



ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η χρήση βιοδιεγερτών στην αύξηση και ανάπτυξη της λεβάντας.»

«The use of biostimulants in the growth and development of lavender.»

ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΓΟΥΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (168/2013)

ΠΑΝΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (197/2013)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΛΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία εκπονήθηκε στο θερμοκήπιο του αγροκτήματος του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Γιαννακούλα Αναστασία, για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη που μας παρείχε όλο αυτό το διάστημα της μελέτης του πειράματος μας, καθώς και στη συγγραφή αυτού.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Τάσιο Βασίλειο, για την παραχώρηση χώρου στο θερμοκήπιο του ΑΤΕΙΘ και την στήριξη που μας παρείχε.

Επιπρόσθετα, θέλουμε να ευχαριστήσουμε την συμφοιτήτρια μας Παραστατίδου Παρθένα, για την πολύτιμη βοήθεια της όταν κατέστη δυνατό.

Τέλος, ευχαριστούμε τους γονείς μας, για την στήριξή τους όλο αυτό το διάστημα των σπουδών μας, και φυσικά τους φίλους μας για την βοήθεια τους, στις δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε, όταν αυτή ήταν δυνατή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Βασικό αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η χρήση βιοδιεγερτών στην αύξηση και ανάπτυξη της λεβάντας, όπως είναι και ο τίτλος της. Συγκεκριμένα, το πείραμα που διεκπεραιώθηκε στο αγρόκτημα του ΑΤΕΙΘ είχε ως στόχο να ερευνήσει την καταπόνηση ή μη της λεβάντας και της ανάπτυξής της από παράγοντες όπως το πυρίτιο και το άλας.

Κατά την διάρκεια της μελέτης τα φυτά λεβάντας ψεκάστηκαν κατά ομάδες, 5 φορές με διαλύματα 50 μM NaCl, 100 μM NaCl, 150 μM NaCl, 100 μM NaCl+0,35 μM Si, 0,35 μM Si. Μετά από κάθε ψεκασμό γίνονταν οι μετρήσεις των φυτών με χάρακα.

Μετά από 2 μήνες έγιναν μετρήσεις με το φθορισμόμετρο όπου παρατηρήθηκε μεταβολή της μέγιστης φωτοχημικής απόδοσης (Fv/Fm). Συγκεκριμένα στην πρώτη μέτρηση μείωση του λόγου σε σχέση με το μάρτυρα, στις μεταχειρίσεις 0,35 μM Si, και 100 μM NaCl, ενώ παρατηρήθηκε ανάκαμψη του λόγου κατά τη 2^η μέτρηση.

Στον δείκτη απόδοσης P.Index, διαπιστώθηκε, όπως και στο Fv/Fm, μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα στην 1^η μέτρηση στην μεταχείριση με 0,35 μM Si, ενώ στην 2^η μέτρηση ήταν το μεγαλύτερο ποσοστό επί του μάρτυρα. Αντίθετα, η μεταχείριση 50 μM NaCl, είχε τα μεγαλύτερα ποσοστά επί του μάρτυρα στην 1^η μέτρηση και τα μικρότερα ποσοστά στην 2^η.

Επιπρόσθετα η παράμετρος του δείκτη φωτοσυνθετικής απόδοσης (P Index) μειώθηκε σε σύγκριση με το μάρτυρα στην 1^η μέτρηση στη μεταχείριση με το πυρίτιο 0,35 μM Si, ενώ στη 2^η μέτρηση αυξήθηκε σημαντικά. Αντιθέτως η μεταχείριση 50 μM NaCl, είχε τη μεγαλύτερη αύξηση σε σχέση με το μάρτυρα στην 1^η μέτρηση ενώ παρατηρήθηκε μείωση στην πορεία του χρόνου (2^η μέτρηση)

Όσον αφορά τις μετρήσεις ύψους των φυτών, υπήρχαν μεταβολές σε όλες τις μεταχειρίσεις. Συγκεκριμένα, τα φυτά της μεταχείρισης με 50 μM NaCl είχαν την καλύτερη ανάπτυξη σε σύγκριση με τα φυτά του μάρτυρα, ενώ αντίθετα η μεταχείριση με 100 μM NaCl παρουσίασε τη μικρότερη ανάπτυξη.

Τέλος, στην συλλογή των ταξιανθιών, παρατηρήθηκαν σε όλες τις μεταχειρίσεις μικρά ποσοστά, από 50% και χαμηλότερα, σε σύγκριση με του μάρτυρα. Το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα το είχαμε στη μεταχείριση με 100 μM NaCl+0,35 μM Si με το ποσοστό να πέφτει στο 23%, περίπου το ¼ του μάρτυρα δηλαδή.

ABSTRACT

The main object of this paper is the use of biostimulants on the lavender's growth and development, as the title is. Specifically, the experiment that was processed on the farm of ATEITH aimed to highlight the stress or lavender from factors such as silicon and salt.

During the study the lavender plants were sprayed 5 times with solution 50 μM NaCl, 100 μM NaCl, 150 μM NaCl, 100 μM NaCl+0,35 μM Si, 0,35 μM Si, in groups. After each spray, the plants were measured with a ruler.

After 2 months, measurements were made with the fluorimeter where a change in the maximum photochemical efficiency (F_v / F_m) was observed. Specifically, in the first measurement we had a reduction of the ratio in relation to the control, in the treatments 0.35 μM Si, and 100 μM NaCl, while a recovery of the ratio was observed during the 2nd measurement.

