

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

Πτυχιακή Διατριβή

**«Επαναχρησιμοποίηση Απορροών Υδροπονικής Καλλιέργειας Τομάτας
σε Υδροπονική Καλλιέργεια Σπανακιού»**



ΝΑΟΥΝΟΥΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Καθηγητής

Βόλος, 2021

**Επαναχρησιμοποίηση Απορροών Υδροπονικής Καλλιέργειας
Τομάτας σε Υδροπονική Καλλιέργεια Σπανακιού**

Ναουνούλης Ιωάννης

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Νικόλαος Κατσούλας, Καθηγητής, Γεωργικές Κατασκευές-Θερμοκήπια, Π.Θ.

Σπύρος Πετρόπουλος, Αν. Καθηγητής, Λαχανοκομία.

Ευθυμία Λεβίζου, Επ. Καθηγήτρια, Φυσιολογία Φυτών.

Ευχαριστίες

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη καθώς και την υποχρέωση να ευχαριστήσω τα άτομα τα οποία η συμβολή τους ήταν σημαντική ώστε να υλοποιηθεί η παρούσα διατριβή.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω θερμά, τον επιβλέποντα και μέλος της τριμελούς επιτροπής Καθηγητή, κ. Νικόλαο Κατσούλα για την ευκαιρία που μου προσέφερε να πραγματοποιήσω την πτυχιακή αυτή διατριβή, στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και συμβουλές που μου προσέφερε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Σπύρο Πετρόπουλο και την Επίκουρο Καθηγήτρια κα. Ευθυμία Λεβίζου του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή.

Ευχαριστώ επίσης την Δρ. Αγγελική Ελβανίδη για την βοήθεια και την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διατριβής.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά την Ελένη Καρατσίβου και τη Σοφία Φαλιάγκα για την καθοριστική βοήθειά τους τόσο στο πειραματικό μέρος, όσο και για τη συμβολή τους στη συγγραφή και τη διόρθωση της πτυχιακής αυτής εργασίας.

Νιώθω επίσης την ανάγκη να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, που συνέβαλλαν στην ορθή διεξαγωγή του πειραματικού μέρους, καθώς και για τις γνώσεις τις συμβουλές και τη βοήθεια που μου προσέφεραν.

Τέλος, νιώθω ευγνώμων και θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της οικογένειάς μου που με στήριζαν κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας, καθώς και τους φίλους μου και ιδιαίτερα την Ελευθερία, για την αμέριστη συμπαράσταση και ανοχή που έδειξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες, ο πληθυσμός της γης αυξάνεται εκθετικά. Οι πρωτογενείς πόροι ολοένα και συρρικνώνονται, ενώ παράλληλα εντείνεται το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως στο εγγύς μέλλον θα καταστεί αναγκαίο η παραγωγή τροφής να αυξηθεί, ενώ οι χορηγούμενοι πόροι στην πρωτογενή παραγωγή να μειωθούν. Κυρίαρχο ρόλο στην αντιμετώπιση της προαναφερθείσας κατάστασης διαδραματίζουν τις τελευταίες δεκαετίες οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες υπό κάλυψη και συγκεκριμένα η υδροπονία. Με τη μέθοδο της υδροπονίας, οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται είτε σε υπόστρωμα, είτε απευθείας στο θρεπτικό διάλυμα. Το διάλυμα αυτό περιέχει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για το φυτό. Για να αποφευχθεί η συσσώρευση αλάτων στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας, σε κάθε δόση άρδευσης απορρέει περίπου το 25-40% του παρεχόμενου διαλύματος. Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα όπου το διάλυμα επαναχρησιμοποιείται, ενέχει ο κίνδυνος διάδοσης παθογόνων καθώς και η αύξηση της αλατότητας σε τοξικά για την καλλιέργεια επίπεδα. Με την αποφόρτιση του διαλύματος και την απόρριψη του στο περιβάλλον, εκρέουν σημαντικές ποσότητες νιτρικών και φωσφορικών ιόντων, που έχει ως αναπόφευκτη συνέπεια τη μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα. Μια τεχνολογία που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια κυρίως στη λεκάνη της μεσογείου είναι ένα ανοιχτό υδροπονικό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών. Σ' αυτό το σύστημα, οι απορροές μίας καλλιέργειας υψηλών εισροών, χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των αναγκών μιας δευτερεύουσας καλλιέργειας χαμηλότερων απαιτήσεων και υψηλότερης αντοχής στην αλατότητα. Η λειτουργία του βασίζεται στη συλλογή του θρεπτικού διαλύματος της απορροής και αφού προηγηθεί απολύμανση και διόρθωση του pH, προωθείται για την άρδευση μιας δευτερεύουσας και αν δύναται αντιστοίχως τριτεύουσας καλλιέργειας.

Στόχος της παρούσας διατριβής, ήταν η αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών μιας δευτερεύουσας καλλιέργειας σπανακιού (*Spinacea oleraceae*), η οποία αρδευότανε με θρεπτικό διάλυμα απορροής από υδροπονική καλλιέργεια τομάτας (*Solanum lycopersicum cv. Elpida*) που αποτελούσε και την κύρια καλλιέργεια. Το πείραμα περατώθηκε σε 2 καλλιεργητικούς κύκλους. Η διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκε στο θερμοκηπιακό πάρκο του Εργαστηρίου

Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Εφαρμόστηκαν συνολικά τέσσερις διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης. Η πρώτη, αποτελούσε τον μάρτυρα του πειράματος όπου τα φυτά αρδεύονταν με πρότυπο θρεπτικό διάλυμα κατάλληλο για την καλλιέργεια σπανακιού. Οι υπόλοιπες τρεις μεταχειρίσεις είχαν ως βάση το θρεπτικό διάλυμα απορροής (D) της πρωτεύουσας καλλιέργειας (τομάτας) σε διαφορετικές αναλογίες ανάμειξης με καθαρό νερό (W), (50%D-50%W, 75%D-25%W, 100%D). Ενθαρρυντικά ήταν τα αποτελέσματα που παρουσίασε η 100%D σε σχέση με το μάρτυρα καθώς κατά τον 1^ο καλλιεργητικό κύκλο δεν διέφερε σημαντικά η συνολική παραγωγή μεταξύ τους, ενώ κατά τον δεύτερο καλλιεργητικό κύκλο η 100%D ήρθε δεύτερη σε απόδοση μετά τον μάρτυρα. Οι μεταχειρίσεις 50 και 75%D παρουσίασαν μειωμένη απόδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, η ταχύτητα φωτοσύνθεσης καθώς και ο ρυθμός διαπνοής, παρά τις αυξομειώσεις που παρουσίασαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, δε φάνηκε να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στη μεταχείριση 100%D, δεν υπήρχε επιπλέον κατανάλωση νερού και λιπασμάτων, αφού χρησιμοποιήθηκε αμιγώς το διάλυμα απορροής της πρωτεύουσας καλλιέργειας που υπό άλλες συνθήκες θα είχε απορριφθεί. Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα παραπάνω, συμπεραίνουμε πως η συγκαλλιέργεια τομάτας και σπανακιού σε ένα τέτοιο σύστημα, αποτελεί μία βιώσιμη οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά λύση.

Summary

The last decades, the population of our planet is growing exponentially, primary resources are shrinking, while the effects of the climate change becomes more visible. It is therefore understood that in the near future it will be necessary to increase food production, while the resources allocated to primary production must be decreased. Dominant role in tackling the aforementioned situation play, the recent decades, the technologies that are applied to the covered cultures, especially in hydroponics. With the hydroponic method, the roots of the plants grow either on a substrate, or directly in the nutrient solution. This solution contains all the necessary nutrients for the plant. To prevent the accumulation of salts in the environment of the rhizosphere, for each irrigation event flows about 25-40% of the supplied solution. In closed hydroponic systems where the solution is reused, there is a risk of spreading

pathogens as well as increasing the salinity to levels toxic to the crop. The surplus of nutrient solution from the root zone and its discharging it into the environment, significant amounts of nitrate and phosphate ions are released, which has the inevitable consequence of the contamination for the aquifer. A technology that has been developing in recent years mainly in the Mediterranean basin is an open hydroponic system of overlapping crops. In this system, the drainage of a high-input crop is used to complete the needs of a secondary crop with lower requirements and higher resistance in salinity. Its function is based on the collection of the nutrient solution of the effluent and after disinfection and correction of the pH, it is promoted for the irrigation of a secondary and if it's possible, respectively for tertiary culture.

The aim of this dissertation was to evaluate the qualitative characteristics of a secondary spinach crop (*Spinacea oleraceae*), which was irrigated with tomato drainage nutrient solution (*Solanum lycopersicum* cv. Elpida) which was also the primary crop. The experiment was completed in 2 culture cycles. The experiment was conducted in the greenhouse park of the Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control of the University of Thessaly. A total of four different irrigation treatments were applied. The first was the control of the experiment where the plants were irrigated with a standard nutrient solution. The other three were based on the drainage solution (D) of the primary crop in different proportions of mixing with irrigation water (W), (50% D-50% W, 75% D-25% W, and 100% D). The results presented by 100% D in relation to the control were encouraging as during the 1st crop cycle the total production did not differ significantly between them, while during the second crop cycle 100% D came second in yield after the control. The 50 and 75%D treatments showed reduced performance compared to the other treatments. The chlorophyll content, photosynthesis rate and respiration rate, despite the fluctuations during the experiment, did not appear to differ significantly. Especially, for the 100% D treatment, there was no additional consumption of water and fertilizers, since the effluent solution of the primary crop was used, which otherwise would have been discarded. Taking into account all the above, we conclude that the co-cultivation of tomato and spinach in such a system, is a financially and environmentally sustainable solution.

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	12
1.1.	Υδροπονία.....	15
1.2.	Συστήματα και Μέθοδοι Υδροπονικών Συστημάτων	19
1.2.1.	Ανοιχτά Συστήματα Υδροπονίας.....	19
1.2.2.	Κλειστά Συστήματα Υδροπονίας.....	20
1.2.3.	Ημίκλειστο Υδροπονικό Σύστημα	24
1.2.4.	Μέσα Ανάπτυξης των Ριζών-Υποστρώματα.....	25
1.2.5.	Καλλιέργεια σε Πετροβάμβακα.....	25
1.3.	Διαχείριση του θρεπτικού διαλύματος απορροής	26
1.4.	Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού (Water Use Efficiency).....	28
1.5.	Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη και στις λειτουργίες των φυτών.....	30
1.6.	Διαχείριση της αλατότητας	33
1.7.	Συστήματα πολυκαλλιέργειας με βάση την κυκλική οικονομία.....	35
1.8.	Καλλιέργειες	38
1.8.1.	Τομάτα.....	38
1.8.2.	Σπανάκι.....	40
1.9.	Σκοπός της εργασίας.....	42
2.	Υλικά και Μέθοδοι	44
2.1	Εγκαταστάσεις και Καλλιέργεια	44
2.1.2	Εγκατάσταση στους Θαλάμους–Πειραματικός Σχεδιασμός.....	45
2.1.3	Εγκατάσταση στο Μέσο Ανάπτυξης.....	45
2.2.	Σύστημα υδρολίπανσης	50
2.3	Αρδευτικό Σύστημα.....	51
2.4	Μεταχειρίσεις.....	52
2.5	Μετρήσεις	54

2.5.1 Μετρήσεις Ύψους και Αριθμού Φύλλων.....	54
2.5.2 Μετρήσεις της Συγκέντρωσης των Χρωστικών με Χλωροφυλλόμετρο SPAD	54
2.5.3 Μετρήσεις Ρυθμού Φωτοσύνθεσης και Διαπνοής.....	54
2.5.4 Μετρήσεις Νωπού και Ξηρού Βάρους.....	56
2.6 Στατιστική Ανάλυση.....	57
3. Αποτελέσματα	58
3.1. Ύψος Φυτών Σπανακιού.....	58
3.1.1. 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	58
3.1.2. 2 ^η Καλλιεργητική περίοδος	59
3.2. Αριθμός Φύλλων των φυτών του Σπανακιού	60
3.2.1. 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	60
3.2.2. 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	61
3.3. Χλωροφύλλη (SPAD) των φυτών του Σπανακιού.....	62
3.3.1. 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	62
3.3.2. 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	63
3.4 Φωτοσύνθεση των Φυτών του Σπανακιού	64
3.4.1 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	64
3.4.2 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	65
3.5 Διαπνοή των Φυτών του Σπανακιού	66
3.5.1 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	66
3.5.2 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	68
3.6 Ρυθμός Φωτοσύνθεσης προς τον ρυθμό Διαπνοής των Φυτών του Σπανακιού	69
3.6.1 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	69
3.6.2 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	71
3.7 Χλωρό Βάρος της Καλλιέργειας Σπανακιού	72
3.7.1 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	72

3.7.2. 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	74
3.8 Ξηρό Βάρος της Καλλιέργειας Σπανακιού	75
3.8.1 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	75
3.8.2 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	77
3.9 Λόγος Νωπού προς Ξηρού Βάρους των Φυτών του Σπανακιού	78
3.9.1 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	78
3.9.2 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	79
3.10 Αριθμός Φύλλων των Φυτών κατά την Καταστροφική Συγκομιδή....	81
3.10.1 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	81
3.10.2 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	81
3.11 Συνολική Παραγωγή.....	82
3.11.1 1 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	82
3.11.2 2 ^η Καλλιεργητική Περίοδος	83
4. Συζήτηση	85
5. Συμπεράσματα	89
6. Βιβλιογραφία	90

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους των φυτών του σπανακιού, κατά τον 1 ^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 7 ^η ημέρα της μεταφύτευσης, έως και την 34 ^η	58
Διάγραμμα 2. . Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους των φυτών του σπανακιού κατά το 2 ^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 3 ^η ημέρα της μεταφύτευσης έως και την 45 ^η	59
Διάγραμμα 3. Μεταβολή του μέσου όρου του αριθμού των φύλλων κατά τον 1 ^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 7 ^η έως την 41 ^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση.....	61
Διάγραμμα 4. Μεταβολή του μέσου όρου του αριθμού των φύλλων του σπανακιού κατά τον 2 ^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 3 ^η έως την 45 ^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση.....	62
Διάγραμμα 5. Μεταβολή του μέσου όρου των τιμών της χλωροφύλλης των φυτών του σπανακιού κατά τον 1 ^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 7 ^η έως την 34 ^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση.....	63
Διάγραμμα 6. Μεταβολή του μέσου όρου των τιμών της χλωροφύλλης των φυτών του σπανακιού κατά τον 2 ^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 13 ^η έως την 45 ^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση.....	64
Διάγραμμα 7. Μεταβολή του μέσου όρου του ρυθμού της φωτοσύνθεσης κατά τον 1 ^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.....	65
Διάγραμμα 8. Μεταβολή του μέσου όρου του ρυθμού της φωτοσύνθεσης κατά τον 2 ^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.....	66
Διάγραμμα 9. Μεταβολή του μέσου όρου του ρυθμού της διαπνοής των φυτών του σπανακιού, κατά τον 1 ^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.....	68
Διάγραμμα 10. Μεταβολή του μέσου όρου του ρυθμού της διαπνοής των φυτών του σπανακιού, κατά τον 2 ^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.....	70
Διάγραμμα 11. Μεταβολή του λόγου της ταχύτητας της φωτοσύνθεσης προς τον ρυθμό διαπνοής των φυτών του σπανακιού, κατά τον 1 ^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.....	72
Διάγραμμα 12. Μεταβολή του λόγου της ταχύτητας της φωτοσύνθεσης προς τον ρυθμό διαπνοής των φυτών του σπανακιού, κατά τον 2 ^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.....	73
Διάγραμμα 13. Το νωπό βάρος των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του πρώτου κύκλου καλλιέργειας.....	74
Διάγραμμα 14. Το νωπό βάρος των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του δεύτερου κύκλου καλλιέργειας.....	75
Διάγραμμα 15. Το ξηρό βάρος των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του πρώτου κύκλου καλλιέργειας.....	76
Διάγραμμα 16. Το ξηρό βάρος των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του δεύτερου κύκλου καλλιέργειας.....	77
Διάγραμμα 17. Ο λόγος νωπού προς ξηρού βάρους των φυτών του σπανακιού κατά τον 1 ^ο κύκλο καλλιέργειας.....	80
Διάγραμμα 18. Ο λόγος νωπού προς ξηρού βάρους των φυτών του σπανακιού κατά τον 2 ^ο κύκλο καλλιέργειας.....	81
Διάγραμμα 19. Ο αριθμός των φύλλων των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του 1 ^{ου} κύκλου καλλιέργειας.....	82
Διάγραμμα 20. Ο αριθμός των φύλλων των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του 2 ^{ου} κύκλου καλλιέργειας.....	83

Διάγραμμα 21. Η συνολική παραγωγή των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του 1 ^{ου} κύκλου καλλιέργειας.....	84
Διάγραμμα 22. Η συνολική παραγωγή των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του 2 ^{ου} κύκλου καλλιέργειας.....	85

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Σύνθεση του διαλύματος διαβροχής υποστρώματος και τροφοδοσίας για καλλιέργεια μαρουλιού σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. Η EC δίνεται σε dS m^{-1} , οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} , των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$ και οι αναλογίες των μακροστοιχείων σε γραμμομοριακή βάση (Σάββας 2011).....	47
Πίνακας 2. Σύνθεση του διαλύματος διαβροχής υποστρώματος και τροφοδοσίας για καλλιέργεια τομάτας σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. Η EC δίνεται σε dS m^{-1} , οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} , των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$ και οι αναλογίες των μακροστοιχείων σε γραμμομοριακή βάση (Σάββας 2011).....	49
Πίνακας 3. Χημική σύσταση του νερού της περιοχής του Βελεστίνου. Η EC δίνεται σε dS m^{-1} , οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} και των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$	52
Πίνακας 4. Νωπό βάρος (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο.....	75
Πίνακας 5. Νωπό βάρος (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την δεύτερη καλλιεργητική περίοδο.....	76
Πίνακας 6. Ξηρό βάρος (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο.....	77
Πίνακας 7. Ξηρό βάρος (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την δεύτερη καλλιεργητική περίοδο.....	79
Πίνακας 8. Ο λόγος χλωρού προς ξηρού βάρους (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο.....	80
Πίνακας 9. Ο λόγος χλωρού προς ξηρού βάρους (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την δεύτερη καλλιεργητική περίοδο.....	81
Πίνακας 10. Συνολική παραγωγή (g m^{-2}) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο.....	84
Πίνακας 11. Συνολική παραγωγή (g m^{-2}) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την 2 ^η καλλιεργητική περίοδο.....	85

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. Ανοιχτό (a) και κλειστό (b) υδροπονικό σύστημα. (Πηγή: Savvas et al., 2013).....	24
Εικόνα 2. Κάτοψη του Θερμοκηπιακού Πάρκου (αριστερά) (Πηγή : Google Earth) και Αισθητήρας Ελέγχου του Κλίματος (δεξιά).....	44
Εικόνα 3. Εγκατάσταση της καλλιέργειας σπανακιού (επάνω) και της τομάτας (κάτω) στο μέσο ανάπτυξης.....	47
Εικόνα 4. Κάτοψη της θέσης των καλλιεργειών στον χώρο του θερμοκηπίου.....	53

Εικόνα 5. Το όργανο μέτρησης της φωτοσύνθεσης (δεξιά), και το χλωροφυλλόμετρο SPAD (αριστερά).....	55
Εικόνα 6. Φυτό σπανακιού μετά από καταστροφική συγκομιδή.....	55
Εικόνα 7. Τα φυτά του σπανακιού έτοιμα προς αποξήρανση δεξιά, και ο φούρνος αποξήρανσης αριστερά.....	56

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1. Παγκόσμια παραγωγή υδροπονικών λαχανικών κατά το έτος 2019 (Πηγή Mordor Intelligence).....	17
Σχήμα 2: Μεταβολή της συνολικής παραγωγής (A) και των εμπορεύσιμων καρπών (B) σε συνάρτηση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).....	33
Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής της επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος απορροής με σκοπό την άρδευση δευτερεύουσας καλλιέργειας (Πηγή: Bres, 2009).....	37

1. Εισαγωγή

Το νερό, αποτελεί αδιαμφισβήτητα βασικό πόρο ζωής και επιβίωσης όλων των ζώντων οργανισμών, και του ανθρώπου, καθώς και της ανάπτυξης του πολιτισμού. Το διαθέσιμο φρέσκο νερό, είναι λιγότερο από το 1% του νερού του πλανήτη (FAO, 1995), από το οποίο το 70% χρησιμοποιείται στον αγροτικό τομέα (SDSN Sustainable Development Solution Network, 2013). Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών ο πληθυσμός της γης αυξάνεται εκθετικά (Panda et al, 2014). Ενδεικτικά, το 1960 ο πληθυσμός της γης ήταν 3 δις, αντιστοιχώντας 0.5 εκτάρια κατά κεφαλήν. Σήμερα ο πληθυσμός είναι 7.8 δις, με την παραπάνω αναλογία να διαμορφώνεται περίπου στα 0.2 εκτάρια ανά κεφαλή, ενώ παράλληλα, το 2050 ο πληθυσμός της γης αναμένεται να φτάσει τα 9.7 δις διαμορφώνοντας την αναλογία κατά κεφαλή στο 0.16, με πάνω από το 60% του πληθυσμού να διαμένει σε αστικές περιοχές (UN DESA, 2015). Την ίδια περίοδο, πάνω από 4 δις θα κατοικούν σε περιοχές με έλλειψη νερού ενώ το 20% του πληθυσμού θα διαμένει σε παράκτιες περιοχές οι οποίες θα είναι ευάλωτες σε πλημμύρες και με υφάλμυρο νερό. Οι πόλεις καταλαμβάνουν το 3% της επιφάνειας της γης, όμως φιλοξενούν πάνω από το 50% του πληθυσμού της (SEDAC, 2016).

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD), εκτιμάται ότι η κατανάλωση νερού το 2050 θα είναι αυξημένη κατά 55% συγκριτικά με σήμερα. Στις περιοχές όπου επικρατεί μεσογειακό κλίμα, αναμένεται να αυξηθεί η κατανάλωση νερού των καλλιεργειών κατά 40-250% μέχρι το τέλος του αιώνα, αναλόγως το είδος της καλλιέργειας (Savé et al., 2012). Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σπατάλη νερού, καθώς και μόλυνση του πολύτιμου αυτού πόρου με χημικά λιπάσματα. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην εντατικοποίηση της γεωργίας, ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης του πολιτισμού. Η κραιπάλη των υδάτινων πόρων στην πρωτογενή παραγωγή, δεν οδηγεί μόνο σε έλλειψη αυτού, αλλά συνδέεται και με τη μόλυνση του περιβάλλοντος (Stanghellini et al., 2005).

Εξαιτίας της έντονης αστικοποίησης, της εκβιομηχάνισης καθώς και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, ένα μεγάλο μέρος της καλλιεργήσιμης γης θα εξαφανιστεί. Επιπλέον η γονιμότητα των εδαφών έχει κορεστεί και δεν αυξάνεται περαιτέρω με την αύξηση εφαρμογής λιπασμάτων. Εκτός από τη χαμηλή γονιμότητα, η μείωση της μικροβιακής δραστηριότητας λόγω τεταμένων περιόδων ξηρασίας, τα

ακραία καιρικά φαινόμενα, η ρύπανση των ποταμών και η πτώση της στάθμης των υπογείων υδάτων απειλούν την παραγωγή τροφής υπό τη συμβατική γεωργία με βάση το έδαφος. Υπό αυτές τις συνθήκες, στο εγγύς μέλλον θα καταστεί αδύνατο να τραφεί ολόκληρος ο πληθυσμός της γης με συμβατικές μορφές παραγωγής τροφής. Σύμφωνα με τον FAO (2018) η ανάγκη αύξησης της κυκλικότητας των συστημάτων παραγωγής, είναι εξαιρετικά σημαντική για τη βιωσιμότητα της παραγωγής.

Η σύγχρονη γεωργία αντιμετωπίζει δύο κύριες προκλήσεις. Να παράγει αρκετή τροφή για να καλύψει τις διατροφικές ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού, καθώς και να διασφαλίζει την ικανοποιητική ποιότητα των καλλιεργειών, ενώ χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τους υδάτινους πόρους (Djurovic et al., 2016). Μία πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προκλήσεων, η οποία ονομάζεται “βιώσιμη εντατικοποίηση”, συνδυάζει την αυξημένη παραγωγή με την προστασία του περιβάλλοντος και των οικοσυστημάτων. Τέτοια συστήματα αποτελούν και οι εκτός εδάφους καλλιέργειες (Ravin, 2019), οι οποίες δύναται να ανταπεξέλθουν στις προκλήσεις αυτές, καθώς η εκτός εδάφους καλλιέργεια, είναι πολλά υποσχόμενη σε αποδόσεις αλλά και σε εξοικονόμηση πόρων.

Παράλληλα, με την εντατικοποίηση της γεωργίας, αυξήθηκαν οι ανάγκες σε πόρους και εισροές. Η υπέρμετρη χρήση λιπασμάτων, ιδιαίτερα των αζωτούχων-νιτρικών, σε συνδυασμό με την αλόγιστη χρήση του αρδευτικού νερού το τελευταίο μισό του προηγούμενου αιώνα, καθιστά τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα διεθνές πρόβλημα το οποίο χρήζει άμεσα αντιμετώπισης. Η Υπουργική Απόφαση 161/1997/Β-519, που αφορά την «Προστασία των υδάτων από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης», ορίζει ως νιτρορύπανση την άμεση ή έμμεση απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον αζωτούχων ενώσεων γεωργικής προέλευσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να δημιουργούνται βλάβες για την ανθρώπινη υγεία, τους ζώντες οργανισμούς και στα υδατικά οικοσυστήματα, ή ζημιές στις εγκαταστάσεις αναψυχής και να παρακωλύονται άλλες θεμιτές χρήσεις των υδάτων. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η εφαρμογή μέτρων που θα μειώνουν τις εκροές χημικών και λιπασμάτων στο περιβάλλον, ειδικά σε περιοχές με παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας όπου το νερό αποτελεί δυσεύρετο πόρο.

Στα ανοιχτά συστήματα υδροπονίας, για να αποφευχθεί η υπερβολική συγκέντρωση αλάτων στη ριζόσφαιρα, το 30-40% του χορηγούμενου θρεπτικού διαλύματος απορρέει. Αυτό αποτελεί ταυτόχρονα σπατάλη νερού, καθώς και συμβάλει στη νιτρορύπανση των υπογείων υδάτων (Klaring, 2001). Με στόχο την

εξοικονόμηση εισροών κατά τη διάρκεια μιας καλλιέργειας, το ανοιχτό υδροπονικό σύστημα μετατράπηκε σε κλειστό, όπου το απορρέον θρεπτικό διάλυμα επαναχρησιμοποιείται.

Τις τελευταίες 2 δεκαετίες, η εκτός εδάφους καλλιέργεια σε κλειστό υδροπονικό σύστημα ως μέσο για τη μείωση της κατανάλωσης νερού και λιπασμάτων, έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον παραγωγών και επιστημόνων (Savvas, 2002; Bar-Yosef, 2008; Sonneveld and Voogt, 2009). Κύριο πλεονέκτημα του κλειστού έναντι του ανοιχτού συστήματος, είναι η εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων, ενώ ταυτόχρονα περιορίζεται η μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα από νιτρικά και φωσφορικά στο περιβάλλον (Carmassi et al., 2005; Savvas 2002). Παράλληλα, αυξάνεται η αποδοτικότητα χρήσης του νερού, αντιστοιχώντας λιγότερα λίτρα νερού ανά κιλό παραγόμενου προϊόντος (Putra and Yuliando 2015).

Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις, το διαθέσιμο νερό άρδευσης, περιέχει σημαντικές ποσότητες αλάτων (Sonneveld, 2002; Urrestarazu and Garcia, 2000). Με την επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος απορροής αυξάνεται ταυτόχρονα και η αγωγιμότητα αυτού. Η ανάπτυξη των φυτών επηρεάζεται από την αυξημένη αλατότητα και έχει ως αποτέλεσμα τη διατάραξη φυσιολογικών διεργασιών όπως η φωτοσύνθεση, η οσμορύθμιση και η μεταφορά θρεπτικών στα υπόλοιπα μέρη του φυτού (Negrão et al., 2017). Πιο αναλυτικά οι επιδράσεις της αλατότητας αναπτύσσονται στο κεφάλαιο 1.5.

Δημιουργείται έτσι η ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων καλλιέργειας τα οποία θα είναι σε θέση να αποδίδουν σε ποιότητα και σε ποσότητα καρπών, χωρίς ταυτόχρονα να επιβαρύνεται το περιβάλλον. Μία προσέγγιση για τη μείωση των απόβλητων νερών και λιπασμάτων στην υδροπονία και την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος απορροής. Το προαναφερθέν σύστημα, βασίζεται στη διαδοχική καλλιέργεια φυτών που αντιστοίχως θα είναι ανθεκτικά στην αλατότητα. Τα φυτά αυτά, αρδεύονται με το απορρέον διάλυμα μιας καλλιέργειας λιγότερο ανθεκτική στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Καθώς επαναχρησιμοποιείται στις διαδοχικές καλλιέργειες το θρεπτικό διάλυμα, αυξάνεται η περιεκτικότητά του σε άλατα και τελικά απορρίπτεται όταν η συγκέντρωση αυτών, αυξάνεται υπερβολικά. Με την επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος όμως, απορροφώνται οι μεγαλύτερες ποσότητες σε θρεπτικά, ιδίως εκείνες των νιτρικών και των φωσφορικών, καθιστώντας το έτσι ασφαλές για το περιβάλλον (Incorcci et.al., 2003).

Η ορθολογική άρδευση μαζί με τη βοήθεια της τεχνολογίας, καλούνται να διαδραματίσουν κυρίαρχο ρόλο, στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της γεωργίας, συμβάλλοντας στην παραγωγή προϊόντων με χαμηλό αποτύπωμα ενέργειας και νερού, με σκοπό την αειφορία, τη διάσωση των υδάτινων πόρων και τη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

1.1. Υδροπονία

Ως υδροπονία, ορίζεται η μέθοδος καλλιέργειας των φυτών, χωρίς τη μεσολάβηση του εδάφους ως μέσο ανάπτυξης των ριζών. Τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη και τη φυσιολογική λειτουργία του φυτού, απορροφώνται από τις ρίζες μέσω του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης. Τα λιπάσματα που περιέχουν τα απαραίτητα για την ανάπτυξη θρεπτικά συστατικά, παρέχονται στην καλλιέργεια στις κατάλληλες συγκεντρώσεις μέσω του νερού άρδευσης. Το διάλυμα που προκύπτει ονομάζεται θρεπτικό διάλυμα (Savvas et al., 2013). Η λέξη υδροπονία προέρχεται από τις δύο αρχαιοελληνικές λέξεις «ύδωρ» και «πόνημα» (που σημαίνει παραγωγή έργου). Στις καλλιέργειες που αναπτύσσονται στο έδαφος, ανά πάσα στιγμή οι ρίζες έχουν ή επάρκεια νερού ή επάρκεια οξυγόνου, με αποτέλεσμα το φυτό να βρίσκεται σε μια συνεχή κατάσταση στρες. Στις εκτός εδάφους καλλιέργειες, οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται είτε σε κάποιο υπόστρωμα (φυσικό ή τεχνητό), είτε ελεύθερες στο θρεπτικό διάλυμα που τις παρέχεται. Έτσι το φυτό βρίσκεται ταυτόχρονα σε επάρκεια νερού και οξυγόνου, με αποτέλεσμα να είναι σε θέση να πραγματοποιεί στη μέγιστη απόδοση όλες τις ζωτικές του λειτουργίες. Αν και η εν λόγω τεχνική καλλιέργειας έχει τις ρίζες της 3000 χρόνια πριν (Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας, πλεούμενοι κήποι των Αζτέκων) (Clark, 1982), ραγδαία εξελίσσεται τον τελευταίο αιώνα. Είναι μία τεχνική όπου βρίσκει εφαρμογή κυρίως υπό κάλυψη γι' αυτό και τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση του αριθμού των θερμοκηπίων παγκοσμίως.

Η καλλιέργεια εκτός εδάφους παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως ο ακριβής έλεγχος των θρεπτικών που παρέχονται, τη ρύθμιση του pH του διαλύματος, τη θερμοκρασία στο περιβάλλον της ρίζας κλπ., επιτρέποντας έτσι πιο ακριβή έλεγχο στην καλλιέργεια. Επιπλέον μειώνεται το κόστος των εργατικών αφού δεν απαιτούνται εργασίες όπως η ζιζανιοκτονία και η κατεργασία του εδάφους καθώς οι ρίζες αναπτύσσονται σε αποστειρωμένο μέσο ή απευθείας στο νερό (Olympios,

1999). Παράλληλα, δίνει τη δυνατότητα στους παραγωγούς να επιτύχουν υψηλές παραγωγές, να παράγουν υψηλής οικονομικής-διατροφικής αξίας και ομοιόμορφα μεταξύ τους προϊόντα, μείωση των επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον, καθώς και μικρότερο ενεργειακό κόστος (Maloupa, 1993).

Η υδροπονία, αποτελεί σημαντική εναλλακτική για καλλιέργεια, σε περίπτωση όπου υπάρχουν προβλήματα με το έδαφος ή το νερό, με τα πιο σημαντικά την έλλειψη νερού και την αυξημένη αλατότητα (Olympios, 1999). Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι όταν το νερό άρδευσης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα (EC άνω του 1-1.5 dS m⁻¹). Ακόμα, δύναται και η χρήση θαλασσινού νερού. Σύμφωνα με τον Yermiyahu (1997), μέσω της υδροπονίας, δύναται χρήση αφαλατωμένου θαλασσινού νερού, ή αναμειγμένο με γλυκό νερό. Το θαλασσινό νερό είναι η μεγαλύτερη σε αφθονία πηγή νερού στη γη, και η σύνθεσή του θεωρείται πως αντιπροσωπεύει ένα καλό σε ισορροπία ιοντικό περιβάλλον για τα φυτά (Boyko, 1966). Στην πραγματικότητα, εκτός από τη μεγάλη περιεκτικότητα σε χλώριο (περίπου 75% NaCl και 10% MgCl₂), το θαλασσινό νερό είναι πλούσιο σε θρεπτικά απαραίτητα για το φυτό.

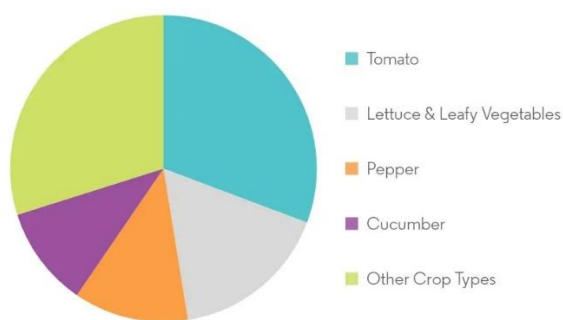
Προβλήματα όπως ασθένειες και έντομα του εδάφους αλατότητα εδάφους και νερού, λειψυδρία και μολυσμένο από χημικά νερό, είναι οι κύριοι λόγοι που αποτελούν τροχοπέδη στα εντατικοποιημένα συστήματα καλλιέργειας. Στις εκτός εδάφους καλλιέργειες τα προβλήματα αυτά μειώνονται σε σημαντικό βαθμό. Με τη μέθοδο της υδροπονίας, ελαχιστοποιείται η ανάπτυξη και η διάδοση εδαφογενών ασθενειών και επιβλαβών οργανισμών, με αποτέλεσμα σημαντική μείωση των χημικών επεμβάσεων για την απολύμανση και τον έλεγχο των ασθενειών και εχθρών που αναπτύσσονται στο έδαφος (Σάββας, 2011). Στις μεγάλης έκτασης μονοκαλλιέργειες όπου το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται, είναι απαραίτητη η απολύμανση του νερού άρδευσης με σκοπό την αποφυγή ανάπτυξης και διάδοσης ασθενειών. Υπάρχει πλειάδα εφαρμόσιμων μεθόδων χημικών και μη. Οι πιο κοινές είναι η απολύμανση με χλώριο, υπεροξειδίου του υδρογόνου (οξυζενέ), υπεριώδης ακτινοβολία, θέρμανση, αργή διήθηση σε άμμο καθώς και βιολογική καταπολέμηση με ωφέλιμους μικροοργανισμούς που εμβολιάζονται στη ρίζα π.χ. *Bacillus subtilis*, *Streptomyces*, *Trichoderma* κ.α.

Στις υπό κάλυψη καλλιέργειες, με τη μέθοδο της υδροπονίας μειώνεται σημαντικά το κόστος θέρμανσης. Στις εκτός εδάφους καλλιέργειες, το νερό που επηρεάζει τη σχετική υγρασία στο περιβάλλον του θερμοκηπίου, προέρχεται μόνο μέσω της διαπνοής των φυτών και όχι και της εξάτμισης όπως συμβαίνει στις

θερμοκηπιακές καλλιέργειες στο έδαφος. Το νερό με την εξάτμιση απορροφά θερμότητα και συνεπώς μειώνεται η θερμοκρασία στο περιβάλλον του θερμοκηπίου, γεγονός που συμβάλει αρνητικά στις ανάγκες θέρμανσης ιδίως τους χειμερινούς μήνες ενώ παράλληλα αυξάνεται και η σχετική υγρασία στο περιβάλλον του θερμοκηπίου συμβάλλοντας στην ανάπτυξη ασθενειών φυλλώματος. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα θέρμανσης του υποστρώματος ή του νερού της άρδευσης (Cooper, 1973). Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται το στρες που προκαλείται στο περιβάλλον των ριζών από τις χαμηλές θερμοκρασίες (Beyza Beyhan et al., 2013).

