένου υλικού στους 760–1100°C. Το συνδυασμένο νερό στον περλίτη μετατρέπεται σε αέριο μετά από επεξεργασία σε υψηλή θερμοκρασία στον φούρνο και στη συνέχεια ο τελικός του όγκος μπορεί να διευρυνθεί 4–20 φορές από τον αρχικό, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να είναι ελαφρύ με υψηλό πορώδες. Ο περλίτης χρησιμοποιείται συχνά σε μείγματα και ως αυτόνομο καλλιεργητικό μέσο (Grillas *et al.*, 2001, Gül *et al.*, 2005). Παράγεται σε διάφορες μορφές, με τις πιο συνηθισμένες να είναι 0–2 και 1,5–3,0 mm σε διάμετρο οι οποίες διαφέρουν ως προς τα φυσικά τους χαρακτηριστικά. Γενικά θεωρείται ένα σχετικά ακριβό υπόστρωμα (Rodriguez *et al.*, 2006).

### 1.4.2 Φυσικά χαρακτηριστικά

Ο διογκωμένος περλίτης είναι πολύ ελαφρύς, έχει ισχυρή τριχοειδή δράση και μπορεί κρατήσει 3-4 φορές το βάρος του σε νερό (Raviv and Lieth 2008). Αποτελεί ένα από τα πιο πορώδη μέσα. (Schindler *et al.*, 2017). Έχει παρατηρηθεί ότι ο περλίτης έχει διαφορετική ικανότητα συγκράτησης νερού ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων του. Οι πιο μεγάλοι σε διάμετρο κόκκοι, συγκρατούν και περισσότερο νερό σε σύγκριση με τους μικρότερους. Λόγω των εξαιρετικών φυσικών χαρακτηριστικών του, χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με οργανικά υποστρώματα (Raviv, 2013). Με αυτόν τον τρόπο τα θετικά βιολογικά χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων διατηρούνται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ενώ ταυτόχρονα αποτρέπεται η συμπίεση τους (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).

### 1.4.3 Χημικά χαρακτηριστικά

Ο περλίτης είναι ουδέτερος με pH 7,0–7,5. Δεν έχει ικανοποιητική ρυθμιστική ικανότητα και δεν περιέχει μεταλλικά θρεπτικά συστατικά. Όταν το pH είναι χαμηλό υπάρχει κίνδυνος απελευθέρωσης τοξικού Al στο διάλυμα. (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).

### 1.4.4 Αποστείρωση και Επαναχρησιμοποίηση

Ο περλίτης είναι ένα αποστειρωμένο προϊόν που παράγεται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Χημικά, ο περλίτης είναι σταθερός και δεν επηρεάζεται από οξέα, μικροοργανισμούς ή από το χρόνο (Acuna *et al.*, 2013). Λόγω αδράνειάς του, δεν έχει περιβαλλοντικό αποτύπωμα

ακόμα και αν ανακυκλώνεται για χρόνια. Όμως δεν συνιστάται η επαναλαμβανόμενη χρήση του από καλλιέργεια σε καλλιέργεια χωρίς επεξεργασία, γιατί αυξάνεται ο κίνδυνος της συμπίεσης, συσσώρευσης αλάτων και της μόλυνσης από παράσιτα (Hanna and Smith, 2002). Αντίθετα συνιστάται η αποστείρωση με ατμό πριν από τη φύτευση κάθε νέας καλλιέργειας με σκοπό την προστασία από μόλυνση από παθογόνους. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος απολύμανσης είναι κοστοβόρα και ταυτόχρονα μπορεί να μην είναι 100% αποτελεσματική. Μάλιστα η καλλιέργεια τομάτας σε απολυμασμένα υποστρώματα σε σύγκριση με καινούργια, έδωσε ακριβώς την ίδια απόδοση με λιγότερο κόστος (Hanna, 2005). (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).

## **1.5 Ζεόλιθος**

### **1.5.1 Παραγωγή, Προέλευση και Γενικές Πληροφορίες**

Οι ζεόλιθοι συνήθως σχηματίζονται από τη μεταμόρφωση ηφαιστειακών πετρωμάτων, αλλά μπορούν επίσης να σχηματιστούν από μη ηφαιστειακά υλικά σε θαλάσσιες αποθέσεις ή υδατικά περιβάλλοντα. Λόγω των ιδιοτήτων ανταλλαγής ιόντων, προσρόφησης, ενυδάτωσης-αφυδάτωσης και κατάλυσης, χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία και σε πολλές βιομηχανίες για την αφαίρεση των ρύπων από τα απόβλητα και το πόσιμο νερό (Ming and Mumpton, 1989; Mumpton, 1999).

Οι ζεόλιθοι (κυρίως ο κλινοπτιλόλιθος) χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση του εδάφους διότι προσροφούν πυρηνικά απόβλητα ή βαρέα μέταλλα και χρησιμοποιούνται στη γεωργία ως βελτιωτικά του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα είναι πηγή θρεπτικών συστατικών όπως P, K και NH<sub>4</sub> σε άγονα εδάφη και υποστρώματα, προσφέρουν μείωση της μόλυνσης από νιτρικά άλατα και βελτίωση της διαθεσιμότητας νερού (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).

Επί του παρόντος, οι ζεόλιθοι (κυρίως ο κλινοπτιλόλιθος) χρησιμοποιούνται ευρέως ως συστατικά μειγμάτων υποστρωμάτων ειδικά σε μεσογειακές χώρες όπως η Ελλάδα. Τα ανόργανα υποστρώματα έχουν μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων π.χ περλίτης. Παρ όλα αυτά ο ζεόλιθος έχει αρκετά υψηλή 200–400 cmol kg<sup>-1</sup> και επομένως η χρήση του ζεόλιθου ως μοναδικό υπόστρωμα καλλιέργειας δεν συνιστάται (Mumpton, 1999). Ωστόσο, σε μείξεις υποστρωμάτων, που περιλαμβάνουν οργανικά ή ανόργανα υλικά, οι ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλο τον κόσμο (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).



### **1.5.2 Φυσικά χαρακτηριστικά**

Ο κλινοππιλόλιθος έχει πυκνότητα σωματιδίων 2–2,1 g cm<sup>-3</sup> και περιεκτικότητα σε νερό κορεσμού 34 τοις εκατό. Ωστόσο, οι διαδικασία παραγωγής του επηρεάζει τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).

### **1.5.3 Χημικά χαρακτηριστικά**

Ο κλινοππιλόλιθος είναι πολύ σταθερός, αλλά διαλύεται σε pH 2 ή χαμηλότερο.

### **1.5.4 Αποστείρωση και Επαναχρησιμοποίηση.**

Οι ζεόλιθοι δεν είναι ευαίσθητοι σε μηχανικές διεργασίες και από τους κάνει δημοφιλή καθώς μετά από απολύμανση μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν αρκετές φορές (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).

## **1.6 Βερμικουλίτης**

### **1.6.1 Παραγωγή, Προέλευση και Γενικές πληροφορίες**

Ο βερμικουλίτης προέρχεται από ένα ορυκτό με τη μορφή φυσικού πηλού που έχει πολυεπίπεδη δομή με νερό ανάμεσα στα στρώματά του. Ο διογκωμένος βερμικουλίτης παράγεται με παρόμοιο τρόπο με τον περλίτη, με θέρμανση στους 1000°C. Αποτελείται από κόκκους που είναι ελαφριοί και παρουσιάζουν υψηλό πορώδες (Kipp *et al.*, 2000). Χρησιμοποιείται συνήθως είτε ως μέσο πολλαπλασιασμού είτε ως συστατικό μιγμάτων υποστρωμάτων (Pill και Lambeth, 1975). Οι λεπτές ποιότητες χρησιμοποιούνται κυρίως στην παραγωγή μεταμοσχεύσεων, ενώ οι χονδροκόκκες ποιότητες χρησιμοποιούνται συχνά ως μέσα ριζοβολίας (Wright, 1989).

### **1.6.2 Φυσικά χαρακτηριστικά**

Ο διογκωμένος βερμικουλίτης παράγεται σε διάφορες ποιότητες και μεγέθη. Τα πιο συνηθισμένα είναι 0-2, 2-4 και 4-8 mm σε διάμετρο. Είναι πολύ πορώδες, απορροφά εύκολα νερό και μπορεί να κρατήσει 3 με 4 φορές το βάρος του σε νερό (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).