In the P.Index efficiency index, as in F_v / F_m , a lower percentage on the control was found in the 1st measurement in the treatment with silicon 0.35 μM Si, while in the 2nd measurement it was the highest percentage on the control. In contrast, 50 μM NaCl treatment had the highest percentages on the control in the 1st measurement and the lowest percentages in the 2nd.

In addition, the parameter of the photosynthetic efficiency index (P.Index), decreased compared to the control in the 1st measurement in the treatment with silicon 0.35 μM Si, while in the 2nd measurement it increased significantly. In contrast, the 50 μM NaCl treatment had the largest increase compared to the control in the 1st measurement while a decrease was observed over time (2nd measurement).

In terms of plant height measurements, there were changes in all treatments. In particular, the plants treated with 50 μM NaCl had the best growth compared to the control plants, while on the contrary the treatment with 100 μM NaCl showed the lowest growth.

Finally, in the collection of inflorescences, in all treatments were observed small percentages, from 50% and lower, compared to the witness. The smallest percentage on the control we had was in the treatment with 100 μM NaCl + 0.35 μM Si with the percentage drops to 23%, about $\frac{1}{4}$ of the control.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT.....	4
1 Εισαγωγή.....	7
2 Βοτανική ταξινόμηση και βοτανική περιγραφή.....	8
3 Προσαρμοστικότητα	9
4 Καλλιεργητική πρακτική.....	10
4.1 Πολλαπλασιασμός.....	10
4.2 Καλλιεργητικές φροντίδες	10
4.2.1 Προετοιμασία εδάφους	10
4.2.2 Αποστάσεις φύτευσης/ Πυκνότητα φύτευσης	10
4.2.3 Εποχή φύτευσης.....	11
4.2.4 Λίπανση	11
4.2.5 Άρδευση	11
4.2.6 Κλάδεμα	11
4.2.7 Συγκομιδή	11
5 Χρήσεις.....	12
6 Ασθένειες, εχθροί και προβλήματα.....	12
7 Μεταποίηση	13
7.2 Διατήρηση-Συσκευασία	14
8 Χημική σύσταση.....	14
9 Αιθέριο έλαιο λεβάντας	15
9.1 Σύνθεση του αιθέριου έλαιου λεβάντας	16
9.2.1 Απόσταξη.....	21
9.2.3 Υδρο-ατμοαπόσταξη ή απόσταξη με νερό και ατμό (water and steam distillation).....	22
9.2.4 Απόσταξη με υδρατμούς (steam distillation).....	22
9.2.5 Άλλα είδη απόσταξης.....	23
9.2.7 Υδροδιαχυτική απόσταξη (hydrodiffuser).....	24
9.2.9 Εκχύλιση	25
9.2.10 Εκχύλιση με πτητικούς διαλύτες.....	26
9.2.11 Εκχύλιση με ψυχρό λίπος	26
9.2.12 Εκχύλιση με θερμό λίπος	27
9.2.13 Μηχανική παραλαβή.....	27
10 Το πρόβλημα της εναλάτωσης του εδάφους.....	28

10.1 Παράγοντες της Ανθεκτικότητας των φυτών στα Άλατα.	29
10.2 Πως τα φυτά αντιδρούν στην Αλατότητα	29
11 Βιοδιεργέτες.....	30
11.1 Η έννοια των βιοδιεργετών.....	30
11.2 Το πυρίτιο ως βιοδιεγέρτης.....	32
12 Εισαγωγή στο πείραμα.....	33
13 Υλικά και μέθοδοι	36
13.1.1 Οι φάσεις επαγωγής του φθορισμού της χλωροφύλλης	37
13.1.2 Διαδικασία μέτρησης	40
14 Αποτελέσματα των μετρήσεων.....	44
14.1 Φθορισμός	44
14.2 Μετρήσεις ύψους.....	58
14.3 Συλλογή Ταξιανθιών.....	60
Συζήτηση-Συμπεράσματα.....	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	64

1 Εισαγωγή

Με το όνομα λεβάντα είναι γνωστά αρκετά είδη που ανήκουν στο γένος *Lavandula*. Τα περισσότερα είδη λεβάντας κατάγονται από τη λεκάνη της Μεσογείου, και απαντώνται σε βραχώδεις και ασβεστολιθικές περιοχές. Επίσης εμφανίζεται στη βόρεια Αφρική, τη Μεσόγειο και πολλές Ευρωπαϊκές χώρες. Η λεβάντα καλλιεργήθηκε από τους αρχαίους Έλληνες και τους Ρωμαίους. Το όνομα «λεβάντα» προέρχεται από το λατινικό *lavare* που σημαίνει πλένω ή κολυμπώ. Είδη όπως η *Lavandula latifolia* φύονται σε ένα μεγάλο μέρος της Μεσογείου προτιμώντας πιο ζεστά κλίματα και χαμηλότερες σε υψόμετρο περιοχές.



Εικόνα 1: Λεβάντα σε αγρό έτοιμη για συγκομιδή

Εκτός από τη λεβάντα καλλιεργείται και η λεβαντίνη (*Santolina chamaecyparissus*). Οι αποδόσεις της πραγματικής λεβάντας σε αιθέριο έλαιο κυμαίνονται από 0,8-3 kg/στρέμμα και του υβριδίου λεβάντας (υβρίδιο λεβάντας γνωστό ως *Lavandula x intermedia* ή ως *L. hybrida* και *L. hortensis*, το υβρίδιο αυτό προέρχεται από την διασταύρωση της *Lavandula angustifolia* με την *Lavandula latifolia*), 4-22 kg/στρέμμα. Ενώ οι αποδόσεις σε αποξηραμένα άνθη από 50-100 kg/στρέμμα.

