

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Επιστήμες και Συστήματα Φυτικής Παραγωγής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

*"Συγκριτική αξιολόγηση αυτόριζων κι εμβολιασμένων υβριδίων τομάτας όσον αφορά το μηχανισμό ανοχής τους στην αλατότητα και επίδραση αυτού στη συσσώρευση NaCl στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε κλειστό υδροπονικό σύστημα."*

**Τσοπελόπουλος Α. Κωνσταντίνος**



Επιβλέπων Καθηγητής: Σάββας Δημήτριος

ΑΘΗΝΑ 2019

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Επιστήμες και Συστήματα Φυτικής Παραγωγής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

*"Συγκριτική αξιολόγηση αυτόριζων κι εμβολιασμένων υβριδίων τομάτας όσον αφορά το μηχανισμό ανοχής τους στην αλατότητα και επίδραση αυτού στη συσσώρευση NaCl στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε κλειστό υδροπονικό σύστημα."*

**Τσοπελόπουλος Α. Κωνσταντίνος**

Επιβλέπων Καθηγητής: Σάββας Δημήτριος

ΑΘΗΝΑ 2019

## Μεταπτυχιακή Διατριβή

*"Συγκριτική αξιολόγηση αυτόρριζων κι  
εμβολιασμένων υβριδίων τομάτας όσον αφορά το  
μηχανισμό ανοχής τους στην αλατότητα και επίδραση  
αυτού στη συσσώρευση NaCl στο ανακυκλούμενο Θ.Δ.  
σε κλειστό υδροπονικό σύστημα."*

**Τσοπελόπουλος Α. Κωνσταντίνος**

Επιβλέπων Καθηγητής  
Σάββας Δημήτριος

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Καραπάνος Ιωάννης  
Επίκουρος Καθηγητής

Τάνη Ελένη  
Λέκτορας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υϊοθέτηση κλειστών συστημάτων εκτός εδάφους καλλιέργειας επιτρέπει εξοικονόμηση λιπασμάτων και καλύτερη αποδοτικότητα χρήσης νερού. Συχνά ωστόσο παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (RNS), σαν απόρροια της χρήσης κακής ποιότητας αρδευτικού νερού, για τη παρασκευή θρεπτικού διαλύματος (Θ.Δ.). Ως εκ τούτου, η περιοδική απόρριψη του RNS κρίνεται απαραίτητη, με σκοπό τα ιόντα της αλατότητας να μη φτάσουν σε επιβλαβή για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών επίπεδα. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το παραπάνω πρόβλημα, η κατάλληλα αυτοματοποιημένη διαχείριση της διαδικασίας ανακύκλωσης, με τη βοήθεια υπολογιστικών προσομοιωμάτων μπορεί να μειώσει την απόρριψη διαλύματος απορροής. Στη παρούσα μελέτη εφαρμόσθηκε ένα ανάλογο μοντέλο προσομοίωσης της συσσώρευσης  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  σε κλειστό υδροπονικό σύστημα, το οποίο είχε αρχικά αναπτυχθεί από τους Savvas et al. (2005) και βαθμονομηθεί για καλλιέργεια τομάτας από τους Varlagas et al. (2010), ενώ αξιολογήθηκε περαιτέρω με τη χρήση διαφορετικών γονοτύπων τομάτας.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε πείραμα θερμοκηπίου όπου καλλιεργήθηκαν τέσσερα διαφορετικά υβρίδια τομάτας (*Solanum lycopersicum*), ανεπτυγμένα σε υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας ρηχού ρεύματος θρεπτικού διαλύματος (NFT). Ειδικότερα, τα υβρίδια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα “Lobello”, “Formula”, “Merillia” και “Belladonna”. Επιπλέον προκειμένου να ελεγχθεί κατά πόσο ο εμβολιασμός επηρεάζει τη συσσώρευση αλάτων στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, αλλά και τη μεταφορά τους στα υπέργεια φυτικά όργανα, τα υβρίδια “Merillia” και “Belladonna” εμβολιάστηκαν στο υποκείμενο “Armstrong” (*S. lycopersium* L.x *S. habrochaites*). Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε ανακυκλούμενο Θ.Δ. με τρεις επαναλήψεις ανά μεταχείριση και παράλληλα προβλέφθηκε η ύπαρξη επιπλέον μεταχειρίσεων ως border, έχοντας ως στόχο να αποκλειστεί η επίδραση εξωτερικών παραγόντων στην εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Η συγκέντρωση  $\text{NaCl}$  στο Θ.Δ. που παρεχόταν στο κλειστό σύστημα, σε αντικατάσταση αυτού που κατανάλωναν τα φυτά, ανερχόταν σε 0,6 ή 5 mM.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το μοντέλο έτεινε να υπερεκτιμά σε σημαντικό βαθμό τη συσσώρευση των αλάτων στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, ειδικότερα στις υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{NaCl}$ . Το παραπάνω αποδίδεται στο διαφορετικό τρόπο ανοχής στην αλατότητα των διαφόρων υβριδίων, καθώς επίσης στο ότι το εφαρμοζόμενο μοντέλο είχε αρχικά χρησιμοποιηθεί σε κλειστό υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας με υποστρώματα, ενώ στην υφιστάμενη μελέτη γίνεται εφαρμογή του σε σύστημα NFT. Επιπλέον καταδεικνύεται ο θετικός ρόλος του εμβολιασμού ως παράγοντας αύξησης της ανοχής των φυτών σε υψηλά επίπεδα αλάτων στο ριζόστρωμα. Ειδικότερα, ο εμβολιασμός στο υποκείμενο “Armstrong” έδειξε ότι δεν επηρεάζεται η συσσώρευση των αλάτων στο RNS, ωστόσο φαίνεται πως μετείχε ενεργά στην ανακατανομή των ιόντων της αλατότητας στα διάφορα φυτικά τμήματα.

**Επιστημονικό πεδίο:** καλλιέργειες εκτός εδάφους

**Λέξεις κλειδιά:** υδροπονία, NFT, Solanum lycopersicon, αλατότητα, εμβολιασμός, προσομοίωμα

## ABSTRACT

The adoption of closed-cycle soilless cultivation systems permits fertilizer savings and better water use efficiency. However, a gradual increase of the Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> concentrations in the recirculating nutrient solution (RNS) is quite common, as an aftereffect of using bad quality irrigation water for the purpose of formulating the nutrient solution (NS) needed. Therefore, rejecting the RNS on a regular basis is characterized essential so the saline ions not reach critical – for the yield and plant growth – levels. In order to cope with the problem subjected above, the properly automated management of the recycling procedure, with the use of mass balance models, could decrease the need of rejecting drainage solution. In the present study a similar model, which had previously developed by Savvas et al. (2005) and calibrated for hydroponic tomato cultivation by Varlagas et al. (2010), applied and further evaluated by the use of different tomato genotypes.

For this purpose, a greenhouse experiment was conducted where the cultivation of four different tomato (*Solanum lycopersicum*) hybrids took place, in a nutrient film technique (NFT) hydroponics system. More specifically, the hybrids used were the following: “Formula”, “Lobello”, “Merillia” and “Belladonna”. Furthermore, in order to inspect whether tomato grafting influences the saline ions accumulation in the recirculating nutrient solution, as well as their translocation in the plant tissues, the hybrids “Merillia” and “Belladonna” were grafted onto the rootstock “Armstrong” (*S. lycopersium* L.x *S. habrochaites*). The plants were cultivated in RNS with a number of three repetitions corresponding to each experimental unit, while at the same time, the use of additional units served “as borders” protected the experiment from negative effects, triggered by external factors. The NaCl concentration of the NS provided in order to compensate for transpiration losses, was corresponding to 0,6 or 5 mM.

The results showed that the model has a tendency to overestimate salt accumulation in the recirculating nutrient solution, especially at the high NaCl concentrations. The above is ascribed to the different ways of plant tolerance to abiotic stress, derived from high salinity levels. The fact that the model had firstly calibrated for closed system hydroponic tomato cultivation on substrates, whereas in this study its applied on an NFT system, should also be taken into account. Moreover, the positive effect of grafting as a factor of increasing plant salt tolerance, is demonstrated. More specifically, grafting on rootstock “Armstrong” showed that salt accumulation on RNS may not be affected, though as it seems, plays a great role on reallocating saline ions in different plant parts.

**Scientific field:** soilless culture

**Key words:** hydroponics, NFT, *Solanum lycopersicon*, salinity, grafting, model

*Στην οικογένεια μου*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρουσία μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμες και Συστήματα Φυτικής Παραγωγής» μου έδωσε τη δυνατότητα να διευρύνω τους ορίζοντές μου, τόσο σε επίπεδο επιστημονικό και συνάμα σε προσωπικό. Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής δε, αποτελεί το επιστέγασμα συνεχούς προσπάθειας για μάθηση, πρόοδο, κατάρτιση στο επιστημονικό πεδίο των καλλιεργειών εκτός εδάφους.

Θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιστημονικό υπεύθυνο του προγράμματος Καθηγητή κύριο Δημήτρη Σάββα, για τη καθοδήγηση, συνεργασία κι ασφαλώς υποστήριξη του, καθ' όλο το διάστημα συγγραφής της υφιστάμενης μελέτης. Οποσδήποτε, θερμές ευχαριστίες οφείλω στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Επίκουρο Καθηγητή κύριο Καραπάνο Ιωάννη για τις πολύ αξιόλογες συμβουλές του, καθώς και τη Λέκτορα κυρία Τάνη Ελένη για τη συμμετοχή της στην αξιολόγηση του παρόντος τεύχους. Ακόμη ευχαριστώ το προσωπικό του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών στο σύνολό του, καθώς αποτέλεσαν υπόδειγμα συνεργασίας κι αλληλεγγύης μεταξύ συναδέλφων, εργαζόμενοι ακούραστα για την εξυπηρέτηση όλων των επιστημονικών αναγκών των μελών του εργαστηρίου. Επιπλέον, θα ήθελα να υπογραμμίσω την μεγάλη συμβολή της Ερευνήτριας στον ΕΛΓΟ «Δήμητρα» κυρίας Ντάτση Γεωργίας, η οποία συμμετείχε ενεργά στη συγγραφή της παρούσας εργασίας και παράλληλα αποτέλεσε πηγή έμπνευσης και δύναμης στην ολοκλήρωση του προγράμματος εν γένει.

Καταλήγοντας ένα μεγάλο ευχαριστώ στους δικούς μου ανθρώπους, τους φίλους και την οικογένειά μου, για την αγάπη και συνεχή υποστήριξη – τόσο ηθική όσο και συναισθηματική – που αλόγιστα μου προσέφεραν, σε όλο το διάστημα της εκπλήρωσης των εκπαιδευτικών μου υποχρεώσεων. Τέλος, η ηθική μου το απαιτεί να σταθώ ιδιαίτερα στον αδερφό μου Γιάννη, τον οποίο ευχαριστώ με ζέση για τις παραινήσεις, αλλά και την υπομονή κι επιμονή του όποτε η ανάγκη το απαιτούσε.

Τσοπελόπουλος Κωνσταντίνος,

Ναύπλιο, Μάρτιος 2019



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	v
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	vi
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΕΣ</b> .....	viii
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΕΣ</b> .....	ix
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή</b> .....	1
1.1 Καλλιέργειες εκτός εδάφους – Υδροπονία .....	1
1.2 Βασικές έννοιες.....	1
1.3 Ιστορική αναδρομή των καλλιεργειών εκτός εδάφους.....	2
1.4 Αξιολόγηση των εκτός εδάφους καλλιεργειών .....	4
1.4.1 Πλεονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους .....	5
1.4.2 Μειονκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους.....	7
1.5 Η τομάτα.....	8
1.5.1 Συστήματα εκτός εδάφους καλλιέργειας .....	9
1.5.1.1 Καλλιέργεια σε ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα .....	9
1.5.1.2 Λίπανση και θρέψη τομάτας σε υδροπονικές καλλιέργειες ....	10
1.5.2 Περί εμβολιασμού .....	13
1.5.2.1 Εμβολιασμός με συνένωση τομών .....	14
1.6 Αλατότητα.....	15
1.6.1 Μηχανισμοί ανοχής στην αλατότητα .....	17
1.7 Μοντέλα .....	17
1.8 Σκοπός του πειράματος .....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Υλικά και Μέθοδοι</b> .....	21
2.1 Το θερμοκήπιο .....	21
2.2 Πειραματική εγκατάσταση.....	21
2.3 Φυτικό υλικό.....	22
2.4 Η καλλιέργεια .....	23
2.4.1 Πειραματικός σχεδιασμός.....	23
2.5 Σύνθεση και χορήγηση των θρεπτικών διαλυμάτων .....	24
2.6 Καλλιεργητικές φροντίδες.....	25
2.6.1 Κλάδεμα .....	25

2.6.2	Υποσύλωση .....	26
2.6.3	Υποβοήθηση καρπόδεσης.....	27
2.6.4	Αντιμετώπιση εχθρών και παθογόνων .....	27
2.7	Εργαστηριακό μέρος .....	29
2.8	Στατιστική Ανάλυση .....	31
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Αποτελέσματα.....</b>		<b>32</b>
3.1	Εφαρμογή του μοντέλου.....	32
3.1.1	Προσομοίωση της συσσώρευσης Na.....	32
3.1.2	Προσομοίωση της συσσώρευσης Cl.....	34
3.2	Συγκέντρωση ιόντων Na <sup>+</sup> και Cl <sup>-</sup> στους φυτικούς ιστούς .....	35
3.2.1	Συγκέντρωση Na <sup>+</sup> στα φύλλα .....	35
3.2.2	Συγκέντρωση Cl <sup>-</sup> στα φύλλα .....	37
3.2.3	Συγκέντρωση Na <sup>+</sup> στις ρίζες .....	38
3.2.4	Συγκέντρωση Cl <sup>-</sup> στις ρίζες .....	40
3.3	Επίδραση του εμβολιασμού.....	41
3.3.1	Συγκέντρωση Na <sup>+</sup> στα φύλλα εμβολιασμένων υβριδίων.....	41
3.3.2	Συγκέντρωση Na <sup>+</sup> στις ρίζες εμβολιασμένων υβριδίων .....	42
3.3.3	Συγκέντρωση Cl <sup>-</sup> στα φύλλα εμβολιασμένων υβριδίων.....	43
3.3.4	Συγκέντρωση Cl <sup>-</sup> στις ρίζες εμβολιασμένων υβριδίων.....	43
3.3.5	Συσσώρευση Na <sup>+</sup> και Cl <sup>-</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα σε καλλιέργεια φυτών Merilia.....	44
3.3.6	Συσσώρευση Na <sup>+</sup> και Cl <sup>-</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα σε καλλιέργεια φυτών Belladonna .....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Συζήτηση .....</b>		<b>48</b>
4.1	Εφαρμογή του μοντέλου.....	48
4.2	Συγκέντρωση ιόντων Na <sup>+</sup> στους φυτικούς ιστούς.....	49
4.3	Συγκέντρωση ιόντων Cl <sup>-</sup> στους φυτικούς ιστούς.....	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα.....</b>		<b>52</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>		<b>53</b>
I. Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία.....		53
II. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία .....		53

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΕΣ

<b>Εικόνα 1.1:</b> Τοιχογραφία από το ναό του Hatshepsut, όπου αποικονίζεται μεταφορά και παραγωγή φυτών.....	3
<b>Εικόνα 1.2:</b> Εμβόλιο τομάτας (α), υποκείμενο τομάτας (β). .....	14
<b>Εικόνα 1.3:</b> Τρόπος διεξαγωγής εμβολιασμού με πλάγια ή οριζόντια τομή (Σάββας, 2016). .....	15
<b>Εικόνα 2.1:</b> Άποψη του κλειστού υδροπονικού συστήματος. Διακρίνονται οι δύο δεξαμενές παροχής Θ.Δ., το κανάλι NFT και οι ειδικούς συλλέκτες διαλλύματος απορροής.....	22
<b>Εικόνα 2.2:</b> Άποψη της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο, στο 1 <sup>ο</sup> μήνα μετά τη μεταφύτευση. ....	23
<b>Εικόνα 2.3:</b> Διπαραγοντικό πειραματικό σχέδιο του πειράματος, με 1 <sup>ο</sup> παράγοντα την αλατότητα (NaCl) και 2 <sup>ο</sup> παράγοντα τον γονότυπο.....	24
<b>Εικόνα 2.4:</b> Ενδεικτικό κλάδεμα παλαιότερων φύλλων τομάτας (older leaves), πλάγιων βλαστών (suckers) κι αραιώσης ταξιανθιών (lowest flower cluster). Πηγή: Εικόνα από το διαδίκτυο. ....	26
<b>Εικόνα 2.5:</b> Υποσύλωση τομάτας με τακτικό κατέβασμα βλαστών. Α. Προοδευτικό κατέβασμα χωρίς υποσύλωση και Β. με υποσύλωση, του κατώτερου τμήματός του (Σάββας, 2016). .....	27
<b>Εικόνα 2.6:</b> Φορητά όργανα μέτρησης pH και EC, με τα αντίστοιχα διαλύματα βαθμονόμησης.....	29
<b>Εικόνα 2.7:</b> Προετοιμασία των προς ανάλυση δειγμάτων στο εργαστήριο. ....	30
<b>Εικόνα 3.1:</b> Συσσώρευση Na συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Merilia και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας. ....	32
<b>Εικόνα 3.2:</b> Συσσώρευση Na συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Belladonna και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας. ....	33
<b>Εικόνα 3.3:</b> Συσσώρευση Na συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Formula (αριστερά) και Lobello (δεξιά) και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας. ....	33
<b>Εικόνα 3.4:</b> Συσσώρευση Cl συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Merilia και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας. ....	34
<b>Εικόνα 3.5:</b> Συσσώρευση Cl συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Belladonna και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας. ....	34
<b>Εικόνα 3.6:</b> Συσσώρευση Cl συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Formula (αριστερά) και Lobello (δεξιά) και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας. ....	35
<b>Εικόνα 3.7:</b> Συγκέντρωση Na στα φύλλα για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl). .....	36
<b>Εικόνα 3.8:</b> Συγκέντρωση Na στα φύλλα για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl). .....	36

<b>Εικόνα 3.9:</b> Συγκέντρωση Cl στα φύλλα για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl).....	37
<b>Εικόνα 3.10:</b> Συγκέντρωση Cl στα φύλλα για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	38
<b>Εικόνα 3.11:</b> Συγκέντρωση Na στις ρίζες για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl).....	39
<b>Εικόνα 3.12:</b> Συγκέντρωση Na στις ρίζες για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	39
<b>Εικόνα 3.13:</b> Συγκέντρωση Cl στις ρίζες για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl).....	40
<b>Εικόνα 3.14:</b> Συγκέντρωση Cl στις ρίζες για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	41
<b>Εικόνα 3.15:</b> Συγκέντρωση Na στα φύλλα εμβολιασμένων κι αυτόριζων φυτών: A) για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) και B) για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	42
<b>Εικόνα 3.16:</b> Συγκέντρωση Na στις ρίζες εμβολιασμένων κι αυτόριζων φυτών: A) για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) και B) για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	42
<b>Εικόνα 3.17:</b> Συγκέντρωση Cl στα φύλλα εμβολιασμένων κι αυτόριζων φυτών: A) για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) και B) για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	43
<b>Εικόνα 3.18:</b> Συγκέντρωση Cl στις ρίζες εμβολιασμένων κι αυτόριζων φυτών: A) για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) και B) για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	44
<b>Εικόνα 3.19:</b> Συσσώρευση Na συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Merilia, για επεμβάσεις χαμηλής (0,6 mM NaCl) και υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	45
<b>Εικόνα 3.20:</b> Συσσώρευση Cl συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Merilia, για επεμβάσεις χαμηλής (0,6 mM NaCl) και υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl). ....	45
<b>Εικόνα 3.21:</b> Συσσώρευση Na συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Belladonna, για επεμβάσεις χαμηλής (0,6 mM NaCl) και υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	46
<b>Εικόνα 3.22:</b> Συσσώρευση Cl συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Belladonna, για επεμβάσεις χαμηλής (0,6 mM NaCl) και υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).....	47

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΕΣ

<b>Πίνακας 1.1:</b> Συνιστώμενη σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων τροφοδοσίας, για καλλιέργειες τομάτας, σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα (Σάββας, 2012). ....	11
<b>Πίνακας 1.2:</b> Μέσες αναμενόμενες συγκεντρώσεις απορρόφησης θρεπτικών, σε εκτός εδάφους καλλιέργειες τομάτας (Σάββας, 2012).....	11

<b>Πίνακας 1.3:</b> Συνιστώμενες συγκεντρώσεις θρεπτικών στο ριζόστρωμα, σε εκτός εδάφους καλλιέργειες τομάτας (Σάββας, 2012). .....	12
<b>Πίνακας 2.1:</b> Πρόγραμμα φυτοπροστατευτικών εφαρμογών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. ....	28

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

## 1.1 Καλλιέργειες εκτός εδάφους – Υδροπονία

Ο όρος «υδροπονία» έχει τις ρίζες του στις ελληνικές λέξεις «ύδωρ» και «πόνος» αποδίδοντας κατ'αυτό το τρόπο την έννοια, «δουλεύοντας με το νερό», ενώ πρώτος που τον χρησιμοποίησε (σε επιστημονική εργασία) κι ουσιαστικά τον εισήγαγε ήταν ο Dr. W.F. Gericke (Jones, 2005), στοχεύοντας στη περιγραφή της καλλιέργειας φυτών ανεπτυγμένων, σε τεχνητά παρασκευασμένα θρεπτικά διαλύματα. Το πρόβλημα του ανεπαρκούς αερισμού του ριζικού συστήματος που παρουσίαζε η τεχνική του Gericke, αντιμετωπίστηκε στη πορεία με την ανάπτυξη νέων μεθόδων καλλιέργειας, με κοινό χαρακτηριστικό όλων, την απουσία του φυσικού εδάφους. Σήμερα ταυτόσημος της υδροπονίας, είναι ο όρος «καλλιέργεια εκτός εδάφους» (soiless culture) και χρησιμοποιείται τόσο στην ελληνική όσο και στη διεθνή βιβλιογραφία, για να περιγράψει κάθε μέθοδο ανάπτυξης φυτών, όπου το έδαφος υποκαθίσταται από είτε κάποιο άλλο μέσο, είτε από θρεπτικό διάλυμα.

Πιο συγκεκριμένα, ως καλλιέργεια εκτός εδάφους ορίζεται «κάθε μέθοδος καλλιέργειας φυτών των οποίων το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται εκτός του φυσικού εδάφους. Στις σύγχρονες καλλιέργειες εκτός εδάφους η τροφοδότηση των φυτών με νερό και θρεπτικά στοιχεία, βασίζεται στη χορήγηση τεχνητά παρασκευασμένου θρεπτικού διαλύματος. Οι ρίζες αναπτύσσονται είτε απευθείας στο θρεπτικό διάλυμα, είτε σε πορώδη στερεά υλικά (υποστρώματα) και διαβρέχονται τακτικά με θρεπτικό διάλυμα, το οποίο καλύπτει παράλληλα και τις αρδευτικές ανάγκες των φυτών» (Σάββας, 2012).

## 1.2 Βασικές έννοιες

Προκειμένου να εξοικωθεί ο αναγνώστης με ορισμούς που συνδέονται άμεσα με την εκτός εδάφους καλλιέργεια φυτών και δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται ευρύτατα στο παρόν σύγγραμμα, κρίνεται απαραίτητο να γίνει μία συνοπτική αναφορά στα παρακάτω:

Οι απαιτήσεις των φυτών σε νερό και θρεπτικά στοιχεία, καλύπτονται μέσω της χορήγησης κατάλληλου θρεπτικού διαλύματος. Για τη παρασκευή του τα αναγκαία λιπάσματα διαλύονται σε νερό – σε κατάλληλες συγκεντρώσεις – αποδίδοντας τα απαραίτητα για τη θρέψη των φυτών στοιχεία, σε μορφή ιόντων ανόργανων αλάτων. Η περίπτωση του σιδήρου αποτελεί εξαίρεση, καθώς περιέχεται σε χηλική μορφή (Σάββας, 2012). Το θρεπτικό διάλυμα παρασκευάζεται στη κεφαλή υδρολίπανσης (κατάλληλο σύστημα ανάμειξης) και στη συνέχεια χορηγείται στη καλλιέργεια, μέσω του συστήματος άρδευσης.

Οι αναγκαίες ποσότητες λιπασμάτων τοποθετούνται αρχικά, σε δεξαμενές μεγάλης χωρητικότητας (έως και 1000L), στις οποίες προστίθεται νερό άρδευσης, μέχρι πλήρωσης του όγκου τους. Τα πυκνά αυτά διαλύματα – τα οποία μπορεί να

είναι έως κι 100 φορές πυκνότερα των χορηγούμενων στα φυτά θρεπτικών διαλυμάτων – αραιώνονται στη συνέχεια με τη προσθήκη νερού άρδευσης, σε συγκεκριμένες αναλογίες, με σκοπό τη τελική παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας.

Ο όρος **pH** χρησιμοποιείται σαν το μέτρο της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου ( $H^+$ ) στο διάλυμα. Η επιθυμητή τιμή pH για τις εκτός εδάφους καλλιέργειες, κυμαίνεται μεταξύ του 5 και 6, για τα περισσότερα καλλιεργούμενα είδη. Αποκλίσεις από το εύρος αυτό, δύναται να επηρεάσουν τη διαλυτότητα των χορηγούμενων θρεπτικών στοιχείων και κατά συνέπεια, τη διαθεσιμότητά τους για τα φυτά. Ιδιαίτερα το pH του θρεπτικού διαλύματος ριζοστρώματος, «αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες ρύθμισης της απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων και ιχνοστοιχείων από τα φυτά» (Κώτσιρας, 2011).

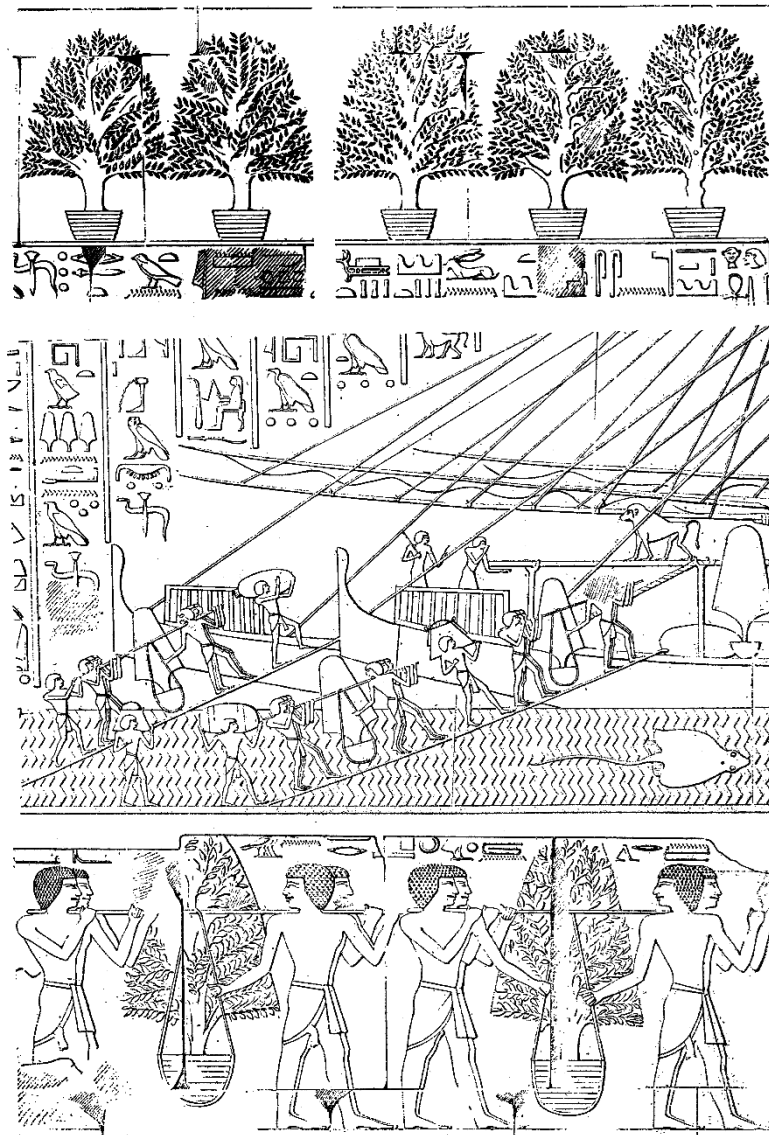
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electric Conductivity, **EC**) είναι μία παράμετρος που χρησιμοποιείται σαν μέτρο της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα, ενώ η μέτρησή της δίνει πληροφορίες σε σχέση με την – κατ' εκτίμηση – επάρκεια θρεπτικών στοιχείων σε αυτό (Κωνσταντής και άλλοι, 2014). Στην πραγματικότητα δε μας δίνει καμία απολύτως πληροφορία για το είδος των αλάτων που περιέχονται στο διάλυμα· υψηλή τιμή EC μπορεί να οφείλεται σε υψηλές συγκεντρώσεις ανεπιθύμητων αλάτων για τη θρέψη των φυτών, όπως το NaCl (Σάββας, 2012). Σε γενικές γραμμές η EC των θρεπτικών διαλυμάτων, για τα περισσότερα καλλιεργούμενα (υδροπονικά) φυτά, πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1,8 – 3,6 mS/cm (Κώτσιρας, 2011).