### **1.6.3 Χημικά χαρακτηριστικά**

Ο βερμικουλίτης είναι ουδέτερος με pH 7,0-7,5 και χαμηλή EC. Έχει μόνιμο αρνητικό φορτίο και τιμή CEC 15-21 cmol/kg (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).

#### **1.6.4 Αποστείρωση, Επαναχρησιμοποίηση και Απόρριψη απορριμμάτων**

Ο βερμικουλίτης είναι ένα αποστειρωμένο προϊόν καθώς παράγεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, δεν μπορεί να αποστειρωθεί με ατμό όπως ο περλίτης καθώς αποσυντίθεται κατά τη θέρμανση. Η διογκωμένη δομή του βερμικουλίτη υποβαθμίζεται εύκολα και χάνει την ικανότητα αερισμού του, με αποτέλεσμα να έχει περιορισμένο χρόνο ζωής (Hoang *et al.*, 2019). Η απόρριψη του βερμικουλίτη δεν είναι επικίνδυνη για το περιβάλλον (Asher Bar-Tal *et al.*, 2019).

#### **1.7 Ίνες κοκοφοίνικα**

Πρόκειται για ένα υποπροϊόν της βιομηχανίας καρύδας. Είναι ένα μαλακό υλικό, πορώδες που μοιάζει με την τύρφη αλλά διαφέρει στο ότι έχει υψηλότερες τιμές pH. Μπορεί να βελτιώσει τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους και των υποστρώματων σε μείξεις. Χάρη στην υψηλή περιεκτικότητά του σε λιγνίνη, έχει την ικανότητα να είναι πιο ανθεκτικό στην αποικοδόμηση σε σύγκριση με άλλα οργανικά υποστρώματα. Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του υλικού είναι η θερμική του αδράνεια. Έτσι μπορεί να ανταπεξέλθει σε θερμικές αλλαγές καλύτερα από άλλα υποστρώματα (π.χ. περλίτης) και, ως εκ τούτου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε «ακραίες» περιβαλλοντικές συνθήκες. Ωστόσο, αυτή η ιδιότητα περιορίζεται εξολοκλήρου σε συνθήκες υπερβολικής και συνεχούς υγρασίας. Ένα εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό του, είναι η ικανότητα συγκράτησης νερού σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από άλλα υποστρώματα. Επομένως οι ανάγκες του για άρδευση δεν είναι τόσο συχνές. Επιπλέον η διάρκεια ζωής του με σωστή διαχείριση μπορεί να φτάσει τα πέντε χρόνια. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι είναι βιοδιασπώμενο υλικό και κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του δεν έχει περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Είναι ένας ανανεώσιμος πόρος σε αντίθεση με άλλα υποστρώματα (τύρφη) (Ali, 2010, Vinci and Rapa, 2019).

#### **1.8 Επιλογή Υποστρώματος**

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν προσφερθεί πολλά νέα ακατέργαστα ή μεταποιημένα προϊόντα ως πιθανά υποστρώματα ή συστατικά για μείγματα υποστρώματων. Τα προϊόντα μπορεί να είναι διάφορα από μη επεξεργασμένες πρώτες ύλες (π.χ. τύρφη, ελαφρόπετρα), απόβλητα γεωργικών προϊόντων, δασικών βιομηχανιών ή βιομηχανιών τροφίμων (π.χ. φλοιός, φλούδες ρυζιού, κοκοφοίνικα), ανακυκλωμένα υλικά (π.χ. στρώματα, ελαστικά, απορρίμματα χαρτιού), έως και επεξεργασμένα υλικά (π.χ. αφρός πολυφαινόλης, ουρία αφρός φορμαλδεΐδης, πετροβάμβακας) ή κομποστοποιημένα υλικά (Ravin and Lieth, 2008).

Η υδροπονική καλλιέργεια αντιπροσωπεύει μια ιδιαίτερα εντατική αγροτική μεθοδολογία. Αυτή η τεχνική απαιτεί υψηλές αρχικές επενδύσεις κεφαλαίου αλλά εγγυάται ταχεία απόδοση πόρων. Η υδροπονική γεωργία επιτρέπει υψηλό έλεγχο των στοιχείων, όπως ενέργεια, θρεπτικά συστατικά και φυτοφάρμακα. Μπορεί να εγγυηθεί μείωση των αποβλήτων, των πόρων που χρησιμοποιούνται, καθώς και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Ένα από τα πιο βασικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην υδροπονική καλλιέργεια είναι το υπόστρωμα. Η επιλογή ενός συγκεκριμένου υποστρώματος καθορίζεται από τη μελέτη διαφορετικών μεταβλητών, όπως το σύστημα καλλιέργειας, την τιμή του υλικού, το κόστος μεταφοράς, τη διαθεσιμότητα αυτού σε μια δεδομένη περιοχή και ούτω καθεξής. Ο στόχος του υποστρώματος είναι η παραγωγή της υψηλότερης ποσότητας προϊόντων καλύτερης ποιότητας σε σύντομο χρονικό διάστημα και με το χαμηλότερο κόστος παραγωγής (Vinci and Rapa, 2019).

## **1.9 Η τομάτα**

### **1.9.1 Προέλευση**

Η τομάτα (*Lycopersicon esculentum*) είναι μία από τις πιο ευρέως διαδεδομένες καλλιέργειες λαχανικών θερμοκηπίου στον κόσμο (Viuda-Martos *et al.*, 2014) και έχει μεγάλη ζήτηση από τις βιομηχανίες τόσο νωπών αγορών όσο και μεταποίησης. Είναι πολύ αγαπητό φυτό στην Ελλάδα καθώς είναι βασικό συστατικό της μεσογειακής διατροφής. Η δημοτικότητα της τομάτας διαφέρει από χώρα σε χώρα αλλά είναι σπάνιες οι περιπτώσεις που δεν καλλιεργείται, βάζοντας την καλλιέργεια της στην τρίτη θέση παγκοσμίως. Η τομάτα καλλιεργείται σε περίπου 4,5 εκατομμύρια εκτάρια με παραγωγή 122,6 εκατ. Μετρ τόνους σε όλο τον κόσμο (Fatima *et al.*, 2008).

Η τομάτα δεν είχε πάντα τη μορφή που όλοι γνωρίζουμε σήμερα. Αρχικά υπήρχε ένας άγριος τύπος τομάτας ο οποίος στη συνέχεια εξημερώθηκε. Ενώ η τοποθεσία εξημέρωσης δεν έχει εξακριβωθεί, η πιο αποδεκτή εξήγηση φαίνεται να είναι ότι η τομάτα διασκορπίστηκε στο Μεξικό (και μεγάλο μέρος της υπόλοιπου Λατινικής Αμερικής) ως ζιζάνιο και στη συνέχεια εξημερώθηκε εκεί (Jenkins, 1948). Η τομάτα δεν ήταν πολύ δημοφιλής μέχρι τον 18ο αιώνα κυρίως επειδή φημολογούνταν ότι ήταν δηλητηριώδης αφού είχε σημαντικές ομοιότητες με το γνωστό τότε δηλητηριώδες φυτό μπελαντόνα. Οι πρώτες βελτιωμένες καλλιεργημένες τομάτες ήταν το Tilden, που κυκλοφόρησε το 1865 και το Trophy που κυκλοφόρησε το 1870 (Bailey, 1949, Robertson and Labate, 2006).

## 1.9.2 Ταξινόμηση

Η τομάτα είναι μέλος της οικογένειας των δικότυλων Solanaceae, που περιέχει γνωστά είδη όπως η πατάτα, ο καπνός, η μελιτζάνα και η πιπεριά. Σύμφωνα με τον Bailey (1949) η τομάτα χωρίζεται σε δύο είδη: *Lycopersicon pimpinellifolium* και *Lycopersicon esculentum*. Το τελευταίο είδος είναι ο γονέας της εμπορικής τομάτας όπως την γνωρίζουμε σήμερα. Εκτός από αυτά τα δύο είδη υπάρχουν κι άλλα όπως τα *Lycopersicon cheesemanii*, *Lycopersicon peruvianum*, *Lycopersicon hirsutum*, και *Lycopersicon glandulosum*. Ο Λινναίος είχε ομαδοποιήσει όλα τα καλλιεργούμενα είδη τομάτας υπό το όνομα του *Solanum lycopersicum* (Fatima *et al.*, 2008).