Παγκοσμίως παράγονται 200 tn ετησίως, υψηλής ποιότητας αιθέριου ελαίου λεβάντας. Η αναλογία παραγωγής αιθέριου ελαίου και υβριδίου λεβάντας παγκοσμίως είναι 1:5. Η τιμή του λαδιού του υβριδίου λεβάντας είναι χαμηλότερη από αυτό της λεβάντας. Τα φυτά που ανήκουν στα υβρίδια λεβάντας παράγουν περισσότερο αιθέριο έλαιο και είναι ανθεκτικότερα, ενώ η παγκόσμια παραγωγή σε αιθέριο έλαιο φτάνει τους 1000 tn.

Οι μεγαλύτερες χώρες παραγωγής αιθέριου ελαίου λεβάντας είναι η Βουλγαρία, η Αγγλία, η Σερβία, η Αυστραλία, οι ΗΠΑ, ο Καναδάς, η Νότια Αφρική, η Τανζανία, η Ιταλία και η Ισπανία. Η λεβάντα κυρίως για άρωμα, καλλιεργείται στην Ευρώπη και ειδικότερα στην Γαλλία.

2 Βοτανική ταξινόμηση και βοτανική περιγραφή

Στο γένος *Lavandula* υπάρχουν 48 είδη λεβάντας με εκατοντάδες γενότυπους που διαφοροποιούνται από το σχήμα τους μέχρι την περιεκτικότητά τους σε αιθέρια έλαια. Με το γενικό όνομα λεβάντα, που ανήκουν όλα στο γένος *Lavandula* της οικογένειας των Χειλανθών (*Lamiaceae*, *Labiatae*), της τάξης των *Lamiales*, είναι γνωστά αρκετά είδη, σπουδαιότερα εκ των οποίων είναι τα εξής:

***L. angustifolia* L.** (γνήσια λεβάντα, λαβαντούλα, λεβαντίδα, καλογερόχορτο). Είναι μικρός πολυετής αειθαλής θάμνος με βλαστό όρθιο, τετραγωνικό και ύψος 30-80 cm. Τα φύλλα είναι αντίθετα, προμήκη, γραμμοειδή, με λίγο χνούδι, τέφρα, τα άνθη είναι μπλε σε απλούς ανθοφόρους βλαστούς που σχηματίζουν κυλινδρικά στάχια. Ανθίζει από το τέλος Ιουνίου μέχρι τον Αύγουστο.

***L. stoechas* L.** (αγριολεβάντα, μαυροκέφαλο, χαμηλολίβανο, λαμπρή, μυροφόρα). Είναι πολυετής αειθαλής θάμνος με βλαστό όρθιο, τετραγωνικό χνουδωτό και ύψος 30-70 cm. Τα φύλλα είναι αντίθετα, χνουδωτά, γραμμοειδή, τα άνθη είναι ιώδη σε ακραία πυκνά αυγοειδή στάχια.

***L. latifolia*.** (πλατύφυλλη λεβάντα). Είναι μικρός αειθαλής θάμνος με βλαστό όρθιο, τετραγωνικό και ύψος 30-80 cm. Τα φύλλα είναι αντίθετα, προμήκη, γραμμοειδή, με λίγο χνούδι, τέφρα, τα άνθη είναι ιώδες σε απλούς ανθοφόρους βλαστούς που σχηματίζουν κυλινδρικά στάχια. Ανθίζει από το τέλος Ιουνίου-Ιούλιο.

L. hybrid* ή *L. angustifolia* x *L. latifolia (η υβριδική λεβάντα γνωστή ως *lavandin*, λεβαντίνη). Είναι μικρός αειθαλής θάμνος με βλαστό όρθιο, τετραγωνικό και ύψος 30-80 cm. Τα φύλλα είναι αντίθετα, γραμμοειδή, τεφροπράσινα και άνθη σκούρα κυανά ή κυανότεφρα, σε ακραία στάχια.

Είδη όπως: *lavandula*, *dentata*, *stoechas*, *pterostoechas*, *chaetostachys*, *subnuda* υπάρχουν είτε ως υβρίδια, είτε ως υποείδη ενώ τα παραπάνω είδη ως επί το πλείστον καλλιεργούνται σε εμπορική κλίμακα για την παραγωγή αιθέριων ελαίων. Γνήσιο αιθέριο έλαιο προέρχεται από την *L. angustifolia* ενώ το γαλλικό αιθέριο έλαιο παράγεται από την *L. dentata*. Το αιθέριο έλαιο της πλατύφυλλης λεβάντας προέρχεται από την *L. latifolia* ενώ το αιθέριο έλαιο ισπανικής λεβάντας από την *L. stoechas*. Το καθένα από τα παραπάνω είδη παράγει διαφορετικής σύστασης αιθέρια έλαια, καθένα

για διαφορετική χρήση. Σε κάθε είδος υπάρχουν αρκετές ποικιλίες που καλλιεργούνται για την παραγωγή και εμπορία αιθέριων ελαίων.

Παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή μιας ποικιλίας λεβάντας για την παραγωγή αιθέριου ελαίου είναι:

- Οι υβριδικές ποικιλίες παράγουν τις υψηλότερες αποδόσεις σε άνθη και τις υψηλότερες ποσότητες σε αιθέριο έλαιο ανά μονάδα επιφάνειας.
- Οι υβριδικές ποικιλίες παράγουν μεγάλα άνθη γκρι χρώματος. Οι καλύτερες ποικιλίες για εμπορικούς σκοπούς παραγωγής αιθέριων ελαίων είναι οι Grosso, Super, Provence, Abriali και η Seal.
- Οι ποικιλίες λεβάντας (*L. angustifolia*) παράγουν μικρότερα άνθη μπλε χρώματος και είναι καταλληλότερες για την παραγωγή αποξηραμένων ανθέων από τις ποικιλίες λεβαντίνης και παράγουν αιθέριο έλαιο που προτιμάται από την βιομηχανία αρωμάτων.

