

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού
Περιβάλλοντος**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Τεχνολογίες και διαχείριση θερμοκηπίων και
θερμοκηπιακών καλλιεργειών



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΖΙΖΑΝΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**Κρίταμο υπό συνθήκες ενυδρειοπονίας: φυσιολογικές
αποκρίσεις σε διαφορετικά επίπεδα αλατότητας**

ΒΟΛΟΣ 2021

ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΙΔΟΥ ΦΩΤΕΙΝΗ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Κρίταμο υπό συνθήκες ενυδρείοπονίας, φυσιολογικές αποκρίσεις σε διαφορετικά επίπεδα αλατότητας.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΛΕΒΙΖΟΥ ΕΥΘΥΜΙΑ: Επίκουρη καθηγήτρια, Φυσιολογία Φυτών στις Γεωπονικές Επιστήμες, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΚΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ: Καθηγητής, Γεωργικές κατασκευές με έμφαση στα θερμοκήπια, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΜΕΝΤΕ ΕΛΕΝΑ: Καθηγήτρια, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Copyright © ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΙΔΟΥ ΦΩΤΕΙΝΗ, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μελέτη αυτή αποτελεί το τελικό στάδιο της ολοκλήρωσης του μεταπτυχιακού μου προγράμματος και αποτελεί μία ενδιαφέρουσα έρευνα σχετικά με ένα καινοτόμο σύστημα καλλιέργειας για τα δεδομένα της χώρας μας. Η διεξαγωγή του πειράματος ολοκληρώθηκε με την συνεργασία εργαστηρίων της Γεωπονικής Σχολής, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος αλλά και του Τμήματος Ιχθυοκαλλιέργειας και Υδάτινου Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα Καθηγήτρια μου κ. Ε. Λεβίζου για την καθοδήγηση και την βοήθεια της σε όλο το διάστημα διεξαγωγής του πειράματος και την στήριξη της στην ολοκλήρωση της έρευνας αυτής.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους ακόμα συμμετείχαν στην διεξαγωγή του πειράματος Καθηγητές, μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς φοιτητές για το κομμάτι στο οποίο συνέβαλε ο καθένας.

Τέλος δε θα μπορούσα να παραβλέψω τις ευχαριστίες προς την οικογένεια και τους φίλους μου, που ήταν δίπλα μου σε όλη αυτή την πορεία.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑ	13
1.1 <i>ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ.....</i>	13
1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ.....	14
2.ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΛΟΦΥΤΑ.....	17
2.1 <i>ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΦΥΤΟ</i>	17
2.2 <i>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ</i>	19
2.3 <i>ΑΛΟΦΥΤΑ</i>	20
3.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΡΙΤΑΜΟΥ- ΤΣΙΠΟΥΡΑΣ.....	22
3.1 <i>ΚΡΙΤΑΜΟ.....</i>	22
3.2 <i>ΤΣΙΠΟΥΡΑ.....</i>	23
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	25
4.1 <i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....</i>	25
4.1.1 <i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ.....</i>	27
4.1.2 <i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....</i>	29
4.1.3 <i>ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ.....</i>	31
4.2 <i>ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</i>	31
4.2.1 <i>ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ</i>	31
4.2.2 <i>ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ</i>	32
4.2.3 <i>ΤΕΛΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ</i>	36
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	37
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενυδραιοπονία αποτελεί ένα καινοτόμο και αειφορικό σύστημα συγκαλλιέργειας φυτών και ψαριών σε ένα ενιαίο σύστημα με ανακυκλούμενο νερό. Στο παρόν πείραμα μελετήθηκε το κρίταμο, *Crithmum maritimum*, σε συνδυασμό με την τσιπούρα, *Sparus aurata*, η οποία ως ευρύαλο ψάρι διαθέτει την ικανότητα προσαρμογής σε υφάλμυρο νερό. Τα φυτά και τα ψάρια αναπτύχθηκαν σε τρία επίπεδα αλατότητας, 14dS/m, 23 dS/m και 32 dS/m σε εννέα αυτόνομα συστήματα ενυδραιοπονίας (3 επαναλήψεις ανά μεταχείριση). Κατά τη διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου μετρούνταν σε τακτική βάση αναπτυξιακές παράμετροι των φυτών, η συγκέντρωση των ολικών χλωροφυλλών, μέσω του δείκτη SPAD, παράμετροι του φθορισμού της χλωροφύλλης *a in vivo*, η ανακλαστικότητα του φύλλου και από αυτήν εξάγοντας οι δείκτες βλάστησης NDI και PRI. Από την τελική συλλογή εκτιμήθηκε η παραγωγή νωπής και ξηρής βιομάζας του φυτού. Σε αναπτυξιακό επίπεδο εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη, όσο και στη βιομάζα του υπέργειου αλλά και του ριζικού τμήματος. Η χαμηλότερη αλατότητα είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη ανάπτυξη όπως αποτυπώθηκε σε όλες τις παραμέτρους που μετρήθηκαν. Η παραγωγή νωπής βιομάζας σε αυτήν ήταν 6 φορές μεγαλύτερη από την μεταχείριση της 32 dS/m, παρότι ήδη τα 14 dS/m είναι ιδιαίτερα υψηλή αλατότητα. Η ανάπτυξη της ρίζας επηρεάστηκε περισσότερο από την καταπόνηση σε σύγκριση με αυτή του υπέργειου μέρους.

Παρά τις σημαντικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη, από φυσιολογικής άποψης δεν παρουσιάστηκαν παρόμοιες έντονες διαφοροποιήσεις στην συγκέντρωση των χρωστικών, αλλά και γενικότερα στην λειτουργία της φωτοσυνθετικής συσκευής, όπως αυτή αποτυπώθηκε από τους δείκτες φθορισμού και ανακλαστικότητας. Ο δείκτης Pi_{total} που σχετίζεται με την φωτοσυνθετική απόδοση έδειξε να μην επηρεάστηκε σημαντικά από τα υψηλά επίπεδα αλατότητας, εντούτοις μετά τον πρώτο μήνα του πειράματος ήταν εμφανής η τάση

των φυτών στα 32 dS/m για χαμηλότερες τιμές. Σε όλες τις λειτουργικές αποκρίσεις του κρίταμου που καταγράφηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης παρατηρήθηκαν μεταβολές σε συγκεκριμένα αναπτυξιακά στάδια και περισσότερο φαίνεται να επηρεάστηκαν τα φυτά κρίταμου που αναπτύχθηκαν σε 32 dS/m. Φαίνεται ότι οι αμυντικοί μηχανισμοί του κρίταμου έναντι της αυξημένης αλατότητας είναι επαρκείς ώστε να εξασφαλίσουν την αντιμετώπιση της καταπόνησης και να το οδηγήσουν σε ανθεκτικότητα, όπως είναι αναμενόμενο για ένα αλόφυτο. Το κρίταμο μπορεί λοιπόν να αναπτυχθεί σε υφάλμυρο νερό σε επίπεδα αλατότητας που κανένα γλυκόφυτο δεν επιβιώνει. Επομένως, αποτελεί μία καλή εναλλακτική λύση για συγκαλλιέργεια με κάποιο ευρύαλο ψάρι όπως είναι η τσιπούρα για παραγωγή τροφίμων υψηλής οικονομικής αξίας.

ABSTRACT

Sea fennel grown in aquaponics: Physiological responses to different salinity levels

Aquaponics constitutes an innovative and sustainable system of co-cultivation of plants and fish in a single system with recycled water. In this experiment *Crithmum maritimum* was studied, in combination with the *Sparus aurata*, which as a wide fish has the ability to adapt into water with plenty of salt. Plants and fish grew at three levels of salinity, 14dS/m, 23dS/m and 32 dS/m, in nine autonomous aquaponics systems (3 repetitions per treatment). During the growing season, the growth parameters of the plants, the concentration of total chlorophyll, through the SPAD index, the parameters of chlorophyll a fluorescence in vivo, the reflectivity of the leaf and extracting from it, the vegetation in vivo indexes, NDI and PRI, were being measured on a regular basis. The production of wet and dry biomass was estimated from the final collection. In a development level, significant differences were identified in the development, as well as in the biomass of the aboveground and the root system. The lowest salinity resulted in better growth as recorded in all parameters measured. The production of wet mass in it was 6 times higher than the treatment of 32dS/m, although already 14dS/m is particularly high salinity. Root growth was more affected by stress compared to that of the aboveground part.

Despite the significant effects on growth, from a physiological point of view there were no similar strong differences in the concentration of pigments, but also in general in the operation of the photosynthetic device, as reflected by the fluorescence and reflectivity indexes. PI_{total} index associated with photosynthetic performance did not appear to be significantly affected by the high salinity levels, however after the first month of the experiment the plant trend at 32dS/m for lower values. In all the functional responses of the *Crithmum* recorded in the present study changes were deserved in specific developmental stages and it seems that the *Crithmum* plants

that grew in 32 dS/m were most affected. It seems that the defense mechanisms of the *Crithmum* against the increased salinity are sufficient to ensure the coping with the stress and to lead it to durability, as is expected for a halophyte. *Crithmum* can therefore be grown in water with high salinity levels that no glycophyte survives. Therefore it is a good alternative for co-cultivation of at the same time with some fish such as *Sparus*, for the production products with high economic value

Εγώ, η Παπαγιαννίδου Φωτεινή είμαι η συγγραφέας αυτής της την Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή σε άλλο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού.

Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Υπογραφή

Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή,
δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του
Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από
την κα Παπαγιαννίδου Φωτεινή.

Υπογραφή επιβλέποντα

**Πίνακας Περιεχομένων, θα ακολουθεί ο κατάλογος
Συντομογραφιών, Πινάκων, Εικόνων και Φωτογραφιών της
διατριβής.**

PSI: φωτοσύστημα I

PSII: φωτοσύστημα II

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ

Παγκόσμια πρόκληση ειδικότερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπως την Ευρωπαϊκή κοινότητα, αποτελεί η ανησυχία για το κλίμα σε συνδυασμό με την αυξανόμενη επισιτιστική ανασφάλεια, λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και την εμφάνιση λειψυδρίας, η οποία περιορίζει σταδιακά τις γεωργικές εκτάσεις και τη διαθεσιμότητα του γλυκού νερού (Mukune et. al. 2015, Wongkiew et. al. 2017). Η έλλειψη του γλυκού νερού αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που πρέπει να αξιολογηθούν εφόσον συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στην παραγωγή των γεωργικών προϊόντων (Kloas et. al. 2015). Μία προτεινόμενη λύση που αναπτύσσεται και μελετάται από την επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια είναι η ενυδρειοπονία (aquaponics), και παράλληλα η χρησιμοποίηση υφάλμυρου νερού στο σύστημα αυτό (Buhmann et. al. 2012).

Με στόχο την βελτιστοποίηση της χρήσης νερού, που αποτελεί κομβικό στοιχείο της ολοκληρωμένης διαχείρισης των καλλιεργειών, άρχισαν οι πρώτες προσπάθειες εκτροφής ψαριών, με γριβάδι (*Cyprinus carpio*) σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας με συνεχή ανακύκλωση νερού τη δεκαετία του '70 και συγκεκριμένα το 1970 από τον Bohl (Bohl 1977). Το πρώτο πρόβλημα που εντοπίστηκε σε αυτή τη μέθοδο αφορούσε την συγκέντρωση υψηλών ποσοτήτων αποβλήτων και ανεπιθύμητων τροφών με αποτέλεσμα την εκροή τους στο περιβάλλον, προκαλώντας αρνητικές επιπτώσεις σε αυτό καθώς και μειωμένη ποιότητα του νερού στο σύστημα (Palada et. al. 1999). Ένα δεύτερο πρόβλημα αφορούσε την παθητική έκκριση αμμωνίας που οδηγούσε σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο νερό εφόσον γίνεται και έκκριση μέσω των βραγχίων των ψαριών (Rakosy 2012).

Για να επιλυθούν αυτά τα προβλήματα μελετήθηκε η ταυτόχρονη παραγωγή φυτών στο ίδιο σύστημα μέσω της υδροπονίας. Τα

αποτελέσματα των μελετών στη διάρκεια των ετών επιβεβαίωσαν την εξοικονόμηση νερού και τη μείωση εκροών στο περιβάλλον σε συστήματα ενυδρειοπονίας, χάρη στην ικανότητα των φυτών να απορροφούν σημαντικό μέρος των θρεπτικών ουσιών που εκλύονταν από τα ψάρια (Rakosy 2012). Συγκεκριμένα όσον αφορά την αμμωνία που αποτελεί το τελικό προϊόν του μεταβολισμού των ψαριών και όπως αναφέρθηκε αποτελεί απειλή προς τα ψάρια εφόσον είναι τοξική προς αυτά, ανακαλύφθηκαν τα βιολογικά φίλτρα. Σε αυτά επιτελείται νιτροποίηση από αερόβια βακτήρια, επομένως η αμμωνία μετατρέπεται σε νιτρικά που προκαλούν μικρότερη τοξικότητα στα ψάρια (Collins et. al. 1975).

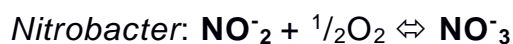
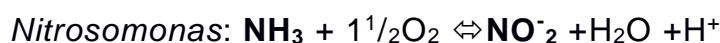
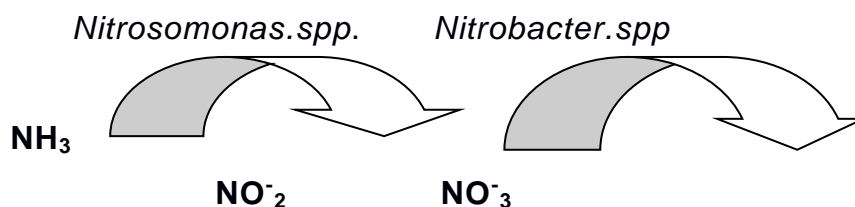
Για τη σωστή λειτουργία του συστήματος αυτού απαιτείται η ύπαρξη ισορροπίας μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων που εκλύουν τα ψάρια προς το σύστημα και της ταυτόχρονης ποσότητας θρεπτικών στοιχείων που είναι σε θέση να απορροφήσουν τα φυτά (Buzby et. al. 2014). Η ισορροπία αυτή εξαρτάται -μεταξύ άλλων- από τον αριθμό των φυτών και των ψαριών, το είδος και την ποσότητα τροφής που προσφέρεται στα ψάρια, τον ρυθμό μεταβολισμού αυτών καθώς και τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως η ταχύτητα ροής του νερού στο σύστημα (Adler et.al. 1996).

1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ

Σύμφωνα με την σύντομη περιγραφή του Rakosy (2012) η ενυδρειοπονία αποτελεί ένα ελεγχόμενο κλειστό σύστημα επανακυκλοφορίας νερού για την εκτροφή των ψαριών (υδατοκαλλιέργεια) που ταυτόχρονα συνδυάζει και την παραγωγή φυτών, τα οποία καλλιεργούνται σε περιβάλλον εκτός εδάφους (υδροπονία). Η κυκλοφορία του νερού είναι συνεχής με κατεύθυνση από την δεξαμενή των ψαριών στη δεξαμενή των φυτών και αντίστροφα. Στην πορεία αυτή το νερό έχει απαλλαγεί από την ποσότητα αμμωνίας εφόσον έχει απορροφηθεί από τα φυτά (φιλτράρισμα) με αποτέλεσμα να επιστρέφει καθαρό στη δεξαμενή των ψαριών πριν ακολουθήσει την ίδια πορεία (Nelson et.al.2014).

Το φιλτράρισμα αυτό αποτελεί το σπουδαιότερο κομμάτι στη λειτουργία του συστήματος και βασίζεται κυρίως στη κυκλική πορεία που ακολουθεί το άζωτο (N). Το άζωτο είναι το μακρο-θρεπτικό στοιχείο που επιβάλλεται να προσλαμβάνουν τα φυτά σε μεγάλες ποσότητες για την ανάπτυξη τους, κατά προτίμηση υπό μορφή νιτρικών (NO_3^-) (Marschner 2003). Αποτελεί βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών και προσλαμβάνεται εύκολα διαμέσου του ριζικού συστήματος. Αποτελεί σημαντικό στοιχείο πολλών βιομορίων όπως των αμινοξέων, των πρωτεϊνών, των νουκλεϊκών οξέων, των χλωροφυλλών κτλ. (Κωνσταντινίδου 2003).

Το άζωτο διατίθενται στο σύστημα μέσω των απεκκρίσεων των ψαριών. Οι απεκκρίσεις των ψαριών περιέχουν ποσότητες αζώτου (N), φωσφόρου (P), και αμμωνία (NH_3). Η παροχή αζώτου όμως στα φυτά γίνεται υπό μορφή νιτρικών, αφού προηγηθεί η νιτροποίηση, μέσω των νιτροποιητικών βακτηρίων (*Nitrosomonas* spp., *Nitrobacter* spp.). (Tyson et. al., 2011).



Σχεδιάγραμμα 1: Περιγραφή εξισώσεων μετατροπής αμμωνίας (NH_3) σε νιτρώδη (NO_2^-) και νιτρικά (NO_3^-). Από τους Tyson et. al., (2011).

Η αμμωνία μετατρέπεται αρχικά σε νιτρώδη και έπειτα σε νιτρικά, που αποτελεί τη μόνη μορφή που δεν είναι τοξική για τα ψάρια (Madigan et. al. 2003), αλλά παράλληλα είναι η προτιμώμενη μορφή για τα φυτά. Τα φυτά μέσω της απορρόφησης και αφομοίωσης των νιτρικών απομακρύνουν το άζωτο από το διάλυμα που ρέει προς αυτά (Rakosy 1997). Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται η ποιότητα του νερού

εφόσον αφαιρούνται από το νερό του συστήματος ουσίες τοξικές για τα ψάρια πριν επιστρέψει πίσω σε αυτά (Buzby et.al. 2014).