## 1.9.3 Ο καρπός της τομάτας

Η τομάτα καλλιεργείται για τον καρπό της. Ο καρπός είναι βρώσιμος, σαρκώδης, έντονου χρώματος (συνήθως κόκκινο, από τη συσσώρευση της χρωστικής ουσίας λυκοπένιο) ράγα, διαμέτρου 1–2 cm σε άγρια φυτά, αντίθετα πολύ μεγαλύτερο σε καλλιεργημένες μορφές, με διάμετρο 5-10 cm. Οι καρποί ποικίλλουν σε σχήμα από επίπεδο στρογγυλό σε τετράγωνο στρογγυλό, στενόμακρο, απιοειδές, καρδιόσχημο και με άλλες πολλές ενδιάμεσες παραλλαγές. Θα συναντήσουμε ακόμα ποικιλίες που δίνουν μικρά τοματίνια, στρογγυλά τσέρι ή βελανίδια, μέχρι μεγαλόκαρπες τομάτες (Kole., 2007). Το σώμα του καρπού, που αναπτύχθηκε από το τοίχωμα της ωοθήκης που περιβάλλει και περικλείει τον σπόρο, είναι γνωστό ως περικάρπιο (Gillaspy *et al.*, 1993). Το περικάρπιο του καρπού της τομάτας αποτελείται από τρεις διαφορετικούς τύπους ιστών: το ενδοκάρπιο, το μεσοκάρπιο και το εξωκάρπιο (φλοιός καρπού) (Osman *et al.*, 1999) Το χρώμα των ώριμων φρούτων μπορεί να είναι κόκκινο, ροζ, πορτοκαλί, κίτρινο ή λευκό. Πλέον οι εμπορικές ποικιλίες είναι κόκκινες ή ροζ. Ο καρπός της τομάτας ταξινομείται ως κλιμακτηριακός καρπός, στον οποίο η έναρξη της ωρίμανσης συνοδεύεται από αύξηση τόσο της αναπνοής όσο και της παραγωγής αιθυλενίου. Το αιθυλένιο παίζει κεντρικό ρόλο στην έναρξη πρώιμων βιοχημικών συμβάντων κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης (Mattoo and Suttle, 1991).

## 1.9.4 Χρήσεις και θρεπτική αξία

Ο καρπός της τομάτας μπορεί να καταναλωθεί ώριμος νωπός ως σαλάτα με άλλα φυλλώδη λαχανικά, αποξηραμένος, τουρσί, σε πολτό, βραστός, τηγανητός και ψημένος, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό με άλλα υλικά. Επίσης μπορεί να υποστεί επεξεργασία ως: κέτσαπ, λιαστή, κονσέρβα, σκόνη, σάλτσα, σούπα, πουρέ, χυμό, κονσέρβες ολόκληρων φρούτων κ.α. Το γεγονός ότι η τομάτα είναι τόσο γνωστή είναι απόλυτα δικαιολογημένο διότι είναι ένας

καρπός πλούσιος σε βιταμίνες ιδίως βιταμίνη C, λυκοπένιο έχοντας ταυτόχρονα δελεαστικό χρώμα και άρωμα (Fatima *et al.*, 2008).

Πιο συγκεκριμένα η τομάτα είναι πλούσια σε Fe και βιταμίνες A, B και C. Η κατανάλωση μόλις 230 g τομάτας μπορεί να προσφέρει περίπου το 60% της συνιστώμενης ημερήσιας δόσης βιταμίνης C σε ενήλικες και 85% στα παιδιά. Ομοίως κατανάλωση 100 mL χυμού τομάτας παρέχει το 20% της συνιστώμενης ημερήσιας δόσης βιταμίνης A. Επιπλέον η κατανάλωση τομάτας και των προϊόντων της έχει συνδεθεί με την μείωση του κινδύνου ανάπτυξης καρκίνου του παχέος εντέρου, του ορθού, του στομάχου και του καρκίνου του προστάτη. Αυτές οι ευεργετικές ιδιότητες οφείλονται στην περιεκτικότητα των καρπών στο αντιοξειδωτικό καροτενοειδές, λυκοπένιο (Sainju *et al.*, 2003).

### **1.9.5 Απαιτήσεις σε μικρόκλιμα**

Η τομάτα μπορεί να αναπτυχθεί ικανοποιητικά στο χώμα, σε οργανικά υποστρώματα, σε περλίτη, άμμο, μείγματα υποστρωμάτων κ.α.. Η απόδοση και η ποιότητα των καρπών της τομάτας επηρεάζονται άμεσα από τις παραμέτρους του μικροκλίματος. Οι κύριοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκηπιακή τομάτα περιλαμβάνουν τις θερμοκρασίες αέρα και ριζικής ζώνης, τη σχετική υγρασία (RH), τις συνθήκες φωτισμού (L), τις ασθένειες και τα έντομα καθώς και το διοξείδιο του άνθρακα (Jones, 2013). Ο έλεγχος και η επαρκής διαχείριση αυτών των παραμέτρων, προκειμένου να επιτευχθούν μέγιστες αποδόσεις με ελάχιστες εισροές ενέργειας, έχει άμεσο αντίκτυπο στην ανάπτυξη της τομάτας και παίζει καθοριστικό ρόλο στην πρόληψη του στρες στις καλλιέργειες (Shamshiri *et al.*, 2018).

#### **1.9.5.1 Θερμοκρασία**

Βέλτιστη θερμοκρασία αέρα για την ανάπτυξη φύλλων θεωρείται 22°C, 22-26°C για την παραγωγή καρπών και 22-25°C για την ανάπτυξη και την καρπόδεση (Sato *et al.*, 2000). Γενικά, οι τιμές μεταξύ 18,3 και 32,2°C θεωρούνται οι βέλτιστες θερμοκρασίες αέρα για την τομάτα κατά τη διάρκεια ολόκληρης της καλλιεργητικής περιόδου (Cherie, 2010, Hochmuth και Hochmuth, 2012).

#### **1.9.5.2 Υγρασία**

Επιπλέον, το βέλτιστο εύρος σχετικής υγρασίας καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης είναι μεταξύ 50-70%. Μελέτες δείχνουν επίσης ότι η επικονίαση της τομάτας ενισχύεται όταν η RH είναι περίπου 60% (Harel *et al.*, 2014). Τιμές υψηλότερες από 35°C θα μειώσουν επίσης

την καρπόδεση και καθυστερούν την ανάπτυξη φυσιολογικού χρώματος των φρούτων (Jones, 2013).

#### **1.9.6 Στάδια ανάπτυξης της τομάτας**

Τα πέντε στάδια ανάπτυξης της τομάτας περιλαμβάνουν την βλάστηση και τα αρχικά στάδια ανάπτυξης (μεταξύ 25 και 35 ημέρες), τη βλαστική περίοδο (20 έως 25 ημέρες), την ανθοφορία (20 έως 30 ημέρες), την πρώιμη καρποφορία (20 έως 30 ημέρες) και την ώριμη καρποφορία (15 έως 20 ημέρες) (Jones., 2013 και García *et al.*, 2011). Οι ακριβείς ημέρες κάθε σταδίου εξαρτώνται από τις ποικιλίες και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία του αέρα, το φως, το έδαφος και τα θρεπτικά συστατικά. Η μέση διάρκεια από τη μεταφύτευση έως το στάδιο της καρποφορίας για τις περισσότερες ποικιλίες τομάτας, είναι μεταξύ 65 και 100 ημέρες. Ο εκτιμώμενος χρόνος από τη φύτευση έως την εμπορεύσιμη ωριμότητα είναι μεταξύ 50 και 65 ημέρες για πρώιμες ποικιλίας και μεταξύ 85 και 100 ημέρες για όψιμη ποικιλία (Jones, 2013).

#### **1.10 Σκοπός**

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής διατριβής ήταν η συγκριτική μελέτη και αξιολόγηση υποστρώματος περλίτη και τριών μειγμάτων αυτού με κοκοφοίνικα, ζεόλιθο και βερμικουλίτη. Μελετήθηκε η επίδραση αυτών στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη συγκέντρωση χλωροφύλλης σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

## **2. Υλικά και Μέθοδοι**

### **2.1 Τοποθεσία**

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Βελεστίνο του νομού Μαγνησίας, όπου βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Όσον αφορά το αγρόκτημα απέχει 17 χιλιόμετρα από την πόλη του Βόλου, έχει γεωγραφικό πλάτος 39° 44' και γεωγραφικό μήκος 22° 79' με υψόμετρο τα 85 μέτρα. Το κλίμα της περιοχής αναφέρεται ως μεσογειακό-ηπειρωτικό, με ηπιούς χειμώνες και υδροθερμικές συνθήκες το καλοκαίρι. Τέλος η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 4°C κατά τον ψυχρότερο μήνα και 37°C περίπου τον θερμότερο μήνα.