Η λεβάντα είναι πολυετής, χαμηλός θάμνος και φτάνει σε ύψος από 0,3-1,2 m. Η πραγματική έχει σφαιρική και πυκνή ανάπτυξη. Τα αρωματικά αιθιαλή φύλλα της είναι καταπράσινα, εντελώς αντίθετα και μήκους 5 cm. Ανθίζει το καλοκαίρι. Τα άνθη της διακρίνονται από τις διακοπτόμενες κορυφές και έχουν γλυκό άρωμα. Τα μέρη του φυτού που χρησιμοποιούνται για απόσταξη είναι τα άνθη και σε μικρότερες ποσότητες τα φύλλα. Οι κορυφές των ανθέων παράγουν αιθέριο έλαιο πολύ ανώτερης ποιότητας από αυτό που περιέχεται στα φύλλα. Κατά την συγκομιδή των ανθέων για αποξήρανση κόβουμε τα άνθη.

3 Προσαρμοστικότητα

Η λεβάντα είναι μετρίως ανθεκτική στον παγετό και στην ξηρασία. Η πλατύφυλλη λεβάντα δεν είναι τόσο ανθεκτική στον παγετό όσο η λεβάντα η γνήσια. Όλες οι λεβάντες είναι ευαίσθητες στην υψηλή εδαφική υγρασία, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού επηρεάζουν την ποιότητα του παραγόμενου αιθέριου ελαίου.

Στο φυσικό της οικοσύστημα η γνήσια λεβάντα μπορεί να ευδοκιμήσει σε υψόμετρα μέχρι 1700 m από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ η πλατύφυλλη αναπτύσσεται σε υψόμετρα 200-700 m. Τα υβρίδια λεβάντας συνήθως αναπτύσσονται σε υψόμετρα 700-1000 m. Η παραγωγή ελαίου αυξάνεται καθώς αυξάνεται το υψόμετρο γιατί η άνθηση των φυτών σε ψυχρές περιοχές είναι αφθονότερη. Οι πολλοί και διαφορετικοί τύποι λεβάντας επιτρέπουν την καλλιέργεια της σε διάφορα μικροκλίματα, από κρύα μέχρι υποτροπικά. Σε κάθε ιδιαίτερο μικρόκλιμα πρέπει να δοκιμάζονται διάφορες ποικιλίες προκειμένου να διαπιστωθεί ποια από αυτές θα αναπτυχθεί καλύτερα. Σε περιοχές με ετήσιο ύψος βροχής 300-1400 mm η λεβάντα αποδίδει καλά. Το έδαφος μεταξύ των αρδεύσεων θα πρέπει να διατηρείται χωρίς πολύ υγρασία, γι' αυτό θα πρέπει να αφήνεται να στραγγίζει καλά πριν την επανάληψή τους.

Η λεβάντα χρειάζεται καλώς στραγγιζόμενα εδάφη ηλιαζόμενα, αμμώδη αμμοπηλώδη ή χαλικώδη εδάφη. Το pH του εδάφους πρέπει να κυμαίνεται από 5,8-8,3.

Πολύ υγρά εδάφη ή κακώς στραγγιζόμενα, μπορούν να προκαλέσουν κακή ανάπτυξη, ασθένειες ή τον θάνατο των φυτών και θα πρέπει να αποφεύγονται.

4 Καλλιεργητική πρακτική

4.1 Πολλαπλασιασμός

Η Λεβάντα πολλαπλασιάζεται με μοσχεύματα, με σπόρο και με παραφυάδες. Ο πολλαπλασιασμός με σπόρο είναι εφικτός αλλά δεν εξασφαλίζει την γενική ομοιομορφία.

Τα μοσχεύματα πρέπει να λαμβάνονται από δυνατά και υγιή φυτά που καλλιεργούνται στο ύπαιθρο. Οι ορμόνες ριζοβολίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποβοήθηση της ριζοβολίας αν και η λεβάντα έχει υψηλά ποσοστά επιτυχίας. Τα μοσχεύματα μήκους 10 έως 15 cm προέρχονται από τους νέους βλαστούς, από τους οποίους αφαιρούνται κατά τα δύο τρίτα του μήκους τους τα φύλλα και στην συνέχεια τοποθετούνται σε δίσκους ριζοβολίας στο ριζωτήριο με κατάλληλο υπόστρωμα. Μείγμα με 30% οργανικού υποστρώματος και 70% κατάλληλου εδάφους λειτουργεί άριστα για την έκπτυξη των ριζών των μοσχευμάτων. Επίσης, μοσχεύματα μπορούν να γίνουν το φθινόπωρο και νωρίς την άνοιξη στο χωράφι. Εκεί τα ποσοστά επιτυχίας είναι μικρότερα, αλλά πάλι ικανοποιητικά για την εγκατάσταση της νέας καλλιέργειας.

4.2 Καλλιεργητικές φροντίδες

4.2.1 Προετοιμασία εδάφους

Η προετοιμασία του εδάφους για την εγκατάσταση της καλλιέργειας περιλαμβάνει το όργωμα του εδάφους σε βάθος 30 cm και στην συνέχεια το δισκοσβάρνισμά του ή και χρήση καλλιεργητή.