Η οικονομική συνιστώσα της ενυδρειοπονίας είναι σημαντική για τους παραγωγούς που θα επιχειρήσουν τη μετάβαση από την κλασική υδροπονία και υδατοκαλλιέργεια προς αυτό το νέο σύστημα παραγωγής. Τα οικονομικά οφέλη είναι πολλαπλά. Πρώτον η χρησιμοποίηση των προϊόντων μεταβολισμού των ψαριών από τη δευτερογενή καλλιέργεια των φυτών προσφέρει οικονομικό όφελος καθώς δεν απαιτείται σημαντική ποσότητα λίπανσης. Και δεύτερον επιφέρει διπλό οικονομικό κέρδος με την παραγωγή δύο διαφορετικών ειδών (φυτά και ψάρια) ταυτοχρόνως (Rakosy 2012). Επιπρόσθετα οικονομικό όφελος παρουσιάζεται και στην διαδικασία της τελικής διαχείρισης και απομάκρυνσης των θρεπτικών στοιχείων που προκύπτουν ως απόβλητα στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, εφόσον οι εκροές αυτές μειώνονται σε μεγάλο βαθμό σε σύστημα ενυδρειοπονίας (Adler et. al. 2000).

Πέρα από το οικονομικό όφελος που προσφέρει το σύστημα της ενυδρειοπονίας είναι σημαντικό να επισημανθεί και το όφελος για το περιβάλλον. Τα οικοσυστήματα και ειδικότερα οι υδάτινοι πόροι επηρεάζονται αρνητικά από την συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων αζώτου (N) και φωσφόρου (P) (Mitsch et. al. 2000). Μέσω των συστημάτων ενυδρειοπονίας επιτυγχάνεται αποφυγή εκροής στο περιβάλλον υψηλών ποσοτήτων των ανωτέρω στοιχείων καθώς μέσω της συνεχούς επανακυκλοφορίας του νερού στο σύστημα διατηρείται μία αρκετά καλή ποιότητα νερού με ημερήσια ανανέωση φρέσκου νερού που αγγίζει μόνο το 5-10% του συνολικού όγκου του συστήματος (Timmons et. al. 2002). Η ορθολογική χρήση νερού και θρεπτικών στοιχείων και η ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των αποβλήτων στο περιβάλλον κατατάσσει την ενυδρειοπονία στα αειφόρα συστήματα γεωργίας.

2. ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΛΟΦΥΤΑ

2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΦΥΤΟ

Ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που παρατηρείται από σειρά ετών αλλά τείνει να επιδεινώνεται τα τελευταία χρόνια λόγω των σύγχρονων εντατικών γεωργικών πρακτικών και των αυξανόμενων αναγκών για άρδευση είναι αυτό της αλατότητας (Amor et. al. 2005). Η αλατότητα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους αβιοτικούς παράγοντες που προκαλούν καταπονήσεις στα φυτά και αφορά την υψηλή συγκέντρωση των ιόντων νατρίου (Na^+) και χλωρίου (Cl^-) στο έδαφος ή το υδατικό διάλυμα (Serrano et. al. 1998). Η αλατότητα προκαλεί δύο τύπους καταπόνησης, την ιοντική και την οσμωτική.

Η ιοντική καταπόνηση λόγω της υψηλής συγκέντρωσης NaCl δημιουργείται από την δυσχέρεια πρόσληψης απαραίτητων ιόντων από τη ρίζα, την ανισορροπία των ιόντων στο φυτικό κύτταρο, μέσω της υψηλής συγκέντρωσης Na^+ και Cl^- που καταλήγει τελικά σε τοξικότητα. Συγκεκριμένα, το νάτριο προκαλεί διαταραχές στην περατότητα των μεμβρανών και στην παρεμπόδιση των ενζύμων, καθώς επίσης λειτουργεί ανταγωνιστικά προς άλλα στοιχεία όπως το κάλιο (K^+) και το ασβέστιο (Ca^{2+}) προκαλώντας βλάβες στην φωτοσυνθετική και αναπνευστική δραστηριότητα και την λειτουργία των στομάτων (Gadallah 1999). Η υψηλή συγκέντρωση νατρίου στο εσωτερικό του κυττάρου προκαλεί τοξικότητα (Degl'Innocenti et. al. 2009). Ταυτόχρονα όμως επηρεάζεται και η σχέση Na^+/K^+ , που αποτελεί μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της αλατότητας καθώς περιορίζει κατά πολύ την πρόσληψη καλίου από τα φυτικά κύτταρα (Rubio et. al. 1995). Έτσι η ανοχή των φυτών στην αλατότητα επηρεάζεται σημαντικά από την ικανότητα των φυτών να ισορροπούν την αναλογία Na^+/K^+ (Tester et. al. 2003). Το κάλιο αποτελεί βασικό στοιχείο στην μεταβολική λειτουργία των φυτών, συμπεριλαμβανομένων της φωτοσύνθεσης, της ενεργοποίησης ενζύμων και της ρύθμισης του οσμωτικού δυναμικού.

Η οσμωτική καταπόνηση σχετίζεται με την αδυναμία πρόσληψης νερού από τις ρίζες, κάτι που οδηγεί σε έλλειψη νερού στο φυτικό σώμα (Zhu 2001). Η αυξημένη συγκέντρωση Na^+ και Cl^- , αρχικά επηρεάζει το περιβάλλον της ρίζας μειώνοντας το υδατικό δυναμικό του εδαφικού διαλύματος, εμποδίζοντας έτσι την πρόσληψη νερού αλλά και των διαλυμένων σε αυτό θρεπτικών στοιχείων (Munns 2002, 2005). Αποτέλεσμα αυτών είναι η επιβράδυνση και μείωση στην ανάπτυξη του φυτού αλλά και της παραγωγικότητάς του, αλλαγές στην μορφολογία του φυτού και πρόβλημα επιβίωσης του.

Οι συνέπειες της καταπόνησης εξαιτίας της αλατότητας είναι ορατές στο φυτό καθώς παρατηρείται περιορισμένο ύψος, χλώρωση φύλλων σε αρχικό στάδιο και νέκρωση αυτών αργότερα και νέκρωση βλαστού σε προχωρημένο στάδιο (Θεριός. 2005). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι μεταβολικές αλλαγές που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό των κυττάρων, μέσω της παρεμπόδισης βασικών διεργασιών του φυτού όπως η φωτοσυνθετική λειτουργία, η παραγωγή ενέργειας και πρωτεϊνών και ο μεταβολισμός ενζύμων και λιπιδίων (Parida et. al. 2005). Η μείωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης οφείλεται -μεταξύ άλλων- στην ελάττωση της στοματικής αγωγιμότητας λόγω της αδυναμίας απορρόφησης νερού από τη ρίζα. Έτσι, τα στόματα κλείνουν προκειμένου να περιορίσουν την απώλεια νερού από την επιφάνεια του φύλλου, αλλά παράλληλα περιορίζεται η διάχυση του CO_2 στους χλωροπλάστες (Centritto et. al. 2003). Η μείωση του CO_2 εντός των χλωροπλάστων επιφέρει ελάττωση της αποδοτικότητας χρήσης της απορροφημένης φωτεινής ακτινοβολίας. Ταυτόχρονα, η αυξημένη αλατότητα, όπως κάθε καταπόνηση, οδηγεί στη συσσώρευση των ενεργών μορφών οξυγόνου (Reactive Oxygen Species, ROS), άρα σε οξειδωτική καταπόνηση (Degl'Innocenti et. al. 2009). Ο όρος αυτός αναφέρεται στο σχηματισμό ROS σε τέτοιο βαθμό όπου δεν μπορούν να εξουδετερωθούν από τους υπάρχοντες αντιοξειδωτικούς μηχανισμούς και την επαγωγή του δευτερογενούς μεταβολισμού για να αποφευχθεί ο κυτταρικός θάνατος (Νεοκλέους 2006). Οι ROS προκαλούν μία σειρά βλαβών σε λιπίδια, πρωτεΐνες, και νουκλεϊκά οξέα

(Ashler et. al. 1997). Η ανεξέλεγκτη παραγωγή τους οδηγεί σε προβλήματα στην κυτταρική λειτουργία και μετέπειτα σε κυτταρικό θάνατο (Bowler et. al. 2000). Οι επιπτώσεις της αυξημένης αλατότητας στα φυτά εξαρτώνται από το γονότυπο, το αναπτυξιακό στάδιο του φυτού και τη συχνότητα, την ένταση και την διάρκεια της καταπόνησης (Ρουμπελάκη- Αγγελάκη Κ.Α, 2003). Αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν και την ανθεκτικότητα, αλλά και τη δυνατότητα προσαρμογής του φυτού στις καταπονητικές συνθήκες (Zhu. 2001).

2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

Κάθε είδος φυτού χρησιμοποιεί διαφορετικούς μηχανισμούς ανοχής έναντι της καταπονήσεως που δημιουργείται από την αλατότητα, οι οποίοι επηρεάζουν την επιβίωση και ανάπτυξη των φυτών αυτών. Οι στρατηγικές που ακολουθούν τα φυτά προκειμένου να αντιμετωπίσουν την υψηλή αλατότητα ουσιαστικά είναι δύο και αφορούν είτε την ελαχιστοποίηση της εισόδου του άλατος στο εσωτερικό του φυτού είτε την μείωση της συγκέντρωσης του άλατος στο εσωτερικό του κυτταροπλάσματος (Amor et. al. 2005). Το κάθε είδος φυτού ακολουθεί διαφορετική στρατηγική. Η κύρια κατηγοριοποίηση των φυτών αναλόγως τα απόκρισής τους γίνεται ανάμεσα σε γλυκόφυτα και αλόφυτα.



ΕΙΚΟΝΑ 1 Συσσώρευση άλατος στην επιφάνεια φύλλου κρίταμου

Τα γλυκόφυτα ακολουθούν η στρατηγική της αποφυγής, δηλαδή αποφεύγουν την απορρόφηση αλάτων μέσω του ριζικού συστήματος τους ή τα συγκεντρώνουν στα κατώτερα μέρη του φυτού σε αντίθεση με τα αλόφυτα που εμφανίζουν πιο εξειδικευμένους μηχανισμούς.

Τα αλόφυτα ακολουθούν τη στρατηγική της ανθεκτικότητας, δηλαδή επιτρέπουν την είσοδο των αλάτων στο εσωτερικό του φυτού, αλλά είτε τα εκκρίνουν στην επιφάνεια των φύλλων μέσω αδένων όπως

φαίνεται στην Εικόνα 1, είτε τα συγκεντρώνουν στα χυμοτόπια αυξάνοντας την οσμωτική πίεση του κυτταρικού χυμού, μειώνοντας το υδατικό δυναμικό των φύλλων και έτσι διευκολύνοντας την πρόσληψη νερού από τη ρίζα (Θεριός 2005). Πέρα από τους μηχανισμούς αντοχής που αναλύθηκαν παραπάνω είναι σημαντικό να αναφερθεί και η οσμωρρύθμιση μέσω των συμβατών οσμωλυτών. Οι οσμωλύτες αποτελούν μία ομάδα οργανικών ενώσεων οι οποίες συσσωρεύονται εντός του κυτταροπλάσματος σε συνθήκες υψηλής αλατότητας. Αυτές οι οργανικές ενώσεις είναι κυρίως σάκχαρα (τριαζόλη, σακχαρόζη, κ.ά.) και αμινοξέα (προλίνη, γλυκίνη, κ.ά.) (Serrano et. al. 1998). Αντίστοιχο ρόλο μπορούν να παίξουν και ιόντα όπως το K^+ . Διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην οσμωρρύθμιση μειώνοντας το οσμωτικό δυναμικό του φυτού και επιτρέποντας έτσι την πρόσληψη νερού από τις ρίζες. Επίσης διατηρούν μία οσμωτική ισορροπία μεταξύ του κυτταροπλάσματος και του χυμοτοπίου (Buhmann et. al. 2012). Η ρύθμιση του οσμωτικού δυναμικού είναι ένα μόνο μέρος της συνεισφοράς των οσμωλυτών καθώς έχουν διαπιστωθεί και άλλες λειτουργίες τους. Συγκεκριμένα οι οσμωλύτες μπορούν να αποτρέψουν την μετουσίωση των πρωτεϊνών και να διατηρήσουν την αρχική τους δομή υπό συνθήκες αφυδάτωσης, λειτουργώντας ως οσμωπροστατευτικές ουσίες σε συνθήκες έλλειψης νερού, είτε να καταστρέψουν ROS, είτε να αποτρέψουν την αποσταθεροποίηση του PSII (Buhmann et. al. 2012, Κωνσταντινίδου 2003).

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, οι μηχανισμοί ανθεκτικότητας των φυτών στην αλατότητα είναι αρκετά πολύπλοκοι καθώς περιλαμβάνουν πολλές λειτουργίες όπως την οσμωτική ρύθμιση, την αποθήκευση των τοξικών ιόντων, την συσσώρευση μεταβολιτών, και την ενεργοποίηση των αντιοξειδωτικών μηχανισμών (Amor et. al. 2005).

2.3 ΑΛΟΦΥΤΑ

Η ομάδα αυτών των φυτών που αναπτύσσονται σε συνθήκες κοντά στο θαλασσινού νερού χωρίς να διαταράσσεται η ισορροπία τους σε

νερό και θρεπτικά στοιχεία μελετήθηκε εκτενώς αρχίζοντας από τον 16^ο αιώνα έως τον 19^ο αιώνα όταν ονομάστηκαν αλόφυτα (Waisel 1972). Οι πρώτες μελέτες για τα φυτά που μπορούν να αναπτυχθούν επαρκώς σε αλατούχα εδάφη κάνουν την εμφάνιση τους στις αρχές του 20^{ου} αιώνα (Stocker 1928). Έπειτα δημιουργήθηκε η πρώτη λίστα αλόφυτων που περιείχε 550 είδη (Mudie 1974), ώσπου επεκτάθηκε στα 1560 είδη που ανήκουν σε 123 οικογένειες (Aronson 1989).

Η λίστα αυτή πήρε ηλεκτρονική μορφή στο διάστημα 2002-2005 μέσω της δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων οργανωμένη ως προς το γένος και το είδος των φυτών (<https://www.sussex.ac.uk/affiliates/halophytes/index.php>). Στη βάση αυτή έχουν εισαχθεί σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη γεωγραφική κατανομή των φυτών αυτών, τη ανεκτικότητα τους στην αλατότητα, τη φωτοσυνθετική οδό, την παραγωγή αντιοξειδωτικών και δευτερογενών μεταβολιτών (Flowers 2015).

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΡΙΤΑΜΟΥ- ΤΣΙΠΟΥΡΑΣ

3.1 ΚΡΙΤΑΜΟ

Το κρίταμο ή το μάραθο της θάλασσας (*Crithmum maritimum* L.) (Εικόνα 2) ανήκει στη κατηγορία των αλόφυτων αρωματικών φυτών. Διαβιεί σε παράκτιες περιοχές, σε βράχους και γκρεμούς αλλά και σε αμμουδερά εδάφη των παραθαλάσσιων περιοχών, με έντονη παρουσία και στις μεσογειακές χώρες (Coiffard et. al. 1993).

Κάνοντας μία ιστορική αναδρομή διαπιστώνεται ότι η ύπαρξη του φυτού αυτού παρατηρήθηκε αρκετούς αιώνες πριν και



ΕΙΚΟΝΑ 2 Το φυτό *Crithmum maritimum* L.

συγκεκριμένα η πρώτη αναφορά έγινε από τον Ιπποκράτη τον 4^ο αιώνα. Τότε αναφερόταν ως βράχος ζαφείρι και ήταν ιδιαίτερος γνωστό για τις αντικατασταλτικές του ιδιότητες (Guerrero et. al. 1996). Με το πέρας των χρόνων και περίπου τον 17^ο αιώνα η χρήση του κρίταμου δεν περιορίστηκε στις φαρμακευτικές του ιδιότητες, αλλά το ενδιαφέρον στράφηκε και στη χρήση του ως καρύκευμα. Η εδώδιμη αυτή χρήση του σε συνδυασμό με την

κατανάλωση και του ελαίου του, η ποιότητα του οποίου φαίνεται να είναι παρόμοια με αυτή της ελιάς (Weber et. al. 2007), συνεχίζει ακόμα και στις μέρες μας, ενώ ολοένα εξαπλώνεται η κατανάλωση του τόσο για λόγω των θρεπτικών ιδιοτήτων του όσο και της ιδιαίτερης γεύσης του.

Το κρίταμο αποτελεί ένα φυτό που τα τελευταία χρόνια έχει τεράστιο οικονομικό ενδιαφέρον λόγω των θρεπτικών στοιχείων του και της υψηλής περιεκτικότητας σε δευτερογενείς μεταβολίτες που περιέχει, όπως είναι τα λιπαρά οξέα, φλαβονοειδή, καροτενοειδή, βιταμίνη C, αιθέρια έλαια, φαινολικά και πολλά άλλα (Cunsolo et. al. 1993).

Κάποιες από τις χρήσεις του αναφέρονται στην ιατρική και σχετίζονται με τα λιπαρά οξέα που εντοπίζονται στα βρώσιμα μέρη του φυτού με σημαντικό ρόλο στην ρύθμιση του μεταβολισμού και με ευεργετικά αποτελέσματα έναντι καρδιακών παθήσεων (Guerrero-Guil et. al. 1999) και επιπρόσθετα για τις διουρητικές, πεπτικές και αντισπασμωδικές ιδιότητες του (Guerrero-Guil et.al. 1996).

Όλα τα παραπάνω συστατικά προσδίδουν μία δυναμική στην καλλιέργεια του κρίταμου απορροφώντας την παραγωγή σε διάφορους τομείς εκμεταλλευόμενοι τις αντιμικροβιακές και αντιβακτηριακές (Roosi et. al. 2007), αντιοξειδωτικές, εντομοαπωθητικές, φαρμακευτικές και αρωματικές ιδιότητες του λόγω και της ύπαρξης αιθέριων ελαίων. Η δράση των αιθέριων ελαίων επεκτείνεται στη βιομηχανία των φαρμάκων και της κοσμετολογίας μέσω καλλυντικών λόγω των αντιγηραντικών, αντιρυτιδικών ιδιοτήτων και πρόσθετων προϊόντων για τα μαλλιά και το δέρμα (Amor et. al. 2005).