Η καλλιέργεια σε ελεγχόμενο περιβάλλον όπως αυτό του θερμοκηπίου, επιτρέπει την καλλιέργεια λαχανικών καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Τα περισσότερα λαχανικά μπορούν να καλλιεργηθούν εκτός εδάφους, αποτελώντας προσοδοφόρο μέθοδο. Τα κοινά λαχανικά που καλλιεργούνται εκτός εδάφους είναι η *Lycopersicon esculentum* (Τομάτα), το *Lactuca sativa* (Μαρούλι), η *Capsicum annuum* (Πιπεριά) (Hussain et al., 2014) το *Cucumis sativus* (Αγγούρι), η *Fragaria ananassa* (φράουλα), το *Phaseolus vulgaris* (Φασολάκι χλωρό) και το *Cucumis melo* (Πεπόνι). Τα προϊόντα που παράγονται σε ελεγχόμενο περιβάλλον και ιδιαίτερα αυτά τα οποία καλλιεργούνται εκτός εδάφους, υπερέχουν και ποιοτικά και ποσοτικά από αυτά που καλλιεργούνται στο έδαφος παρουσιάζοντας επιπλέον μια πολυτελή εικόνα..

Hydroponics Market - Revenue Share (%), by Crop Type, 2019



Source : Mordor Intelligence



Σχήμα 2. Παγκόσμια παραγωγή υδροπονικών λαχανικών κατά το έτος 2019 (Πηγή Mordor Intelligence).

Η θερμοκηπιακή παραγωγή αποτελεί μια αειφόρο μέθοδο παραγωγής, καθώς συνδυάζει την υψηλή παραγωγή, με την ελάχιστη χρήση εισροών με αποτέλεσμα

χαμηλή ενεργειακή και συνεπώς περιβαλλοντική επιβάρυνση (Sonneveld and Voogt, 2009). Σύμφωνα με τον Stanghellini et al., (2003) για την παραγωγή ενός κιλού τομάτας στην ύπαιθρο απαιτούνται 60L νερού, σε πλαστικό και σε γυάλινο θερμοκήπιο χωρίς θέρμανση 40 και 30L αντιστοίχως, σε θερμαινόμενο πλαστικό 27L, σε γυάλινο θερμοκήπιο με έλεγχο του κλίματος και ανθρακολίπανση 22L, ενώ σε περίπτωση που ανακυκλώνεται και το θρεπτικό διάλυμα, μόλις 15L νερού.

Όπως όλα τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί από την ανθρώπινη δραστηριότητα και τη χρήση της τεχνολογίας, έτσι και οι καλλιέργειες εκτός εδάφους παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα. Τα κυριότερα αποτελούν το αρχικό κόστος εγκατάστασης το οποίο είναι αρκετά υψηλότερο από τις συμβατικές καλλιέργειες, αν και εν συνεχεία λόγω της απαλλαγής καλλιεργητικών φροντίδων όπως είναι η κατεργασία και η απολύμανση του εδάφους και ταυτόχρονα η επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων παραγωγής, το κόστος αυτό αποσβένεται. Οι υδροπονικές καλλιέργειες δεν επιδέχονται λάθη και εσφαλμένους χειρισμούς. Ένας άστοχος χειρισμός προκαλεί δυσμενείς επιδράσεις ή ακόμα και ανεπανόρθωτες βλάβες στο φυτό. Επιπλέον, χρειάζεται εξειδικευμένο και καταρτισμένο προσωπικό για τον χειρισμό και έλεγχο των συστημάτων αυτών. Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, ενέχει ο κίνδυνος ανάπτυξης και εξάπλωσης ασθενειών σε όλο το αρδευτικό σύστημα (Σάββας, 2011). Τέλος, στα ανοιχτά συστήματα, υπάρχει μεγαλύτερη κατανάλωση νερού και λιπασμάτων σε σύγκριση με την καλλιέργεια στο έδαφος.

Συνοψίζοντας, η εκτός εδάφους καλλιέργεια, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνικές εξοικονόμησης νερού, παράγοντας παράλληλα προϊόντα υψηλής ποιότητας και διατροφικής αξίας. Ακόμα και σε περιοχές με κακή δομή εδάφους, λειψυδρία και προβληματικές για την καλλιέργεια συνθήκες όπως υψηλή αλατότητα νερού και ακραίες για την καλλιέργεια θερμοκρασίες με τη χρήση της υδροπονίας δύναται η δυνατότητα καλλιέργειας. Η μείωση ή η επαναχρησιμοποίηση των απορροών θα πρέπει να εφαρμόζονται πιο συχνά ώστε να αποτρέπεται η μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα και να συμβάλει στην εξοικονόμηση νερού. Στο εγγύς μέλλον πιθανότατα θα υπάρξει αύξηση των υδροπονικών συστημάτων, ειδικά κοντά σε πόλεις και μεγάλα αστικά κέντρα (Gruda, 2019).

1.2. Συστήματα και Μέθοδοι Υδροπονικών Συστημάτων

1.2.1. Ανοιχτά Συστήματα Υδροπονίας

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των καλλιεργειών εκτός εδάφους. Γενικά, τα συστήματα κατατάσσονται με βάση τον τρόπο διαχείρισης της περίσσειας του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος, σε ανοιχτά, κλειστά και ημίκλειστα υδροπονικά συστήματα. Η διάκριση αυτή βασίζεται στη μεταχείριση που υφίσταται το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει από το χώρο του ριζοστρώματος των φυτών, το οποίο είτε δεν επαναχρησιμοποιείται και απορρίπτεται στο περιβάλλον (ανοιχτό σύστημα) είτε συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται (κλειστά, ημίκλειστα συστήματα).

Όλα τα ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους είναι συστήματα καλλιέργειας σε υπόστρωμα. Αυτό συμβαίνει, διότι τα υποστρώματα έχουν την ικανότητα να συγκρατούν ταυτόχρονα θρεπτικά και νερό σε αναλογία ιδανική για την ανάπτυξη του ριζοστρώματος, ανεξαρτητοποιώντας έτσι την ανάγκη για συνεχόμενη παροχή θρεπτικού διαλύματος. Επομένως η άρδευση γίνεται με τακτά ποτίσματα μικρής διάρκειας. Στο ενδιάμεσο διάστημα τα φυτά τροφοδοτούνται από το συγκρατημένο στο υπόστρωμα διάλυμα (Savvas 2011). Σε ένα ανοιχτό σύστημα, το φρέσκο θρεπτικό διάλυμα σε κάθε δόση άρδευσης και κάτω από κανονικές συνθήκες, απορρέει το 15-30% της δόσης ή έως και 35%. Αυτό είναι απαραίτητο για την αποφυγή συσσώρευσης αλάτων (NaCl) αλλά και κάποιων θρεπτικών που δεν απορροφώνται εύκολα από τα φυτά και τείνουν να συσσωρεύονται με το χρόνο στο περιβάλλον της ρίζας (Ca, Mg) (Raviv et al., 1998), την αποφυγή ανισορροπίας θρεπτικών στο περιβάλλον της ρίζας καθώς και την ομοιόμορφη κατανομή του θρεπτικού διαλύματος στο ριζόστρωμα (Schröder and Lieth, 2002).

Το απορρέον θρεπτικό διάλυμα είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, των οποίων όμως οι αναλογίες δεν είναι ίδιες με το διάλυμα θρέψης. Αυτό συμβαίνει επειδή το κάθε στοιχείο απορροφάται από διαφορετικούς μηχανισμούς του φυτού προκύπτοντας διακυμάνσεις στην πρόσληψη του κάθε στοιχείου (Sonneveld, 2000). Επίσης οι υψηλότερες συγκεντρώσεις NaCl, οδηγούν σε μεγαλύτερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του διαλύματος απορροής από αυτή του διαλύματος τροφοδοσίας. Τα άλατα του νερού άρδευσης αποτελούν πρόβλημα ιδίως στις μεσογειακές χώρες όπου το νερό χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε

άλατα, τα οποία δεν είναι μόνο ιόντα Na^+ και Cl^- , αλλά περιλαμβάνει και ιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} and SO_4^{2-} (Sonneveld and Voogt, 2009).

Τα κύρια μειονεκτήματα αυτής της τεχνικής, είναι η σπατάλη νερού (ιδίως σε προβληματικές-ελλειμματικές σε νερό περιοχές) (Pardossi et al., 2011), καθώς και το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος της διαφυγής των λιπασμάτων στο περιβάλλον, αφού συμβάλουν στη μόλυνση του περιβάλλοντος με φωσφορικά και νιτρικά ιόντα (Savvas, 2002). Ως αντιστάθμιση των παραπάνω, έρχεται η διασφάλιση σταθερών συνθηκών θρέψης που εξασφαλίζεται με την παροχή γνωστής σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος καθώς και ευκολία εφαρμογής του συστήματος αυτού. Επιπλέον ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος ανάπτυξης και διάδοσης των παθογόνων αφού το θρεπτικό διάλυμα δεν ανακυκλώνεται (κλειστά συστήματα) και απορρέει στο περιβάλλον (Savvas, 2011). Ένας ακόμη λόγος που προτιμάται από τους παραγωγούς είναι η απλότητα στη χρήση, καθώς και το χαμηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης. Για αυτό το λόγο, η πλειοψηφία (~80 %) των εγκαταστάσεων της νότιας Ευρώπης και γενικότερα στην περιοχή της μεσογείου, δεν κάνουν ανακύκλωση των απορροών, πλην της Γαλλίας όπου τα τελευταία χρόνια ο αριθμός των κλειστών συστημάτων έχει αυξηθεί σημαντικά (Massa et al., 2020).

1.2.2. Κλειστά Συστήματα Υδροπονίας

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων, παύουν να υφίσταται στο κλειστό σύστημα υδροπονίας, αφού το θρεπτικό διάλυμα συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται. Στα κλειστά συστήματα υδροπονίας, το πλεονάζον διάλυμα της απορροής συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατανάλωση νερού και η έκπλυση θρεπτικών συστατικών (Pardossi et al., 2006; Sonneveld and Voogt, 2009). Η συλλογή και επαναχρησιμοποίηση του κλάσματος της απορροής, συμβάλει στη μείωση της μόλυνσης των υπογείων υδάτων με φωσφορικά και νιτρικά ιόντα (Thomson et al., 2007). Παράλληλα, το κόστος λίπανσης μειώνεται σημαντικά. Τα προαναφερθέντα οφέλη πραγματοποιούνται, χωρίς να έχουν δυσμενής επιπτώσεις στην καλλιέργεια, με την προϋπόθεση ότι πριν την επαναχρησιμοποίηση συμπληρώνονται οι κατάλληλες ποσότητες θρεπτικών που

αφαιρέθηκαν με την εφαρμογή της άρδευσης (Savvas and Gizas, 2002) καθώς και η απολύμανση του απορρέοντος διαλύματος.

Σύμφωνα με τους Van der Houwen and Ruijs (1993), με την υιοθέτηση του κλειστού συστήματος έναντι του ανοιχτού επιτυγχάνεται εξοικονόμηση 30% νερού και 42% λιπασμάτων. Σε αντίστοιχη μελέτη, οι Pardossi et al., (2011) συγκρίναν το ανοιχτό και το κλειστό σύστημα άρδευσης σε καλλιέργεια τομάτας. Τα αποτελέσματα που παρουσίασαν, δείχνουν εξοικονόμηση νερού της τάξεως του 20%, και 35% εξοικονόμηση σε άζωτο, 20% σε φώσφορο και 17% σε κάλιο, χωρίς παράλληλα να επηρεαστεί η παραγωγή και η ποιότητα ($^{\circ}$ Brix). Η αποδοτικότητα χρήσης νερού και λιπασμάτων μεγιστοποιείται στο κλειστό σύστημα, εν συγκρίσει με το ανοιχτό και της καλλιέργειας στο έδαφος. Χαρακτηριστικά, για την παραγωγή ενός τριαντάφυλλου στο κλειστό σύστημα απαιτούνται 2.4 L νερό και 0.8 g λιπάσματος, στο ανοιχτό σύστημα απαιτούνται 3.4 L και 1.3 g αντίστοιχα, ενώ για την παραγωγή μαρουλιού σε σύστημα NFT απαιτείται 62% λιγότερο νερό σε σχέση με την καλλιέργεια στο έδαφος (Martinez-Mate et al., 2018). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως τα ανοιχτά με τα κλειστά συστήματα μεταξύ τους δε διαφέρουν σημαντικά από άποψη αποδόσεων (Van Os et al., 1999).

Ωστόσο, η κύρια δυσκολία στην ανακύκλωση του νερού κυρίως στη νότια Ευρώπη, οφείλεται στην παρουσία αλάτων (Na^+ , Cl^-) που υπάρχουν στο νερό άρδευσης σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από εκείνες που μπορεί να απορροφήσει η καλλιέργεια, αυξάνοντας έτσι την ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος (Savvas, 2002, Van Os et al., 2008). Επιπλέον η ανάγκη για απολύμανση του θρεπτικού διαλύματος πριν την επαναχρησιμοποίηση με σκοπό την αποφυγή καθολικής μετάδοσης ασθενειών από σημειακές προσβολές (Runia, 1995; Van Os, 2001) παρουσιάζει δυσκολίες στην εφαρμογή. Τέλος, η δυσκολία συμπλήρωσης του διαλύματος απορροής με τις κατάλληλες ποσότητες θρεπτικών ώστε το φρέσκο διάλυμα να καλύπτει τις ανάγκες σε θρεπτικά (Savvas, 2011), σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα, αποτελούν τροχοπέδη στη μετάδοση και υιοθέτηση του κλειστού συστήματος (Magan et al., 2008). Κατά συνέπεια, για να μπορέσουν οι παραγωγοί των μεσογειακών χωρών να υιοθετήσουν συστήματα ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος, πρέπει να αναπτυχθούν τεχνολογίες που ελαχιστοποιούν τη συσσώρευση αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα.

1.2.2.1. Αρχή λειτουργίας κλειστού υδροπονικού συστήματος

Για να καταστεί δυνατή η εφαρμογή του κλειστού υδροπονικού συστήματος, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός δικτύου αγωγών και δεξαμενών ώστε να συλλέγουν και να ανακυκλώνουν το απορρέων διάλυμα δημιουργώντας έτσι ένα κλειστό σύστημα (Σάββας 2011). Τα κλειστά συστήματα καλλιέργειας συνήθως λειτουργούν ρυθμίζοντας τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος με συνεχείς μετρήσεις pH και EC και με χημική ανάλυση του διαλύματος επανακυκλοφορίας (Pardossi et al., 2006; Sonneveld and Voogt, 2009). Αυτές οι αναλύσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν στο εργαστήριο, πράγμα το οποίο είναι χρονοβόρο, ή με ακριβούς χημειοαισθητήρες (Gieling et al., 2005). Εναλλακτικά, μπορεί να πραγματοποιηθούν με μοντέλα πρόβλεψης, τα οποία συμβάλλουν στον βελτιωμένο έλεγχο θρέψης, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις μεταβολές στη σύνθεση του διαλύματος απορροής (Gallardo et al., 2009; Pardossi et al., 2006). Σύμφωνα με τους Marcelis et al., (2006) τα συστήματα διαχείρισης του νερού και των θρεπτικών, πρέπει να περιλαμβάνουν, σύστημα ελέγχου παροχής θρεπτικών ανεξάρτητα από την παροχή νερού, έλεγχο της παροχής μεμονωμένων των θρεπτικών και όχι μόνο της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων, παροχή νερού και θρεπτικών ανάλογα με τη ζήτηση των φυτών, τη χρήση ενός έγκαιρου, μη επεμβατικού συστήματος on line προειδοποίησης για τυχόν αποκλίσεις από τη βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών. Τα επίπεδα pH και EC πρέπει να ελέγχονται τακτικά ώστε να κυμαίνονται στα προκαθορισμένα επίπεδα.

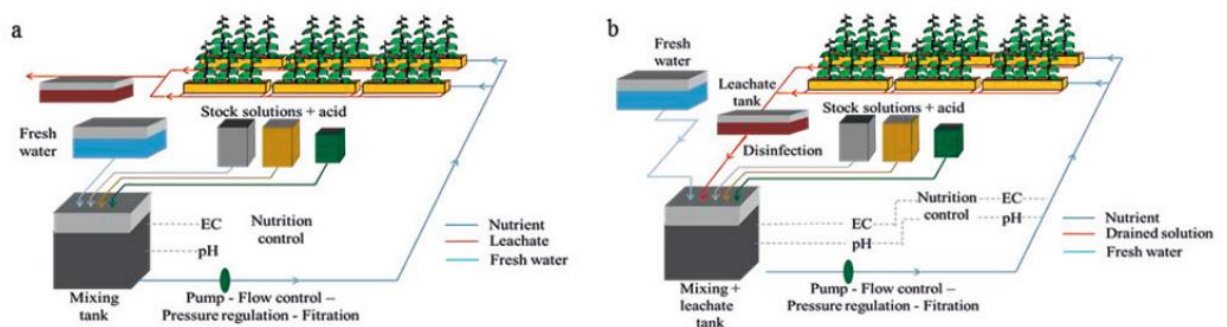
Τα τελευταία χρόνια, υπάρχουν προηγμένες κεφαλές υδρολίπανσης οι οποίες διαθέτουν προγράμματα DDS (Decision Support Systems) τα οποία λαμβάνουν, επεξεργάζονται και αξιοποιούν δεδομένα από διάφορους αισθητήρες όπως pH και EC, αλλά και από άλλους αισθητήρες όπως θερμοκρασία υγρασία ηλιακή ακτινοβολία κ.α. όπως και παραμέτρους της καλλιέργειας (πχ βλάστηση) (Katsoulas et al., 2016). Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε διάφορα μοντέλα (πχ μαθηματικά) και σε πραγματικό χρόνο διαχειρίζονται αυτόματα το διάλυμα. Ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (φυλλική επιφάνεια, καρποφορία κλπ), και το κλίμα σε μία δεδομένη περίοδο (θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία κ.λπ.), τα οποία επηρεάζουν την δυνητική εξατμισοδιαπνοή, επηρεάζεται και η απορρόφηση νερού και θρεπτικών από το κάθε φυτό (Sonneveld, 1995 κ.λπ.), με αποτέλεσμα ο όγκος της απορροής διαφέρει σε κάθε άρδευση. Για αυτό, όπως προαναφέρθηκε, τα σύγχρονα συστήματα επειδή δεν είναι δυνατό να προβλέψουν σε κάθε κύκλο άρδευσης την

απορρόφηση των θρεπτικών (Van. Os, 2008), βασίζονται στο pH και την EC για τη ρύθμιση της αναλογίας νερού και λιπασμάτων.

Το θρεπτικό διάλυμα παρασκευάζεται από την κεφαλή υδρολίπανσης (η οποία διαφέρει από αυτή που χρησιμοποιείται στα ανοιχτά συστήματα), και αφού προετοιμαστεί κατάλληλα, χορηγείται στην καλλιέργεια μέσω του συστήματος άρδευσης. Προϋπόθεση για να μπορεί να πραγματοποιηθεί ανακύκλωση απορροών, είναι η ύπαρξη ενός συστήματος συλλογής του απορρέοντος διαλύματος (Σάββας, 2011).

Η καλλιέργεια σε κλειστό κύκλωμα, εγκυμονεί την ανάπτυξη και διάδοση ασθενειών του ριζικού συστήματος, για αυτό το λόγο το διάλυμα της απορροής απολυμαίνεται. Η απολύμανση του διαλύματος, μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθόδους, η επιλογή της κατάλληλης εξαρτάται από την τιμή και την αποτελεσματικότητα που προσφέρει. Η πιο φιλική μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως στην Ολλανδία, είναι η θέρμανση του διαλύματος (Runia et al., 1988; Van Os et al., 1988), απολύμανση με όζον, με UV ακτινοβολία και αργή διήθηση σε άμμο. Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι όπως το φιλτράρισμα σε μεμβράνη, αλλά δεν έχουν ευρεία εφαρμογή λόγω αρκετών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν έναντι των άλλων. Επιπλέον, όταν συλλέγεται βρόχινο νερό με σκοπό την ύδρευση της καλλιέργειας καλό θα ήταν να υφίσταται απολύμανση. Σύμφωνα με τον Rattink (1991) έχει αποδειχθεί πως το βρόχινο νερό που συλλέγεται από την οροφή στις δεξαμενές, ενδέχεται να εμπεριέχει σπόρια από είδη του *Fusarium oxysporum spp.* ενώ σύμφωνα με τον Van Dorst (1988) το επιφανειακό νερό μπορεί να είναι μολυσμένο με CGMMV (cucumber green mottle mosaic virus).

Όπως προαναφέρθηκε, στα κλειστά συστήματα υδροπονίας, η αλατότητα του νερού αποτελεί πρόβλημα ιδίως στις μεσογειακές χώρες και στις παράκτιες περιοχές. Η μέγιστη επιτρεπόμενη αλατότητα διαφέρει ανάλογα την καλλιέργεια. Όταν η EC στην απορροή φτάσει σε σημείο όπου μειώνεται σημαντικά η απόδοση της καλλιέργειας απορρίπτεται. Με τη συμπλήρωση του απαραίτητου όγκου νερού για την παρασκευή του διαλύματος θρέψης, μειώνεται η EC και επιτρέπει την εφαρμογή επιπλέον λιπασμάτων. Παράλληλα, με την προσθήκη ισχυρού οξέος μειώνεται και το pH, καθώς στην απορροή είναι αυξημένο. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η πρόσληψη ανιόντων από το φυτό, υπερτερεί της πρόσληψης κατιόντων, με αποτέλεσμα η τιμή του pH της απορροής να είναι μεγαλύτερη από αυτή της τροφοδοσίας (Bar-Yosef 2008; Σάββας, 2012).



Εικόνα 1. Ανοιχτό (a) και κλειστό (b) υδροπονικό σύστημα. (Πηγή: Savvas et al., 2013)

1.2.3. Ημίκλειστο Υδροπονικό Σύστημα

Σε περιοχές όπου το νερό χαρακτηρίζεται από υψηλή αλατότητα, συγκεντρώνονται στη ριζόσφαιρα άλατα όπως (Na^+) και (Cl^-), τα οποία σε μεγάλες συγκεντρώσεις δεν μπορούν να προσλάβουν τα φυτά, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στο διάλυμα μεγάλες ποσότητες αλάτων. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της αλατότητας που έχει επίπτωση στην καλλιέργεια αλλά και στο περιβάλλον, υπάρχουν 2 κύριοι τρόποι αντιμετώπισης. Ο πρώτος είναι η αφαλάτωση του αρδευτικού νερού κακής ποιότητας μέσω της αντίστροφης ώσμωσης (ακριβή μέθοδος), και ο δεύτερος τρόπος είναι η εφαρμογή του ημίκλειστου συστήματος το οποίο μειώνει σημαντικά το απόβλητο νερό άρδευσης (Carmassi et al., 2005; Massa et al., 2010). Στο ημίκλειστο σύστημα, το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται έως ότου φτάσει η EC ή η συγκέντρωση δυνητικά τοξικών ιόντων στο μέγιστο επιτρεπτό για την καλλιέργεια επίπεδο. Στη συνέχεια αντικαθίσταται εξ ολοκλήρου ή ένα μέρος αυτού.

Η υιοθέτηση των ημίκλειστων συστημάτων όπου κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας το θρεπτικό διάλυμα αποφορτίζεται, είναι μία επιτυχημένη εναλλακτική για τη διαχείριση της αλατότητας (Massa et al., 2010). Μία τέτοια μέθοδος επίσης, είναι η ανάμειξη με νερό ή με θρεπτικό διάλυμα (Grattan et al., 2012), με στόχο την επαναχρησιμοποίηση σε καλλιέργειες που είναι πιο ανθεκτικές στην αλατότητα, μειώνοντας τον όγκο απορροής (García-Cararrós et al., 2018). Η ανάμειξη βασίζεται σε 2 πηγές νερού για την άρδευση αυξάνοντας ταυτόχρονα τη συνολική παροχή νερού (Grattan and Oster, 2003). Αυτή η τεχνική, μπορεί να εφαρμοστεί σε καλλιέργειες υψηλών απαιτήσεων σε εισροές (τομάτα, αγγούρι), όπου το διάλυμα

απορροής αντί να απορριφθεί στο περιβάλλον μετά τη χρήση, συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται σε δευτερεύουσα καλλιέργεια με χαμηλότερες απαιτήσεις σε εισροές (π.χ. φυλλώδη λαχανικά). Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά οικονομική και μπορεί εύκολα να υιοθετηθεί από τους καλλιεργητές στην περιοχή της μεσογείου (Pardossi et al., 2006), όπου οι περιορισμένοι υδάτινοι πόροι αποτελούν πρόβλημα στη βιώσιμη ανάπτυξη των θερμοκηπιακών καλλιεργειών (Katsoulas et al., 2015)

1.2.4. Μέσα Ανάπτυξης των Ριζών-Υποστρώματα

Με βάση το μέσο ανάπτυξης των ριζών, μπορούμε να διακρίνουμε 2 μεθόδους. Την υδροπονία σε θρεπτικό διάλυμα και την υδροπονία σε στερεό υπόστρωμα. Η υδροπονία σε θρεπτικό διάλυμα, περιλαμβάνει μεθόδους όπως το NFT (Nutrient Film Technique) την καλλιέργεια σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (Deep Flow Technique), καθώς και η αεροπονία η οποία αποτελεί μία παραλλαγή της υδροπονίας. Ως υπόστρωμα, θεωρείται κάθε φυσικό (εκτός από το χώμα) ή τεχνητό προερχόμενο από επεξεργασία πορώδες υλικό, το οποίο είναι σε θέση να συγκρατεί νερό και αέρα σε κατάλληλες αναλογίες για την ανάπτυξη των φυτών, έτσι ώστε να μπορεί να αντικαθιστά το έδαφος ως μέσο ανάπτυξης του ριζικού συστήματος (Savvas, 1998). Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται, είναι αποστειρωμένα, γεγονός που τα απαλλάσσει από παθογόνα λ.χ. μύκητες βακτήρια και ιούς, καθώς και από ζωικούς εχθρούς και σπόρους ζιζανίων. Τα περισσότερα υποστρώματα είναι χημικά αδρανή, δηλαδή δεν προσδίδουν χημικά στοιχεία στην καλλιέργεια και δεν διαθέτουν ιοντοανταλλακτική ικανότητα. Το μεγαλύτερο ποσοστό υποστρωμάτων στον κόσμο που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία είναι ανόργανα υποστρώματα όπως ο πετροβάμβακας, η άμμος ο περλίτης, ο βερμικουλίτης, διογκωμένη άργιλος, ελαφρόπετρα και άλλα (Böhme et al., 2008), ενώ μόνο το 12% είναι οργανικά υλικά, όπως τύρφη, πριονίδι, κοκκοφοίνικας κ.α. Το πιο ευρέως διαδεδομένο υπόστρωμα για την παραγωγή λαχανοκομικών φυτών είναι ο πετροβάμβακας (Islam, 2008).

1.2.5. Καλλιέργεια σε Πετροβάμβακα

Ο πετροβάμβακας είναι ένα χημικά αδρανές ινώδες υπόστρωμα, που παράγεται με τη θερμική επεξεργασία ενός μείγματος αποτελούμενο κατά 60% από διαβάση (ένα ηφαιστειογενές πέτρωμα), 20% από ασβεστόλιθο και 20% από άνθρακα (Verver, 1976). Το μείγμα αυτό για να πάρει την τελική μορφή, θερμαίνεται στους 1600 °C

(Sonneveld, 1989), επομένως είναι φυσικά αποστειρωμένο σαν υλικό. Το ολικό πορώδες του πετροβάμβακα κυμαίνεται στο 96% (De Rijck, 1998), ενώ το ενεργό πορώδες ανέρχεται περίπου στο 92% (Fonteno and Nelson, 1990). Ο πετροβάμβακας είναι χημικά αδρανής σαν υπόστρωμα, καθιστώντας δυνατή την ακριβή παροχή θρεπτικών και τον έλεγχο του περιβάλλοντος της ριζόσφαιρας. Αντιδρά ελαφρώς αλκαλικά (pH=7,5) και έχει χαμηλή αγωγιμότητα (50–100 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Το πιο κοινό πάχος συναντάται στα 7,5 cm, και εξασφαλίζει ισορροπία επαρκούς νερού και οξυγόνου (Willumsen, 1972). Ο πετροβάμβακας προτιμάται σαν υλικό διότι είναι χημικά και βιολογικά αδρανής, απαλλαγμένο από πιθανές ασθένειες και σπόρους ζιζανίων. Οι πλάκες πετροβάμβακα μπορούν να αρδεύονται συχνά, αφού αποστραγγίζουν ελεύθερα με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ιδανική αναλογία μεταξύ οξυγόνου και νερού καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Mc Kennie, 2004). Περιοριστικός παράγοντας στη χρήση του πετροβάμβακα αποτελεί η υψηλή τιμή του στις χώρες όπου απέχουν από το σημείο παραγωγής, καθώς είναι αυξημένο το κόστος μεταφοράς.

1.3. Διαχείριση του θρεπτικού διαλύματος απορροής

Η συνολική συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο διάλυμα απορροής, προσδιορίζεται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του θρεπτικού διαλύματος απορροής, χωρίς όμως να γνωρίζουμε το είδος των αλάτων που περιέχονται στο διάλυμα. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του βαθμού επάρκειας θρεπτικών στοιχείων σε αυτό, καθώς και του κινδύνου έκθεσης της καλλιέργειας σε αλατούχο καταπόνηση. Η EC είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των μακροστοιχείων, ενώ δεν μας παρέχει καμία πληροφορία για τη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων, λόγω της πολύ μικρής τους συγκέντρωσης σε σχέση με τα κύρια στοιχεία. Πολύ μικρή EC με βάση την εκάστοτε καλλιέργεια υποδηλώνει ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων, ενώ μεγαλύτερη EC από τα επιτρεπτά όρια υποδηλώνει ότι τα φυτά υφίστανται καταπόνηση. Για τα περισσότερα κηπευτικά η τιμή όπου κυμαίνεται η EC στο περιβάλλον του ριζοστρώματος, είναι ενδιάμεσα από 2,5 με 3,5 dS m^{-2} . Ωστόσο, υψηλή τιμή EC μπορεί να οφείλεται σε υψηλή συγκέντρωση ιόντων (Na^+) και (Cl^-).

Εφάμιλλο ρόλο στο θρεπτικό διάλυμα, διαδραματίζει το pH. Το pH εκφράζει το βαθμό συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου (H^+) και η τιμές του έχουν καθοριστικό ρόλο για την διαλυτότητα και συνεπώς τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στην

καλλιέργεια. Η κατάλληλη περιεκτικότητα του διαλύματος σε ιόντα υδρογόνου (pH), εξασφαλίζει τη μέγιστη ανάπτυξη και λειτουργία της ρίζας. Το pH στο ριζόστρωμα επηρεάζει άμεσα τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στα φυτά (Nelson, 1991). Τα περισσότερα φυτά που καλλιεργούνται υδροπονικά το επιθυμητό εύρος pH είναι 5,5-6,5. Σε αυτές τις τιμές έχουμε τη μέγιστη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Όταν το pH είναι μικρότερο του 5 ή μεγαλύτερο του 7, τα φυτά αντιδρούν με μείωση της ανάπτυξής τους (Islam et al., 1980). Χαμηλές τιμές pH, σε όξινο περιβάλλον, μπορούν να αποβούν μοιραίες για την ανάπτυξη των φυτών, αφού καταστρέφονται τα κυτταρικά τοιχώματα. Όπως προαναφέρθηκε, η τιμή του pH της απορροής είναι υψηλότερη αυτής της τροφοδοσίας. Η διαφορά των 2 αυτών τιμών, φανερώνει τη δραστηριότητα της ριζόσφαιρας. Καθώς το φυτό απορροφά περισσότερα ανιόντα, το κλάσμα $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ είναι μεγαλύτερο στην απορροή, επομένως και το pH. Το άζωτο είναι το μοναδικό στοιχείο που απορροφάται και ως ανιόν και ως κατιόν. Αυξάνοντας το αμμωνιακό άζωτο αυξάνουμε γενικά την πρόσληψη ανιόντων από το ριζόστρωμα με αποτέλεσμα τη διατήρηση του pH σε χαμηλά επίπεδα. Η αύξηση της παροχής του αμμωνιακού αζώτου μειώνει το pH στο ριζόστρωμα όχι μόνο λόγω της αναλογίας $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$, αλλά και λόγω της νιτροποίησης του αμμωνιακού αζώτου (Haynes and Swift, 1987; Tyson et al., 2007). Ο συνεχής έλεγχος του pH είναι βασικό στοιχείο στη διατήρηση αυτής της αναλογίας, καθώς και της διατήρησης του pH του ανακυκλωμένου διαλύματος στις προκαθορισμένες τιμές.

Μία άλλη στρατηγική για τον περιορισμό νερού και θρεπτικών, έγκειται στη σωστή επιλογή του μέσου ανάπτυξης της καλλιέργειας, καθώς και την επιλογή της κατάλληλης ποικιλίας ή υποκειμένου, ως συνάρτηση της αντοχής (ή ανοχής) στο αβιοτικό στρες που προκαλείται από την αλατότητα, την παρουσία τοξικών ιόντων καθώς και άλλες ουσίες οι οποίες απαιτούν υψηλό κλάσμα απορροής για την απομάκρυνσή τους από το περιβάλλον της ριζόσφαιρας (Massa et al., 2020). Σύμφωνα με τους Berret et al (2016) έχει αποδειχθεί ότι η προσθήκη ορισμένων ανόργανων ή οργανικών υλικών στο υπόστρωμα όπως το κομπόστ το biochar και ο ζεόλιθος μπορούν να μειώσουν τις αρνητικές επιδράσεις της αλατότητας του νερού που χρησιμοποιείται για λαχανικά που καλλιεργούνται σε υπόστρωμα. Μία άλλη στρατηγική ώστε να μειωθεί η απόρριψη του νερού και των χημικών στο περιβάλλον είναι η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος απορροής σε ένα σύστημα διαδοχικών μεταξύ τους καλλιεργειών όπου το απορρέων διάλυμα της 1^{ης} καλλιέργειας υψηλών εισροών, συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται σε 2^η καλλιέργεια περισσότερο

ανθεκτική στην αλατότητα (García-Caparrós et al., 2018; Katsoulas et al., 2020). Αυτή η διαδοχική επαναχρησιμοποίηση του νερού της απορροής μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στην παραγωγή προϊόντων, ειδικά σε ξηρές περιοχές.

Οι καλλιεργητικές πρακτικές που θα εφαρμόσουμε είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την ποιότητα του νερού που θα αρδεύσουμε την καλλιέργεια. Σύμφωνα με τους Stanghellini et al. (2005), όταν το νερό άρδευσης είναι κακής ποιότητας, δεν είναι οικονομικά βιώσιμο το κλειστό σύστημα καλλιέργειας. Σε μέρη όπου το νερό χαρακτηρίζεται από υψηλή αλατότητα το κλάσμα της απορροής σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει το 60%.

1.4. Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού (Water Use Efficiency)

Ως αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE), αναφέρεται η αναλογία νερού που χρησιμοποιείται στις μεταβολικές διεργασίες των φυτών, προς το νερό που καταναλώθηκε μέσω της διαπνοής (Briggs, and Shantz, 1913). Σύμφωνα με τον Stanhill (1986), ο πρώτος επιστημονικός όρος για την αύξηση και την απόδοση των φυτών σε σχέση με τη χρήση νερού, δόθηκε από τον Woodward στο *Philosophical Transactions of the Royal Society* και περιγράφει την ανάπτυξη της μέντας ως συνάρτηση της κατανάλωσης νερού. Υπάρχουν τέσσερις παράγοντες τις κλιματικής αλλαγής όπου θα επηρεάσουν την χρήση νερού των φυτών. Αυτοί είναι η αύξηση των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα, η αύξηση της θερμοκρασίας, η μεταβολή των βροχοπτώσεων και οι διακυμάνσεις στην υγρασία (Hatfield and Dord, 2019).