Η καθημερινή μέτρηση του pH και της EC (με χρήση κατάλληλων συσκευών) δίνει τη δυνατότητα στο παραγωγό, να έχει μία αρκετά αξιόπιστη γνώση, σε σχέση με τη καταλληλότητα του θρεπτικού διαλύματος.

### 1.3 Ιστορική αναδρομή των καλλιεργειών εκτός εδάφους

Η άποψη πως η επιστήμη της καλλιέργειας φυτών εκτός του φυσικού εδάφους, είναι σύγχρονη πρακτική, θεωρείται από πολλούς παγιωμένη. Ωστόσο διάφοροι πολιτισμοί είχαν υιοθετήσει μεθόδους καλλιέργειας φυτών σε φυτοδοχεία, άνω του εδάφους (Ravin and Lieth, 2008). Οι «Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας», όπου τα φυτά αναπτύσσονταν σε μείγμα άμμου - χώματος και οι τοιχογραφίες στο ναό του «Hateshepsut», στη περιοχή «Deir el Bahari» στην Αίγυπτο (**Εικόνα 1.1**), είναι δείγματα που δείχνουν την εξοικίωση του ανθρώπου -ήδη από την αρχαιότητα- με εναλλακτικές πρακτικές ανάπτυξης φυτών. Σημαντικές θεωρούνται στα νεώτερα χρόνια οι προσπάθειες του Woodward (1699), ο οποίος χρησιμοποίησε διαφορετικά είδη εδάφους σε συνδυασμό με φυσικό κι απεσταγμένο νερό, δεικνύοντας τη σημασία στοιχείων για την ολοκλήρωση της ανάπτυξης των φυτών (Harris, 1992).

Βασικό χαρακτηριστικό των παραπάνω περιπτώσεων είναι η κάλυψη των θρεπτικών αναγκών μέσω των αποθεμάτων του νερού (κυρίως) σε ανόργανα άλατα, ενώ σημείο σύδεσής τους με την επιστήμη της καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους με τη σημερινή μορφή της, ο περιορισμένος -διαθέσιμος- χώρος ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών.



**Εικόνα 1.1:** Τοιχογραφία από το ναό του Hatshepsut, όπου αποικονίζεται μεταφορά και παραγωγή φυτών.

Η εξέλιξη της επιστήμης και η κατανόηση των θρεπτικών απαιτήσεων των φυτών, επέτρεψε πρόοδο στις εκτός εδάφους καλλιέργειες. Σημεία αναφοράς θεωρούνται, η καλλιέργεια σε χαλαζιακή άμμο με τη χορήγηση θρεπτικού διαλύματος και ο οδηγός καλλιέργειας «U.C. System» (1957) του πανεπιστημίου της Καλιφόρνια (Ravin and Lieth, 2008), καθώς έθεσαν σε ρεαλιστική βάση την οικονομική βιωσιμότητα αυτού του εναλλακτικού τρόπου καλλιέργειας. Ουσιαστικά εφαρμογή της υδροπονίας σαν μέθοδο καλλιέργειας σε εμπορική κλίμακα, πραγματοποιείται στις αρχές της δεκαετίας του '70, σε χώρες της βορειοδυτικής Ευρώπης και στη βόρεια Αμερική.

Προβλήματα όπως η υπερεντατική εκμετάλευση των εδαφών και η χρήση αρδευτικού νερού με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα (το παράδειγμα της Ολλανδίας και του Ισραήλ αντίστοιχα), αλλά και η έξαρση των εδαφογενών παθογόνων σε συνδυασμό με την απαγόρευση της χρήσης του βρωμιούχου μεθυλίου (ευρέως χρησιμοποιούμενο απολυμαντικό εδάφους, με επιβλαβή ωστόσο αποτελέσματα στον άνθρωπο και το περιβάλλον), ήταν οι κύριοι λόγοι για τη στροφή των



παραγωγών στις εκτός εδάφους καλλιέργειες (Σάββας 2012, Ravin and Lieth 2008). Άξιο αναφοράς θεωρείται ωστόσο, το δεδομένο πως στις χώρες αυτές, ήδη μεγάλο μέρος της παραγωγής προερχόταν από υπό κάλυψη καλλιέργειες. Συνεπώς η μετάβαση στην υδροπονία έγινε πιο ομαλά, καθώς σημαντικό μέρος του απαιτούμενου εξοπλισμού προϋπήρχε. Παράλληλα εδώ εντοπίζεται και η βασική διαφορά με τις χώρες της μεσογειακής λεκάνης (η Ελλάδα και η Κύπρος λόγω χάρη): στη νότια Ευρώπη καθυστέρησε η υιοθέτηση των εκτός εδάφους καλλιεργειών, καθώς το κλίμα επέτρεπε τη παραγωγή εκτός εποχής, με τη χρήση χαμηλού κόστους θερμοκηπιακών κατασκευών. Ως εκ τούτου οι καλλιεργητές εντοπίζονται διστακτικοί στην επένδυση κι εγκατάσταση υψηλού κόστους εξοπλισμού (Σάββας, 2012), μολονότι οι υφιστάμενες δυνατότητες δεν επιτρέπουν υψηλής ποιότητας και ποσότητας παραγωγή.

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότεροι παραγωγοί στρέφονται στις καλλιέργειες εκτός εδάφους. Η οικονομική κρίση, η άνοδος του μορφωτικού επιπέδου και η τάση για εξωστρέφεια, φαίνεται πως είναι καθοριστικοί παράγοντες για ενασχόληση με τις μη παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας. Το γεγονός δε πως εξασφαλίζονται υψηλότερες αποδόσεις, σε συνδυασμό με τη σταθερή παραγωγή κατά τη διάρκεια του έτους, διαγράφει μελλοντική αύξηση στην ήδη εκθετική πορεία των υδροπονικών καλλιεργειών. Μολονότι δεν υπάρχουν επίσημα στοιχεία από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, οι εκτός εδάφους καλλιέργειες υπολογίζονται στην Ελλάδα σήμερα, σε περίπου 1.800 στρ. στο σύνολο των 55.000 περίπου θερμοκηπιακών καλλιεργειών ( Σάββας, 2014; Porsimona et al., 2017): οι αριθμοί αυτοί βέβαια απέχουν κατά πολύ από τα δεδομένα της βόρειας Ευρώπης, με άξιο λόγου το παράδειγμα της Ολλανδίας, στην οποία το 1998 μόνο, 55.000 στρ. καλλιεργούνταν υδροπονικά (Σάββας, 2012).

## 1.4 Αξιολόγηση των εκτός εδάφους καλλιεργειών

Η υιοθέτηση της υδροπονίας ως μεθόδου καλλιέργειας (σε εμπορική κλίμακα), πρότεινε αρχικά έναν εναλλακτικό τρόπο αντιμετώπισης προβλημάτων που σχετίζονταν τόσο με τους φυσικούς πόρους, όπως για παράδειγμα η υπερεκμετάλευση των εδαφών ή οι υψηλές τιμές αλατότητας στο αρδευτικό νερό, αλλά και την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση στο θέμα της εφαρμογής βρωμιούχου μεθυλίου και των επιπτώσεών του στο οικοσύστημα και τον άνθρωπο. Τα οφέλη αυτά που εξασφάλιζε, αποδείχθηκαν καταλυτικά ώστε να ωθήσει πολλούς καλλιεργητές (στη Βορεια Ευρώπη πρώτα) σε στροφή, από τη συμβατική στην εκτός εδάφους καλλιέργεια: επιτρέποντας ένα «καθαρό» ξεκίνημα από εδαφογενή παθογόνα, προσπερνώντας παράλληλα, τη «κούραση» των εδαφών.

Ωστόσο τα παραπάνω δεν αποτελούν -πολλές φορές- επαρκείς λόγους, ώστε να προτρέψουν το κάθε παραγωγό να στραφεί σε αυτή την εναλλακτική μέθοδο καλλιέργειας. Ιδιαίτερα στη περίπτωση των Μεσογειακών χωρών, που οι καιρικές συνθήκες επιτρέπουν καλλιέργεια στο ύπαιθρο για μεγάλο χρονικό διάστημα (στη διάρκεια του έτους), η επένδυση σε θερμοκήπια και κατ' επέκταση σε καλλιέργειες εκτός εδάφους, συχνά αντιμετωπίζεται με διάθεση «αναβλητικότητας».

Λαμβάνοντας υπ' όψη τη τάση στη Βόρεια και Κεντρική Ευρώπη, όπου οι εκτός εδάφους καλλιέργειες κηπευτικών αποτελούν πλειοψηφία, επιχειρήται επισκόπηση των πλεονεκτημάτων τους και απάντηση στο βασικό ερώτημα, αναφορικά με « τη χρησιμότητα και την αξία τους, ως εναλλακτικής μεθόδου καλλιέργειας φυτών στο θερμοκήπιο», όπως έχει τεθεί από τους (Σάββας, 2012) και (Κωνσταντής και άλλοι, 2014).

#### 1.4.1 Πλεονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

- Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των καλλιεργειών εκτός εδάφους, ίσως είναι η δυναμική αντιμετώπιση των παθογόνων που σχετίζονται με το έδαφος, όπως το φουζάριο, το βερτισίλλιο, οι νηματώδεις κ.α. (Σάββας, 2012). Η απαγόρευση της χρήσης του βρωμιούχου μεθυλίου, το οποίο με βάση το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (2015) απαγορεύεται και στις αναπτυσσόμενες χώρες (Σάββας, 2016) και η υψηλή συχνότητα εμφάνισης εδαφογενών ασθενειών – σε υπεραντατικά καλλιεργούμενα θερμοκήπια-, καθιστούν την υδροπονία πολύ καλή εναλλακτική, επιτρέποντας καθαρό ξεκίνημα, απουσία παθογόνων.

- Η μετάβαση στην υδροπονία αντιμετωπίζει ριζικά το πρόβλημα της χαμηλής γονιμότητας των εντατικά καλλιεργούμενων εδαφών, καθώς και σε αυτά στα οποία εφαρμόζονται συστήματα μονοκαλλιέργειας (Κωνσταντής και άλλοι, 2014). Επίσης δίδεται η δυνατότητα αξιοποίησης των υποβαθμισμένων κι άγονων εδαφών (Σάββας, 2012), ενώ επιτρέπεται η ευχερής αξιοποίηση νερού άρδευσης, υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα (Σάββας, 2016).

- Στις περισσότερες των περιπτώσεων τα χρησιμοποιούμενα υποστρώματα διαθέτουν καλύτερα φυσικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά, από τα αντίστοιχα των εδαφών. Επιτρέπουν καλύτερη απορρόφηση νερού κι οξυγόνου από τις ρίζες, αποτρέποντας συνεπώς, την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών στο ριζόστρωμα (Ravin and Lieth, 2008).

- Σημαντικό πλεονέκτημα θεωρείται η μείωση του κόστους θέρμανσης, το οποίο αιτιολογείται καθώς «η κάλυψη του εδάφους, περιορίζει την εξάτμιση νερού, με συνέπεια οι απώλειες ενέργειας σε μορφή λανθάνουσας θερμότητας να είναι μικρότερες» (Σάββας, 2016).

- Στις υδροπονικές καλλιέργειες η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα, σε σχέση με τη καλλιέργεια στο έδαφος, συμβάλλει σημαντικά στη πρωΐμηση της παραγωγής (Κωνσταντής και άλλοι 2014, Σάββας 2012).

- Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση κόστους εργατικών και χρόνου. Ο παραγωγός απαλλάσσεται από εργασίες προετοιμασίας εδάφους (όπως το όργωμα και το φρεζάρισμα), ενώ έχει τη δυνατότητα άμεσης μετάβασης σε νέα καλλιέργεια, μετά το πέρας της αρχικής (Σάββας 2016, Κωνσταντής και άλλοι 2014).

- Δίνεται η δυνατότητα στο παραγωγό να χορηγήσει τις απαιτούμενες ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων -με ακρίβεια-, επιτυγχάνοντας ομαλή κι ομοιόμορφη ανάπτυξη του φυτικού κεφαλαίου· παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς την ομαλή θρέψη των φυτών (π.χ. δομή του εδάφους,

περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, αλατότητα, ακατάλληλη κοκκομετρική σύσταση κτλ.), απουσιάζουν (Σάββας, 2012). Κατ' αυτό το τρόπο, ο καλλιεργητής εξοικονομεί παράλληλα νερό και λιπάσματα (Olymrios, 1999), κάτι το οποίο είναι δυσκολότερο στη συμβατική καλλιέργεια.

- Συνυπολογίζοντας τα πλεονεκτήματα που έχουν ήδη αναφερθεί (απουσία εδαφογενών παθογόνων κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, αριστοποίηση θρέψης, πρωΐμηση παραγωγής, θερμοκρασία ριζοστρώματος) και σε συνδυασμό με τη δυνατότητα αυξημένης πυκνότητας φύτευσης (Κωνσταντής και άλλοι, 2014), επιτυγχάνονται υψηλότερες αποδόσεις (Σάββας, 2012).

- Στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι εφικτός μέσω εγκατάστασης κατάλληλου εξοπλισμού, ο ολοκληρωμένος έλεγχος περιβάλλοντος θερμοκηπίου (Jones, 2005) και παράλληλα η πλήρης αυτοματοποίηση και μηχανοποίηση των καλλιεργητικών διεργασιών (Κωνσταντής και άλλοι, 2014), όπως η άρδευση ή η συγκομιδή.

- Επιβάλλεται να αναφερθεί πως τα παραγόμενα προϊόντα δεν υστερούν σε καμία περίπτωση ποιοτικά από αυτά των συμβατικών και πολλές φορές, η διατροφική τους αξία αποδεικνύεται υψηλότερη (Σάββας, 2016). Η υγεία του καταναλωτή προστατεύεται τόσο μέσω χορήγησης κατάλληλου σχήματος θρέψης, ενώ παράλληλα ο έλεγχος του μικροκλίματος και η απουσία ζιζανίων (και των εχθρών που φιλοενούν), επιτρέπουν πολύ πιο περιορισμένη χρήση φυτοφαρμάκων σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος.

- Σημείο αναφοράς θεωρείται και η συμβολή της υδροπονίας στη προστασία του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα στη περίπτωση καλλιέργειας σε κλειστό (ή ημί-κλειστο) υδροπονικό σύστημα (Σάββας, 2012). Εδώ το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει και απομακρύνεται από το περιβάλλον των ριζών ανακυκλώνεται κι αφού εμπλουτιστεί με τα απαιτούμενα θρεπτικά στοιχεία επαναχορηγείται στη καλλιέργεια, μειώνοντας κατ' αυτό το τρόπο σημαντικά, τη ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων υδάτων από νιτρικά και φωσφορικά ιόντα προερχόμενα από απορροές. Εναλλακτικά μπορεί να γίνει χορήγηση του απορρέοντος διαλύματος (ανοικτά υδροπονικά συστήματα) σε δενδρώδεις καλλιέργειες εκτός του χώρου του θερμοκηπίου· επιτυγχάνεται έτσι και η «ασφαλής» απόρριψη του πλεονάζοντος διαλύματος και η άρδευση/λίπανση μίας επιπλέον καλλιέργειας χωρίς πρόσθετο κόστος.

- Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως οι καλλιέργειες εκτός εδάφους μπορούν να βρουν εφαρμογή κι εντός του αστικού ιστού, στο σπίτι σε κήπους ή ακόμη και σε ταράτσες ψηλών κτιρίων (Jones, 2005). Η εγκατάσταση κατάλληλου υδροπονικού συστήματος, μπορεί να εξασφαλίσει στον ερασιτέχνη καλλιεργητή μία κάποια αυτάρκεια σε διάφορα είδη κηπευτικών.

Εκτιμώντας τα παραπάνω μπορεί να λεχθεί με ασφάλεια, πως τα εκτός εδάφους συστήματα καλλιέργειας είναι δυνατόν να χαρακτηριστούν και ως συστήματα «ολοκληρωμένης διαχείρισης καλλιέργειας (ή παραγωγής) φυτών» (Popsimonova et al., 2017)· η λειτουργία τους μπορεί να συνδυαστεί με ελαχιστοποίηση των προϊόντων φυτοπροστασίας, ενώ επιπλέον, σε συνδυασμό με αποτελεσματική διαχείριση του διαλύματος απορροής, δύναται να ελαχιστοποιηθεί το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα. Παράλληλα το πλεονέκτημα της

αποτελεσματικότερης χρήσης νερού που διαθέτουν (ιδιαίτερα τα κλειστά συστήματα), αλλά και το γεγονός ότι μπορούν να εφαρμοστούν σε εδάφη χαμηλής γονιμότητας, στα οποία -σήμερα- η καλλιέργεια κηπευτικών είναι απαγορευτική, ίσως αποτελέσουν μία επιπλέον λύση μελλοντικά, στην αντιμετώπιση του προβλήματος σίτισης -κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες (Ravin and Lieth, 2008).

#### 1.4.2 Μειονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

- Το αυξημένο κόστος της αρχικής εγκατάστασης μίας υδροπονικής μονάδας, είναι ίσως το σημαντικότερο μειονέκτημα με το οποίο έρχεται αντιμέτωπος ο παραγωγός. Το αρχικό κόστος εξαρτάται κυρίως από το είδος του υδροπονικού συστήματος που θα επιλεγεί· για παράδειγμα το σύστημα καλλιέργειας σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος – NFT, είναι ακριβότερο από το αντίστοιχο της καλλιέργειας σε πετροβάμβακα, ωστόσο το πρώτο έχει μικρότερο λειτουργικό κόστος συγκριτικά, κατά τη διάρκεια του έτους, καθώς δεν απαιτείται η αγορά υποστρώματος. Σε γενικές γραμμές το κόστος κυμαίνεται αναλόγως του είδους του εξοπλισμού που θα επιλεγεί κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, όπως για παράδειγμα συσκευές ελέγχου και αυτοματισμού – οι οποίες ωστόσο κρίνονται απαραίτητες για την επιτυχία μίας εκτός εδάφους καλλιέργειας (Olymrios, 1999).

- Για την επιτυχία μίας υδροπονικής μονάδας σημαντικό ρόλο παίζουν τόσο οι καλλιεργητικοί χειρισμοί, όσο και οι χειρισμοί των συσκευών ελέγχου κι αυτοματισμού. Τα φυτά αντιδρούν άμεσα και ιδιαίτερα στη περίπτωση ενός άστοχου χειρισμού και αυτό μπορεί να αποβεί μοιραίο για τη βιοσιμότητα της καλλιέργειας (Jones 2005, Σάββας 2016). Ως εκ τούτου επιβάλλεται ο παραγωγός να είναι παρών, κάθε ημέρα, στο θερμοκήπιο.

- Η ενασχόληση με την υδροπονία απαιτεί από το παραγωγό ένα ελάχιστο επίπεδο μόρφωσης, δεδομένου ότι οι χειρισμοί του νερού, των θρεπτικών διαλυμάτων αλλά και των υφιστάμενων συσκευών, είναι σχετικά πολύπλοκη (Olymrios 1999, Σάββας 2012). Η ανάγκη για υποστήριξη από έναν εξειδικευμένο σύμβουλο – γεωπόνο, ίσως ανεβάσει το αρχικό κόστος κατά τη μετάβαση από τη συμβατική καλλιέργεια.

- Ένα άλλο μειονέκτημα των εκτός εδάφους καλλιεργειών είναι η ύπαρξη κινδύνου εισαγωγής κι εύκολης εξάπλωσης εδαφογενών ασθνεσιών στη καλλιέργεια (Jones 2005, Wohanka 2002). Στη πράξη ωστόσο, κάτι τέτοιο συμβαίνει σπάνια κι αντιμετωπίζεται επιτυχώς με άμεση απομάκρυνση του προσβεβλημένου φυτού κι εφαρμογής κατάλληλου φυτοπροστατευτικού σκευάσματος στο θρεπτικό διάλυμα. Επιπλέον η δυνατότητα απολύμανσης του θρεπτικού διαλύματος δύναται να αποσοβήσει το κίνδυνο αυτό (Σάββας, 2016).

- Τέλος, το κόστος αγοράς και χρήσης λιπασμάτων για τη διεκπαιρέωση της καλλιέργειας, συχνά φαντάζει μεγάλο. Στη πραγματικότητα όμως η μόνη αισθητή διαφορά με τη καλλιέργεια στο έδαφος, είναι οι αυξημένες ανάγκες σε λιπάσματα αζωτούχου και χηλικού σιδήρου· τα νιτρικά και φωσφορικά λιπάσματα ουσιαστικά εφαρμόζονται – στον ίδιο περίπου βαθμό- και στη συμβατική καλλιέργεια, ενώ το

κόστος των ιχνοστοιχείων (αναλογικά με τη ποσότητα εφαρμογής τους) είναι πολύ μικρό (Σάββας, 2012).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (παρ. 1.4) η μετάβαση στην υδροπονία αντιμετωπίζεται συχνά με διάθεση αναβλητικότητας από τους παραγωγούς, ιδιαίτερα των Μεσογειακών χωρών, οι οποίοι έχοντας συνηθίσει να παίρνουν μικρές παραγωγές – από κατασκευές χαμηλού κόστους – εκμεταλευόμενοι τις καλές κλιματολογικές συνθήκες, δεν είναι διατεθειμένοι να επενδύσουν σε σύγχρονο εξοπλισμό και θερμοκήπια. Επιπρόσθετα η τάση αυτή ενισχύεται από το μειωμένο μορφωτικό επίπεδο και τη συχνή θεώρηση πως τα υδροπονικά προϊόντα υστερούν σε επίπεδο ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.

Η ενασχόληση με τις καλλιέργειες εκτός εδάφους ενέχει, στα πρώτα στάδια τουλάχιστον, κάποιες πρακτικές δυσκολίες. Ωστόσο εάν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα – όπως εκτέθηκαν ήδη – συνυπολογιστούν, είναι προφανές ότι τα οφέλη υπερτερούν κατά πολύ. Ιδιαίτερα σήμερα, όπου οι απαιτήσεις και προκλήσεις της σύγχρονης γεωργίας (για τον άνθρωπο και το περιβάλλον) είναι τέτοιες, οι καλλιέργειες εκτός εδάφους αποτελούν μία δυναμική εναλλακτική.

## 1.5 Η τομάτα

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum*) είναι ένα ετήσιο λαχανικό το οποίο καλλιεργείται για την παραγωγή των βρώσιμων καρπών του. Ως λαχανικό η τομάτα καταναλίσκεται νωπή, ενώ υπάρχει και η βιομηχανική τομάτα η οποία κατατάσσεται στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας και προορίζεται για την παραγωγή πολτού, χυμού και άλλων προϊόντων της βιομηχανίας τροφίμων.

Στις μέρες μας η τομάτα είναι το δεύτερο πλέον διαδεδομένο καλλιεργούμενο λαχανικό στον κόσμο, μετά την πατάτα και το δέκατο στο σύνολο όλων των βρώσιμων καλλιεργούμενων φυτών. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής προέρχεται από υπαίθριες καλλιέργειες. Ένα σημαντικό όμως μέρος της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής προέρχεται από υπό κάλυψη καλλιέργειες. Μεταξύ των θερμοκηπιακών καλλιεργειών δε, η τομάτα καταλαμβάνει αδιαμφισβήτητα την πρώτη θέση, τόσο σε έκταση, όσο και σε όγκο αλλά και αξία παραγωγής.

Στην Ελλάδα η τομάτα βρίσκεται στην δεύτερη θέση ανάμεσα σε όλα τα καλλιεργούμενα λαχανικά, τόσο σε έκταση όσο και σε παραγωγή με πρώτη την πατάτα. Όπως σε όλες σχεδόν τις μεσογειακές χώρες το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής τομάτας προέρχεται από υπαίθριες καλλιέργειες. Από το σύνολο της καλλιεργούμενης στην Ελλάδα έκτασης για παραγωγή νωπών καρπών τομάτας, εκτιμάται ότι το 25% περίπου αφορά θερμοκηπιακές καλλιέργειες (Σάββας, 2016). Η υδροπονική καλλιέργεια τομάτας παρουσιάζει ανοδική τάση τα τελευταία χρόνια και στη χώρα μας. Μολονότι προς το παρόν η εκτός εδάφους καλλιέργεια τομάτας καταλαμβάνει μικρό μέρος, στο σύνολο της υπό κάλυψη καλλιέργειας τομάτας, αιτίες όπως η απαγόρευση χρήσης βρωμιούχου μεθυλίου στην απολύμανση του εδάφους, αλλά και η γενικότερη ανάγκη βελτίωσης του τεχνολογικού επιπέδου των

θερμοκηπιακών μονάδων, συνηγορούν σε αύξηση των εκτάσεων υδροπονικής τομάτας.

### 1.5.1 Συστήματα εκτός εδάφους καλλιέργειας

Η καλλιέργεια τομάτας προσφέρει πολλαπλές επιλογές όσον την επιλογή του κατάλληλου συστήματος εκτός εδάφους καλλιέργειας, που μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξή της. Συνοπτικά σε μικρότερη ή μεγαλύτερη έκταση, στα σύγχρονα παραγωγικά θερμοκήπια, εφαρμόζονται τα εξής: α) καλλιέργεια σε πλάκες υποστρώματος σταθερού σχήματος (π.χ. πετροβάμβακας) συσκευασμένες σε σάκους, β) καλλιέργεια σε πλάκες υποστρώματος σταθερού σχήματος τοποθετημένες σε κανάλια ή άλλα επιμήκη φυτοδοχεία, γ) καλλιέργεια σε σάκους γεμισμένους με κοκκώδη υποστρώματα (π.χ. περλίτης, κόκκος), δ) καλλιέργεια σε κανάλια ή άλλα επιμήκη φυτοδοχεία γεμισμένα με κοκκώδη υποστρώματα, ε) καλλιέργεια σε ατομικά φυτοδοχεία για κάθε φυτό (π.χ. γλάστρες) γεμισμένα με κοκκώδη υποστρώματα, ε) καλλιέργεια σε ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (DFT, NFT). Η συνηθέστερη επιλογή συστήματος καλλιέργειας για τη τομάτα, αφορά τη καλλιέργεια σε υποστρώματα, με τα πλέον χρησιμοποιούμενα στην Ελλάδα να είναι ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, η ελαφρόπετρα και ο κόκος (Σάββας, 2007). Η πρακτική της καλλιέργειας σε συστήματα αεροπονίας ή επίπλευσης, αν και πειραματικά έχει αποδειχθεί εφικτή (Leoni et al., 1994), στην πράξη δεν εφαρμόζεται γιατί παρουσιάζει υψηλό κίνδυνο αποτυχίας λόγω του μεγέθους και του βάρους των φυτών.

#### 1.5.1.1 Καλλιέργεια σε ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα

Παρόλο που σε πειραματικό επίπεδο, η καλλιέργεια τομάτας σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος έχει στεφθεί με επιτυχία (Zeroni et al., 1983), η συγκεκριμένη μέθοδος υδροκαλλιέργειας έχει βρει ελάχιστη εφαρμογή σε παραγωγικά θερμοκήπια. Από την άλλη, η μέθοδος καλλιέργειας σε αβαθές ρεύμα ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος (NFT), έχει αποδειχθεί επιτυχής τόσο σε επίπεδο πειραματικό, όσο και στη καλλιεργητική πράξη τόσο στο εξωτερικό, όσο και στην Ελλάδα (Οικονομάκης, 2007). Ωστόσο μόλο που το συγκεκριμένο σύστημα υδροκαλλιέργειας τομάτας έχει σημαντικά οφέλη, απαλλάσσοντας το παραγωγό από το πολύ σημαντικό κόστος αγοράς υποστρώματος – για παράδειγμα, δεν έχει καταφέρει να υιοθετηθεί στη καλλιεργητική πράξη διεθνώς, παραμένοντας σε εφαρμογή σήμερα, σε μικρή μόνο έκταση.