4.2.2 Αποστάσεις φύτευσης/ Πυκνότητα φύτευσης

Η λεβάντα *L. angustifolia* συνήθως φυτεύεται σε αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 0,8-1 m και 0,60-0,70 m μεταξύ των φυτών επί της γραμμής με πυκνότητα 1500-2000 φυτά ανά στρέμμα, ενώ για τα διάφορα υβρίδια (*Lavandula hybrid*) είναι 1,3-1,7 m μεταξύ των γραμμών και 0,8-1 m πάνω στη γραμμή. Η πυκνότητα καθορίζεται ανάλογα με τη διαθέσιμη υγρασία, την ποικιλία, το μέγεθος της καλλιέργειας καθώς και με τις μηχανικές καλλιεργητικές εργασίες συγκομιδής. Υψηλές πυκνότητες σημαίνει και υψηλό κόστος εγκατάστασης, αλλά επίσης και μεγάλες αποδόσεις νωρίς. Επίσης, τα φυτά γίνονται πιο δυνατά και έχουν περισσότερη διάρκεια στο χρόνο. Μία καλά εγκαταστημένη δυναμική καλλιέργεια λεβάντας θα πρέπει να είναι έτοιμη για συγκομιδή τον δεύτερο χρόνο της. Τα φυτά της λεβάντας αντέχουν στο χρόνο περί τα 10-15 έτη ή ακόμη περισσότερο ,εάν η διαχείριση της καλλιέργειας είναι σύμφωνη με τις ανάγκες της.

4.2.3 Εποχή φύτευσης

Σε ήπια κλίματα καλύτερη εποχή φύτευσης είναι το φθινόπωρο ,ώστε να προλάβουν τα φυτά να εγκατασταθούν καλύτερα για να αντέξουν το χειμώνα, και την άνοιξη να αναπτυχθούν γρηγορότερα. Σε περιοχές με ψυχρούς χειμώνες η φύτευση πρέπει να γίνεται την άνοιξη και είναι η μόνη επιλογή. Η φύτευση σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τον τελευταίο παγετό.

4.2.4 Λίπανση

Η λεβάντα αποδίδει καλά σε εδάφη που για άλλες καλλιέργειες θεωρούνται θρεπτικά ανεπαρκή. Αυξημένες ποσότητες αζώτου έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας ,αλλά και της ποιότητας παραγόμενου αιθέριου ελαίου, τα φυτά γίνονται περισσότερο ευαίσθητα και αυξάνεται ο ανταγωνισμός με τα ζιζάνια. Η συνιστώμενη δόση αζώτου ανά στρέμμα είναι 8-10 kg. Οι απαιτήσεις σε φώσφορο και κάλιο είναι μικρές και εξαρτώνται από τον τύπο του εδάφους και τη θρεπτική του κατάσταση. Περιοδική ασβέστωση μπορεί να είναι αναγκαία, ώστε να διατηρείται η τιμή του pH σε ικανοποιητικό επίπεδο. Μία πλήρης ανάλυση εδάφους, πριν τη φύτευση είναι αναγκαία.

4.2.5 Άρδευση

Η άρδευση είναι αναγκαία για τα πρώτα 2 χρόνια, έως ότου η καλλιέργεια έχει εγκατασταθεί πλήρως. Σε ελαφριά εδάφη ή σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις η άρδευση σε κρίσιμα στάδια εξακολουθεί να είναι αναγκαία. Τα φυτά στο στάδιο της άνθησης δεν θα πρέπει να αφήνονται χωρίς νερό. Η άρδευση μπορεί να αυξήσει την παραγωγή στις ώριμες καλλιέργειες λεβάντας, αλλά η άκαιρη και υπερβολική άρδευση θα αυξήσει τα προβλήματα των ασθενειών, τα φυτά θα μεγαλώσουν σε ύψος, τα κλαδιά θα σπάσουν και η κόμη του φυτού θα ανοίξει στη μέση. Σε κάθε περίπτωση, η στάγδην άρδευση συνιστάται, διότι πέρα από την ορθή εφαρμογή του νερού θα βοηθήσει στον έλεγχο των ζιζανίων.

4.2.6 Κλάδεμα

Η κοπή των ανθέων μαζί με μέρος των βλαστών θα πρέπει να γίνεται τα 2 πρώτα χρόνια, ώστε να βοηθηθούν τα φυτά να δυναμώσουν για να δημιουργήσουν ένα ανθεκτικό πλαίσιο. Στα μετέπειτα χρόνια, το κλάδεμα γίνεται σε διαφορετική περίοδο, μετά τη συγκομιδή συνήθως το φθινόπωρο. Ο λόγος είναι, ότι η συγκομιδή ανθέων για την παραγωγή αιθέριου ελαίου αφήνει τα περισσότερα στελέχη στα φυτά. Συνεπώς, το κλάδεμα γίνεται αμέσως μετά και σε ύψος τέτοιο, ώστε να δυναμώνουμε την καλλιέργεια. Το κλάδεμα μπορεί να γίνει είτε μηχανικά (παρελκόμενα τρίμμερ σε ελκυστήρα) είτε με δρεπάνια.