### **2.2 Διάρκεια καλλιεργητικής περιόδου**

Το πείραμα είχε διάρκεια 4 μήνες, από τον Αύγουστο (17/08/2020) έως τον Δεκέμβριο (20/12/2020).

### **2.3 Εγκατάσταση καλλιέργειας**

Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε στις 17/08/2020 ενώ τα φυτά είχαν σχηματίσει 4-5 πραγματικά φύλλα. Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο συνολικής έκτασης 160 m<sup>2</sup>. Τα φυτά τομάτας (*Solanum lycopersicum*, cv. *Nissos*) αναπτύχθηκαν σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα με πυκνότητα φύτευσης 3 φυτά m<sup>-2</sup>. Η τοποθέτηση των υποστρωμάτων έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε διαβροχή των σάκων μέχρι το σημείο κορεσμού βάσει της συνταγής παραγωγής θρεπτικού διαλύματος διαβροχής που χρησιμοποιήθηκε. Στη συνέχεια, ακολούθησε ο έλεγχος και η συνεχής προσθήκη θρεπτικού διαλύματος για τη συμπλήρωση του εξατμισμένου διαλύματος, έτσι ώστε τα υποστρώματα να παραμένουν κορεσμένα για τουλάχιστον 2 ολόκληρες ημέρες.



**Εικόνα 1** Το θερμοκήπιο στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα

## **2.4 Φυτά – Υποστρώματα**

Τα σπορόφυτα που χρησιμοποιήθηκαν είναι του είδους (*Solanum lycopersicum*) και ποικιλίας Nissos. Τα φυτά τοποθετήθηκαν σε μείγματα υποστρωμάτων περλίτη κοκκοφοίνικα (PC), περλίτη κοκκοφοίνικα βερμικουλίτη (PCV) και περλίτη κοκκοφοίνικα ζεόλιθου (PCZ) καθώς και σε σκέτο περλίτη (P) που ορίστηκε ως μάρτυρας (σάκοι περλίτη ή μίγματος Hydroperl 33L, NORDIA AGRO, Athens, Greece). Τα φυτά τοποθετήθηκαν σε πέντε κανάλια , ένα κανάλι για τα υποστρώματα PC, PCV, PCZ καθώς και δύο κανάλια για το υπόστρωμα μάρτυρα P. Σε κάθε αρδευτικό κανάλι ήταν τοποθετημένοι δεκατρείς σάκοι. Σε κάθε σάκο υπήρχαν τρία φυτά με αποστάσεις φύτευσης τρία φυτά ανά m<sup>2</sup>. Συνεπώς, για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 234 φυτά τομάτας. Οι σάκοι είχαν τοποθετηθεί πάνω σε πάγκους, ύψους 0,5 πάνω από το έδαφος. Για την υποβοήθηση της στράγγισης οι πάγκοι είχαν 1-2% κλίση.

## **2.5 Καλλιεργητικές φροντίδες**

Για την ανάπτυξη της καλλιέργειας ακολουθήθηκαν οι συνήθεις καλλιεργητικές επεμβάσεις που εφαρμόζονται στα εμπορικά θερμοκήπια. Ο στόχος ήταν η δημιουργία μονοστέλεχου φυτού (διατήρηση ενός βλαστού ανά φυτό) και πέντε καρπούς ανά ταξικαρπία. Για την υποστύλωση των φυτών χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί σπάγκοι οι οποίοι στηρίζονταν σε οριζόντια σύρματα δύο μετρά πάνω από το έδαφος του θερμοκηπίου, τα οποία ήταν τοποθετημένα για αυτό το σκοπό εξ αρχής. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος (μονοστέλεχο φυτό) απαραίτητη ήταν η τακτική αφαίρεση πλαγίων βλαστών χειρωνακτικά



καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος αλλά πιο συγκεκριμένα 2-3 φορές την εβδομάδα τους πρώτους δύο μήνες και δύο φορές τους δύο επόμενους. Για την εξασφάλιση της επικονίασης τοποθετούνταν κυψέλες με έντομα τους γένους *Bombus terrestris*. Τέλος ο τερματισμός της καλλιέργειας με κορφολόγημα πριν την όγδοη ταξιανθία πραγματοποιήθηκε μέσα Οκτώβρη (δύο μήνες πριν το τέλος της συγκομιδής) με σκοπό την επιτάχυνση της ωρίμανσης των ήδη υπάρχοντων καρπών και ταυτόχρονα την διακοπή της παραγωγής εκ νέου φύλλων και ταξιανθιών, που δεν θα προλάβαιναν να ωριμάσουν.



**Εικόνα 2** Η καλλιέργεια σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης



**Εικόνα 3** Η καλλιέργεια σε μεταγενέστερο στάδιο ανάπτυξης

## 2.6 Λίπανση και Άρδευση

Η παροχή του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας στο ριζικό σύστημα των φυτών έγινε μέσω του συστήματος της στάγδην άρδευσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν 360 σταλάκτες για την άρδευση των φυτών (περίπου 5 σταλάκτες ανά υπόστρωμα). Τα κύρια μέρη του συστήματος είναι το σύστημα ανάμιξης και το σύστημα άρδευσης. Το σύστημα ανάμιξης των λιπασμάτων αποτελούσαν από δύο δεξαμενές μητρικών διαλυμάτων, μια δεξαμενή αποθήκευσης του νιτρικού οξέος (απαραίτητου για τη ρύθμιση του pH του θρεπτικού διαλύματος), αντλίες έγχυσης, την κεφαλή υδρολίπανσης, το δοσομετρητή νερού, το φίλτρο και τους αισθητήρες pH και EC. Το σημαντικότερο μέρος του συστήματος είναι η κεφαλή υδρολίπανσης, η οποία είναι υπεύθυνη για την παραγωγή και την ανάμιξη ενός ομοιογενούς θρεπτικού διαλύματος απαραίτητου για την τροφοδοσία και την κάλυψη των αναγκών των φυτών σε θρεπτικά συστατικά και νερό. Η πρώτη δεξαμενή περιλάμβανε τα λιπάσματα που περιέχουν Ca, NH<sub>4</sub> και χηλικό σίδηρο, ενώ η δεύτερη δεξαμενή τα λιπάσματα που περιέχουν θειικά και φωσφορικά άλατα για αποφυγή σχηματισμού ιζήματος

λόγω της χαμηλής διαλυτότητας  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  και  $\text{CaSO}_4$ . Το τελικό θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας παρασκευαζόταν μετά από ανάμιξη ίσης ποσότητας θρεπτικών διαλυμάτων από κάθε δεξαμενή με οξέα και νερό. Η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις δεξαμενές αποθήκευσης του έτοιμου διαλύματος τροφοδοσίας χωρητικότητας 100L, καθώς και τέσσερις δεξαμενές συλλογής των τελικών απορροών. Το σύστημα άρδευσης ενεργοποιούνταν ένδεκα φορές τη μέρα με διάρκεια δύο λεπτών. Ο συνολικός όγκος του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης αλλά και απορροής, καταγράφονταν αυτόματα σε μια βάση δεδομένων της Access παρέχοντας πληροφορίες σχετικές στο σύνολο της διαδικασίας της άρδευσης. Το έτοιμο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας που παραγόταν στην κεφαλή υδρολίπανσης μεταφερόταν στη συνέχεια στις τέσσερις δεξαμενές άρδευσης όπου αποθηκευόταν προσωρινά. Στη συνέχεια σωληνώσεις κατασκευασμένες από PVC οδηγούσαν το θρεπτικό διάλυμα από τις δεξαμενές στους σταλάκτες και μέσω αυτών οδηγούσαν στο εσωτερικό του υποστρώματος και ώστε να γίνει διαθέσιμο στα φυτά. Η παροχή των σταλακτών ήταν  $2\text{Lh}^{-1}$ . Τοποθετήθηκαν πέντε σταλάκτες ανά σάκο τέσσερις ανά φυτό και ένας επιπλέον που οδηγούσαν κατευθείαν μέσα στο σάκο.