Από τους σημαντικότερους παράγοντες που αποτελούν τροχοπέδη στην διευρημένη εφαρμογή του συστήματος υδροκαλλιέργειας τομάτας NFT, είναι το αναιμικό ενδιαφέρον από τις εμπορικές εταιρείες του κλάδου να το υποστηρίξουν τεχνικά. Ο ισχυρότερος όμως λόγος για τη περιορισμένη χρήση του συστήματος, είναι η απουσία ενός μέσου συγκράτησης του θρεπτικού διαλύματος, για τα φυτά (Van Os et al., 2002)· ιδιαίτερα για τη περίπτωση καλλιέργειας φυτών μεγάλου μεγέθους, το συγκεκριμένο μειονέκτημα καταλαμβάνει μεγαλύτερες διαστάσεις. Ακόμη, προβλήματα στις καλλιέργειες τομάτας σε NFT προκαλεί επίσης και η πολύμηνη

διάρκειά τους (παραμονή στο θερμοκήπιο για 5 έως 10 μήνες συνήθως). Το βασικό πρόβλημα που προκαλεί η μεγάλη διάρκεια της καλλιέργειας είναι η ανάπτυξη υπερβολικά εκτεταμένης ριζικής βιομάζας από κάποιο χρονικό σημείο και μετά η οποία δεν επιτρέπει την ροή του θρεπτικού διαλύματος με τη μορφή ενός αβαθούς ρεύματος. Το αποτέλεσμα είναι να λιμνάζει το θρεπτικό διάλυμα μέσα στα κανάλια με τελική συνέπεια να μειώνεται δραστικά η διαθεσιμότητα οξυγόνου για τις ρίζες από κάποια ηλικία των φυτών και μετά. Ένα επιπλέον πρόβλημα που προκαλεί η μεγάλη διάρκεια της καλλιέργειας είναι η απελευθέρωση διαλυτών οργανικών ουσιών στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα από κάποιο χρονικό σημείο και μετά, λόγω της φυσιολογικής γήρανσης και αποσύνθεσης των ριζών μεγαλύτερης ηλικίας (Σάββας, 2012). Κάποιες από αυτές τις οργανικές ουσίες (π.χ. φαινόλες) φαίνεται ότι έχουν ανασταλτική δράση στην ανάπτυξη των φυτών όταν η συγκέντρωσή τους υπερβεί κάποια όρια (Sundin et al., 1997). Ως εκ τούτου, η συνεχής ανακύκλωση ανάλογων ουσιών σε θρεπτικό διάλυμα μικρού όγκου, για αντίστοιχα μεγάλο χρονικό διάστημα, δύναται να οδηγήσει στη συσσώρευση οργανικών ουσιών σε τοξικά για το φυτό επίπεδα, με επιβάρυνση στην υγεία και τη παραγωγικότητα του φυτικού κεφαλαίου. Γι' αυτό το λόγο, στις καλλιέργειες τομάτας σε NFT, το ανακυκλούμενο διάλυμα θα πρέπει να απορρίπτεται και να αντικαθίσταται τακτικά με νέο διάλυμα ιδιαίτερα από τον 4<sup>ο</sup> μήνα της καλλιέργειας και μετά. Η πρακτική αυτή συμβάλλει και στην καλύτερη θρέψη της καλλιέργειας, δεδομένου ότι τα πλήρως ανεπτυγμένα φυτά τομάτας παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων με συνέπεια να επιταχύνουν την εμφάνιση ανισορροπιών στην σύσταση του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος (Σάββας, 2012).

#### 1.5.1.2 Λίπανση και θρέψη τομάτας σε υδροπονικές καλλιέργειες

Η τομάτα θερμοκηπίου έχει αυξημένες θρεπτικές ανάγκες, όντας ένα ταχύτατα αναπτυσσόμενο φυτό το οποίο παράγει μεγάλο αριθμό καρπών με συνεκτική σάρκα (Charagain and Wiesman, 2004). Επομένως οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων, στα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται σε υδροπονικές καλλιέργειες τομάτας, πρέπει να είναι αντίστοιχα αυξημένες. Οποσδήποτε η σύσταση του χορηγούμενου θρεπτικού διαλύματος επαναπροσαρμόζεται κι εξειδικεύεται, αναλόγως του σταδίου φυτικής ανάπτυξης, τις καιρικές συνθήκες και σαφώς, της ποιότητας του αρδευτικού νερού το οποίο χρησιμοποιείται κατά τη παρασκευή του. Σύμφωνα με τον Σάββα (2011): στον **Πίνακα 1.1** παρατίθενται επιθυμητές τιμές pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), επιθυμητές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων, καθώς και αμοιβαίες αναλογίες μεταξύ των θρεπτικών μακροϊόντων K, Ca, Mg, NH<sub>4</sub>-N και NO<sub>3</sub>-N στα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας για εκτός εδάφους καλλιέργειες τομάτας. Οι τιμές ισχύουν τόσο για τα ανοιχτά όσο και για τα κλειστά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους και εξειδικεύονται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Επιπλέον, στον **Πίνακα 1.2** παρατίθενται οι μέσες αναμενόμενες συγκεντρώσεις απορρόφησης (mmol L<sup>-1</sup>) θρεπτικών στοιχείων σε καλλιέργειες τομάτας εκτός εδάφους σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών, καθώς και οι τιμές EC και οι αναλογίες μεταξύ των μακροστοιχείων που αντιστοιχούν στις συγκεκριμένες συγκεντρώσεις. Οι μέσες συγκεντρώσεις απορρόφησης του **Πίνακα 1.2** χρησιμοποιούνται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων σε καλλιέργειες τομάτας στις οποίες το διάλυμα απορροής ανακυκλώνεται. Τέλος, στον **Πίνακα 1.3**

παρατίθενται οι συνιστώμενες συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος οι οποίες είναι αναγκαίες για τον έλεγχο της θρεπτικής κατάστασης της καλλιέργειας. Οι τιμές παρατίθενται στους παραπάνω πίνακες βασίζονται σε πειραματικά δεδομένα κι έχουν προσαρμοστεί βάση των Μεσογειακών κλιματικών συνθηκών.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Διαβροχή υποστρώματος	Βλαστικό στάδιο (μέχρι άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 3 <sup>ης</sup> ταξιανθίας)	Άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 3 <sup>ης</sup> μέχρι μέχρι άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 5 <sup>ης</sup> ταξιανθίας	Άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 5 <sup>ης</sup> μέχρι μέχρι άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 10 <sup>ης</sup> ταξιανθίας	Μετά την άνθηση του 1 <sup>ου</sup> άνθους της 10 <sup>ης</sup> ταξιανθίας
EC (dS m <sup>-1</sup> )	2,80	2,50	2,40	2,40	2,30
pH	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
K <sup>+</sup> (mmol L <sup>-1</sup> )	6,80	7,00	7,50	8,00	7,50
Ca <sup>+2</sup>	6,40	5,10	4,70	4,50	4,40
Mg <sup>+2</sup>	3,00	2,40	2,20	2,10	2,00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,80	1,50	1,20	1,20	1,20
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	4,50	3,60	4,10	4,00	3,60
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15,50	14,30	12,30	12,40	12,30
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1,40	1,50	1,50	1,50	1,50
[Fe] <sub>t</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	20,0	15,00	15,00	15,00	15,00
[Mn] <sub>t</sub>	12,00	10,00	10,00	10,00	10,00
[Zn] <sub>t</sub>	6,00	5,00	5,00	5,00	4,00
[Cu] <sub>t</sub>	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70
[B] <sub>t</sub>	40,00	35,00	30,00	30,00	25,00
[Mo] <sub>t</sub>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
[K] : ((K)+[Ca]+[Mg])	0,42	0,48	0,52	0,55	0,54
[Ca] : ((K)+[Ca]+[Mg])	0,40	0,35	0,33	0,231	0,32
[Mg] : ((K)+[Ca]+[Mg])	0,20	0,17	0,15	0,14	0,14
((NH <sub>4</sub> )+[NO <sub>3</sub> ]) : [K]	2,40	2,25	1,80	1,70	1,80
[NH <sub>4</sub> ] : ((NH <sub>4</sub> )+[NO <sub>3</sub> ])	0,05	0,09	0,09	0,09	0,09

**Πίνακας 1.1:** Συνιστώμενη σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων τροφοδοσίας, για καλλιέργειες τομάτας, σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα (Σάββας, 2012).

Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Βλαστικό στάδιο (μέχρι άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 3 <sup>ης</sup> ταξιανθίας)	Άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 3 <sup>ης</sup> μέχρι μέχρι άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 5 <sup>ης</sup> ταξιανθίας	Άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 5 <sup>ης</sup> μέχρι μέχρι άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 10 <sup>ης</sup> ταξιανθίας	Μετά την άνθηση του 1 <sup>ου</sup> άνθους της 10 <sup>ης</sup> ταξιανθίας
EC	2,00	1,90	1,85	1,80
K <sup>+</sup>	6,40	7,00	7,50	7,00
Ca <sup>+2</sup>	3,10	2,60	2,30	2,40
Mg <sup>+2</sup>	1,50	1,30	1,10	1,00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,60	1,40	1,40	1,40
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1,50	1,65	1,50	1,50
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12,40	11,20	11,00	10,50
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1,30	1,20	1,20	1,20
[Fe] <sub>t</sub>	15,00	15,00	15,00	12,00
[Mn] <sub>t</sub>	10,00	10,00	10,00	8,00
[Zn] <sub>t</sub>	4,00	4,00	4,00	3,50
[Cu] <sub>t</sub>	0,80	0,80	0,70	0,70
[B] <sub>t</sub>	20,00	20,00	20,00	20,00
[Mo] <sub>t</sub>	0,50	0,50	0,50	0,50
[K] : ((K)+[Ca]+[Mg])	0,58	0,64	0,69	0,67
[Ca] : ((K)+[Ca]+[Mg])	0,28	0,24	0,21	0,23
[Mg] : ((K)+[Ca]+[Mg])	0,14	0,12	0,10	0,10
((NH <sub>4</sub> )+[NO <sub>3</sub> ]) : [K]	2,20	1,80	1,65	1,70
[NH <sub>4</sub> ] : ((NH <sub>4</sub> )+[NO <sub>3</sub> ])	0,11	0,11	0,11	0,12

**Πίνακας 1.2:** Μέσες αναμενόμενες συγκεντρώσεις απορρόφησης θρεπτικών, σε εκτός εδάφους καλλιέργειες τομάτας (Σάββας, 2012).



Η διαφοροποίηση της σύστασης των θρεπτικών διαλυμάτων ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών στους Πίνακες 1.1, 1.2 και 1.3 οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι, οι αναλογίες συγκεντρώσεων μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων στα βλαστικά μέρη του φυτού (κυρίως στα φύλλα), διαφέρουν σημαντικά σε σύγκριση με αυτές που υφίστανται στους καρπούς. Ενώ στην αρχή η τομάτα σχηματίζει μόνο φύλλα, μετά την έναρξη της καρπόδεσης το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης φυτικής μάζας το συνιστούν προοδευτικά οι καρποί. Σε κάθε περίπτωση οι συγκεντρώσεις -ιδιαιτέρα- των μακροστοιχείων N, K και Ca στο θρεπτικό διάλυμα, διαφοροποιούνται, καθώς αναλόγως του σταδίου ανάπτυξης, μεταβάλλονται και οι συγκεντρώσεις απορρόφησης τους από τα φυτά.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Βλαστικό στάδιο (μέχρι άνθηση 1 <sup>ου</sup> άνθους 3 <sup>ης</sup> ταξιανθίας)	Μέχρι άνθηση του 1 <sup>ου</sup> άνθους της 6 <sup>ης</sup> ταξιανθίας	Μέχρι άνθηση του 1 <sup>ου</sup> άνθους της 10 <sup>ης</sup> ταξιανθίας	Μετά την άνθηση του 1 <sup>ου</sup> άνθους της 10 <sup>ης</sup> ταξιανθίας
EC	3,20	3,40	3,50	3,70
pH	5,80-6,70	5,80-6,70	5,80-6,70	5,80-6,70
K <sup>+</sup>	7,50	8,20	8,50	8,80
Ca <sup>+2</sup>	7,80	8,00	8,00	8,50
Mg <sup>+2</sup>	3,40	3,40	3,50	3,60
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 0,80	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Na <sup>+</sup>	< 6,00	< 8,00	< 9,00	< 10,00
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	5,00	6,75	6,75	7,40
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	19,00	16,50	16,50	17,25
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1,00	1,00	1,00	1,00
[Fe] <sub>t</sub>	25,00	25,00	25,00	20,00
[Mn] <sub>t</sub>	8,00	8,00	8,00	6,00
[Zn] <sub>t</sub>	7,00	7,00	7,00	8,00
[Cu] <sub>t</sub>	0,80	0,80	0,80	1,00
[B] <sub>t</sub>	50,00	50,00	50,00	60,00
[Mo] <sub>t</sub>	-	-	-	-
[Cl] <sub>t</sub>	< 6,00	< 8,00	< 10,00	< 12,00
[K] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,40	0,42	0,43	0,42
[Ca] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,42	0,41	0,40	0,41
[Mg] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,18	0,17	0,17	0,17
(([NH <sub>4</sub> ]+[NO <sub>3</sub> ]) : [K])	2,40	2,10	2,00	2,05

**Πίνακας 1.3:** Συνιστώμενες συγκεντρώσεις θρεπτικών στο ριζόστρωμα, σε εκτός εδάφους καλλιέργειες τομάτας (Σάββας, 2012).

Σε γενικές γραμμές η αναλογία N:K κατά το βλαστικό στάδιο είναι πρέπει να είναι σχετικά υψηλή, ενώ μειώνεται στο στάδιο της καρποφορίας. Η αυξημένη συγκέντρωση K στο θρεπτικό διάλυμα κατά το στάδιο της καρποφορίας, είναι πολύ σημαντική όχι μόνο για την επίτευξη υψηλής παραγωγής, αλλά και για την βελτίωση της ποιότητας των καρπών (Adams, 2002, Savvas et al., 2008). Αναφορικά με το Ca, λόγω των μεγάλων διαφορών που παρατηρούνται στη συγκέντρωση του, μεταξύ καρπών και βλαστικών οργάνων, παρατηρείται σημαντική επίπτωση στην απορρόφηση του, στην έναρξη του σταδίου σχηματισμού καρπών. Γενικά οι καρποί της τομάτας περιέχουν πολύ λιγότερο Ca από τα φύλλα, γι' αυτό η συγκέντρωση του στα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται στην τομάτα, συνιστάται να μειώνεται (με μέτρο, λόγω κινδύνου εμφάνισης BER) μόλις τα φυτά αρχίσουν να σχηματίζουν καρπούς.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα, δεν παρουσιάζουν σημαντικά μεγάλες διακυμάνσεις, στα διάφορα στάδια ανάπτυξης του φυτού.

Εξαίρεση ίσως αποτελεί το Β, όπου το εύρος των επιθυμητών συγκεντρώσεων του στο περιβάλλον των ριζών της τομάτας είναι στενό. Ιδιαίτερα στο στάδιο της καρποφορίας θα πρέπει να δίδεται προσοχή καθώς, χαμηλά επίπεδα Β στο περιβάλλον της ρίζας οδηγούν σε μειωμένη καρπόδεση και απόπτωση μεγάλου μέρους των ανθέων, καθώς και στον σχηματισμό καρπών με ωχρό και θαμπό χρωματισμό (Smit and Combrink, 2004 & 2005). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η επαρκής τροφοδότηση της τομάτας με Β συμβάλλει θετικά και στην απορρόφηση του Κ, αλλά σε μικρότερο βαθμό και του Ca (Davis et al., 2003).

### 1.5.2 Περί εμβολιασμού

Ο όρος «εμβολιασμός» αναφέρεται στη τεχνική συνένωσης δύο φυτών κατά την οποία γίνεται χρήση του υπόγειου μέρους του ενός (υποκειμένο) και του υπέργειου του άλλου (εμβόλιο) (**Εικόνα 1.2**). Κατ' αυτόν το τρόπο επιτυγχάνονται υψηλότερες παραγωγές, ενώ παράλληλα προστατεύεται το φυτό από πλήθος παραγόντων βιοτικής κι αβιοτικής καταπόνησης. Στις μέρες μας η τεχνική του εμβολιασμού χρησιμοποιείται κατά κόρον στη καλλιέργεια των κολοκυνθοειδών (καρπούζι, πεπόνι, αγγούρι) και σε σημαντικό βαθμό στα σολανώδη (τομάτα, μελιτζάνα).

Η εντατικοποίηση της γεωργίας, με τη ταυτόχρονη υποβάθμιση των γεωργικών γαιών, σε συνδυασμό με την απαγόρευση της χρήσης βρωμιούχου μεθυλίου και στην Ελλάδα (ως απολυμαντικού εδάφους για τη δραστική αντιμετώπιση εδαφογενών παθογόνων), κατατάσσει τον εμβολιασμό στα πολύ σημαντικά εργαλεία προληπτικής προστασίας της καλλιέργειας. Ασφαλώς η επιλογή εμβολιασμένων φυτών αυξάνει το κόστος της καλλιέργειας, αφού απαιτούνται μεγαλύτερες ανάγκες σε εργατικά, εξειδικευμένο προσωπικό και φυτωριακές εγκαταστάσεις υψηλών προδιαγραφών. Σε κάθε περίπτωση όμως τα οφέλη στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου είναι μεγαλύτερα, ενώ παράλληλα, συνάδει με τα προγράμματα ολοκληρωμένης διαχείρισης των εχθρών της καλλιέργειας και των αρχών της αειφορίας (Ολύμπιος, 2001).

Σύμφωνα με τον Σάββα (2016), βασική προϋπόθεση για να χαρακτηριστεί ο εμβολιασμός ως επιτυχημένος, είναι η συμβατότητα του υποκειμένου με το εμβόλιο και επιπλέον, η διατήρηση των ιδιοτήτων της εμβολιαζόμενης ποικιλίας (όσον αφορά τη παραγωγικότητα και τη ποιότητα του συγκομιζόμενου προϊόντος – γεύση του βρώσιμου τμήματος, μέγεθος και σχήμα καρπών, συνεκτικότητα σάρκας κτλ.).



**Εικόνα 1.2:** Εμβόλιο τομάτας (α), υποκείμενο τομάτας (β).

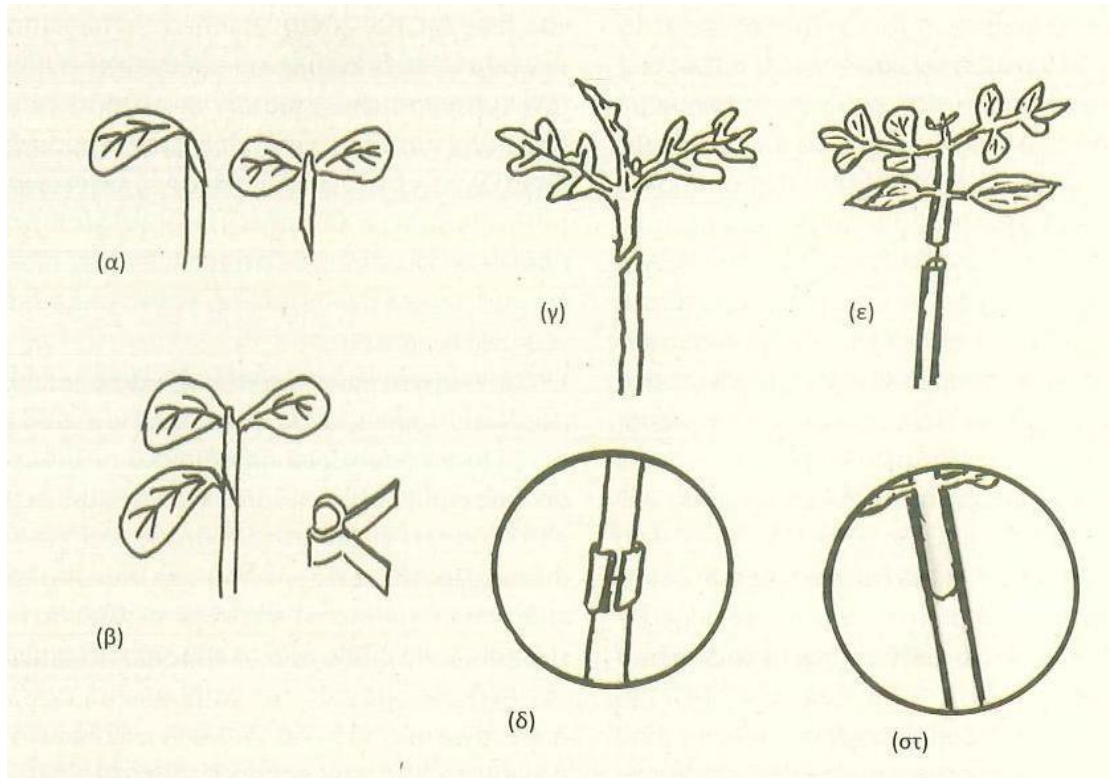
#### 1.5.2.1 Εμβολιασμός με συνένωση τομών

Από τις μεθόδους εμβολιασμού που χρησιμοποιούνται, ο εμβολιασμός με συνένωση τομών (splice grafting) είναι ο πιο διαδεδομένος. Αποτελεί την πλέον εφαρμοζόμενη μέθοδο, στα επαγγελματικά φυτώρια παραγωγής σποροφύτων στην Ελλάδα σήμερα, λόγω της απλότητας στην εφαρμογή του, αλλά κυρίως, του μεγάλου ποσοστού επιτυχίας που εξασφαλίζει (Σάββας, 2016).

Στα κολοκυνθοειδή γίνεται με πλάγιες τομές (αποκλειστικά), ενώ στα σολανώδη τόσο με πλάγιες, όσο κι οριζόντιες.

Παρακάτω (**Εικόνα 1.3**) περιγράφεται εν συντομία ο εμβολιασμός συνένωσης τομών:

- (α) Πλάγια τομή 35ο – 45ο κι αφαίρεσης ενός κοτυληδονόφυλλου κι ακραίου μεριστώματος, για το υποκείμενο κολοκυνθοειδών.
- (β) Πλάγια τομή ίδιας γωνίας στο εμβόλιο (2-3cm κάτω των κοτυληδονόφυλλων). Τα δύο τμήματα έρχονται σε επαφή και συγκρατώνται μέσω συνδετήρα.
- (γ,δ) Η αντίστοιχη μέθοδος και συγκόλληση για τα σολανώδη (τομή 1-2cm κάτω από τα κοτυληδονόφυλλα, σε υποκείμενο κι εμβόλιο).
- (ε,στ) Οριζόντια τομή και συγκόλληση.



Εικόνα 1.3: Τρόπος διεξαγωγής εμβολιασμού με πλάγια ή οριζόντια τομή (Σάββας, 2016).

## 1.6 Αλατότητα

### Ορισμός αλατότητας

Ο όρος αλατότητα αναφέρεται στην υψηλή συγκέντρωση διαλυτών αλάτων (ανόργανων ιόντων), στο διάλυμα ριζοστρώματος (εδαφικό ή τεχνητό – θρεπτικό διάλυμα). Δύναται να μετρηθεί είτε άμεσα, ως ολική συγκέντρωση διαλυτών αλάτων στο διάλυμα (g/l ή mmol/l ή meq/l) είτε έμμεσα, ως ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electric Conductivity – EC, ds/m).

Τα ανόργανα ιόντα που συνήθως συσσωρεύονται και είναι υπεύθυνα για την αύξηση της αλατότητας, είναι το  $\text{Na}^+$  και το  $\text{Cl}^-$  κατά κύριο λόγο, ενώ σε μικρότερο βαθμό στην αύξησή της μετέχουν τα ιόντα  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  και  $\text{HCO}_3^-$  (Σάββας, 2001).

### Συσώρευση αλάτων

Η εντατικοποίηση της γεωργίας για τη κάλυψη των αναγκών του ολοένα κι αυξανόμενου πληθυσμού, σε συνδυασμό με τη παράλληλη μετακίνησή του σε αστικά κέντρα, έχει οδηγήσει σε αύξηση των αναγκών για αρδευτικό νερό. Άμεσο αποτέλεσμα της κακής διαχείρισης των υπόγειων (κυρίως) νερών, είναι η σταδιακή υφαλμύρωσή τους (Σταμάτης, 2017). Οι αυξημένες εκροές λόγω υπεράντλησης, επέτρεψαν την είσοδο της θάλασσας και συνεπώς τις συγκεντρώσεις των ιόντων  $\text{Na}^+$  και το  $\text{Cl}^-$  σε σημαντικό βαθμό στο αρδευτικό νερό. Η σημασία του παραπάνω μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή καθώς, από το χορηγούμενο σε μία καλλιέργεια νερό, ένα μέρος του εξατμίζεται, με το μεγαλύτερο να απορροφάται από τα φυτά. Τα διαλυτά

άλατα που περιέχονται στο εξατμιζόμενο νερό, παραμένουν στο έδαφος. Πέραν αυτού, λόγω των μηχανισμών εκλεκτικής απορρόφησης κι απέκκρισης που διαθέτουν τα φυτά, μέρος των αλάτων που περιέχονται σε υπερβολική συγκέντρωση στο νερό που απορροφάται (ή δεν είναι αναγκαία για την ανάπτυξή τους) παραμένει επίσης στο έδαφος. Ως εκ τούτου, η συσσώρευση αλάτων στο έδαφος αυξάνεται εκθετικά, με τη χρήση υψηλών ποσοτήτων λιπασμάτων (εντατική γεωργία) να επιδεινώνει μερικώς τη κατάσταση.

Σε περιοχές όπου επικρατούν ξηροθερμικές συνθήκες, λόγω αυξημένης εξατμισοδιαπνοής, παρατηρείται ανοδική τάση συσσώρευσης αλάτων στην επιφάνεια και κατ' επέκταση, στο περιβάλλον των ριζών. Τέλικά, λόγω ελλειπούς ύπαρξης νερού καλής ποιότητας, η έκπλυση των αλάτων σε κατώτερα στρώματα είναι μη εφικτή (Σάββας, 2001).

Το πρόβλημα της αυξημένης εναπόθεσης αλάτων στο διάλυμα ριζοστρώματος, όταν αυτά εμπεριέχονται σε υψηλές ποσότητες στο νερό άρδευσης, παρουσιάζεται εντονότερο στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, λόγω του περιορισμένου χώρου ανάπτυξης της ριζόσφαιρας, σε σχέση με τις καλλιέργειες στο έδαφος (Sonneveld et al., 1999). Η περίπτωση των κλειστών συστημάτων δε, θεωρείται περισσότερο εκτεθειμένη στην αλατότητα καθώς η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες συγκεντρώσεις ιόντων στη ρίζα, μεγαλύτερες από τις αναλογίες απορρόφησης ιόντων/νερού από τα φυτά (Carmassi et al., 2005, Savvas et al., 2005).

### **Αλατότητα στο ριζόστρωμα**

Η αλατότητα οφειλόμενη σε περίσσεια ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο διάλυμα ριζοστρώματος, επηρεάζει άμεσα κι έμμεσα την ομαλή ανάπτυξη του φυτού. Κατ' αρχάς λόγω του ωσμωτικού χαρακτήρα της τοξικότητας αλάτων στη ρίζα, επηρεάζεται η ικανότητα απορρόφησης νερού από το φυτό (Munns, 2002). Επιπλέον παρατηρούνται σχέσεις ανταγωνισμού στη πρόσληψη θρεπτικών, ιδιαίτερα όταν οι αναλογίες  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  και  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$  είναι αυξημένες (Läuchli and Grattan, 2007).

Η τελευταία αναλογία είναι πολύ σημαντική καθώς η συγκέντρωση νιτρικών (στο σύνολο του ολικού N) στο εσωτερικό των φυτών, μπορεί να μειωθεί δραστικά σε συνθήκες υψηλής συσσώρευσης ιόντων χλωρίου. Επιπλέον, ανάλογη προσοχή πρέπει να δοθεί και στη σχέση  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ . Διατήρηση υψηλών επιπέδων ασβεστίου μπορεί να είναι ευεργετική στη πρόσληψη και κατανομή του στο εσωτερικό των φυτών, παρά τα υψηλά επίπεδα αλατότητας νατρίου (Sonneveld and Voogt, 2009). Τέλος σημαντική φαίνεται να είναι η επίδραση της αλατότητας στη διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων, η διαλυτότητα των οποίων μπορεί να καταστεί χαμηλή, σε συνθήκες υψηλής παρουσίας αλάτων και να οδηγήσει σε ανάλογες τροφοπενίες (Hu and Schmidhalter, 2005).