4.2.7 Συγκομιδή

Η συγκομιδή της λεβάντας για παραγωγή αιθέριου ελαίου γίνεται όταν το άνθος έχει ωριμάσει και το κάτω μισό έχει ανοίξει. Η συγκομιδή πρέπει να γίνεται έγκαιρα γιατί υποβαθμίζεται η ποιότητα του. Συνεπώς η συγκομιδή στην σωστή εποχή έχει πολύ μεγάλη σημασία. Αυτό που πρέπει να έχουμε υπόψη κατά την συγκομιδή είναι ότι αυτή δεν θα πρέπει να πραγματοποιείται σε πολύ ζεστό καιρό ούτε και σε συνθήκες ανέμου,

διότι πολύ σημαντικές ποσότητες ελαίου χάνονται με εξάτμιση. Οι ακίδες των ανθέων κόβονται 15-20 cm κάτω από αυτά. Η συγκομιδή γίνεται είτε με δρεπάνια είτε με μηχανήματα που έχουν σχεδιαστεί για αυτή την εργασία. Η κοπή των ανθέων για τις αγορές νωπών και αποξηραμένων αρωματικών φυτών συνήθως λαμβάνει χώρα μια εβδομάδα αργότερα από ό, τι για την παραγωγή αιθέριου ελαίου.



Εικόνα 2: Κατά τη διάρκεια μηχανικής συγκομιδής λεβάντας.

5 Χρήσεις

Η λεβάντα καλλιεργείται κυρίως για το αιθέριο έλαιο και λιγότερο για τα αποξηραμένα άνθη και φύλλα, που χρησιμοποιούνται ως αρωματικό κλειστών χώρων και στην προστασία των μάλλινων ρούχων. Το αιθέριο έλαιο έχει εντομοαπωθητικές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες και χρησιμοποιείται στη βιομηχανία αρωμάτων, σαπουνιών, καλλυντικών και στην αρωματοθεραπεία. Η εμπορική του αξία εξαρτάται από τη σύνθεση του και κυρίως από τα συστατικά οξικό λιναλυστέρα (linalylacetate) και λιναλοόλη (linalool) που πρέπει να κυμαίνονται σε ποσοστά 30-43% και 36-43% αντίστοιχα. Επίσης το αιθέριο έλαιο της λεβάντας περιέχει λιμονένιο, τερπιν-4-όλη, α-τερπινόλη, 1,8 κινεόλη, μυρκένιο και α- και β- πινένιο. Η λεβάντα είναι μελισσοτροφικό φυτό αλλά χρησιμοποιείται εκτεταμένα και στην αρχιτεκτονική τοπίου σε πάρκα και κήπους.

6 Ασθένειες, εχθροί και προβλήματα

Η λεβάντα είναι ανθεκτική σε εχθρούς και ασθένειες. Παρόλα αυτά έχουν αναφερθεί προσβολές από νηματώδεις και μύκητες στο έδαφος (*Armillaria melea*, *Roselina nectarix*) που προσβάλλουν το ριζικό σύστημα.

7 Μεταποίηση

Τα συγκομισθέντα αρωματικά και φαρμακευτικά αφού συγκομιστούν στη συνέχεια μεταφέρονται στο εργοστάσιο όπου και επεξεργάζονται. Τα στάδια επεξεργασίας είναι: 1-υποδοχή(χώρος παραλαβής και διαχείρισης του υλικού), ξεδιάλεγμα, κοπή (θρυμματισμός), διαχωρισμός (ταξινόμηση), πλύσιμο και στέγνωμα.

Η υποδοχή θα πρέπει να γίνεται σε σκεπασμένο χώρο, σκιερό, να εξαερίζεται και είναι δροσερός, Κατά την αναμονή, το χλωρό χόρτο μπορεί να υποβαθμιστεί ποιοτικά, να οξειδωθεί, να μαυρίσει, να μαραθεί, να στιγματιστεί και τα δραστικά συστατικά του να αλλοιωθούν. Το υλικό δεν θα πρέπει να συμπιέζεται και θα πρέπει να ανακινείται.

Η κοπή διευκολύνει την ξήρανση, την απομάκρυνση ξένων υλών, κάνει το υλικό ομοιογενές, αυξάνει την επιφάνεια ανταλλαγής και ευνοεί την απομάκρυνση του νερού από το υλικό κατά την ξήρανση.

Η πλύση είναι απαραίτητη σε ορισμένα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά για να απομακρυνθούν το χώμα και άλλα άχρηστα υλικά. Η πλύση εφαρμόζεται σε όλα τα είδη των ριζών και ριζωμάτων(π.χ. βαλεριάνα), σε ολόκληρα τα φυτά (ταραξάκο), σε μικρά φυτά ή φυτικά μέρη (π.χ. βασιλικός, δυόσμος), που προορίζονται και κατάψυξη και νωπή κατανάλωση.

7.1 Ξήρανση

Η ξήρανση γίνεται συνήθως σε σκιά και σε ειδικά ξηραντήρια. Παρόλα αυτά μπορεί να γίνει και στο χωράφι που αποτελεί μια απλή και οικονομική μέθοδο, που όμως υποβαθμίζει την ποιότητα των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών. Η υποβάθμιση οφείλεται στην απώλεια χρώματος, απώλεια φύλλων και ανθέων, αύξηση του μικροβιακού φορτίου, απώλεια αιθέριου ελαίου και δραστικών συστατικών, ενώ υπάρχει και ο κίνδυνος της βροχής που μπορεί να καταστρέψει το φυτικό υλικό(π.χ. εάν η ρίγανη κοπεί και βραχεί, μαυρίζει και καταστρέφεται).