Η αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης του νερού (WUE) αποτελεί ένα αξιόπιστο δείκτη παραγωγικότητας και προσαρμογής των φυτών σε συνθήκες θερμοκηπίου. Σε επίπεδο φύλλων εκφράζεται από τη σχέση του λόγου φωτοσύνθεσης προς διαπνοή (στιγμαία WUE) και από τη σχέση του λόγου φωτοσύνθεσης προς στοματική αγωγιμότητα (φυσική WUE) (Bacon, 2004). Στις καλλιέργειες υπό κάλυψη όπου αναπτύσσονται στο έδαφος, οι αποδώσεις δύναται να είναι αρκετά υψηλές, όμως λόγω της απορροής και της διήθησης μεγάλου όγκου νερού άρδευσης και λιπασμάτων, η αποδοτικότητα χρήσης νερού είναι αρκετά χαμηλή. Σύμφωνα με τους Rouphael et al., (2016), η καλλιέργεια σε θερμοκήπιο, αποτελεί την πιο δαπανηρή σε εισροές μέθοδο, αναλογικά με την καλλιεργούμενη επιφάνεια. Με την κατάλληλη διαχείριση της υπό κάλυψη καλλιέργειας στο έδαφος και εφόσον επικρατούν οι

κατάλληλες συνθήκες, δύναται να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις, παρόμοιες με αυτές της υδροπονίας. Σε αυτήν την περίπτωση όμως δαπανάται κατά 50-100% περισσότερο νερό απ' ό τι θα χρησιμοποιούταν σε μια αντίστοιχη καλλιέργεια με τη μέθοδο της υδροπονίας ως αποτέλεσμα των απωλειών από το υπερβολικό πότισμα και ταυτόχρονα της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους (Putra and Yuliando, 2015). Όπως προαναφέρθηκε, στα ανοιχτά συστήματα, το θρεπτικό διάλυμα δεν επαναχρησιμοποιείται και απορρίπτεται στο περιβάλλον. Με την υιοθέτηση κλειστών και ημικλειστών συστημάτων προάγεται η αειφορεία και η μέγιστη αποδοτικότητα της χρήσης του νερού (Massa et al., 2008).

Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, οι απώλειες νερού πραγματοποιούνται κυρίως μέσω της διαπνοής των φυτών καθώς το 90% της χορηγούμενης άρδευσης χρησιμοποιείται από τη διαπνοή (Stanghellini, 2014). Τα φυτά διαπνέοντας, αυξάνουν τη σχετική υγρασία στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Παράλληλα με την αύξηση της σχετικής υγρασίας, αυξάνεται περαιτέρω η διαπνοή των φυτών (Singh et al., 1982). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μείωση στην αποτελεσματικότητα χρήσης νερού

Κάθε μορφής έκθεση των φυτών σε μη ιδανικές για τη μέγιστη απόδοση συνθήκες, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγικότητας, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες. Η έκθεση της καλλιέργειας σε συνθήκες στρες, έχει ως αποτέλεσμα το κλείσιμο των στομάτων. Παύει με αυτό τον τρόπο να διαπνέει το φυτό, γεγονός που έχει ως αντίκτυπο την αύξηση της θερμοκρασίας του φυλλώματος (Katsoulas et al., 2009). Σε προχωρημένο στάδιο, παρατηρείται συστροφή ή και μάρανση πρώτα των ακραίων φύλλων της κόμης του φυτού και σε ακραίες συνθήκες μάρανση ολόκληρου του φυτού. Επιπλέον σε καλλιέργειες σωλανοδών (τομάτα, πιπεριά), έχει ως αποτέλεσμα τα φυτά να παρουσιάζουν ξηρή σήψη κορυφής καθώς η κυκλοφορία του ασβεστίου στο φυτό, συνδέεται άμεσα με τη διαπνοή και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος (Martinez et al., 2001).

Στα υψηλής τεχνολογίας θερμοκήπια, υπάρχει η δυνατότητα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης αυτών των υδρατμών. Σε πειράματα τους οι Katsoulas et al., (2015), μελέτησαν την αποδοτικότητα χρήσης του νερού σε ένα ημικλειστό σύστημα, όπου τοποθετήθηκε εξοπλισμός ψύξης με σκοπό την μείωση των αναγκών αερισμού και καλύτερο έλεγχο θερμοκρασίας και υγρασίας του περιβάλλοντος. Παρατηρήθηκε αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας λόγω του βελτιωμένου μικροκλίματος, μειώθηκε το χρησιμοποιούμενο νερό λόγω της συλλογής και επαναχρησιμοποίησης

των υδρατμών και σε μικρότερο βαθμό μειώθηκε η διαπνοή. Ο συνδυασμός των παραπάνω είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η αποδοτικότητα χρήσης του νερού. Έτσι ο δείκτης WUE συνδέεται στενά με το σύστημα ψύξης του θερμοκηπίου.

Η προσθήκη αισθητήρων και αυτοματισμών στο σύστημα άρδευσης, δύναται να αυξήσει την αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού (Rodriguez et al., 2015). Οι Balendock et al., (2010) σε πειράματά τους πραγματοποίησαν ένα πρόγραμμα άρδευσης σε καλλιέργεια μαρουλιού, βασισμένο σε αισθητήρες. Το σύστημα βασιζότανε στην στον έλεγχο της άρδευσης, με σκοπό να διατηρείται σταθερή η υγρασία του εδάφους. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η χρήση του νερού δύναται να μειωθεί κατά 40% και οι απώλειες αζώτου κατά 60%, χωρίς παράλληλα να μειωθεί η παραγωγή και η ποιότητα.

Με την υιοθέτηση της κατάλληλης τεχνολογίας και συστημάτων, υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της αποδοτικότητας χρήσης του νερού, ειδικά στις καλλιέργειες κηπευτικών. Η μετατροπή σε κλειστό ή ημίκλειστο σύστημα, καθώς και η ανάπτυξη συστημάτων πολυκαλλιέργειας, συμβάλει στην αειφορία και στην αντιμετώπιση του υδατικού προβλήματος παγκοσμίως.

1.5. Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη και στις λειτουργίες των φυτών

Με τον όρο αλατότητα, αναφερόμαστε στην υψηλή συγκέντρωση διαλυτών αλάτων (ανόργανα ιόντα), στην περιοχή της ριζόσφαιρας που αναπτύσσεται είτε στο έδαφος, ή στο θρεπτικό διάλυμα (εκτός εδάφους καλλιέργεια). Στα θερμοκήπια, τα αίτια που προκαλούν αυξημένη αλατότητα είναι η χρήση λιπασμάτων και η χρήση αλατούχου νερού άρδευσης (Sonneveld, 1988). Τα συνηθέστερα ιόντα που συσσωρεύονται στο περιβάλλον της ρίζας είναι το Na^+ και το Cl^- , ενώ στην περιοχή της μεσογείου συναντώνται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο νερό άρδευσης και ιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , and SO_4^{2-} (Sonneveld and Voogt, 2009). Τα γλυκόφυτα, όπως π.χ. η τομάτα και το αγγούρι, ανέχονται σχετικά χαμηλές τιμές αλατότητας που κυμαίνονται από 50 έως 250 mM NaCl, ενώ τα αλόφυτα προσαρμόζονται σε συνθήκες υψηλής αλατότητας στο έδαφος, περίπου 500-1000 mM NaCl (Vicente et al 2004). Τέτοια φυτά είναι π.χ. το κρίταμο (*crithmum maritimum*).

Η αλατότητα αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές του πλανήτη

(Khan and Panda, 2008). Χαρακτηριστικά, 800 εκατομμύρια εκτάρια ανά τον κόσμο έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην παραγωγή από τις υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων (Munns, 2005). Οι ετήσιες απώλειες λόγω της αλατότητας στη γεωργική παραγωγή παγκοσμίως, υπερβαίνουν τα 12 δις δολάρια ΗΠΑ και κάθε χρόνο αυξάνονται (Flowers et al., 2010, Shabala, 2013). Υπολογίζεται πως το 50% των εκτάσεων παγκοσμίως, έχει επηρεασθεί από την υψηλή αλατότητα (Zhu, 2001; Munns 202). Σε περιοχές όπως η λεκάνη της Μεσογείου όπου υπάρχει λειψυδρία και η παροχή νερού έχει υποβαθμιστεί, η παρουσία αλάτων επιδεινώνει το πρόβλημα (Chartzoulakis et al., 2001; Attard et al., 1996) όπως επίσης τα θερμά και ξηρά καλοκαίρια έχουν συμβάλουν στην αύξηση της εξατμισοδιαπνοής (που υπερβαίνει της βροχόπτωσης) με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων στο επιφανειακό στρώμα εδάφους (Abrol et al., 1998). Η άρδευση με νερό χαμηλής ποιότητας καθώς και οι λανθασμένες πρακτικές διαχείρισης αυτού, είναι οι κυριότερες αιτίες της αλάτωσης των εδαφών στην λεκάνη της Μεσογείου (Paranychianakis and Chartzoulakis, 2015).

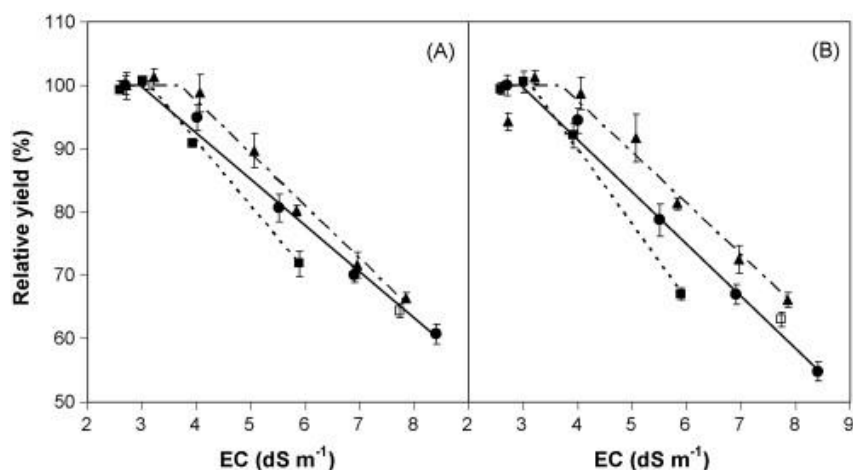
Η συσσώρευση αλάτων στη ριζόσφαιρα, επηρεάζει άμεσα την απόδοση των φυτών, μέσω της διαταραχή της ομοιόστασης, λόγω του ότι αναπτύσσονται ελλείπει διαθεσιμότητας νερού (Zhu, 2001). Το στρες που προκαλείται, διαταράσσει την ορμονική κατάσταση και τις βασικές μεταβολικές διεργασίες (Munns, 2002), με αποτέλεσμα την αναστολή της ανάπτυξης και τη μείωση της απόδοσης (Maas, 1993; Paranychianakis et al., 2004).

Τα πιο πολλά λαχανικά είναι ευαίσθητα ή μέτριας ευαισθησίας στην αλατότητα, με την παραγωγή να μειώνεται όταν υπάρχουν μέτρια επίπεδα αλατότητας στη ριζόσφαιρα (Maas and Hoffman, 1977). Η πρώτη αντίδραση των φυτών στην αλατότητα, παρουσιάζεται με μείωση του ρυθμού ανάπτυξης. Η μείωση αυτή, οφείλεται αρχικά στη μείωση του υδατικού δυναμικού, και μετέπειτα στη συγκέντρωση τοξικών ιόντων στο περιβάλλον της ρίζας (Zhu, 2001; Munns, 2002). Οι επιπτώσεις της αλατότητας είναι συνάρτηση του χρόνου έκθεσης σε αυτή, η συγκέντρωση των αλάτων, το είδος και το στάδιο ανάπτυξης του κάθε φυτού (Sultana et al., 1999). Η αλατότητα προκαλεί μείωση της φυλλικής επιφάνειας και των φύλλων (Greenway and Munns 1980; Taiz and Zeiger 2002; Giouffrida et al., 2008). Η νέκρωση των φύλλων θεωρείται πως είναι αντίδραση του φυτού, με σκοπό να μειωθεί η φυλλική του επιφάνεια με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται η διαπνοή και να μειώνεται η απώλεια νερού (Ruiz-Sanchez et al., 2000; Chaves et al., 2009). Σε πείραμα των Agastian et al (2000) που πραγματοποίησαν σε μούρα, αυξάνοντας την

αλατότητα, μειώθηκε η τιμή των χλωροφυλλών καθώς και των ολικών καροτενοειδών. Με τη συσσώρευση αλάτων στο περιβάλλον της ρίζας, τα φυτά μειώνουν τη φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα και μειώνεται ταυτόχρονα η διαπνοή, ως αποτέλεσμα του κλεισίματος των στοματίων (Yeo et al., 1985; Pasternak, 1987). Η μειωμένη φωτοσύνθεση στην υψηλή αλατότητα αποδίδεται είτε στο κλείσιμο των στομάτων που οδηγεί σε μείωση την ενδοκυτταρικής μερικής πίεσης του διοξειδίου του άνθρακα, είτε σε μη στοματικούς παράγοντες (Bethke and Drew, 1992). Η υψηλή αλατότητα αλλάζει τις φωτοσυνθετικές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένου του οσμωτικού και υδατικού δυναμικού των φύλλων, του ρυθμού διαπνοής, και της θερμοκρασίας των φύλλων. Επηρεάζει επίσης, συστατικά που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση όπως ένζυμα, τις χλωροφύλλες και τα καροτενοειδή. Ο βαθμός που επηρεάζονται οι παραπάνω λειτουργίες εξαρτώνται από το μέγεθος, τη διάρκεια του στρες και το είδος του φυτού (Lakshmi et al., 1996; Misra et al., 1997). Σε τοξικά για την καλλιέργεια επίπεδα αλατότητας, μειώνεται σημαντικά το βάρος και οι εμπορεύσιμοι καρποί. Πιο συγκεκριμένα, στα σολανώδη (τομάτα, πιπεριά) σε EC άνω των 4 dS m^{-1} , η ξηρή σήψη κορυφής (BER) θεωρείται ως αποτέλεσμα της ανεπάρκειας ασβεστίου που προκαλείται από το στρες της καλλιέργειας (κλείσιμο των στομάτων) (Marcelis and Ho, 1999).

Επιπροσθέτως, στα ευαίσθητα και μέτριας ευαισθησίας φυτά, η αυξημένη αλατότητα προκαλεί μείωση της συνολικής παραγωγής. Σε πειράματα των Karaki et al (2009) που πραγματοποίησαν σε γλυκές πιπεριές, παρατηρήθηκε πως με την αύξηση της EC του θρεπτικού διαλύματος μειώθηκε σημαντικά το βάρος των καρπών και ο συνολικός αριθμός των εμπορεύσιμων καρπών. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και σε πειράματα των Lozano et al (2012), όπου η άρδευση καλλιέργειας τομάτας με προσθήκη NaCl στο θρεπτικό διάλυμα (EC 4,15), σε μέτριας ευαισθησίας στην αλατότητα ποικιλίες, η παραγωγή μειώθηκε στο ήμισυ σε σχέση με τον μάρτυρα. Οι Hoffman και Maas (1977) παρουσίασαν ένα μοντέλο όπου συσχετίζονται τα αποτελέσματα της αλατότητας τόσο στη συνολική, όσο και στην εμπορεύσιμη παραγωγή (Σχήμα 1). Σε αντίστοιχα πειράματα των Magan et al (2008), η άρδευση με αυξημένη αλατότητα, επηρέασε σημαντικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων καρπών. Οι βαθμοί Brix και τα αρώματα αυξήθηκαν σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα, χωρίς ταυτόχρονα να διαφέρουν η οξύτητα και το pH του χυμού. Αρκετοί ερευνητές πιστεύουν πως η τομάτες που καλλιεργούνται κάτω από συνθήκες αλατότητας, έχουν αυξημένα επίπεδα φρουκτόζης, γλυκόζης, διαλυτών

στερεών συστατικών, αμινοξέων και οργανικών οξέων (Sato et al., 2006). Σε αντίστοιχα πειράματα που πραγματοποίησαν οι Navarro et al., (1999) σε καλλιέργεια πεπονιού, απέδειξαν πως η αλατότητα του νερού άρδευσης αυξάνει το ποσοστό της ξηράς ουσίας, τα συνολικά διαλυτά στερεά συστατικά και τα σάκχαρα, με αποτέλεσμα να έχουν πολύ πιο καλή γεύση από αυτά που αναπτύσσονται υπό ιδανικές συνθήκες.



Σχήμα 2: Μεταβολή της συνολικής παραγωγής (A) και των εμπορεύσιμων καρπών (B) σε συνάρτηση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).

1.6. Διαχείριση της αλατότητας

Η υψηλή αλατότητα όπως προαναφέρθηκε αποτελεί ένα από τα κυριότερα προβλήματα ιδιαίτερα στη λεκάνη της μεσογείου. Στη βιομηχανία των εκτός εδάφους καλλιεργειών, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ώστε να αντιμετωπίζεται η αλατότητα στο νερού άρδευσης, καθώς και αυτή που συσσωρεύεται στο υπόστρωμα. Παρακάτω συνοψίζονται οι πιο ευρέως διαδεδομένοι τρόποι που εφαρμόζονται ώστε να καταστούν βιώσιμες οι καλλιέργειες όπου αναπτύσσονται υπό συνθήκες αλατότητας και περιορισμένης άρδευσης.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος όπου δεν απαιτεί εξειδικευμένη γνώση και είναι αρκετά εύκολη στο χειρισμό, είναι η αύξηση του ποσότητας του νερού της άρδευσης όταν η EC της απορροής και του ριζοστρώματος ξεπεράσουν τα επιθυμητά όρια. Πραγματοποιείται έτσι έκπλυση των αλάτων που είχαν συσσωρευτεί στο ριζόστρωμα (Sonneveld and Voogt, 2009). Όταν το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται, ενώ είναι αναπόφευκτη η χρήση νερού υψηλής αγωγιμότητας, τότε χρησιμοποιείται έως ότου η EC αγγίζει μη επιθυμητές τιμές, και στη συνέχεια απορρίπτεται (ημίκλειστο σύστημα) (Stanghellini et al., 2005; Carmassi et al., 2005; Massa et al., 2010).

Ωστόσο για την αποτελεσματική εφαρμογή ενός ημίκλειστου συστήματος, απαιτείται εξειδικευμένη γνώση και τεχνολογία, ειδικά για την περιοχή της Μεσογείου όπου το νερό άρδευσης εκτός από υψηλή περιεκτικότητα σε NaCl, είναι πλούσιο και σε γύψο και σε διττανθρακικά, όπως επίσης επικρατούν και ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες (Pardossi et al., 2006). Η ορθή αυτοματοποιημένη διαχείριση του ανακυκλούμενου διαλύματος χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες τεχνικές και μοντέλα, μπορεί να ελαχιστοποιήσει την ανάγκη αποφόρτισης του διαλύματος απορροής (Massa et al., 2011). Αν μετά από μία σειρά ανακυκλώσεων η EC και το pH αυξηθούν σε τέτοιο βαθμό όπου δεν μπορούν να δεχθούν καμία τροποποίηση με την προσθήκη νερού και θρεπτικών, τότε κρίνεται αναγκαία η ολική αντικατάστασή του (Lykas et al., 2006).

Η διαφυλλική εφαρμογή λιπασμάτων, έχει ευεργετικές επιδράσεις ενάντια στην καταπόνηση που προκαλείται από την αλατότητα (Babar et al., 2014; Fayez and Bazaid, 2014), ενισχύοντας παράλληλα και την πρόσληψη νερού (Hu et al., 2008). Η διαφυλλική εφαρμογή μικρο και μακροθρεπτικών πραγματοποιείται όταν οι ρίζες περιορίζονται στην πρόσληψη θρεπτικών λόγω της καταπόνησης (Singh et al., 2013). Η διαφυλλική λίπανση αποτελεί μία εναλλακτική λύση για τη συμβατική λίπανση του εδάφους, που δε συμβάλλει στην μόλυνση των υπογείων υδάτων (Embleton et al., 1986). Στα περισσότερα αλατούχα εδάφη, το νάτριο είναι ένα από τα κύρια ιόντα που διαταράσσει τα φυτά, εμποδίζοντας την πρόσληψη ιόντων καλίου (Tester and Davenport, 2003), όπως και η περιεκτικότητα των φύλλων σε φώσφορο, μειώνεται όσο αυξάνεται η συγκέντρωση NaCl στο θρεπτικό διάλυμα (Adams et al., 1991). Υπάρχουν άφθονα στοιχεία ότι η αναλογία K^+/Na^+ επηρεάζει την πρόσληψη και την συσσώρευση K^+ στο φυτό και η αντοχή στην αλατότητα σχετίζεται με την επιλογή απορρόφησης K^+ έναντι Na^+ (Bar-Tal et al., 1990). Η λίπανση με σκοπό την αύξηση της αναλογίας K^+/Na^+ είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την αύξηση της αντοχής των φυτών έναντι της αλατότητας (Elhindi et al., 2016). Η διαφυλλική εφαρμογή καλίου έχει αποδειχθεί ότι μειώνει το στρες που προκαλείται από την αλατότητα σε καλλιέργεια τομάτας (Irfan Afzal et al., 2015), ηλίανθου (Jabeen and Ahmad, 2011), ζαχαρότευτλου (Zaki et al., 2014), μελιτζάνας (Elwan, 2010), σίτου (Bybordi, 2015) και καλαμποκιού (Bar-Tal et al., 1990).

Η επιλογή κατάλληλων ποικιλιών και υποκειμένων με αντοχή στην αλατότητα, είναι μία διαδεδομένη στρατηγική για τη μείωση του αβιοτικού στρες που προκαλείται από την αλατότητα του εδάφους και του νερού άρδευσης. Παραδοσιακά,

ο εμβολιασμός χρησιμοποιούταν κυρίως για την αντιμετώπιση ασθενειών εδάφους. Πρόσφατα, το ενδιαφέρον στρέφεται και προς την αύξηση της αντοχής του φυτού σε αβιοτικά στρες όπως η ξηρασία η χαμηλή θερμοκρασία και η αλατότητα (Black et al., 2003). Σύμφωνα με τους Colla et al., (2006), ο εμβολιασμός των φυτών πεπονιάς υπό συνθήκες αλατότητας, αύξησε τους εμπορεύσιμους καρπούς. Σε αντίστοιχα πειράματα που πραγματοποίησαν οι Fernández-García et al., (2004), σε εμβολιασμένα και μη φυτά τομάτας, παρατηρήθηκε πως τα εμβολιασμένα φυτά είχαν μεγαλύτερες αποδόσεις. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η ανθεκτικότητα καθορίζεται από την ικανότητα του υποκειμένου να αποκλείει τα τοξικά ιόντα. Ένα υποθετικό σενάριο, είναι η παρεμπόδιση της κυκλοφορίας του NaCl στην ένωση του υποκειμένου με του εμβολίου (Cámara et al., 2003). Επιπλέον ο εμβολιασμός σε ανθεκτικό στην αλατότητα υποκείμενο, αυξάνει την περιεκτικότητα σε κάλιο όχι μόνο στους καρπούς, αλλά και στις ρίζες και τους βλαστούς, ενώ μειώνει το ποσοστό του νατρίου στα εναέρια μέρη του φυτού (Colla et al., 2006).

1.7. Συστήματα πολυκαλλιέργειας με βάση την κυκλική οικονομία

Η κύρια έννοια της κυκλικής οικονομίας (Κ.Ο.) είναι η αξιοποίηση των ανακυκλώσιμων υλικών και η εξισορρόπηση της οικονομικής ανάπτυξης με το περιβάλλον και τους πόρους του (Zhu et al., 2010). Η ιδέα της κυκλικής οικονομίας είναι η απόκριση στην προδικασμένη εξάντληση των πρώτων υλών και την αύξηση των εκπομπών του CO₂ η οποία τελικά θα οδηγήσει σε παγκόσμιες ελλείψεις και σε μη αναστρέψιμες καταστροφές στα φυσικά οικοσυστήματα. Οι αρχές αυτής της έννοιας περιλαμβάνουν τα 3R (reduce, reuse, recycle) (Wu et al., 2014) και τα 6R (reuse, recycle, redesign, remanufacture, reduce, recover) (Jawahir et al., 2016). Τα συστήματα της Κ.Ο. διατηρούν τους πόρους εντός της οικονομίας όταν ένα προϊόν έχει φτάσει στο τέλος της ζωής του, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά και ξανά και ως εκ τούτου να μπορούν να δημιουργήσουν περαιτέρω αξία (EU Commission 2014, 2015).

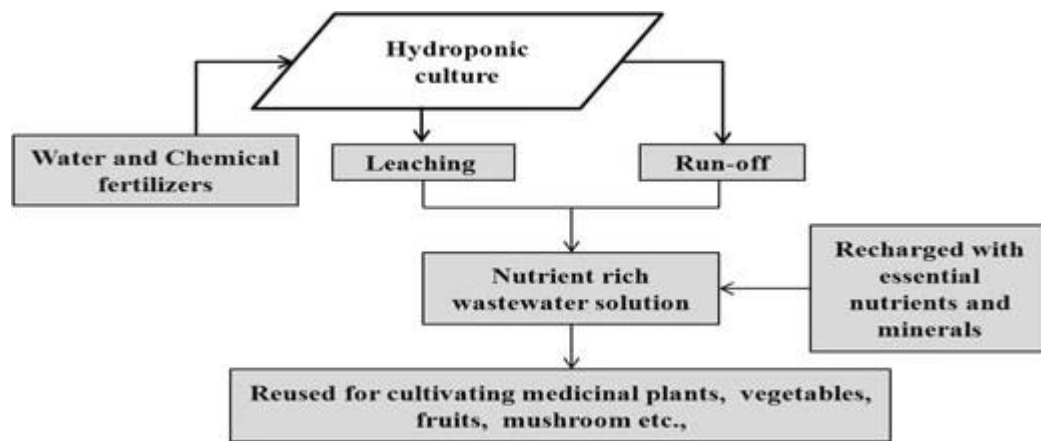
Σύμφωνα με την προσέγγιση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διαχείριση των αποβλήτων (EU 2008), δίνεται προτεραιότητα στην ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων, την απόρριψη αγαθών στο τέλος της ζωής τους, καθώς και στην ανακύκλωση με σκοπό την ανάκτηση σε άλλες μορφές προϊόντος με σκοπό τη μείωση της τελικής απόρριψης. Στις περιπτώσεις όπου δεν δύναται να εφαρμοστεί

κλειστό σύστημα υδροπονίας, είναι απαραίτητη η μελέτη διαφορετικών στρατηγικών διαχείρισης της επαναχρησιμοποίησης του θρεπτικού διαλύματος που απαιτείται για τη μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων. Μια τέτοια προσέγγιση είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος πολυκαλλιέργειας. Σε ένα τέτοιο σύστημα, το διάλυμα της απορροής μιας καλλιέργειας, συλλέγεται με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του σε δεύτερη καλλιέργεια. Το θρεπτικό διάλυμα μετά από κάθε χρήση στην εκάστοτε καλλιέργεια γίνεται σταδιακά πιο αλατούχο. Σε ένα τέτοιο σύστημα, η άρδευση ξεκινάει από ευαίσθητα στην αλατότητα φυτά (γλυκόφυτα), συνεχίζεται σε μέτριας ευαισθησίας στην αλατότητα, και καταλήγει σε αλόφυτα (Grieve and Suarez 1997). Σταδιακά, μειώνεται ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος και αυξάνεται η αλατότητα, με αποτέλεσμα μετά από ορισμένες χρήσεις να καθίσταται ακατάλληλο για τις καλλιέργειες. Σε αυτή την περίπτωση, το διάλυμα απορρίπτεται στο περιβάλλον έχοντας όμως μειωθεί η περιεκτικότητά του σε παράγοντες μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα (ιδίως νιτρικών και φωσφορικών), καθιστώντας το έτσι ασφαλές για το περιβάλλον (Incrocci et al., 2003). Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τους Elvanidi et al. (2020), η συγκεκριμένη τεχνική είναι οικονομικά βιώσιμη και συμβατή προς τις χαμηλότερης τεχνολογίας υδροπονικές εγκαταστάσεις. Η επαναχρησιμοποίηση των απορροών μιας κύριας καλλιέργειας για την άρδευση μιας δευτερεύουσας ανθεκτικότερη στην αλατότητα, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στα χαμηλής τεχνολογίας θερμοκήπια (Elvanidi et al., 2020). Ο κίνδυνος ρύπανσης σε αυτά τα συστήματα είναι αρκετά σημαντικός ειδικά στην περιοχή της μεσογείου όπου τα εκτός εδάφους συστήματα είναι συνήθως ανοιχτά (Katsoulas, 2017).

Παρόμοια στρατηγική αποτελεί και το Serial Biological Concentration (SBC), μία μέθοδος που αναπτύχθηκε με σκοπό τη διαδοχική επαναχρησιμοποίηση των απορροών σε καλλιέργειες με όλο και μεγαλύτερη αντοχή στην αλατότητα, με αποτέλεσμα μειώνονται αρκετά οι ποσότητες της απορροής που καταλήγουν στο περιβάλλον (Bethune et al, 2004). Η ιδέα του SBC προτάθηκε αρχικά για την ελαχιστοποίηση του μεγέθους των λεκανών εξάτμισης που χρησιμοποιούταν για την απόρριψη του νερού απορροής με υψηλή περιεκτικότητα σε σελήνιο στην κοιλάδα San Joaquin στην Καλιφόρνια. Ο αριθμός των σταδίων που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των συστημάτων SBC ποικίλλει ανάλογα με την αλατότητα του εδάφους και του νερού άρδευσης, καθώς και την αντοχή στην αλατότητα των φυτών που χρησιμοποιούνται (Su et al., 2005). Ένα από αυτά τα μοντέλα αποτελεί και το σύστημα IFDM (Integrated Farm Drainage Management) το οποίο ξεκίνησε να

εφαρμόζεται σε φάρμα στην Καλιφόρνια το 1994 σε έκταση 260 εκταρίων. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει 4 στάδια τα οποία οι ευαίσθητες στην αλατότητα καλλιέργειες αρδεύονται με φρέσκο νερό (1^ο στάδιο). Το νερό συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται για την άρδευση πιο ανθεκτικών στην αλατότητα φυτών και τα αλοφύτων (2^ο-4^ο στάδιο). Τέλος, το απορρέων νερό από αυτή τη διαδικασία οδηγείται στον τερματικό ηλιακό εξατμιστή (Jacobsen and Basinal 2004). Ακόμα, οι Yang et al. (2004), εξέτασαν την ανάπτυξη και τη μαζική καλλιέργεια κυανοβακτηρίων σε απορρέων θρεπτικό διάλυμα, με στόχο την απομάκρυνση του N και του P, και ταυτοχρόνως την μαζική καλλιέργεια αυτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε μία περίοδο 7 ημερών, τα κυανοβακτήρια κατάφεραν να απομακρύνουν το 100% του φωσφόρου και ένα μεγάλο μέρος των νιτρικών. Μετά την καλλιέργεια, η βιομάζα που παρήχθη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βίο-λίπασμα.

Σε ένα ανοιχτό υδροπονικό σύστημα, το φυτό προσλαμβάνει περίπου το 57-67% του παρεχόμενου αζώτου, ενώ το υπόλοιπο απορρέει (Ugonen, 1995). Σύμφωνα με τον Bres (2009), οι απώλειες μηνιαίως σε ανοιχτό σύστημα καλλιέργειας τομάτας μπορεί να είναι μέχρι και 230 kg N/he και 413 kg K/he. Ένα απορρέων διάλυμα πλούσιο σε θρεπτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με σκοπό την κάλυψη πλήρως ή εν μέρη των αναγκών μίας καλλιέργειας με μικρότερες απαιτήσεις σε εισροές. Η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος της απορροής με σκοπό την άρδευση δευτερεύουσας καλλιέργειας μπορεί να παράγει οικονομική αξία, μειώνοντας παράλληλα το κόστος των λιπασμάτων, την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών με παράλληλα μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση (Sonneneld and Welles, 1984). Η ανάπτυξη τεχνολογιών για την επαναχρησιμοποίηση των απορροών από τα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα, είναι μια ευκαιρία για τη μείωση των ποσοτήτων των λιπασμάτων και την αειφορική διαχείριση του νερού.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής της επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος απορροής με σκοπό την άρδευση δευτερεύουσας καλλιέργειας (Πηγή: Bres, 2009).

1.8. Καλλιέργειες

1.8.1. Τομάτα

1.8.1.1. Ταξινόμηση, μορφολογικά χαρακτηριστικά και χρήσεις

Η καλλιεργούμενη τομάτα, *Solanum lycopersicum L.*, ανήκει στην οικογένεια των Στρυχνοειδών (Solanaceae), η οποία περιλαμβάνει περισσότερα από 3000 είδη, καταλαμβάνοντας πληθώρα ενδιαιτημάτων (Knapp, 2002). Είναι ποώδες φυτό, ετήσιο, διετές και πιο σπάνια (κυρίως στα άγρια είδη) πολυετές. Έχει πασσαλώδες ριζικό σύστημα το οποίο αναπτύσσει κεντρική ευδιάκριτη ρίζα, με αρκετές δευτερεύουσες και ριζικά τριχίδια όταν σπέρνεται κατευθείαν στο χώμα αλλά όταν μεταφυτεύεται η κεντρική ρίζα κόβεται και ξεκινάει να παράγει δευτερεύουσες και πλευρικές. Τα φύλλα του φυτού της τομάτας είναι σύνθετα, καθώς κάθε σύνθετο φύλλο αποτελείται από ένα ζεύγος φυλλαρίων. Τα άνθη της τομάτας εμφανίζονται ανά ταξιανθίες είναι τέλεια αυτογονιμοποιούμενα, ανεμόφιλα και μπορούν να φτάνουν μέχρι και τα 20 αναλόγως την ποικιλία. Ο καρπός είναι πολύχωρος, ράγα, με το σχήμα και το χρώμα να διαφέρουν ανάλογα τα χαρακτηριστικά της κάθε ποικιλίας.

Η τομάτα απαιτεί σχετικά δροσερό και ξηρό κλίμα για υψηλή παραγωγή και εξαιρετική ποιότητα. Παρόλο που είναι ένα πολυετές φυτό, στον ανοιχτό αγρό καλλιεργείται του θερμής περιόδου του χρόνου λόγω του ότι είναι ευαίσθητη στον παγετό. Για αυτό το λόγο η επιτραπέζια τομάτα καλλιεργείται κατά κύριο λόγο σε ελεγχόμενο περιβάλλον (Naika et al., 2005).

Η τομάτα είναι το πιο δημοφιλές σε κατανάλωση λαχανικό στο κόσμο μετά την πατάτα (Benton, 2007). Είναι ευρέως διαδεδομένη λόγω της γεύσης, του χρώματος,

του αρώματος και των θρεπτικών συστατικών που περιέχει. Περιέχει βιταμίνες του συμπλέγματος A,B,C καθώς και αντιοξειδωτικά όπως το λυκοπένιο, μία ένωση που συμβάλει στην προστασία από τον καρκίνο (Naika et al., 2005). Έχει αυξηθεί σε δημοτικότητα και έχει επεκταθεί γρήγορα σε μεγάλη κλίμακα η καλλιέργεια κατά το τελευταίο ήμισυ του αιώνα. Σήμερα καταναλώνεται περισσότερο στις ΗΠΑ και την Ευρώπη. Σύμφωνα με τον FAO (2008), η παραγωγή έχει αυξηθεί παγκοσμίως κατά 164% τα τελευταία 40 χρόνια, ενώ η κατανάλωση κατά 314% και αυξάνεται κατά 3% παγκοσμίως (Xinhua, 2007).

Μια από τις πιο σημαντικές αλλαγές που σημειώθηκαν από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα, ήταν η επέκταση των θερμοκηπίων από τα μεγάλα κέντρα παραγωγής (κάτω χώρες, Ισπανία, Ιταλία) σε πολλές άλλες περιοχές του κόσμου (Jiang et al., 2004; Pardossi et al., 2004). Ωστόσο ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής συγκεντρώνεται σε θερμά κλίματα όπως στη λεκάνη της μεσογείου όπου και προέρχεται πάνω από το 30% της παγκόσμιας παραγωγής, και στην Καλιφόρνια απ' όπου προέρχεται περίπου το 20% (FAO, 1995).