### 1.6.1 Μηχανισμοί ανοχής στην αλατότητα

Γενικότερα τα υψηλά επίπεδα αλάτων στο περιβάλλον των ριζών έχουν οδηγήσει τα φυτά στην ανάπτυξη διαφόρων στρατηγικών, όσον αφορά την ανοχή τους στην αλατότητα και προσαρμογή τους, στην έκθεσή της. Η κυριότερη προσέγγιση έχει να κάνει με τη προσαρμογή του ωσμωτικού δυναμικού των κυττάρων τους, ώστε να μπορούν να απορροφούν «αλατούχο» νερό (νερό υψηλού ωσμωτικού δυναμικού) και παράλληλα, της προστασίας ζωτικών ενζυμικών λειτουργιών που επιτελούνται στα μεταβολικά ενεργά τους κύτταρα.

Μία βασική στρατηγική που απαντάται στα περισσότερα ανώτερα φυτά, είναι ο αποκλεισμός των ιόντων (που δεν είναι απαραίτητα για τη θρέψη τους) μέσω μηχανισμών ενεργύ απέκκρισης – κι επιστροφή τους – στο εξωτερικό μέσο. Η στρατηγική αυτή «αποκλεισμού των αλάτων», συνδυάζεται ταυτόχρονα με τη συσσώρευση των ανεπιθύμητων αλάτων στους παρεγχυματικούς ιστούς των κατώτερων φυτικών οργάνων (π.χ. ρίζες, κατώτεροι βλαστοί, μίσχοι κατώτερων φύλλων). Ωστόσο, οι παραπάνω ενέργειες επιβαρύνουν σημαντικά το ενεργειακό ισοζύγιο των φυτών, σε βαθμό που δύναται να επηρεάσει καθοριστικά τη περαιτέρω ανάπτυξη και παραγωγή τους. Έτσι η στρατηγική αυτή, αντιμετώπισης των υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων, είναι αποτελεσματική στα χαμηλά έως μέτρια επίπεδα αλατότητας. Η σταδιακή της αύξηση δε, συνοδεύεται από τον αντίστοιχο κορεσμό των φυτικών προσαρμοστικών μηχανισμών κι ανάλογου βαθμού επιβάρυνση.

Εξίσου σημαντική στρατηγική που συναντάται σε φυτά τα οποία παρουσιάζουν υψηλού βαθμού ανεκτικότητα στην αλατότητα (π.χ. αλόφυτα), είναι η αντιμετώπιση της αλατότητας «μέσω απορρόφησης αλάτων». Εδώ τα πλεονάζοντα ιόντα στο χώρο των ριζών απορροφούνται και καταμερίζονται στο εσωτερικό των μεταβολικά ενεργών κυττάρων, μέσω αποτελεσματικής διαμερισμοποίησης τους. Η συσσώρευση των αλάτων στα όργανα εκείνα που δε λαμβάνει χώρα ενζυμική δραστηριότητα (όπως το χυμοτόπιο), προστατεύει κατ'αυτόν το τρόπο, τις ζωτικές βιοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στο κύτταρο.

## 1.7 Μοντέλα

Τα κλειστά υδροπονικά συστήματα προσφέρουν μία εναλλακτική μέθοδο διαχείρισης του πλεονάζοντος διαλύματος απορροής, καθώς επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίησή του, εξασφαλίζοντας έτσι καλύτερη διαχείριση νερού και λιπασμάτων. Γενικά στις εκτός εδάφους καλλιέργειες εφαρμόζεται περίσσεια θρεπτικού διαλύματος σε κάθε κύκλο άρδευσης. Κατ' αυτόν το τρόπο επιτυγχάνεται η έκπλυση αλάτων (NaCl) και θρεπτικών που τείνουν να συσσωρεύονται στο ριζόστρωμα κι αφετέρου, η διασφάλιση επαρκούς άρδευσης σε όλη τη καλλιέργεια και η εξομάλυνση πιθανών ανομοιομορφιών στο σύστημα άρδευσης (Σάββας, 2012). Η αποθήκευση κι επαναχρησιμοποίηση του κλάσματος απορροής (όγκος θρεπτικού διαλύματος που απορρέει από το ριζόστρωμα προς τον όγκο θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται, σε κάθε πότισμα) επιτρέπει επιπλέον το περιορισμό της μόλυνσης των υπόγειων υδάτων με φωσφορικά και νιτρικά ιόντα (Thompson et al., 2007). Ως εκ τούτου, τα κλειστά συστήματα καλλιέργειας δύναται να θεωρηθούν «φιλικά προς

το περιβάλλον», όπως προκύπτει από τα πλεονεκτήματά τους. Η χρήση τους δε αποτελεί μονόδρομο σε πολλές περιπτώσεις, όπου το νερό άρδευσης καλής ποιότητας είναι περιορισμένο, όπως στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.

Το διαθέσιμο νερό άρδευσης περιέχει συχνά υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, με χαρακτηριστικότερο το παράδειγμα των Μεσογειακών χωρών (Sonneveld and Voogt, 2009), όπου οι συγκεντρώσεις ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  αλλά και  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  και  $\text{HCO}_3^-$  (τα οποία τείνουν να συσσωρεύονται στο διάλυμα ριζοστρώματος) είναι ιδιαιτέρως υψηλές. Το δεδομένο αυτό πολλές φορές μπορεί να δυσχεράνει την πρακτική εφαρμογή των κλειστών συστημάτων καλλιέργειας, καθώς η συσσώρευση ανεπιθύμητων αλάτων στη ριζόσφαιρα επιβάλλει – αναπόφευκτα – τακτική απόρριψη του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος (Carnassi et al., 2007), περιορίζοντας έτσι, τα όποια οφέλη της επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος απορροής.

Η αυτοματοποιημένη διαχείριση της διαδικασίας ανακύκλωσης, μέσω της εφαρμογής κατάλληλων τεχνικών και μοντέλων, ενδεχομένως να ελαχιστοποιήσει την ανάγκη απόρριψης του διαλύματος απορροής, μεγιστοποιώντας συνάμα την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (Silberbush and Ben-Asher, 2001; Anastasiou et al., 2009). Σύμφωνα με τους Varlagas et al. (2010) τέτοια μοντέλα «ισοζυγίου-μάζας» βασίζονται κυρίως στη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων των ιόντων που συσσωρεύονται στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (κυρίως  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ ) και τις αντίστοιχες αναλογίες απορρόφησής τους από τα φυτά (ión/νερό), γνωστές κι ως «συγκεντρώσεις απορρόφησης». Ακόμη, καθώς το πρόβλημα της αλατότητας σε ένα, κλειστού κύκλου, υδροπονικό σύστημα οφείλεται κυρίως στη συσσώρευση ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ , η έρευνα έχει κυρίως εστιάσει στους λόγους πρόσληψης  $\text{Na}^+$ /νερό και  $\text{Cl}^-$ /νερό.

Αρχικά οι Sonneveld et al. (1999) εισήγαγαν ανάλογες σχέσεις για σειρά ανθοκομικών ειδών, με τους Savvas et al. (2005) να προχωρούν στη μοντελοποίηση της συσσώρευσης ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, ως συνάρτηση των συγκεντρώσεων απορρόφησής τους, σε καλλιέργεια αγγουριού. Συνοπτικά το μοντέλο σκιαγραφείται ως εξής: **1.** Οι απώλειες νερού λόγω εξάτμισης ή απόρριψης θεωρούνται αμελητέες, με το συνολικό όγκο νερού που εισάγεται στο κλειστό σύστημα ( $V_w$ ) να είναι ίσος με αυτόν που απομακρύνεται λόγω διαπνοής. **2.** Το θρεπτικό διάλυμα ( $s$ ) που παραμένει στο κλειστό σύστημα, αντιστοιχεί στο διάλυμα απορροής (όγκος διαλύματος απορροής,  $V_s$ ), με τις συγκεντρώσεις των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  σε αυτό, να αντιστοιχούν σε  $C_{xs}$  ( $x=\text{Na}, \text{Cl}$ ). **3.** Θεωρώντας πως η περιεκτικότητα των χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων σε  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  είναι μηδενική, ο μόνος τρόπος εισαγωγής τους στο σύστημα είναι μέσω του αρδευτικού νερού, του οποίου οι συγκεντρώσεις σε ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  είναι  $C_{xw}$  και παραμένουν σταθερές σε όλη τη καλλιεργητική περίοδο. **4.** Καθώς το σύστημα είναι τελείως κλειστό, ο μόνος τρόπος απομάκρυνσης των αλάτων είναι μέσω της απορρόφησής τους από τα φυτά, με τις συγκεντρώσεις απορρόφησης των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  να ορίζονται ως  $C_{xu}$ . **5.** Κάθε αύξηση του  $C_{xs}$  είναι ανάλογη της αύξησης του  $V_w$  και της διαφοράς εισροών – εκροών  $\text{NaCl}$  στο σύστημα ( $C_{xw} - C_{xu}$ ) και τέλος, αντιστρόφως ανάλογη του  $V_s$ . Μαθηματικώς αυτή η σχέση αποδίδεται ως:

$$dC_{xs} = dV_w(C_{xw} - C_{xu})/V_s \quad (1)$$

Αναδιατάσσοντας της (1) προκύπτει:

$$dC_{XS}/dV_W=(C_{XW} - C_{XU})/V_S \quad (2)$$

Σύμφωνα με τους Sonneveld et al. (1999), η  $C_{XU}$  μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του  $C_{XS}$ . Ως εκ τούτου:

$$C_{XU}=\alpha C_{XS}^b \quad (3)$$

όπου τα  $\alpha$  και  $b$  είναι σταθερές που αξαρτώνται από το φυτικό είδος.

Ακόμη, η εξ. (3) δύναται να χρησιμοποιηθεί σε μία γενικευμένη μορφή, εισόγοντας τη σταθερά  $c$ , για τη μοντελοποίηση των συγκεντρώσεων απορρόφησης των ιόντων  $Na^+$  και  $Cl^-$ , σαν συνάρτηση της συγκέντρωσής τους στο ριζόστρωμα:

$$C_{XU}=\alpha C_{XS}^b + c \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας την εξ. (4) στην εξ. (2) προκύπτει:

$$dC_{XS}/dV_W=(C_{XW} - \alpha C_{XS}^b - c)/V_S \quad (5)$$

Η εξ. (5) δεν μπορεί να επιλυθεί κανονικά, αλλά αριθμητικά, σύμφωνα με τη μέθοδο των Runge – Kutta (Butcher, 1987).

Με βάση το ισοζύγιο μαζών αποδεικνύεται τελικά ότι, σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα, η αύξηση της  $C_{XS}$  είναι ανάλογη της αύξησης της αθροιστικής κατανάλωσης νερού από τα φυτά ( $V_W$ ) και της διαφοράς μεταξύ του  $Na$  ή του  $Cl$  που εισέρχεται στο σύστημα ( $C_{XW}$ ) και του  $Na$  ή του  $Cl$  που απορροφάται από τα φυτά ( $C_{XU}$ ) και αντιστρόφως ανάλογη προς τον συνολικό όγκο του θρεπτικού διαλύματος που περιέχεται στο σύστημα ( $V_S$ ).

Το παραπάνω περιγραφόμενο μοντέλο έχει αποτελέσει τη βάση προσομοίωσης (αντίστοιχων συγκεντρώσεων) σε πλήθος άλλων καλλιεργειών, όπως η καλλιέργεια τομάτας ανεπτυγμένης σε κλειστά (Varlagas et al., 2010) και ημί-κλειστά συστήματα (Katsoulas et al., 2015). Γενικότερα η εφαρμογή του προσομοιώματος στις προαναφερόμενες καλλιέργειες επιβεβαίωσε την δυνατότητά του να προβλέπει με αποδεκτή ακρίβεια -για εμπορικές καλλιέργειες- τις συγκεντρώσεις  $Na$  στο διάλυμα ριζοστρώματος. Στην περίπτωση του  $Cl$  όμως, διαπιστώθηκε ότι το προσομοίωμα δεν μπορεί να εφαρμοστεί για χαμηλές συγκεντρώσεις ( $<10 \text{ mmol L}^{-1}$ ) στο διάλυμα ριζοστρώματος (Varlagas et al., 2010). Επιπλέον, η σύγκριση ορισμένων αποτελεσμάτων (Varlagas et al., 2010) με δεδομένα άλλων ερευνητών (Carmassi et al., 2005) έδειξε ότι η σχέση που συνδέει την συγκέντρωση  $Na$  στο ριζόστρωμα με την συγκέντρωση απορρόφησης του  $Na$  μπορεί να διαφοροποιείται όχι μόνο ανάλογα με το είδος, αλλά και με την καλλιεργούμενη ποικιλία.

Σε κάθε περίπτωση, τέτοιου είδους προσομοιώματα μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο για το σύγχρονο καλλιέργητη, μέσω ενσωμάτωσής τους σε κατάλληλα προγράμματα Η/Υ, γνωστά διεθνώς κι ως “Decision Support Systems” (DSS). Τα DSS παρέχοντας προβλέψεις και πληροφορίες (Anastasiou et al., 2005) δύναται να υποστηρίξουν τη λήψη ορθών αποφάσεων, όσον αφορά τη διαχείριση της συσσώρευσης αλάτων σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα. Ακόμη, πέραν της off-line εφαρμογής τους για συμβουλευτικούς σκοπούς, επιτρέπεται να ενταχθούν και σε συστήματα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο· δηλαδή, DSS με on-line εφαρμογή. Η αξιοποίησή τους τελικά σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, μπορεί να



επιτρέψει τον προσδιορισμό: **α.** της μέγιστης επιτρεπτής συγκέντρωση NaCl στο νερό άρδευσης για πλήρη και συνεχή ανακύκλωση των απορροών, **β.** σε περίπτωση που η συγκέντρωση NaCl είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπτή, τότε θα πρέπει να απορρίπτεται το διάλυμα απορροής με βάση την ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση αλατότητας στο διάλυμα ριζοστρώματος και **γ.** ποίο μέρος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του θρεπτικού διαλύματος αναλογεί στη συσσώρευση NaCl κι επομένως, ποία πρέπει να είναι η τελική EC (τιμή-στόχος), ώστε να παρέχονται επαρκείς ποσότητες θρεπτικών στοιχείων στα φυτά.

## 1.8 Σκοπός του πειράματος

Η χρησιμοποίηση αρδευτικού νερού κακής ποιότητας σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, οδηγεί σε σταδιακή συσσώρευση ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα. Για να αποφευχθεί μία ανεπιθύμητη αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων στο ριζόστρωμα, το ανακυκλούμενο Θ.Δ. πρέπει να απορρίπτεται τακτικά, υποβιβάζοντας εκ τούτου τα οφέλη της ανακύκλωσης. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το παραπάνω πρόβλημα, η κατάλληλα αυτοματοποιημένη διαχείριση της διαδικασίας ανακύκλωσης, με τη βοήθεια υπολογιστικών προσομοιωμάτων μπορεί να μειώσει την απόρριψη του διαλύματος απορροής.

Στη παρούσα μελέτη ένα τέτοιο μοντέλο που είχε αρχικά αναπτυχθεί από τους Savvas et al. (2005) και στη συνέχεια προσαρμόστηκε και βαθμονομήθηκε για τομάτα (Varlagas et al., 2010) αξιολογείται περαιτέρω, με χρήση διαφορετικών γονοτύπων τομάτας. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των συγκεντρώσεων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα ως συνάρτηση της κατανάλωσης νερού. Ειδικότερα, στην παρούσα μελέτη διερευνάται η δυνατότητα εφαρμογής του συγκεκριμένου προσομοιώματος σε εμβολιασμένα φυτά και παράλληλα επιχειρείται να εξετασθεί, κατά πόσο ο εμβολιασμός επιδρά στη συσσώρευση αλάτων στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα. Τέλος αξιολογούνται οι διαφορετικοί μηχανισμοί αντοχής των φυτών τομάτας στην αλατότητα χρησιμοποιώντας διαφορετικές ποικιλίες τομάτας, με διαφορετική ικανότητα αποκλεισμού των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  με στόχο να διαπιστωθεί αν και με ποιο τρόπο αυτό το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό των φυτών τομάτας επηρεάζει την συσσώρευση των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα αλλά και στα φωτοσυνθετικά ενεργά φύλλα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Υλικά και Μέθοδοι

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιιεργειών, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Γ.Π.Α.). Πιο συγκεκριμένα, έλαβε χώρα πείραμα σε υαλόφρακτο θερμοκήπιο του εργαστηρίου, κατά το διάστημα Ιανουάριος – Ιούνιος 2017 (20/01/2017 – 27/06/2017). Επιπρόσθετα οι απαιτούμενες αναλύσεις, στα πλαίσια των αναγκών της υφιστάμενης μελέτης, διεξήχθησαν στο σύγχρονο χώρο του εργαστηρίου, αξιοποιώντας τα κατάλληλα όργανα κι εργαστηριακό εξοπλισμό.

### 2.1 Το θερμοκήπιο

Χρησιμοποιήθηκαν δύο θερμοκηπιακοί θάλαμοι συνολικής έκτασης 140 m<sup>2</sup>, υαλόφρακτοι, με το έδαφος των χώρων να είναι καλυμένο από σκληρόδεμα. Ο έλεγχος του κλίματος ήταν πλήρως αυτοματοποιημένος και προσαρμοζόταν, βάση των αναγκών της καλλιέργειας. Δεδομένα από αισθητήρια όργανα ελέγχου θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, λαμβάνονταν υπόψη κι επακόλουθα, ρύθμιζαν τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης (καλοριφέρ) κι αερισμού (άνοιγμα και κλείσιμο παραθύρων). Επιπλέον, σαν μέτρο ελέγχου του πληθυσμού εχθρών της καλλιέργειας, είχε τοποθετηθεί εντομοστεγές δίχτυ τόσο στις εισόδους, αλλά και στα παράθυρα του θερμοκηπίου. Τέλος, η ύπαρξη ξεχωριστού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, εξασφάλιζε τη συνεχή τροφοδότηση, σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.

### 2.2 Πειραματική εγκατάσταση

Για τις ανάγκες του πειράματος, φυτά τομάτας καλλιεργήθηκαν σε κλειστό υδροπονικό σύστημα NFT, αποτελούμενο από 40 κανάλια (6m x 30cm), καθένα από τα οποία ετροφοδοτείτο με Θ.Δ. από ένα ανεξάρτητο δοχείο. Η επιλογή του συγκεκριμένου συστήματος επιτρέπει τη βέλτιστη μελέτη των θρεπτικών απαιτήσεων των φυτών (Hewitt and Watson, 1980), σε σχέση με τη καλλιέργεια σε υποστρώματα, όπου λόγω της συγκράτησης νερού στο πορώδες, δεν είναι δυνατό να γνωρίζουμε την ακριβή σύσταση του θρεπτικού διαλύματος ριζοστρώματος.

Το κάθε κανάλι αποτελούσε ουσιαστικά, ένα ξεχωριστό κι ανεξάρτητο, κλειστό υδροπονικό σύστημα. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος στηριζόταν σε δύο πλαστικές δεξαμενές (50 Lt) τοποθετημένες η μία πάνω στην άλλη, ενώ η επικοινωνία μεταξύ τους εξασφαλιζόταν μέσω πλωτήρα ο οποίος ήταν ρυθμισμένος σε τέτοια θέση, ώστε να διατηρείται η στάθμη της κάτω δεξαμενής σταθερή (στα 20 Lt). Ταυτόχρονα, υποβρύχια αντλία εξασφάλιζε την απρόσκοπτη ροή θρεπτικού διαλύματος από τη κάτω δεξαμενή στην αρχή του καναλιού, μέσω κατάλληλου σωλήνα άρδευσης. Το κλειστό υδροπονικό σύστημα καταλήγει σε ειδικούς συλλέκτες διαλύματος απορροής, στην άκρη του κάθε καναλιού, οι οποίοι και διοχετεύουν το

διάλυμα στη κάτω δεξαμενή· γεγονός που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή κλίσης (2%) σε κάθε κανάλι (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Άποψη του κλειστού υδροπονικού συστήματος. Διακρίνονται οι δύο δεξαμενές παροχής Θ.Δ., το κανάλι NFT και οι ειδικούς συλλέκτες διαλύματος απορροής.

### 2.3 Φυτικό υλικό

Στα πλαίσια του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφορετικοί γονότυποι τομάτας (*Solanum lycopersicum* L.), εκ των οποίων οι τρεις αφορούσαν μεγαλόκαρπες, ενώ τη τέταρτη ποικιλία ήταν μικρόκαρπη (τοματίνι), τύπου «βελανίδι». Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα υβρίδια “Beladonna”, “Merilia”, “Formula” (μεγαλόκαρπες) και “Lobello” (τοματίνι), ενώ επιπλέον στα δύο πρώτα, πραγματοποιήθηκε και εμβολιασμός τους στο υβρίδιο “Armstrong” (*S. lycopersicum* L.x *S. habrochaites*).

Το σύνολο των φυτών που χρησιμοποιήθηκε, παράχθηκε στο θερμοκήπιο του εργαστηρίου. Στα μέσα Νοεμβρίου έγινε η σπορά των υβριδίων σε δίσκους σπορας 54 x 28 cm, 72 θέσεων, χρησιμοποιώντας ως υπόστρωμα μείγμα τύρφης και περλίτη σε αναλογία 1:1. Καθ’όλη τη διάρκεια της παραμονής των σποροφύτων στο θερμοκήπιο, οι ανάγκες τους σε νερό και θρεπτικά καλύπτονταν μέσω εφαρμογής κατάλληλου θρεπτικού διαλύματος.

## 2.4 Η καλλιέργεια

Τα νεαρά σπορόφυτα μεταφτεύθηκαν στα κανάλια υδροπονίας στις 20/01/2017, αφού είχαν φτάσει στο στάδιο των 6-7 πραγματικών φύλλων. Η πυκνότητα φύτευσης που επιλέχθηκε ήταν 2,5 φυτά/m<sup>2</sup>, δεδομένο που αντιστοιχούσε σε 9 φυτά ανά κανάλι, για το σύνολο και των 40 καναλιών. Η προσεκτική έκπλυση της μπάλας χώματος πριν τη μεταφύτευση, εξασφάλιζε την ανάπτυξη των φυτών ως γυμνόριζα στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (**Εικόνα 2.2**).



**Εικόνα 2.2:** Άποψη της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο, στο 1<sup>ο</sup> μήνα μετά τη μεταφύτευση.

Στο σύνολο του χρόνου που υφίστατο η καλλιέργεια στο θερμοκήπιο, έγινε εφαρμογή θρεπτικού διαλύματος (Θ.Δ.) με 6 διαφορετικές συστάσεις - ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών - εκ των οποίων η 1<sup>η</sup> αφορούσε το αρχικό γέμισμα των δεξαμενών ανακύκλωσης (starter solution), στα 20 Lt, ενώ οι υπόλοιπες το γέμισμα των δεξαμενών συμπλήρωσης (replenishment solution), στα 40 Lt.

### 2.4.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Βασική αρχή σε κάθε πειραματική εργασία, είναι η τήρηση κι εφαρμογή συνθηκών ομοιογένειας (ομοιομορφία κλίματος, καλλιεργητικών επεμβάσεων και φυτικού υλικού). Εν προκειμένω εφαρμόστηκε πειραματικό σέδιο τύπου «*Εντελώς Τυχαιοποιημένο Σχέδιο* (ΕΤΣ)». Εδώ η τήρηση της αρχής της ομοιογένειας καθιστά το σχέδιο, πλήρως εφαρμοζόμενο σε πειράματα θερμοκηπίου. Ο τυχαιοποιημένος διαμοιρασμός των μεταχειρίσεων στις πειραματικές μονάδες, εξασφαλίζει – για την κάθε μία – ομοιομορφία επεμβάσεων. Η χρησιμοποίηση πινάκων τυχαίων αριθμών, διευκολύνει σημαντικά την εφαρμογή τυχαιοποίησης (Π.Ι. Καλτσίκη. Πίνακες Γεωργικού Πειραματισμού, 1990).

Για τις ανάγκες τις εργασίας, η εγκατάσταση των μεταχειρίσεων έγινε βάση ενός διπαραγοντικού σχεδίου, με τρεις τυχαιοποιημένες επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση. Ειδικότερα, ο 1<sup>ος</sup> παράγοντας αφορούσε την εφαρμογή δύο διαφορετικών συγκεντρώσεων NaCl στο Θ.Δ. · μία χαμηλή η οποία αντιστοιχούσε στη φυσική συγκέντρωση NaCl στο αρδευτικό νερό (0,6 mM - μάρτυρας) και μία υψηλή (5,00 mM - αλατότητα) η οποία επιτεύχθηκε με προσθήκη κατάλληλης ποσότητας NaCl στο νερό άρδευσης. Τέλος ως 2<sup>ος</sup> παράγοντας, αναφορικά με την εγκατάσταση των μεταχειρίσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι γονότυποι, καθώς και οι διαφορετικοί συνδυασμοί γονοτύπων – υποκειμένου: Merilia, Merilia/Armstrong, Belladonna, Belladonna/Armstrong, Formula, Lobello (**Εικόνα 2.3**).

			ROOM 1									
EXTRA PLANTS	TEAM I		TEAM II			TEAM III						
3NaCl	1C	2C	4NaCl	2NaCl	3C	4C	2C	6NaCl	5C			
4NaCl	3C	4C	5C	1NaCl	6C	5NaCl	1NaCl	3NaCl	6C			
			ROOM 2									
			TEAM I		TEAM II			TEAM III			EXTRA PLANTS	
			4NaCl	2NaCl	6C	2C	5C	1C	4NaCl	5NaCl	1C	6NaCl
			3NaCl	1NaCl	5NaCl	6NaCl	3C	4C	2NaCl	6NaCl	3NaCl	5NaCl
SPLIT SPLOT DESIGN			C (plants)	NaCl (plants)	TOTAL							
5-grafted A MerilliaxArmstrong			27	27	54							
3-non grafted A MerilliaxArmstrong			27	27	54							
2-grafted B BelladonnaxArmstrong			27	27	54							
6-non grafted B BelladonnaxArmstrong			27	27	54							
4-non grafted C Lobello			27	27	54							
1-non grafted D Formula			27	27	54							
			162	162	324							

**Εικόνα 2.3:** Διπαραγοντικό πειραματικό σχέδιο του πειράματος, με 1<sup>ο</sup> παράγοντα την αλατότητα (NaCl) και 2<sup>ο</sup> παράγοντα τον γονότυπο.

## 2.5 Σύνθεση και χορήγηση των θρεπτικών διαλυμάτων

Το σύνολο των υπολογισμών που απαιτούντο, αναφορικά με τις αναγκαίες συγκεντρώσεις των μακρο- και ίχνο- στοιχείων, για τη σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων, έγινε με τη χρήση ειδικού προγράμματος Η/Υ (Savvas and Adamidis, 1999). Απαραίτητα δεδομένα εισαγωγής στο σχετικό πρόγραμμα, είναι οι τιμές των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων (Θ.Σ.) στο νερό άρδευσης και παράλληλα, οι επιθυμητές τιμές – στόχος των Θ.Σ. στο αραιό θρεπτικό διάλυμα, δηλαδή στο θρεπτικό διάλυμα που παρεχόταν στα φυτά μέσω του συστήματος άρδευσης. Ακολούθως, το πρόγραμμα δίδει αυτόματα τις απαιτούμενες ποσότητες των λιπασμάτων (σε Kg), για τη παρασκευή των πυκνών διαλυμάτων (Π.Δ.), τα οποία στη συνέχεια έπρεπε να αραιωθούν σε μία συγκεκριμένη αναλογία (στο παρόν πείραμα 1:100) με νερό άρδευσης για να παρασκευασθεί το αραιό θρεπτικό διάλυμα με την επιθυμητή σύνθεση.

Η σύνθεση των αραιών Θ.Δ., τόσο του “*Starter solution*” όσο και των “*Replenishment solution*”, γινόταν σε βαρέλια όγκου 200 L. Λαμβάνοντας υπόψη την αναλογία αραιώσεως 1/100, μεταφέρονταν κάθε φορά 2 L Π.Δ. Α΄ και 2 L Π.Δ. Β΄ διαλύματος με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου κι ακολούθως, γινόταν συμπλήρωση με αρδευτικό νερό. Παράλληλα για τη ρύθμιση του pH του αραιού θρεπτικού διαλύματος, γινόταν εφαρμογή πυκνού νιτρικού οξέως (HNO<sub>3</sub> 68%). Η χρήση κατάλληλων οργάνων μέτρησης pH και EC, εξασφάλιζε κάθε φορά, την ορθότητα της παρασκευής του αραιού θρεπτικού διαλύματος. Τέλος στη περίπτωση που το Θ.Δ. προοριζόταν για τις μεταχειρίσεις αλατότητας, γινόταν επιπλέον προσθήκη ποσότητας υδατικού διαλύματος NaCl.