Επίσης μπορεί να γίνει ξήρανση σε αποθήκη. Συνήθως χρησιμοποιούνται πλαίσια από ξύλο με μεταλλικό πλέγμα ή από φαρδιά τόπια γιούτας, τα οποία μπαίνουν σε κάθετη σειρά ανά 25 cm. Η έκταση των πλαισίων δεν θα πρέπει να είναι πάνω από 2 m² σε ωφέλιμη επιφάνεια, δεν θα πρέπει να τοποθετούνται μεγάλες ποσότητες σε κάθε πλαίσιο και θα πρέπει να ανακινούνται προσεκτικά χωρίς να τραυματίζονται. Επίσης η θερμοκρασία δεν θα πρέπει να ξεπερνά τους 42 C, γιατί ένα σημαντικό ποσοστό των αιθέριων ελαίων χάνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Η ξήρανση μπορεί να γίνει σε ειδικά ξηραντήρια που έχουν κατασκευαστεί για αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά. Οι κατηγορίες των ξηραντηρίων είναι οι ακόλουθες:

- Στατικά ξηραντήρια (όπου το φυτικό υλικό τοποθετείται σε τελάρα ή πλαίσια και παραμένει ακίνητο μέχρι το τέλος της ξήρανσης). Τα στατικά ξηραντήρια διακρίνονται σε φυσικά ξηραντήρια που μπορεί να είναι συρταρωτά με πλέγμα όπου τοποθετείται το φυτικό υλικό και τεχνητά ξηραντήρια όπου μπορεί να

έχουμε απλούς θαλάμους ξήρανσης ή θαλάμους ξήρανσης με συρτάρια αλλά και κλίνες ξήρανσης.

- Δυναμικά ξηραντήρια όπου το φυτικό υλικό ξεραίνεται με συνεχή ρυθμό και ανανεώνεται σε μονάδα ξήρανσης τύπου σήραγγας με τη βοήθεια κινούμενου ιμάντα.
- Ρεοαιωρούμενη ξήρανση χρησιμοποιείται κυρίως για την ξήρανση εκχυλισμάτων δραστικών συστατικών και φαρμακευτικών φυτών στη βιομηχανία φαρμάκων.
- Λυοφιλοποίηση είναι η ξήρανση σε κενό και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται σε θερμοευαίσθητες ουσίες (αντιβιοτικά, πεπτίδια και πρωτεΐνες). Η ξήρανση γίνεται σε θερμοκρασίες -60 έως -80 και υπό κενό. Δεν χρησιμοποιείται πολύς στην πράξη γιατί είναι η πιο δαπανηρή μέθοδος ξήρανσης και πιο εξειδικευμένη.

7.2 Διατήρηση-Συσκευασία

Η διατήρηση και συσκευασία πραγματοποιούνται σε ξηρές και καλά αεριζόμενες αποθήκες. Η διάθεση στην κατανάλωση τόσο των νωπών όσο και των αποξηραμένων αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών θα πρέπει να γίνεται τον ίδιο χρόνο που συλλέγονται, γιατί μειώνεται η περιεκτικότητα σε αιθέριο έλαιο με την πάροδο του χρόνου και υποβαθμίζεται η ποιότητα προϊόντος.

8 Χημική σύσταση

Κύριο Συστατικό της λεβάντας είναι το αιθέριο έλαιο, αλλά και οι ταννίνες, κουμαρίνες, φλαβονοειδή, φυτοστερόλες και τριτερπένια.

9 Αιθέριο έλαιο λεβάντας



Ο μεγαλύτερος όγκος της λεβάντας που παράγεται για εμπορία σε όλο τον κόσμο προορίζεται για το αιθέριο έλαιό της. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι μονάδες παραγωγής αιθέριου ελαίου μεγάλης κλίμακας πρέπει να είναι αρκετά μηχανοποιημένες και μάλιστα θα πρέπει να έχουν πρόσβαση σε χαμηλού κόστους καλλιεργήσιμες εκτάσεις, εύκολα διαθέσιμες και χαμηλού κόστους εργατικό δυναμικό. Αντίθετα, οι περισσότεροι αμερικανοί παραγωγοί λεβάντας είναι μικρής κλίμακας και εξαρτώνται κυρίως από τον αγροτικό τουρισμό και την ανάπτυξη μόνον των μεγάλης αξίας φυτικών προϊόντων ως πηγή εισοδήματός τους. Αν και υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την παραγωγή αιθέριου ελαίου ως εμπορικό γεωργικό προϊόν σε μερικές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών, για τους περισσότερους αμερικανούς καλλιεργητές αυτού του είδους η παραγωγή θα παραμείνει μικρής κλίμακας, τύπου <<μπουτίκ>> και απλά ένα συνοδευτικό προϊόν του αγροτικού τουρισμού της περιοχής.

Στη Γαλλία υπάρχουν περίπου 400 παραγωγοί λεβάντας, 80% των οποίων ανήκουν σε διάφορες οργανώσεις παραγωγών. Αυτοί οι συνεταιρισμοί διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην οργάνωση και τη διαχείριση της παραγωγής και παρέχουν υπηρεσίες απόσταξης, αποθήκευσης, μάρκετινγκ, αλλά και τεχνική υποστήριξη. Στη Νότιο Γαλλία βρίσκονται εγκατεστημένες περίπου 150 αποστακτικές μονάδες αλλά και πολλοί έμποροι αιθέριων ελαίων. Σήμερα στη Γαλλία οι καλλιεργούμενες εκτάσεις για την παραγωγή αιθέριων ελαίων είναι 300.000 στρέμματα, από τα οποία η λεβαντίνη και η λεβάντα καλύπτουν περισσότερο από το 50% των εκτάσεων.

Παραδοσιακά στη Γαλλία κυρίως, οι κομμένες ταξιανθίες σε δεμάτια, αφήνονται στο χωράφι για 2-3 ημέρες για να χάσουν την πολύ υγρασία τους και ακολουθεί η απόσταξη. Το υπόλειμμα (το σβησμένο υλικό) από την απόσταξη χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει ως καύσιμο τον ατμολέβητα για τις επόμενες αποστάξεις. Η απόσταξη διαρκεί περίπου 1 ώρα.