1.8.1.2. Υδροπονική καλλιέργεια τομάτας

Στην Ελλάδα η τομάτα βρίσκεται στην 1^η θέση, τόσο σε καλλιεργήσιμη έκταση, όσο και σε κατανάλωση ανάμεσα απ' όλα τα λαχανικά (Σάββας, 2009). Καλλιεργείται υδροπονικά με επιτυχία, και σε χώρες όπως η Ολλανδία, αποτελεί σχεδόν την αποκλειστική μέθοδο καλλιέργειας, από τη δεκαετία του 1990 (Kreij, 1995). Τα πιο ευρέως διαδεδομένα υποστρώματα ανάπτυξης είναι ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, η ελαφρόπετρα και ο κόκος (Σάββας, 2007) ενώ πειραματικά έχει αποδειχθεί εφικτή η καλλιέργεια με τη μέθοδο της επίπλευσης και της αεροπονίας (Leoni et al., 1994) και σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (Zeroni et al., 1983). Η καλλιέργεια τομάτας έχει στεφθεί με επιτυχία σε σύστημα NFT, τόσο σε χώρες του εξωτερικού (Αγγλία) (Graves, 1893), όσο και στην Ελλάδα (Οικονομάκης, 2007)

Η τομάτα θεωρείται πως έχει μέτρια ευαισθησία στην αλατότητα (Dorais et al., 2001). Η μέγιστη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας που μετά το πέρας αυτής προκαλείται μείωση της παραγωγής είναι περίπου τα 2,9 dS m⁻¹. Μετά το πέρας αυτής της τιμής, αναμένεται μείωση της παραγωγής από 2,3-7,2% ανά μονάδα αύξησης της EC (Sonneveld and Welles, 1988). Μέτρια επίπεδα αλατότητας περισσότερο βλάπτουν το υπέργειο μέρος του φυτού, παρά τη ρίζα (Perez-Alfocea et

al., 1996; Mavrogiannopoulos et al., 2002). Η έκθεση της τομάτας σε μέτρια επίπεδα αλατότητας δεν περιορίζει τον αριθμό των καρπών επάνω στο φυτό, όμως προκαλεί μείωση στο μέσο βάρος αυτών (Cuartero and Munoz, 1999). Αντιθέτως, προκαλείται αύξηση της ξηράς ουσίας (Ehret and Ho, 1986) και βελτιώνεται η ποιότητα των καρπών (Krauss et al., 2006). Ποιο συγκεκριμένα αυξάνεται η ποσότητα βιταμίνης C και καροτενοειδών, πτητικές ουσίες που προσδίδουν άρωμα (Petersen et al., 1988; Savvas et al., 2011), και μειώνονται φυσιολογικές διαταραχές όπως η ξηρή σήψη κορυφής (όταν η αύξηση της EC δεν οφείλεται στην αύξηση ιόντων Na⁺) (Nukaya et al., 1991). Σημαντική είναι η επίδραση της αλατότητας και στη βλάστηση των σπόρων της τομάτας καθώς υψηλές τιμές δεν προκαλούν μόνο μείωση της βλάστησης, αλλά και επιμήκυνση του χρόνου που απαιτείται ώστε να βλαστήσει ο σπόρος (Ayers, 1952)

Η τομάτα αποτελεί μία από τις καλλιέργειες που ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί σε κλειστό σύστημα πολυκαλλιέργειας με σκοπό τη χρήση των απορροών για την άρδευση μίας δευτερεύουσας χαμηλότερων απαιτήσεων και με μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην αλατότητα (Incrocchi et al., 2003). Σε πειράματα που πραγματοποίησαν οι Munoz et al. (2012), όπου επαναχρησιμοποιήθηκε το διάλυμα απορροής υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας με σκοπό την άρδευση και λίπανση καλλιέργειας τομάτας στο έδαφος συμπεράναν πως η επαναχρησιμοποίηση των απορροών μείωσε κατά 50% τις εκπομπές g CO₂ ανά kg καρπού, σε σχέση με το μάρτυρα ο οποίος δεν αρδευόταν από τις απορροές.

1.8.2. Σπανάκι

Το σπανάκι, βοτανικά (*Spinacia oleracea L.*) είναι ένα λαχανικό το οποίο καλλιεργείται για τα φύλλα του και τους βλαστούς του, και καταναλώνεται φρέσκο αλλά και μεταποιημένο. Είναι πλούσιο σε βιταμίνες A και C, σε φυλλικό οξύ, σίδηρο, κάλιο καθώς και σε μία βιταμίνες του συμπλέγματος B. Είναι εγγενές φυτό της κεντρικής Ασίας πιθανότατα της περιοχής της Περσίας (σημερινό Ιράν). Ανήκει στην οικογένεια των Χηνοποδιοειδών (*Chenopodiaceae*) και στην τάξη των Καρυοφυλλωδών (*Caryophyllales*). Για την παραγωγή σπόρου καλλιεργείται συνήθως 2 χρόνια. Παράγει ροζέτες με φύλλα τα οποία είναι είτε λεία είτε κατσαρά. Κατά το αναπαραγωγικό στάδιο, το βλαστικό στέλεχος επιμηκύνεται και σχηματίζει

άνθη με στενά μυτερά φύλλα. Τα άνθη είναι δίοικα και ανεμόφιλα. Περιέχει $2n=12$ χρωμοσώματα (Pandey and Kalloo, 1993).

Προτιμά εδάφη μέσης σύστασης όπως τα αμμοπηλώδη, πλούσια σε οργανική ουσία. Το άριστο pH κυμαίνεται μεταξύ 6 και 7. Η σπορά γίνεται απευθείας στο έδαφος, είτε στα πεταχτά είτε με σπαρτικές μηχανές. Η διάρκεια σποράς μέχρι τη συγκομιδή κυμαίνεται στις 35-75 ημέρες και το φυτό συγκομίζεται όταν έχει αναπτύξει πλήρως 5-6 μεγάλα φύλλα. Στην Ελλάδα σπέρνεται κυρίως το φθινόπωρο (Ολύμπιος, 1994).

Η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα είναι η Κίνα παράγοντας ετησίως πάνω από 22.1 εκατομμύρια τόνους, παραγωγή που αντιστοιχεί στο 85% της παραγωγής παγκοσμίως, με την παραγωγή να αυξάνεται κάθε χρόνο σε ποσοστό περίπου 4% (FAOSTAT, 2008).

Το σπανάκι δύναται να καλλιεργηθεί τόσο στον ανοιχτό αγρό όσο και υπό κάλυψη. Ως καλλιέργεια έχει χαμηλές απαιτήσεις σε εισροές. Λόγω του χαμηλού ύψους που αναπτύσσει εκμεταλλεύεται πολύ μικρό όγκο του θερμοκηπίου και για αυτό τα περισσότερα θερμοκήπια όταν καλλιεργείται στο έδαφος υπό κάλυψη, είναι τύπου “Toll”. Το σπανάκι όπως και άλλα φυλλώδη λαχανικά, λόγω χάρη το μαρούλι, μπορεί να καλλιεργηθεί υδροπονικά τόσο σε υποστρώματα, όσο και σε συστήματα υδροκαλλιέργειας όπως NFT, DWC αλλά και με τη μέθοδο της αεροπονίας (Van Os et al., 2002). Καλύτερη απόδοση έχει στα συστήματα NFT και DWC καθώς αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα αυτών και λόγω του μικρού κύκλου καλλιέργειας αποφεύγονται προβλήματα όπως η έλλειψη οξυγόνωσης των ριζών, προβλήματα στην κυκλοφορία του νερού και μετάδοση των ασθενειών που παρουσιάζουν τα φυτά όπως η τομάτα τα οποία είναι μεγάλου κύκλου καλλιέργειας και αναπτύσσουν μεγάλο ριζικό σύστημα. Επιπλέον με το σύστημα NFT μπορεί να αναπτυχθεί σε συστήματα όπως “Πυραμίδα” αξιοποιώντας έτσι μεγαλύτερο όγκο του θερμοκηπίου και αυξάνοντας έτσι την παραγωγή ανά m^2 .

Το σπανάκι χαρακτηρίζεται ως μέτριας ανθεκτικότητας φυτό στην αλατότητα. Φυτά σπανακιού που καλλιεργούνται υπό συνθήκες αλατότητας παρουσιάζουν μειωμένο χλωρό βάρος, χαμηλή περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, χαμηλή απόδοση χρήσης νερού και έλλειψη καλίου και φωσφόρου στα φύλλα (Kaya et al., 2001). Η μέγιστη τιμή για την άριστη ανάπτυξη είναι τα 2 dS m^{-1} . Μετά το πέρας της τιμής αυτής η απόδοση μειώνεται κατά 7,6% ανά μονάδα αύξησης dS (Ayers and Westcot, 1989; Hoffman et al., 1992; Grieve et al., 2012). Επιπλέον, μειώνεται σημαντικά η

βλάστηση των σπόρων σε συγκέντρωση NaCl άνω των 150 mM (Keshavarzi et al., 2011). Ωστόσο, η άρδευση με αλατούχο νερό με EC 4 dS m⁻¹ σε αμμώδη εδάφη στο Ισραήλ δεν οδήγησε σε μείωση της απόδοσης και υποβάθμιση του προϊόντος (Pasternak and De Malach, 1994). Οι Tomemori et al. (1996), βρήκαν πως η προσθήκη 1000mg L⁻¹ θαλασσινού νερού βελτίωσε την ανάπτυξη των φυτών του σπανακιού. Κατά τους Ors and Suarez, (2016) το σπανάκι παρουσιάζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην αλατότητα κατά τους χειμερινούς μήνες καθώς σε αγωγιμότητα μέχρι 4,2 dS m⁻¹ δεν επηρεάστηκε η παραγωγή σε αντίθεση με τους καλοκαιρινούς μήνες όπου αγωγιμότητα άνω των 1,9 -3,2 dS m⁻¹ μειώθηκε σημαντικά η παραγωγή. Η απόδοση και η ευρωστία των φυτών του σπανακιού επηρεάζεται κυρίως από το pH τη θερμοκρασία την παρουσία αλάτων, από τα ένζυμα και τα επιφανειοδραστικά ιόντα (Nisha et al, 2004). Επιπλέον, σε συνθήκες πολύ χαμηλής αλατότητας, υπάρχει ο κίνδυνος προσβολής από τον μύκητα *Peronospora farinosa f.sp. spinacae* και η μη έγκυρη καταπολέμηση του μειώνει σημαντικά την παραγωγή (Sonneveld, 1988). Σύμφωνα με τους παραπάνω συγγραφείς, ανακυκλωμένο θρεπτικό διάλυμα από άλλες καλλιέργειες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση των φυτών του σπανακιού. Δύναται έτσι η παραγωγή, σε μέρη όπου επικρατεί μεσογειακό κλίμα, όπου οι χειμερινές βροχές μειώνουν την αλατότητα του εδάφους και καθίσταται έτσι δυνατή η καλλιέργεια υπό αυτές τις συνθήκες. Οι Lunin et al., (1963) έχουν δείξει πως η έκθεση σε συνθήκες αλατότητας 32 και 43 ημέρες μετά τη φύτευση δεν είχε σημαντική επίδραση στα φυτά σπανακιού.

Συνεπώς, το σπανάκι λόγω του μικρού καλλιεργητικού κύκλου και της απόδοσής του σε συνθήκες αλατότητας, μπορεί να αποτελέσει μέρος ενός συστήματος πολυκαλλιέργειας όπου θα αρδεύεται από την απορροή μιας κύριας καλλιέργειας μεγαλύτερων εισροών. Αυτό το σύστημα θα συμβάλει στη μείωση των αποβλήτων στο περιβάλλον από τη γεωργική δραστηριότητα συμβάλλοντας παράλληλα στην αιφορία, τη μείωση των εκπομπών θερμοκηπειακών αερίων στην ατμόσφαιρα και παράλληλα αύξηση της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού.

1.9 Σκοπός της εργασίας

Όπως προαναφέρθηκε, στα κλειστά συστήματα, μετά από ορισμένες χρήσεις το θρεπτικό διάλυμα αποκτά υψηλή συγκέντρωση σε άλατα με αποτέλεσμα την αύξηση της EC του διαλύματος. Το γεγονός αυτό, έχει ως αποτέλεσμα, δυσμενείς επιδράσεις

στην ανάπτυξη των φυτών. Με την αποφόρτιση του διαλύματος και την απόρριψή του στο περιβάλλον, προκαλείται μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα με νιτρικά και φωσφορικά ιόντα ενώ παράλληλα δαπανάται νερό άρδευσης. Στόχος της παρούσας εργασίας, είναι να μελετηθούν διαφορετικές στρατηγικές εφαρμογής θρεπτικού διαλύματος απορροής από μία καλλιέργεια τομάτας (κύρια καλλιέργεια), για την κάλυψη των αναγκών μίας καλλιέργειας σπανακιού (δευτερεύουσα καλλιέργεια). Γι' αυτό το λόγο, μελετήθηκαν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας του σπανακιού οι λειτουργίες του φυτού, καθώς και η απόδοση της καλλιέργειας κάτω από διαφορετικές στρατηγικές άρδευσης. Οι διαφορετικές στρατηγικές αφορούσαν την ανάμειξη του διαλύματος απορροής της καλλιέργειας τομάτας, με διαφορετικά ποσοστά νερού με σκοπό την άρδευση της καλλιέργειας του σπανακιού. Η μελέτη επικεντρώθηκε στην παραγωγή, την αύξηση και την ανάπτυξη του σπανακιού κάτω από διαφορετικές από τις βέλτιστες συνθήκες θρέψης και αγωγιμότητας, βάση της διεθνούς βιβλιογραφίας. Επιπροσθέτως, είχε και ως στόχο την βελτιστοποίηση της σχέσης της φωτοσύνθεσης προς τη διαπνοή, μέσω της στιγμιαίας αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού (WUE). Παράλληλα, θα συμβάλει στην ανάπτυξη μεθόδων για την εξοικονόμηση πόρων, τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και κυρίως του αποτυπώματος του νερού, από τις καλλιέργειες φυλλωδών λαχανικών.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Εγκαταστάσεις και Καλλιέργεια

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στο θερμοκηπιακό πάρκο του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή του Βελεστίνου (39ο 22', 22ο 44', 85 m). Στο πλαίσιο αυτής διατριβής, έλαβαν χώρα δύο καλλιεργητικές περιόδους οι οποίες τελέστηκαν από τον Απρίλιο έως τον Μάιο του 2019 η πρώτη και από τον Ιούλιο έως τον Σεπτέμβριο η δεύτερη.). Πιο συγκεκριμένα ο 1^{ος} καλλιεργητικός κύκλος διήρκησε από τις 12/04/2019 έως και τις 27/05/2019 και ο 2^{ος} από τις 19/07/2019 έως και τις 02/09/2019.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπιο γοθτικού τύπου, με πλαστικό υλικό κάλυψης οροφής κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο, το οποίο αποτελείται από 6 πειραματικούς θαλάμους 25m μήκους, 9,6m πλάτους και 7,4m ύψους. Η οροφή του κάθε θαλάμου ήταν εξοπλισμένη με ένα συνεχές άνοιγμα οροφής, και το σύστημα ψύξης αποτελούσε μια υγρή παρειά και ένας ανεμιστήρας. Πληροφορίες για τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα εντός και εκτός του θερμοκηπίου, παρείχαν αισθητήρες ελέγχου του κλίματος (Sercom, Netherlands), οι οποίοι έλεγχαν και ρυθμίζανε το κλίμα του θερμοκηπίου.



Εικόνα 2. Κάτοψη του Θερμοκηπιακού Πάρκου (αριστερά) (Πηγή : Google Earth) και Αισθητήρας Ελέγχου του Κλίματος (δεξιά)

2.1.2 Εγκατάσταση στους Θαλάμους–Πειραματικός Σχεδιασμός

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκαν 4 θάλαμοι συνολικής έκτασης 960m² καθώς και 3 διαφορετικές καλλιέργειες (τομάτα, μαρούλι και σπανάκι). Οι δύο πρώτοι θάλαμοι χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά από φυτά της πρωτεύουσας καλλιέργειας (τομάτα), ενώ οι υπόλοιποι 2 (θάλαμος 3 και 4), για την ανάπτυξη των φυλλωδών λαχανικών (σπανάκι-μαρούλι) τα οποία αποτελούσαν τη δευτερεύουσα καλλιέργεια. Ο θάλαμος 3 χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των μεταχειρίσεων 0%D και 100%D ενώ ο θάλαμος 4 για τις 75%D και 50%D οι οποίες επεξηγούνται αναλυτικά στο κεφάλαιο μεταχειρίσεις. Τα κανάλια της κάθε μεταχείρισης είχαν τοποθετηθεί εναλλάξ μεταξύ τους με σκοπό να είναι τοποθετημένη δίπλα στα άκρα του θαλάμου μόνο μία επανάληψη της κάθε μεταχείρισης. Επιπλέον εξαιτίας της φοράς του ηλίου θα ήταν διαδοχικός ο φωτισμός και ταυτόχρονος μεταξύ των μεταχειρίσεων. Η συγκεκριμένη ενέργεια σκόπευε στη ορθή τυχαιοποίηση του πειράματος ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή και κλιματικές συνθήκες στην κάθε μεταχείριση, καθώς και στην αποφυγή σφάλματος. Στην παρούσα διπλωματική ωστόσο, μελετήθηκε μόνο η καλλιέργεια του σπανακιού.

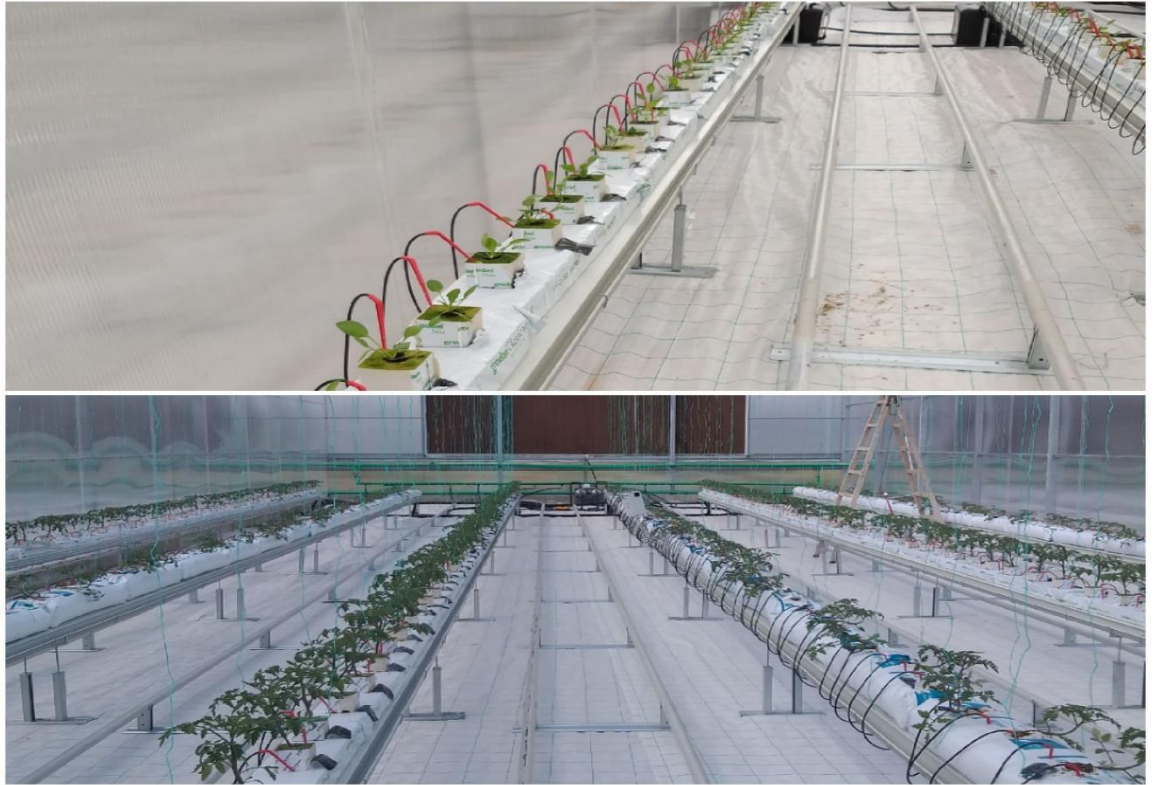
2.1.3 Εγκατάσταση στο Μέσο Ανάπτυξης

Τα αυτόριζα φυτά της τομάτας (*Solanum lycopersicum*, cv. Elpida) τα οποία αποτελούσαν την πρωτεύουσα καλλιέργεια του πειράματος, αναπτύχθηκαν είτε σε κύβους πετροβάμβακα (Grodan Plantop, NL) οι οποίοι τοποθετήθηκαν πάνω σε σάκους του ίδιου υποστρώματος (Grodan Classic MY, NL), είτε απευθείας σε σάκους περλίτη (Hydroperl 33L, NORDIAAGRO, Athens, Greece). Ως μέσο ανάπτυξης της υπό μελέτη καλλιέργειας σπανακιού (*Spinacia oleracea*), χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξή της κύβοι πετροβάμβακα (Grodan Delta, NL) οι οποίοι είχαν εγκατασταθεί πάνω σε σάκους του ίδιου υποστρώματος. Στην καλλιέργεια των φυλλωδών λαχανικών τα κανάλια συνολικού μήκους 22m έκαστο, διαχωρίστηκαν σε δύο ίσα μέρη με σκοπό την εγκατάσταση και των δύο καλλιεργειών σε κάθε θάλαμο. Στα υδροπονικά κανάλια τα οποία ήταν εγκάρσια τοποθετημένα στο σύστημα ψύξης, εγκαταστάθηκε η καλλιέργεια του σπανακιού και του μαρουλιού από την πλευρά της υγρής παρειάς και του ανεμιστήρα αντίστοιχα. Κάθε ένα από τα 12 στο σύνολο

υδροπονικά κανάλια των θαλάμων ανάπτυξης της δευτερεύουσας καλλιέργειας, αποτελούταν από 9 σάκους υποστρώματος πετροβάμβακα. Σε κάθε υπόστρωμα αντιστοιχούσαν 4 φυτά (4 φυτά m²), χρησιμοποιώντας συνολικά 432 φυτά σπανακιού.

Η τροφοδοσία των φυτών με θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας πραγματοποιήθηκε και σε αυτή τη περίπτωση μέσω της στάγδην άρδευσης με τη χρησιμοποίηση 1083 σταλακτών στο σύνολο των δύο θαλάμων.

Η εγκατάσταση της πρωτεύουσας καλλιέργειας (τομάτα), ξεκίνησε στις 23/03/2019. Σε πρώτο στάδιο, έγινε διαβροχή των σάκων του πετροβάμβακα και του περλίτη μέχρι το σημείο κορεσμού ακολουθώντας τη συνταγή παραγωγής θρεπτικού διαλύματος διαβροχής για καλλιέργειες τομάτας σε ανοιχτά και κλειστά υδροπονικά συστήματα (Σάββας, 2011)(Πίνακας 2). Μετά από έλεγχο της πλήρωσης των σάκων με θρεπτικό διάλυμα συμπληρώθηκε περεταίρω θρεπτικό διάλυμα λόγω της εξάτμισης αυτού και της απορρόφησής του από το υπόστρωμα ώστε να παραμείνει ο σάκος κορεσμένος για τουλάχιστον δύο ημέρες. Μετά το πέρας 6 ημερών, πραγματοποιήθηκε η μεταφύτευση των φυτών της τομάτας στις τελικές θέσεις ανάπτυξης επάνω στους σάκους, ενώ τα φυτά είχαν σχηματίσει 4-5 πραγματικά φύλλα. Στις 12/04/2019 πραγματοποιήθηκε η διαβροχή των σάκων του πετροβάμβακα της υπό μελέτης καλλιέργειας σύμφωνα με τον τρόπο που ακολουθήθηκε και στην πρωτεύουσα καλλιέργεια, εφαρμόζοντας τη συνταγή παρασκευής θρεπτικού διαλύματος διαβροχής για καλλιέργειες μαρουλιού σε ανοιχτά και κλειστά υδροπονικά συστήματα (Σάββας, 2011)(Πίνακας 1). Έπειτα από τέσσερις ημέρες μεταφυτεύτηκαν τα σπορόφυτα του σπανακιού από το δίσκο σποράς στους κύβους πετροβάμβακα και μετέπειτα ακολούθησε η τοποθέτηση αυτών επάνω στους σάκους ανάπτυξης. Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και στον δεύτερο καλλιεργητικό κύκλο, με τη μόνη διαφορά ότι έγινε "ξέπλυμα" αντί διαβροχής του υποστρώματος. Στην έναρξη του πρώτου καλλιεργητικού κύκλου και κατά τις πρώτες 7 ημέρες, τα φυτά της δευτερεύουσας καλλιέργειας αρδεύονταν με το πρότυπο διάλυμα τροφοδοσίας και κατά την 8^η ημέρα έγινε η έναρξη των μεταχειρίσεων. Με την έναρξη της δεύτερης καλλιεργητικής περιόδου, ξεκίνησαν απευθείας οι διαφορετικές μέθοδοι υδρολίπανσης, με όλες τις μεταχειρίσεις πλην του μάρτυρα να αρδεύονται με το θρεπτικό διάλυμα απορροής η μέρους αυτού, όπως αναλύεται παρακάτω.



Εικόνα 3. Εγκατάσταση της καλλιέργειας σπανακιού (επάνω) και της τομάτας (κάτω) στο μέσο ανάπτυξης

Πίνακας 1. Σύνθεση του διαλύματος διαβροχής υποστρώματος και τροφοδοσίας για καλλιέργεια μαρουλιού σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. Η EC δίνεται σε dS m^{-1} , οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} , των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$ και οι αναλογίες των μακροστοιχείων σε γραμμομοριακή βάση (Σάββας 2011).

Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Διαβροχή Υποστρώματος Φυλλωδών λαχανικών	Διάλυμα Τροφοδοσίας Φυλλωδών λαχανικών
EC	2.5	2.4
pH	5.6	5.6
[K ⁺]	7.50	8.00
[Ca ²⁺]	5.40	4.80
[Mg ²⁺]	1.50	1.10
[NH ₄ ⁺]	0.80	1.30
[SO ₄ ²⁻]	1.50	1.40
[NO ₃ ⁻]	17.2	16.4
[H ₂ PO ₄ ⁻]	1.40	1.40
[Fe]	40.0	35.0
[Mn]	5.00	5.00
[Zn]	5.00	5.00
[Cu]	0.80	0.80
[B]	40.0	30.0
[Mo]	0.50	0.50
[K]:([K]+[Ca]+[Mg])	0.52	0.58
[Ca]:([K]+[Ca]+[Mg])	0.38	0.34
[Mg]:([K]+[Ca]+[Mg])	0.10	0.08
([NH ₄]+[NO ₃]):(K)	2.40	2.20
([NH ₄]:([NH ₄]+([NO ₃]))	0.04	0.07

Πίνακας 2. Σύνθεση του διαλύματος διαβροχής υποστρώματος και τροφοδοσίας για καλλιέργεια τομάτας σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. Η EC δίνεται σε dS m^{-1} , οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} , των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$ και οι αναλογίες των μακροστοιχείων σε γραμμομοριακή βάση (Σάββας 2011).

Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Διαβροχή υποστρώματος τομάτας	Διάλυμα Τροφοδοσίας τομάτας
EC	2.8	2.4
pH	5.6	5.6
[K ⁺]	6.80	8.00
[Ca ²⁺]	6.40	4.50
[Mg ²⁺]	3.00	2.10
[NH ₄ ⁺]	0.80	1.20
[SO ₄ ²⁻]	4.50	4.00
[NO ₃ ⁻]	15.5	12.4
[H ₂ PO ₄ ⁻]	1.40	1.50
[Fe]	20.0	15.0
[Mn]	12.0	10.00
[Zn]	6.00	5.00
[Cu]	0.80	0.70
[B]	40.0	30.0
[Mo]	0.50	0.50
[K]:([K]+[Ca]+[Mg])	0.42	0.55
[Ca]:([K]+[Ca]+[Mg])	0.40	0.31
[Mg]:([K]+[Ca]+[Mg])	0.20	0.14
([NH ₄]+[NO ₃]):([K])	2.40	1.70
([NH ₄]:([NH ₄]+([NO ₃]))	0.05	0.09

2.2. Σύστημα υδρολίπανσης

Η επαναχρησιμοποίηση των απορροών της πρωτεύουσας καλλιέργειας για την τροφοδοσία δευτερευουσών καλλιεργειών πραγματοποιήθηκε με βάση ένα αυτοματοποιημένο σύστημα υδρολίπανσης. Το σύστημα αυτό, αποτελούταν από το σύστημα ανάμιξης, άρδευσης και το σύστημα επαναχρησιμοποίησης του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος. Το σύστημα ανάμιξης των λιπασμάτων αποτελούσαν έξι δεξαμενές μητρικών διαλυμάτων, δύο δεξαμενές αποθήκευσης οξέων, νιτρικού και θεικού αντίστοιχα. Η κάθε μία δεξαμενή συνδεόταν με μία από τις επτά αντλίες έγχυσης στην κεφαλή υδρολίπανσης, το δοσομετρητή νερού, το σύστημα απολύμανσης (λάμπα UV), το φίλτρο και τους αισθητήρες pH και EC οι οποίοι ήταν συνδεδεμένοι με τη δεξαμενή ανάδευσης. Κύριο μέρος αυτού του συστήματος αποτελεί η δοσομετρική κεφαλή υδρολίπανσης η οποία παρασκευάζει το ομοιογενές θρεπτικό διάλυμα το οποίο είναι απαραίτητο για την αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών. Οι 6 διαφορετικές δεξαμενές (100L) περιείχαν τα πυκνά (μητρικά) διαλύματα τα οποία ήταν αποθηκευμένα σε δύο δεξαμενές για κάθε καλλιέργεια καθώς και 2 επιπρόσθετες δεξαμενές αποθήκευσης πυκνού διαλύματος με νιτρικό οξύ (63%) και θεικού (98%) , απαραίτητα για τη ρύθμιση του pH του θρεπτικού διαλύματος. Οι 2 δεξαμενές των πυκνών λιπασμάτων περιείχαν τα λιπάσματα με Ca^{2++} , NH_4^+ και χηλικό σίδηρο η πρώτη και τα λιπάσματα που περιέχουν θειικά και φωσφορικά άλατα η δεύτερη. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται διότι όταν αναμιγνύονται ταυτόχρονα τα προαναφερθέντα, σχηματίζονται ιζήματα λόγω της χαμηλής διαλυτότητας του $Ca(H_2PO_4)_2$ και $CaSO_4$, με επακόλουθη συνέπεια να φράσσονται τα φίλτρα της άρδευσης. Το τελικό θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας παρασκευαζόταν στη δεξαμενή ανάμιξης μετά από χορήγηση ίσης ποσότητας θρεπτικών διαλυμάτων από κάθε δεξαμενή με οξέα και νερό.

Για την αποθήκευση του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκαν 8 δεξαμενές πολυαιθυλενίου χωρητικότητας 500L η κάθε μία καθώς και 4 δεξαμενές των 300L για τη συλλογή των απορροών της κύριας καλλιέργειας (2 για τις απορροές των φυτών που καλλιεργούνταν στο υπόστρωμα του πετροβάμβακα και αναλόγως για το υπόστρωμα του περλίτη), καθώς και 4 δεξαμενές 300L (μία για κάθε μεταχείριση) για τη συλλογή των απορροών της δευτερεύουσας καλλιέργειας.

Η διαδικασία της υδρολίπανσης πραγματοποιούταν αυτόματα μέσω των αισθητήρων παρακολούθησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH, του απορρέοντος διαλύματος άρδευσης. Όταν το θρεπτικό διάλυμα αποκτούσε τις προκαθορισμένες τιμές EC και pH που είχαν οριστεί μέσω του συστήματος αποθηκεύονταν προσωρινά ανάλογα την καλλιέργεια για την οποία προοριζόταν σε μία από τις 8 δεξαμενές θρεπτικού διαλύματος μέχρι την στιγμή που θα πραγματοποιούταν η υδρολίπανση. Αναλόγως τις κλιματικές συνθήκες το σύστημα άρδευσης ενεργοποιούταν από 10-13 φορές την ημέρα.

Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, ενέχει η ανάπτυξη βλαβερών μυκήτων και βακτηρίων και η καθολική μετάδοση αυτών, μέσω του συστήματος άρδευσης στο μέσο ανάπτυξης των ριζών και συνεπώς στη ριζόσφαιρα της όλης καλλιέργειας. Για την αποφυγή προσβολής από παθογόνα μέσω του συστήματος άρδευσης της καλλιέργειας, πραγματοποιούταν απολύμανση τόσο του καθαρού νερού της γεώτρησης όσο και του χρησιμοποιημένου διαλύματος απορροής με λάμπα υπεριώδους ακτινοβολίας (UV light). Στη συνέχεια πραγματοποιούταν φιλτράρισμα του νερού με φίλτρα PE ώστε να μη μεταφέρονται φερτά υλικά και απόβλητα στο σύστημα άρδευσης με αποτέλεσμα την φραγή των σταλακτών.

2.3 Άρδευτικό Σύστημα

Το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας αφού είχε παραχθεί στην κεφαλή υδρολίπανσης, αποθηκευόταν προσωρινά στις 8 δεξαμενές και εν συνεχεία προωθούνταν μέσω σωλήνων (Φ100) στην εκάστοτε μεταχείριση και από εκεί συνδεόταν με διακλάδωση τύπου T στον σταλακτηφόρο αγωγό ο οποίος κατέληγε στο αντίστοιχο κανάλι. Οι σταλάκτες συνδεότανε με λεπτούς σωληνίσκους τύπου σπαγγέτι όπου στην άλλη άκρη φέρανε λόγχες. Ακολούθως οι λόγχες καταλήγανε στο εσωτερικό του σάκου ανάπτυξης, όπου και αναπτυσσόταν το ριζικό σύστημα. Η παροχή των σταλακτών ανέρχονταν στα 2L h⁻¹.

Η ποσότητα και η συχνότητα της άρδευσης καθοριζότανε αναλόγως των αναγκών της κάθε καλλιέργειας. Η πρωτεύουσα και μεγαλύτερη σε ανάγκες καλλιέργεια, καθώς και η δευτερεύουσα, αρδευότανε 13 φορές την ημέρα. Ο πρώτος κύκλος άρδευσης κάθε μέρα ξεκινούσε στις 7π.μ. ενώ ο τελευταίος πραγματοποιούταν στις 6:30μ.μ. Κάθε κύκλος άρδευσης σε κάθε καλλιέργεια παρείχε ποσότητα θρεπτικού διαλύματος τόση ώστε να απορρέει το 20% με 30%. Το ποσοστό της απορροής αποσκοπούσε στο να αποφευχθεί η υπερβολική συγκέντρωση αλάτων

στο υπόστρωμα ανάπτυξης αλλά και να μη γίνεται ταυτοχρόνως σπατάλη νερού και λιπασμάτων. Το νερό άρδευσης προερχότανε από γεώτρηση του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του οποίου η σύσταση αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3. Χημική σύσταση του νερού της περιοχής του Βελεστίου. Η EC δίνεται σε dS m^{-1} , οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} και των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$.

Ποιοτική Ανάλυση του Νερού Άρδευσης	
EC	0.55
[K ⁺]	0.00
[Ca ²⁺]	1.40
[Mg ²⁺]	1.60
[NH ₄ ⁺]	0.00
[Na ⁺]	1.10
[SO ₄ ²⁻]	0.15
[NO ₃ ⁻]	0.10
[H ₂ PO ₄ ⁻]	0.00
[HCO ₃ ⁻]	5.70
[Cl ⁻]	1.00
[Fe]	0.00
[Mn]	1.30
[Zn]	1.20
[Cu]	0.00
[B]	0.00
[Mo]	0.00

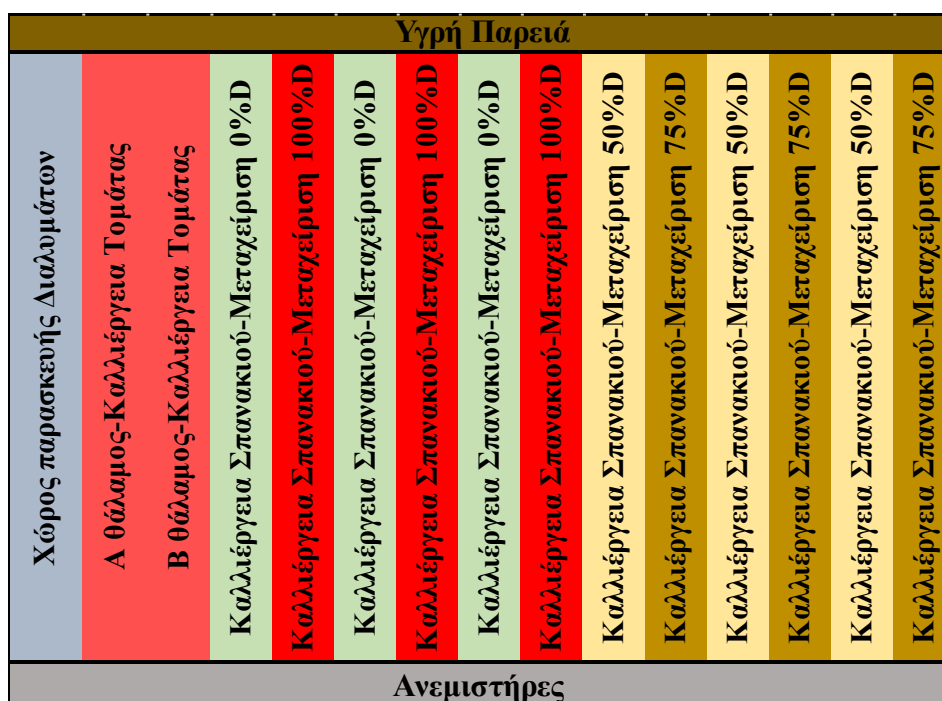
2.4 Μεταχειρίσεις

Η απορροή της πρωτεύουσας καλλιέργειας, συλλεγόταν, αποθηκευότανε και αφού είχε αποστειρωθεί, πραγματοποιούταν διόρθωση του pH μέσω του συστήματος υδρολίπανσης και προωθούταν για την άρδευση των δευτερευουσών καλλιεργειών. Τα φυτά της τομάτας αρδευότανε όλα με το ίδιο θρεπτικό διάλυμα βάσει της συνταγής θρέψης για υδροπονική καλλιέργεια τομάτας από τον Σάββας (2011). Για την πραγμάτωση του πειράματος, τα φυτά του σπανακιού δεχθήκανε 4 διαφορετικά θρεπτικά διαλύματα, βάση των μεταχειρίσεων που είχανε οριστεί. Η μεταχείριση η οποία αποτελούσε το μάρτυρα του πειράματος αρδεύοταν με το πρότυπο διάλυμα

τροφοδοσίας υδροπονικής καλλιέργειας μαρουλιού βάσει της συνταγής που παρατίθεται από τον Σάββα (2011) (Πίνακας1). Οι υπόλοιπες 3 μεταχειρίσεις βασιστήκανε στην απορροή (D) της κύριας και δευτερεύουσας καλλιέργειας. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταχειρίσεις που εφαρμοστήκανε στην καλλιέργεια σπανακιού ήταν οι εξής.