## **2.7 Μετρήσεις φωτοσύνθεσης**

Οι μετρήσεις φωτοσύνθεσης πραγματοποιούνταν μία φορά την εβδομάδα. Για τις μετρήσεις επιλέχθηκαν νεαρά, πλήρους ανάπτυξης φύλλα και συγκεκριμένα είκοσι ανά μεταχείριση. Η φωτοσύνθεση εκφράστηκε σε  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Για τις μετρήσεις της φωτοσύνθεσης χρησιμοποιήθηκε το LCpro<sup>+</sup> 1.0 ADC (Bioscientific Ltd., Hoddesdon, Hertfordshire, UK).

## **2.8 Μετρήσεις χλωροφύλλης**

Οι μετρήσεις της περιεχόμενης χλωροφύλλης των φύλλων, των υπό εξέταση καλλιεργειών, πραγματοποιούνταν μια φορά την εβδομάδα. Αντίστοιχα με τις μετρήσεις φωτοσύνθεσης επιλέχθηκαν είκοσι φύλλα ανά μεταχείριση. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν σε φύλλα ίδιας ηλικίας, πλήρους ανάπτυξης, όπου τρεις ενδείξεις λαμβάνονταν από διαφορετικά σημεία του ίδιου φύλλου. Από τις ενδείξεις αυτές πρόκυπτε μέσος όρος ο οποίος αποτελούσε και την τελική ένδειξη. Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης χλωροφύλλης των φύλλων χρησιμοποιήθηκε το Chlorophyll Meter SPAD -502 Plus (Konica Minolta Europe).

## 2.9 Μετρήσεις ξηρής ουσίας

Για τον προσδιορισμό της ξηρής ουσίας πραγματοποιήθηκε μια καταστροφική μέτρηση στις 6/10/2020. Εκκρίζωθηκαν κατά την οποία τρία φυτά ανά μεταχείριση με σκοπό την μέτρηση της περιεχόμενης ξηρής ουσίας των φύλλων και των βλαστών τους. Έπειτα αφαιρέθηκαν όλα τα φύλλα και τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες μαζί με τους βλαστούς. Στη συνέχεια, μετρήθηκε το νωπό τους βάρος και κατόπιν τοποθετήθηκαν σε φούρνο ξήρανσης στους 75°C, έως ότου αποκτήσουν σταθερό βάρος. Τέλος τα δείγματα ζυγίστηκαν ξανά και έγινε καταγραφή του ξηρού τους βάρους, ώστε να γίνει ο προσδιορισμός της περιεχόμενης ξηρής ουσίας. Ο προσδιορισμός έγινε σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Ξηρή ουσία (\%)} = \frac{\text{Ξηρό Βάρος}}{\text{Νωπό Βάρος}} * 100$$

## 2.10 Μετρήσεις παραγωγής

Η συγκομιδή των καρπών πραγματοποιούνταν μια φορά την εβδομάδα και ο κάθε καρπός ζυγιζόταν ξεχωριστά, ελεγχόταν για τυχόν ανωμαλίες ή προσβολές και κατατάσσονταν σε εμπορικό ή μη. Οι παράγοντες που εξετάστηκαν ήταν η συνολική παραγωγή της κάθε σειράς καθώς και το μέσο βάρος καρπού για κάθε μεταχείριση.

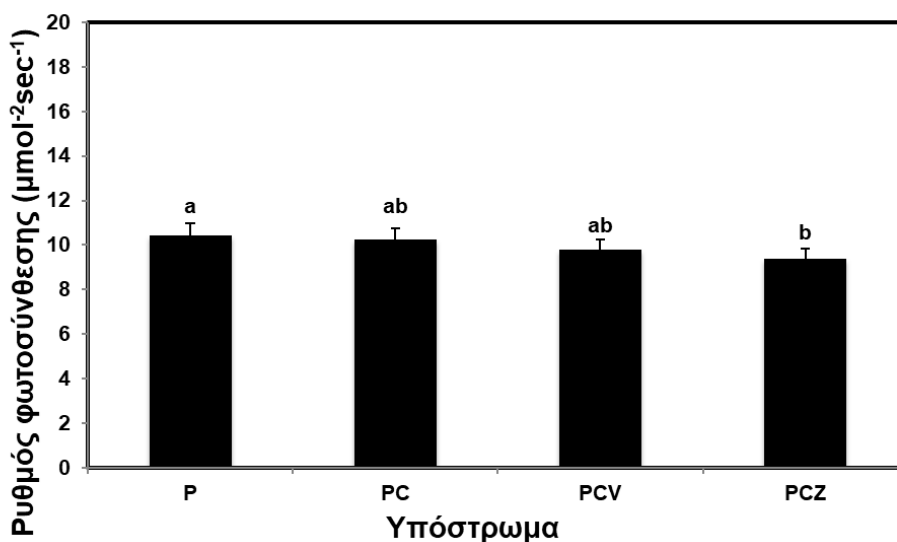
## 2.11 Στατιστική ανάλυση

Οι μετρήσεις επεξεργάστηκαν και αξιολογήθηκαν με τη βοήθεια του στατιστικού λογισμικού προγράμματος SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, IBM, USA) εφαρμόζοντας το κριτήριο one-way ANOVA με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ( $p < 0,05$ ). Η μέση τιμή των μετρήσεων προσδιορίστηκε ως προς τη μεταβλητότητα υπολογίζοντας το τυπικό σφάλμα ή την τυπική απόκλιση των τιμών.

### 3. Αποτελέσματα

#### 3.1 Ρυθμός φωτοσύνθεσης

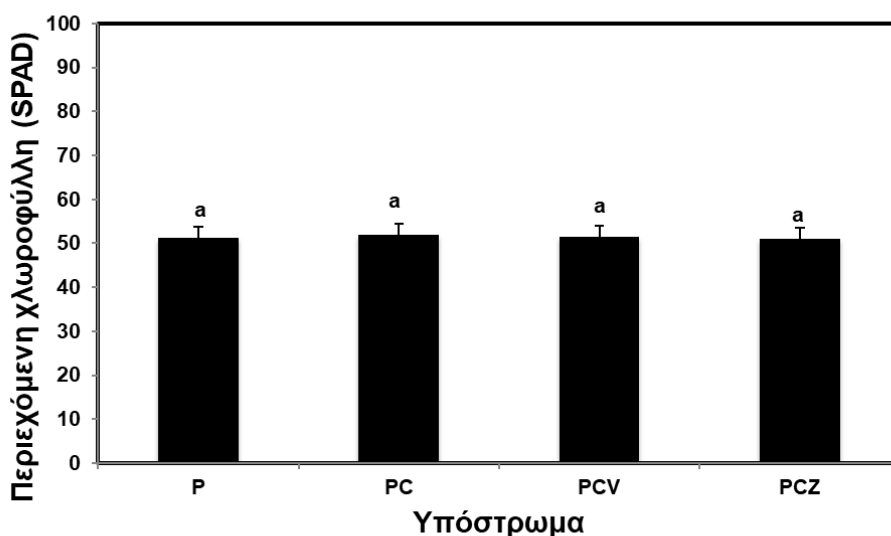
Σύμφωνα με το Διάγραμμα 1, τα φυτά που αναπτύσσονταν στα υποστρώματα υδροπονικού περλίτη παρουσίασαν τους υψηλότερους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς. Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης για αυτά τα υποστρώματα ήταν  $10,45 \mu\text{mol}^{-2}\text{sec}^{-1}$ , για το μείγμα περλίτη – κοκοφοίνικα  $10,26 \mu\text{mol}^{-2}\text{sec}^{-1}$ , για το μείγμα περλίτη κοκοφοίνικα βερμικουλίτη  $9,78 \mu\text{mol}^{-2}\text{sec}^{-1}$  και για το μείγμα περλίτη κοκοφοίνικα ζεόλιθο  $9,37 \mu\text{mol}^{-2}\text{sec}^{-1}$ . Αντίθετα τα φυτά που αναπτύσσονταν σε υποστρώματα μίγματος περλίτη, κοκοφοίνικα και ζεόλιθου είχαν τους μικρότερους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς και παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.