Τρείς φορές την εβδομάδα καταγράφονταν οι τιμές pH και EC του ανακυκλούμενου Θ.Δ. για κάθε μεταχείριση. Παράλληλα γινόταν καταγραφή και της ποσότητας Θ.Δ. που καταναλώθηκε στο μεσοδιάστημα (*Water Crop Consumption*) και ακολουθούσε η καθορισμένη συμπλήρωση, με το ανάλογο θρεπτικό διάλυμα.

## 2.6 Καλλιεργητικές φροντίδες

Οι καλλιεργητικές φροντίδες είναι εργασίες απαραίτητες στη διάρκεια της καλλιέργειας των περισσότερων κηπευτικών και η εφαρμογή τους κρίνεται επιβεβλημένη, για την εξασφάλιση της καλής υγείας των φυτών, αλλά και την επίτευξη βέλτιστης παραγωγής. Οι κυριότερες καλλιεργητικές εργασίες αφορούν το κλάδεμα και την υποστύλωση του φυτικού κεφαλαίου· στις καλλιέργειες υπό κάλυψη δε, οι ιδιαιτερότητες του συστήματος καλλιέργειας (ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών, μεγαλύτερη πυκνότητα φύτευσης, καλύτερη αξιοποίηση όγκου θερμοκηπίου κ.α.) συχνά επιτάσσουν τη τακτική εφαρμογή τους.

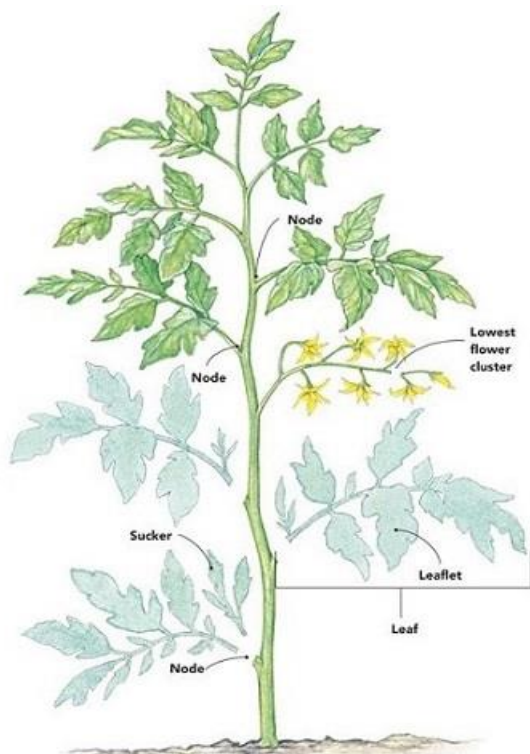
### 2.6.1 Κλάδεμα

Η εργασία του κλαδέματος είναι καθοριστική για την επιτυχία της καλλιέργειας – ιδιαίτερα – των καρποδοτικών φυτών συνεχούς καρποφορίας, όπως είναι η τομάτα. Περιλαμβάνει τις εργασίες (α) αφαίρεσης και (β) κορυφολόγησης βλαστών, (γ) της αφαίρεσης φύλλων και (δ) του αραιώματος ανθέων και καρπών (Σάββας, 2016). Αναλυτικότερα, με το κλάδεμα επιτυγχάνονται:

- Εξισορρόπηση βλάστησης και καρποφορίας
- Περιορισμός του αριθμού των ταξιανθιών στον κεντρικό (μονοστέλεχο) ή δύο βλαστούς (διστέλεχο)
- Συγκέντρωση της παραγωγής σε δεδομένη χρονική περίοδο
- Εξασφάλιση ομοιογένειας και καλής ποιότητας καρπών (γεύση, χρώμα, συνεκτικότητα καρπών) (Ολύμπιος, 2001)

Καθόλη τη διάρκεια της καλλιέργειας εφαρμόζονταν οι εργασίες της αφαίρεσης φύλλων και βλαστών, με την επιπλέον εφαρμογή αραιώματος ανθέων και καρπών, όποτε αυτό ήταν αναγκαίο. Σε γενικές γραμμές, ακολουθήθηκε η αρχή της διατήρησης 17 πραγματικών φύλλων ανά φυτό (έναρξη αφαίρεσης φύλλων στα

πρώτα 22 πραγματικά φύλλα, περίπου). Επιπλέον, συντασσόμενοι στη μονοστέλεχη πρακτική καλλιέργειας τομάτας, πραγματοποιούνται βλαστολόγημα, με αφαίρεση πλάγιων βλαστών όταν αυτοί έφταναν στα 5 – 10 cm. Τέλος για την επίτευξη υψηλού δυναμικού παραγωγής, ο αριθμός των καρπών διατηρούνταν στους 4-5 καρπούς ανά ταξιανθία· με τις επεμβάσεις εδώ να στοχεύουν (πρωτίστως) στο στάδιο των ανθέων και δευτερευόντως, με το δέσιμο των καρπών (**Εικόνα 2.4**).



**Εικόνα 2.4:** Ενδεικτικό κλάδεμα παλαιότερων φύλλων τομάτας (older leaves), πλάγιων βλαστών (suckers) κι αραιώσης ταξιανθιών (lowest flower cluster). Πηγή: Εικόνα από το διαδίκτυο.

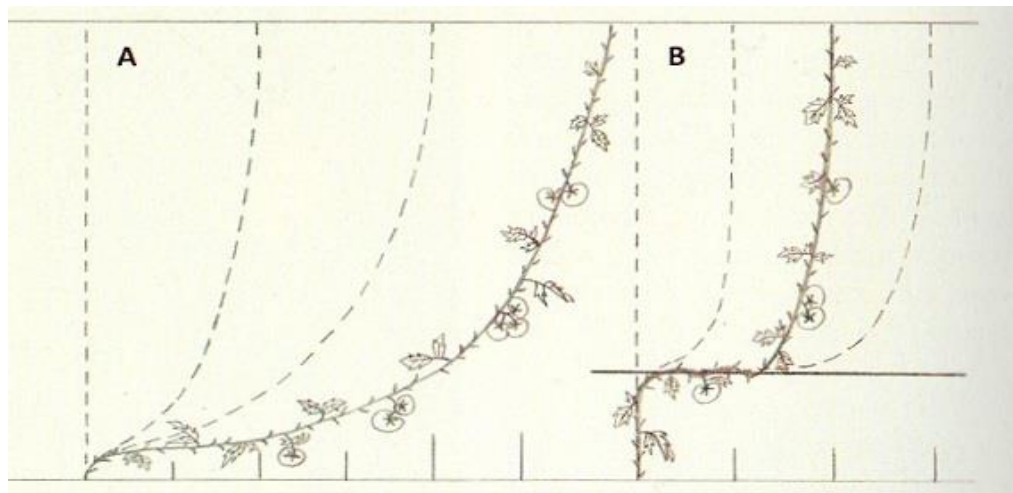
## 2.6.2 Υποστύλωση

Η εργασία της υποστύλωσης αποσκοπεί στη στήριξη του κεντρικού στελέχους του φυτού και παράλληλα προωθεί την ορθόκλαδη ανάπτυξη της κόμης (Σάββας, 2016). Επιπρόσθετα διευκολύνει την εργασία του κλαδέματος, αλλά κι επιτρέπει τη δημιουργία καλύτερου μικροκλίματος για το φυτό. Οποσδήποτε θεωρείται απαραίτητη πρακτική (σαν συμπλήρωση του κλαδέματος) και για τη καλύτερη αξιοποίηση του συνολικού χώρου του θερμοκηπίου.

Την εγκατάσταση της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο, ακολούθησε η υποστύλωση για το κάθε φυτό ξεχωριστά, με τη χρήση σπάγγου. Η μία άκρη του σπάγγου δένεται στο κάθε βλαστό και η άλλη στερεώνεται στο οριζόντιο σύρμα που υφίσταται πάνω από κάθε γραμμή των φυτών. Η χρήση ειδικών πλαστικών «κλιπς κηπευτικών», στο σπάγγο, επιτρέπει μεγαλύτερη ασφάλεια για το φυτό, εν συγκρίση με τη περιτύλιξη του σε αυτόν.

Ανά τακτά διαστήματα εφαρμόστηκε και η σχετική εργασία του «κατεβάσματος». Όταν τα φυτά φτάσουν στο σύρμα υποστύλωσης αφήνεται ποσότητα σπάγγου, με

ταυτόχρονη εργασία «χαλάρωσης» του στελέχους του φυτού (το φυτό μετακινείται προς τα κάτω κι ουσιαστικά «κατεβαίνει»). Ακολουθεί δέσιμο του σπάγγου σε επόμενη θέση στο σύρμα υποστήλωσης. Κατ'αυτόν το τρόπο, το στέλεχος δεν παραμένει σε συγκεκριμένη θέση επί του σύρματος υποστήλωσης, αλλά μετακινείται, επιτρέποντας συνέχιση της ορθόκλαδης ανάπτυξής του (**Εικόνα 2.5**).



**Εικόνα 2.5:** Υποστήλωση τομάτας με τακτικό κατέβασμα βλαστών. Α. Προοδευτικό κατέβασμα χωρίς υποστήλωση και Β. με υποστήλωση, του κατώτερου τμήματός του (Σάββας, 2016).

### 2.6.3 Υποβοήθηση καρπόδεσης

Η τομάτα όπως κι όλα τα σολανώδη, είναι αυτογονιμοποιούμενο φυτό. Το άνθος της τομάτας διαθέτει κοντό στύλο, με το στίγμα του να περιβάλλεται από τον κώνο των ανθήρων. Από τεχνικής σκοπιάς επομένως, η κατασκευή του άνθους της τομάτας βοηθά την αυτογονιμοποίηση (Ολύμπιος, 2001). Βέβαια για να μεταφερθεί η γύρη από τους ανθήρες στο στίγμα του υπέρου και να επιτευχθεί γονιμοποίηση και καρπόδεση, θα πρέπει να υπάρξει κάποιου είδους δόνηση στο άνθος. Στη φύση αυτό επιτυγχάνεται μέσω της κίνησης του ανέμου, με τα έντομα να έχουν εξίσου σημαντικό ρόλο. Ωστόσο βάση των συνθηκών που επικρατούν σε μία θερμοκηπιακή καλλιέργεια, κάτι τέτοιο είναι αδύνατο, καθ'όσον πρόκειται για ένα χώρο μονωμένο, με τη κίνηση του αέρα να είναι πρακτικά μηδαμινή.

Στην υπό μελέτη καλλιέργεια η υποβοήθηση της καρπόδεσης γινόταν μέσω τακτικής δόνησης των οριζόντιων συρμάτων υποστήριξης των φυτών, με τη χρήση κατάλληλου κονταριού. Τα χτυπήματα στο σύρμα, μετέφεραν τη δόνηση στους σπάγγους υποστήλωσης και κατ'επέκταση, στο κάθε φυτό ξεχωριστά. Πέραν αυτού, μπορεί να θεωρηθεί πως λάμβανε χώρα κι «ακούσια» υποβοήθηση καρπόδεσης, μέσω της δόνησης που επιδέχονταν τα φυτά, κατά την εκτέλεση των όποιων καλλιεργητικών εργασιών (όπως έχουν αναφερθεί πιο πάνω).

### 2.6.4 Αντιμετώπιση εχθρών και παθογόνων

Το φυτό της τομάτας παρόλο που είναι σχετικά ανθεκτικό σε πλήθος αβιοτικών παραγόντων, θεωρείται αρκετά επιδεκτικό ως προς το να προσβληθεί από μεγάλο αριθμό εχθρών, συμπεριλαμβανομένων μυκήτων και βακτηρίων, ιώσεων κι εντόμων.



Στην υφιστάμενη μελέτη, η καλλιέργεια της τομάτας υποστηρίχθηκε εφαρμόζοντας πρακτικές ολοκληρωμένης διαχείρισης – όπου αυτό ήταν εφικτό – κι ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας. Στα πλαίσια της παραπάνω αρχής, τοποθετήθηκαν εντομοστεγή δίχτυα στα παράθυρα και τις εισόδους του θερμοκηπίου, καθώς και χρωματικές παγίδες, στοχεύοντας στην αποτροπή εισόδου εντόμων στο θερμοκήπιο και παγίδευσής τους, προτού ο πληθυσμός τους υπερβεί το όριο οικονομικής ζημιάς (Economic Injury Level – EIL, FAO). Επιπλέον δόθηκε βάση στη τακτική διεκπαιρέωση καλλιεργητικών πρακτικών (κλάδεμα, υποσύλωση, απομάκρυνση ζιζανίων)· εργασίες που στοχεύουν αφενός στη διατήρηση της ζωνρότητας κι αύξησης της παραγωγής των φυτών κι αφετέρου, στη μείωση του δυναμικού των εχθρών που ενδεχομένως έχουν προσβάλλει τη καλλιέργεια. Τέλος, ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε στη διαχείριση του κλίματος των θαλάμων, μέσω της επίτευξης ιδανικών συνθηκών αερισμού, θερμοκρασίας κι υγρασίας. Με το τελευταίο επιτυγχάνονται καλύτερες συνθήκες ανάπτυξης των φυτών και παράλληλα, επιτρέπεται «παθητικός έλεγχος» ως προς την πρόληψη μυκητολογικών – κυρίως – προσβολών.

Ημερομηνία	Εμπορική Ονομασία	Δραστική Ουσία	Αίτιο
3/22/2017	TOPAS 100 ec	10% β/ο penconazole	Ψίδιο
3/4/2017	ORTIVA 25 SC	25% β/ο azoxystrobin	Ψίδιο
3/11/2017	ORTIVA 25 SC	25% β/ο azoxystrobin	Ψίδιο
3/18/2017	Segethion 80 WG	80% θρεξίμο θείο	Ψίδιο
3/23/2017	Agricolle		Αλευρώδης, αφίδα
3/29/2017	Χλωρίωση Θ.Δ. (5% CI)		Φουζάριο
3/25/2017	Segethion 80 WG	80% θρεξίμο θείο	Ψίδιο
3/26/2017	Agricolle		Αλευρώδης, αφίδα
3/30/2017	Biorend-R	Ωφέλιμοι νηματώδεις	Λεπιδόπτερα
4/9/2017	Agricolle		Αλευρώδης, αφίδα
4/11/2017	Biorend-R	Ωφέλιμοι νηματώδεις	Λεπιδόπτερα
4/25/2017	Agricolle		Αλευρώδης, αφίδα
4/26/2017	Biorend-R	Ωφέλιμοι νηματώδεις	Λεπιδόπτερα
5/2/2017	Acaridoil 13 SL	potassium salts of fatty acids	Αλευρώδης, αφίδα
5/4/2017	Eretmocerus eremicus		Αλευρώδης
5/10/2017	Agricolle		Αλευρώδης, αφίδα
5/16/2017	Oberon 240 SC	24% β/ο spiromesifen	Αλευρώδης, ακάρεα
5/20/2017	Agricolle		Αλευρώδης, αφίδα
5/23/2017	Oberon 240 SC	24% β/ο spiromesifen	Αλευρώδης, ακάρεα
5/28/2017	Acaridoil 13 SL	potassium salts of fatty acids	Αλευρώδης, αφίδα
6/2/2017	Agricolle		Αλευρώδης, αφίδα
6/5/2017	Oberon 240 SC	24% β/ο spiromesifen	Αλευρώδης, ακάρεα
6/8/2017	Vertimec 1,8 EC	1,8% β/ο abamectin	Λεπιδόπτερα, ακάρεα
6/8/2017	Vertimec 1,8 EC	1,8% β/ο abamectin	Λεπιδόπτερα, ακάρεα

**Πίνακας 2.1:** Πρόγραμμα φυτοπροστατευτικών εφαρμογών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Στο διάστημα παρουσίας της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο, αντιμετωπίστηκαν τακτικές προσβολές ωίδιου (*Leveillula taurica*, ατελής μορφή *Oidiopsis taurica*) σε αρχικά στάδια. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν θεραπευτικές εφαρμογές εγκεκριμένων μυκητοκτόνων συνεπικουρούμενες, από τακτικές εφαρμογές βρέξιμου

θείου, στο επίπεδο της πρόληψης. Οι εντομολογικοί εχθροί που παρουσιάστηκαν στη καλλιέργεια περιορίστηκαν κυρίως στη πράσινη αφίδα (*Myzus persicae*), τον κόκκινο τετράνυχο (*Tetranychus urticae*) και τον αλευρώδη (θερμοκηπίου: *Trialeurodes vaporariorum* και καπνού: *Bemisia tabaci*), ενώ υπήρξαν και σποραδικές προσβολές από προνύμφες λεπιδόπτερων (πράσινο σκουλήκι ή *Heliothis armigera* και *Tuta absoluta*). Η αντιμετώπισή τους περιελάμβανε κύκλο ψεκασμών με κατάλληλα φυτοπροστατευτικά, επιχειρώντας την εφαρμογή όσο το δυνατόν λιγότερων δραστικών ουσιών. Σημείο αναφοράς αποτελεί η εξαπόλυση του ωφέλιμου "*Eretmocerus eremicus*", για τον έλεγχο του πληθυσμού αλευρώδους, στοχεύοντας σε όλα τα ατελή στάδια (πλην του αυγού) του εντόμου-στόχος. Ακόμη αξίζει να αναφερθεί, πως η μηχανική απομάκρυνση από το χώρο του θερμοκηπίου και καταστροφή, προσβεβλημένης φυτικής επιφάνειας, συντέλεσε τα μέγιστα στη διαχείριση του δυναμικού προσβολών, καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας. Τέλος, υπό το φόβο εμφάνισης αδρομυκώσεων και κυρίως φουζαρίου, πραγματοποιήθηκε χλωρίωση του θρεπτικού διαλύματος, με την εισαγωγή υδατικού διαλύματος χλωρίνης (5% Cl<sup>-</sup>) στις δεξαμενές ανακύκλωσης (μία εφαρμογή στις 29/03/2017).

## 2.7 Εργαστηριακό μέρος

Στο διάστημα παραμονής της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο πραγματοποιούνταν τακτικές μετρήσεις των EC, και pH του θρεπτικού διαλύματος ανακύκλωσης (για τη κάθε πειραματική μονάδα ξεχωριστά) και παράλληλα, γίνονταν μέτρηση της ποσότητας νερού που καταναλώθηκε (Water Crop Consumption) στο μεσοδιάστημα των μετρήσεων. Για τη μέτρηση της EC χρησιμοποιήθηκε το φορητό αγωγιμόμετρο Crison cm25 κι αυτής του Ph, το φορητό pH-μετρο Crison pH25 (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6: Φορητά όργανα μέτρησης pH και EC, με τα αντίστοιχα διαλύματα βαθμονόμησης.

Για τον έλεγχο των επιπέδων καλίου στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, καθώς και της συσσώρευσης ιόντων νατρίου και χλωρίου σε αυτό, έγιναν εννέα

δειγματοληψίες Θ.Δ., τις ημέρες: 6, 15, 27, 55, 74, 96, 118, 138 και 158, από την εγκατάσταση της καλλιέργειας στο κλειστό υδροπονικό σύστημα NFT. Για τον έλεγχο της συσσώρευσης  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στους φυτικούς ιστούς, πραγματοποιήθηκαν τρεις δειγματοληψίες, εκ των οποίων οι δύο σε φύλλα (Ημέρες 64 και 125) και μία σε φυτικούς ιστούς από τη περιοχή του ριζοστρώματος (Ημέρα 159).

Η συλλογή των φύλλων γινόταν τυχαιοποιημένα σε κάθε μεταχείριση, εστιάζοντας στη λήψη ποσότητας νωπών φύλλων ίσης περίπου με 60-70 g, από τα φύλλα που ήταν πιο κοντά στην νεώτερη ταξιανθία στην οποία είχε λάβει με το επίπεδο της πλέον πρόσφατης καρπόδεσης. Ωστόσο, προκειμένου να καταστεί εφικτή η ανάλυσή τους με φασματοσκοπικές μεθόδους, τα δείγματα έπρεπε να υποβληθούν σε εκχύλιση. Αρχικά τα φύλλα μεταφέρονταν στο θάλαμο ξήρανσης στους 70 °C, όπου και παρέμεναν για διάστημα τουλάχιστον 48 ωρών, μέχρι σταθεροποίησης του βάρους τους (παντελής απώλεια υγρασίας από τους ιστούς). Στη συνέχεια με τη χρήση ειδικού μύλου, επιτυγχανόταν πλήρης άλεση και κονιοποίηση των προς ανάλυση δειγμάτων. Ακολούθως, αντιπροσωπευτικό δείγμα 0,5 g εισαγόταν σε χωνευτήριο περσελάνης (κάψα) και τοποθετούνταν σε ειδικό κλίβανο στους 500 °C, για 8 ώρες. Με τη πάροδο επιπλέον 24 ωρών μετά τη καύση, λάμβανε χώρα εκχύλιση της στάχτης με τη χρήση 10 ml διαλύματος HCL 1M και διήθηση του εκχυλίσματος, μέσω φίλτρου Wattman 42. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στα δείγματα φυτικών ιστών που προέρχονταν από τη ρίζα. Η συλλογή του εκχυλίσματος γινόταν σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ml. Η διαδικασία ολοκληρωνόταν με τη συμπλήρωση των φιαλών με απεσταγμένο νερό και κατόπιν ανάδευσής τους, γίνονταν μετάγγιση του εκχυλίσματος σε πλαστικά μπουκαλάκια ίδιας χωρητικότητας (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7: Προετοιμασία των προς ανάλυση δειγμάτων στο εργαστήριο.

Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των στοιχείων  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  στους φυτικούς ιστούς, αλλά και στα δείγματα ανακυκλούμενου Θ.Δ., λαμβάνονταν μέσω της μεθόδου «Φασματοσκοπίας ατομικής εκπομπής φλόγας», χρησιμοποιώντας ένα

φλογοφωτόμετρο (Sherwood Flame Photometer 410). Ακόμη, οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων  $Cl^-$  για το σύνολο των δειγμάτων (Θ.Δ. και φυτικοί ιστοί), πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση μετρητή που φέρει εκλεκτικό ηλεκτρόδιο μέτρησης χλωριόντων (Ion Selective Electrode – Thermo Scientific Orion Star A214). Η προετοιμασία των δειγμάτων (φυτικών ιστών) για τη μέτρησή του, είχε ως εξής: **α.** άλεση, κονιορτοποίηση, ξήρανση φυτικών ιστών (όπως περιγράφηκαν παραπάνω), **β.** Ζύγιση σε ζυγό ακριβείας (Kern 770 – με 4 δεκαδικά) 500 mg ξηρού δείγματος, **γ.** Τοποθέτηση δείγματος σε πλαστικό μπουκαλάκι όγκου > 100 ml -κλείσιμο με πώμα, **δ.** Θέρμανση απεσταγμένου νερού στους 70 °C. Ογκομέτρηση 50 ml θερμού νερού και τοποθέτηση στα μπουκαλάκια -καλό κλείσιμο, **ε.** Τοποθέτηση σε orbital shaker - ανάδευση για 30 min, στις 250 rpm, **ζ.** Τα μπουκαλάκια αφήνονται για 15 min να ισορροπήσουν, **η.** Φιλτράρισμα σε άλλα με χάρτινο φίλτρο, **θ.** Λήψη 25 ml και τοποθέτηση σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml -συμπλήρωση με απεσταγμένο νερό, **ι.** Μεταφορά του διαλύματος σε άλλα πλαστικά μπουκαλάκια προς ανάλυση.

## 2.8 Στατιστική Ανάλυση

Για την αξιολόγηση της επίδρασης των διαφορετικών επιπέδων αλατότητας και των διαφορετικών γονοτύπων, καθώς και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, εφαρμόστηκε η μέθοδος ανάλυσης διακύμανσης δύο παραγόντων (2-factorial ANOVA). Στις περιπτώσεις που η ANOVA έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση ενός ή και των δύο παραγόντων, πραγματοποιήθηκε δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων “Duncan” (Duncan multiple range test – MRT) μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων για όλες τις παραμέτρους, σε επίπεδο σημαντικότητας  $p \leq 0,05$ . Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πακέτο λογισμικού STATISTICA, έκδοση 12.0 για Windows (StatSoft Inc., Tulsa, U.S.A.). Ακόμα η απεικόνιση των δεδομένων σε γραφήματα έγινε με το πρόγραμμα Plot-It, έκδοση 3.2 για Windows (SPE, Haslett, U.S.A.).

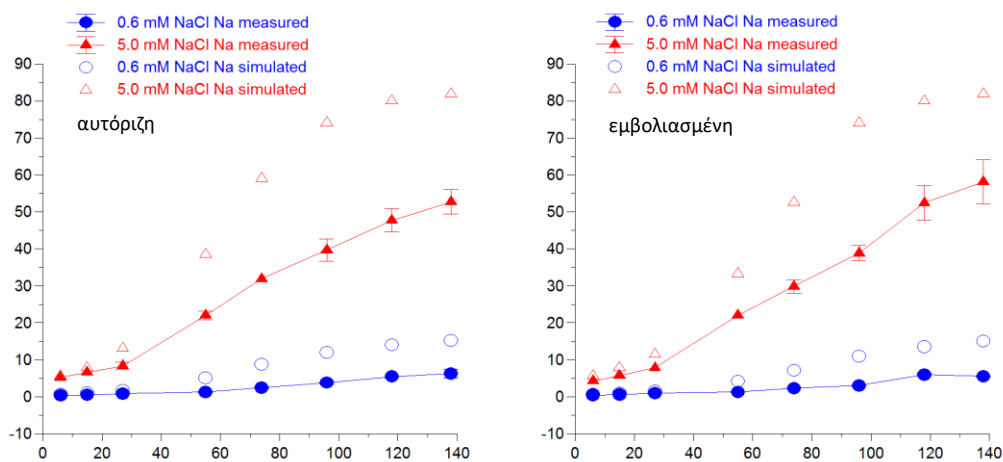
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Αποτελέσματα

### 3.1 Εφαρμογή του μοντέλου

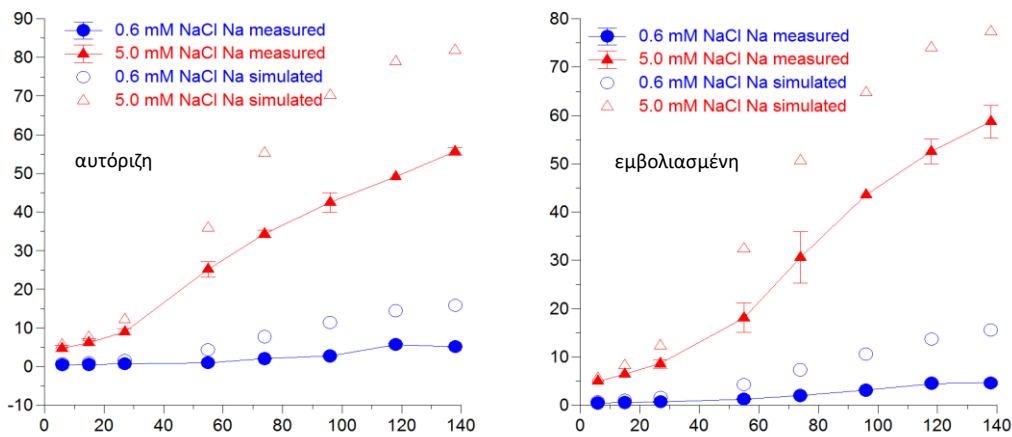
#### 3.1.1 Προσομοίωση της συσσώρευσης Na

Η συσσώρευση Na στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα ακολουθεί πρότυπο σιγμοειδούς καμπύλης (Εικόνα 3.1-3.3). Ιδιαίτερα δε στις μεταχειρίσεις αυξημένης αλατότητας ( $5\text{mmol Na L}^{-1}$ ), παρατηρείται σημαντική άνοδος της συγκέντρωσης αλάτων στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, από τη 3<sup>η</sup> -ήδη- δειγματοληψία (Ημέρα 27). Δεδομένης της καταπόνησης που δέχονται τα φυτά, στο διάστημα που ακολουθεί της μεταφύτευσής τους, αλλά και της μειωμένης κατανάλωσης νερού, λόγω της μικρής τους φυλλικής επιφάνειας, αναμένονται μικρότερες ποσότητες NaCl να εισέλθουν στο κλειστό υδροπονικό σύστημα, μέσω του αρδευτικού νερού. Ωστόσο χαρακτηριστική αύξηση παρατηρείται από την 4<sup>η</sup> δειγματοληψία (Ημέρα 55), η οποία συνεχίζεται μέχρι το τέλος της καλλιέργειας (8<sup>η</sup> δειγματοληψία - Ημέρα 138).