- **0% D:** (Μεταχείριση του μάρτυρα) 100% διάλυμα τροφοδοσίας καλλιέργειας σπανακιού
- **50% D:** 50% διάλυμα απορροής της κύριας καλλιέργειας αναμειγμένο με 50% νερό
- **75% D:** 75% διάλυμα απορροής της κύριας καλλιέργειας αναμειγμένο με 25% νερό
- **100% D:** 100% διάλυμα απορροών της κύριας καλλιέργειας χωρίς επιπλέον προσθήκη νερού

Το διάλυμα απορροής συλλέγονταν και αφού περνούσε από την κεφαλή υδρολίπανσης και το φίλτρο, απολυμαινόταν και διορθώνονταν το pH με την προσθήκη οξέος στο διάλυμα.



Εικόνα 4. Κάτοψη της θέσης των καλλιεργειών στον χώρο του θερμοκηπίου.

2.5 Μετρήσεις

2.5.1 Μετρήσεις Ύψους και Αριθμού Φύλλων

Κατά τη διάρκεια των δύο καλλιεργητικών περιόδων πραγματοποιούνταν μετρήσεις μορφολογικών χαρακτηριστικών και συγκεκριμένα αριθμός φύλλων και ύψους φυτών. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν σε συγκεκριμένα φυτά τα οποία όμως η επιλογή τους είχε γίνει τυχαία επάνω στο κάθε κανάλι. Από κάθε κανάλι πραγματοποιούνταν μετρήσεις ύψους σε 10 φυτά, συνεπώς σε 30 από κάθε μεταχείριση. Το ύψος μετρούταν με χάρακα βαθμονομημένο σε cm και λαμβανόταν ως η απόσταση του μεγαλύτερου φύλλου του φυτού από τη βάση του κύβου ανάπτυξης. Ως αριθμός φύλλων λαμβανόταν ο αριθμός των φύλλων που είχανε σχηματίσει μίσχο εξαιρουμένης της κεντρικής ροζέτας που σχηματίζει το φυτό του σπανακιού. Η συχνότητα για τον πρώτο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας ανερχόταν στη 1 φορά την εβδομάδα ενώ για τον δεύτερο στις 2 φορές την εβδομάδα με τις μετρήσεις να ξεκινούν στις 23/04/2019 και την 01/08/2019 αντίστοιχα.

2.5.2 Μετρήσεις της Συγκέντρωσης των Χρωστικών με

Χλωροφυλλόμετρο SPAD

Το χλωροφυλλόμετρο SPAD είναι μία συσκευή που σύμφωνα με τον κατασκευαστή της, δίνει τιμές που χαρακτηρίζουν την περιεκτικότητα του φύλλου σε ολική χλωροφύλλη, χωρίς όμως να διευκρινίζεται το ακριβές μήκος κύματος στο οποίο απορροφά, καθώς επίσης και μονάδα μέτρησης. Το χλωροφυλλόμετρο SPAD που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα ήταν το μοντέλο SPAD 502 PLUS, MINOLTA.

Οι συγκεκριμένες μετρήσεις ανερχότανε σε 10 φυτά ανά κανάλι της κάθε μεταχείρισης, λαμβανότανε δηλαδή 120 συνολικά μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιούνταν τις πρωινές ώρες. Για κάθε καλλιεργητικό κύκλο η συχνότητα λήψης των παραπάνω μετρήσεων ήταν στις 2 φορές την εβδομάδα. Κατά τον πρώτο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας οι μετρήσεις διήρκησαν από τις 23/04/2019 έως και τις 21/05/2019, ενώ στον δεύτερο από τη 01/08/2019 έως και τις 02/09/2019.

2.5.3 Μετρήσεις Ρυθμού Φωτοσύνθεσης και Διαπνοής

Οι μετρήσεις του ρυθμού φωτοσύνθεσης και διαπνοής, πραγματοποιήθηκαν με το φορητό όργανο LCpro της εταιρίας ADC Bioscientific Ltd. Ο ρυθμός

φωτοσύνθεσης ο οποίος μετριέται σε $A(\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1})$, είναι ο ρυθμός ανταλλαγής CO_2 στο θάλαμο του φύλλου και υπολογίζεται από τον τύπο $A=U_s\Delta_c$ όπου U_s η συνολική ροή αέρα για κάθε m^2 φυλλικής επιφάνειας σε $\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ και Δ_c η διαφορά συγκέντρωσης του CO_2 . Η διαπνοή (E) είναι μια φυσιολογική διεργασία των φυτών, όπου το νερό που βρίσκεται στους ιστούς, αποβάλλεται υπό μορφή υδρατμών από τμήματα των φυτών και αυτή η διεργασία αποτελεί μέρος του κύκλου του νερού. Ταυτόχρονα με την κάθε μέτρηση καταγραφόταν η ένταση του ηλιακού φωτός Q. Οι παραπάνω μετρήσεις πραγματοποιούνταν 2 φορές την εβδομάδα, αφού τα πρώτα πραγματικά φύλλα είχαν αποκτήσει μέγεθος τέτοιο ώστε να μπορέσουν να δεχθούν τη δαγκάνα του μηχανήματος. Το στάδιο όπου ξεκίνησαν οι εν λόγω μετρήσεις ήταν στις 3/05/2019 και 05/08/2019 για τον πρώτο και δεύτερο καλλιεργητικό κύκλο αντίστοιχα.



Εικόνα 5. Το όργανο μέτρησης της φωτοσύνθεσης (δεξιά), και το χλωροφυλλόμετρο SPAD (αριστερά).



Εικόνα 6. Φυτό σπανακιού μετά από καταστροφική συγκομιδή.

2.5.4 Μετρήσεις Νωπού και Ξηρού Βάρους

Η πρώτη και η δεύτερη καταστροφική συγκομιδή των φυτών του σπανακιού κατά τον πρώτο καλλιεργητικό κύκλο πραγματοποιήθηκαν στις 13/05/2019 και 27/05/2019, 25 και 39 ημέρες μετά τη μεταφύτευση (Days After Transplantation), στους σάκους ανάπτυξης αντίστοιχα. Ακολούθως, κατά τον δεύτερο καλλιεργητικό κύκλο πραγματοποιήθηκαν στις 19/08/2019 και 02/09/2019, δηλαδή 31 και 45 ημέρες μετά τη μεταφύτευση αντίστοιχως. Σε κάθε καταστροφική συγκομιδή συλλέχθηκαν 9 φυτά από κάθε μεταχείριση, 36 φυτά δηλαδή στο σύνολο. Από κάθε φυτό αποκόπηκαν όλα τα φύλλα που είχαν διαμορφώσει μίσχο ενώ αφέθηκε η κεντρική ροζέτα που σχηματίζει το φυτό του σπανακιού. Για τον προσδιορισμό του νωπού βάρους χρησιμοποιήθηκε ζυγός ακριβείας της εταιρίας Kern PCB. Αφού ζυγιστήκανε τα παραπάνω φυτά, τοποθετήθηκαν σε σακούλες τύπου Kraft και προωθηθήκανε για ξήρανση σε φούρνο ξήρανσης της εταιρίας Raypa® στους 70 °C για τρεις ημέρες έως ότου αποκτήσουν ένα σταθερό βάρος. Στη συνέχεια ζυγίστηκε άμεσα η ξηρή μάζα στον προαναφερθέν ζυγό και έπειτα κονιορτοποιήθηκε και τοποθετήθηκε σε αεροστεγώς κλεισμένες νάιλον σακούλες, για επιπλέον αναλύσεις που ωστόσο, δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης της παρούσας πτυχιακής. Επιπλέον, υπολογίστηκε η ξηρά ουσία του κάθε φυτού το οποίο εκφράστηκε ως το γινόμενο του χλωρού προς το ξηρό βάρος.



Εικόνα 7. Τα φυτά του σπανακιού έτοιμα προς αποξηήρανση δεξιά, και ο φούρνος αποξηήρανσης αριστερά.

2.6 Στατιστική Ανάλυση

Η σύγκριση των μέσων τιμών των μετρήσεων του πειράματος πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας one-way ANOVA σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($p < 0.05$) χρησιμοποιώντας το SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, IBM, USA). Η μέση τιμή των μετρήσεων προσδιορίστηκε ως προς τη μεταβλητότητα υπολογίζοντας το τυπικό σφάλμα ή την τυπική απόκλιση των τιμών.

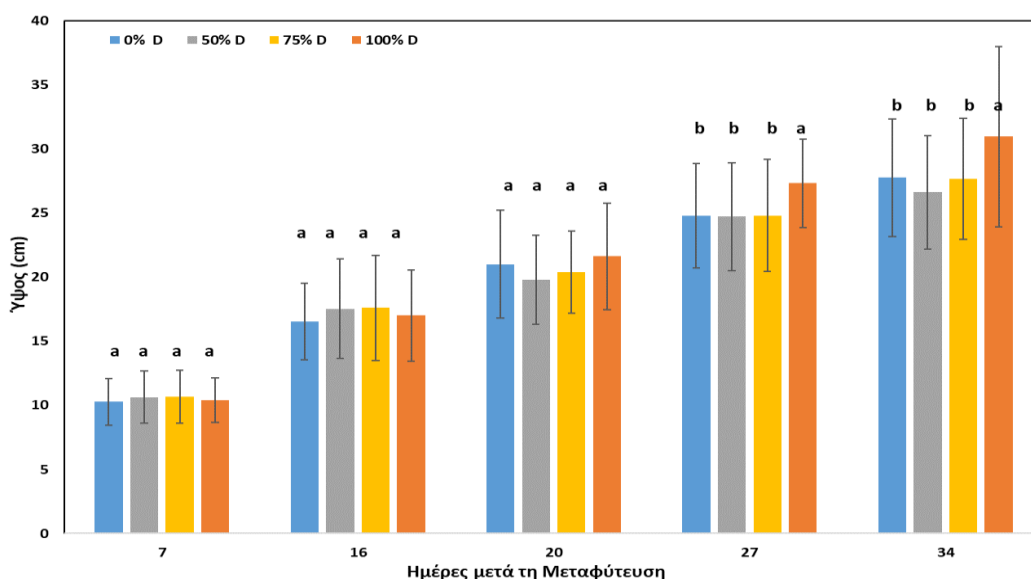
Η στατιστική ανάλυση της καλλιέργειας του σπανακιού βασίστηκε στη σύγκριση των τιμών του ύψους, του αριθμού των φύλλων, της χλωροφύλλης, της φωτοσύνθεσης, καθώς και του νωπού και του χλωρού βάρους των τεσσάρων διαφορετικών μεταχειρίσεων του πειράματος (0% D, 50% D, 75% D και 100% D). Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μια σειρά συγκρίσεων βάσει του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά συγκρίνοντας τις μεταχειρίσεις μεταξύ τους ανά ημέρα, αλλά και επί της κάθε μεταχείρισης μεταξύ των ημερών.

3. Αποτελέσματα

3.1. Ύψος Φυτών Σπανακιού

3.1.1. 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

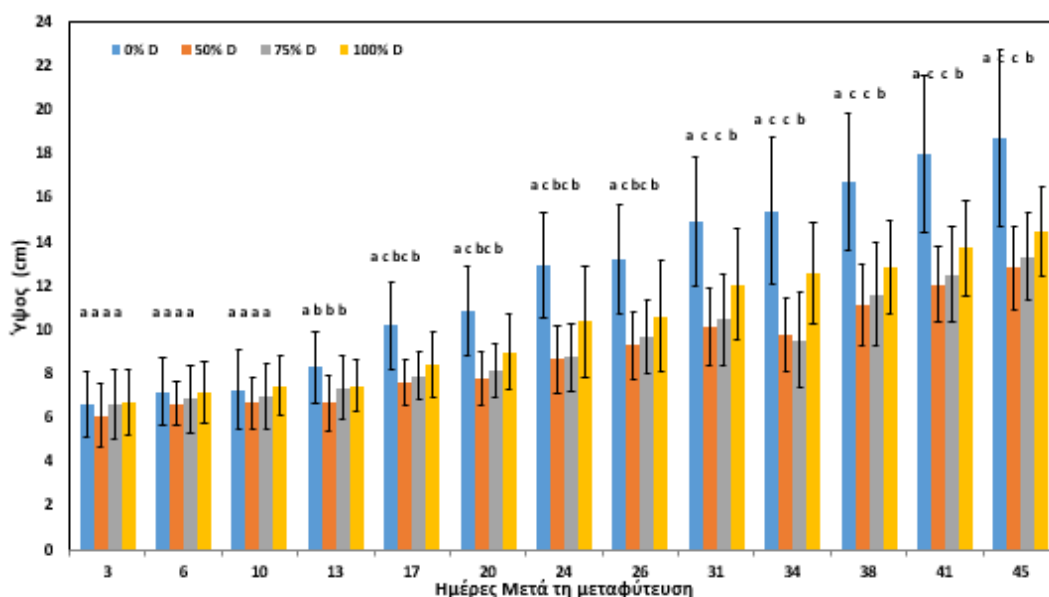
Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η μεταβολή του μέσου όρου του ύψους των φυτών του σπανακιού, κατά το χρονικό διάστημα το οποίο μεσολάβησε μία εβδομάδα μετά τη μεταφύτευση, έως και την 34η ημέρα. Γενικά παρατηρείται αύξηση του ύψους, χωρίς να παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων μέχρι και την 20η ημέρα, όπου τα φυτά είχαν φτάσει στο ύψος των 20 περίπου εκατοστών. Σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν από την 27η ημέρα ανάμεσα στην 100% D με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, με τη μεγαλύτερη διαφορά να σημειώνεται την 34η ημέρα με τα φυτά της 100%D να είναι ψηλότερα κατά 14% από αυτά της μεταχείρισης 50%D, καθώς το μέσο ύψος των φυτών κυμαινόταν στα 31cm και 26cm αντίστοιχα. Η μεταχείριση του μάρτυρα είναι η αμέσως επόμενη σε ύψος φτάνοντας τα 28 εκατοστά, ύψος μικρότερο κατά 11.5% σε σχέση με από αυτό της αμιγώς απορροών. Το μεγαλύτερο ποσοστό ανάπτυξης, παρατηρήθηκε την 16η ημέρα μετά τη μεταφύτευση, όπου όλες οι μεταχειρίσεις αύξησαν το ύψος τους σε ποσοστό άνω του 60% από αυτό της προηγούμενης μέτρησης. Από εκεί και πέρα, το ύψος συνέχισε να αυξάνεται με μικρότερο ωστόσο ρυθμό ανάπτυξης να καταγράφεται μεταξύ των μετρήσεων.



Διάγραμμα 1. Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους των φυτών του σπανακιού, κατά τον 1^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 7^η ημέρα της μεταφύτευσης, έως και την 34^η.

3.1.2. 2^η Καλλιεργητική περίοδος

Οι διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης, φάνηκε να επηρεάζουν το ύψος του σπανακιού, με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές να παρατηρούνται από την 13η μέρα και μέχρι το πέρας του πειράματος, και τα φυτά του μάρτυρα 0%D να υπερτερούν από την ημέρα αυτή, έναντι των άλλων μεταχειρίσεων, με τη υψηλότερη τιμή των 19cm να καταγράφεται κατά την 45η ημέρα διαφέροντας κατά 30% με τις αραιωμένες απορροές και 20% με τα φυτά που ποτιζόταν με καθαρές απορροές. Η μεγαλύτερη ωστόσο απόκλιση μεταξύ των μεταχειρίσεων παρατηρήθηκε την 34η ημέρα, με το μάρτυρα να είναι κατά 40% μεγαλύτερος από τις μεταχειρίσεις με αραιωμένων απορροών. Επιπλέον, δεν παρατηρήθηκε καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο, καμία σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων των αραιωμένων απορροών (50%D, 75%D). Τα φυτά των αραιωμένων απορροών κατά τη λήξη του 2ου καλλιεργητικού κύκλου, δεν κατάφεραν να ξεπεράσουν τα 13.8cm ως συνέπεια, τα φυτά του μάρτυρα να είναι κατά το 1/3^ο μεγαλύτερα. Η μεταβολή του ύψους υπήρξε αρκετά μικρή τις πρώτες 2 εβδομάδες μετά τη μεταφύτευση. Κατά την 17η ημέρα το μέσο ύψος του μάρτυρα αυξήθηκε κατά 22% σε σχέση με την προηγούμενη μέτρηση, ενώ της 50%D μόλις 5%. Μετά την 1η καταστροφική, το ύψος των φυτών αυξανόταν με μικρότερους ρυθμούς, με το ποσοστό αύξησης να κυμαίνεται στο 5% σε όλες τις μεταχειρίσεις.

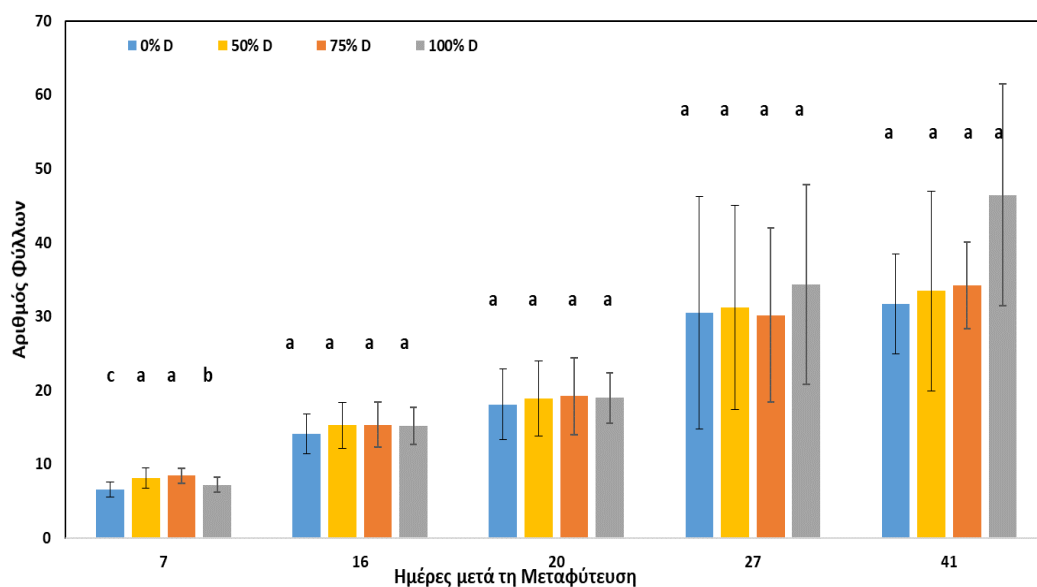


Διάγραμμα 2. Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους των φυτών του σπανακιού κατά το 2^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 3^η ημέρα της μεταφύτευσης έως και την 45^η.

3.2. Αριθμός Φύλλων των φυτών του Σπανακιού

3.2.1. 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

Κατά την 1^η καλλιεργητική περίοδο, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την 1^η μέτρηση η οποία πραγματοποιήθηκε μία εβδομάδα μετά τη μεταφύτευση και την 41^η όπου και έλαβε χώρα η δεύτερη καταστροφική συγκομιδή, δηλαδή το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου. Σύμφωνα με τον πίνακα, η μεταχείριση του μάρτυρα από την αρχή έως το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου, παρουσιάζει το μικρότερο αριθμό φύλλων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, με τη μεγαλύτερη μέση τιμή του να καταγράφεται την 41^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση. Η μεταχείριση 75%D φαίνεται πως παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό σε φύλλα έως και την 27^η ημέρα όπου η μεταχείριση 100%D υπερτερεί σε αριθμό φύλλων μέχρι το πέρας του 1^{ου} πειράματος, με την μεγαλύτερη τιμή, να καταγράφεται την 41^η ημέρα όπου ο μέσος αριθμός φύλλων των φυτών να ανέρχεται στα 47. Ο αριθμός των φύλλων των καθαρών απορροών κατά το πέρας του πειράματος είναι κατά 46.7% μεγαλύτερος από τη μεταχείριση του μάρτυρα. Το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης του αριθμού των φύλλων παρουσιάστηκε κατά την 16^η ημέρα όπου όλες οι μεταχειρίσεις παρουσίασαν διπλάσιο σχεδόν αριθμό φύλλων από την προηγούμενη μέτρηση. Το ποσοστό αυτό μειώθηκε αισθητά την 41^η ημέρα, με τα φυτά της 100%D μεταχείρισης να έχουν αυξήσει τα φύλλα τους κατά 30%, η μεταβολή των αραιωμένων απορροών να κυμαίνεται στο 10%, ενώ του μάρτυρα να μην ξεπερνάει το 3%.

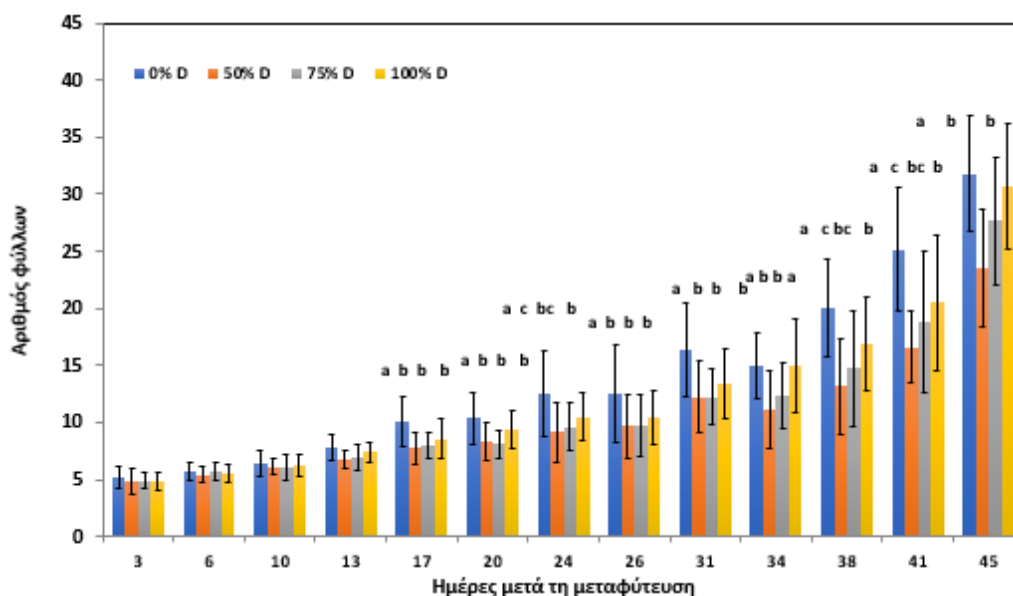


Διάγραμμα 3. Μεταβολή του μέσου όρου του αριθμού των φύλλων κατά τον 1^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 7^η έως την 41^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση.

3.2.2. 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Όπως προκύπτει απ' το διάγραμμα 4, τις πρώτες 10 ημέρες δε παρατηρήθηκαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, με τη μεταχείριση ωστόσο του μάρτυρα να υπερτερεί ελάχιστα από τις μεταχειρίσεις των απορροών. Από τη 13^η ημέρα ξεκίνησαν να υφίστανται σημαντικές διαφορές με τη μεταχείριση του μάρτυρα να υπερέχει σε αριθμό φύλλων έναντι των μεταχειρίσεων των απορροών, έως και το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου, με τον μεγαλύτερο αριθμό να καταγράφεται στη 2^η καταστροφική συγκομιδή, έχοντας φτάσει μέσο μεταχείρισης όρο τα 32 φύλλα. Αριθμός μεγαλύτερος μόλις 3.5% μεγαλύτερος από την αμέσως επόμενη σε αριθμό φύλλων μεταχείριση 100%D και κατά 35% μεγαλύτερη από τη μεταχείριση 50%D. Οι μεταχειρίσεις των απορροών δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους έως και την 24^η ημέρα όπου φαίνεται η μεταχείριση των αμιγώς απορροών 100%D να παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις μεταχειρίσεις των αραιωμένων με νερό απορροών, υπερτερώντας σε αριθμό φύλλων. Διαφορές επίσης μεταξύ των μεταχειρίσεων των απορροών παρατηρούνται ξανά, κατά την 38^η ημέρα έως και το πέρας του πειράματος, με την μεταχείριση 100%D να έχει κατά 1/3 περισσότερα φύλλα από την 50%D. Ο ρυθμός με τον οποίο φαίνεται να αυξάνονται τα φύλλα μέχρι και την πρώτη καταστροφική συγκομιδή, φαίνεται σταθερός με το ρυθμό αύξησης να είναι παρόμοιος για όλες τις μεταχειρίσεις και να κυμαίνεται στο 14%. Από την 1^η έως και

τη δεύτερη καταστροφική συγκομιδή το ποσοστό αυτό αυξάνεται ραγδαία με τις μεταχειρίσεις να αυξάνουν κατά μέσο όρο τον αριθμό των φύλλων τους κατά 25% σε κάθε μέτρηση.

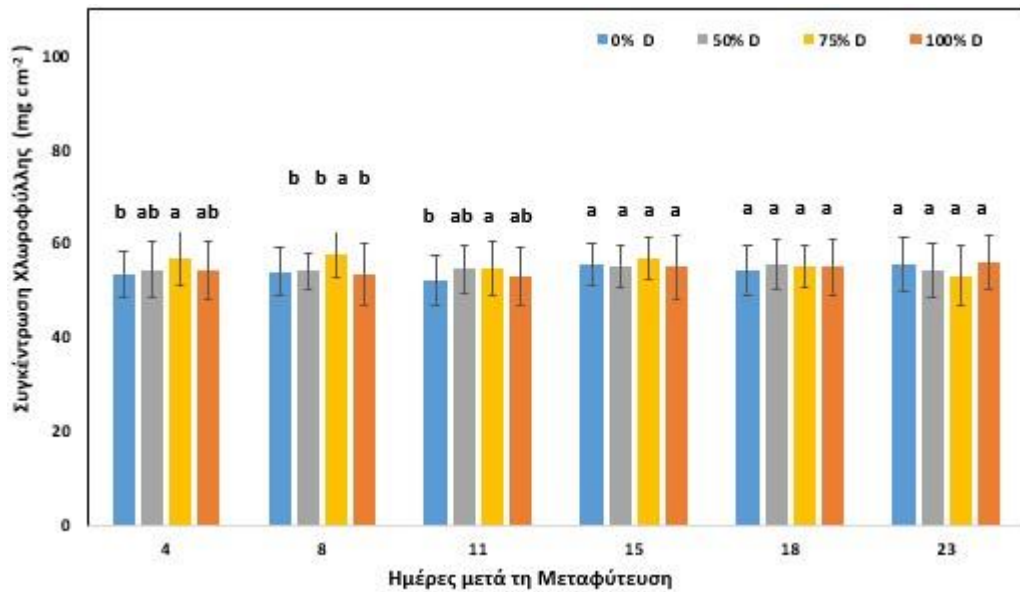


Διάγραμμα 4. Μεταβολή του μέσου όρου του αριθμού των φύλλων του σπανακιού κατά τον 2^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 3^η έως την 45^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση.

3.3. Χλωροφύλλη (SPAD) των φυτών του Σπανακιού

3.3.1. 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

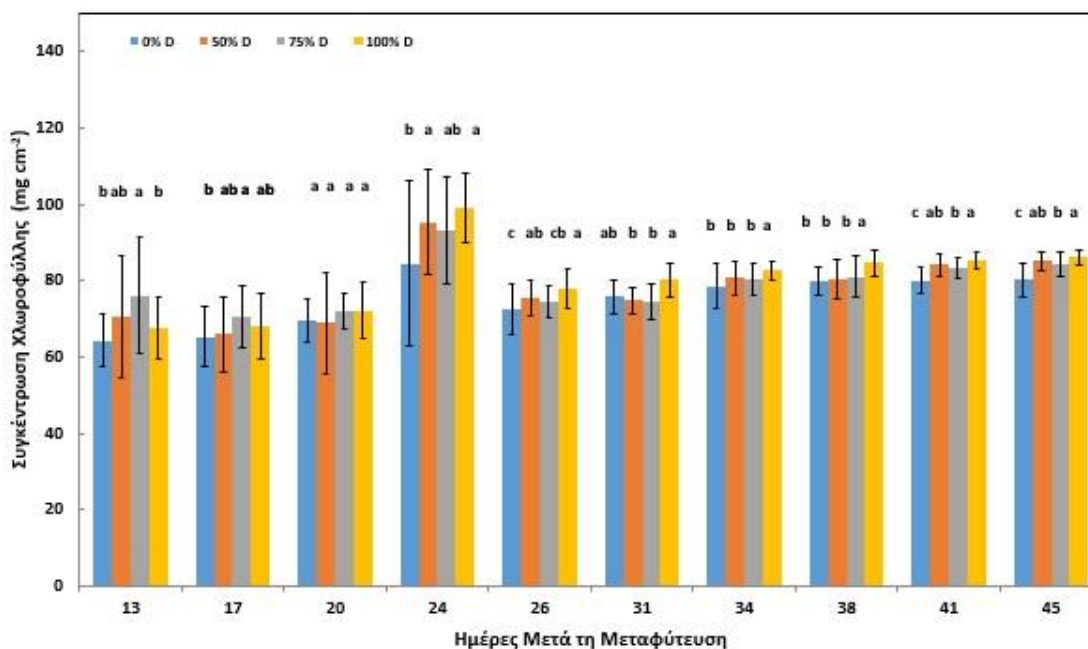
Οι διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης, φάνηκαν να επηρεάζουν την τιμή της χλωροφύλλης από τη δεύτερη εβδομάδα έως και την 23η ημέρα μετά τη μεταφύτευση. Πιο συγκεκριμένα, η μεταχείριση 75%D φαίνεται πως σημειώνει τις μεγαλύτερες μέσες τιμές σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, με τη μικρότερη τιμή να εμφανίζεται την 7η ημέρα μετά τη μεταφύτευση, και τη μεγαλύτερη τιμή των 57 να καταγράφεται κατά την 26η ημέρα μετά τη μεταφύτευση. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ των μεταχειρίσεων παρουσιάστηκαν κατά τη 20η ημέρα με την τιμή της 75%D να είναι κατά 6% μεγαλύτερη από αυτή του μάρτυρα. Από την 26η ημέρα και έως το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου οι τιμές σταθεροποιήθηκαν και δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, με τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων να κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα και η τυπική απόκλιση για όλες τις μεταχειρίσεις να είναι περίπου 5 μονάδες SPAD.



Διάγραμμα 5. Μεταβολή του μέσου όρου των τιμών της χλωροφύλλης των φυτών του σπανακιού κατά τον 1^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 7^η έως την 34^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση.

3.3.2. 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Στο διάγραμμα 6, απεικονίζονται οι τιμές SPAD καθ' όλη τη διάρκεια της δεύτερης καλλιεργητικής περιόδου. Σύμφωνα με το διάγραμμα, ο μάρτυρας φαίνεται να υστερεί από τη δεύτερη εβδομάδα μετά τη μεταφύτευση απ' όπου και ξεκίνησαν οι μετρήσεις, έως και τ τέλος τ πειράματος. Η μεταχείριση 100%D παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές, από την 24η ημέρα και μέχρι το πέρας του πειράματος συνέχισε να υπερτερεί έναντι των άλλων μεταχειρίσεων. Κατά την 1η καταστροφική συγκομιδή, η 100%D δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μάρτυρα, ωστόσο υπερείχε κατά 5,5%. Από την 31η ημέρα μετά τη μεταφύτευση, οι τιμές όλων των μεταχειρίσεων παύουν να έχουν μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των μετρήσεων καθώς και μεταξύ των φυτών της μεταχείρισης, παρουσιάζοντας ωστόσο ελαφρά ανοδική τάση με τις μεγαλύτερες τιμές αυτής της τάσης να εκδηλώνονται κατά την τελευταία ημέρα των μετρήσεων. Με τη λήξη της 2ης καλλιεργητικής περιόδου, παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων, πλην της 100%D με την 50%D καθώς και μεταξύ των 50%D και 75%D. Η 100%D υπερερούσε κατά 7.5% έναντι του μάρτυρα με την επόμενη μεγαλύτερη διαφορά έναντι του μάρτυρα να την παρουσιάζει η 50%D διαφέροντας κατά 6%.

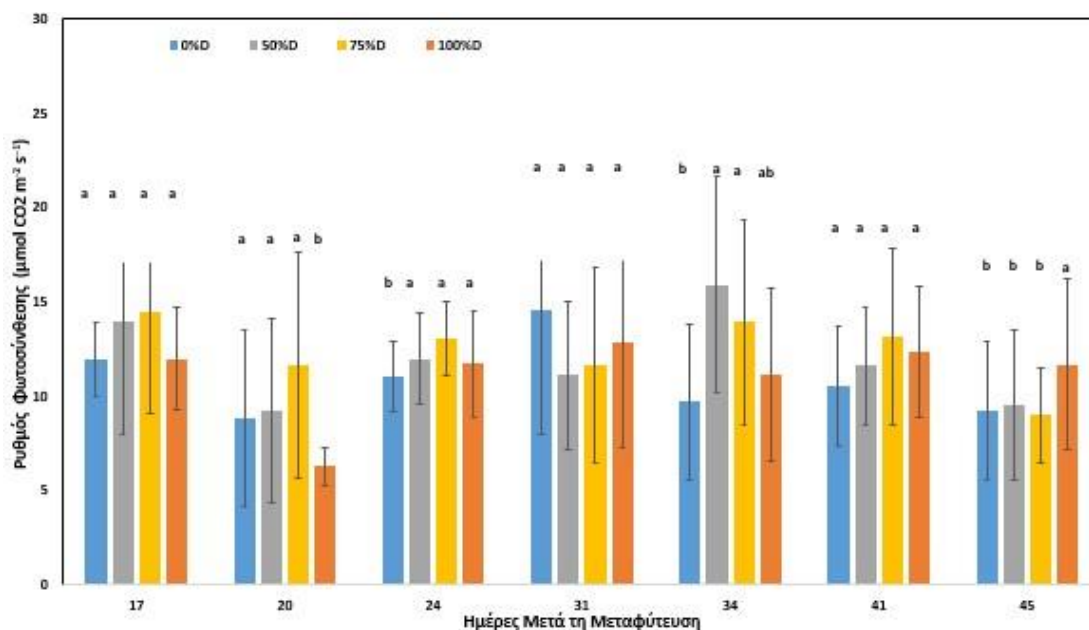


Διάγραμμα 6. Μεταβολή του μέσου όρου των τιμών της χλωροφύλλης των φυτών του σπανακιού κατά τον 2^ο καλλιεργητικό κύκλο, από την 13^η έως την 45^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση.

3.4 Φωτοσύνθεση των Φυτών του Σπανακιού

3.4.1 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

Σύμφωνα με το διάγραμμα 7, σημαντικές διαφορές ξεκινούν και υφίστανται από την 20^η ημέρα αφότου ξεκίνησαν οι μεταχειρίσεις με τη μεγαλύτερη μέση τιμή ανά μεταχείριση να την εμφανίζει η 75%D ($14,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) διαφέροντας σημαντικά με την 100%D η οποία σημείωσε τη μικρότερη τιμή ($6,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Τη μεγαλύτερη τιμή κατά την 23^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση κατέγραψε επίσης η 75%D διαφέροντας σημαντικά από τον μάρτυρα του οποίου η τιμή ήταν μειωμένη κατά 30% από την 1^η. Σημαντικές διαφορές επίσης σημειώθηκαν κατά την 30^η ημέρα, με το μάρτυρα να εξακολουθεί να παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές διαφέροντας σημαντικά από τις μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών και συγκεκριμένα κατά 64% από την 50%D της οποίας η μέση τιμή ήταν $15,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Τέλος κατά την 37^η ημέρα όπου και λήφθηκαν και οι τελευταίες μετρήσεις για την 1^η καλλιεργητική περίοδο, τη μεγαλύτερη μέση τιμή εμφάνισε η μεταχείριση των καθαρών απορροών ($11,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) διαφέροντας σημαντικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις με τη μεγαλύτερη διαφορά να παρουσιάζεται μεταξύ αυτής και του μάρτυρα, με την τιμή της 1^{ης} να είναι κατά 50% μεγαλύτερη από αυτή του μάρτυρα.

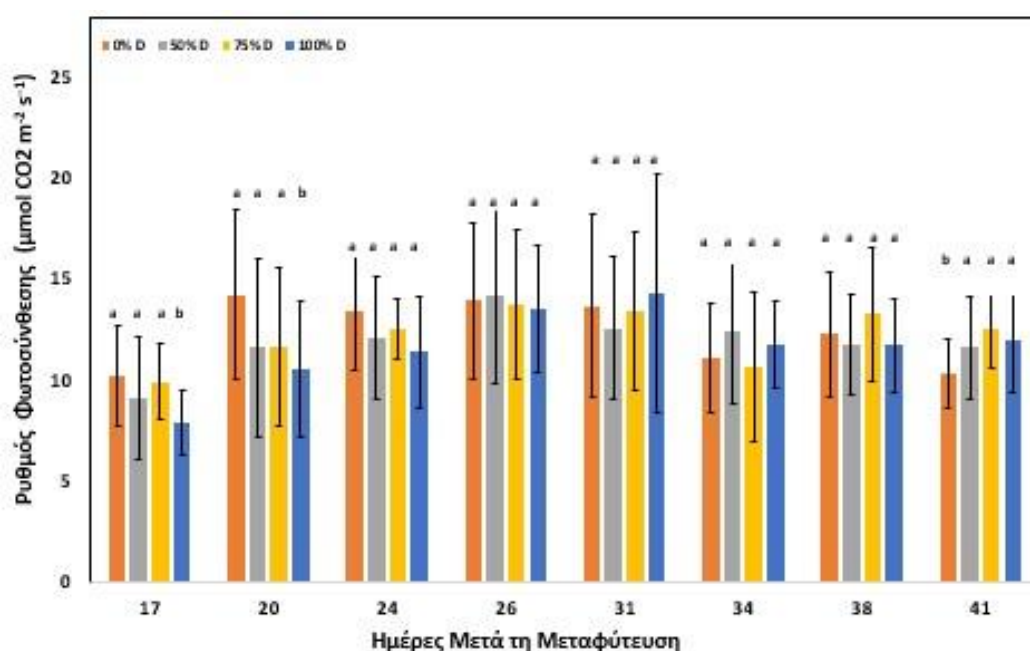


Διάγραμμα 7. Μεταβολή του μέσου όρου του ρυθμού της φωτοσύνθεσης κατά τον 1^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.