**Διάγραμμα 1.** Διακύμανση των τιμών του ρυθμού φωτοσύνθεσης των φυτών των τεσσάρων υποστρωμάτων

### 3.2 Περιεχόμενη χλωροφύλλη φύλλων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, οι τιμές της περιεχόμενης χλωροφύλλης για το υπόστρωμα του περλίτη βρέθηκε 51,17, για το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα 51,94, για το μείγμα περλίτη κοκοφοίνικα βερμικουλιτή 51,49 και τέλος για το μείγμα περλίτη κοκοφοίνικα ζεόλιθο 51,01. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 2, οι τιμές της χλωροφύλλης φάνηκε να μη διαφέρουν στατιστικά και επομένως να μην επηρεάζονται από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις.

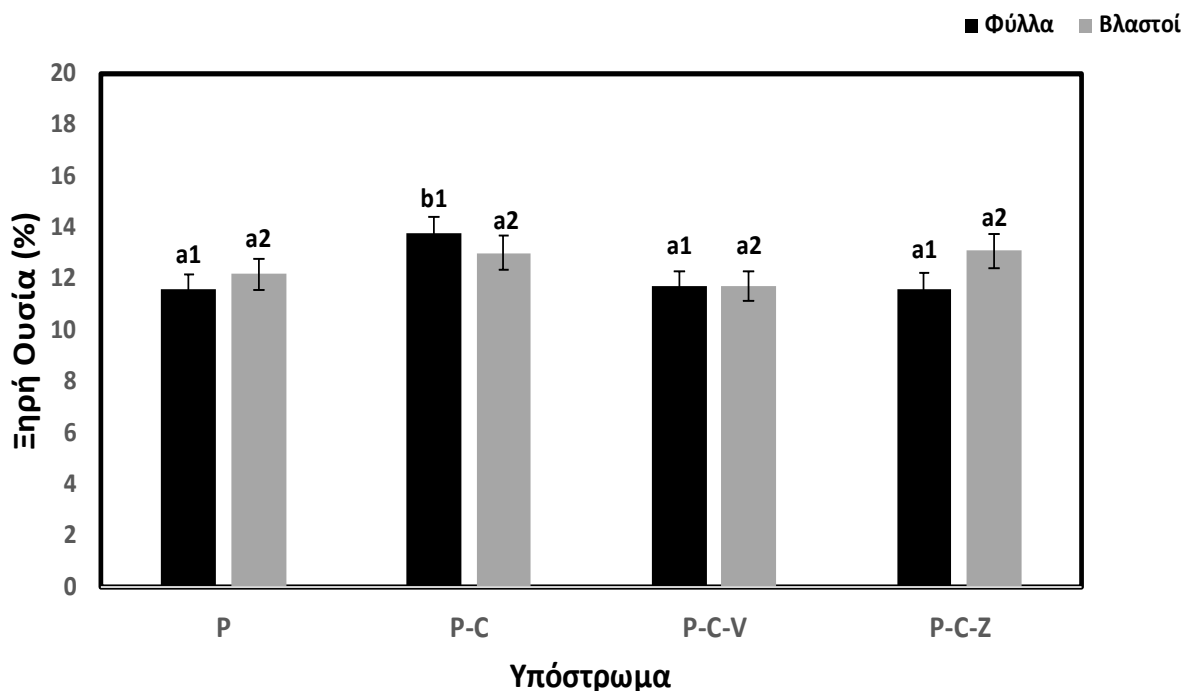


**Διάγραμμα 2.** Περιεχόμενη χλωροφύλλη φύλλων φυτών τομάτας ανά μεταχείριση

### 3.3 Ξηρή ουσία φύλλων και βλαστών

Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 3, η ξηρή ουσία των φύλλων επηρεάστηκε από τον τύπο του υποστρώματος με τα φυτά που αναπτύχθηκαν στους σάκους μίγματος υδροπονικού περλίτη και κοκοφοίνικα, να παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές, και να διαφέρουν σημαντικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Αντίθετα η περιεχόμενη ξηρή ουσία των βλαστών δεν επηρεάστηκε από τους διαφορετικούς τύπους υποστρωμάτων. Αναλυτικότερα οι τιμές ξηρής ουσίας φύλλων που προέκυψαν, ήταν 11,59 % για το υπόστρωμα του περλίτη, 13,77% για το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα, 11,74% για το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα–βερμικουλιτή και 11,64% για το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα–ζεόλιθου. Επιπλέον οι τιμές ξηρής ουσίας βλαστών ήταν 12,20% για το υπόστρωμα του περλίτη, 13,03% για το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα, 11,73% για το μείγμα περλίτη– κοκοφοίνικα–

βερμικουλίτη και 13,11% για το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα–ζεόλιθου. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από καταστροφική μέτρηση που διεξήχθη στις 6/10/20.