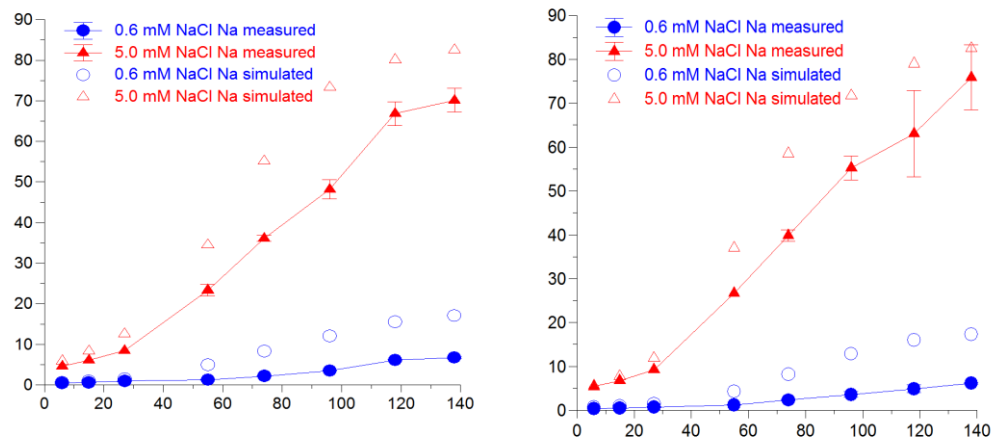
Στη παρούσα εργασία έγινε εφαρμογή προσομοιώματος ισοζυγίου μαζών, το οποίο είχε αρχικά αναπτυχθεί από τους Savvas et al. (2005), ενώ προσαρμόστηκε και βαθμονομήθηκε για τομάτα από τους Varlagas et al. (2010). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το μοντέλο προσομοίωσης έτεινε να υπερεκτιμά το ρυθμό συσσώρευσης αλάτων, ανεξαρτήτως γονοτύπου ή εφαρμογής εμβολιασμού. Στις ποικιλίες “Merilia” και “Belladonna” (Εικόνα 3.1-2) όμως, είτε αυτόριζες είτε εμβολιασμένες, το προσομοίωμα υπερεκτιμούσε σημαντικά περισσότερο τις πραγματικές (μετρημένες) τιμές  $\text{Na}^+$  στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε σύγκριση με τις “Formula” και “Lobello” (Εικόνα 3.3).



**Εικόνα 3.1:** Συσσώρευση Na συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Merilia και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας.



**Εικόνα 3.2:** Συσσώρευση Na συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Belladonna και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας.



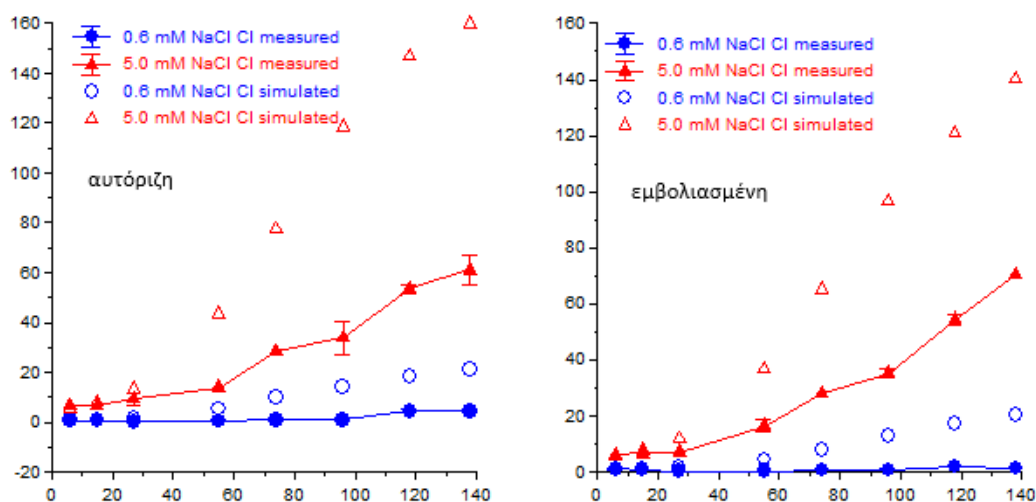
**Εικόνα 3.3:** Συσσώρευση Na συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Formula (αριστερά) και Lobello (δεξιά) και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας.

Η μεγαλύτερη συσσώρευση Na στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, παρατηρείται για το υβρίδιο “Lobello”, η οποία φτάνει στα 75,86 mmol Na L<sup>-1</sup>, με την αντίστοιχη υψηλότερη τιμή για το υβρίδιο “Formula” να φτάνει τα 62,68 mmol Na L<sup>-1</sup>. Η συσσώρευση Na στα υβρίδια “Merilia” και “Belladonna”, παρουσιάζεται χαμηλότερη, ανεξαρτήτως εφαρμογής εμβολιασμού. Τα μέγιστα που παρατηρήθηκαν ανήλθαν στα 58,15 mmol Na L<sup>-1</sup> για τη “Merilia” (εμβολιασμένη) και 64,67 mmol Na L<sup>-1</sup> για τη “Belladonna” (αυτόριζη).

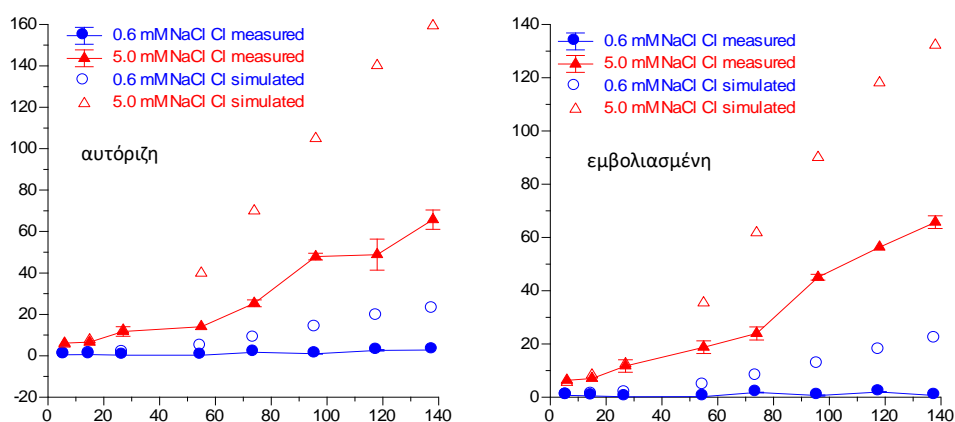
### 3.1.2 Προσομοίωση της συσσώρευσης Cl

Η συσσώρευση Cl<sup>-</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα για τις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας, ακολουθεί κι εδώ πρότυπο σιγμοειδούς καμπύλης. Σημείο αναφοράς αποτελεί η 4<sup>η</sup> δειγματοληψία (Ημέρα 55) όπου, κατ' αντιστοιχία με τη συσσώρευση Na<sup>+</sup> στη προηγούμενη παράγραφο (παρ. 3.1.1), η συγκέντρωση του Cl<sup>-</sup> αυξάνεται ραγδαία ανεξαρτήτως ποικιλίας ή εφαρμογής εμβολιασμού. Από την άλλη, οι επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας δεν ακολουθούν ανάλογη πορεία και περιορίζονται σε χαμηλά επίπεδα συγκεντρώσεων, σε όλο το διάστημα της καλλιέργειας (Εικόνα 3.4 - 3.6).

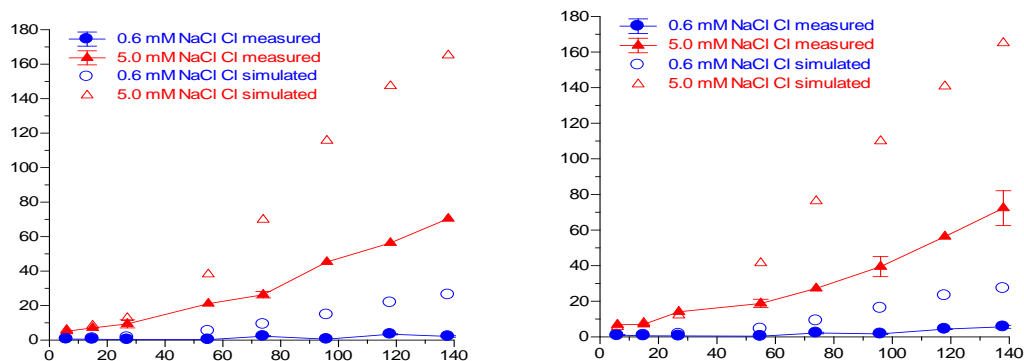
Οι προβλέψεις των συγκεντρώσεων χλωριόντων στο θρεπτικό διάλυμα μέσω του προσομοιώματος ήταν αντίστοιχες αυτής του Na<sup>+</sup>, με μεγάλες αποκλίσεις να παρουσιάζονται σε σχέση με τις πραγματικές (μετρημένες) τιμές.



**Εικόνα 3.4:** Συσσώρευση Cl συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Merilia και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας.



**Εικόνα 3.5:** Συσσώρευση Cl συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Belladonna και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας.



**Εικόνα 3.6:** Συσσώρευση Cl συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Formula (αριστερά) και Lobello (δεξιά) και προσομοίωση της συσσώρευσης του, από μοντέλο ισοζυγίου μάζας.

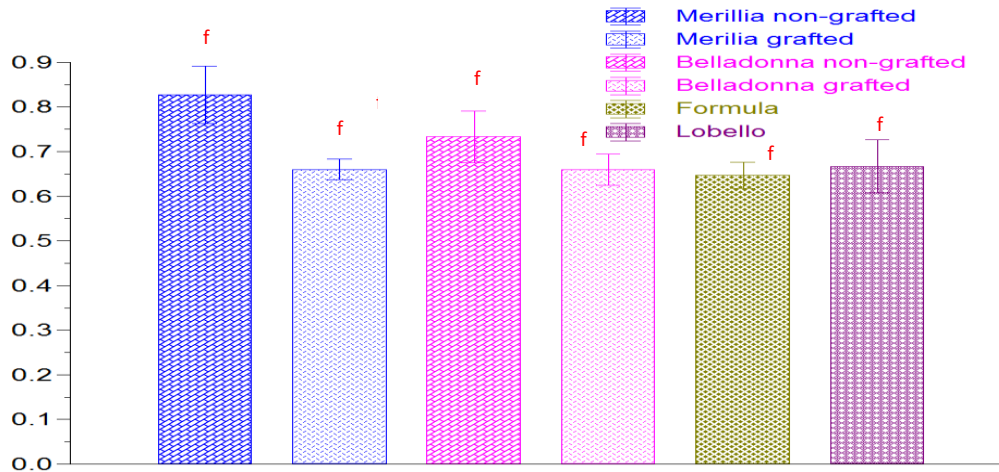
Η μεγαλύτερη συσσώρευση Cl<sup>-</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα παρουσιάστηκε στο υβρίδιο “Lobello” στα υψηλά επίπεδα αλατότητας, η οποία φτάνει στα 72,30 mmol Cl L<sup>-1</sup>. Ακολούθησε ο συνδυασμός “Merilia – εμβολιασμένη” και το υβρίδιο “Formula”, με συγκεντρώσεις 70,40 mmol Cl L<sup>-1</sup>. Ακόμη χαμηλότερη συγκέντρωση παρουσίασαν ο συνδυασμός “Belladonna – εμβολιασμένη” και “Belladonna – αυτόριζη”, με συγκεντρώσεις στα 65,72 mmol Cl L<sup>-1</sup>, ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στο συνδυασμό “Merilia – αυτόριζη” με 61,03 mmol Cl L<sup>-1</sup>.

## 3.2 Συγκέντρωση ιόντων Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> στους φυτικούς ιστούς

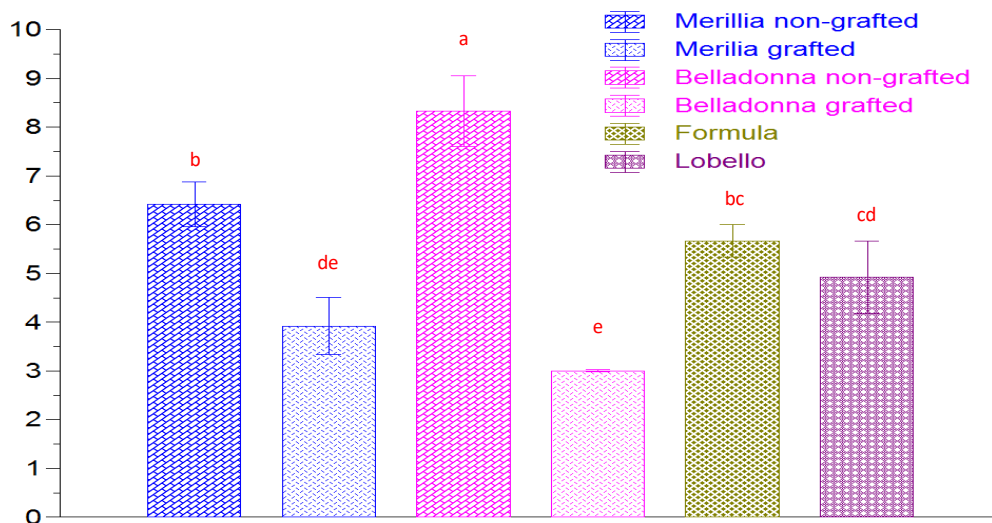
### 3.2.1 Συγκέντρωση Na<sup>+</sup> στα φύλλα

Οι συγκεντρώσεις του Na<sup>+</sup> στα φύλλα των φυτών, τα οποία συλλέχθηκαν στο μέσο της καλλιεργητικής περιόδου (Ημέρα 64), κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα στις επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl). Επιπλέον σε καμία μεταχείριση δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Εικόνα 3.7). Από την άλλη, στις επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl) παρατηρήθηκε αύξηση στις συγκεντρώσεις του Na<sup>+</sup> στα φύλλα των φυτών και στατιστικά σημαντικές διαφορές, μεταξύ των μεταχειρίσεων (Εικόνα 3.8).





**Εικόνα 3.7:** Συγκέντρωση Na στα φύλλα για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl).

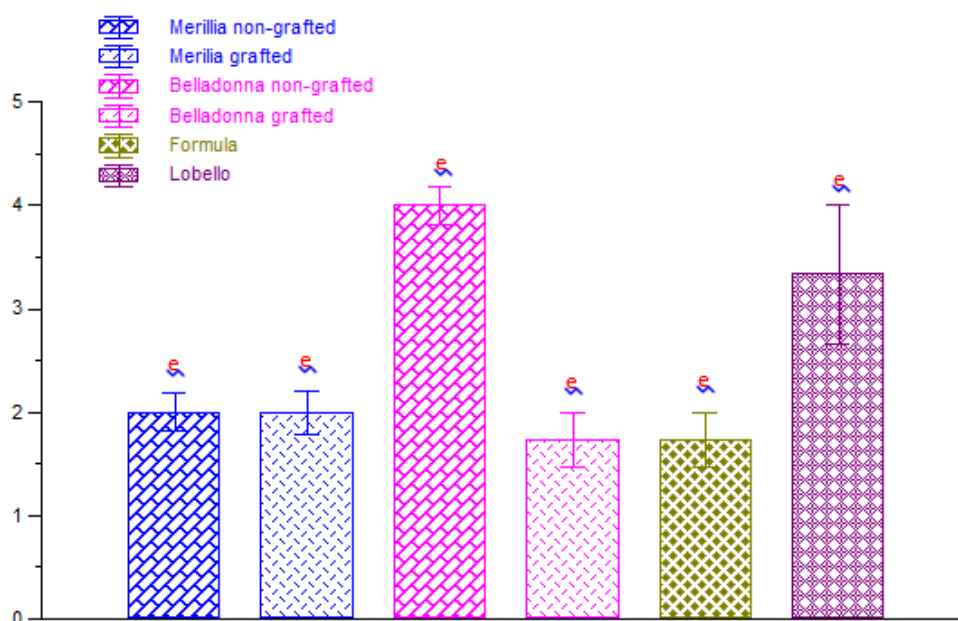


**Εικόνα 3.8:** Συγκέντρωση Na στα φύλλα για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

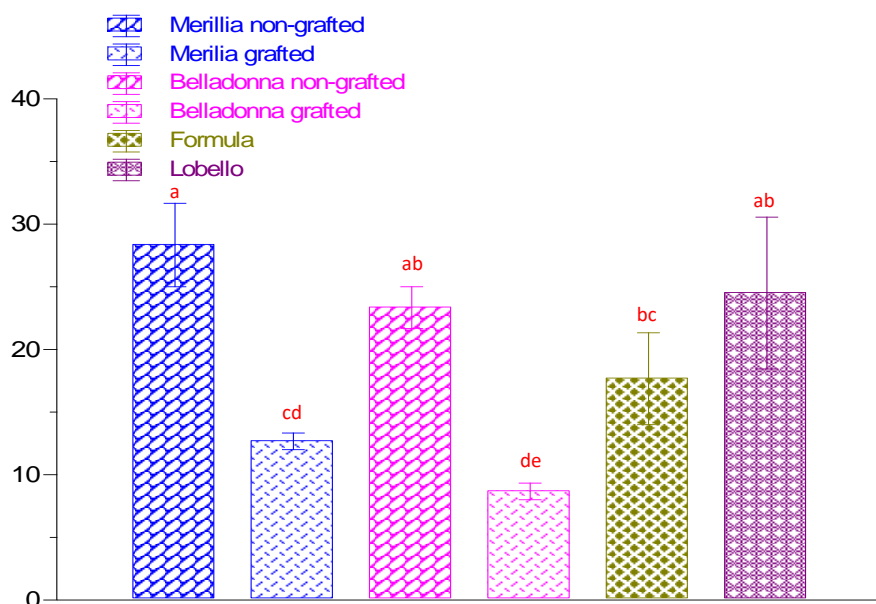
Αύξηση των συγκεντρώσεων Na<sup>+</sup> παρατηρείται στα φύλλα όλων των μεταχειρίσεων υψηλής αλατότητας. Πιο συγκεκριμένα υψηλότερη συγκέντρωση Na<sup>+</sup> παρατηρήθηκε στα φύλλα της αυτόριζης “Belladonna”, με 8,33 mg Na g<sup>-1</sup> η οποία ήταν στατιστικώς σημαντικά υψηλότερη από εκείνες που μετρήθηκαν στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, σε επίπεδο σημαντικότητας (α) 0,1%. Ακολούθησε ο συνδυασμός “Merillia – αυτόριζη” με 6,41 mg Na g<sup>-1</sup>, ενώ η μικρότερη συγκέντρωση παρουσιάστηκε στο συνδυασμό “Belladonna – εμβολιασμένη”, με 3 mg Na g<sup>-1</sup>.

### 3.2.2 Συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> στα φύλλα

Δεδομένης της αυξημένης απορρόφησης Cl από τα φυτά, όταν στο εξωτερικό μέσο επικρατούν συγκεντρώσεις <math><10\text{ mM NaCl}</math>, τα φυτά παρουσίασαν σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις του στοιχείου στα φύλλα. Στις χαμηλές επεμβάσεις αλατότητας (0,6 mM NaCl) ωστόσο, δεν παρουσίασαν σημαντικώς στατιστικές διαφορές, με την υψηλότερη να αντιστοιχεί για το συνδυασμό “Belladonna – αυτόριζη” στα 4 mg Cl g<sup>-1</sup>. Ακολούθησε η συγκέντρωση του υβριδίου “Lobello” στα 3,33 mg Cl g<sup>-1</sup>, με τις υπόλοιπες να κυμαίνονται στα 2 mg Cl g<sup>-1</sup> περίπου (Εικόνα 3.9).



**Εικόνα 3.9:** Συγκέντρωση Cl στα φύλλα για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl).

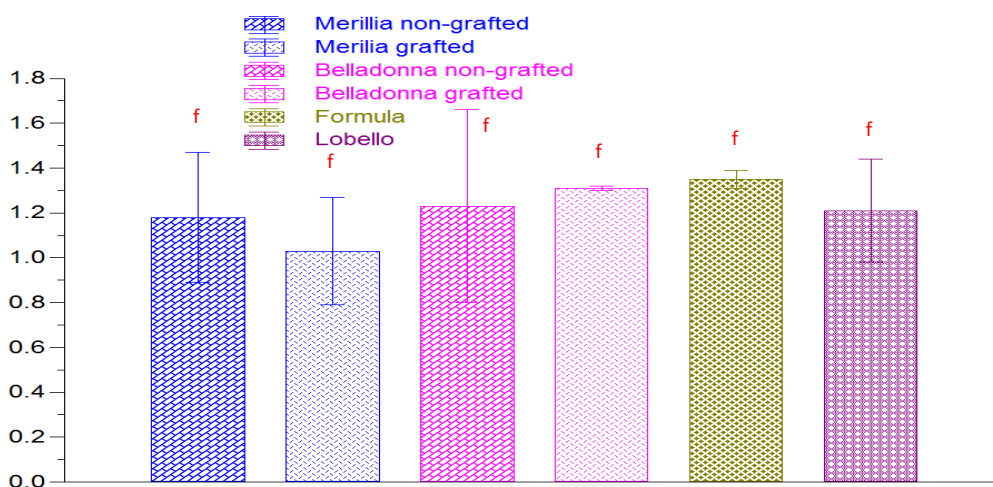


**Εικόνα 3.10:** Συγκέντρωση Cl στα φύλλα για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

Αντιθέτως, στις επεμβάσεις υψηλής αλατότητας (5 mM NaCl), η απορρόφηση του στοιχείου από τα φυτά ήταν εντονότερη, με συγκεντρώσεις που κυμάνθηκαν σε υψηλά επίπεδα. Ο συνδυασμός “Merilia – αυτόριζη” παρουσίασε στατιστικώς σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες, σε επίπεδο σημαντικότητας ( $\alpha$ ) 0,1%, με συγκέντρωση στα 28 mg Cl g<sup>-1</sup>. Η χαμηλότερη συγκέντρωση Cl στα φύλλα, παρουσιάστηκε στο συνδυασμό “Belladonna – εμβολιασμένη” στα 8,66 mg Cl g<sup>-1</sup>, ενώ λίγο υψηλότερα κυμάνθηκε ο συνδυασμός “Merilia – εμβολιασμένη”, στα 12,66 mg Cl g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.10).

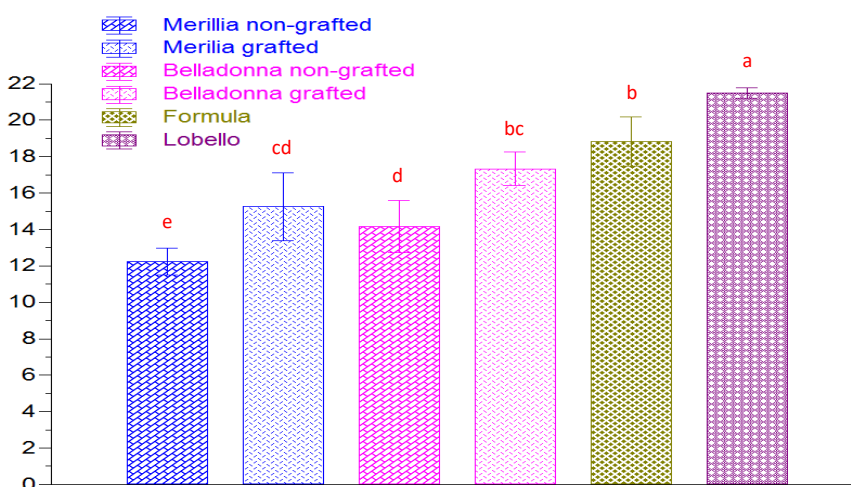
### 3.2.3 Συγκέντρωση Na<sup>+</sup> στις ρίζες

Οι συγκεντρώσεις του Na<sup>+</sup> στις ρίζες των φυτών, οι οποίες συλλέχθηκαν τη τελευταία ημέρα της καλλιεργητικής περιόδου (Ημέρα 159), κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα στις επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl). Τα αποτελέσματα δεν παρουσίασαν μεταξύ τους σημαντική διαφορά, με τη μέγιστη συγκέντρωση να αναλογεί στο υβρίδιο “Formula” και το συνδυασμό “Belladonna – εμβολιασμένη”, στα 1,35 και 1,31 mg Na g<sup>-1</sup>. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίστηκαν στις ρίζες του συνδυασμού “Merilia – εμβολιασμένη”, στα 1,03 mg Na g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.11).



**Εικόνα 3.11:** Συγκέντρωση Na στις ρίζες για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl).

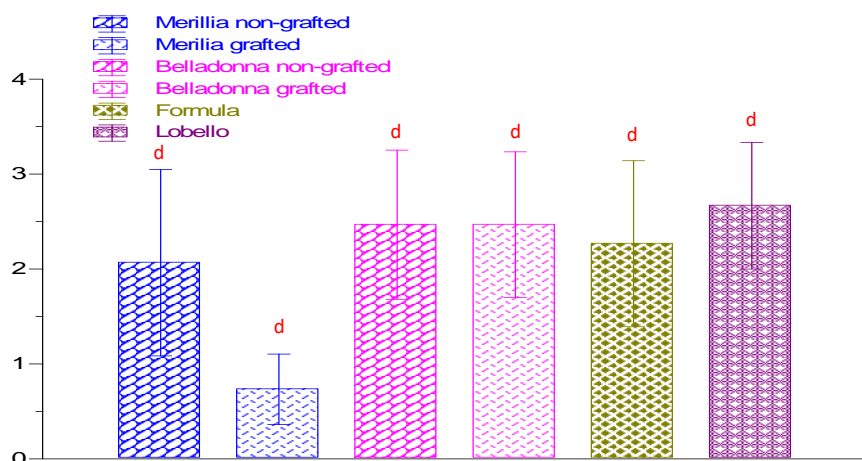
Αντίθετα στις επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl), παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση ιόντων Na<sup>+</sup> στις ρίζες. Το υβρίδιο “Lobello” παρουσιάζει την υψηλότερη συγκέντρωση για το στοιχείο, η οποία παρουσιάζει σημαντικώς στατιστική διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες σε επίπεδο σημαντικότητας 0,1 %, με τιμές στα 21,50 mg Na g<sup>-1</sup>. Ακολουθεί η συγκέντρωση για το υβρίδιο “Formula”, με τιμή που αντιστοιχεί στα 18,33 mg Na g<sup>-1</sup>, ενώ τη τελευταία θέση ως προς τη συγκέντρωση Na<sup>+</sup> στις ρίζες – σε αυτό το επίπεδο αλατότητας – καταλαμβάνει ο συνδυασμός “Merilia – αυτόριζη” με 9,25 mg Na g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.12).



**Εικόνα 3.12:** Συγκέντρωση Na στις ρίζες για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

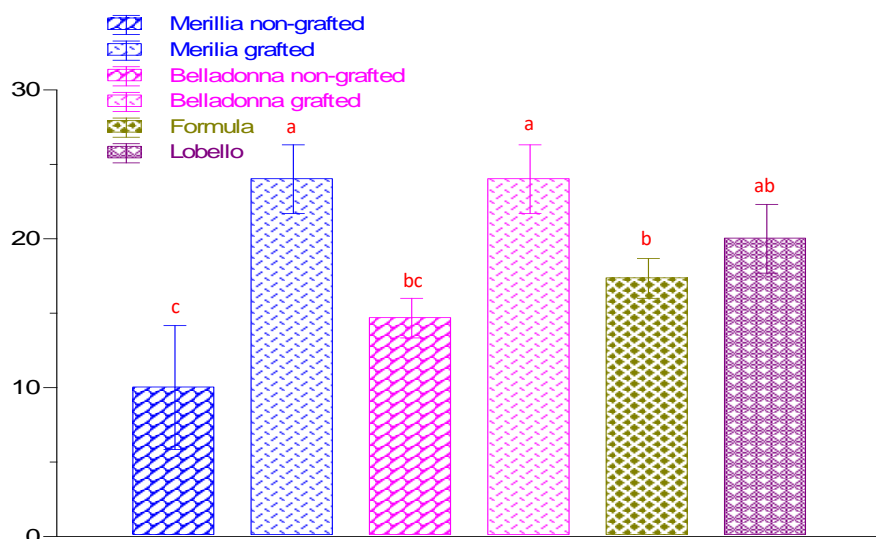
### 3.2.4 Συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> στις ρίζες

Η συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> στις ρίζες φυτών που εκτίθενται σε χαμηλά επίπεδα αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl), δεν παρουσιάζει κάποια στατιστικώς σημαντική διαφορά. Χαμηλότερη συγκέντρωση (συγκριτικά) αντιστοιχεί για τον συνδυασμό “Merilia – εμβολιασμένη” στα 0,73 mg Cl g<sup>-1</sup>, με το σύνολο των τιμών να κυμαίνεται στο επίπεδο των 2,46 mg Cl g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.13).