3.4.2 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Κατά τον 2^ο καλλιεργητικό κύκλο, δεν εμφανίστηκαν κατά κύριο λόγο σημαντικές διαφορές όσο αναφορά την ταχύτητα της φωτοσύνθεσης μεταξύ των μεταχειρίσεων. Πιο συγκεκριμένα, σημαντικές διαφορές παρουσιάζει με την έναρξη των μετρήσεων ο μάρτυρας και η 75%D, με την 100%D. Ο μάρτυρας σημείωσε τη μεγαλύτερη τιμή μεταξύ των μεταχειρίσεων ($10.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ενώ της 100%D ήτανε κατά 1/4^ο μικρότερη από την τιμή του μάρτυρα και κατά 1/5^ο μικρότερη της 75%D. Μεταξύ των αραιωμένων απορροών και του μάρτυρα δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές. Κατά την DAT 20 και DAT 24, η μέση τιμή της ταχύτητας με την οποία φωτοσυνθέτει μεταχείριση εξακολουθεί να υπερέχει έναντι των μεταχειρίσεων των απορροών. Ωστόσο σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται την μόνο την DAT 20 με τη μεταχείριση των αμιγώς απορροών καθώς η τιμή της 2^{ης} είναι κατά 25% μειωμένη σε σχέση με την 1^η. Αξίζει να αναφερθεί πως την 20^η ημέρα μετά την έναρξη των μεταχειρίσεων ο μάρτυρας παρουσίασε τη μεγαλύτερη τιμή μεταξύ των μεταχειρίσεων καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος ($14.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Από την 26^η ημέρα και μέχρι την 28^η, οι μέσες τιμές των μεταχειρίσεων σταθεροποιούνται μεταξύ τους και δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές. Ωστόσο οι τιμές του

μάρτυρα μειώνονται σταδιακά σε σχέση με αυτές των υπολοίπων μεταχειρίσεων μέχρι και την λήξη του πειράματος την 41^η ημέρα όπου διαφέρει σημαντικά με την 75%D και την 100%D. Η 75%D η οποία σημείωσε τη μεγαλύτερη τιμή (12.6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) διέφερε κατά 22% σε σχέση με το μάρτυρα, ενώ η 100%D διέφερε κατά 16,5%. Μεταξύ των μεταχειρίσεων των απορροών δεν παρουσιάστηκαν διαφορές.



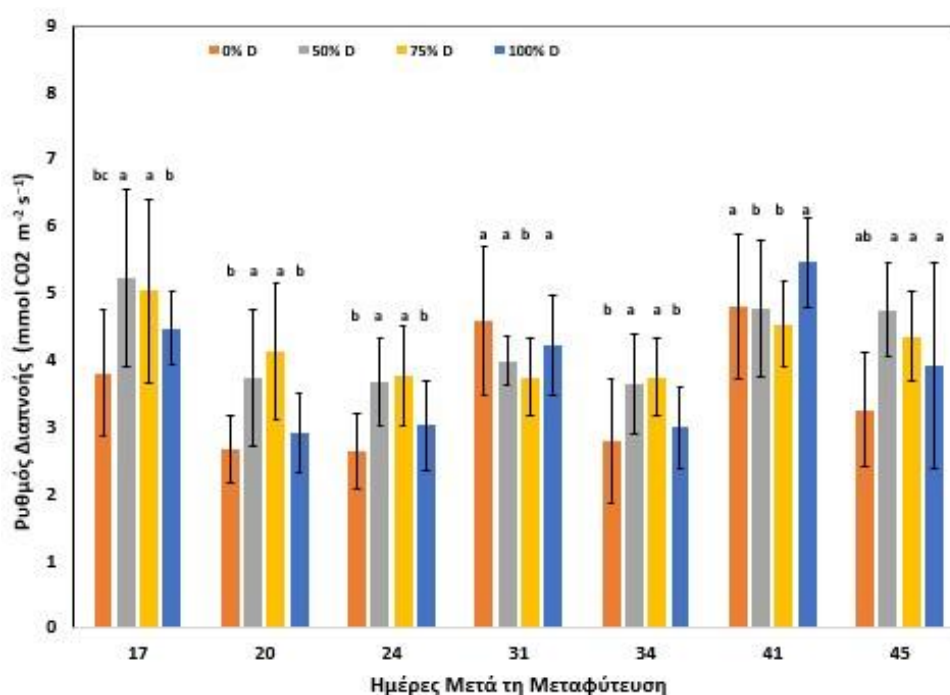
Διάγραμμα 8. Μεταβολή του μέσου όρου του ρυθμού της φωτοσύνθεσης κατά τον 2^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.

3.5 Διαπνοή των Φυτών του Σπανακιού

3.5.1 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

Σύμφωνα με το διάγραμμα της ταχύτητας τη διαπνοής της καλλιέργειας σπανακιού, φαίνεται πως παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Κατά τη 17η ημέρα από την έναρξη των μεταχειρίσεων, ο ρυθμός διαπνοής του μάρτυρα εμφανίζεται σημαντικά μειωμένος σε σχέση με τις μεταχειρίσεις των απορροών. Πιο συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ρυθμό διαπνοής παρουσίασε η 50%D, αφού σημείωσε την τιμή των 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, τιμή μεγαλύτερη κατά 38% από αυτή του μάρτυρα (3.8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Επιπλέον σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν μεταξύ της 50%D και αυτής των αμιγώς απορροών καθώς η τιμή της 100%D εμφανίστηκε κατά 14.5% μειωμένη σε σχέση με την 1^η. Επιπλέον σημαντικά μεγαλύτερος κατά 18% ήταν ο ρυθμός διαπνοής της 100%D σε σχέση με

το μάρτυρα. Σε χαμηλά επίπεδα διατηρήθηκε ο ρυθμός διαπνοής του μάρτυρα επίσης και για την 20^η ημέρα μετά την έναρξη των μεταχειρίσεων. Τη μεγαλύτερη τιμή σημείωσε η 75%D (4,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ενώ του μάρτυρα ήταν μειωμένη κατά το ήμισυ σε σχέση με την 1^η. Η μεταχείριση των αμιγώς απορροών επίσης παρουσίασε σημαντικές διαφορές με αυτές των αραιωμένων απορροών, με την τιμή της 100%D ήταν μειωμένη κατά το 1/3^ο από αυτή της 75%D. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάστηκαν και κατά την 24^η ημέρα. Το μέγιστο μέσο ρυθμό διαπνοής παρουσίασαν οι μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών και πιο συγκεκριμένα η 75%D (3,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ενώ η μέση τιμή της 50%D ήταν μειωμένη κατά 3%. Το μικρότερο μέσο ρυθμό εμφάνισε η μεταχείριση του μάρτυρα (2.6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) τιμή μειωμένη κατά 42% από αυτή της 75%D. Η διαπνοή της μεταχείρισης 100%D, ήταν σημαντικά μειωμένη σε σχέση με τις αραιωμένες απορροές και συγκεκριμένα κατά το 1/5^ο με αυτή της 75%D, ενώ ωστόσο δεν διέφερε σημαντικά με το μάρτυρα. Κατά την 1^η συγκομιδή (31^η ημέρα), η τιμή του μάρτυρα παρουσιάζεται αρκετά μεγαλύτερη μεταξύ των μεταχειρίσεων των απορροών (4.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ωστόσο σημαντικές διαφορές εμφανίστηκαν μόνο μεταξύ αυτού και της 75%D η τιμή της οποίας διέφερε κατά 20% σε σχέση με αυτή του μάρτυρα. Την 34^η ημέρα μετά την έναρξη των μεταχειρίσεων, τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια με αυτά της 24^{ης} ημέρας, καθώς τις μεγαλύτερες τιμές παρουσίασαν οι μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών, 3.75 και 3.66 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ η 75% και 50% αντίστοιχα.

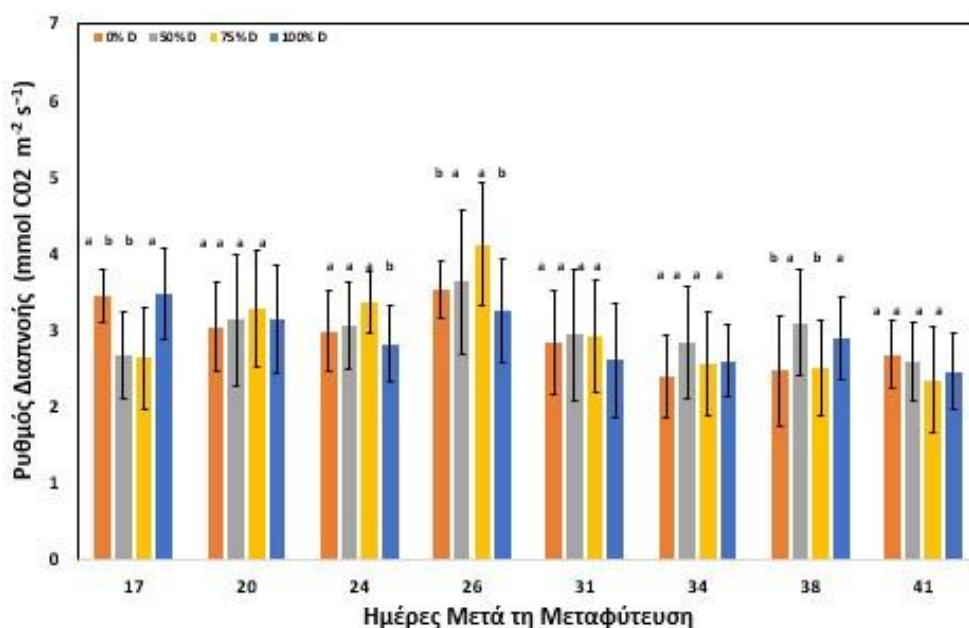


Διάγραμμα 9. Μεταβολή του μέσου όρου του ρυθμού της διαπνοής των φυτών του σπανακιού, κατά τον 1^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.

3.5.2 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν και κατά τον 2^ο καλλιεργητικό κύκλο σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα. Όπως παρατηρούμε, 2 εβδομάδες έπειτα από την εγκατάσταση της καλλιέργειας, τον μεγαλύτερο ρυθμό διαπνοής κατά τη συγκεκριμένη ημέρα εμφάνισε η μεταχείριση των αμιγώς απορροών σημειώνοντας την τιμή των $3.48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ μεγαλύτερη μόλις κατά 0.7% από την τιμή του μάρτυρα. Ο μέσος ρυθμός διαπνοής από τις 2 μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών, φαίνεται σημαντικά μειωμένος σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, αφού διέφεραν κατά το $1/4^{\circ}$ σε σχέση με τον μάρτυρα και κατά 30% σε σχέση με την 100%D. Πέντε μέρες μετέπειτα, δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων με τη μεγαλύτερο μέσο ρυθμό να παρουσιάζεται στη μεταχείριση της 75%D με την τιμή της ($3.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) να είναι μεγαλύτερη κατά 7.8% από την τιμή του μάρτυρα ($3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Κατά την DAT 24 η τιμή της μεταχείρισης 75% εξακολουθεί να υπερτερεί έναντι των υπολοίπων μεταχειρίσεων με το μέσο ρυθμό διαπνοής της ($3.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) να είναι κατά 12% μεγαλύτερος από αυτόν του μάρτυρα, χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά. Σημαντικές διαφορές κατά τη συγκεκριμένη ημέρα εμφανίζονται μόνο μεταξύ της 75%D και της 100%D με την 2^η να καταγράφει τη μικρότερη τιμή σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις ($2,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Δύο μέρες αργότερα η μέση τιμή της διαπνοής του μάρτυρα, αν και είναι εμφανώς μεγαλύτερη από αυτές των προηγούμενων μετρήσεων ($3,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), παρουσιάζει σημαντική διαφορά με την 75%D η οποία σημείωσε τη μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις ($4.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Σημαντικές διαφορές με την 75%D παρουσίασε επίσης η 100%D, η τιμή της οποίας υστερούσε έναντι των υπολοίπων μεταχειρίσεων ($3.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Μεταξύ των αραιωμένων απορροών δεν σημειώθηκαν διαφορές. Μειωμένες σε σχέση με τις προηγούμενες μετρήσεις σημειώθηκαν οι τιμές όλων των μεταχειρίσεων κατά την DAT 31, ενώ δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Αυξημένες σε σχέση με τον μάρτυρα ήταν οι τιμές των αραιωμένων απορροών με τη μεγαλύτερη τιμή να κατέχει η 50%D ($2.94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ενώ παρόμοια τιμή ($2.93 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) σημείωσε η 75%D. Η τιμή της μεταχείρισης των καθαρών απορροών υστερούσε έναντι των υπολοίπων. Κατά την DAT 34 επίσης δεν σημειώθηκαν σημαντικές

διαφορές, ωστόσο ο μάρτυρας σημείωσε τη μικρότερη τιμή μεταξύ των μεταχειρίσεων ($2.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ενώ τη μεγαλύτερη μέση τιμή κατέγραψε η 50%D ($2.84 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Μειωμένη επίσης εμφανίστηκε η τιμή του μάρτυρα και κατά την 38^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση καθώς υστερούσε έναντι των υπολοίπων μεταχειρίσεων, διαφέροντας σημαντικά από την 50%D η οποία και εμφάνισε τη μεγαλύτερη τιμή ($3.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Σημαντικά διαφέρει η τελευταία και με την 75%D. Μεταξύ του μάρτυρα και των υπολοίπων μεταχειρίσεων, δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές. 41 ημέρες μετά τη μεταφύτευση η τιμή του μάρτυρα υπερτερεί έναντι των υπολοίπων ($2.68 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ενώ δεν παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Αξίζει να σημειωθεί πως την συγκεκριμένη ημέρα, οι μεταχειρίσεις των απορροών παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές καθ' όλη τη διάρκεια του 2^{ου} καλλιεργητικού κύκλου.



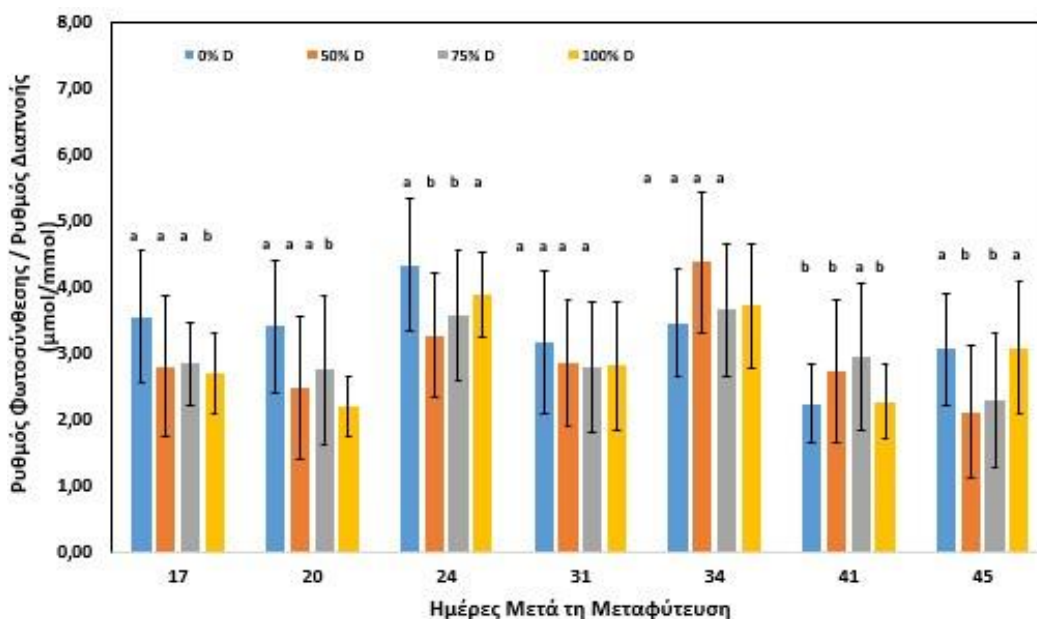
Διάγραμμα 10. Μεταβολή του μέσου όρου του ρυθμού της διαπνοής των φυτών του σπανακιού, κατά τον 2^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας

3.6 Ρυθμός Φωτοσύνθεσης προς τον ρυθμό Διαπνοής των Φυτών του Σπανακιού

3.6.1 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 11, οι διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης είχαν ως αποτέλεσμα να εμφανιστούν σημαντικές διαφορές στη στιγμιαία WUE. Δύο εβδομάδες από την έναρξη των μεταχειρίσεων έως και την 31^η ημέρα, τον μεγαλύτερο λόγο εμφανίζει η μεταχείριση του μάρτυρα. Πιο συγκεκριμένα, κατά την

17^η ημέρα από την έναρξη των μεταχειρίσεων όπου και πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση, η τιμή του μάρτυρα (3.5) είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή των αμιγώς απορροών διαφέροντας κατά το $1/4^{\circ}$. Μεταξύ των αραιωμένων απορροών καθ' των υπολοίπων μεταχειρίσεων δεν εμφανίζονται διαφορές ωστόσο η μέση τιμή τους είναι μειωμένη κατά 20% από αυτή του μάρτυρα. Την DAT 20 εξακολουθούν να υφίστανται οι διαφορές που προέκυψαν από την προηγούμενη μέτρηση. Η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ μάρτυρα και 100%D αυξήθηκε (35%) ενώ ταυτοχρόνως αυξήθηκε και η διαφορά του 1^{ου} με την 50%D (27%) χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά. Σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν και την DAT 24, οι οποίες καθ' αυτή την ημέρα σημειώθηκαν μεταξύ του μάρτυρα και των αραιωμένων απορροών. Ο μάρτυρας τη συγκεκριμένη ημέρα εμφάνισε την μεγαλύτερη τιμή καθ' όλη τη διάρκεια του καλλιεργητικού κύκλου (4.35), ενώ τη μικρότερη τιμή (3.3) παρουσίασε η 50%D, τιμή μικρότερη κατά 25% από αυτή τ μάρτυρα. Σημαντική διαφορά παρουσίασε και η 100%D με την 50%D, με την τιμή της 2^{ης} να είναι κατά το $1/5^{\circ}$ μικρότερη. Μειωμένες σε σχέση με τις προηγούμενες ημέρες ήταν οι λόγοι όλων των μεταχειρίσεων κατά την DAT 31, με μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους, χωρίς ταυτοχρόνως να παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Κατά την DAT 34 επίσης η απουσία σημαντικών διαφορών εξακολουθεί να υφίσταται, με τον λόγο του μάρτυρα (3.46) να υστερεί έναντι των υπολοίπων μεταχειρίσεων. Τη μεγαλύτερη WUE, εμφάνισε η 50%D, καθώς ήταν αυξημένη κατά το $1/4^{\circ}$ σε σχέση με τον μάρτυρα. 41 ημέρες μετά την έναρξη των μεταχειρίσεων, ο μάρτυρας εξακολουθεί να κατέχει τη μικρότερη όλων των μεταχειρίσεων τιμή (2.2), καθώς και την μικρότερη του καλλιεργητικού κύκλου. Η μεταχείριση 75%D παρουσίασε τη μεγαλύτερη WUE (2.9), μεγαλύτερος κατά 30% από την τιμή του μάρτυρα, ενώ διέφερε σημαντικά και από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Με τη λήξη του καλλιεργητικού κύκλου, κατά την 2^η συγκομιδή, ο μάρτυρας και η μεταχείριση των αμιγώς απορροών υπερέχουν έναντι των μεταχειρίσεων των αραιωμένων απορροών ενώ οι τιμές τους διαφέρουν ελάχιστα (3.06 και 3. η 0% και 100% αντίστοιχα). Σημαντικές διαφορές με τον μάρτυρα παρουσίασαν οι μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών 50%D και 75%D καθώς οι τιμές τους διέφεραν του μάρτυρα κατά 31 και 25% αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφορά καταγράφηκε μεταξύ του της 100%D και της 50%D καθώς η δεύτερη διέφερε κατά το ήμισυ σε σχέση με την πρώτη και ταυτόχρονα διέφεραν στατιστικά σημαντικά. Μεταξύ των αραιωμένων απορροών δεν υπήρξαν διαφορές.

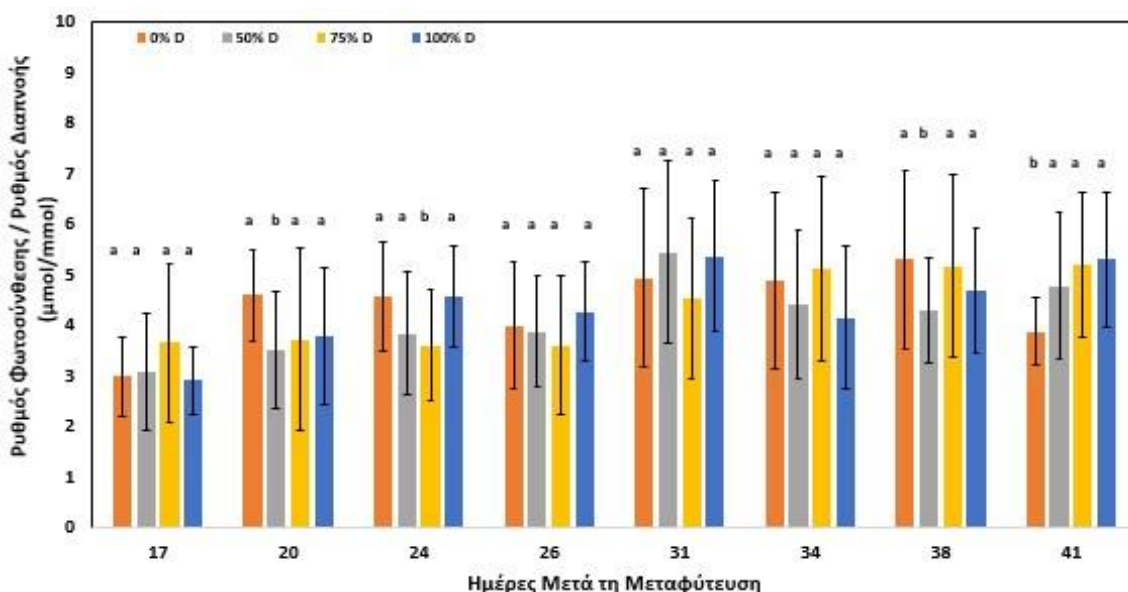


Διάγραμμα 11. Μεταβολή της στιγμιαίας WUE των φυτών του σπανακιού, κατά τον 1^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.

3.6.2 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 12, η στιγμιαία WUE επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από την εφαρμογή διαφορετικών στρατηγικών άρδευσης στην καλλιέργεια του σπανακιού. Παρατηρώντας το διάγραμμα, οι διαφορές εντοπίζονται κυρίως προς το τέλος του καλλιεργητικού κύκλου. Πιο συγκεκριμένα, δεν καταγράφηκαν διαφορές με την έναρξη των μετρήσεων οι οποίες ξεκίνησαν να λαμβάνουν χώρα 17 ημέρες μετά την εγκατάσταση των φυτών στους σάκους πετροβάμβακα. Η μεγαλύτερη τιμή τη συγκεκριμένη ημέρα εντοπίστηκε στην μεταχείριση 75%D (3.7), ενώ η μικρότερη (2.91), στην 100%D η οποία διέφερε ελάχιστα από το μάρτυρα καθώς ήταν μικρότερη κατά 2%. Εμφανώς μεγαλύτερη την DAT 20 είναι η WUE του μάρτυρα (4.6) έναντι των υπολοίπων μεταχειρίσεων, με σημαντικές διαφορές ωστόσο να σημειώνονται μόνο μεταξύ αυτού και της 50%D η οποία και είχε τη μικρότερη τιμή ($3.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Όμοιες μεταξύ τους τιμές παρουσίασαν η μεταχείριση του μάρτυρα και των καθαρών απορροών (4.6) κατά την 24^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση. Διαφορές εντοπίστηκαν ανάμεσα στις προαναφερθείσες μεταχειρίσεις και της 75%D, της οποίας η τιμή ήταν και η μικρότερη όλων (3.6) την παρούσα ημέρα, διαφέροντας κατά το 20% της τιμής του μάρτυρα. Την 26 DAT δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων όμως οι τιμές της στιγμιαίας WUE, είναι μικρότερες έναντι των

υπολοίπων ημερών. Η 100%D (4.3) είναι ποσοστιαία μεγαλύτερη κατά 6,8% από τον μάρτυρα (4) ενώ φάνηκε να υστερεί όλων η 75% (3.6), η τιμή της οποίας παρέμεινε ίδια με την προηγούμενη μέτρηση. Την DAT 31 καθώς και την DAT 34 δεν προκλήθηκαν σημαντικές διαφορές, λόγω των διαφορετικών στρατηγικών άρδευσης. Κατά την προτελευταία ημέρα μετρήσεων, διαφορές σημειώθηκαν μεταξύ του μάρτυρα (5.3), ο οποίος υπερέιχε όλων των μεταχειρίσεων και της 50%D (4.3) όπου και σημείωσε τη μικρότερη τιμή. Μεταξύ των υπολοίπων μεταχειρίσεων ωστόσο, δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές. Με τη λήξη του καλλιεργητικού κύκλου (DAT 41) σημαντικά μειωμένη έναντι όλων των μεταχειρίσεων είναι η τιμή του μάρτυρα (3.9). Ειδικότερα, ήταν μειωμένη κατά 36% από την 100%D (5.3) (της οποίας η τιμή ήταν μεγαλύτερη έναντι των υπολοίπων), κατά 34% από την 75%D, ενώ μικρότερη των υπολοίπων σημειώθηκε η ποσοστιαία διαφορά (23%) με την 50%D. Τέλος, μεταξύ των μεταχειρίσεων των απορροών δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές όσο αναφορά τη στιγμιαία WUE.



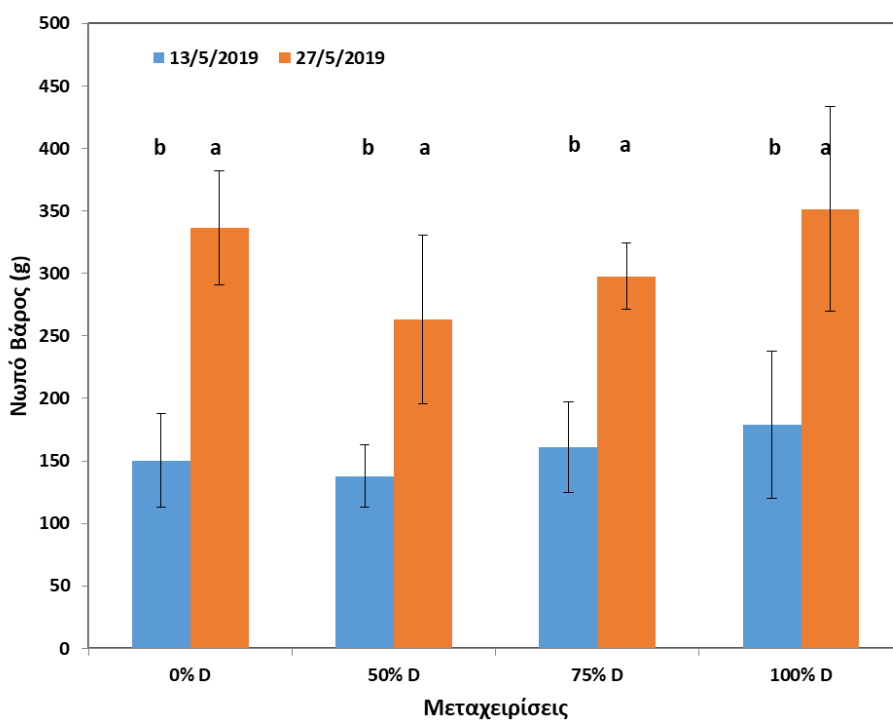
Διάγραμμα 12. Μεταβολή της στιγμιαίας WUE των φυτών του σπανακιού, κατά τον 2^ο πειραματικό κύκλο καλλιέργειας.

3.7 Χλωρό Βάρος της Καλλιέργειας Σπανακιού

3.7.1 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 13, οι διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης δε φάνηκε να επηρεάζουν το νωπό βάρος των φυτών του σπανακιού κατά την πρώτη καταστροφική συγκομιδή. Πιο συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο μέσο βάρος 180 g το

είχε η μεταχείριση των καθαρών απορροών, τιμή μεγαλύτερη κατά 20g από την 75%D και 30 g από αυτή του μάρτυρα. Το μικρότερο μέσο βάρος το είχε αυτή της 50% D με μέσο βάρος 135 g. Κατά τη 2^η καταστροφική συγκομιδή (DAT40) το νωπό βάρος των φυτών του σπανακιού δεν έμεινε ανεπηρέαστο από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης. Παρατηρώντας το διάγραμμα 3.5.1, κατά τη δεύτερη συγκομιδή φαίνεται πως το μεγαλύτερο βάρος το κατέχει και πάλι η μεταχείριση 100%D με το μέσο βάρος της (350 g) να ξεπερνάει μόλις κατά 10gr αυτό του μάρτυρα δηλαδή 4% μεγαλύτερο. Οι αραιωμένες απορροές παρουσίασαν στατιστικά σημαντική μείωση σε σχέση με τη 0%D και την 100%D με το μέσο βάρος της 50%D να είναι 260 g, μικρότερο κατά το 1/3 δηλαδή από αυτό της 100%D. Η μεταχείριση 75%D παρουσίασε 12% μεγαλύτερο βάρος (300 g) από την 50%D χωρίς ωστόσο να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.



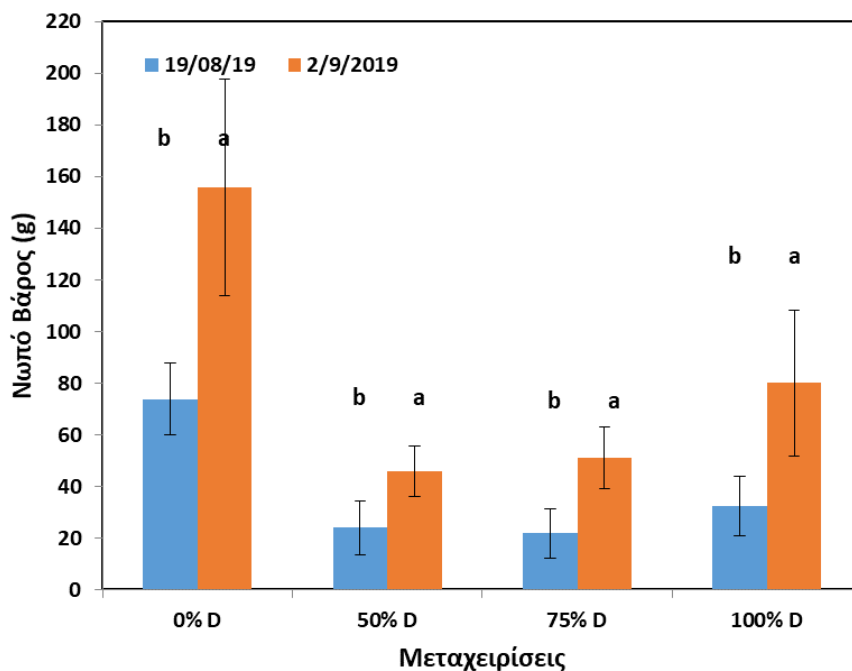
Διάγραμμα 13. Το νωπό βάρος των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του πρώτου κύκλου καλλιέργειας.

Πίνακας 4. Νωπό βάρος (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο.

Μεταχειρίσεις	1^η Συγκομιδή	2^η Συγκομιδή
0% D	150.3 ± 37.7 a	336,4 ± 45,3 a
50% D	137.9 ± 24.9 b	262.9 ± 67.5 b
75% D	160.9 ± 36.4 a	297.8 ± 26.2 b
100% D	178.9 ± 58.8 a	351.6 ± 80 a

3.7.2. 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Στο διάγραμμα 14. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μέσου όρου του βάρους των φυτών του σπανακιού, κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του 2^{ου} κύκλου καλλιέργειας. Σύμφωνα με το διάγραμμα, ο μάρτυρας υπερέχει σε μέση τιμή βάρους και στις 2 καταστροφικές συγκομιδές όπου και παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Πιο συγκεκριμένα, το μέσο βάρος της μεταχείρισης φρέσκου θρεπτικού διαλύματος κατά την DAT 31 ήταν 74(g). Η μεταχείριση των καθαρών απορροών παρουσίασε κατά 55% λιγότερο βάρος από αυτή του μάρτυρα, κάνοντάς την έτσι να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. Οι μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών δε παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, ωστόσο ήταν αρκετά μειωμένο το μέσο βάρος τους, με την 75%D να έχει μέσο βάρος 22 g διαφέροντας σημαντικά και από την 100%D καθώς ήταν κατά 50% μικρότερη η τιμή της, και 70% από την τιμή του μάρτυρα. Κατά την 2^η συγκομιδή παρουσιάστηκαν παρόμοιες διαφορές με την 1^η με την 100%D να υστερεί κατά το ήμισυ του βάρους του μάρτυρα του οποίου το μέσο βάρος διαμορφώθηκε στα 155(g). Φαίνεται πως στο μέσο διάστημα μεταξύ των DAT 31 και DAT 45 ο μάρτυρας αύξησε το μέσο βάρος του κατά 110%. Οι μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών δε παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους με την 75%D να υπερέχει αυτή τη φορά έναντι της 50%D κατά 10% με την 2^η να έχει κατά σχεδόν $\frac{3}{4}$ μικρότερο βάρος από αυτό του μάρτυρα. Η μεταχείριση των καθαρών απορροών παρουσίασε σημαντικές διαφορές και με τις 2 μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών διαφέροντας έως και 75% με αυτή της 50%D. Επίσης παρουσίασε τη μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση μεταξύ των συγκομιδών από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις αφού αύξησε το βάρος της σχεδόν κατά 150%.



Διάγραμμα 14. Το νωπό βάρος των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του δεύτερου κύκλου καλλιέργειας.

Πίνακας 5. Νωπό βάρος (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την δεύτερη καλλιεργητική περίοδο

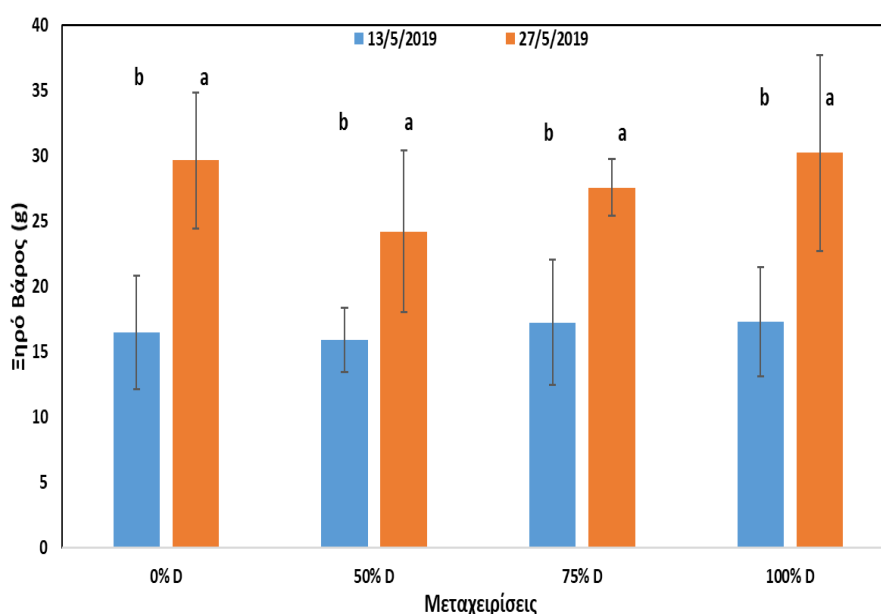
Μεταχειρίσεις	1 ^η Συγκομιδή	2 ^η Συγκομιδή
0% D	73.8 ± 14.03 a	155.9 ± 42.1 a
50% D	24.04 ± 10.4 b	45.78 ± 9.8 c
75% D	21.73 ± 9.63 bc	51.0 ± 11.8 c
100% D	32.46 ± 11.5 b	80.0 ± 28.4 b

3.8 Ξηρό Βάρος της Καλλιέργειας Σπανακιού

3.8.1 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

Στο διάγραμμα 15, παρουσιάζεται το βάρος των φυτών του σπανακιού μετά την αποξήρανση αυτών κατά την 1^η καλλιεργητική περίοδο, για τις 2 καταστροφικές συγκομιδές που πραγματοποιήθηκαν. Έπειτα τις πραγμάτωσης αυτών, δε καταγράφηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0.05$). Κατά την 1^η συγκομιδή ωστόσο, το μεγαλύτερο βάρος το κατείχε η 100%D και για τις δύο συγκομιδές που πραγματοποιήθηκαν με βάρος 17.5(g) και 30.19(g) για την 1^η και 2^η αντίστοιχα. Μάρτυρας κατά την 1^η συγκομιδή κατέγραψε μέσο βάρος 16.5(g), τιμή μικρότερη κατά 4.75% από την 100%D και 4,5% από την 75%D. Το μικρότερο βάρος και για τις

2 συγκομιδές το εμφάνισε η 50%D με βάρος για την 1^η και τη 2^η 16(g) και 24(g) διαφέροντας από το μάρτυρα κατά 3.5% και 22.5% αντίστοιχα. Στην 2^η συγκομιδή ο μάρτυρας κατέγραψε μέσο βάρος 29.5(g) βάρος μικρότερο μόλις 1.8% από αυτό της 100%D και κατά 7.5% μεγαλύτερο από αυτό της μεταχείρισης των καθαρών απορροών. Σημαντική ήταν επίσης και η μεταβολή του ξηρού βάρους ενδιάμεσα των 2 συγκομιδών διαφέροντας σημαντικά για όλες τις μεταχειρίσεις. Μεγαλύτερη μεταβολή κατέγραψε ο μάρτυρας με αφού αύξησε την τιμή του κατά 13(g), ενώ η μικρότερη μεταβολή σημειώθηκε από την 50%D, αυξάνοντας το βάρος της κατά το ήμισυ δηλαδή 8(g).