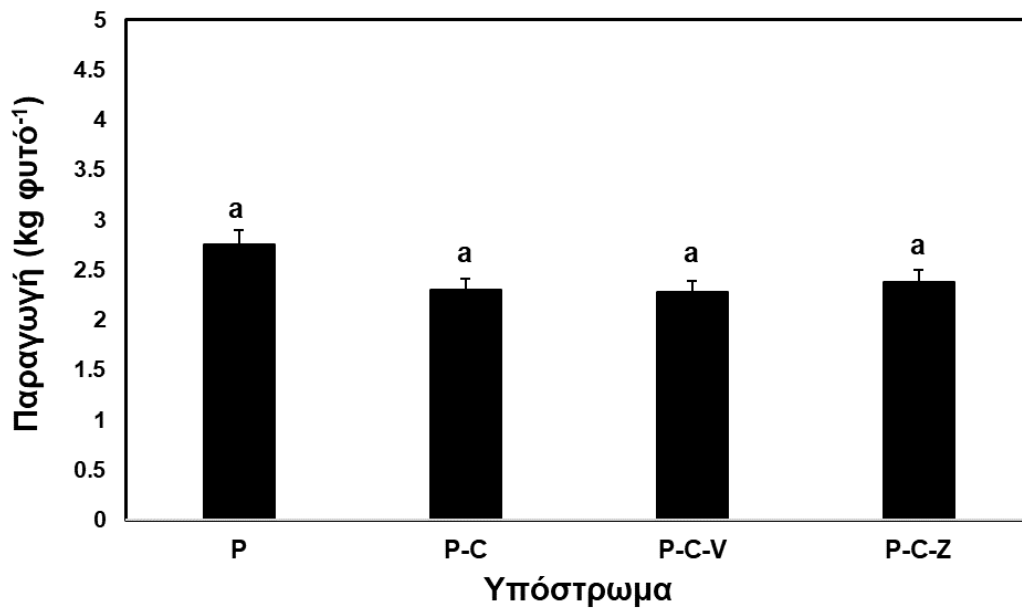


**Διάγραμμα 3.** Περιεχόμενη ξηρή ουσία φύλλων και βλαστών φυτών τομάτας κατά την καλλιεργητική περίοδο

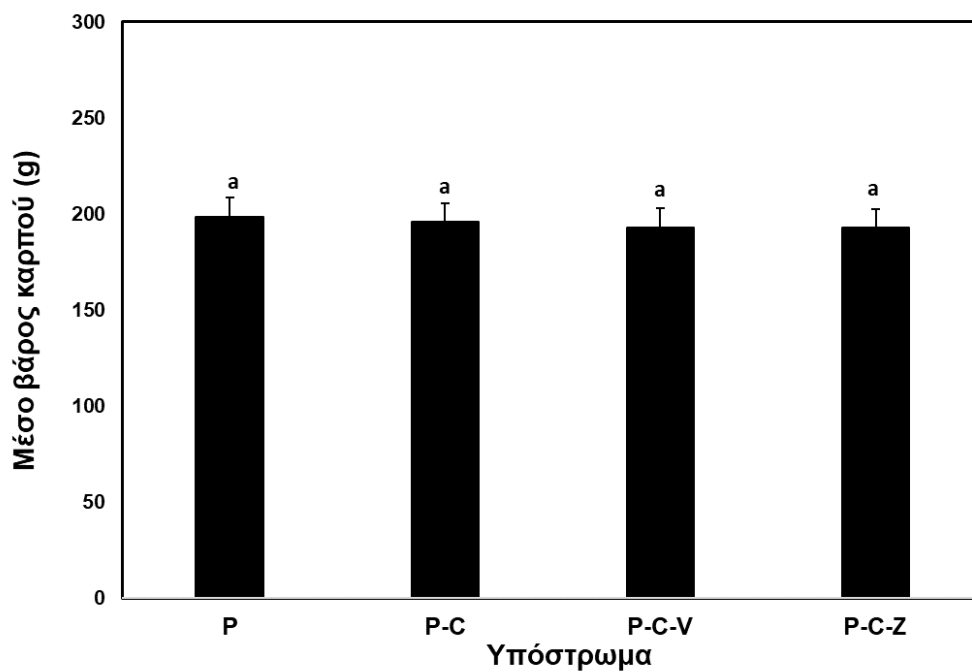
### 3.4 Παραγωγή

Η παραγωγική περίοδος πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 29/10/2020 – 22/12/2020, όπου έλαβαν χώρα οκτώ συγκομιδές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με την παραγωγή, εκφρασμένη σε κιλά καρπού/φυτό, ήταν 2,76 κιλά για το υπόστρωμα του περλίτη, 2,3 κιλά για το μείγμα υποστρώματος περλίτη –κοκοφοίνικα, 2,28 κιλά για το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα–βερμικουλίτη και 2,38 κιλά για το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα–ζεόλιθο. Από το Διάγραμμα 4, γίνεται αντιληπτό ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα περλίτη παρουσίασαν τα καλύτερα αποτελέσματα όσων αφορά τη συνολική παραγωγή καρπών, χωρίς όμως αυτή η τιμή να φέρει στατιστικά σημαντική διαφορά σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Όμοια αποτελέσματα παρουσιάζονται και στο διάγραμμα 5, που αφορά το μέσο βάρος καρπού ανά μεταχείριση, με το υπόστρωμα του περλίτη να παρουσιάζει μέσο βάρος καρπού 198,45g, το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα 195,96 g, το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα–βερμικουλίτη 193,16g και τέλος το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα–ζεόλιθο 192,7g. Επίσης τα καλύτερα αποτελέσματα καταγράφηκαν

στα υποστρώματα μόνο με περλίτη, χωρίς όμως να διαφέρουν κι αυτά στατιστικά σημαντικά από τα υπόλοιπα μείγματα υποστρωμάτων.



**Διάγραμμα 4.** Παραγωγή φυτών τομάτας εκφρασμένη ως kg καρπού ανά φυτό



**Διάγραμμα 5.** Μέσο βάρος καρπού ανά μεταχείριση

### 3.5 Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία προέκυψε ότι τα φυτά που ήταν τοποθετημένα σε υποστρώματα υδροπονικού περλίτη είχαν καλύτερο φωτοσυνθετικό ρυθμό, από τα υπόλοιπα μείγματα υποστρωμάτων. Λόγω της μειωμένης ικανότητας συγκράτησης νερού του περλίτη, θα ήταν λογικό να παρατηρηθούν μικρότερες τιμές χλωροφύλλης στα φυτά και κατ' επέκταση φωτοσύνθεσης, μιας και σύμφωνα με τους Nyachiro *et al.*, 2001 σε συνθήκες μειωμένου νερού η φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών περιορίστηκε. Αντίθετα στο πείραμά μας, ο ρυθμός φωτοσύνθεσης όχι μόνο δεν ήταν μειωμένος αλλά είχε την υψηλότερη τιμή. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην καλύτερη αξιοποίηση του αρδευτικού νερού που πραγματοποιήθηκε στα υποστρώματα του περλίτη καθώς και στο γεγονός ότι η καλλιέργεια έλαβε χώρα κατά τη χειμερινή περίοδο, άρα και οι ανάγκες σε νερό ήταν μειωμένες λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών που επικρατούν αυτήν την περίοδο.

Όσον αφορά τις μετρήσεις της χλωροφύλλης των φύλων των φυτών τομάτας, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων, με τα υποστρώματα με το μείγμα περλίτη–κοκοφοίνικα να έχουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Αυξημένη συγκέντρωση χλωροφύλλης παρατηρήθηκε και στην εργασία των Ahmadizadeh *et al.*, 2012, όπου σε καλλιέργεια φράουλας, οι υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης καταγράφηκαν στο υπόστρωμα με μείγμα περλίτη και κοκοφοίνικα. Η εξαιρετική ικανότητα αερισμού του περλίτη σε συνδυασμό με την ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών του κοκοφοίνικα αλλά ταυτόχρονα και λόγω της βελτιωμένης ανταλλαγής κατιόντων που προκύπτει από το συνδυασμό τους, καθιστούν το μείγμα τους ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη της ρίζας των φυτών. Γενικότερα τα υποστρώματά με την μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού είναι και αυτά που πετυχαίνουν καλύτερες αποδόσεις στις καλλιέργειες αλλά και στην ανάπτυξη των φυτών (Ahmadizadeh *et al.*, 2012).

Σε αντίθεση με τα ευρήματα των Olle *et al.*, 2012, στο παρόν πείραμα ο τύπος του υποστρώματος φαίνεται ότι επηρεάζει την συσσώρευση βιομάζας στα φυτά τομάτας. Πιο συγκεκριμένα, υψηλότερες τιμές βιομάζας παρατηρήθηκαν στα φυτά που είχαν αναπτυχθεί σε σάκους μείγματος περλίτη και κοκοφοίνικα, ενώ οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στα φυτά των σάκων που περιείχαν βερμικουλίτη. Τα παραπάνω αποτελέσματα πιθανόν συνδέονται με την αυξημένη υδατοικανότητα του κοκοφοίνικα αφού σύμφωνα με τους Asaduzzaman *et al.*, 2015 η επαρκής παροχή νερού και θρεπτικών συστατικών αυξάνει την απορρόφηση αυτών από τα φυτά και συνεπάγεται υψηλότερη παραγωγή ξηράς ουσίας.



Όσον αφορά τα παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, βρέθηκε ότι τα φυτά τομάτας που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα περλίτη παρουσίασαν υψηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα που περιείχαν προσμίξεις κοκοφοίνικα, χωρίς όμως οι τιμές αυτές να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα αυτά, έρχονται σε συμφωνία με τα αυτά των Ghehsareh *et al.*, 2011, Grunert *et al.*, 2008, Olle *et al.*, 2012, οι οποίοι επίσης αναφέρουν ότι η προσθήκη ζεόλιθου σε μίγματα περλίτη δεν φαίνεται να βελτιώνει την απόδοση των φυτών.

### **3.6 Συμπεράσματα**

Ανακεφαλαιώνοντας καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι η χρήση μειγμάτων περλίτη είναι ασφαλής για καλλιέργεια τομάτας χωρίς να τη δυσχεραίνουν. Οι φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών δεν φάνηκε να επηρεάζονται αρνητικά. Λόγω της έλλειψης βιβλιογραφίας στον τομέα των μειγμάτων περλίτη με τις συγκεκριμένες προσμίξεις, το αντικείμενο χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

## Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

- Acuña, R.A., Bonachela, S., Magán, J.J., Marfà, O., Hernández, J.H., and Cáceres, R. (2013). Reuse of rockwool slabs and perlite grow-bags in a low-cost greenhouse: Substrates' physical properties and crop production. *Scientia Horticulturae* 160, 139–147.
- Ahmadizadeh, M., Ebrahimi, R., and Ebrahimi, F. (2012). Effect of Different Substrates on Herbaceous Pigments and Chlorophyll Amount of Strawberry in Hydroponic Cultivation System. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 12, 154–158.
- Ali, M. (2010). Coconut fibre - A versatile material and its applications in engineering. In 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, pp. 1441–1454.
- Alkan, M. & Doğan, M., (1998). Surface Titrations of Perlite Suspensions. *JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE*, 207, 90–96.
- Asaduzzaman, Md., Saifullah, Md., Mollick, A.K.M.S.R., Hossain, Md.M., Halim, G.M.A., and Asao, T. (2015). Influence of Soilless Culture Substrate on Improvement of Yield and Produce Quality of Horticultural Crops. In *Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*, (InTech), p.
- Bailey, Douglas A., William C. Fonteno, and Paul V. Nelson. (1995). *Greenhouse Substrates and Fertilization*. North Carolina State University, Department of Horticultural Science: Raleigh, North Carolina.
- Bailey, L.H. (1949). *MANUAL OF CULTIVATED PLANTS*. The MacMillan Comp 1–23.
- Bar-Tal, A., Saha, U. K., Raviv, M., & Tuller, M. (2019). Inorganic and Synthetic Organic Components of Soilless Culture and Potting Mixtures. *Soilless Culture*, 259–301.
- Barbosa, G.L., Almeida Gadelha, F.D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G.M., and Halden, R.U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. Conventional agricultural methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12, 6879–6891.
- Bruinsma, J. (2009). *The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050?* (Rome).