**Εικόνα 3.13:** Συγκέντρωση Cl στις ρίζες για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl).

Δεν συμβαίνει το ίδιο με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις Cl<sup>-</sup> στις ρίζες των επεμβάσεων, υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl). Εδώ, τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι συγκριτικά αυξημένα, με τον συνδυασμό “Merilia – εμβολιασμένη” και “Belladonna – εμβολιασμένη”, να παρουσιάζουν σημαντική στατιστικώς διαφορά, σε επίπεδο σημαντικότητας 0,1%, σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Η τιμή των 24 mg Cl g<sup>-1</sup> που αντιστοιχεί στη προηγούμενη μεταχείριση, αντιπροσωπεύει τη μέγιστη συγκέντρωση του ιόντος στις ρίζες, με τη μικρότερη να αναλογεί στο συνδυασμό “Merilia – αυτόριζη”, στα 10 mg Cl g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.14).

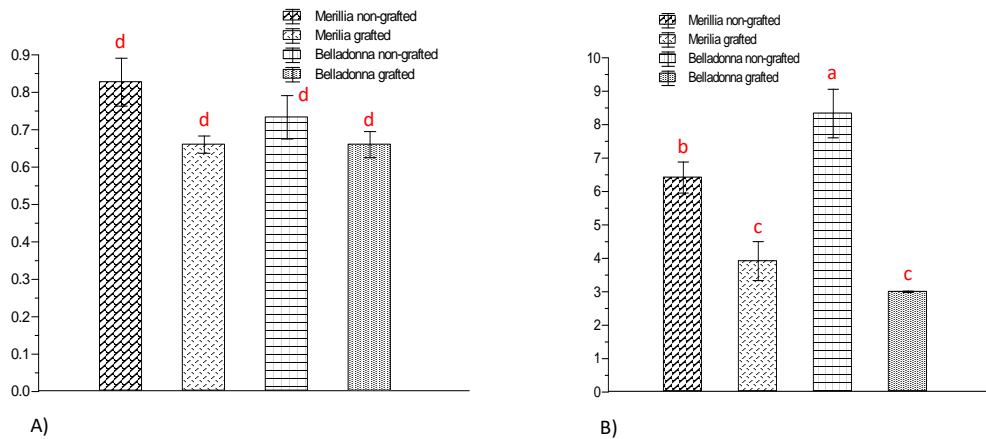


**Εικόνα 3.14:** Συγκέντρωση Cl στις ρίζες για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

### 3.3 Επίδραση του εμβολιασμού

#### 3.3.1 Συγκέντρωση Na<sup>+</sup> στα φύλλα εμβολιασμένων υβριδίων

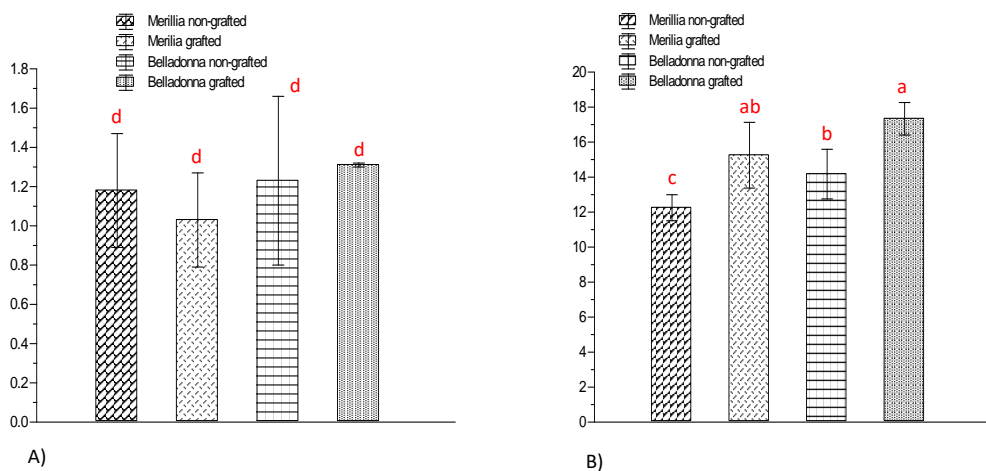
Στις επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) φαίνεται πως τόσο στα αυτόριζα, όσο και στα εμβολιασμένα φυτά συσσωρεύθηκαν παρόμοιες ποσότητες του στοιχείου. Οι υψηλότερες συγκριτικά, αντιστοιχούσαν στους συνδυασμούς “Merilia – αυτόριζη” και “Belladonna – αυτόριζη”, στα 0,82 mg Na g<sup>-1</sup> για τη πρώτη, ενώ για τη περίπτωση των εμβολιασμένων φυτών, η συγκέντρωση στα φύλλα κυμάνθηκε στα 0,66 mg Na g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.15 A). Από την άλλη στις τιμές υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl), παρουσιάστηκε συγκριτικά μεγαλύτερη συγκέντρωση ιόντων Na, στο σύνολο των μεταχειρίσεων. Οι “αυτόριζοι” συνδυασμοί υβριδίων ανταποκρίθηκαν σε αρκετά υψηλότερη συγκέντρωση, με τον συνδυασμό “Belladonna – αυτόριζη” να παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική με τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% και συγκέντρωση 8,33 mg Na g<sup>-1</sup>. Η χαμηλότερη τιμή παρουσιάστηκε στο συνδυασμό “Belladonna – εμβολιασμένη”, στα 3 mg Na g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.15 B).



**Εικόνα 3.15:** Συγκέντρωση Na στα φύλλα εμβολιασμένων κι αυτόριζων φυτών: A) για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) και B) για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

### 3.3.2 Συγκέντρωση Na<sup>+</sup> στις ρίζες εμβολιασμένων υβριδίων

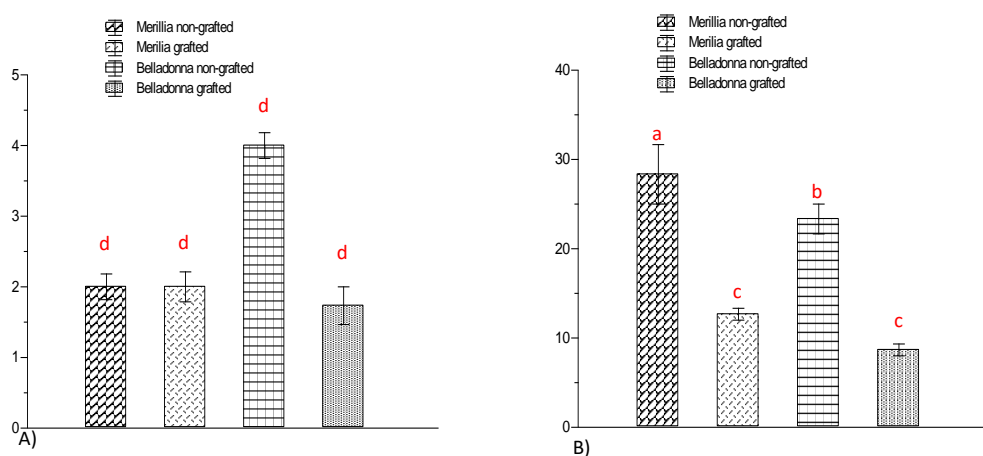
Η συγκέντρωση Na<sup>+</sup> στις ρίζες ήταν σχετικά αυξημένη σε όλους τους συνδυασμούς υβριδίων. Ωστόσο στο χαμηλό επίπεδο αλατότητας (0,6 mM NaCl) οι τιμές δεν παρουσίασαν κάποια σημαντική στατιστικώς διαφορά, με τη μεγαλύτερη να αντιστοιχεί στο συνδυασμό “Belladonna – εμβολιασμένη” στα 1,31 mg Na g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.16 A). Από την άλλη, οι συνδυασμοί “Belladonna – εμβολιασμένη” και “Merilia – εμβολιασμένη” παρουσίασαν σημαντική στατιστικώς διαφορά στο 0,1%, με τιμές 17,33 και 15,25 mg Na g<sup>-1</sup>, στα υψηλά επίπεδα αλατότητας (5 mM NaCl). Η χαμηλότερη αντιστοιχούσε στο συνδυασμό “Merilia – αυτόριζη”, στα 9,25 mg Na g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.16 B).



**Εικόνα 3.16:** Συγκέντρωση Na στις ρίζες εμβολιασμένων κι αυτόριζων φυτών: A) για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) και B) για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

### 3.3.3 Συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> στα φύλλα εμβολιασμένων υβριδίων

Η συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> στα φύλλα, στις επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) κυμαίνεται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα (0,6 mM NaCl). Υψηλότερη συγκέντρωση συγκριτικά, παρουσιάζει ο συνδυασμός “Belladonna – αυτόριζη” στα 4 mg Cl g<sup>-1</sup>, με όλες τις υπόλοιπες να ακολουθούν στα 2 mg Cl g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.17 A). Οι συνδυασμοί “Merilia – αυτόριζη” και “Belladonna – αυτόριζη” αντιπροσωπεύουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις του στοιχείου στα υψηλότερα επίπεδα αλατότητας (5 mM NaCl), με τον πρώτο – ο οποίος επιδεικνύει στατιστικώς σημαντική διαφορά επιπέδου 0,1% - να αντιστοιχεί σε τιμή 28,33 mg Cl g<sup>-1</sup>. Τέλος, ο συνδυασμός “Belladonna – εμβολιασμένη” αναλογεί στα χαμηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης με 8,66 mg Cl g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.17 B).

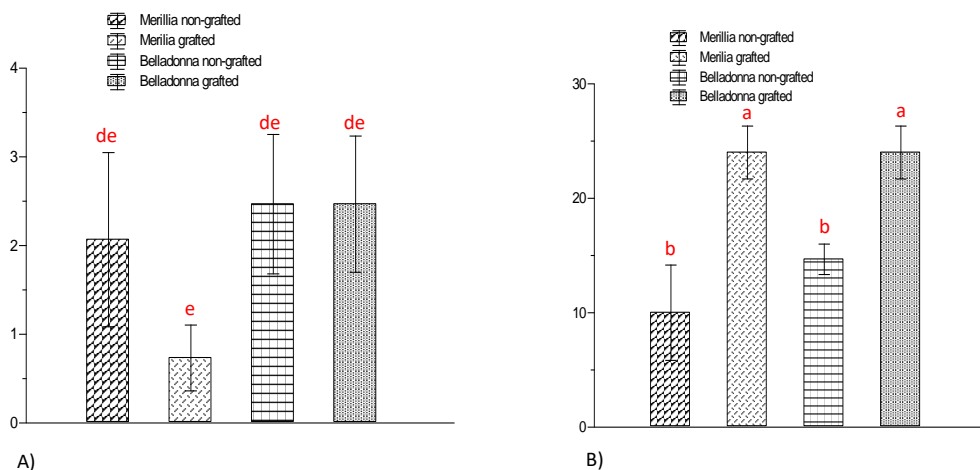


**Εικόνα 3.17:** Συγκέντρωση Cl στα φύλλα εμβολιασμένων κι αυτόριζων φυτών: A) για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) και B) για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

### 3.3.4 Συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> στις ρίζες εμβολιασμένων υβριδίων

Η συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> κυμαίνεται στις ρίζες σε χαμηλά επίπεδα, σε όλους τους συνδυασμούς, στα χαμηλά επίπεδα αλατότητας (0,6 mM NaCl). Η υψηλότερη τιμή αντιστοιχεί στο συνδυασμό “Belladonna – εμβολιασμένη” και “Belladonna – αυτόριζη”, με 2,46 mg Cl g<sup>-1</sup> και η χαμηλότερη στο συνδυασμό “Merilia – εμβολιασμένη”, με 0,73 mg Cl g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.18 A). Αντιθέτως αρκετά υψηλές τιμές του στοιχείου παρουσιάζονται στα υψηλότερα επίπεδα αλατότητας (5 mM NaCl), όπου οι συνδυασμοί “Merilia – εμβολιασμένη” και “Belladonna – εμβολιασμένη” παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά, επιπέδου 0,1% και τιμής 24 mg Cl g<sup>-1</sup>. Η ελάχιστη τιμή συγκριτικά, δίνεται στο συνδυασμό “Merilia – αυτόριζη” με 10 mg Cl g<sup>-1</sup> (Εικόνα 3.18 B).





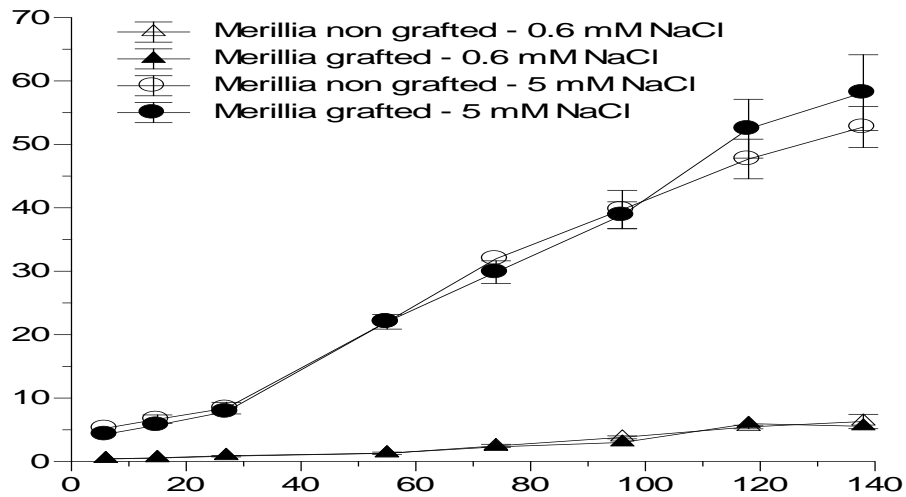
**Εικόνα 3.18:** Συγκέντρωση Cl στις ρίζες εμβολιασμένων κι αυτόριζων φυτών: A) για επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας (0,6 mM NaCl) και B) για επεμβάσεις υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

### 3.3.5 Συσσώρευση Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα σε καλλιέργεια φυτών Merilia

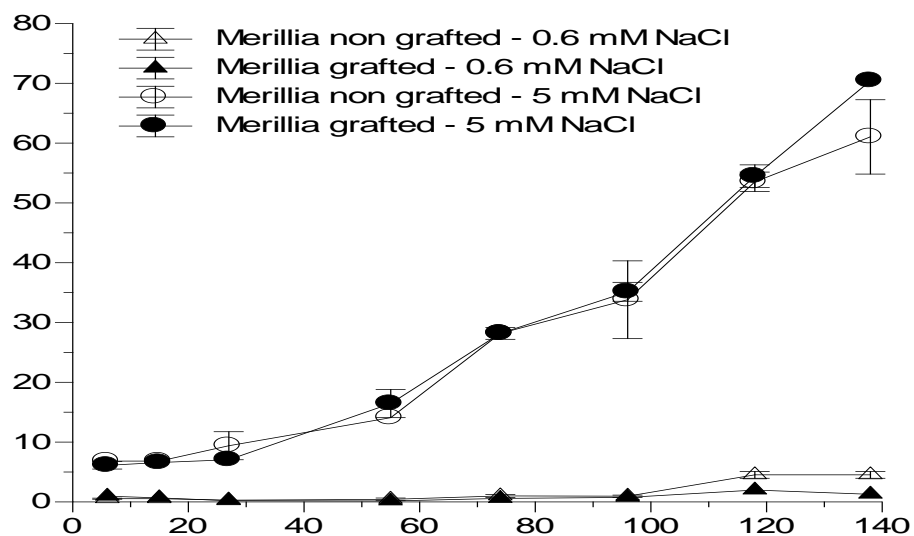
Η συσσώρευση Na<sup>+</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο, τόσο για τις επεμβάσεις χαμηλής (0,6 mM NaCl) όσο και για αυτές υψηλής αλατότητας (5 mM NaCl) στο αρδευτικό νερό. Πιο συγκεκριμένα οι συνδυασμοί “Merilia – εμβολιασμένη” και “Merilia – αυτόριζη”, αύξησαν τις συγκεντρώσεις τους με αργό ρυθμό μέχρι την 3<sup>η</sup> δειγματοληψία (Ημέρα 27) στα 0,90 και 0,82 mM Na αντίστοιχα, ενώ από εκείνο το σημείο κι έπειτα οι συγκεντρώσεις αυξήθηκαν με σημαντικά υψηλότερους ρυθμούς και έφτασαν στα 6,30 και 5,54 mM Na, κατά την 8<sup>η</sup> δειγματοληψία (Ημέρα 138). Επιπλέον, στις υψηλές συγκεντρώσεις αλατότητας, οι συνδυασμοί εμβολιασμού επέδειξαν παρόμοια εικόνα. Έτσι από την 3<sup>η</sup> δειγματοληψία και μετά, οι συγκεντρώσεις τους αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς στο θρεπτικό διάλυμα και φτάνουν στο μέγιστο των 54,34 mM Na για το συνδυασμό “Merilia – αυτόριζη” (7<sup>η</sup> δειγματοληψία, Ημέρα 118) και 58,18 mM Na για το συνδυασμό “Merilia – εμβολιασμένη” (8<sup>η</sup> δειγματοληψία). Τέλος, σε κανένα σημείο της καλλιέργειας φυτών “Merilia” δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ αυτόριζων και εμβολιασμένων φυτών, όσον αφορά τη συγκέντρωση ιόντων Na<sup>+</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (Εικόνα 3.19).

Η συσσώρευση Cl<sup>-</sup> στο διάλυμα παρουσίασε μικρή αύξηση στις επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας, όπου και παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των συνδυασμών, στην 7<sup>η</sup> κι 8<sup>η</sup> δειγματοληψία. Ειδικότερα, στο συνδυασμό “Merilia – αυτόριζη” η συγκέντρωση έφτασε στα 4,50 mM Cl, ενώ οι ανάλογες συγκεντρώσεις για το συνδυασμό “Merilia – εμβολιασμένη” ήταν στα 1,97 και 1,26 mM Cl αντίστοιχα. Από την άλλη, σημαντική αύξηση όσον αφορά τη συγκέντρωση του στοιχείου στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα παρουσιάστηκε από την 4<sup>η</sup> δειγματοληψία κι έπειτα, στις υψηλές συγκεντρώσεις αλατότητας. Εδώ οι δύο συνδυασμοί παρουσίασαν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην 8<sup>η</sup>

δειγματοληψία, με τιμή στα 61,03 mM Cl για τον “Merilia – αυτόριζη” και στα 70,42 mM Cl, για τον συνδυασμό “Merilia – εμβολιασμένη”, αντίστοιχα (Εικόνα 3.20).



**Εικόνα 3.19:** Συσσώρευση Na συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Merilia, για επεμβάσεις χαμηλής (0,6 mM NaCl) και υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

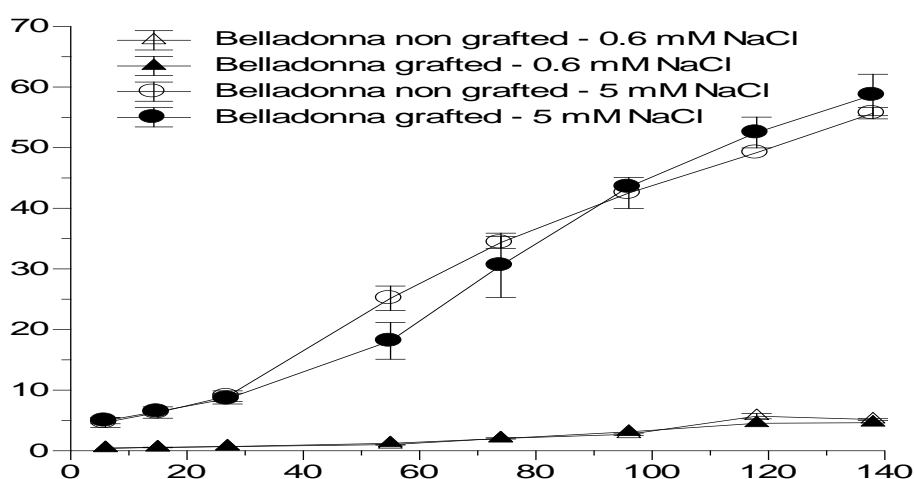


**Εικόνα 3.20:** Συσσώρευση Cl συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Merilia, για επεμβάσεις χαμηλής (0,6 mM NaCl) και υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

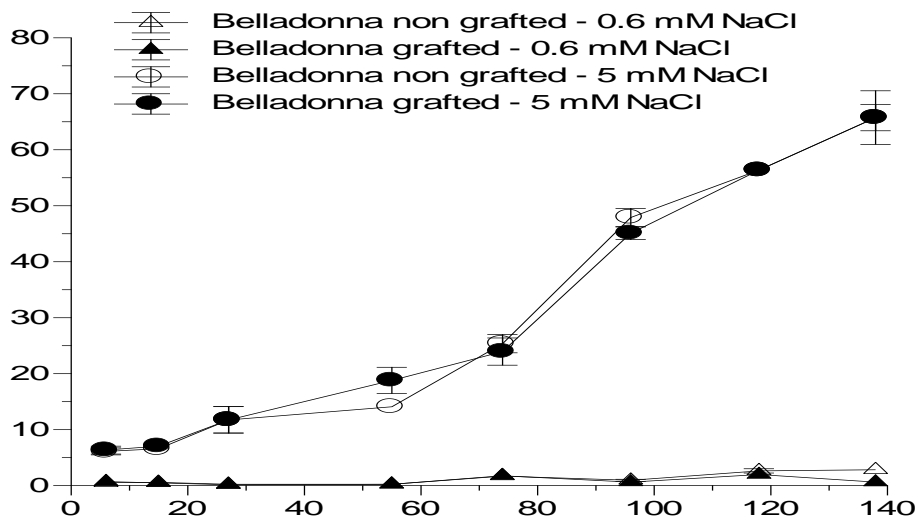
### 3.3.6 Συσσώρευση Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα σε καλλιέργεια φυτών Belladonna

Η συσσώρευση Na<sup>+</sup> συναρτήση του χρόνου ακολουθεί εκθετική αύξηση στις υψηλές συγκεντρώσεις αλατότητας (5 mM NaCl), με μέγιστες τιμές στα 64,49 mM Na για το συνδυασμό “Belladonna – εμβολιασμένη” και 64,67 mM Na για τον “Belladonna – αυτόριζη” αντίστοιχα. Σημαντικώς στατιστική διαφορά παρουσιάζεται κατά την 4<sup>η</sup> (Ημέρα 55) δειγματοληψία μεταξύ των δύο, με το συνδυασμό “Belladonna – αυτόριζη” να δίνει τιμή στα 25,14 mM Na, έναντι 18,11 mM Na του άλλου. Από την άλλη, στις χαμηλές συγκεντρώσεις αλατότητας στο αρδευτικό νερό (0,6 mM NaCl) δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις Na<sup>+</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, με μέγιστο κατά την 7<sup>η</sup> (Ημέρα 118) δειγματοληψία στα 4,52 και 5,69 mM Na για τους συνδυασμούς “Belladonna – εμβολιασμένη” και “Belladonna – αυτόριζη” αντίστοιχα. Τέλος σε καμία δειγματοληψία δεν παρουσιάζονται σημαντικές στατιστικές διαφορές, μεταξύ αυτόριζων και εμβολιασμένων σε αυτό το επίπεδο αλατότητας (Εικόνα 3.21).

Το Cl<sup>-</sup> δεν παρουσιάζει σημαντική συσσώρευση στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, στις επεμβάσεις χαμηλής αλατότητας, με μέγιστες τιμές στα 1,97 mM Cl για το συνδυασμό “Belladonna – εμβολιασμένη” κατά την 7<sup>η</sup> (Ημέρα 118) δειγματοληψία και 2,81 mM Cl για το συνδυασμό “Belladonna – αυτόριζη” κατά την 8<sup>η</sup> (Ημέρα 138) δειγματοληψία. Επιπλέον στις υψηλές επεμβάσεις αλατότητας είχαμε αυξημένη συσσώρευση του στοιχείου στο διάλυμα, με μέγιστες τιμές στα 65,72 mM Cl και για τους δύο συνδυασμούς, κατά την 8<sup>η</sup> δειγματοληψία. Σε κανένα από τα δύο επίπεδα αλατότητας, δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ αυτόριζων και εμβολιασμένων (Εικόνα 3.22).



**Εικόνα 3.21:** Συσσώρευση Na συναρτήσε του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Belladonna, για επεμβάσεις χαμηλής (0,6 mM NaCl) και υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).



**Εικόνα 3.22:** Συσσώρευση Cl<sup>-</sup> συναρτήσει του χρόνου στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε καλλιέργεια Belladonna, για επεμβάσεις χαμηλής (0,6 mM NaCl) και υψηλής αλατότητας στο αρδευτικό νερό (5 mM NaCl).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Συζήτηση

### 4.1 Εφαρμογή του μοντέλου

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως στις υψηλές συγκεντρώσεις NaCl (5 mM NaCl) στο αρδευτικό νερό, οι συγκεντρώσεις τόσο του Na<sup>+</sup> όσο και του Cl<sup>-</sup> παρουσίασαν σιγμοειδές μοτίβο αύξησης στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα συναρτήσει του χρόνου, ανεξαρτήτως γονοτύπου ή συνδυασμού εμβολιασμού. Από την άλλη στις χαμηλές συγκεντρώσεις NaCl (0,6 mM NaCl) στο αρδευτικό νερό, μόνο η συγκέντρωση του Na<sup>+</sup> ακολούθησε σιγμοειδές μοτίβο αύξησης με το χρόνο, ενώ αυτή του Cl<sup>-</sup> δεν παρουσίασε ανάλογη τάση συσσώρευσης. Παρόμοια αποτελέσματα συσσώρευσης ιόντων Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> έχουν δείξει ανάλογα πειράματα σε καλλιέργειες τομάτας (Varlagas et al., 2010), αλλά κι άλλων κηπευτικών όπως αγγούρι (Savvas et al., 2005), φασόλι (Savvas et al., 2007) και πιπεριά (Savvas et al., 2008).

Η εφαρμογή υπολογιστικών μοντέλων ισοζυγίου μάζας που συσχετίζουν τη συγκέντρωση του Na<sup>+</sup> (ή του Cl<sup>-</sup>) στο κλειστό σύστημα, με τις συγκεντρώσεις απορρόφησης του στοιχείου από τα φυτά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη πρόβλεψη της συσσώρευσης αλάτων σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα. Στην εξεταζόμενη περίπτωση ωστόσο οι συγκεντρώσεις απορρόφησης των ιόντων της αλατότητας δεν έφτασαν σε κανένα επίπεδο αλατότητας, τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (RNS), όπως έχει επιδειχθεί σε ανάλογο πείραμα τομάτας (Varlagas et al., 2010). Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός, ότι η τελευταία συνεχίζει να αυξάνεται στο RNS – τόσο για το Na<sup>+</sup> όσο και για το Cl<sup>-</sup> - και δεν παρουσιάζει την αναμενόμενη μέγιστη τιμή και σταθεροποίησή της με το χρόνο.

Η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών από την 3<sup>η</sup> (Ημέρα 27) για το Na<sup>+</sup> κι από την 4<sup>η</sup> (Ημέρα 55) για το Cl<sup>-</sup> δειγματοληψία, υποδηλώνει αποτυχία του μοντέλου όσον αφορά τη προσομοίωση της συσσώρευσης αλάτων στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα για επίπεδα αλατότητας 5 mM NaCl στο αρδευτικό νερό. Επιπλέον, ανάλογη πορεία ακολουθείται για τα επίπεδα αλατότητας των 0,6 mM NaCl, όπου στατιστικά σημαντικές διαφορές επιδεικνύονται από την 4<sup>η</sup> δειγματοληψία κι έπειτα, αναφορικά με τη συσσώρευση και προσομοίωση και των δύο εξεταζόμενων ιόντων.