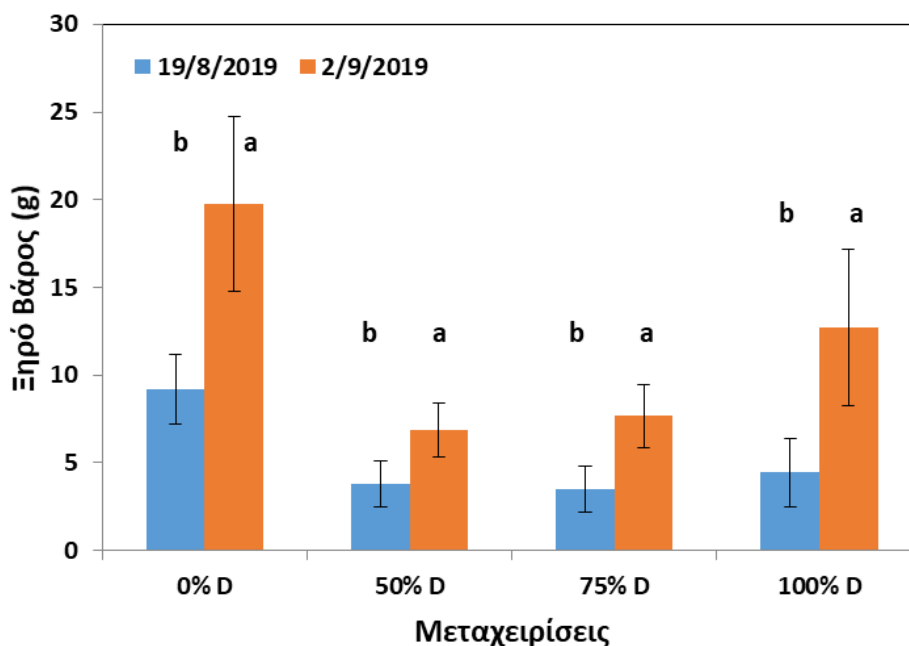
Διάγραμμα 15. Το ξηρό βάρος των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του πρώτου κύκλου καλλιέργειας.

Πίνακας 6. Ξηρό βάρος (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο.

Μεταχειρίσεις	1 ^η Συγκομιδή	2 ^η Συγκομιδή
0% D	16.47 ± 4.3 a	29.6 ± 5.2 a
50% D	15.9 ± 2.4 a	24.2 ± 6.2 a
75% D	17.23 ± 4.8 a	27.6 ± 2.2 a
100% D	17.29 ± 4.2 a	30.2 ± 7.5 a

3.8.2 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Κατά τη 2^η καλλιεργητική περίοδο, φαίνεται πως οι διαφορετικές μέθοδοι άρδευσης, επηρέασαν τις αποδώσεις των φυτών όσο αναφορά το ξηρό βάρος. Ειδικότερα, κατά την πρώτη συγκομιδή, ο μάρτυρας εμφάνισε το μεγαλύτερο μέσο βάρος (9.2(g)) από όλες τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, με αποτέλεσμα να διαφέρει σημαντικά. Η μεταχείριση των καθαρών απορροών διέφερε κατά το ήμισυ του μάρτυρα ενώ οι μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών (50%D και 100%D) είχαν μειωμένο ξηρό βάρος κατά 58% και 61% αντίστοιχα αφού η τελευταία είχε μέσο ξηρό βάρος κατά την 1^η συγκομιδή 3.5(g). Με το πέρας και της 2^{ης} συγκομιδής οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων αυξήθηκαν καθώς σημειώθηκαν περισσότερες σημαντικές διαφορές. Ο μάρτυρας εξακολούθησε να έχει το μεγαλύτερο μέσο ξηρό βάρος 19.7(g) διαφέροντας σημαντικά από την αμέσως επόμενη σε σειρά 100%D όπου σημείωσε την τιμή των 12.75(g). Οι τιμές των αραιωμένων απορροών 50%D και 75%D παρέμειναν σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις υπόλοιπες αφού ήταν, 6.87(g) και 7.67(g) αντίστοιχα με αποτέλεσμα να διαφέρουν σημαντικά και από το μάρτυρα καθώς και από την 100%D. Ωστόσο μεταξύ τους δε διέφεραν σημαντικά. Στο μεσοδιάστημα των δύο συγκομιδών, όλες οι μεταχειρίσεις αύξησαν σημαντικά το μέσο ξηρό βάρος τους με τη μεγαλύτερη αυτή της 100%D αφού τη ξηρό βάρος αυξήθηκε κατά 187%. Τη μικρότερη ποσοστιαία αύξηση παρουσίασε αυτή της 50%D καθώς ήταν η μόνη μεταχείριση που δεν διπλασίασε το βάρος της, αυξάνοντάς το μόνο κατά 80% ενώ ο μάρτυρας παρουσίασε μία ποσοστιαία αύξηση κατά 115%.



Διάγραμμα 16. Το ξηρό βάρος των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του δεύτερου κύκλου καλλιέργειας.

Πίνακας 7. Ξηρό βάρος (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την δεύτερη καλλιεργητική περίοδο.

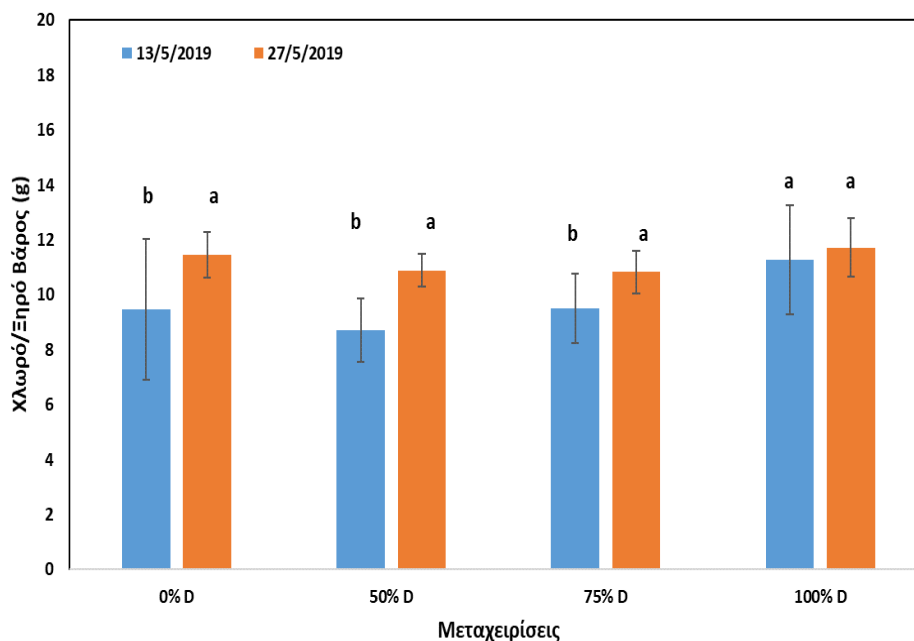
Μεταχειρίσεις	1 ^η Συγκομιδή	2 ^η Συγκομιδή
0% D	9.2 ± 1.2 a	19.8 ± 7.5 a
50% D	3.8 ± 1.3 b	6.9 ± 1.5 c
75% D	3.5 ± 1.3 b	7.7 ± 1.8 c
100% D	4.5 ± 1.2 b	12.7 ± 4.5 b

3.9 Λόγος Νωπού προς Ξηρού Βάρους των Φυτών του Σπανακιού

3.9.1 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

Ο λόγος του νωπού προς ξηρού βάρους κατά τον 1^ο κύκλο καλλιέργειας παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 17. Κατά την 1^η συγκομιδή, το μεγαλύτερο λόγο παρουσίασε η μεταχείριση 100%D της οποίας ο λόγος ήταν 11.27 διαφέροντας κατά το 1/5^ο από το μάρτυρα. Η μικρότερη τιμή εμφανίστηκε στην 50%D η οποία ήταν κατά 8% μικρότερη του μάρτυρα. Ωστόσο δεν εμφανίστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Κατά τη δεύτερη συγκομιδή οι μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών φάνηκε να διαφέρουν σημαντικά από αυτή των καθαρών απορροών, αφού η 100%D (11.71) εμφάνισε το μεγαλύτερο λόγο ενώ η 75% το χαμηλότερο (10.82) διαφέροντας ελάχιστα από την 50%D (10.88). Ο μάρτυρας δεν παρουσίασε καμία διαφορά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Στο ενδιάμεσο των δύο

συγκομιδών, όλες οι μεταχειρίσεις πλην της 100%D αυξήσαν σημαντικά το λόγο του νωπού προς ξηρού βάρους. Πιο συγκεκριμένα τη μεγαλύτερη ποσοστιαία μεταβολή παρουσίασε η 50%D αφού κατάφερε να αυξήσει την τιμή του λόγου κατά το ¼ ενώ ο μάρτυρας τη μετέβαλε κατά το 1/5°. Τέλος η 100%D όπως προαναφέρθηκε κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα αφού ο λόγος της αυξήθηκε μόλις 3.5%.



Διάγραμμα 17. Ο λόγος νωπού προς ξηρού βάρους των φυτών του σπανακιού κατά τον 1^ο κύκλο καλλιέργειας

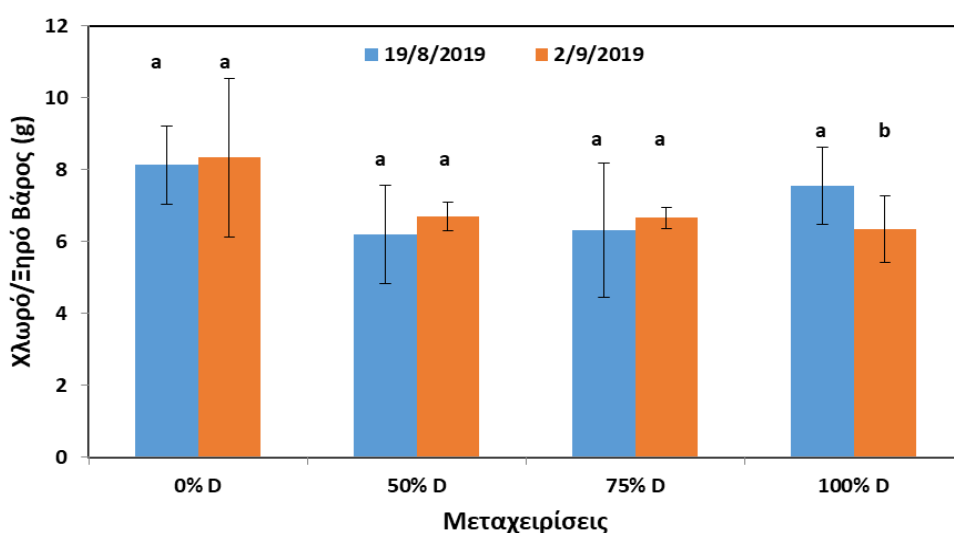
Πίνακας 8. Ο λόγος χλωρού προς ξηρού βάρους (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο.

Μεταχειρίσεις	1 ^η Συγκομιδή	2 ^η Συγκομιδή
0% D	9.5 ± 2.6 a	11.5 ± 0.8 a
50% D	8.7 ± 1.2 a	11 ± 0.6 ab
75% D	9.5 ± 1.3 a	10,8 ± 0.8 ab
100% D	11.3 ± 2.0 a	11,8 ± 1 a

3.9.2 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Κατά τον 2^ο καλλιεργητικό κύκλο, σύμφωνα με το διάγραμμα 18, ο μάρτυρας παρουσίασε το μεγαλύτερο λόγο και στις 2 καταστροφικές συγκομιδές. Πιο συγκεκριμένα ο μάρτυρας (8.13g), κατά την 1^η συγκομιδή παρουσίασε στατιστικά

σημαντικές διαφορές με τις μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών καθώς διέφεραν κατά 1/3°. η 100%D ωστόσο δεν διέφερε με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις πλην της 50%D η οποία και παρουσίασε κατά την 1^η συγκομιδή τη χαμηλότερη τιμή (6.2g). Το μεγαλύτερο λόγο εξακολούθησε να κατέχει ο μάρτυρας κατά τη 2^η συγκομιδή, διαφέροντας στατιστικά σημαντικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Η διαφορά του με τις αραιωμένες απορροές μειώθηκε καθώς ήταν κατά 1/4° αυτή τη φορά αυξημένη η τιμή του. Μικρότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες απορροές ήταν η 100%D της οποίας ο λόγος ήταν 6.33(g). Μεταξύ της πρώτης και της 2^{ης} συγκομιδής, δε μεταβλήθηκε σημαντικά ο λόγος των μεταχειρίσεων πλην της 100%D της οποίας ο λόγος μειώθηκε σημαντικά κατά 16%. Η τιμή του μάρτυρα παρέμεινε στα ίδια επίπεδα καθώς αυξήθηκε η τιμή του κατά μόλις 2.5%. Τη μεγαλύτερη μεταβολή παρουσίασε η 50%D (8.2%), παρόλα αυτά δε διέφερε σημαντικά.



Διάγραμμα 18. Ο λόγος νωπού προς ξηρού βάρους των φυτών του σπανακιού κατά τον 2^ο κύκλο καλλιέργειας.

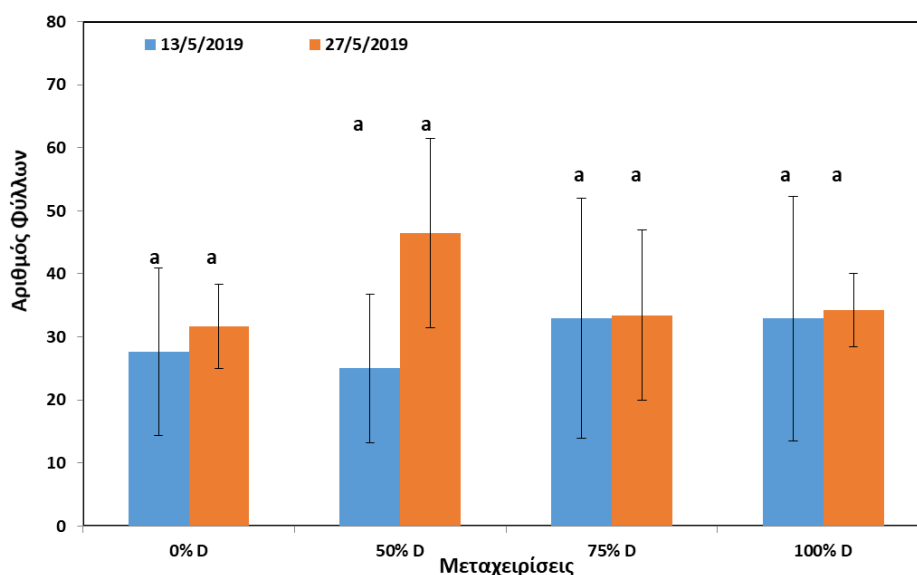
Πίνακας 9. Ο λόγος χλωρού προς ξηρού βάρους (g) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την δεύτερη καλλιεργητική περίοδο.

Μεταχειρίσεις	1 ^η Συγκομιδή	2 ^η Συγκομιδή
0% D	8.13 ± 1.1 a	8.3 ± 2.21 a
50% D	6.19 ± 1.4 b	6.7 ± 0.4 c
75% D	6.32 ± 1.9 b	6.7 ± 0.3 c
100% D	7.55 ± 1.1 b	6.3 ± 0.9 b

3.10 Αριθμός Φύλλων των Φυτών κατά την Καταστροφική Συγκομιδή

3.10.1 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

Σύμφωνα με το διάγραμμα 19, κατά την 1^η καλλιεργητική περίοδο δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ενδιάμεσα των μεταχειρίσεων και για τις 2 καταστροφικές συγκομιδές που πραγματοποιήθηκαν. Η 75%D ωστόσο σημείωσε το μεγαλύτερο μέσο αριθμό φύλλων κατά την 1^η καταστροφική συγκομιδή (33) διαφέροντας ελάχιστα από αυτό της 100%D (33). Μικρή διαφορά είχαν επίσης και ο μάρτυρας (27.7) με την 50%D (25), η οποία και σημείωσε το χαμηλότερο αριθμό για την πρώτη συγκομιδή. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα και για τη 2^η συγκομιδή όπου η 100%D κατείχε το μεγαλύτερο αριθμό φύλλων (34) ενώ η 75%D (33) διαφέροντας μόλις 2,2%. Ο μάρτυρας διέφερε από την 100%D κατά 7.5% αφού ο μέσος όρος του ήταν 31.6, ενώ τη μικρότερη τιμή εμφάνισε η 50%D (29). Ενδιάμεσα των συγκομιδών, δε παρουσιάστηκε καμία σημαντική διαφορά για τις μεταχειρίσεις. Με τη μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση να την παρουσιάζει η 50%D (16%) ενώ τη μικρότερη η 75%D (1.3%).

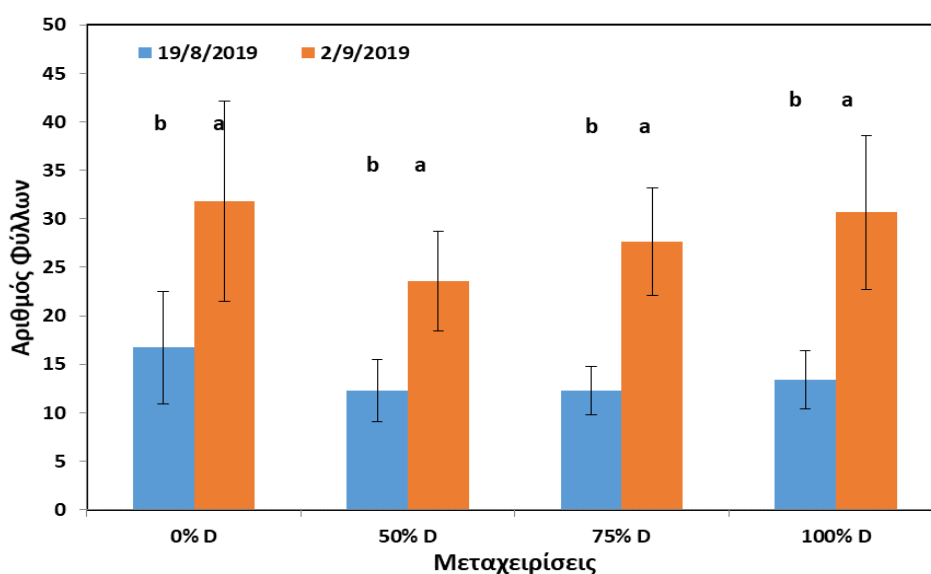


Διάγραμμα 19. Ο αριθμός των φύλλων των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του 1^{ου} κύκλου καλλιέργειας.

3.10.2 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Κατά τη 2^η καλλιεργητική περίοδο, ο αριθμός των φύλλων εμφάνισε σημαντικές διαφορές, ιδίως στην 1^η συγκομιδή όπου ο μάρτυρας παρουσίασε σημαντικές διαφορές έναντι των υπολοίπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, ο μάρτυρας

στην 1^η συγκομιδή σημείωσε μέσο όρο φύλλων 16.73 , ο οποίος διέφερε κατά 1/4^ο με αυτό της 100%D. Οι μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών παρουσίασαν ίδιο μέσο όρο (12.27), κάνοντας το μάρτυρα να έχει κατά 30% μεγαλύτερη τιμή. Μεταξύ των μεταχειρίσεων των απορροών δε σημειώθηκε καμία σημαντική διαφορά. Στη 2^η συγκομιδή σύμφωνα με το διάγραμμα, ο μάρτυρας εξακολουθεί να υπερέχει σε αριθμό φύλλων (31.82). Κατά τη 2^η συγκομιδή παρουσίασε σημαντικές διαφορές μόνο με την 50%D η οποία και είχε το μικρότερο μέσο όρο (23.5) κάνοντας το μάρτυρα να διατηρήσει στα ίδια επίπεδα το ποσοστό διαφοράς που είχε και στην 1^η συγκομιδή (35%). Μικρή ήταν η διαφορά του μάρτυρα με την 100%D (3.7%), ενώ η 100%D διέφερε και αυτή σημαντικά (30%) με την 50%D. Σημαντικές διαφορές σημείωσαν όλες οι μεταχειρίσεις ενδιάμεσα των 2 συγκομιδών που πραγματοποιήθηκαν, αφού αυξήσαν αρκετά τον αριθμό των φύλλων. Ο μάρτυρας και η 50%D κατέγραψαν μικρότερο ποσοστό μεταβολής (90% αύξηση) σε σχέση με την 75%D και 100%D όπου ο μέσος όρος των φύλλων αυξήθηκε κατά 125.5% και 129% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 20. Ο αριθμός των φύλλων των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του 2^{ου} κύκλου καλλιέργειας.

3.11 Συνολική Παραγωγή

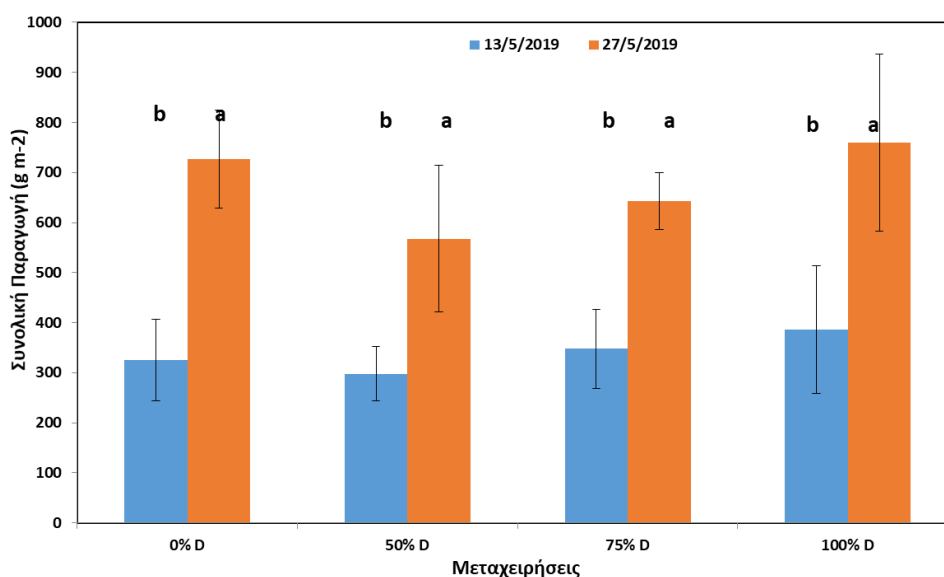
3.11.1 1^η Καλλιεργητική Περίοδος

Οι διαφορετικές μεταχειρίσεις δε φάνηκε να επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική απόδοση της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την 1^η καταστροφική συγκομιδή. Πιο συγκεκριμένα, τη μεγαλύτερη απόδοση σε $g^{m^{-2}}$ παρουσίασε η

μεταχείριση των αμιγώς απορροών αφού καταγράφηκε το βάρος των 386,4 g^{m²}. Ο μάρτυρας σημείωσε την τιμή των 324.7 g^{m²}, ενώ τη χαμηλότερη τιμή παρουσίασε η μεταχείριση 75%D. Εν αντιθέσει, κατά τη 2η οι διαφορετικές μέθοδοι άρδευσης φάνηκε πως επηρέασαν σημαντικά την συνολική απόδοση του σπανακιού. Η μεταχείριση των αμιγώς απορροών εξακολούθησε να κατέχει τη μεγαλύτερη απόδοση με την τιμή των 760 g^{m²}, τιμή μεγαλύτερη κατά 33 g από αυτή του μάρτυρα, ενώ δεν διέφεραν μεταξύ τους σημαντικά. Οι διαφορές ωστόσο παρουσίασαν ο μάρτυρας και η 100%D, έναντι των μεταχειρίσεων των αραιωμένων απορροών. Η 50%D διέφερε κατά το 1/3^ο με τον μάρτυρα ενώ κατά 10% η 75%D.

Πίνακας 10. Συνολική παραγωγή (g^{m²}) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο.

Μεταχειρίσεις	1 ^η Συγκομιδή	2 ^η Συγκομιδή
0% D	324.72± 81.4 a	726.72 ± 97.94 a
50% D	297.82 ± 53.91 a	567.84 ± 145.79 b
75% D	347.45 ± 78.72 a	643.2 ± 56.61 b
100% D	386.35 ± 127.1 a	759.36 ± 177.16 a



Διάγραμμα 21. Η συνολική παραγωγή των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του 1^{ου} κύκλου καλλιέργειας.

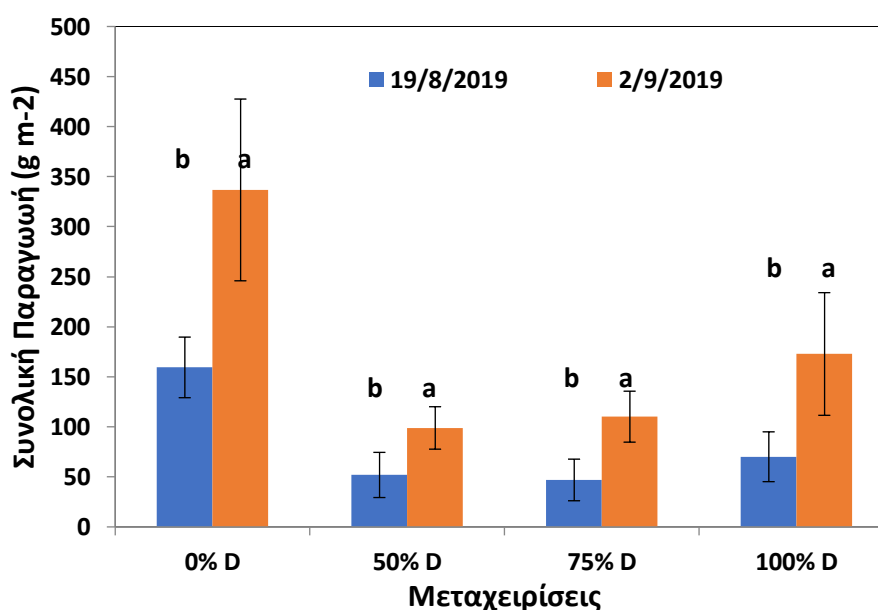
3.11.2 2^η Καλλιεργητική Περίοδος

Οι διαφορετικές μεταχειρίσεις επηρέασαν σημαντικά τη συνολική παραγωγή στο 2ο κύκλο καλλιέργειας κατά τη διάρκεια και των 2 καταστροφικών συγκομιδών. Η μεταχείριση του μάρτυρα υπερέχει σε απόδοση (g^{m²}), και κατά τις 2 συγκομιδές.

Πιο συγκεκριμένα κατά την 1^η συγκομιδή ο μάρτυρας εμφάνισε την τιμή των 160 g^{m-2}, διαφέροντας σημαντικά κατά 56% από τη 2^η σε απόδοση μεταχείριση των αμιγώς απορροών και κατά 67% από την 50%D. Τη μικρότερη συνολική απόδοση κατέγραψε η 75%D (47 g^{m-2}) διαφέροντας έτσι σημαντικά και από την 100%D. Κατά τη 2^η καταστροφική συγκομιδή, σύμφωνα με το διάγραμμα ο μάρτυρας διπλασίασε την τιμή του σε σχέση με την 1^η συγκομιδή σημειώνοντας την τιμή των 336.8 g^{m-2}, ενώ η 2^η σε συνολική παραγωγή 100%D κατέγραψε την τιμή των 173 g^{m-2}, διαφέροντας σημαντικά από το μάρτυρα. Οι μεταχειρίσεις των αραιωμένων απορροών διέφεραν σημαντικά από το μάρτυρα και από αυτή των αμιγώς απορροών με την απόδοση της 50%D και της 75%D να είναι μειωμένες κατά 70% και 67% αντίστοιχα. Εν αντιθέσει με την 1^η συγκομιδή, από το διάγραμμα παρατηρείται πως τη μικρότερη τιμή κατέχει η 50%D (99 g^{m-2}).

Πίνακας 11. Συνολική παραγωγή (g^{m-2}) της καλλιέργειας του σπανακιού κατά την 2^η καλλιεργητική περίοδο.

Μεταχειρίσεις	1 ^η Συγκομιδή	2 ^η Συγκομιδή
0% D	159.4 ± 30.3 a	336.72 ± 90.8 a
50% D	51.94 ± 22.6 b	98.9 ± 21.2 c
75% D	46.94 ± 20.8 bc	110.16 ± 25.4 c
100% D	70.1 ± 24.9 b	172.8 ± 61.27 b



Διάγραμμα 22. Η συνολική παραγωγή των φυτών του σπανακιού κατά τις 2 καταστροφικές συγκομιδές του 2^{ου} κύκλου καλλιέργειας.

4. Συζήτηση

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και αυξάνεται το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για την ανάπτυξη συστημάτων με βάση τα πρότυπα της κυκλικής οικονομίας και την υιοθέτηση μεθόδων καλλιέργειας φιλικών προς το περιβάλλον. Στην παρούσα εργασία, αξιολογήθηκε η ανάπτυξη και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά μιας δευτερεύουσας καλλιέργειας (υδροπονικής καλλιέργειας σπανακιού), η οποία αρδεύεται με διαφορετικές αναλογίες νερού και διαλύματος απορροής από την πρωτεύουσα καλλιέργεια (υδροπονική καλλιέργεια τομάτας).

Στον 1^ο κύκλο καλλιέργειας όπου οι διαφορετικές μεταχειρίσεις ξεκίνησαν 8 ημέρες μετά τη μεταφύτευση, μεγαλύτερο ύψος εμφάνισε η μεταχείριση των καθαρών απορροών, ενώ οι μεταχειρίσεις του μάρτυρα και των αραιωμένων απορροών, κυμάνθηκαν στο ίδιο ύψος διαφέροντας 10-15% από αυτή των καθαρών απορροών. Στο 2^ο κύκλο καλλιέργειας όπου οι διαφορετικές μεταχειρίσεις εφαρμόστηκαν από την 1^η ημέρα της μεταχείρισης, όπως ήταν αναμενόμενο σημαντικά μεγαλύτερο ύψος εμφάνισε η μεταχείριση του μάρτυρα. Σε πειράματα που πραγματοποίησαν οι Kim et al., (2020) με φυτά σπανακιού όπου εκτέθηκαν σε συνθήκες αλατότητας παρατήρησαν σημαντική μείωση στο ύψος. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσίασαν και οι García-Caparrós et al. (2018), σύμφωνα με τους οποίους η άρδευση δευτερεύουσας καλλιέργειας με επαναχρησιμοποιημένες απορροές μίας κύριας, μείωσε το ύψος της δευτερεύουσας.

Στην παρούσα μελέτη δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ του αριθμού των φύλλων κατά τη 1^η καλλιεργητική περίοδο. Στη 2^η καλλιεργητική περίοδο, διαφορές εμφανίσανε μόνο οι αραιωμένες απορροές καθώς ο μάρτυρας και η μεταχείριση των αμιγών απορροών δεν διέφεραν μεταξύ τους. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασαν οι Andriolo et al., (2015) όπου σε καλλιέργεια σπανακιού που εκτέθηκε σε υψηλή αλατότητα, δεν επηρεάστηκε ο αριθμός των φύλλων. Αντιθέτως, οι Al-Maskri et al., (2010) σε υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιού παρατήρησαν σημαντική μείωση του αριθμού των φύλλων από φυτά που εκτέθηκαν σε υψηλή EC.

Κατά την 1^η καλλιεργητική περίοδο, τα επίπεδα χλωροφύλλης κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα για όλες τις μεταχειρίσεις, με την 100% D να παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές, χωρίς ωστόσο να διαφέρει σημαντικά από τις τιμές των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα και την μεγαλύτερη απόδοση της μεταχείρισης σε χλωρό βάρος. Τα υψηλότερα επίπεδα παρουσίασε η 100% D και

κατά τον 2^ο κύκλο. Η μεταχείριση του μάρτυρα παρουσίασε καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος τις χαμηλότερες τιμές χλωροφύλλης, διαφέροντας σημαντικά από την 100% D, με τη διαφορά αυτή να αυξάνεται κατά τις τελευταίες μετρήσεις και να διαφέρει επίσης και από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Σε πειράματα των Xu and Mou (2016), η αυξημένη αλατότητα σε φυτά σπανακιού, αύξησε σημαντικά την ποσότητα χλωροφύλλης σε σχέση με το μάρτυρα. Επίσης στο ίδιο πείραμα αυξήθηκε σημαντικά η συνολική ποσότητα χλωροφύλλης με την μείωση της ποσότητας εφαρμογής καλίου και φωσφόρου. Σύμφωνα με τους Haisman and Clarke (1976), καθώς και τον Woolfe (1979), η παρουσία ορισμένων αλάτων όπως μαγνησίου, ασβεστίου, νατρίου και αμμωνίου, επιδρούν στην αποδόμηση της χλωροφύλλης. Επιπλέον η χλωροφύλλη παρουσιάζει μεγαλύτερη σταθερότητα σε υψηλές, παρά σε χαμηλές τιμές pH (Nisha et al, 2004).

Σε πειράματα των Kaiser et al (1983), παρατήρησαν σε καλλιέργεια σπανακιού, πως δεν μειώθηκε η φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτού μέχρι το επίπεδο των 350 mmol L⁻¹. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάστηκαν και στην παρούσα μελέτη όπου δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μετρήσεων, πλην μεμονωμένων ημερών, γεγονός που ίσως οφείλεται στη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας. Εν αντιθέσει, οι Delfine et al (1999) σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε σε καλλιέργεια σπανακιού που αρδεύονταν με νερό αυξημένης αλατότητας, η φωτοσύνθεση των φυτών ήταν αρκετά μειωμένη. Παρόμοια επίσης ήταν και τα αποτελέσματα όμοιου πειράματος που πραγματοποίησαν οι John and Downtown et al (1985) όπου η φωτοσύνθεση των φυτών που είχαν εκτεθεί σε καταπόνηση άλατος, ήταν μέχρι και το ήμισυ μικρότερη από αυτή του μάρτυρα. Οι Chaw et al (1990) σε πείραμά τους, συμπέραναν πως με την προσθήκη καλίου, μειώνονται σημαντικά οι δυσμενείς επιδράσεις της αυξημένης αλατότητας στα φυτά σπανακιού.

Τα αποτελέσματα του 1^{ου} καλλιεργητικού κύκλου του πειράματος όσο αναφορά την στιγμιαία WUE, έδειξαν το μάρτυρα και τη μεταχείριση 100%D να διαφέρουν σημαντικά με τις μεταχειρίσεις αραιωμένων απορροών. Το γεγονός αυτό συνάδει με τους Tomas et al (2014) οι οποίοι συσχετίζουν την WUE με την απόδοση σε χλωρό και ξηρό βάρος. Κατά τη λήξη του 2^{ου} καλλιεργητικού κύκλου, ο μάρτυρας παρουσίασε σημαντικά μειωμένη τιμή στιγμιαίας WUE, ενώ τη μεγαλύτερη τιμή εμφάνισε η 100%D. Επιπλέον, οι Sanchez et al (2014) σε πειράματά τους επάνω σε

υδροπονική καλλιέργεια τομάτας, συμπέραναν πως η αυξημένη αγωγιμότητα μείωσε σημαντικά την στιγμιαία WUE.