3.2 ΤΣΙΠΟΥΡΑ

Η έλλειψη γλυκού νερού που χρησιμοποιείται στις γεωργικές διαδικασίες, οφείλεται στην ξηρασία, στην αύξηση του πληθυσμού, καθώς και στη λανθασμένη διαχείριση των



ΕΙΚΟΝΑ 3 Το ψάρι *Sparus aurata*.

αποθεμάτων γλυκού νερού. Έτσι, αυτή η έλλειψη ανέδειξε την αναγκαιότητα κοινωνικο-οικονομικών μεθόδων ανάπτυξης και οδήγησε τους επιστήμονες στην επίσπευση της έρευνας και της προόδου των θαλασσιών υδατοκαλλιεργειών με τη συμμετοχή ψαριών που ανήκουν στην κατηγορία των ευρύαλων, όπως η τσιπούρα (*Sparus aurata*) (Tandler,

1993, Rock, 1998, Nour et al., 2004). Τα ευρύαλα είναι ικανά να επιβιώσουν υπό διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες αλατότητας και θερμοκρασίας. Και οι δύο μεταβλητές είναι βασικοί παράγοντες στον μεταβολισμό της ενέργειας των ψαριών προκαλώντας μεταβολική αναδιοργάνωση για

την αντιστάθμιση της αλατότητας και των αλλαγών θερμοκρασίας (Vargas- Chacoff 2009). Η τσιπούρα συγκαταλέγεται στα σημαντικότερα εμπορικά είδη και εντοπίζεται στη Μεσόγειο (όχι τόσο συχνά στο ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της και σπανιότερα στη Μαύρη Θάλασσα), καθώς και στον Ατλαντικό Ωκεανό (από τις νοτιοδυτικές ακτές των Βρετανικών Νήσων μέχρι τις βορειοδυτικές ακτές της Αφρικής και τις Καναρίους Νήσους), σε αλατούχα σημεία θαλασσών και λιμνών (Girin 1983, Κουρκούτα 2017). Αντέχει σε συνθήκες αλατότητας 15-42‰, ενώ προτιμά νερά με αλατότητα 25-40‰, με βέλτιστο κοντά στο 25‰ (Tandler et al., 1995, Gaon et al. 2021, Κουρκούτα, 2017). Η τσιπούρα Gilthead (*Sparus aurata*) είναι ένα κοινό θαλάσσιο ψάρι των παράκτιων θερμών υδάτων της Μεσογείου και του Ανατολικού Ατλαντικού. Είναι κατάλληλο για υδατοκαλλιέργεια τόσο σε θαλάσσια κλουβιά όσο και σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας επανακυκλοφορίας στην ξηρά (RAS) (Seginer 2016).

ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

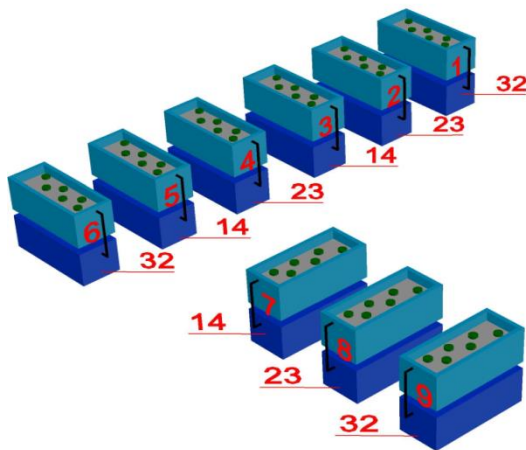
Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογηθούν οι μεταβολές που επιφέρει στην ανάπτυξη και τη φωτοσυνθετική απόδοση η επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων αλατότητας σε φυτά κρίταμου στο πλαίσιο καλλιέργειας τους σε σύστημα ενυδρείοπονίας. Όπως είναι ευρέως γνωστό το στρες της αλατότητας επιδρά αρνητικά καθώς επιφέρει ιοντική και οσμωτική καταπόνηση. Παρόλα αυτά το κρίταμο, ως αλόφυτο, ανταπεξέρχεται με διαφορετικό τρόπο στην καταπόνηση αυτή, εφόσον ενεργοποιεί εξειδικευμένους μηχανισμούς ανθεκτικότητας. Βάση αυτών διερευνήθηκε το κατά πόσο η ικανότητα προσαρμογής των αλόφυτων μπορεί να ισορροπήσει και να μετριάσει τις αρνητικές επιπτώσεις της αλατότητας υπό αναπτυξιακής και φυσιολογικής άποψης σε συνθήκες υφάλμυρου νερού.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε στο εργαστήριο ενυδρειοπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, όπου υπάρχουν συστήματα ενυδρειοπονίας. Το πείραμα διήρκησε περίπου δύο μήνες στο σύνολο του από μέσα Απριλίου έως μέσα Ιουνίου 2019. Το πείραμα αφορούσε την επίδραση τριών διαφορετικών μεταχειρίσεων αλατότητας, 14dS/m, 23dS/m και 32dS/m σε φυτά κρίταμου τα οποία καλλιεργήθηκαν σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας με εκτροφή τσιπούρας.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε 9 αυτόνομα συστήματα που περιγράφονται παρακάτω, με τρεις επαναλήψεις ανά μεταχείριση. Έγινε ομοιόμορφη κατανομή των διαφορετικών μεταχειρίσεων της αλατότητας στα τρία συστήματα έτσι ώστε να μην επηρεαστούν τα αποτελέσματα από εξωγενείς παράγοντες που τυχόν να επηρέαζαν κάποιο τμήμα του χώρου διεξαγωγής του πειράματος. Η διάταξη των συστημάτων και των επαναλήψεων φαίνεται στην Εικόνα 4.



ΕΙΚΟΝΑ 4 Απεικόνιση της κατανομής των μεταχειρίσεων αλατότητας (αντίστοιχα 14,23,32dS/m) στο χώρο.

Το φυτικό υλικό προήλθε από το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε) και παραλήφθηκε στα μέσα Απριλίου σε πλαστικά κύπελλα φύτευσης με υπόστρωμα περλίτη. Ο συνολικός αριθμός των φυτών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 54 φυτά κρίταμου (*Crithmum*

maritimum L.) μοιρασμένα σε 3 μεταχειρίσεις αλατότητας σε 3 επαναλήψεις (6 φυτά ανά επανάληψη). Τα ψάρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τσιπούρες (*Sparus aurata*) και ο αριθμός τους περιελάμβανε 90 ψάρια μοιρασμένα στις 3 μεταχειρίσεις αλατότητα με 3 επαναλήψεις (10 ψάρια ανά επανάληψη).

Πριν την έναρξη του πειράματος και τη συμβίωση των φυτών και των ψαριών στο ίδιο σύστημα ήταν αναγκαίος ο σταδιακός εγκλιματισμός τους στις πειραματικές συγκεντρώσεις αλατότητας. Η διαδικασία αυτή ξεκίνησε αρχικά από τα ψάρια με σταδιακή μείωση της αλατότητας στο νερό που φιλοξενούνταν ώστε να φτάσουν οι συγκεντρώσεις στα επιθυμητά όρια, με τη διαδικασία αυτή να διαρκεί τρεις εβδομάδες και συγκεκριμένα από 18/4 έως 11/05. Αν λάβουμε υπόψη ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού είναι περίπου 54 dS/m γίνεται αντιληπτό ότι η απότομη μετάβαση των ψαριών σε χαμηλές συγκεντρώσεις άλατος θα μπορούσε να επιφέρει στρες αλλά ακόμα και θανάτωση αυτών.

Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και στην περίπτωση των



ΕΙΚΟΝΑ 5 Παραλαβή των φυτών σε υπόστρωμα περλίτη

φυτών με την διαφορά ότι η διαχείριση του εγκλιματισμού στην αλατότητα μέσω του ποτίσματος διεξήχθη σε θερμοκηπιακή μονάδα εντός του χώρου της Σχολής σε διάρκεια δύο εβδομάδων, με σταδιακή αύξηση της αλατότητας στο αρδευτικό νερό κατά 3-4 μονάδες dS/m ανά 3 ημέρες, ώσπου να φτάσουν στα επιθυμητά επίπεδα αλατότητας και με αυτό το τρόπο να αποφευχθεί το οσμωτικό στρες.

Έπειτα, στις 14 Μαΐου αφού αφαιρέθηκε το υπόστρωμα περλίτη από τα φυτά αφήνοντας καθαρό το ριζικό σύστημα από κάθε είδους υλικό έγινε η εγκατάσταση των φυτών στο σύστημα ενυδραιοπονίας σε ειδικά πλαστικά δοχεία (net pots) με ενσωματωμένο υπόστρωμα λάβας για την στήριξη των φυτών. Ακολούθησε η συμβίωση φυτών και ψαριών για τις επόμενες έξι

εβδομάδες στην διάρκεια της οποίας έγιναν οι μετρήσεις και αναλύσεις που αναφέρονται παρακάτω.



ΕΙΚΟΝΑ 6 Πλαστικό δοχείο στα αριστερά και ηφαιστειακή λάβα στα δεξιά για την τοποθέτηση και στήριξη των φυτών.

4.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ

Το κάθε σύστημα της ενυδρείοπονίας χωρίζεται σε τρία τμήματα και αφορούν:

- Ορθογώνιες γυάλινες δεξαμενές για την διαβίωση και ανάπτυξη των ψαριών, όγκου 99 λίτρα (L).
- Ορθογώνιες γυάλινες δεξαμενές ίσου μεγέθους με ενσωματωμένη μια επιπλέουσα επιφάνεια φελιζόλ με τρύπες όπου τοποθετούνται τα φυτά ώστε μόνο οι ρίζες τους να έρχονται σε επαφή με το νερό όγκου, 99 λίτρα (L).
- Τετράγωνες γυάλινες δεξαμενές μικρότερου μεγέθους όπου περιείχαν την αντλία νερού, βιολογικά φίλτρα για την νιτροποίηση και υλικό για την συγκράτηση τροφών και στερεών απεκκρίσεων.

Όλες οι δεξαμενές αυτές ήταν καλυμμένες σε όλες τις πλαϊνές πλευρές τους με μαύρο πλαστικό υλικό για να αποφευχθούν μεταβολές στην θερμοκρασία του νερού και αναστάτωση των ψαριών από τον ανθρώπινο παράγοντα. Ακόμα για τους παραπάνω λόγους υπήρξε και κάλυψη της επάνω επιφάνειας των ενυδρείων που φιλοξενούσαν τα ψάρια με υλικό φελιζόλ και με συγκεκριμένη οπή για την διεξαγωγή του ταΐσματος.



ΕΙΚΟΝΑ 7 Απεικόνιση του συστήματος ενυδρείοπονίας και τοποθέτησης των φυτών σε αυτό.

Ο έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος ήταν καθημερινός και ορισμένες φορές απαιτούσε παρεμβάσεις, ενώ περιληπτικά περιελάμβανε:

- τον έλεγχο της στάθμης του νερού όπου εντοπίζονταν αυξομειώσεις λόγω της εξάτμισης και συμπλήρωση της ποσότητας αυτής με νερό της αντίστοιχης αλατότητας
- την μέτρηση της αλατότητας σε όλα τα συστήματα και την επαναρύθμιση της όπου ήταν επιβεβλημένο
- τον έλεγχο λειτουργίας των αντλιών, των φίλτρων των συστημάτων παροχής αέρα, του τεχνητού συστήματος φωτισμού και θερμοκρασίας
- τον έλεγχο της υγείας των ψαριών και των καθημερινών διατροφικών απαιτήσεων τους
- τον έλεγχο της κατάστασης των φυτών και καταγραφή οποιασδήποτε μεταβολής
- τον καθημερινό σιφονισμό των ενυδρείων για την απόρριψη υπολειμμάτων τροφών και κοπράνων έτσι ώστε να μειωθεί η θολότητα του νερού

Η λειτουργία του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν παρουσίασε ιδιαίτερα προβλήματα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ορθή εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

4.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Για να γίνει η εγκατάσταση των φυτών στις κλίνες έπρεπε να ληφθούν υπόψη παράμετροι όπως η θερμοκρασία και η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR). Έτσι έγινε μέτρηση των παραμέτρων αυτών και χαρτογράφηση των σωστών θέσεων για τα φυτά έτσι ώστε να επιτευχθεί ομοιογένεια στις διάφορες μεταχειρίσεις. Αυτές οι μετρήσεις αφορούσαν μόνο τα φυτά καθώς επηρεαζόντουσαν άμεσα από την επίδραση των λαμπτήρων. Όπως είναι εμφανές η μία επανάληψη που αφορά τα συστήματα (αναφέρονται ως ST στη συνέχεια) ST7-ST9 παρουσίασαν τις υψηλότερες θερμοκρασίες παρόλο που χρησιμοποιήθηκε πρόσθετος εξοπλισμός ανεμιστήρων.

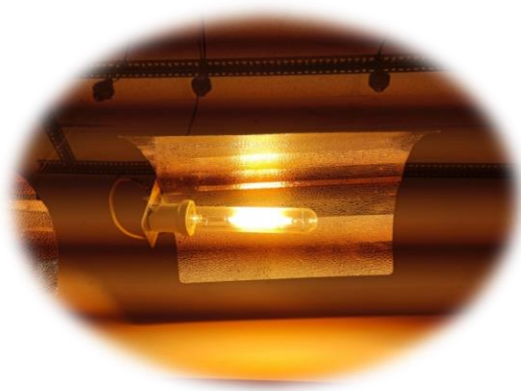
Όσον αφορά τη θερμοκρασία του χώρου και του νερού διατηρούνταν σε συγκεκριμένη τιμή και βάση των απαιτήσεων των φυτών για τη επιβίωση, ανάπτυξη και διατήρηση του πληθυσμού τους καθώς οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά (Saaid et. al. 2013).

Ο ρόλος της θερμοκρασίας είναι καθοριστικός για την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών καθώς επηρεάζει διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις που έχουν σχέση με τον μεταβολισμό, τη διαλυτότητα των αερίων, την πρόσληψη ανόργανων ιόντων και την απώλεια νερού μέσω της διαπνοής (Βογιατζής 2009). Όσον αφορά τη θερμοκρασία οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν δύο μέρες πριν την εγκατάσταση των φυτών, και οι τιμές πάνω από τις θέσεις των φυτών κυμάνθηκαν σε από 24,0°C έως 27,4 °C, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

T °C		T °C		T °C	
14 dS/m		23 dS/m		32 dS/m	
ST 3	25,0	ST 2	25,0	ST 1	25,3
ST 5	25,9	ST 4	24,0	ST 6	25,4
ST 7	26,2	ST 8	27,4	ST 9	27,1

Πίνακας 1: Θερμοκρασία στις κλίνες των φυτών κατά την εγκατάσταση.

Το φως αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών μέσω της διεξαγωγής φυσιολογικών λειτουργιών απαραίτητων για τη διαβίωση τους. Η περιοχή του ορατού φωτός που κυμαίνεται από τα 400-700nm, αποτελεί τα όρια μέσα στα οποία διεγείρονται οι φωτοσυνθετικές διεργασίες του φυτού και ονομάζεται φωτοσυνθετική ενεργή ακτινοβολία (PAR). Η διεξαγωγή του πειράματος όπως αναφέρθηκε πραγματοποιήθηκε σε κλειστό χώρο με πλήρη έλεγχο



ΕΙΚΟΝΑ 8 Λαμπτήρας υψηλής πίεσης νατρίου (HPS).

όλων των περιβαλλοντικών συνθηκών θερμοκρασίας υγρασίας παράλληλα όμως η φυσική πηγή φωτός αποτελούσε περιοριστικό παράγοντα. Έτσι εφαρμόστηκε τεχνητός φωτισμός μέσω λαμπτήρων υψηλής πίεσης

νατρίου (HPS) που εξέπεμπαν φως έντασης 400 W/m^2 (Εικόνα 8).

Οι λαμπτήρες τοποθετήθηκαν σε ύψος περίπου ένα μέτρο πάνω από τα φυτά και η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε στις 12 ώρες φως (8:00πμ μέχρι τις 10:00μμ) και 12 σκοτάδι. Όσον αφορά την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία οι τιμές κατά την εγκατάσταση των φυτών διακυμάνθηκαν από 540-710nm (Πίνακας 2) στο σύνολο των μετρήσεων και αναλυτικότερα:

PAR		PAR		PAR	
14 DS/M		23 DS/M		32 DS/M	
ST 3	590-670	ST 2	590-630	ST 1	570-640
ST 5	580-710	ST 4	590-690	ST 6	550-670
ST 7	540-680	ST 8	620-690	ST 9	540-680

Πίνακας 2: Υψηλότερη και χαμηλότερη τιμή PAR στην κλίση των φυτών κατά την εγκατάσταση.

4.1.3 ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ

Για την διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος εφαρμόστηκε πρόσθετη λίπανση σιδήρου (Fe) και καλίου (K) υπό την μορφή FeDTPA και K_2SO_4 αντίστοιχα. Η προσθήκη χορηγήθηκε τη δέκατη μέρα μετά την έναρξη του πειράματος. Διαλύθηκαν 1,86gr FeDTPA και 43,7gr K_2SO_4 σε 1,5L και προστέθηκαν 500ml αυτού του διαλύματος σε κάθε σύστημα. Αυτή ήταν και η μόνη εφαρμογή λιπασμάτων καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Έπειτα από τρεις εβδομάδες πραγματοποιήθηκε ποσοτικός προσδιορισμός των δύο αυτών στοιχείων. Για τον προσδιορισμό του σιδήρου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φωτομετρίας, με το φωτόμετρο HACH DR3900, ενώ για την περίπτωση του καλίου η μέθοδος της φλογοφωτομετρίας.

Το πεδίο προσδιορισμού της φλογοφωτομετρίας αφορά περίπου 50 στοιχεία από τα οποία οι Vainshtein και Lebedev προσδιόρισαν τα στοιχεία λιθίου, νατρίου και καλίου (Margoshes 1962, Vainshtein et. al. 1961). Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του στοιχείου που μελετάται γίνεται μέσω της πρότυπης καμπύλης που δημιουργείται με βάση πρότυπων διαλυμάτων, όπου η ενέργεια του φωτός μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο καταγράφεται μέσω ενός φωτοπολλαπλασιαστή προσδιορίζοντας το μήκη κύματος (Flame Photometer Manual).