Η αποτυχία επίτευξης μέγιστων επιπέδων συσσώρευσης ιόντων της αλατότητας στο RNS, καθώς και της μη εγκυρότητας του μοντέλου όσον αφορά τη πρόβλεψη της συσσώρευσης σχετικά, οφείλεται πρωτίστως σε δύο παράγοντες οι οποίοι εκτίθενται παρακάτω.

Ο πρώτος παράγοντας είναι η σημαντικά διαφορετική συμπεριφορά των διαφόρων γονοτύπων όσον αφορά την απορρόφηση ιόντων Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> από το ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα. Στις ποικιλίες 'Merilia' και 'Belladonna' (Εικόνα 3.1 - 3.2) όμως, είτε αυτόριζες είτε εμβολιασμένες, το προσομοίωμα υπερεκτιμούσε σημαντικά περισσότερο τις πραγματικές (μετρημένες) τιμές Na<sup>+</sup> στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. σε σύγκριση με τις 'Formula' και 'Lobello' (Εικόνα 3.3). Η μεγαλύτερη υπερεκτίμηση των πραγματικών τιμών από το προσομοίωμα σε αυτές τις δύο ποικιλίες αποδίδεται στους σημαντικά αυξημένους ρυθμούς απορρόφησης Na<sup>+</sup>, το

οποίο στις μεν αυτόρριζες μεταφερόταν κυρίως στα φύλλα, ενώ στις εμβολιασμένες παρέμενε κυρίως στο εκτεταμένο ριζικό σύστημα. Συνεπώς, η συσσώρευση στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. στις δύο αυτές ποικιλίες ήταν χαμηλότερη, ενώ η βαθμονόμηση του προσομοιώματος είχε πραγματοποιηθεί σε φυτά 'Formula', τα οποία παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερους ρυθμούς απορρόφησης, όπως προκύπτει από τις αυξημένες συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  στα φύλλα (Εικόνα 3.7 - 3.8), και άρα αυξημένη συσσώρευση στο ανακυκλούμενο Θ.Δ. Συνεπώς η εφαρμογή του προσομοιώματος στις ποικιλίες 'Merilia' και 'Belladonna', καθώς και σε κάθε ποικιλία τομάτας που ανέχεται την αλατότητα μέσω διαμερισματοποίησης του  $\text{Na}^+$  στα κύτταρα του φυλλώματος και όχι μέσω αποκλεισμού, απαιτεί ειδική βαθμονόμηση. Υπερεκτίμηση από το μοντέλο των Savvas et al. (2005) του ρυθμού συσσώρευσης  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα σε μία καλλιέργεια τομάτας ποικιλίας 'Belladonna' παρατηρήθηκε και από τους Katsoulas et al. (2015) και αποδόθηκε στο γεγονός ότι η ποικιλία αυτή απορροφά σημαντικά περισσότερο  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  σε σύγκριση με την 'Formula'. Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα των Katsoulas et al. (2015).

Ένας δεύτερος παράγοντας που οδήγησε σε υπερεκτίμηση των πραγματικών τιμών συσσώρευσης  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα ακόμη και στην ποικιλία 'Formula' είναι το γεγονός πως το μοντέλο είχε αρχικά βαθμονομηθεί για καλλιέργεια τομάτας σε κλειστό υδροπονικό σύστημα με υποστρώματα, ενώ στη παρούσα περίπτωση εφαρμόστηκε σύστημα NFT. Στο σύστημα NFT οι συγκεντρώσεις στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα είναι οι ίδιες σε όλα τα σημεία ροής του, συνεπώς και στο σημείο από το οποίο λαμβάνονται τα δείγματα. Αντίθετα, σε ένα σύστημα καλλιέργειας σε υπόστρωμα, τα δείγματα λαμβάνονται από το διάλυμα απορρόφησης, στο οποίο οι συγκεντρώσεις συνήθως είναι υψηλότερες από αυτές που επικρατούν στο ριζόστρωμα (Sonneveld, 2000). Επιπρόσθετα, το δεδομένο πως η συγκεκριμένη καλλιέργεια εγκαταστάθηκε το μήνα Ιανουάριο στο θερμοκήπιο, αλλά και οι κατασκευαστικές ατέλειες της εγκατάστασης, ενδέχεται ίσως να επιβάλλουν διαφορετικούς ρυθμούς διαπνοής σε σχέση με μία ανοιξιάτικη καλλιέργεια, όπως ήταν αυτή για την οποία βαθμονομήθηκε αρχικά το μοντέλο που εφαρμόστηκε (Varlagas et al., 2010). Απόρροια του παραπάνω είναι οι μειωμένοι ρυθμοί απορρόφησης νερού από τα φυτά στην παρούσα (χειμερινή), κάτι που επαγωγικά οδηγεί σε μειωμένη είσοδο  $\text{NaCl}$  στο κλειστό σύστημα από το αρδευτικό νερό. Συνεπώς, ο χρόνος που χρειαζόταν η καλλιέργεια για να επιτευχθεί σταθεροποίηση σε μία μέγιστη συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα ήταν μεγαλύτερος.

## 4.2 Συγκέντρωση ιόντων $\text{Na}^+$ στους φυτικούς ιστούς

Η συγκέντρωση ιόντων  $\text{Na}^+$  στους φυτικούς ιστούς σχετίζεται άμεσα με τον μηχανισμό ανοχής στην αλατότητα της δεδομένης ποικιλίας και πως αυτός εξελίσσεται στη πορεία του χρόνου. Καθ' όσον ένας συνήθης μηχανισμός ανοχής στην αλατότητα είναι η ενεργός απέκκριση των ιόντων από το εσωτερικό των φυτών, πρέπει να ληφθεί υπόψη πως παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές ως προς το εύρος αυτής τόσο μεταξύ διαφορετικών φυτικών ειδών, όσο και μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών

– του ίδιου είδους – αλλά και υποκειμένων εμβολιασμού (Alian et al., 2000; Martinez-Rodriguez et al., 2008). Παράλληλα εστιάζοντας στην αντίστοιχη συσσώρευση ιόντων  $\text{Cl}^-$  στους φυτικούς ιστούς, διαπιστώνουμε ότι – κατά τα πρώτα στάδια της καλλιέργειας – η συγκέντρωσή τους είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη του  $\text{Na}^+$ . Το τελευταίο έρχεται σε συμφωνία με δεδομένα ερευνητών (Estan et al., 2005; Giuffrida et al., 2009), κάτι που αποδεικνύει πως τα φυτά απορροφούν λιγότερο  $\text{Na}^+$  απ’ ό,τι  $\text{Cl}^-$  για δεδομένη εξωτερική συγκέντρωση  $\text{NaCl}$ , επιβάλλοντας συνεπώς μεγαλύτερη συσσώρευση  $\text{Na}^+$  στο ριζόστρωμα.

Εξετάζοντας τους διαφορετικούς συνδυασμούς γονοτύπων παρατηρούμε πως στις χαμηλές συγκεντρώσεις  $\text{NaCl}$  στο αρδευτικό νερό (0,6 mM  $\text{NaCl}$ ), το επίπεδο της συγκέντρωσης στα φύλλα είναι παρόμοιο και παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, δίχως να παρουσιάζεται κάποια σημαντική στατιστικώς διαφορά μεταξύ αυτόρριζων και εμβολιασμένων φυτών, καθώς και διαφορετικών υβριδίων. Ωστόσο, στις αυξημένες συγκεντρώσεις  $\text{NaCl}$  (5 mM  $\text{NaCl}$ ), η εικόνα της συσσώρευσης του στοιχείου παρουσιάζεται διαφορετική, καθώς προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των συνδυασμών υποκειμένου/εμβολίου.

Ειδικότερα, ο συνδυασμός “Belladonna/Belladonna” παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης  $\text{Na}^+$  στα φύλλα ακολουθούμενος από το συνδυασμό “Merilia – αυτόριζη” και “Formula”. Το παραπάνω υποδεικνύει πως για δεδομένη συγκέντρωση του στοιχείου στο ριζόστρωμα, διαφορετικοί μηχανισμοί ανοχής στην αλατότητα χαρακτηρίζουν το κάθε γονότυπο. Έτσι τόσο η “Belladonna – αυτόριζη” όσο και η “Merilia – αυτόριζη” φαίνεται πως αντιδρούν κυρίως μέσω αυξημένης απορρόφησης του νατρίου και διαμερισμοποίησης του στα χυμοτόπια, με αντίστοιχη ωσμωτική προσαρμογή του κυτοπλάσματος μέσω σύνθεσης διαλυτών οργανικών ουσιών, ώστε να μην αφυδατώνεται το κύτταρο. Αντίθετα η “Formula”, αλλά και η μικρόκαρπη “Lobello”, τείνουν να αποκλείουν την είσοδο του νατρίου στα κύτταρα (salt excluders) μέσω υψηλότερης εκλεκτικότητας στην απορρόφηση αλλά και μέσω αυξημένης ενεργού απέκκρισης στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα. Τα παραπάνω δεδομένα έρχονται σε συμφωνία με τους Katsoulas et al. (2015), βάση των οποίων η “Belladonna” χαρακτηρίζεται από σημαντικά μικρότερη ικανότητα αποκλεισμού  $\text{Na}^+$  σε σχέση με τη “Formula” κι ως εκ τούτου, αυξημένη απορρόφησης του στα φύλλα.

Από την άλλη πλευρά, η συσσώρευση του  $\text{Na}^+$  στις ρίζες παρουσιάζει αντίστροφο μοτίβο συσσώρευσης από αυτό που παρατηρείται στα φύλλα. Πιο συγκεκριμένα οι υψηλότερες τιμές στη μικρόκαρπη “Lobello” που παρατηρούνται, αλλά και οι αντίστοιχες για το υβρίδιο “Formula”, πιστοποιούν πως ο μηχανισμός ανοχής στην αλατότητα που λαμβάνει χώρα στη συγκεκριμένη περίπτωση, εκδηλώνεται όχι μόνο με ενεργό απέκκριση  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο εξωτερικό μέσο αλλά και με συσσώρευση του στα μεταβολικά μη ενεργά κύτταρα του ξυλώδους παρεγχύματος στα κατώτερα φυτικά μέρη (ρίζες και ενδεχομένως και βλαστοί). Είναι γνωστό πως ο αποκλεισμός του  $\text{Na}^+$  και του  $\text{Cl}^-$  από το κυτόπλασμα των μεταβολικά ενεργών κυττάρων, επιτυγχάνεται μερικώς μέσω ελαχιστοποίησης της εισόδου των στοιχείων στο φυτό δια μέσου ενεργού απέκκρισης και μερικώς μέσω διαμερισμοποίησης των ιόντων της αλατότητας στο χυμοτόπιο (Munns, 2002). Έτσι, σε συνέχεια των παραπάνω, παρατηρείται πως οι συνδυασμοί “Merilia – αυτόριζη” και “Belladonna – αυτόριζη” καταλαμβάνουν τις χαμηλότερες τιμές. Τέλος, φαίνεται πως ο εμβολιασμός στο

συγκεκριμένο υποκείμενο ('Armstrong') τροποποιεί τον μηχανισμό ανοχής της τομάτας στην αλατότητα, καθώς αυξάνει τις συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στις ρίζες, ενώ παράλληλα τις μειώνει στα φύλλα. Το αποτέλεσμα είναι να παρατηρείται μικρότερη αλατογόνος καταπόνηση στα εμβολιασμένα φυτά της τομάτας, αφού τα όργανα που υποφέρουν πιο πολύ από την αλατότητα είναι τα φύλλα, καθώς τα ανεπιθύμητα ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  βλάπτουν την φωτοσύνθεση.

#### 4.3 Συγκέντρωση ιόντων $\text{Cl}^-$ στους φυτικούς ιστούς

Όπως έχει αναφερθεί στη προηγούμενη παράγραφο, τα φυτά τείνουν να απορροφούν περισσότερο  $\text{Cl}^-$  σε σχέση με το  $\text{Na}^+$  για δεδομένη εξωτερική συγκέντρωση  $\text{NaCl}$ . Για το λόγο αυτό η συγκέντρωση του χλωρίου στα φύλλα και τις ρίζες είναι αρκετά υψηλότερη του νατρίου, τόσο στις χαμηλές (0,6 mM  $\text{NaCl}$ ) όσο και στις αυξημένες (5 mM  $\text{NaCl}$ ) συγκεντρώσεις αλατότητας στο αρδευτικό νερό, σε όλους τους συνδυασμούς γονοτύπων.

Ο διαφορετικός τρόπος ανοχής στην αλατότητα μεταξύ των διαφορετικών συνδυασμών, πιστοποιείται από την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών, όσον αφορά τη συσσώρευση του χλωριόντος ( $\text{Cl}^-$ ) στα φύλλα. Ως εκ τούτου, παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση  $\text{Cl}^-$  στα φύλλα των συνδυασμών "Belladonna – αυτόριζη" και "Merilia – αυτόριζη", ενώ για το αυτόρριζο υβρίδιο "Formula" – που όπως αποδείχτηκε συμπεριφέρεται ως "salt excluder" – εμφανίζεται χαμηλότερη. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη και την υψηλή τιμή του υβριδίου "Lobello", σε τόσο χαμηλά επίπεδα  $\text{Cl}^-$  στο εξωτερικό μέσο, ο αποκλεισμός του στοιχείου (μέσω ενεργού απέκκρισης) γίνεται «αδύναμος» (Varlagas et al., 2010) κι επομένως, δεν μπορεί να προσδιοριστεί επακριβώς η συμπεριφορά των φυτών ως προς αυτό.

Σε κάθε περίπτωση φαίνεται πως ο εμβολιασμός συμμετέχει στον αποκλεισμό του  $\text{Cl}^-$  από τα φύλλα όχι όμως μέσω μη απορρόφησής του από το διάλυμα, αλλά περισσότερο, μέσω συγκράτησης και αποθήκευσής του στο εκτεταμένο ριζικό σύστημα. Η συγκέντρωση του στοιχείου στις ρίζες των συνδυασμών "Belladonna – εμβολιασμένη" και "Merilia – εμβολιασμένη" δικαιολογεί τα παραπάνω, αφού είναι αρκετά υψηλότερη των αντίστοιχων «αυτόριζων» συνδυασμών, ενώ κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τα υβρίδια με "salt excluder" χαρακτήρα (στα υψηλά επίπεδα αλατότητας). Σε κάθε περίπτωση, ο εμβολιασμός στο υποκείμενο 'Armstrong' φαίνεται να αυξάνει την ανοχή της τομάτας σε αυξημένες συγκεντρώσεις  $\text{Cl}^-$  στο εξωτερικό μέσο, αφού οδηγεί στην συγκράτηση του  $\text{Cl}^-$  στις ρίζες με συνέπεια την μείωση των συγκεντρώσεων  $\text{Cl}^-$  στα φωτοσυνθετικά ενεργά φύλλα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των παραμέτρων όπως αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφ. 4 – Συζήτηση), καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως για να επιτευχθούν αποδεκτά επίπεδα πρόβλεψης της συγκέντρωσης των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (RNS), εφαρμόζοντας το υπολογιστικό μοντέλο ισοζυγίου μάζας που αναπτύχθηκε από τους Savvas et al. (2005), απαιτείται ξεχωριστή βαθμονόμηση για ποικιλίες ή υβρίδια τομάτας αναλόγως της διαφορετικής συμπεριφοράς τους, όσον αφορά την ανοχή τους στην αλατότητα. Ως εκ τούτου, για φυτά τα οποία ανέχονται τα υψηλά επίπεδα αλάτων στο εξωτερικό διάλυμα μέσω απορρόφησής τους (salt includers), πρέπει να εφαρμόζεται διαφορετική έκδοση του μοντέλου προσομοίωσης, σε σχέση με εκείνα τα οποία αντιδρούν στην αλατότητα μέσω αποκλεισμού των τοξικών ιόντων (salt excluders). Επιπλέον διαφορετική βαθμονόμηση απαιτείται για υδροπονική καλλιέργεια τομάτας ανεπτυγμένης σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT), καθώς η εφαρμογή του προσομοιώματος στη παρούσα μορφή του – το οποίο είχε προσαρμοστεί για καλλιέργεια σε υποστρώματα – έτεινε να υπερεκτιμά σημαντικά τους ρυθμούς συσσώρευσης  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα.

Η παρούσα μελέτη πιστοποιεί το ρόλο του εμβολιασμού στην αύξηση της ανοχής των φυτών, κατά την έκθεσή τους σε υψηλά επίπεδα αλάτων. Πιο συγκεκριμένα ο εμβολιασμός στο υποκείμενο “Armstrong” δεν φαίνεται να μειώνει τον ρυθμό συσσώρευσης αλάτων στο ριζόστρωμα στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, καθώς δεν αυξάνει την συνολική απορρόφηση αλάτων αλλά απλώς ανακατανέμει τις ποσότητες που κατευθύνονται στα διάφορα φυτικά τμήματα. Κατ’αυτόν το τρόπο, μολονότι δεν μειώνει την συσσώρευση αλάτων στα κλειστά υδροπονικά συστήματα φαίνεται πως αυξάνει την ανοχή της τομάτας στα υψηλά επίπεδα αλατότητας, αφού οδηγεί στην συγκράτηση των ιόντων της αλατότητας στις ρίζες, με συνέπεια την μείωση των συγκεντρώσεων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στα φωτοσυνθετικά ενεργά φύλλα. Ως εκ τούτου ο εμβολιασμός στο υποκείμενο “Armstrong” χαρακτηρίζεται ως επωφελής για τα φυτά, ιδιαίτερα στη περίπτωση καλλιέργειας σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, όπου το πρόβλημα της συσσώρευσης ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο ριζόστρωμα είναι εντονότερο.

Εν κατακλείδι, συνεκτιμώντας τη θετική επίδραση του εμβολιασμού στο υποκείμενο “Armstrong” κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή περαιτέρω έρευνας με αντίστοιχη δοκιμή περισσότερων υποκειμένων εμβολιασμού τομάτας. Ο αντικειμενικός σκοπός αυτής δε, θα πρέπει να προσανατολιστεί στην αναζήτηση υποκειμένων με εκτεταμένο ριζικό σύστημα που δεν ανακατανέμουν μόνο την αναλογία συσσώρευσης  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  μεταξύ ρίζας και φύλλων αλλά ταυτόχρονα μειώνουν και την συνολική απορρόφηση αυτών των ανεπιθύμητων ιόντων.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## I. Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

1. Ολύμπιος, Χ. Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στο θερμοκήπιο. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα, 772 σελ.
2. **Σάββας, Δ., 2012.** Καλλιέργειες εκτός εδάφους. Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγροτύπος, Αθήνα, 525 σελ.
3. **Σάββας, Δ., 2007.** Πρόσφατες εξελίξεις και διαφαινόμενες τάσεις στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες κηπευτικών. 23<sup>ο</sup> Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Επιστήμης Οπωροκηπευτικών, Χανιά, 23-26 Οκτωβρίου 2007, τόμος 13B, σ. 741-748.
4. **Σάββας, Δ., 2016.** Γενική Λαχανοκομία. Εκδόσεις Πεδίο, Αθήνα, 2016, 706 σελ.
5. **Σάββας, Δ., 2001.** Θρέψη φυτών (σημειώσεις). Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Αρτα.
6. **Σταμάτης, Γ., 2017.** Υπεράντληση υπόγειων υδατικών πόρων: επιπτώσεις και λύσεις. Επί Γης, Περιοδική έκδοση για την αγροτική οικονομία από τη τράπεζα Πειραιώς. Τεύχος Νο 10, φθινόπωρο 2017.
7. **Οικονομάκης, 2007**
8. **Σάββας, Δ., 2007.** Εισαγωγή στις καλλιέργειες εκτός εδάφους.
9. **Κωνσταντής, Γ. Χ., Σάρδαλου, Γ., Μιχαήλ, Ν., 2014.** Γενικές έννοιες και ορισμοί. Εγχειρίδιο Υδροπονίας, Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας ΙΓΕ. Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών. Λευκωσία, 2014. 106 σελ.
10. **Σάββας, Δ., 2014.** Πρόλογος. Εγχειρίδιο Υδροπονίας, Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας ΙΓΕ. Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών. Λευκωσία, 2014. 106 σελ.
11. **Κώτσιρας Α. Ι., 2014.** Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος της λαχανοκομίας IV. Υδροπονικές Καλλιέργειες. Καλαμάτα, 2011. 98. σελ. ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα ΘΕΚΑ, Ελλάδα.

## II. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

12. **MUNNS, R. 2002:** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell Environ.* **25**, 239–250.
13. **Alian, A., Altman, A., Heuer, B., 2000.** Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. *Plant Sci.* **152**, 59–65.
14. **Estan, M.T., Martinez-Rodriguez, M.M., Perez-Alfocea, F., Flowers, T.J., Bolarvn, M.C., 2005.** Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *J. Exp. Bot.* **56**, 703–712.
15. **Giuffrida, F., Martorana, M., Leonardi, C., 2009.** How sodium chloride concentration in the nutrient solution influences mineral composition of tomato and fruits. *HortScience* **44**, 707–711.
16. **Martinez-Rodriguez, M.M., Estan, M.T., Moyano, E., Garcia-Abellan, J.O., Flores, F.B., Campos, J.F., Al-Azzawi, M.J., Flowers, T.J., Bolarvn, M.C., 2008.** The

- effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an ‘excluder’ genotype is used as scion. *Environ. Exp. Bot.* 63, 392–401.
17. **Varlagas, H., Savvas, D., Mouzakis, G., Liotsos, C., Karapanos, I., Sigrimis, N., 2010.** Modelling uptake of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> by tomato in closed-cycle cultivation systems as influenced by irrigation water salinity. *Agric. Wat. Manage.* 97, 1242–1250.
  18. **Sonneveld, C., 2000.** Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. PhD Thesis. University of Wageningen, The Netherlands.
  19. **Katsoulas et al., 2015.** Extension and evaluation of a model for automatic drainage solution management in tomato crops grown in semi-closed hydroponic systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 113 (2015) 61–71.
  20. **Savvas, D., Kotsiras, A., Meletiou, G., Margariti, S., Tsirogiannis, I.L., 2005.** Modeling the relationship between water uptake by cucumber and NaCl accumulation in a closed hydroponic system. *HortScience* 40, 802–807.
  21. **Savvas, D., Mantzos, N., Barouchas, P., Tsirogiannis, I.L., Olympios, C., Passam, H.C., 2007.** Modelling salt accumulation by a bean crop grown in a closed hydroponic system in relation to water uptake. *Sci. Hort.* 111, 311–318.
  22. **Savvas, D., Chatzieustratiou, E., Pervolaraki, G., Gizas, G., Sigrimis, N., 2008.** Modelling Na and Cl concentrations in the recycling nutrient solution of a closed-cycle pepper cultivation. *Biosyst. Engin.* 99, 282–291.
  23. **Savvas, D., and Adamidis, K., 1999.** Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. *J. Plant Nutr.* 22, 1415–1432. <https://doi.org/10.1080/01904169909365723>.
  24. **Hewitt, E.J., Watson, E.F., 1980.** The production of micronutrient element deficiencies in plants grown in recirculating nutrient film (NFT) systems. *ActaHort.* (ISHS) 98:179-190.
  25. **Anastasiou, A., Ferentinos, K. P., Arvanitis, K. G., Savvas, D., Sigrimis, N., 2005.** DSS-hortimed for on-line management of hydroponic systems. *Acta Hort.* 691, 267-274.
  26. **Butcher, J. C., 1987.** The numerical analysis of ordinary differential equations: Runge-Kutta and general linear methods. Wiley, London.
  27. **SONNEVELD, C., R. BAAS, H.M.C. NIJSSEN and J. DE HOOG 1999:** Salt tolerance of flower crops grown in soilless culture. *J. Plant Nutr.* 22, 1033–1048.
  28. **Silberbush, M., Ben-Asher, J., 2001.** Simulation study of nutrient uptake by plants from soilless cultures as affected by salinity buildup and transpiration. *Plant Soil* 233, 59–69.
  29. **Anastasiou, A., Savvas, D., Pasgianos, G., Sigrimis, N., Stangellini, C., Kempkes, F., 2009.** Decision support for optimised irrigation scheduling. *Acta Hort.* 807, 253–258.
  30. **Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F., Pardossi, A., 2007.** An aggregated model for water requirements of greenhouse tomato grown in closed rockwool culture with saline water. *Agric. Water Manage.* 88, 73–82.
  31. **Sonneveld, C., Voogt, W., 2009.** *Plant Nutrition of Greenhouse Crops.* Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, pp. 431.

32. **Thompson, R.B., Gallardo, M., Valdez, L.C., Fernandez, M.D., 2007.** Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. *Agric. Water Manage.* 88, 147–158.
33. **Hu, Y., Schmidhalter, U., 2005:** Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 541-549.
34. **Läuchli, A., Grattan, S. R., 2007:** Plant growth and development under salinity stress, in Jecks, M. A., Hasegawa, P. A., Jain, S. M. (eds.): *Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops.* Springer-Verlag, Amsterdam, The Netherlands, pp. 1-32.
35. **Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F., Pardossi, A., 2005.** Modelling salinity build-up in recirculating nutrient solution culture. *J. Plant Nutr.* 28, 431–445.
36. **Savvas, D., Pappa, V.A., Gizas, G., Kotsiras, A., 2005.** NaCl accumulation in a cucumber crop grown in a completely closed hydroponic system as influenced by NaCl concentration in irrigation water. *Eur. J. Hortic. Sci.* 70, 217–223.
37. **Davis, J. M., Sanders, D. C., Nelson, P. V., Lengnick, L., Sperry, W.J., 2003.** Boron improves growth, yield, quality, and nutrient content of tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128, 441-446.
38. **Smit, J. N., Combrink, N. J. J., 2004.** The effect of boron levels in nutrient solutions on fruit production and quality of greenhouse tomatoes. *South African Journal of Plant and Soil* 21, 188-191
39. **Smit, J. N., Combrink, N. J. J., 2005.** Pollination and yield of winter-grown greenhouse tomatoes as affected by boron nutrition, cluster vibration and relative humidity. *South African Journal of Plant and Soil* 22, 110-115
40. **Adams, P., 2002.** Nutritional control in hydroponics. In: Savvas, D., Passam, H.C. (Eds.), *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals.* Embryo Publ., Athens, Greece, pp. 211–261.
41. **Savvas, D., Chatzieustratiou, E., Pervolaraki, G., Gizas, G., Sigrimis, N., 2008.** Modelling Na and Cl concentrations in the recycling nutrient solution of a closed-cycle pepper cultivation. *Biosyst. Engin.* 99, 282–291.
42. **Chapagain, B.P., Wiesman, Z., 2004.** Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae* 99, 279-288
43. **Sundin, P., Waechter-Kristensen, B., Mari, S. Y., Gertsson, U. E., Hagtorn, U., Jensen, P., Lund, J., Knutsson, M., Jonsson, J. A., Mathiasson, L., 1997.** Phytotoxic organic compounds in the circulating nutrient solution of a closed hydroponic tomato culture. *Proceed. 9<sup>th</sup> Intern. Cong. Soilless Culture, Jersey*, pp. 523-533.
44. **Van Os, E.A., Gieling, T.H., and Ruijs, M.N.A., 2002.** Equipment for hydroponic installations. In *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, D. Savvas, and H.C. Passam, eds. (Athens, Greece: Embryo Publ.), p. 103–141.
49. **Zeroni, M., J. Gale and J. Ben-Asher, 1983.** Root aeration in a deep hydroponic system and its effect on growth and yield of tomato. *Scientia Hortic.*, 19: 213-220.
50. **Leoni S., Grudina, R., Pisanu, B., 1994.** A new system of tomato greenhouse cultivation: High Density Aeroponic System (HDAS). *Act. Hort.* 361. June 1994.
51. **Wohanka, W., 2002.** Nutrient solution disinfection. In *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, D. Savvas, and H.C. Passam, eds. (Athens, Greece: Embryo Publ.), p. 345–372.

52. **Jones, J. B., Jr. 2005.** Hydroponics, a practical guide for the soilless grower. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raron, FL: CRC Press.
53. **Olympios, C.M., 1999.** Overview of soilless culture: Advantages, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries. Cahiers Options Méditerranéennes. 31.
54. **Raviv, M., Lieth, J. H., 2008.** Soilless Culture: Theory and Practice. 1<sup>st</sup> Edition. Elsevier Science, 608 pages.
55. **Popsimonova, G., Benko, B., Karic, L., Gruda, N., 2017.** Production systems: integrated and organic production, and soilless culture. In FAO Plant Production and Protection Paper 230. FAO GAP for greenhouse vegetable production in SEE countries. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome, 2017. ISSN 2070-2515
56. **Harris, D., 1992.** Hydroponics: the complete guide to gardening without soil. New Holland Publishers Ltd, London. 232 pages.