Στην παρούσα μελέτη, κατά τον 1^ο πειραματικό κύκλο, το νωπό βάρος των μεταχειρίσεων των αραιωμένων απορροών, ήταν σημαντικά μειωμένο σε σχέση με τον μάρτυρα και την μεταχείριση των αμιγώς απορροών. Με τη λήξη του 1^{ου} κύκλου καλλιέργειας οι τιμές του μάρτυρα και της 100%D κυμαινότανε στην τιμή των 750 g^{m⁻²}). Τα αποτελέσματα του 1^{ου} κύκλου συμβαδίζουν με τους Shannon et al (2000), όπου σε πειράματά τους επάνω σε φυλλώδη λαχανικά, συμπέραναν πως σε καλλιέργεια σπανακιού που εκτέθηκε σε στρες αλατότητας σε προχωρημένο στάδιο του βιολογικού του κύκλου, δεν επηρεάστηκε τόσο η απόδοση του όσο αυτή των φυτών που εκτέθηκαν σε καταπόνηση σε πρώιμο στάδιο. Κατά τον 2^ο πειραματικό κύκλο τη μεγαλύτερη παραγωγή εμφάνισε ο μάρτυρας, διαφέροντας σημαντικά από όλες τις μεταχειρίσεις των απορροών. Η συνολική παραγωγή του μάρτυρα έφτασε τα 337 g^{m⁻²}, τιμή διπλάσια της 100%D (173 g^{m⁻²}) και τριπλάσια της 75%D (110 g^{m⁻²}). Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα της 1^{ης} συγκομιδής του 2^{ου} κύκλου, με αντίστοιχη μελέτη των Robinson et al., (1983). Τρεις εβδομάδες μετά την έκθεσή τους σε αλατούχο καταπόνηση, το βάρος του μάρτυρα ήταν 73 g, τιμή ίδια με τον μάρτυρα της παρούσας μελέτης, ενώ της μεταχείρισης που είχε υποστεί στρες άλατος 21 g. Σε πειράματά τους οι Orsa and Suarez (2017) διαπίστωσαν πως η έκθεση σε μέτρια αλατότητα σε φυτά σπανακιού, δεν επιδρά τόσο στην παραγωγή, όσο η υδατική καταπόνηση. Σε αντίστοιχη μελέτη, οι Kim et al (2020), παρατήρησαν ότι με την προσθήκη 50 και 100 mmol L⁻¹ NaCl στο νερό άρδευσης, τα φυτά σπανακιού παρουσίασαν μεγαλύτερο χλωρό βάρος σε σχέση με το μάρτυρα όπου αρδευότανε με νερό αγωγιμότητας 0.92 dS m⁻¹, παρόλο που ο μάρτυρας υπερτερούσε σε ύψος.

Το ξηρό βάρος των 50 και 75%D, υστερούσε έναντι των υπολοίπων μεταχειρίσεων και στους 2 κύκλους καλλιέργειας. Κατά τις 2 συγκομιδές που πραγματοποιήθηκαν στον 1^ο κύκλο καλλιέργειας ο μάρτυρας με την 100% D, παρουσίασαν ίδιο ξηρό βάρος (30 g), ενώ παρόμοιο ήταν και το ξηρό βάρος των αραιωμένων απορροών όπου κυμάνθηκε στα 25 g. Κατά τον 2^ο κύκλο καλλιέργειας, ο μάρτυρας κατείχε την μεγαλύτερη τιμή και για τις 2 συγκομιδές (9 και 20 g), ενώ μειωμένη κατά ήμισυ σε σχέση με τον μάρτυρα ήταν η απόδοση της μεταχείρισης των αμιγώς απορροών. Ωστόσο μεταξύ των 2 συγκομιδών, τη μεγαλύτερη μεταβολή εμφάνισε η 100% D, αφού σχεδόν τριπλασίασε το ξηρό βάρος της, ενώ οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις παρουσίασαν μια μεταβολή του 100%. Τα αποτελέσματα συνάδουν με

μελέτη των Robinson et al., (1983) όπου σε υδροπονική καλλιέργεια σπανακιού όπου τα φυτά αρδεύονταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα, καθώς η μεταχείριση που είχε εκτεθεί στην αλατότητα το ξηρό βάρος της ήταν λιγότερο από το μισό του μάρτυρα. Σύμφωνα με τους Tunvturk et al., (2008), σε καλλιέργεια σόγιας όπου εκτέθηκε σε αλατότητα, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του ξηρού βάρους της. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε καλλιέργεια μαρουλιού, σε πείραμα των (Reynast et al., 2008), όπου με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μειώθηκε το χλωρό και το ξηρό βάρος των φυτών.

5. Συμπεράσματα

Αξιολογώντας τα παραπάνω αποτελέσματα σε σύγκριση με την αντίστοιχη βιβλιογραφία, φαίνεται πως τα υδροπονικά συστήματα πολυκαλλιέργειας αποτελούν μία βιώσιμη μέθοδο για τον περιορισμό της ρύπανσης των υδάτινων πόρων ιδιαίτερα σε περιοχές της Μεσόγειου, όπου το νερό αποτελεί πολύτιμο πόρο. Στο παρών πείραμα, κατά τον 1^ο κύκλο καλλιέργειας τα φυτά της μεταχείρισης των αμιγώς απορροών ξεπέρασαν σε ύψος και σε αριθμό φύλλων τα φυτά του μάρτυρα, ενώ κατά τον 2^ο καλλιεργητικό κύκλο τα φυτά του μάρτυρα υπερτερούσαν έναντι των υπολοίπων. Οι αποδόσεις του μάρτυρα και της μεταχείρισης των αμιγώς απορροών ήταν παρόμοιες κατά τον 1^ο καλλιεργητικό κύκλο, ενώ στον 2^ο υπερτερούσε σε απόδοση ο μάρτυρας. Το γεγονός αυτό ισοσταθμίζεται δεδομένου του γεγονότος ότι στη μεταχείριση των αμιγώς απορροών δεν χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον νερό και λιπάσματα. Επομένως, το σπανάκι με τις κατάλληλες μεθόδους υδρολίπανσης, δύναται να χρησιμοποιηθεί ως δευτερεύουσα καλλιέργεια με τη χρήση απορροών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Εν συγκρίσει με παρόμοιες έρευνες, η αύξηση η ανάπτυξη καθώς και οι λειτουργίες των φυτών όπου αρδεύονται με τις απορροές από μια πιο ευαίσθητη στην αλατότητα καλλιέργεια, φαίνονται ικανοποιητικές. Τα προαναφερθέντα συμπεράσματα, δύναται να αποτελέσουν μια βιώσιμη πρόταση για αειφορία στην παραγωγή λαχανικών.

6. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- A Pardossi, G. B. (1 September 1999). NaCl effects on celery (*Apium graveolens* L.) grown in NFT. *Elsevier*, 229-242.
- A. Ünlükara¹, T. Y. (2017, January). Effects of Irrigation water salinity on evapotranspiration and spinach (*Spinacia oleracea* L. Matador) plant parameters in Greenhouse Indoor and Outdoor Conditions. *Agronomy Research*, pp. 2183–2194.
- A.J.Cooper. (1975, September). Crop production in recirculating nutrient solution. *Scientia Horticulturae, Elsevier*, pp. 251-258.
- Adams, P. (27 Nov 2015). Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *Journal of Horticultural Science* , 201-207 .
- Agastian, P. K. (2000). Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 287-290.
- Agung Putra P.*, H. (2015). Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality. *ELSEVIER*, 283 – 288 .
- Andriolo, J. L., Luz, G. L., Witter, M. H., Godoi, R. d., Barros, G. T., & Bortolotto I, O. C. (2005, December). Growth and yield of lettuce plants under salinity. *Horticultura Brasileira*, pp. 931-934.
- Angeliki Elvanidi, C. M. (2020, November 13). Implementation of the Circular Economy Concept in Greenhouse Hydroponics for Ultimate Use of Water and Nutrients. *Horticulturae*, pp. 1-16.
- Ayers, A. (1952, 44). Seed Germination as Affected by Soil Moisture and Salinity. *Agronomy Journa*, pp. 82-84.
- Bar-Yosef, B. (2008). Fertigation Management and Crops Response to Solution Recycling in Semi-Closed Greenhouses. In M. R. Lieth, *Soilless Culture: Theory and Practice* (pp. 341-424). Elsevier BV.
- Bacon M.A. 2004. Water use efficiency in plant biology, p. 1-26. In: Water Use Efficiency in Plant Biology (M.A. Bacon, ed). Blackwell Publishing, UK.
- Beyza Beyhana, H. P. (2013, July 13). Root zone temperature control with thermal energy storage in phasechange materials for soilless greenhouse applications. *Elsevier, Energy Conversion and Management*, pp. 446-453.
- Bishnu Adhikari, S. K.-D.-H. (May 2020). Effect of foliar application of potassium fertilizers on soybean plants under salinity stress. *Elsevier*, 261-269.
- Bjoern Boehme, K.-J. (2008, June Volume 48, Issue 6). Study of temperature dependent properties of organic substrate materials. *Microelectronics Reliability, Elsevier*, pp. 876-880.
- Blom-zandstra, M. (1989, August 16). Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Annals of Applied Biology* Volume 115, Issue 3, pp. 553-561 .
- Boyko, H. (1966). Basic Ecological Principles of Plant Growing by Irrigation with Highly Saline or Sea-Water. *Springer Science+Business Media Dordrecht Salinity and Aridity*, pp. 131-200.
- Boyko, H. (1966). Salinity and Aridity: New Approaches to Old Problems. Springer Netherlands.

- Breś, W. (2008, February 26). Estimation of Nutrient Losses from Open Fertigation Systems to Soil during Horticultural Plants Cultivation . *Polish J. of Environ. Stud.* , pp. 341-345.
- Briggs, L. J. (1913). “The water requirement of plants”. *Bureau of Plant Industry Bulletin*, pp. 282–285.
- C. Stanghellini, F. K. (2003). Enhancing environmental quality in agricultural systems. *International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment*.
- C.M.Grieve, M. a. (1998, November 30). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, pp. 1-276.
- C.M.Olympios. (1999). Overview of soilless culture: advantages, constraints, and perspectives . *Cahiers Options Méditerranéennes*, pages 307-324.
- Cees Sonneveld, W. V. (2009, August 21). Plant Nutrition in Future Greenhouse Production. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops* , pp. 393-403.
- Cengiz Kaya, D. H. (2001, June 15). The effects of high salinity (nacl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Journal of Plant Physiology*, pp. 47–59.
- Cengiz Kaya, H. K. (2001). Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 357-367.
- Cho, R. R. (2014, May 20). Reuse of hydroponic waste solution. *Environ Sci Pollut Res*, pp. 9569–9577.
- Cho, R. R. (2014, May 20). Reuse of hydroponic waste solution. *Environmental Science and Pollution Research* ,Springer-Verlag Berlin Heidelber, pp. 9569–9577.
- Clark, R. B. (1982). Nutrient solution growth of sorghum and corn in mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 5(8), pp. 1039–1050.
- Commision, E. (2014). Towards a Circular Economy: a Zero Waste Programme for Europe’. Brussels.
- Commision, E. (2015). Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy’. Brussels: Communication from the commission to the europeanparliament, the council, the european economic and socialcommittee and the committee of the regions.
- Cooper, A. J. (1973). Root temperature and plant growth. In *Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, East Malling* (p. Research Review No.4). Maidstont, Kent.
- D. Massa, L. I. (July 2010). Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless cultures of greenhouse tomato. *Elsevier*, 971-980.
- D. Massa, L. I. (June 2011). Simulation of crop water and mineral relations in greenhouse soilless culture. *Elsevier*, 711-722.
- D.R. Haisman, W. C. (1975, August). The interfacial factor in the heat-induced conversion of chlorophyll to pheophytin in green leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, pp. 1111-1116.
- Damianos Neocleous, D. S. (27 June 2019). The effects of phosphorus supply limitation on photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and mineral nutrition in lettuce grown in a recirculating nutrient solution. *Elsevier*, 379-387.
- Damianos Neocleous, D. S. (February 2016). NaCl accumulation and macronutrient uptake by a melon crop in a closed hydroponic system in relation to water uptake . *Elsevier*, 22-32.

- Daniele Massa, J. J. (1 November 2020). Minimizing water and nutrient losses from soilless cropping in southern Europe. *Elsevier*, 106395.
- Delfine, S. A. (1999, March Vol. 119). Restrictions to Carbon Dioxide Conductance and Photosynthesis in Spinach Leaves Recovering from Salt Stress. *Plant Physiology*, pp. 1101–1106.
- DimitriosSavvas, D. (February 2016). NaCl accumulation and macronutrient uptake by a melon crop in a closed hydroponic system in relation to water uptake. *ELSEVIER*, 22-32.
- Dold, J. H. (2019, February 19). Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. *Frontiers in Plant Science, Plant Physiology*, pp. 1-14.
- Dorais, M. P. (2001, 4 21). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. . *Agronomie, EDP Sciences*, , pp. 367-383.
- El-Kazzaz, K. A.-K. (2017, January). Soilless Agriculture a New and Advanced Method for Agriculture Development: an Introduction. *Agri Res & Tech: Open Access J*, pp. 1-10.
- G. Carmassi, L. I. (14 Feb 2007). Modeling Salinity Build-Up in Recirculating Nutrient Solution Culture. *Publication Cover Journal of Plant Nutrition*, 431-445.
- G. Colla, Y. R. (2006). Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions . *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 146–152.
- G. De Rijck, E. S. (1998). Distribution of nutrients and water in rockwool slabs. *Scientia Horticulturae*, pp. 277-285.
- G.B. Oztekin and Y. Tüzel, I. T. (2008). Effects of EC Levels of Nutrient Solution on Tomato Crop in Open and Closed Systems. *Acta Horticulturae*, 1243-1250.
- G.Kaloo, S. (1993). *Genetic Improvement of Vegetable Crops*. Elsevier.
- García, M. U. (2008, November 21). Modeling electrical conductivity management in a recirculating nutrient solution under semi-arid conditions. *Journal of Plant Nutrition*, pp. 457-468.
- García-Caparrós, P. C., & Rivas, L. G.-B. (2018, September 19). Comparisons of Different Lighting Systems for Horticultural Seedling Production Aimed at Energy Saving. *Sustainability* , pp. 1-17.
- Gent, M. P. (1998, February). Diurnal Temperature Variation of Root and Shoot Affects Yield of Greenhouse Tomato. *HortScience*, pp. 47–51.
- Giulia Atzori, S. M. (30 April 2019). Seawater potential use in soilless culture. *ELSEVIER*, 199-207.
- Graves, C. J. (01 January 1983). The Nutrient Film Technique. In *Hort. Rev.* 5 (pp. 1-44). Jules Janick.
- Grieve, C. G. (2012). . Plan Salt Tolerance. In: Wallender, W.W. & Tanji, K.K. (ed.): *Agricultural Salinity Assessment and Management*. ASCE, Virginia, pp. 405-459.
- Gruda, N. S. (2019). Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. *Agronomy*, 1-24.
- H. Tomemori, M. T. (1996). iEffects of irrigation by diluted sea water on the cultivation of spinach. *Sand Dune Res.*
- H.Q. Wu, Y. S. (2014). Effectiveness of the policy of circular economy in China: a DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resour Conserv Recycl*, pp. 163-175.

- H.Rattink. (1991, Volume 23). Interaction between Level of Resistance of Carnation Cultivars and Biological Control of *Fusarium Oxysporum* F. Sp. *Dianthi*. *Developments in Agricultural and Managed Forest Ecology*, Elsevier, pp. 172-174.
- H.Suyama, S. . (2007, June 15). Biomass yield and nutritional quality of forage species under long-term irrigation with saline-sodic drainage water: Field evaluation. *Elsevier*, pp. 329-345.
- Heidari, M. (2012, January). Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. *African Journal Of Biotechnology*, pp. 379-384.
- Hoffman, G. R. (1992). Salinity Management. In: Hoffman, G.J., Howell, T.A. & Solomon, K.H. (ed.): *Management of Farm Irrigation Systems*. ASAE, St. Joseph, pp. 667–715.
- Hua-qing Wu, Y. S.-d. (2014, February). Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier, pp. 163-175.
- I.S. Jawahir, R. B. (2016). Bradley Technological elements of circular economy and the principles of 6R-based closed-loop material flow in sustainable manufacturing. *Procedia CIRP*, pp. 103-108.
- I.S.Jawahir, R. (2016). Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. *Procedia CIRP*, Elsevier, pp. 103-108.
- Incrocci, A. P. (2011, June 21). Traditional and New Approaches to Irrigation Scheduling in Vegetable Crops. *Hort Technology*, pp. 309–313.
- Incrocci, L. P. (2003). Cascade Cropping System for Greenhouse Soilless Culture. *Acta Horticulturae*, 297-300.
- Irfan Afzal, B. H. (14(1) 2015). Foliar application of potassium improves fruit quality and yield of tomato plants . *Acta Sci. Pol.*, pp. 3-13.
- ISLAM, S. (2008, Vol. 10, No. 3). Evaluating Performance of Ecologically Sound Organic Substrates under Different Temperature Regimes. *International Journal Of Agriculture & Biology*, pp. 297–300 .
- J. Benton Jones, J. (2007, August 3). *Tomato plant culture: In the field, greenhouse, and home garden*. CRC Press.
- J.J. Magán, M. G. (September 2008). Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Elsevier*, 1041-1055.
- J.J.Magán, M. P. (2008, September 9). Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*, pp. 1041-1055.
- J.M. Cámara, F. G.-S. (2015, November 07). Effect of interstock ('Salustiano' orange) on growth, leaf mineral composition and water relations of one year old citrus under saline conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, pp. 161-167.
- Jacobsen, T. B. (2004). *Managing agricultural irrigation drainage water: a landowner's manual. A Guide for Developing Integrated On-farm Drainage Management (IFDM) Systems*. Fresno, CA, USA.: . California State Water Resources Control Board, Hudson Orth Communications.
- JesúsCuartero, R.-M. (1998, November 30). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, pp. 83-125.

- Jiang, W. Q. (29 October 2003). Protected cultivation of horticultural crops in China. In *Horticultural Reviews, Volume 30* (pp. 115-162). John Wiley & Sons, Inc.
- K.M. Elhindi, S. E.-H.-S. (18 (1) (2016)). Foliar application of potassium nitrate affects the growth and photosynthesis in coriander (*Coriander sativum* L.) plants under salinity. *Progress in Nutrition*, pp. 63-73.
- Katsoulas, N. (2020, October 5). Eip-Agri Focus Group Circular Horticulture: Starting Paper. *Agriculture and Innovation*, p. 18.
- Katsoulas, N. S. (2009). Response of an eggplant crop grown under Mediterranean summer conditions to greenhouse fog cooling. *Scientia Horticulturae*, 123, pp. 90-98.
- Katsoulas, N. S. (2015). Reducing ventilation requirements in semi-closed greenhouses increases water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 156, pp. 90–99.
- Keshavarzi, M. H., Rafsanjani, M. S., Moussavinik, S. M., & Abdin, M. Z. (n.d.). Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Annals of Biological Research 2011 Vol.2 No.4 pp.490-497 ref.27*.
- Kim, B. L. (2020). Effect of salt stress on the growth, mineral contents, and metabolite profiles. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Klaring, H. (2001, January 1). Strategies to control water and nutrient supplies to greenhouse crops: a review. *Agronomie*, pp. 311-321.
- KR, U. (1995). Leaching of nutrients and yield of tomato in peat and rockwool with open and closed system. *Acta Hort (ISHS)* , pp. 401:443– 449.
- L. Incrocci., A. P. (2003). Cascade Cropping System for Greenhouse Soilless Culture. *Acta Horticulturae*, 297-300.
- L.F.M. Marcelis, J. D. (2006). Closys: Closed system for water and nutrient management in horticulture. *ISHS Acta Horticulturae 718: III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation (HortiModel 2006)* .
- Langdale, G., Thomas, J., & Littleton, T. (1971). Influence of soil salinity and nitrogen fertilizer on spinach growth. *agris.fao.org*, pp. 61-66.
- LFM Marcelis, A. v. (2006). The adaptive greenhouse - An integrated systems approach to developing protected cultivation systems. *III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation (HortiModel 2006)*. Actahort.org.
- Lieth, F.-G. S. (2002). Irrigation Control in Hydroponics. In D. S. Hpassam, *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* (pp. 263-298). Athens, Greece: Embryo Publications.
- Liming Xiong, J.-K. Z. (2003, September). Regulation of Abscisic Acid Biosynthesis. *Plant Physiology*, pp. 29-36.
- Lunin, M. G. (1963, March). Saline irrigation of several vegetable crops at various growth stages I. Ef-fect on yields. *Agronomy Journal*, pp. 107-114.
- Lykas, C. K. (2006). Electrical Conductivity and pH Prediction in a Recirculated Nutrient Solution of a Greenhouse Soilless Rose Crop. *Journal of Plant Nutrition*, 1585–1599.
- Lynn Brandenberger, T. C. (2007, April). Yield and Quality of Spinach Cultivars for Greenhouse Production in Oklahoma. *Hort Technology*, pp. 269–272.
- M Tunçturk, R. T. (2008, June 3). Changes in micronutrients, dry weight and plant growth of soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars under salt stress. *African Journal of Biotechnology*, pp. 1650-1654.

- M. Dogan, R. T. (2010, January 27). Salt resistance of tomato species grown in sand culture. *PLANT SOIL ENVIRON.*, pp. 499–507.
- M. García Lozano, I. E. (February 2012). Flavoured tomatoes in soilless culture. *Acta Horticulturae* , 481-487 .
- M. Martorana, F. G. (2007). Influence of Rootstock on Tomato Response to Salinity. *Acta Horticulturae*, 555-561.
- M., R. (2017). Can compost improve sustainability of plant production in growing media? . *Acta Horticulture*, pp. 119-133.
- M.C.Shannon, C. (1998, November 30). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, pp. 5-38.
- M.K. Meric, I. T. (November 2011). Effects of nutrition systems and irrigation programs on tomato in soilless culture. *Elsevier*, 19-25.
- M.M. Hossain, H. N. (2011, October 6). Effect of salt stress on physiological response of tomato. *Hort. Sci. (Prague)*, pp. 26–32.
- Margit OLLE, M. N. (January 2012). Vegetable quality and productivity as influenced by growing medium. *Zemdirbyste*, 399.
- Market, H. (Jan 2021). <https://www.marketsandmarkets.com/>. Retrieved from Hydroponics Market by Type (Aggregate Systems, Liquid Systems), Crop Type (Vegetables, Fruits, Flowers), Equipment (HVAC, LED Grow Lights, Irrigation Systems, Material Handling Equipment, Control Systems), Input Type, and Region - Global Forecast to 2026: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydroponic-market-94055021.html>
- Martí Rufí-Salís, F. (2020 Nov 12). Closed-Loop Crop Cascade to Optimize Nutrient Flows and Grow Low-Impact Vegetables in Cities. *Frontiers in plant science*.
- Martinez-Mate, M. (2018, January 20). . Hydroponic system and desalinated seawater as an alternative farm-productive proposal in water scarcity areas: Energy and greenhouse gas emissions analysis of lettuce production in southeast Spain. *Journal of Cleaner Production*, pp. 1298-1310.
- Massa, D. M. (2008). An Empirical Model to Simulate Sodium Absorption in Roses Growing in a Hydroponic System. *Scientia Horticulturae*, 118,, pp. 228–235.
- Mathilde Causse, J. G. (2016). The Tomato Genome. In I. E. Sandra Knapp, *The Tomato (Solanum lycopersicum L., Solanaceae) and Its Botanical Relatives* (pp. 7-21). Springer.
- Mckennie, W. T. (2004). Rockwool in horticulture, and its importance and sustainable use in New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* , Taylor and Francis, pp. 29-37.
- Michael C. Shannon 1, C. M. (Sep 2000). Analysis of Salt Tolerance in Nine Leafy Vegetables Irrigated with Saline Drainage Water. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 658–664.
- Michael Raviv, J. H.-T. (2019). *Soilless Culture: Theory and Practice: Theory and Practice*. London: Elsevier.
- Mitchell, J. S. (1991). Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 116, pp. 215–221.
- Monaghan, J. M., Daccache, A., Vickers, L. H., Hess, T. M., Weatherhead, E. K., Grove, I. G., et al. (2013). More ‘crop per drop’: constraints and opportunities for precision irrigation in European agriculture. *J. Sci. Food. Agric.* 93, 977–980

- MosheZeroni, J. J.-A. (1983, April). Root aeration in a deep hydroponic system and its effect on growth and yield of tomato. *Scientia Horticulturae*, pp. 213-220.
- Moss, G. I. (1982, June 16). Root-zone warming of greenhouse tomatoes in nutrient film as a means of reducing heating requirements. *Journal of Horticultural Science*, pp. 103–109.
- Myat Thaint Ko, T. I. (2013). Comparisons of Ion Balance, Fruit Yield, Water, and Fertilizer Use Efficiencies in Open and Closed Soilless Culture of Paprika (*Capsicum annuum* L.). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 423-428.
- N. Sultana, T. I. (December 1999). Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Elsevier*, 211-220.
- N.V. Paranychianakis, K. C. (2 April 2005). Irrigation of Mediterranean crops with saline water: from physiology to management practices. *Elsevier*, 171-187 .
- Naika, S. V. (2005). *Cultivation of tomato. Production, processing and marketing.* . Wageningen, The Netherlands: Digigrafi.
- Nations, F. a. (2018). *The future of food and agriculture, Alternative pathways to 2050.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Nederhoff, E., & Stanghellini, C. (2010, November 01). Water Use Efficiency of Tomatoes. *Practical Hydroponics and Greenhouses.*
- Nelson, W. C. (1990, May). Physical Properties of and Plant Responses to Rockwool-amended Media. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, pp. 75–381.
- Nevenka Djurović, M. Ć. (2016, March 30). Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of tomato. *Scientia Horticulturae, Elsevier*, pp. 271-278.
- Nichols, M. (2006). Irrigation system and cultural practices for crop production under control environment production system. *International Symposium on Greenhouses, Environmental Controls and In-house Mechanization for Crop Production in the Tropics and Sub-Tropics*, (pp. 71-78).
- Nieves Fernández-García, V. M. (2004, August 03). Effect of salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, p. 616±62.
- Nikolaos Katsoulas, C. S. (17 July 2019). Modelling Crop Transpiration in Greenhouses: Different Models for Different Applications. *MDPI Agronomy*, 1-17.
- Nikolaos Katsoulas, D. S. (April 2015). Extension and evaluation of a model for automatic drainage solution management in tomato crops grown in semi-closed hydroponic systems. *Elsevier*, 61-71.
- Ninghu Su, M. B. (5 December 2005). Simulating water and salt movement in tile-drained fields irrigated with saline water under a Serial Biological Concentration management scenario. *Elsevier*, 165-180.
- Nusrat JABEEN, R. A. (2011, 39(2)). Foliar Application of Potassium Nitrate Affects the Growth and Nitrate Reductase Activity in Sunflower and Safflower Leaves under Salinity. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, pp. 172-178.
- Os, V. (2001). Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. *SHS Acta Horticulturae Hydroponics and Transplant Production I.*
- Oster, S. R. (2003, October 15). Use and Reuse of Saline-Sodic Waters for Irrigation of Crops. *Journal of Crop Production, Taylor Francis*, pp. 131-162.

- Öztekin, G. B. (2018, May 24). Growing spinach (*spinacia oleracea* L.) in a floatingsystem with different concentrations of nutrientsolution. *applied ecology and environmental research*, pp. 3333-3350.
- P. Agung Putra, H. Y. (2015). Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: A Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia, Elsevier*, pp. 283-288.
- P. Muñoz, A. P. (2012). Cascade Crops: an Alternative Solution for Increasing Sustainability of Greenhouse Tomato Crops in Mediterranean Zone. *Acta Horticulturae*, 801-805.
- P. Nisha, R. A. (2004, September). A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and the effect of salt therein. *Journal of Food Engineering, Elsevier*, pp. 135-142.
- P.F. Martínez, S. T. (2001). Air humidity, transpiration and blossom-end rot in soilless sweet pepper culture. *ISHS Acta Horticulturae 559: V International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Current Trends for Suistainable Technologies*.
- Panta, S. F. (2014). Halophyte agriculture: Success stories. *Environmental and Experimental Botany*, 107, pp. 71–83.
- Pardossi, A. C. (2011). Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture. *EU-FP7 Euphoros, Grant 211457*, p. Available from: www.euphoros.wur.nl.
- Pardossi, A. T. (2004, January). Mediterranean greenhouse technology. *The World Of Horticulture*, pp. 28-34.
- Pasternak, D. D. (1994). Crop irrigation with saline water. In: Pessaraki, M. (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, New York.
- Pedro García-Caparrós, A. L. (1018, January 30). Cascade Cropping System with Horticultural and Ornamental Plants under Greenhouse Conditions. *MDPI*, pp. 1-10.
- Pedro García-Caparrós, M. T. (20 October 2018). The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. *Elsevier*, Pages 430-439 .
- Peyvast Gh.A, Z. M. (2008, Volume 22, Number (1)). Interaction of silicon and on salinity stress on lettuce growth under nft system condition. *journal of horticulture sciences (agricultural sciences and technology)*, pp. 79-88.
- Planteavl, J. W.-T. (1972). *AGRIS FAO*.
- Putra, P. Y. (2015). Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: A review. *Agric. Sci. Procedia*, 3,, pp. 283–288.
- Q. Zhu, Y. G. (2010, June). Lai Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in envi-ronmental-oriented supply chain cooperation and the performance implica-tions. *J Environ Manag*, pp. 1324-1331.
- R.S. Ayers, D. W. (1985). Water quality for agriculture. In *Paper No: 29* (p. 174). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Rodriguez, D. R. (2015). New adaptive hybridautomatic irrigation control system for soilless culture. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 141, p. 7.
- Rouphael, Y. R. (2016). Fertigation Strategies for Improving Water Use Efficiency and Limiting Nutrient Loss in Soilless *Hippeastrum* Production. *Horticultural science*, 51, pp. 684-689.
- Runia, W. T. (1995). A review of possibilities for disinfection of recirculation water from soilless cultures. *Acta Horticulturae* , 221-229.

- S. Kazaz, S. Y. (31 January 2009). Comparison of soil and soilless cultivation of carnation in isparta province. In A. G. Y. Tüzel, *International Symposium on Strategies Towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climate*. Antalya, Turkey : ISHS Acta Horticulturae.
- S. Nicola, G. T. (2009, March). Tomato Production Systems and Their Application to the Tropics . *Acta Horticulturae*, pp. 27-34.
- A. Reina-Sánchez, R. Romero-Aranda et al. *Agricultural Water Management*, 78, 1-2, 9 2005
- Sanna Black-Samuelsson, S. A. (2003, August 01). The effect of nutrient stress on developmental instability in leaves of *Acer platanoides* (Aceraceae) and *Betula pendula* (Betulaceae). *American Journal of Botany*, pp. 1107-1112.
- Sara Rizzo, F. C. (2017, August). Co-design for a circular approach in green technologies: adaptation of reused building materials as growing substrate for soilless cultivation of lettuce. *Environmental Engineering and Management Journal* , pp. 1775-1780.
- Sauer, W. K. (1983, December). Photosynthetic Capacity, Osmotic Response and Solute Content of Leaves and Chloroplasts From *Spinacia oleracea* Under Salt Stress. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie, Elsevier*, pp. 15-27.
- Savvas, D. G. (2013). Soilless Culture. *FAO Plant Production and Protection Paper No. 217: Good Agricultural*.
- Selda Ors, D. L. (2017, August). Spinach biomass yield and physiological response to interactive salinity and water stress. *Agricultural Water Management, Elsevier*, pp. 31-41.
- Selda Ors, D. L. (2017 , August Volume 190). Spinach biomass yield and physiological response to interactive salinity and water stress. *Agricultural Water Management, Elsevier*, pp. 31-41.
- Simon P. Robinson, W. J. (1983, May 28). Photosynthesis and Ion Content of Leaves and Isolated. *Plant Physiology*, pp. 238-242.
- Singh, D. T. (1982). Effects of radiation, temperature and humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of oilseed rape (*Brassica campestris* L.). *Biologia Plantarum* 24(2), pp. 130-135.
- Sonneneld C, W. W. (1984). Growing vegetables in substrates in the Netherlands. *6th ISOSC International Congress on Soilless Culture*, (pp. 613–632).
- Sonneveld, C. &. (2009). Plant Nutrition in Future Greenhouse Production. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*, 393-403.
- Sonneveld, C. (1988, August 19). The salt tolerance of greenhouse crops. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, pp. 63-73 .
- Stanghellini, C. (2014). Horticultural production in greenhouses: Efficient use of water. *Acta Horticulturae, (1034)*, pp. 15-32.
- Stanghellini, C. K. (2005). Closed Water Loop in Greenhouses : Effect of Water Quality and Value of Produce. *Acta Horticulturae, 691*, pp. 233-242.
- Stanhill, G. (1986). Water Use Efficiency. *Advances in Agronomy*.
- States, F. a. (1994). *Fao Production Yearbook*. Food & Agriculture Org.
- Suarez, C. G. (1997). Purslane (*Portulaca oleracea* L.): A halophytic crop for drainage water reuse systems. *Plant and Soil* , 277–283.
- Th.H. Gieling, G. v. (2005, February 14). ISE and Chemfet sensors in greenhouse cultivation. *Sensors and Actuators B: Chemical, Elsevier*, pp. 74-80.
- Timothy J. Flowers, H. K. (2010, March 3). Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, pp. 604-612.

- Tomás, M., Medrano, H., Escalona, J. M., Martorell, S., Pou, A., Ribas-Carbó, M., et al. (2014). Variability of water use efficiency in grapevines. *Environ. Exp. Bot.* 103, 148–157.
- UNION, T. E. (2008). Waste and repealing certain directives. Brussels: Official Journal of the European Union.
- Uri Yermiyahu, S. N.-H. (1997, March 12). Root elongation in saline solution related to calcium binding to root cell plasma membranes. *Plant and Soil* , pp. 67-76.
- Uri Yermiyahu, S. N.-H. (1997, March 12). Root elongation in saline solution related to calcium binding to root cell plasma membranes. *Plant and Soil* , pp. 7–76.
- Van Os, E. A. (1995). Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. *Acta Horticulturae*, 25-32.
- Verkerke, W. (2020). Circular Economy and Greenhouse Horticulture. *Wageningen University & Research: Wageningen, The Netherlands*.
- Vicente O, B. M. (2004, August 20). Responses to salt stress in the halophyte *Plantago crassifolia* (Plantaginaceae). *Biologia Plantarum* , pp. 141–143.
- W. John S. Downton, W. J. (1985, October 30). Photosynthetic and Stomatal Responses of Spinach Leaves to Salt Stress. *Plant Physiology*, pp. 85-88.
- W.M.Kaiser H.Weber M.Sauer. (December 1983). Photosynthetic Capacity, Osmotic Response and Solute Content of Leaves and Chloroplasts From *Spinacia oleracea* Under Salt Stress. *Elsevier*, 15-27.
- Woolfe, M. (1979). Effect of heat processing on food stuffs. In R. Priestley. Applied Science Publishers Ltd, London .
- WS Chow, M. B. (1990, 7(5)). Growth and Photosynthetic Responses of Spinach to Salinity: Implications of K⁺ Nutrition for Salt Tolerance. *Australian Journal of Plant Physiology*, pp. 563 - 578.
- Xinhua, Z. (2008, 12 11). *Analysis of the tomato products industry in China*. Retrieved from <http://www.researchandmarkets.com/reports/457721>
- Y. Hu, Z. B. (54 (1) (2008)). Effect of foliar fertilization application on the growth and mineral nutrient content of maize seedlings under drought and salinity. *Soil Sci. Plant Nutr.*, pp. 133-141.
- Yang JC, C. H. (2004, June 30). Selection of Filamentous Cyanobacteria and Optimization of Culture Condition for Recycling Waste Nutrient Solution. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, pp. 177–183.
- Yurtyeri, T. C. (21–23 May, 2014). Response of Spinach to Different Water Stress Conditions in Greenhouse Indoor and Outdoor Conditions. *12.Culturetechnique Symposium*, (pp. 331–336). Tekirdağ, Turkey.
- Zhang, P. S. (2016). Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. *Reviews in Agricultural Science*, 46-55.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αννα, Κ. (2010). Συγκριτική μελέτη τεσσάρων υποστρωμάτων υδροπονική καλλιέργεια τομάτας. Βόλος.
- Γεωργία, Β. (2011). Επίδραση της αλατότητας στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά της μπάμιας σε υδροπονική καλλιέργεια. ΑΘΗΝΑ.
- Δημητριος, Σ. (2011). *Καλλιέργειες εκτός Εδάφους Υδροπονία, Υποστρώματα*. Αθήνα: Αγροτυπος Α.Ε.

- Δημητριος, Σ. (2011). *Καλλιέργειες εκτός Εδάφους Υδροπονία, Υποστρώματα*. Αγροτυπος Α.Ε.
- Ιωαννης, Τ. (2012). Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας . Βόλος.
- Κωνσταντίνος, Τ. Α. (2019). 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. Αθήνα.
- Νεοκλέους, Δ. Σ. (2017). Μελέτη της απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων από κολοκυνθοειδή καλλιεργούμενα σε κλειστά υδροπονικά συστήματα σε συνθήκες υψηλής αλατότητας. Αθήνα .
- Οικονομάκης, Κ. (2007, 7 26). Καλλιέργεια τομάτας με το σύστημα NFT. *Γεωργία-Κτηνοτροφία*, pp. 58-62.
- Σάββας, Δ. (2007, 12). Η υδροπονική καλλιέργεια τομάτας στο θερμοκήπιο. *Γεωργία-Κτηνοτροφία*, pp. 42-56.
- Σάββας, Δ. (26/10/2007). Πρόσφατες εξελίξεις και διαφαινόμενες τάσεις στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες κηπευτικών. *23ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρίας Επιστήμης Οπωροκηπευτικών*, (pp. τόμος 13B, σ. 741-748). Χανιά.