4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

4.2.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Από την εγκατάσταση του πειράματος και μετέπειτα σε διάστημα περίπου κάθε δέκα ημερών πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στη βλαστική ανάπτυξη των φυτών στο σύνολο τους. Η διαφορά της ανάπτυξης των φυτών με την αύξηση της αλατότητας απεικονίζεται στην Εικόνα 9.

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του μήκους των βλαστών και της διαμέτρου της ροζέτας με χρήση απλού χάρακα και αφορούσαν

το μήκος από την αρχή της έκφυσης του βλαστού στο υπόστρωμα έως την άκρη του φύλλου και της μεγαλύτερης αντιδιαμετρικά διαμέτρου της ροζέτας αντίστοιχα.



ΕΙΚΟΝΑ 9 Βλαστική ανάπτυξη των τριών μεταχειρίσεων αλατότητας στο ένα σύστημα ενυδρείοπονίας με αυξητική διακύμανση της αλατότητας από αριστερά προς τα δεξιά.

4.2.2 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις που αφορούν φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού και μπορεί να αφορούν είτε αλλοιώσεις στη φωτοσυνθετική οδό είτε τον εντοπισμό διάφορων καταπονήσεων που μπορεί να υπόκεινται. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν εξειδικευμένα όργανα του εργαστηρίου Ζιζανιολογίας, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω στην αντίστοιχη μέτρηση. Οι μετρήσεις του φθορισμού και της ανακλαστικότητας είναι επιθυμητό να πραγματοποιούνται τις πρωινές ώρες πριν την ανατολή του ηλίου.

- Συγκέντρωση χρωστικών

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διάρκεια του πειράματος ήταν πέντε με ενδιάμεσο διάστημα επτά ημερών. Όπως και οι επόμενες μετρήσεις που θα ακολουθήσουν διεξήχθησαν τις πρώτες πρωινές ώρες πριν την ενεργοποίηση των λαμπτήρων. Η μέτρηση αφορούσε το σύνολο των φυτών που συμμετείχαν στο πείραμα φτάνοντας τις 54 μετρήσεις τη φορά, δηλαδή 18 μετρήσεις ανά διαφορετική αλατότητα. Οι μετρήσεις αφορούσαν φύλλα πλήρως

ανεπτυγμένα που δεν βρίσκονταν ούτε στο νεανικό αναπτυξιακό στάδιο αλλά ούτε και στο σημείο του γήρατος.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση αυτών των μετρήσεων είναι το χλωροφυλλόμετρο, (SPAD Minolta). Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνουμε μία γρήγορη μέτρηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης ανά φύλλο χωρίς να το καταστρέφουμε. Συγκεκριμένα η τιμή της χλωροφύλλης υπολογίζεται βάση της ποσότητας του φωτός που μεταδίδεται από το φύλλο σε δύο μήκη κύματος. Τα μήκη κύματος αυτά αφορούν την κόκκινη περιοχή (650nm) όπου η απορρόφηση είναι υψηλή και την υπέρυθη περιοχή (940nm) όπου η απορρόφηση είναι εξαιρετικά χαμηλή. Η εκπομπή των φωτεινών αυτών περιοχών γίνεται μέσω LED συστήματος το οποίο είναι ενσωματωμένο στην κεφαλή του συστήματος. Οι σχετικές τιμές που κυμαίνονται ανάμεσα (0-99) στο όργανο αυτό είναι ανάλογες προς τη συνολική χλωροφύλλη (a+b) του φύλλου.

- Φθορισμός χλωροφύλλης

Στην διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος πραγματοποιήθηκαν τέσσερις μετρήσεις φθορισμού της χλωροφύλλης ανά διάστημα εφτά ημερών και κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών πριν την ανατολή του ηλίου και την ενεργοποίηση των λαμπτήρων. Το σύνολο των φυτών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σύνολο 36 κάθε φορά και συγκεκριμένα αφορά 4 φυτά ανά ενυδρειακό σύστημα δηλαδή 12 φυτά σύνολο ανά μεταχείριση αλατότητας. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση αυτή ονομάζεται Handy Pea της εταιρείας Hansatech και χαρακτηρίζεται ως ένα ελαφρύ, φορητό και εύκολα διαχειρίσιμο όργανο.

Σκοπός της λειτουργίας του είναι να καταγράψει τα σήματα φθορισμού της χλωροφύλλης που εκπέμπονται από τα πράσινα μέρη του φυτού. Στην έναρξη την διαδικασίας τα φυτά υπόκεινται σε πλήρη συσκότιση με τα ειδικά μανταλάκια και έπειτα εφόσον τοποθετηθεί η κεφαλή χρησιμοποιούνται 6 δίοδοι εκπομπής ομοιόμορφου κόκκινου φωτισμού σε μήκος κύματος 650nm, με λαμπτήρες LED, στην επιφάνεια του φύλλου. Το μηχάνημα έχει την δυνατότητα να υπολογίζει

τον εκπεμπόμενο φθορισμό σε διάστημα λίγων δευτερολέπτων (Hansatech instruments). Το φάσμα φθορισμού είναι διαφορετικό από αυτό του απορροφημένου φωτός με την κορυφή του να αγγίζει μεγαλύτερο μήκος κύματος από τα 650nm (Mawxell et.al. 2000)

Οι μετρήσεις του οργάνου αφορούν τους παρακάτω παράγοντες:

F_o: ελάχιστη απόδοση φθορισμού που παραπέμπει στο χρόνο μηδέν στο σκοτάδι

F_m: η μέγιστη τιμή φθορισμού που λαμβάνεται έπειτα από την εφαρμογή του φωτός κορεσμού

F_v: η μεταβλητότητα του φθορισμού

F_v/F_m: ο λόγος αυτός παρουσιάζει τη μέγιστη απόδοση της φωτοσύνθεσης

Η σύγκριση των τριών αυτών τιμών F_o, F_m, F_v παρουσιάζει την φυσιολογική κατάσταση και την παραγωγικότητα του φυτού επικεντρώνοντας στην απόδοση του PSII (Batjyka et. al. 2017). Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται την αυγή για να μετριάσει η φωτοχημική απόσβεση εφόσον δε μπορεί να υπάρξει πλήρης αναστολή της θερμότητας.

Στη φάση που υποδηλώνεται ο ελάχιστος φθορισμός, F_o, όλα τα κέντρα του φωτοσυστήματος II παραμένουν ανοιχτά, και παρέχοντας υψηλή ένταση φωτός για μικρή διάρκεια τα κέντρα κλείνουν και ο φθορισμός ανέρχεται στην μέγιστη τιμή του, F_m. Μέσω αυτών των δύο παραμέτρων ορίζεται ο μεταβλητός φθορισμός, F_v, όπου υπολογίζεται με την αφαίρεση των δύο παραπάνω παραμέτρων, δηλαδή:

$$\diamond \mathbf{F_v = F_o - F_m} \quad (\text{Richardson et. al.2002})$$

Ο λόγος F_v/F_m αποτελεί ένα δείκτη της απόδοσης του PSII (Bilger et. al. 1995). Συγκεκριμένα ο λόγος αυτός είναι ενδεικτικός της ηλεκτρονιακής ροής στο PSII (Richardson et. al. 2002). Όταν το F_v μετριέται στο σκοτάδι τότε ο λόγος F_v/F_m παρουσιάζει τη μέγιστη απόδοση της φωτοσύνθεσης. Επιπρόσθετα η μείωση του λόγου F_v/F_m αποτελεί ένδειξη προβληματικής λειτουργίας του φωτοσυστήματος II.

Ένας ακόμα δείκτης ευαισθησίας έναντι της αξιολόγησης της κατάστασης που βρίσκεται το φυτό σε συνθήκη στρες πέρα από το λόγο F_v/F_m είναι και ο δείκτης απόδοσης PI. Ο δείκτης αυτός έχει μεγαλύτερη ευαισθησία και μπορεί να αξιολογήσει εξίσου τη φωτοσυνθετική κατάσταση του φυτού. Μία μεγάλη μείωση στον δείκτη PI μπορεί να σημαίνει περιορισμό στη λειτουργία του PSII (Yuanhang Li et. al. 2019).

- Ανακλαστικότητα

Η μέτρηση της ανακλαστικότητας του φύλλου γίνεται και αυτή με μη καταστροφικές μεθόδους και αποτελεί μία γρήγορη μέθοδο που έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί ακόμα και σε φύλλα μικρής διαμέτρου (Richardson et. al. 2001). Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε εβδομάδα, ολοκληρώνοντας πέντε μετρήσεις στο σύνολο του πειράματος. Η κάθε μέτρηση περιελάμβανε 42 φυτά συνολικά και 14 μετρήσεις ανά διαφορετική αλατότητα. Επίσης οι μετρήσεις λαμβάνονταν δύο φορές την εκάστοτε ημέρα και ειδικότερα μία τις πρωινές ώρες στο απόλυτο σκοτάδι πριν την ανατολή του ηλίου και έπειτα τις μεσημεριανές ώρες έπειτα από την λειτουργία των λαμπτήρων στα ίδια ακριβώς φύλλα, εφόσον είχαν σημαδευτεί με αυτοκόλλητη ταινία. Οι μετρήσεις έγιναν με το όργανο φασματικής καταγραφής της ανακλαστικότητας JAZ, το οποίο απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στη βαθμονόμηση και διαχείριση του ώστε να αποφευχθούν σφάλματα στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Από τις μετρήσεις εξήχθησαν ορισμένοι δείκτες ανακλαστικότητας που δίνουν πληροφορίες για την λειτουργία του φυτού (Gamon et. al. 1999):

NDI: ως δείκτης που αποτυπώνει τη συγκέντρωση των χλωροφυλλών

PRI: ως δείκτης της κατάστασης του κύκλου των ξανθοφυλλών και της αποδοτικότητας χρήσης φωτός

Για την εξαγωγή των δεικτών χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τύποι:

NDI (χλωροφύλλες): $(R_{750}-R_{705}) : (R_{750}+R_{705})$

PRI (ξανθοφύλλες): $(R_{531}-R_{570}) : (R_{531}+R_{570})$

Ο δείκτης R, αφορά την ανακλαστικότητα σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος του φάσματος.

Επίσης όπως φαίνεται από την φασματική κατανομή τους οι δείκτες NDI και PRI υπολογίζονται από τις ερυθρές και υπέρυθρες περιοχές.

Από τις πρωινές και τις μεσημεριανές μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιούνταν στο ίδιο φύλλο, υπολογίστηκε το ΔPRI:

$$\diamond \Delta PRI = PRI_{\xi\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\omega\mu\alpha} - PRI_{\mu\epsilon\sigma\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\iota}$$

4.2.3 ΤΕΛΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ

Η λήξη του πειράματος ολοκληρώθηκε με την τελική συλλογή των φυτών και των ψαριών που πραγματοποιήθηκε στις 26/6/2019. Τα φυτά αφού απομακρύνθηκαν από το σύστημα ενυδρειοπονίας και στη συνέχεια από το πλαστικό δοχείο στήριξης αφαιρώντας την ηφαιστειακή λάβα από το ριζικό τους σύστημα. Η διαδικασία αυτή έγινε με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην αποκοπούν τμήματα του ριζικού συστήματος που ήταν προσκολλημένα στη λάβα.

Στην συνέχεια διαχωρίστηκε το υπέργειο τμήμα του φυτού από την ρίζα. Όσον αφορά το υπέργειο κομμάτι αφαιρέθηκε ένας βλαστός και μετρήθηκε το νωπό βάρος του φυτού που απέμεινε και χώρια του βλαστού που κόπηκε. Ο βλαστός στην συνέχεια τοποθετήθηκε σε φούρνο, στους 70 °C, για την ξήρανση τους για τέσσερις μέρες. Αντίστοιχα έγινε και με το υπόλοιπο φυτό αφού πρώτα ξεχώρισε ένα ή δύο φύλλα αναλόγως για να τοποθετηθεί στους -80°C για επόμενες αναλύσεις. Αυτή η διαδικασία ακολουθήθηκε για όλα τα φυτά του πειράματος.

Περίπου ίδια διαδικασία αφορούσε και στην περίπτωση του ριζικού συστήματος με τη διαφορά ότι η ρίζα χωρίστηκε σε δύο ίσα κομμάτια και ζυγίστηκε το νωπό βάρος της. Το ένα τμήμα της ρίζας τοποθετήθηκε στον φούρνο, στους 70 °C, για ξήρανση και έμεινε εκεί για τέσσερις μέρες ενώ το υπόλοιπο κομμάτι τοποθετήθηκε στην ψύξη στους -20 °C για επόμενες αναλύσεις.

Έπειτα από τέσσερις ημέρες ζυγίστηκαν τα φύλλα, ο βλαστός και τη ρίζα που είχαν τοποθετηθεί για ξήρανση σε ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Ο έλεγχος της ύπαρξης στατιστικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων για όλες τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο one-way ANOVA, και ακολούθησαν post-hoc tests, σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$. Οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν με το πρόγραμμα SPSS (IBM SPSS v. 26).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

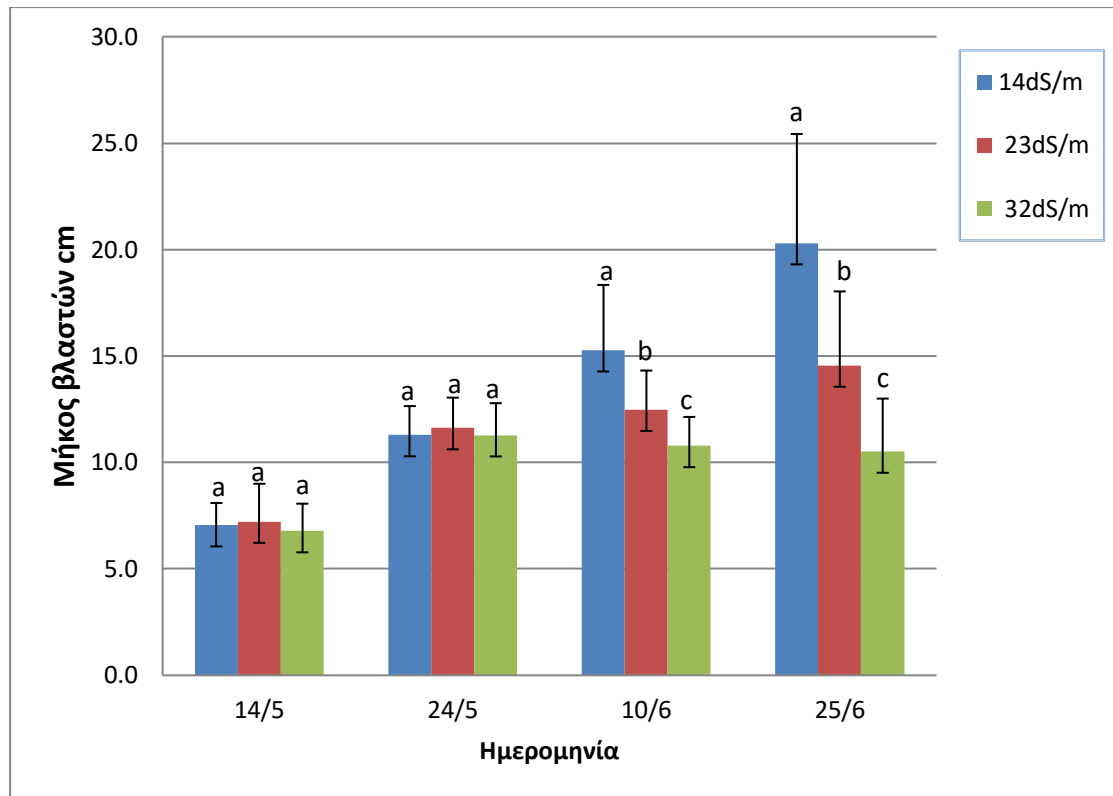
Μορφολογικές μετρήσεις

Μήκος βλαστών ανά φυτό

Με βάση τα δεδομένα που εξήχθησαν μέσω του πειραματισμού είναι εμφανής μία διαφοροποίηση σε σχέση με τη βλαστική ανάπτυξη του φυτού κρίταμου σε σχέση με την αυξανόμενη συγκέντρωση της αλατότητας στο υδατικό διάλυμα. Έτσι τις δύο πρώτες εβδομάδες του πειράματος παρατηρήθηκε μία παρόμοια αύξηση του μήκους των βλαστών και στις τρεις μεταχειρίσεις αλατότητας δηλαδή στα 14,23,32 dS/m χωρίς να παρουσιάζεται στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στα δείγματα (Σχήμα 1).

Στη συνέχεια όμως στις επόμενες δύο μετρήσεις πριν την λήξη του πειράματος παρατηρείται διαφοροποίηση μεταξύ των μεταχειρίσεων με τα φυτά που δέχτηκαν τη μικρότερη αλατότητα να αναπτύσσονται σημαντικά, ενώ ακολουθούν τα φυτά της μεσαίας συγκέντρωσης με ικανοποιητική αύξηση. Η υψηλότερη συγκέντρωση αλατότητας οδήγησε σε μία σταθεροποίηση του μήκους των βλαστών στα επίπεδα της δεύτερης μέτρησης.

Από την 3^η μέτρηση, ένα μήνα μετά την έναρξη του πειράματος και μέχρι το τέλος του πειράματος εμφανίζεται σημαντική στατιστική διαφορά ανάμεσα σε όλες τις μεταχειρίσεις ($p < 0,05$). Το μεγαλύτερο μήκος που παρατηρήθηκε είναι τα 20cm, στην μικρότερη αλατότητα 14dS/m στην τελευταία μέτρηση πριν την λήξη του πειράματος.