- Burés, S., Marfà, O., Pérez, T., Tébar, J.A., and Lloret, A. (1997). Measure of substrates unsaturated hydraulic conductivity (refereed). In *Acta Horticulturae*, (International Society for Horticultural Science), pp. 297–303.
- Cherie E., 2010. *The Complete Guide to Growing Tomatoes: Everything You Need to Know Explained Simply - Including Heirloom Tomatoes*. Atlantic Publishing Group Inc. Ocala.
- Fatima T., Rivera-Domínguez M., Troncoso-Rojas R., Tiznado-Hernandez M., Handa A. and Mattoo A., 2008. Tomato In : *Compendium of Transgenic Crop Plants: Transgenic Vegetable Crops*, Blackwell Publishing, United States, pp.1-45
- García, M.L., Medrano, E., Sánchez-Guerrero, M.C., and Lorenzo, P. (2011). Climatic effects of two cooling systems in greenhouses in the Mediterranean area: External mobile shading and fog system. *Biosystems Engineering* 108, 133–143.
- Gashgari, R., Alharbi, K., Mughrbil, K., Jan, A., and Glolam, A. (2018). Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. In *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*, (Avestia Publishing), p.
- Ghehsareh, A.M., Samadi, N., and Borji, H. (2011). Comparison of date-palm wastes and perlite as growth substrates on some tomato growing indexes. *African Journal of Biotechnology* 10, 4871–4878.
- Gillaspy, G., Ben-David, H., and Gruissem, W. (1993). Fruits: A developmental perspective. *Plant Cell* 5, 1439–1451.
- Grillas, S., Lucas, M., Bardopoulou, E., Sarafopoulos, S., and Voulgari, M. (2001). Perlite based soilless culture systems: Current commercial applications and prospects. In *Acta Horticulturae*, (International Society for Horticultural Science), pp. 105–113.
- Grunert O., Perneel M., Vandaele S., 2008. *Peat-based organic growbags as a solution to the mineral wool waste problem*. *Mires and Peat* 3, 1–5.
- Gül, A., Eröul, D., and Ongun, A.R. (2005). Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. *Scientia Horticulturae* 106, 464–471.
- Gungor, F., and Yildirim, E. (2013). Effect of different growing media on quality, growth and yield of pepper (*Capsicum annuum* L.) under greenhouse conditions. *Pakistan Journal of Botany* 45, 1605–1608.

Hanna, H.Y. (2005). Properly recycled perlite saves money, does not reduce greenhouse tomato yield, and can be reused for many years. *HortTechnology* 15, 342–345.

Hanna, K.E. (2002). Capital Report: Extraordinary Measures for Countermeasures to Terrorism: FDA's "Animal Rule." *The Hastings Center Report* 32, 9.

Harel, D., Fadida, H., Slepoy, A., Gantz, S., and Shilo, K. (2014). The effect of mean daily temperature and relative humidity on pollen, fruit set and yield of tomato grown in commercial protected cultivation. *Agronomy* 4, 167–177.

Hoang, N.N., Kitaya, Y., Shibuya, T., and Endo, R. (2019). Development of an in vitro hydroponic culture system for wasabi nursery plant production—Effects of nutrient concentration and supporting material on plantlet growth. *Scientia Horticulturae* 245, 237–243.

Hochmuth G.J. and Hochmuth R.C., 2012. Production of greenhouse tomatoes - Florida greenhouse vegetable production handbook, Selection of Cultivars. *Production*, 3, 1-18.

Islam, S. (2008). Evaluating performance of ecologically sound organic substrates under different temperature regimes. *International Journal of Agriculture and Biology* 10, 297–300.

Jenkins, J.A. (1948) The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany* 2, 379–392.

Jones Jr.J.B.(2013) Instructions for Growing Tomatoes: in the garden and greenhouse. CreateSpace Independent Publishing Platform.

Kaufhold, S., Reese, A., Schwiebacher, W., Dohrmann, R., Grathoff, G.H., Warr, L.N., Halisch, M., Müller, C., Schwarz-Schampera, U., and Ufer, K. (2014). Porosity and distribution of water in perlite from the island of Milos, Greece. *Journal of the Korean Physical Society* 3, 1–10.

Kole C.,2007. *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Kipp, J.A., Wever, W. and de Kreij, C. (2000). *International substrate manual*, Elsevier International Business Information, PO Box 4, 7000 BA, Doetinchem, The Netherlands.

Mattoo, A.K. and Suttle, J.C. (eds.) (1991) *The Plant Hormone Ethylene*. CRC Press, Boca Raton

Ming, D. W., & Mumpton, F. A. (1989). *Zeolites in Soils. Minerals in Soil Environments*. SSA Book Series No. 1. Madison: Soil Science Society of America

- Mumpton, F.A. (1999). La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96, 3463–3470.
- Nyachiro, J.M., Briggs, K.G., Hoddinott, J., and Johnson-Flanagan, A.M. (2001). Chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and water deficit in spring wheat. *Cereal Research Communications* 29, 135–142.
- Olle, M., Ngouajio, M., and Siomos, A. (2012). Vegetable quality and productivity as influenced by growing medium: A review. *Zemdirbyste* 99, 399–408.
- Osman, S.F., Irwin, P., Fett, W.F., O'Connor, J.V., and Parris, N. (1999). Preparation, isolation, and characterization of cutin monomers and oligomers from tomato peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47, 799–802.
- Owen W.G., Lopez R.G., (2015). Commercial Greenhouse and Nursery production : Evaluating Container Substrates and Their Components. Purdue Extension. HO-255-W, 1-10.
- PILL, W.G., and LAMBETH, V.N. (1975). VERMICULITE–PERLITE–CLAY MIXTURES AS CONTAINER GROWTH MEDIA. *Canadian Journal of Plant Science* 55, 771–774.
- Raviv, M. (2013). SWOT analysis of the use of composts as growing media components. *Acta Horticulturae* 1013, 191–202.
- Raviv M., Lieth H.J., 2008. SOILLESS CULTURE : THEORY AND PRACTICE. Publisher Elsevier, United States of America.
- Robertson, L.D., and Labate, J.A. (2006). Genetic resources of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.) and wild relatives. In *Genetic Improvement of Solanaceous Crops Volume 2: Tomato*, (CRC Press), pp. 25–75.
- Rodriguez, J.C., Cantliffe, D.J., Shaw, N.L., and Karchi, Z. (2006). Soilless media and containers for greenhouse production of “Galia” type muskmelon. *HortScience* 41, 1200–1205.
- Rouphael, Y., Colla, G., Battistelli, A., Moscatello, S., Proietti, S., and Rea, E. (2004). Yield, water requirement, nutrient uptake and fruit quality of zucchini squash grown in soil and closed soilless culture. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79, 423–430.

- Sato, S., Peet, M.M., and Thomas, J.F. (2000). Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. *Plant, Cell and Environment* 23, 719–726.
- Sainju, U.M., Dris, R., and Singh, B. (2003). Mineral nutrition of tomato. *Food, Agriculture & Environment* 1, 176–184.
- Schindler, U., Lischeid, G., and Müller, L. (2017). Hydraulic performance of horticultural substrates—3. Impact of substrate composition and ingredients. *Horticulturae* 3.
- Shamshiri, R.R., Jones, J.W., Thorp, K.R., Ahmad, D., Man, H.C., and Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: A review. *International Agrophysics* 32, 287–302.
- Viuda-Martos, M., Sanchez-Zapata, E., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., Pérez-Álvarez, J.A., and Fernández-López, J. (2014). Tomato and Tomato Byproducts. Human Health Benefits of Lycopene and Its Application to Meat Products: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54, 1032–1049.
- Vinci, G., and Rapa, M. (2019). Hydroponic cultivation: life cycle assessment of substrate choice. *British Food Journal* 121, 1801–1812.
- Wright, R. (1989). Evaluation of propagation mediums through rooting response of *Hedera helix* 'Ivalace'. *Ivy J.*, 15, 28–32.

## Ελληνική

- Σάββας Δ., 2011. Καλλιέργειες εκτός εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγροτύπος, Αθήνα.
- Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2017. Τεχνολογία θερμοκηπίων. Εκδόσεις UNIBOOKS I.K.E., Αθήνα.