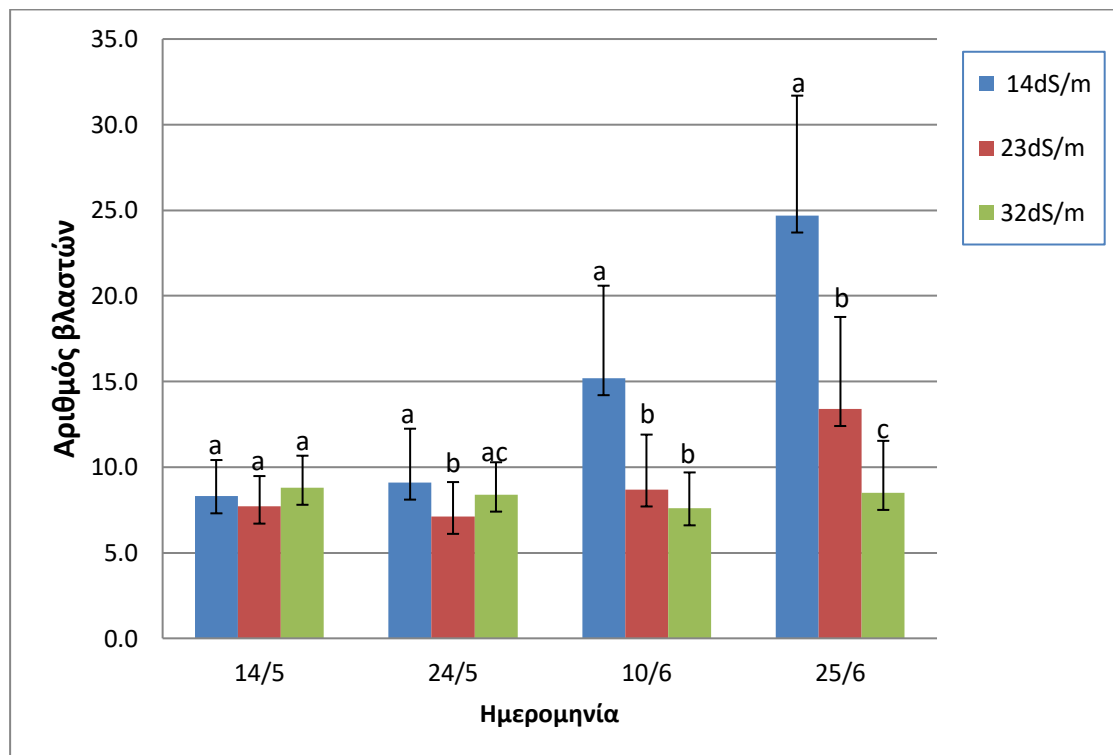


Σχήμα 1: Μήκος βλαστών ανά φυτό *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14,23,32 dS/m, εκφρασμένο σε M.O±SD, όπως καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Συνολικός αριθμός βλαστών

Όσον αφορά το μορφολογικό αποτύπωμα σε σχέση με τον αριθμό των βλαστών διαπιστώνεται επίσης μία ακόμα έντονη διαφοροποίηση ανάμεσα στις μεταχειρίσεις αλατότητας. Συγκεκριμένα όπως φαίνεται και στο *Σχήμα 2* παρατηρούμε την μεταβολή του συνολικού αριθμού των βλαστών στο πέρασμα του χρόνου και για την περίοδο από 14/5 έως 25/6. Παρατηρούμε ότι και στις τρεις διαφορετικές αλατότητες στο αρχικό στάδιο πειράματος, της πρώτης εβδομάδας, έχουμε παρόμοιο αριθμό εκφυόμενων βλαστών χωρίς να παρουσιάζεται σημαντική στατιστική διαφορά ανάμεσα στα δείγματα. Στις επόμενες δέκα ημέρες επικρατεί μία ελάχιστα διαφοροποιημένη κατάσταση με την εμφάνιση μικρής αναστολής ανάπτυξης στη μεσαία αλατότητα με στατιστική διαφορά έναντι των άλλων δύο μεταχειρίσεων. Στη συνέχεια όμως και έως το τέλος του πειράματος φαίνεται μία αρκετά σημαντική αύξηση του ρυθμού παραγωγής βλαστών στην

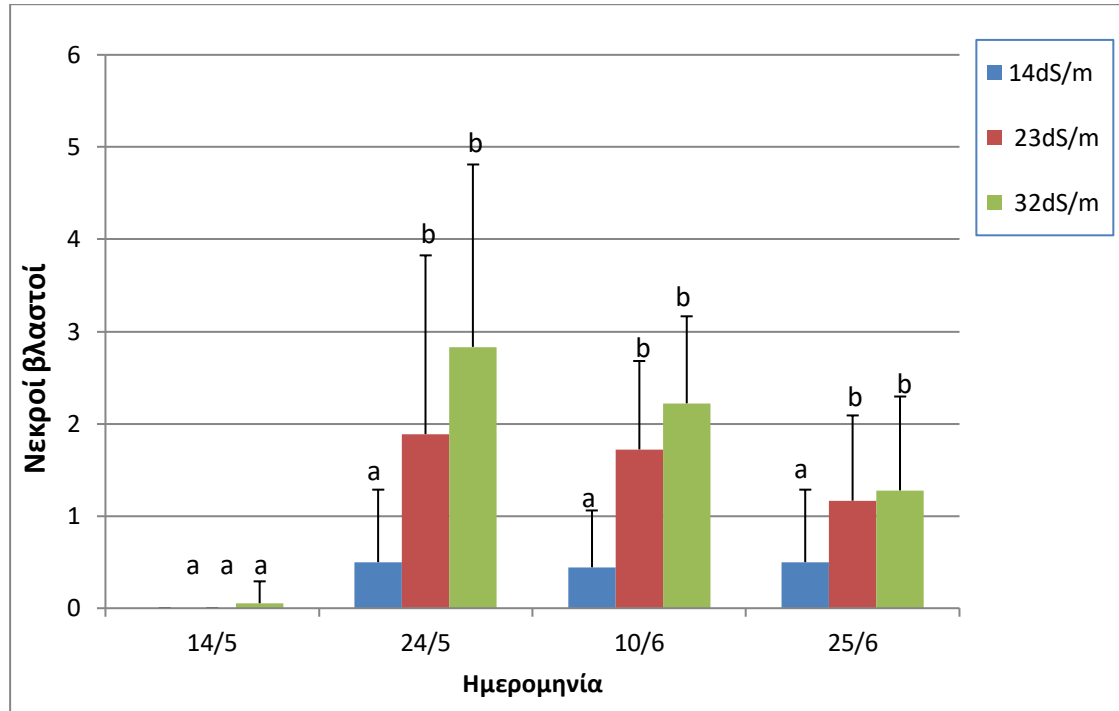
χαμηλότερη αλατότητα, αυτήν των 14dS/m διαχωρίζοντας την στατιστικά από τις υπόλοιπες δύο. Παράλληλα προκύπτει μία μικρότερη σε μέγεθος αλλά σταθερή αύξηση στη μεσαία αλατότητα, 23dS/m, φτάνοντας στο τελικό στάδιο του πειράματος να διαφέρει σημαντικά από την μεταχείριση της υψηλότερης αλατότητας. Καταλήγοντας έτσι στην υψηλότερη αλατότητα, 32dS/m όπου παρατηρείται μέχρι την λήξη του πειράματος μία σχεδόν μηδενική παραγωγή νέων βλαστών, επομένως ο αριθμός των βλαστών είναι σταθερός.



Σχήμα 2: Αριθμός βλαστών ανά φυτό *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14,23,32 dS/m, εκφρασμένο σε Μ.Ο±SD, όπως καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Τέλος, μία παράμετρος που αποτυπώνει τις επιπτώσεις της αλατότητας στη βλαστική ανάπτυξη είναι και ο αριθμός των νεκρών βλαστών που εντοπίστηκαν στις διαφορετικές μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια του πειράματος. Όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγή η αλατότητα εμποδίζει την πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα την μείωση της ανάπτυξης και τη νέκρωση βλαστών σε τελικό στάδιο. Στο Σχήμα 3 φαίνεται έντονα η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ των

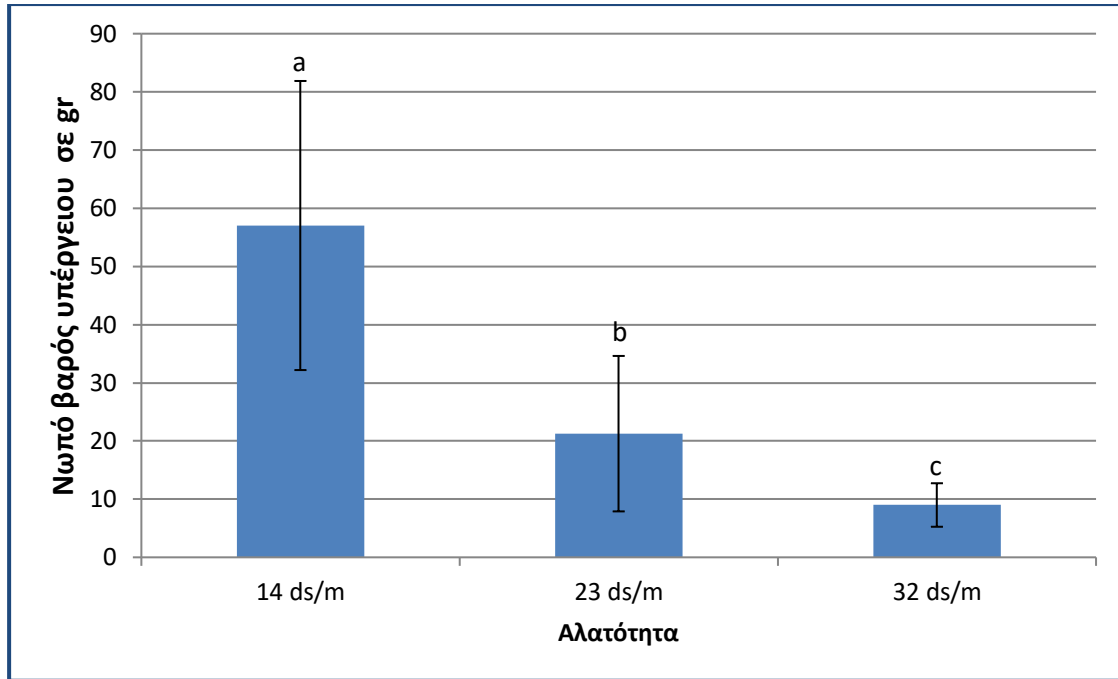
μεταχειρίσεων με την χαμηλότερη αλατότητα να διαφοροποιείται στατιστικά από τις άλλες δύο μεταχειρίσεις καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Επιπρόσθετα παρατηρείται μία απότομη αύξηση στις 24/5 όπου εκεί φτάνουμε τις υψηλότερες τιμές και στην πορεία έχουμε σταδιακή μείωση.



Σχήμα 3: Αριθμός των νεκρών βλαστών ανά φυτό *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14,23,32 dS/m, εκφρασμένο σε M.O±SD, όπως καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Ξηρό και νωπό βάρος υπέργειου και ρίζας

Σε σχέση με τη βιομάζα του υπέργειου και ριζικού συστήματος παρατηρήθηκε μία διαφορετική αντίδραση στις τρεις μεταχειρίσεις (Σχήμα 4). Συγκεκριμένα, καταγράφηκε μία σταδιακή μείωση του νωπού βάρους του υπέργειου μέρους του φυτού με την αύξηση της αλατότητας. Οι διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων αλατότητας ήταν στατιστικώς σημαντικές ($p < 0,05$).

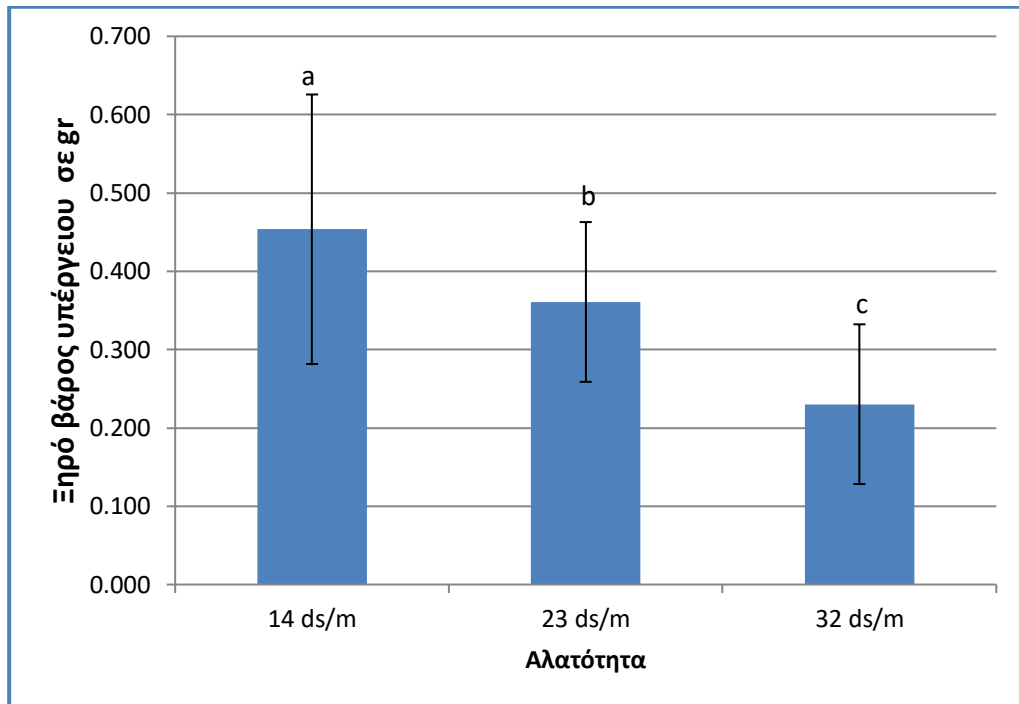


Σχήμα 4: Νωπό βάρος υπέργειου τμήματος του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14,23,32 dS/m, εκφρασμένο σε M.O±SD. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Ο μέσος όρος νωπού βάρους υπέργειου, κυμάνθηκε από 57,0gr στην χαμηλότερη αλατότητα μέχρι 8,9gr στην υψηλότερη αλατότητα όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4, δηλαδή 6 φορές μεγαλύτερη ανάπτυξη μεταξύ των δύο ακραίων μεταχειρίσεων. Η μεσαία αλατότητα, 23dS/m, εμφάνισε περίπου 2,5 φορές μειωμένη ανάπτυξη σε σχέση με την βέλτιστη περίπτωση της 14dS/m αλατότητας αλλά παράλληλα και περίπου 2,5 φορές υψηλότερη ανάπτυξη από την περίπτωση 32dS/m. Οι τιμές δηλαδή της μεσαίας μεταχείρισης κυμάνθηκαν σε ενδιάμεσα επίπεδα υποδηλώνοντας την σταδιακή επιρροή που επιφέρει η αλατότητα στους δύο αυτούς παράγοντες σε συνθήκες αυξανόμενου ρυθμού.

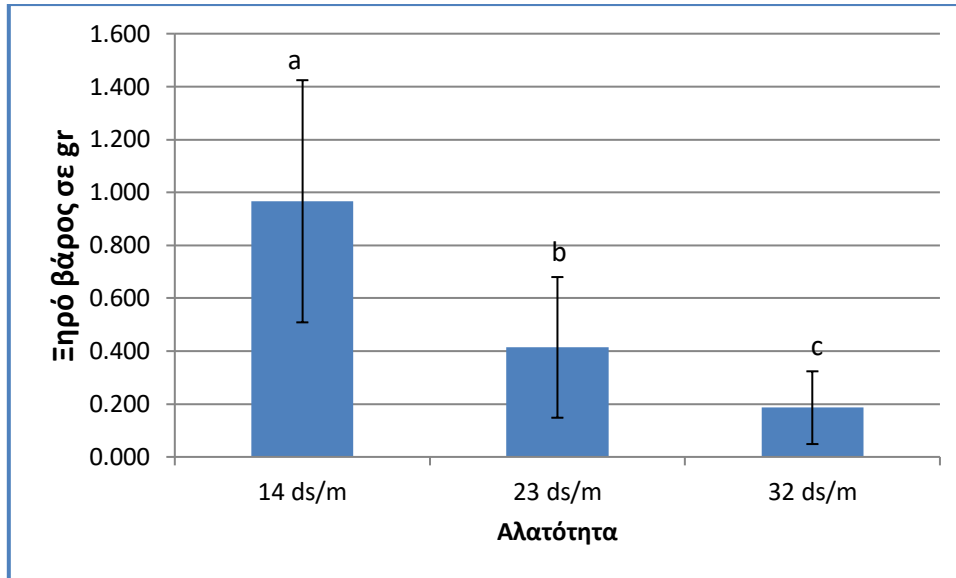
Έπειτα από την διαδικασία ξήρανσης των τμημάτων αυτών στο φούρνο πραγματοποιήθηκε και η μέτρηση του ξηρού βάρους τους. Στην περίπτωση και των δύο τμημάτων (υπέργειο τμήμα, ριζικό σύστημα) εμφανίστηκαν αντίστοιχα αποτελέσματα δηλαδή η στατιστική σημαντική

διαφορά αναμεταξύ και των τριών μεταχειρίσεων όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 5 και 6.



Σχήμα 5: Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14,23,32 dS/m, εκφρασμένο σε M.O±SD. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Η μείωση της ανάπτυξης της ρίζας είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του υπέργειου μέρους, υπό την επίδραση της αλατότητας, κάτι που αποτυπώνεται στην ποσοστιαία διαφορά μεταξύ 14dS/m και 32dS/m: στο υπέργειο κυμαίνεται στο 50%, ενώ στη ρίζα φτάνει το 80%.

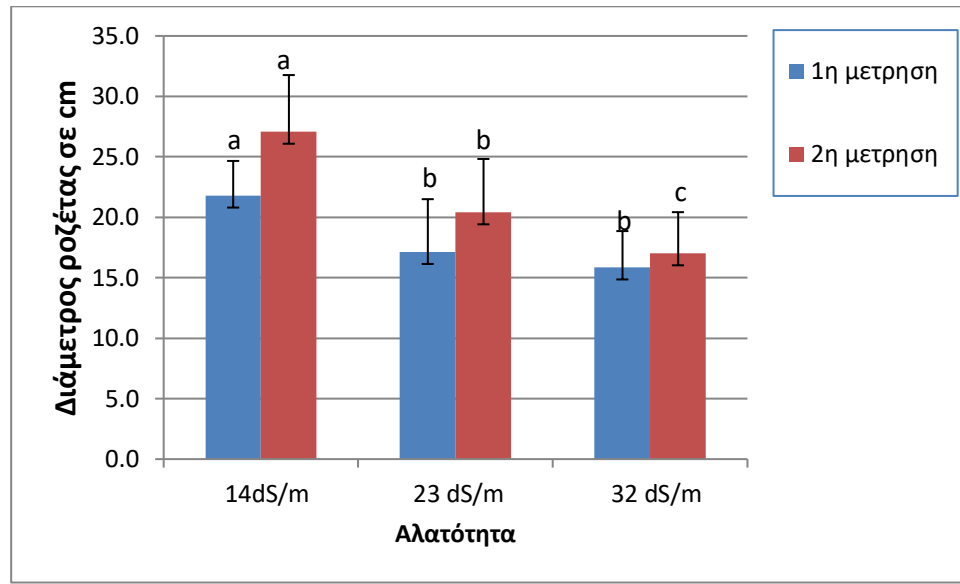


Σχήμα 6: Ξηρό βάρος ρίζας του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14,23,32 dS/m, εκφρασμένο σε M.O±SD. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Διάμετρος ροζέτας

Ένας ακόμα δείκτης βλαστικής αύξησης του φυτού που καταγράφηκε στο πείραμα ήταν η διάμετρος της ροζέτας. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιήθηκε δύο φορές από την μέση του πειράματος και έπειτα αλλά όπως φαίνεται και στο *Σχήμα 7* δίνει μία ικανοποιητική εικόνα της κατάστασης. Δηλαδή όπως παρατηρείται στην πρώτη μέτρηση τη μεγαλύτερη διάμετρο ροζέτας έχουν τα φυτά που υπέστησαν τη λιγότερη καταπόνηση με την αλατότητα να κυμαίνεται στα 14dS/m και με σημαντική στατιστική διαφορά από τις άλλες δύο μεταχειρίσεις. Συγκεκριμένα η διάμετρος της ροζέτας έφτασε πάνω από 20cm.

Στην επόμενη και τελευταία μέτρηση πριν τη λήξη του πειράματος παρουσιάζεται στατιστική σημαντική διαφορά μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων με σημαντική αύξηση να παρατηρείται στα 14dS/m, μικρότερη στα 23dS/m ενώ αντίθετα στην τρίτη μεταχείριση, 32dS/m υπάρχει μία σχετική σταθεροποίηση της ανάπτυξης, με τη διάμετρο να κυμαίνεται ελάχιστα πάνω από τα 15cm ενώ στη χαμηλότερη αλατότητα έχει φτάσει πάνω από 25cm.

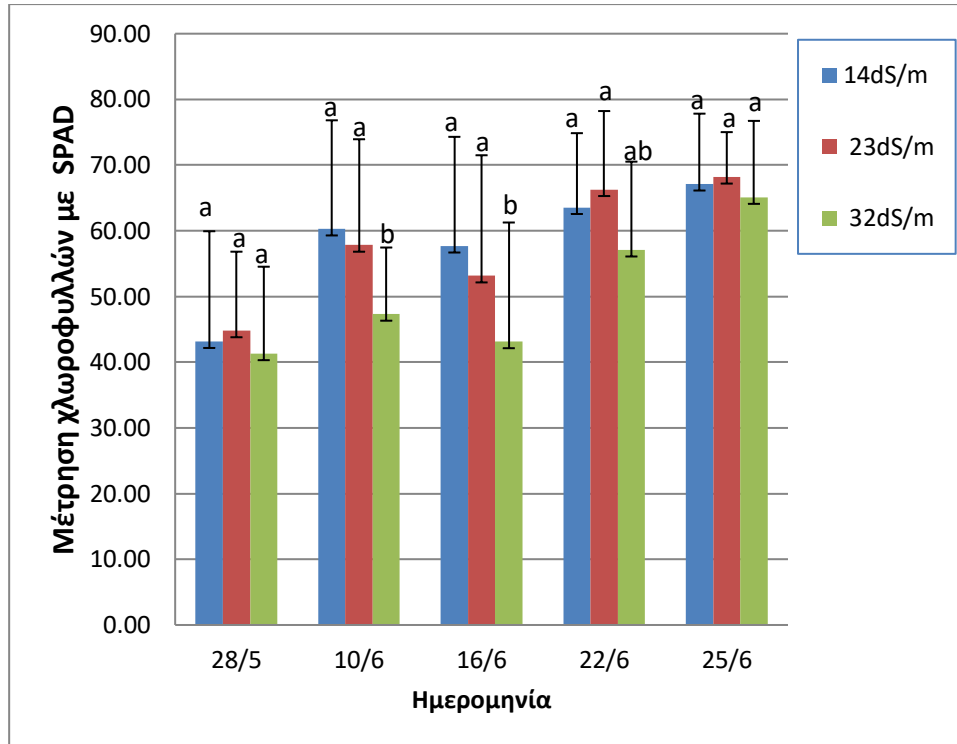


Σχήμα 7: Διάμετρος ροζέτας του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14,23,32 dS/m, εκφρασμένο σε Μ.Ο±SD. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Συγκέντρωση χρωστικών

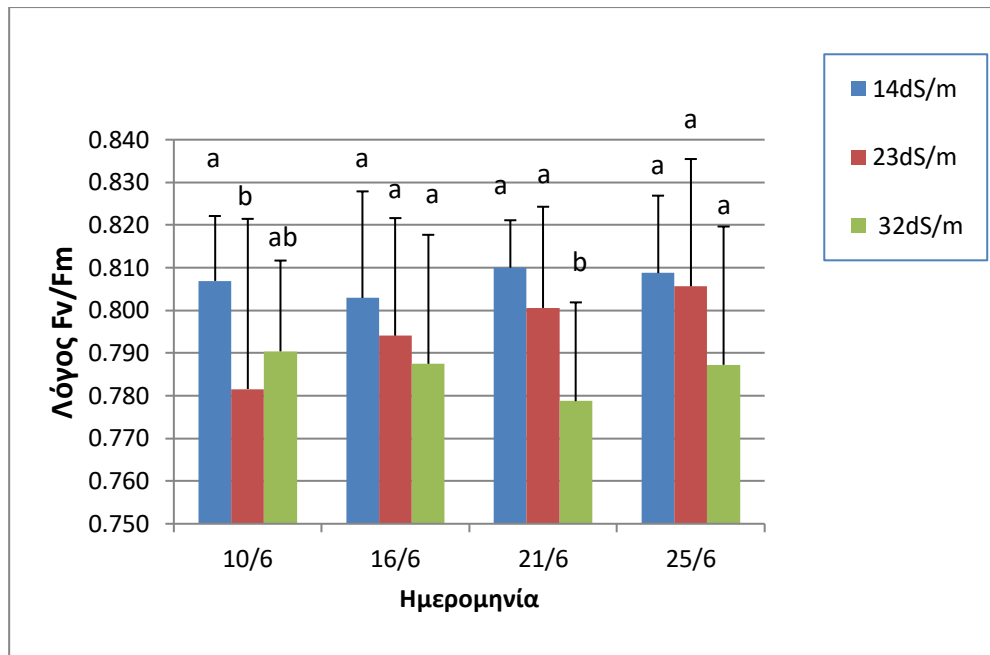
Οι μετρήσεις που έγιναν με το χλωροφυλλόμετρο SPAD συσχετίζονται με τη συνολική συγκέντρωση χλωροφυλλών a+b και κυμάνθηκαν από 8.70- 82.20 με την χαμηλότερη τιμή να παρατηρείται στην υψηλότερη αλατότητα, 32dS/m, και την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στη χαμηλότερη αλατότητα, 14dS/m (Σχήμα 8). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 9 δεν παρουσιάζονται στατιστικές σημαντικά διαφορές ούτε αρχή του πειράματος αλλά ούτε και στη λήξη του ($p < 0,05$). Στις ενδιάμεσες μετρήσεις φαίνεται μία διαφοροποίηση της κατάστασης των χρωστικών ως προς την υψηλότερη αλατότητα και οι τιμές διατηρήθηκαν σε χαμηλά επίπεδα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκαλεί η μέτρηση στις 22/6 όπου φαίνεται η μεσαία αλατότητα να εμφανίζει μία απότομη αύξηση ξεπερνώντας σε μέγεθος τις υπόλοιπες δύο μεταχειρίσεις, γεγονός το οποίο ισχύει μέχρι και τη λήξη του πειράματος.



Σχήμα 8: Δείκτης SPAD που σχετίζεται με τα επίπεδα χλωροφυλλών του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14, 23, 32 dS/m, εκφρασμένο σε $M.O \pm SD$, όπως καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

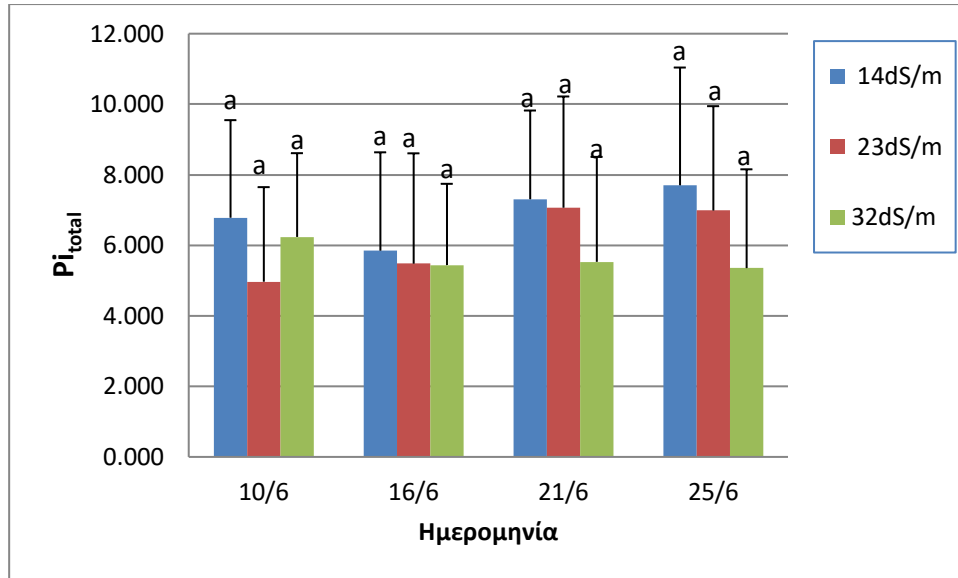
Φθορισμός χλωροφύλλης *a in vivo*

Μία από τις παραμέτρους του φθορισμού της χλωροφύλλης που καταγράφηκε στην πορεία του πειράματος είναι ο λόγος F_v/F_m , ο οποίος αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη για την εκτίμηση ύπαρξης ή μη καταπόνησης στο φυτό. Τα αποτελέσματά μας έδειξαν ότι ο λόγος αυτός κυμάνθηκε στην χαμηλότερη αλατότητα πάνω από 0,800 σε όλη την περίοδο του πειράματος (Σχήμα 9). Σε αντίθεση με την υψηλότερη αλατότητα όπου κυμάνθηκε σταθερά κάτω από το 0,790. Εντούτοις, φαίνεται ότι στην περίπτωση του κρίταμου η καταπόνηση δεν αποτυπώθηκε στον δείκτη F_v/F_m .



Σχήμα 9: Ο λόγος Fv/Fm του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14, 23, 32 dS/m, εκφρασμένο σε M.O±SD, όπως καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις της αυξημένης αλατότητας στον δείκτη απόδοσης Pi_{total} που προέρχεται από τις καταγραφές του φθορισμού της χλωροφύλλης. Δεν εμφανίστηκε καμία στατιστική σημαντική διαφορά ανάμεσα στα φυτά ($p < 0,05$). Παρόλα αυτά είναι εμφανής μία αυξητική πορεία των μεταχειρίσεων 14dS/m και 23dS/m έναντι της υψηλότερης αλατότητας σε βαθμό όμως που δεν επηρέασε σημαντικά την απόδοση. Κατά την τελευταία μέτρηση έχει εδραιωθεί μία τάση για σταδιακά μειούμενη απόδοση της φωτοσυνθετικής συσκευής με την αυξημένη αλατότητα, όπως αποτυπώνεται στο Pi_{total} .

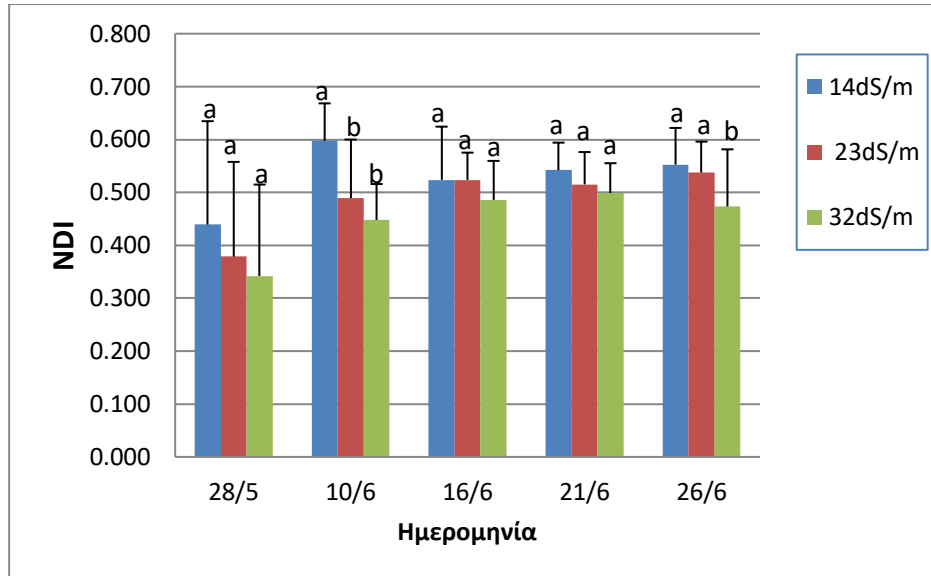


Σχήμα 10: Ο λόγος Pi_{total} του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14, 23, 32 dS/m, εκφρασμένο σε $M.O \pm SD$, όπως καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Ανακλαστικότητα

Οι δείκτες ανακλαστικότητας του φύλλου NDI, PRI, ΔPRI, αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της πορείας των χρωστικών και την εκτίμηση της λειτουργίας της φωτοσυνθετικής μηχανής.

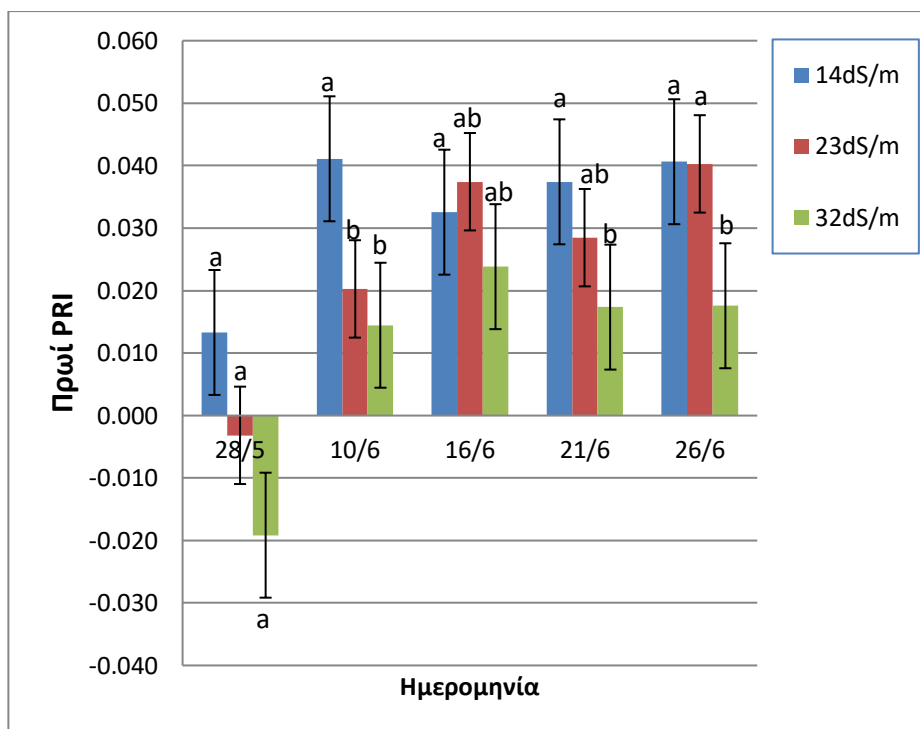
Όσον αφορά τον δείκτη NDI παρατηρούμε ότι σε όλη τη διάρκεια του πειράματος οι τιμές της μεταχείρισης στην αλατότητα 32dS/m εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές και έπειτα ακολουθούν οι επόμενες μεταχειρίσεις αντίστοιχα (Σχήμα 11). Ειδικότερα και στις δύο χρονικές στιγμές δεν φαίνεται στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις μεταχειρίσεις των αλατοτήτων 14dS/m και 23dS/m ($p < 0,05$). Αντίθετα στην υψηλότερη αλατότητα, 32dS/m φαίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις στατιστική διαφορά με τη χαμηλότερη αλατότητα ενώ το ίδιο δε συμβαίνει στη σύγκριση με την μεσαία αλατότητα όπου κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα χωρίς ιδιαίτερες στατιστικές διαφορές μεταξύ τους.



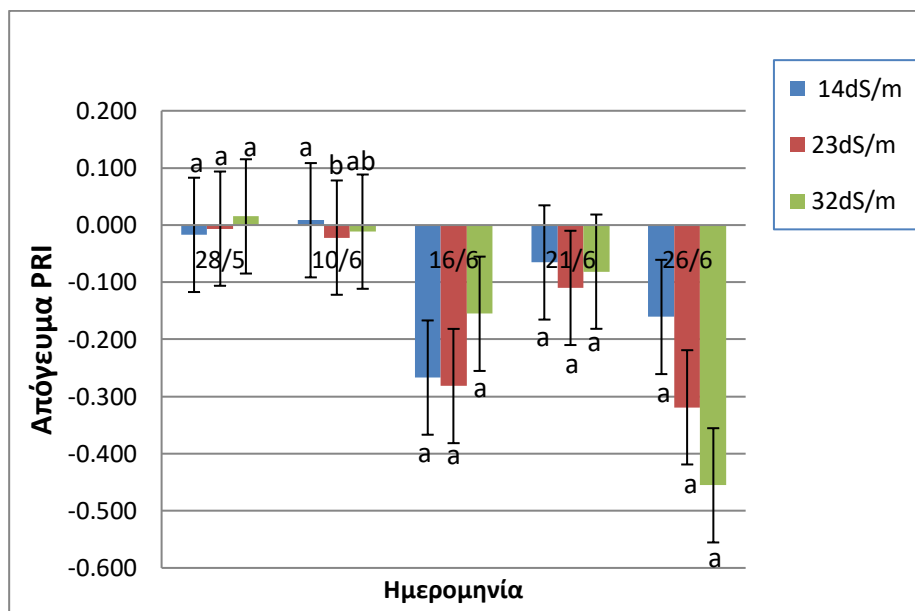
Σχήμα 11: Ο λόγος NDI του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14, 23, 32 dS/m, εκφρασμένο σε M.O \pm SD, όπως καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Στην περίπτωση τώρα του δείκτη PRI πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις για κάθε ημέρα που αναφέρεται στα σχήματα 12 και 13, μία πριν ανάψουν τα φώτα το πρωί και μία μεσημεριανή στο ίδιο φύλλο.

Στην πρωινή μέτρηση παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην μεταχείριση της υψηλότερης αλατότητας έναντι των άλλων δύο. Ίδια εικόνα δεν παρατηρείται όμως κατά την διάρκεια του μεσημεριού όπου φαίνεται μία ισορροπημένη κατάσταση μεταξύ των μεταχειρίσεων χωρίς στατιστικές σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δείγματα ($p < 0,05$).

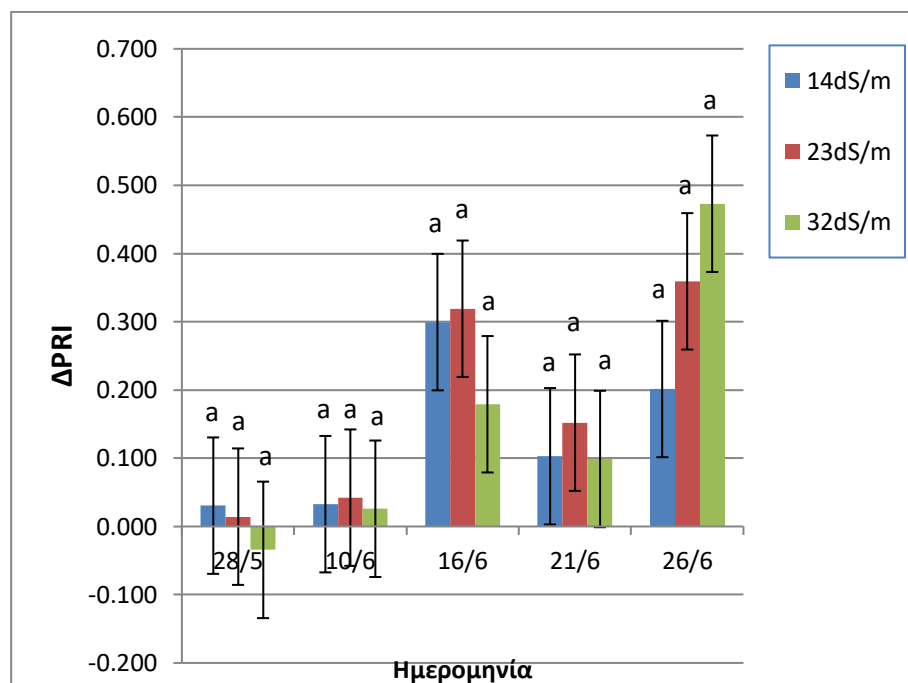


Σχήμα 12: Ο δείκτης ανακλαστικότητα PRI (μετρημένος το πρωί) του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14, 23, 32 dS/m, εκφρασμένο σε M.O±SD, όπως καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).



Σχήμα 13: Ο δείκτης ανακλαστικότητα PRI (μετρημένος το μεσημέρι) του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14, 23, 32 dS/m, εκφρασμένο σε M.O±SD, όπως καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

Τέλος, στο Σχήμα 14 εμφανίζεται ο δευτερογενής δείκτης ΔPRI που προέρχεται από την αφαίρεση των μεσημεριανών τιμών PRI από τις πρωινές για το ίδιο φύλλο. Δεν παρουσιάζονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις μεταχειρίσεις σε όλη την διάρκεια του πειράματος. Παρόλα αυτά φαίνονται μεγάλες μεταβολές των τιμών ανά διαστήματα. Αναλυτικότερα τις δύο πρώτες εβδομάδες οι τιμές ΔPRI σε όλο το πλήθος των συγκεντρώσεων άλατος εμφανίζουν πολύ μικρές τιμές. Την επόμενη εβδομάδα παρουσιάζεται μία αυξητική τάση η οποία αναστρέφεται σε περίοδο μιας εβδομάδας καταλήγοντας την τελευταία εβδομάδα να επέρχεται και πάλι άνοδος. Επίσης είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι κάθε εβδομάδα την υψηλότερη τιμή του δείκτη την παρατηρούμε σε διαφορετική μεταχείριση.



Σχήμα 14: Ο δείκτης ανακλαστικότητας ΔPRI του *Crithmum maritimum* που αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα αλατότητας 14, 23, 32 dS/m, εκφρασμένο σε $M.O \pm SD$, όπως καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κάθε ημερομηνία ($p < 0,05$).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το παρόν πείραμα στόχευε στο να καταγράψει την απόδοση και τις λειτουργικές αποκρίσεις του κρίταμου σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας όταν συγκαλλιεργείται με τσιπούρα και εκτίθεται σε τρία επίπεδα υψηλής αλατότητας, 14 dS/m, 23 dS/m και 32 dS/m. Δεν υπάρχουν αναφορές στη σχετική βιβλιογραφία για αντίστοιχα ζεύξη φυτών-ψαριών, επομένως η συζήτηση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί περιορίζεται σε μία εργασία υφάλμυρου συστήματος ενυδρειοπονίας με κρίταμο και λαβράκι (Vlahos et al. 2019), αλλά και αποτελέσματα από πειράματα κλασικής υδροπονίας.

Η αλατότητα αποτελεί έναν παράγοντα καταπόνησης που επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην αύξηση της βιομάζας των ριζών όσο και του υπέργειου τμήματος και της γενικότερης ανάπτυξης του φυτού. Αυτό συμβαίνει διότι η αλατότητα προκαλεί ανισορροπία στην υδατική κατάσταση του φυτού με συνέπεια ποικίλες φυσιολογικές διαταραχές. Στο παρόν πείραμα καταγράφηκε σημαντική μείωση της υπέργειας βιομάζας, όπως και της ρίζας στο ενδιάμεσο και υψηλό επίπεδο αλατότητας σε σύγκριση με το χαμηλότερο. Αρχικά ο Ben Amor το 2005 σε παλαιότερο πείραμα του με το φυτό κρίταμο (*Crithmum maritimum* L.) σε σύστημα υδροπονίας, ανέφερε ότι το φυτό ανταπεξήλθε ικανοποιητικά σε μία μέση αλατότητα (50mM NaCl) παρουσιάζοντας αυξημένο αριθμό φύλλων αλλά και μήκος ρίζας με δραστική μείωση αυτών να εμφανίζεται μόνο σε υψηλές συγκεντρώσεις αλατότητας (200mM NaCl).

Σε πρόσφατη έρευνα από τον Varol H. (2020) σε πείραμα ενυδρειοπονίας διαπιστώθηκε ότι η ανάπτυξη του φυτού και η βιομάζα του επηρεάστηκε από την ύπαρξη αλατότητας. Συγκεκριμένα σε υψηλές συγκεντρώσεις άλατος (200mM NaCl) επηρεάστηκε και το ύψος των βλαστών αλλά και η βιομάζα του φυτού και των ριζών.

Τέλος ένα τρίτο πείραμα η Grigoriadou (2008) σε συνθήκες ριζοβολίας *in vitro* σε φυτό κρίταμου (*Crithmum maritimum* L.), οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η υψηλότερη αλατότητα (200mM NaCl) ανέστειλε

εντελώς τη βλαστική ανάπτυξη του φυτού. Παράλληλα το υψηλότερο ποσοστό βιομάζας αλλά και ύψος του βλαστού παρουσιάστηκε στα επίπεδα της μέτριας αλατότητας (50mM NaCl).

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος συμφωνούν εν μέρει με τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί με τη διαφορά ότι παρόλο που υπήρξε αυξητική τάση τόσο της ανάπτυξης όσο και της βιομάζας στην χαμηλή συγκέντρωση αλλά και αντίστοιχα μεγάλη μείωση αυτών μέχρι και σε επίπεδα αναστολής τους όταν εφαρμόστηκε υψηλή αλατότητα, ωστόσο τα φυτά της μεσαίας αλατότητας δεν επέδειξαν την ίδια αυξητική πορεία όπως θα αναμενόταν με βάση τα δεδομένα των αντίστοιχων ερευνών.

Επίσης παρατηρήθηκε μεγαλύτερη μείωση στην ανάπτυξη και βιομάζα του ριζικού συστήματος έναντι του υπέργειου τμήματος. Πιθανώς οι ρίζες επηρεάζονται εντονότερα λόγω του ότι έρχονται πρώτες σε επαφή με το αλατούχο διάλυμα και την καταπόνηση που αυτό συνεπάγεται, όπως πρότειναν οι Ben Hamed et al. (2007). Ο ρόλος της ρίζας στην παρεμπόδιση της εισόδου του άλατος στο εσωτερικό του φυτού πιθανώς σχετίζεται με την κατανάλωση σημαντικής ενέργειας, επομένως συνδέεται με την μειωμένη ανάπτυξη.

Στη περίπτωση του συγκεκριμένου πειράματος οι τιμές της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών σημείωσαν ικανοποιητικές τιμές με αυξανόμενο ρυθμό κατά τη πορεία διεξαγωγής του πειράματος και στις τρεις μεταχειρίσεις αλατότητας. Μόνη εξαίρεση αποτελεί το χρονικό διάστημα των πρώτων ημερών όπου τα φυτά που δέχτηκαν την υψηλότερη συγκέντρωση άλατος εμφάνισαν χαμηλότερες τιμές των χλωροφυλλών. Το αποτέλεσμα αυτό προβληματίζει στο κατά πόσο διαταράχτηκε η φωτοσυνθετική λειτουργία από το στρες σε αυτή τη χρονική στιγμή.

Στο πείραμα του ο Varol το 2020 μελετώντας τη συγκέντρωση των ολικών χλωροφυλλών μέσω του δείκτη SPAD σε συγκεντρώσεις αλατότητας 50,200 και 500 mM NaCl σε φυτά κρίταμου, δεν διαπίστωσε μεταβολές σε καμία μεταχείριση, γεγονός που το διαφοροποιεί από τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος όσον αφορά την υψηλότερη αλατότητα. Το αποτέλεσμα τον οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η

καταπόνηση που δέχτηκαν τα φυτά δεν επηρέασε τη φωτοσύνθεση και τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών και έτσι αποφεύχθηκε η πρόωρη γήρανση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην στρατηγική αντιμετώπισης του άγχους των αλόφυτων σε σχέση με άλλα είδη φυτών που εμφανίζουν μικρότερη ανεκτικότητα ως προς την αλατότητα.

Τα αποτελέσματα της μελέτης σχετικά με το φθορισμό της χλωροφύλλης θα συγκριθούν με την υπάρχουσα βιβλιογραφία σύμφωνα με τις μελέτες σε άλλα είδη αλόφυτων φυτών σε συνδυασμό με την αλατότητα καθώς η βιβλιογραφία δεν έχει δεδομένα για το φυτό κρίταμο. Αρχικά στη μελέτη του Redondo-Gomez (2006) στο αλόφυτο *Sacrocornia fruticosa*, αναφέρεται ότι υπήρξε μικρή επίδραση της αλατότητας στη φωτοχημεία του PSII με μικρή μείωση της φωτοσυνθετικής απόδοσης και μικρή αύξηση της φωτοαναστολής. Καθώς επίσης η όποια φωτοαναστολή υπήρξε δεν ήταν χρόνια αλλά τα φυτά ανέκαμπταν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό το αποτέλεσμα έρχεται να συμπληρώσει και η έρευνα των Broetto et al. (2007) στο αλόφυτο *Mesembryanthemum crystallium*, που κατέληξε στο ίδιο συμπέρασμα, τονίζοντας ότι το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στους αντιοξειδωτικούς μηχανισμούς που διαθέτουν αυτού του είδους τα φυτά και τα βοηθούν να καταπολεμήσουν αποτελεσματικά την ύπαρξη των ROS. Το αποτέλεσμα του αυτό όμως επηρεάστηκε στην περίπτωση όπου προσέθεσε μία ακόμα καταπόνηση σε συνδυασμό με την αλατότητα, αυτή της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Ο συνδυασμός αυτός προκάλεσε μείωση της απόδοσης του PSII και του ρυθμού μεταφοράς των ηλεκτρονίων αλλά παράλληλα και αύξηση της φωτοαναστολής. Στην ίδια κατεύθυνση είναι και τα ευρήματα μίας πρόσφατης έρευνας σε ένα μη αλόφυτο, το φυτό *Lycium ruthenicum* της οικογένειας Solanaceae από τους Yuanhang et al. (2019). Σε αυτή τη περίπτωση ο λόγος Fv/Fm επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό στις υψηλότερες αλατότητες (200 & 400 mM NaCl) προκαλώντας αναστολή της φωτοσυνθετικής λειτουργίας. Ιδιαίτερη σημασία έχει να τονιστεί ότι σε αυτή την έρευνα ο δείκτης P_i_{total} επηρεάστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό από το στρες αλατότητας σε σχέση με το λόγο Fv/Fm, γεγονός που

υποδεικνύει ότι αποτελεί έναν παράγοντα με μεγαλύτερη ευαισθησία σε αυτήν την καταπόνηση.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας τα στοιχεία του φθορισμού της χλωροφύλλης που εξάγαμε συμφωνούν με τις προαναφερθείσες εργασίες στο γεγονός ότι δε φάνηκε ιδιαίτερη αρνητική επίδραση της αλατότητας στο λόγο F_v/F_m , παρά μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις που αφορούσαν την υψηλότερη αλατότητα. Αυτό το γεγονός μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το κρίταμο ως αλόφυτο διαθέτει όλους τους μηχανισμούς για να μπορεί να αντεπεξέλθει σε αντίξοες συνθήκες. Η μη σημαντική διαφορά στο λόγο F_v/F_m μετά από έκθεση σε αυξημένη αλατότητα πιθανώς να οφείλεται στην συμμετοχή του κύκλου των ξανθοφυλλών στην φωτοπροστασία (Labidi N. et.al.2010).

Οι Yuanhang et al. (2019) μελετώντας ένα γλυκόφυτο βρήκαν σημαντικές αρνητικές επιδράσεις στο λόγο F_v/F_m αλλά και στον δείκτη $P_{i\text{total}}$. Στο πείραμα μας ο δείκτης $P_{i\text{total}}$ δείχνει να μην επηρεάστηκε σημαντικά από τα υψηλά επίπεδα αλατότητας, εντούτοις μετά τον πρώτο μήνα του πειράματος ήταν εμφανής η τάση των φυτών στα 32 dS/m για χαμηλότερες τιμές. Επίσης, ο λόγος F_v/F_m όπως ήδη αναφέραμε δεν υπέστη ιδιαίτερες μεταβολές, κάτι που επιβεβαιώνει ότι η φωτοσυνθετική συσκευή του κρίταμου λειτούργησε ικανοποιητικά παρά την καταπόνηση.

Η ανακλαστικότητα των φύλλων είναι μία ιδιότητά τους που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως είναι τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του φύλλου (π.χ πάχος εφυμενίδας, ύπαρξη κηρών, αρχιτεκτονική), της εσωτερικής δομής του (π.χ ποσοστό νερού, πόσο συμπαγές είναι το μεσόφυλλο, αριθμός και κατανομή χλωροπλαστών) και των βιοχημικών συστατικών του συμπεριλαμβανομένων των χρωστικών (π.χ χλωροφύλλη, καροτενοειδή, ιδιαίτερα ο κύκλος των ξανθοφυλλών) (Vanderbitt V.C et.al. 1985, Richardson et.al. 2001, Gamon J.A et.al.1999). Οι δείκτες βλάστησης που εξάγονται από τις μετρήσεις ανακλαστικότητας δίνουν σημαντικές πληροφορίες για την κατάσταση του φυτού. Ο δείκτης NDI σχετίζεται με τη συγκέντρωση των χλωροφυλλών και στο παρόν πείραμα δεν σημείωσε σημαντικές μεταβολές μεταξύ των μεταχειρίσεων επιβεβαιώνοντας τον δείκτη

SPAD. Δεν υπάρχουν αναφορές στη βιβλιογραφία για χρήση της μεθόδου φασματικής εκτίμησης της ανακλαστικότητας σε πειράματα ενυδρειοπονίας, ούτε σε άρθρα σχετικά με την απόκριση του κρίταμου στην αλατότητα. Ο Penuelas (1997) χρησιμοποίησε τον δείκτη NDI για την αξιολόγηση της βιομάζας και της απόδοσης των διάφορων γονοτύπων σιταριού (*Hordeum vulgare* L.) ως προς την αντοχή τους σε συνθήκες αλατότητας. Ο δείκτης NDI επηρεάστηκε αρνητικά από την υψηλή αλατότητα παρουσιάζοντας μείωση, παρόλα αυτά η μείωση αυτή που αντικατοπτρίζει την περιεκτικότητα της χλωροφύλλης ήταν μικρή. Ο Zhang et al. (2011) μελετώντας 7 διαφορετικά φυτά από τα οποία τα 4 μόνο ανήκαν στην κατηγορία των αλόφυτων, επιβεβαίωσε την ευαισθησία του δείκτη NDI. Πρότεινε τον δείκτη PRI ως αξιόπιστο για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας της φωτοσυνθετικής συσκευής σε αλατούχο περιβάλλον. Τα αποτελέσματα του έδειξαν την καλύτερη ανάπτυξη των αλοφύτων σε συνθήκες μέτριας αλατότητας σε σχέση με την απουσία αυτής ή την πολύ υψηλή παρουσίας της.

Ο δείκτης PRI στις μετρήσεις πριν την έναρξη του φωτισμού των φυτών, το μεσημέρι καθώς και το ΔPRI αποτυπώνει τη την αποδοτικότητα χρήσης φωτός από τη φωτοσυνθετική συσκευή και την ανάγκη φωτοπροστασίας. Το τελευταίο ακριβώς επειδή σχετίζεται με την κατάσταση του κύκλου των ξανθοφυλλών και τη συγκέντρωση της ζεαξανθίνης. Στο παρόν πείραμα δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές του δείκτη ΔPRI μεταξύ των μεταχειρίσεων υποδεικνύοντας μία ανάλογη λειτουργία και αποδοτικότητα χρήσης φωτός από τα φυτά κρίταμου που αναπτύχθηκαν σε διαφορετικά επίπεδα αλατότητας.

Συμπεράσματα

Η ενυδρειοπονία αποτελεί ένα καινοτόμο σύστημα καλλιέργειας με δυνατότητες για ικανοποιητική ανάπτυξη των φυτών. Στο παρόν πείραμα μελετήθηκε το κρίταμο, *Crithmum maritimum*, σε συνδυασμό με την τσιπούρα *Sparus aurata*, η οποία ως ευρύαλο ψάρι διαθέτει την ικανότητα προσαρμογής σε υφάλμυρο νερό. Τα φυτά και τα ψάρια

αναπτύχθηκαν σε τρία επίπεδα αλατότητας, 14dS/m, 23 dS/m και 32 dS/m. Σε αναπτυξιακό επίπεδο εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη, όσο και στη βιομάζα του υπέργειου αλλά και του ριζικού τμήματος. Η χαμηλότερη αλατότητα είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη ανάπτυξη όπως αποτυπώθηκε σε όλες τις παραμέτρους που μετρήθηκαν. Η παραγωγή νωπής βιομάζας σε αυτήν ήταν 6 φορές μεγαλύτερη από την μεταχείριση της 32 dS/m, παρότι ήδη τα 14 dS/m είναι ιδιαίτερα υψηλή αλατότητα. Η ανάπτυξη της ρίζας επηρεάστηκε περισσότερο από την καταπόνηση σε σύγκριση με αυτή του υπέργειου μέρους.

Παρά τις σημαντικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη από φυσιολογικής άποψης δεν αποτυπώθηκαν παρόμοιες έντονες διαφοροποιήσεις στην συγκέντρωση των χρωστικών, αλλά και γενικότερα στην λειτουργία της φωτοσυνθετικής συσκευής. Μεταβολές παρατηρήθηκαν σε συγκεκριμένα αναπτυξιακά στάδια και περισσότερο δείχνει να επηρεάστηκε η μεταχείριση της υψηλότερης αλατότητας. Αυτό το γεγονός πιθανότατα οφείλεται στην ιδιαιτερότητα που έχει το φυτό κρίταμο να αναπτύσσει μηχανισμούς έναντι των καταπονήσεων και ειδικότερα όσον αφορά την αλατότητα δεδομένου ότι ανήκει στη κατηγορία των αλόφυτων.

Το κρίταμο μπορεί λοιπόν να αναπτυχθεί σε υφάλμυρο νερό σε επίπεδα αλατότητας που κανένα γλυκόφυτο δεν επιβιώνει. Επομένως, αποτελεί μία καλή εναλλακτική για παραγωγή υψηλής οικονομικής αξίας, ταυτόχρονα με κάποιο ψάρι που αντέχει χαμηλότερες της θάλασσας αλατότητες όπως είναι η τσιπούρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**BIBLIA**

1. Βογιατζής, Μ. Κουκουρίκου- Πετρίδου. 2009. Βιολογία Οπωροκηπευτικών φυτών I – Η αύξηση και οι παράγοντες που τη ρυθμίζουν. *Εκδόσεις Γαρταγάνης*. Θεσσαλονίκη, 25-46.
2. Θεριός Ν.Ι. 2005. Ανόργανη Θρέψη & Λιπάσματα. *Εκδόσεις Γαρταγάνης*, 77-84.
3. Κουρκούτα Χ. 2017. Μελέτη των επιπτώσεων του ιοντικού υγρού [omim][BF₄] στα πρώιμα αναπτυξιακά στάδια του είδους *Sparus aurata*.
4. Κωνσταντινίδου Α. Ε-Ι. 2003. Φυσιολογία φυτών σε αβιοτικές καταπονήσεις. *Εκδόσεις PEPROTIME Α.Ε*, 13-19, 61-67.
5. Νεοκλέους Σ.Δ. 2006. Μελέτη της δυνατότητας παραγωγής σμέουρων (*Rubus idaeus L.*) εκτός εποχής στις συνθήκες της Α.Μεσογείου.
6. Ρουμπελάκη- Αγγελάκη Κ.Α. 2003. Φυσιολογία φυτών από το μόριο στο περιβάλλον. *Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης*. Ηράκλειο, 147-158, 55-564.
7. Marschner P. 2003. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press. San Diego. Pp 135-151.
8. Rakosy J.E. 2012. Aquaculture production systems. Wiley-Blackwell. Oxford. pp 51-63, 344-386.
9. Stocker O. 1928. Das Halophyten problem. *Ergebnis*. pp 265-353.
10. Timmons M.B., Ebeling M.J, Wheaton F.W., Summerfelt S.T., Vinci B.J. 2002. Recirculating aquaculture systems. *Northeastern Reg Aquaculture*, 247-279.
11. Waisel Y. 1972. Biology of halophytes. *Academic Press*. New York and London, pp 46-69.

ΑΡΘΡΑ

1. Adler R. P., Harper K. J., Takeda F., Wade M. E., Summerfelt T. S. 2000. Economic evaluation of hydroponics and other

- treatment option for phosphorus removal in aquaculture effluent. *Hort Science*, 35 (6).
2. Amor B.N., Hamed B.K., Debez A., Grignon C., Abdelly C.2005. Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant science*, 168 (4).
 3. Aronson J. 1989. Salt tolerance plants of the world.
 4. Ashler G.R., Donahue L.J., Cramer L.C. 1997. Reactive oxygen species and antioxidants: relationships in green cells. *Physiologia Plantarum*, 100 (2).
 5. Ben Hamed K., Castagna A., Salem E., Ranieri A., Abdelly C.2007. Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regul*, 53, 185-194.
 6. Bjorkmann O., Demming B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170, 489-504.
 7. Bilger W. Sreiber U. Bock M. 1995. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 102, 425-432.
 8. Bohl M. 1977. Some initial aquaculture experiments in recirculating water systems. *Aquaculture*, 11 (4), 323-328.
 9. Bowler C., Fluhr R. 2000 The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance. *CellPress*, 5 (6), 241-246.
 10. Broetto F., Duarte M.H., Luttge U. 2007. Responses of chlorophyll fluorescence parameters of the facultative halophyte and C₃ – CAM intermediate species *Mesembryanthemum crystallinum* to salinity and high irradiance stress. *Journal of plant physiology*, 164 (7), 904-912.
 11. Brunner P., Li H.T., Kinzelbach W., Li P.W. 2007. Generating soil electrical conductivity maps at regional level

- by integrating measurements on the ground and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 28 (15), 3341- 3361.
12. Buhmann A., Papenbrock J. 2012. An economic point of view of secondary compounds in halophytes. *Functional Plant Biology*, 40 (9), 952-967.
 13. Buzby M.K., Lin L-S. 2014. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquaculture Engineering*, 63, 39-44.
 14. Centritto M., Loreto F., Chartzoulakis K. 2003. The use of low CO₂ to estimate diffusional and non-diffusional limitations of photosynthetic capacity of salt-stressed olive saplings. *Plant, Cell and Environment*, 26 (4), 585-594.
 15. Coiffard L., Palron-Frenet M., Amicel L. 1993. Geographical variations of the constituents of the essential oil of *Crithmum maritimum* L., Apiaceae. *International Journal of Cosmetic Science*, 15 (1), 15-21.
 16. Collins M.T., Gratzek B.J., Shotts Jr. E.B, Dawe D.L, Campbell M. Lucy, Senn D.R. 1975. Nitrification in a Aquatic recirculating system. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32
 17. Cunsolo F., Ruberto G. 1993. Bioactive metabolites from Sicilian marine genel *Crithmum maritimum*. *Journal of Natural Products*, 56 (9), 1598-1600.
 18. Del’Innocenti E., Hafsi C., Guidi L., Navari-Izzo F. 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Journal of plant physiology*, 166 (18), 1968-1981.
 19. Emerson R. 2000. The relation between maximum rate of photosynthesis and concentration of chlorophyll. *Journal of General Physiology*, 12 (5), 609-622.
 20. Flowers J.T. 2015. eHALOPH a database of salt-tolerant plants: helping put Halophytes to work. *Plant and Cell Physiology*.

21. Flame Photometer Manual Models P7P7 & P7P7/C. [http://www.jenway.com/adminimages/PFP7_Flame_Photometer_Rev_E\(1\).pdf](http://www.jenway.com/adminimages/PFP7_Flame_Photometer_Rev_E(1).pdf)
22. Gadallah M.A.A. 1999. Effects of proline and glycinebetaine on *Vicia faba* responses to salt stress. *Biologia Plantarum*, 42, 249-257.
23. Gamon J.A., Surfus J.S. 1999. Accessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, 143 (1), 105-117.
24. Gaon A., Nixon O., Tandler A., Falcon J., Besseau L., Escande M., Sadin El., Allon G., Koven W. 2021. Dietary taurine improves vision in different age gilthead sea bream (*Sparus aurata*) larvae potentially contributing to increased prey hunting success and growth. *Aquaculture*. 533.
25. Grigoriadou K., Maloupa E. 2008. Micropropagation and salt tolerance of in vitro grown *Crithmum maritimum* L. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 94.
26. Guerrero G., Isasa T. 1996. Nutritional composition of rock samphire (*Crithmum Maritimum* L.). *FAO*.
27. Guerrero-Guil L.J., Rodriguez- Garcia I. 1999. Lipids classes, fatty acids and carotenes of the leaves of six edible wild plants. *European Food Research and Technology*, 209, 313-316.
28. Hansatech instruments. Measuring chlorophyll fluorescence with the “plant efficiency analyser” (PEA). <http://www.hansatech-instruments.com>
29. Kloas W., Grob R., Baganz D., Graupner J., Monsees H., Schmidt U., Staaks G., Suhl J., Tschirner M., Wittstock B., Wuertz S., Zikova A., Rennert B. 2015. A new concept for aquaponic systems to improve sustainability increase productivity and reduce environmental impacts. *Inter Research Science Publisher*, 179-192.
30. Krom, M.D., S. Ellner, J. VanRijn, and A. Neori. 1995. Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a

prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilat, Israel. *Marine Ecology Progress Series*, 118, 25-38.

31. Madigan, M.T., Martinko J.M., Parker J. 2003. Brock biology of microorganisms, 10th ed. *Pearson Education Upper Saddle River, NJ*.
32. Makela P., Karkkainen J., Somersalo S. 2000. Effect of glycinebetaine on chloroplast ultrastructure, chlorophyll and protein content, and Rubisco activities in tomato grown under drought or salinity. *Biologia Plantarum*, 43, 471-475.
33. Margoshes M. 1962. Emission flame photometry. *Analytical Chemistry*, 34 (5), 221-224.
34. Maxwell K., Johnson N.G. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51 (345).
35. McClendon H.J. 1984. *American Journal of Botany*, 71 (10), pp.1391-1397.
36. Minolta K. 1989. Chlorophyll meter SPAD-502. Instruction manual.
https://www.konicaminolta.com.cn/instruments/download/manual/pdf/SPAD-502_Manual.pdf
37. Mitch J. W., Gosselink G.J. 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 35 (1), 25-33.
38. Mukuve M. F., Fenner R. 2015. The influence of water, land, energy and soil-nutrient resource interactions on the food system in Uganda. *Food Policy*, 51, 24-37.
39. Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25 (2), 239-250.
40. Munns R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Physiologist*, 167 (3), 645-663.
41. Mudie J.P. 1974. The potential economic uses of halophytes. *FAO*, 14.

42. Nelson L.R., Pade S.J. 2014. High- production, minimal discharge aquaponic systems and methods. *United States Patent*. Patent No: US 9,232,702 B1.
43. Nour A.A., Zaki M.M., Abdel-Rahim M.M., Mabrouk H.A. 2004. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 30, 418-428.
44. Palada C.M., Cole & Stafford M.W., Crossman M.A., 1999. Influence of Effluents from intensive aquaculture and sludge on growth and yield of bell peppers. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14 (4), 85-103
45. Parida K.A., Das B.A. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60 (3), 237-352.
46. Penuelas J., Isla R., Filella I., Araus J.L. 1997. Visible and Near-Infrared Reflectance Assessment of Salinity Effects on Barley. *Crop science*, 37 (1), 198-202.
47. Penuelas J., Gamon J.A., Griffin K.L., Field C.B. 1993. Accessing community type, plant biomass, pigment composition and photosynthetic efficiency of aquatic vegetation from spectral reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 46 (2), 109-134.
48. Redondo-Gomez S., Wharmby C., Castillo M.J., Mateos-Naranjo E., Luque J.C., Cires A., Luque T., Davy J.A., Enrique-Figueroa M. 2006. Growth and photosynthetic responses to salinity in an extreme halophyte, *Sarcocornia fruticosa*. *Physiologia Plantarum*, 128 (1), 116-124.
49. Richardson D.A., Berlyn P.G. 2001. Changes in foliar spectral reflectance and chlorophyll fluorescence of four temperate species following branch cutting. *Tree physiology*, 22 (7), 499-506.
50. Richardson D.A., Berlyn P.G. 2002. Spectral reflectance and photosynthetic of *Betula papyrifera* (Betulaceae) leaves along an elevational gradient on MT. Mansfield Vermont USA. *American Journal of Botany*, 89 (1), 88-94.

51. Rock T.M. 1998. Freshwater use, freshwater scarcity and socioeconomic development. *The Journal of Environment & Development*, 7 (3)
52. Rossi P., Berti L., Panighi J., Luciani A., Maury J., Rocca Serra D., Gonny M., Bolla J-M. 2007. Antibacterial action of essential oils from Corsica. *Journal of Essential Oil Research*, 19 (2), 176-182.
53. Rybio F., Gassmann W., Schroeder I.J. 1995. Sodium-driven Potassium uptake by the plant Potassium transporter HKT1 and mutations conferring salt tolerance. *Science*, 270 (5242), 1660-1663.
54. Saaid, N. S. M. Fadhil, M.S.A. Megat Ali, M.Z.H. Noor. 2013. Automated indoor Aquaponic cultivation technique. *IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology*, 285-289.
55. Sanchez-Blanco M.J., Bolarin M.C., Alarcon J.J., Torrecilas A. 1991. Salinity effects on water relations in *Lycopersicon esculentum* and its wild salt-tolerant relative species *L.pennellii*. *Physiologia Plantarum*, 83 (2), 269-274.
56. Seginer I. 2016. Growth models of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) for aquaculture: A review. 2016. 70, 15-32.
57. Serrano R., Mulet M.J., Rios G., Marquez A.J., Larrinoa F.I., Leube P.M., Mendizabal I., Pascual-Ahuir A., Proft M., Ros R., Montesinos C. 1998. A glimpse of the mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *JSTOR*, 50, 1023-1036.
58. Tandler A. 1993. Marine aquaculture in Israel with special emphasis on larval rearing. *Journal of the world aquaculture society*. 24 (2), 241-245.
59. Tandler A., Anav A.F., Choshniak I. 1995. The effect of salinity on growth rate, survival and swimbladder inflation in gilthead seabream, *Sparus aurata*, larvae. 135 (4), 343-353.
60. Tester M., Davenport R. 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ Transport in Higher plants. *Annals of Botany*, 91 (5), 503-527.

61. Tyson R.V, Treadwell D.D, Simonne E.H. 2011. Opportunities and challenges to sustainability in Aquaponic systems. *American Society for Horticultural Science*, 21 (1), 6-13.
62. Vainshtein E.E., Lebedev V.I. 1961. New determination of Li, Na, K, Rb, Cs, Ca, and Sr in standards W1 and G1 by flame photometry. *Geokhimiya*. 362-362.
63. Vanderbilt V.C., Grant L., Biehl L.L., Robinson B.F. 1985. Specular, diffuse, and polarized light scattered by two wheat canopies. *Applied Optics*, 24 (15), 2408-2418.
64. Vargas-Charoff L., Arjona J.F., Polakof S., Martin del Rio M.P., Soengas L.J., Mancera J.M. 2009. Interactive effects of environmental salinity and temperature on metabolic responses of gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 154 (3), 417-424.
65. Varol H.2020. Effect of salinity and methyl jasmonate on the production and quality of sea fennel (*Crithmum maritimum*).
66. Wongkiew S., Hu Z., Chandran K., Lee J.W., Khanal S.K. 2017. Nitrogen transformations in aquaponic system: a review. 2017. *Aquacultural Engineering*, 76, 9-19.
67. Weber D.J., Ansari R., Gul B., Ajmar Khan M. 2007. Potential of halophytes as source of edible oil. *Journal of Arid Enviroments*, 68 (2), 171-336.
68. Yuanhang Li., Zhang T., Zhang Z., He K. 2019. The physiological and biochemical photosynthetic properties of *Lycium ruthenicum* Murr in response to salinity and drought. *Scientia Horticulturae*, 256.
69. Zhang T-T., Zeng S-L., Gao Y., Ouyang., Li B., Fang C-M., Zhao B. 2011. Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity. *Ecological Indicators*, 11 (6), 1497-1714.

70. Zhu J.K. 2001. Plant and salt tolerance. *Trends in plant science*, 6 (2), 66-71