Μια νέα τεχνική απόσταξης έγκειται στον άμεσο τεμαχισμό του φυτικού υλικού μετά τη συγκομιδή και την εισαγωγή του στις τετράγωνες δεξαμενές(κάδους) όπως γίνεται με την απόσταξη της μέντας στις ΗΠΑ. Το σβησμένο υλικό από μια τέτοια απόσταξη χρησιμοποιείται και σαν λίπασμα. Η απόσταξη κάθε τέτοιου άμβυκα –κάδου- χρειάζεται 1,5 ώρες(λόγω της σχετικά μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε υγρασία).

9.1 Σύνθεση του αιθέριου ελαίου λεβάντας

Το αιθέριο έλαιο παράγεται με απόσταξη των νωπών ανθοφόρων στελεχών από διάφορες ποικιλίες τριών ειδών λεβάντας: της *L. angustifolia*, *L. xintermedia* και *L. latifolia*. Τα αιθέρια έλαια αυτών των τριών ειδών ποικίλλουν πολύ στη σύνθεσή τους: τα έλαια της *L. angustifolia* έχουν πιο γλυκιά μυρωδιά, ενώ της *L. latifolia* πιο δριμεία. Το έλαιο της *L. x intermedia* είναι ενδιάμεσης φύσης μεταξύ των αιθέριων ελαίων των ειδών των γονέων της. Η σύσταση των αιθέριων ελαίων από αυτά τα τρία είδη λεβάντας είναι πολύ διαφορετική όσον αφορά στα ποσοστά των επιθυμητών και ανεπιθύμητων συστατικών που περιέχουν. Οι επιθυμητές ενώσεις περιλαμβάνουν τη λιναλοόλη και τον οξικό λιναλυλ-εστέρα, ενώ η καμφορά και η 1,8 κινεόλη είναι λιγότερο επιθυμητές ενώσεις και δίνουν στο λάδι μια δριμεία, έντονη, φαρμακευτική μυρωδιά. Ο παρακάτω Πίνακας παρουσιάζει τις προδιαγραφές των αιθέριων ελαίων λεβάντας κατά ISO.

Αποδεκτά όρια ποσοστών των τεσσάρων κύριων συστατικών των αιθέριων ελαίων λεβάντας, κατά ISO.

Συστατικά	<i>L. angustifolia</i>		<i>L. x intermedia</i>		<i>L. latifolia</i>	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Λιναλοόλη	25	38	24	35	34	50
Οξεικός λιναλύλ εστέρας	25	45	28	38	ίχνη	2
Καμφορά	0	2	6	8	8	16
1,8 Κινεόλη	0	2	4	7	16	39

Σύσταση αιθέριων ελαίων λεβαντίνης (LavandinSuper και LavandinSpecial) από πειραματικές καλλιέργειες στο Τμήμα Αρωματικών και Φαρμακευτικών Φυτών του ΕΘΙΑΓΕ.

	Lavandin ‘‘Super’’	Lavandina ‘‘Spesial’’
Λιναλοόλη	23.01	37.69
Οξικός λιναλύλ εστέρας	20.35	29.14
Καμφορά	11.35	5.03
1,8 Κινεόλη	15.85	5.39

Οι αποδόσεις του αιθέριου ελαίου της Lavender κυμαίνεται, ανάλογα με τις παραγωγές, από 1.1-7.0 kg/στρέμμα. Οι χαμηλότερες αποδόσεις απαντώνται συνήθως στα βουνά της Ν. Γαλλία, από καλλιέργειες προερχόμενες από σπόρους και φτωχά εδάφη. Οι υψηλότερες αποδόσεις (π.χ. 5.0-7.0 kg/στρέμμα στην Τασμανία της Αυστραλίας κ.α.) παραλαμβάνονται από κλώνους που προήλθαν μέσω βελτιωτικών επιλογών και συγκομίζονται με υψηλής τεχνολογίας θεριστικές μηχανές. Συνήθως, απόδοση και η ποιότητα του αιθέριου ελαίου της λεβάντας βελτιστοποιείται από την καλλιέργειά του σε σχετικά θερμότερα κλίματα και σε αυξανόμενο υψόμετρο, όμως κρίσιμος και καθοριστικός παράγοντας παραμένει η ποικιλία. Το παραδοσιακό αιθέριο έλαιο της λεβάντας προερχόταν από φυτά που αναπτύχθηκαν στα βουνά της ΝΑ Γαλλίας. Ένα τέτοιο πιστοποιημένο, υψηλής ποιότητας προϊόν, παραγόμενο κατά αυτόν τον τρόπο συνεχίζει να πωλείται ακόμα(περίπου 25 kg/χρόνο).

Το αιθέριο έλαιο της λεβάντας είναι πολύ σταθερό κάτω από κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης και αρκετοί παραγωγοί συνιστούν την αποθήκευση για ένα έτος για να ωριμάσει. Τα αποσταγμένα αιθέρια έλαια lavender και lavandin είναι ευδιακρίτως διαφορετικά και χαρακτηρίζονται από το πτητικό προφίλ τους, που λαμβάνεται από την αέριο-χρωματογραφική και οσφρητική ανάλυσή τους, την πυκνότητα και το δείκτη διάθλασης, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Το αγγλικό αιθέριο έλαιο λεβάντας (*L. angustifolia*) είναι διακριτό καθώς προέρχεται από ποικιλίες που αναπτύσσονται μόνο στη Μεγάλη Βρετανία, σε γεωγραφικά πλάτη υψηλότερα από τη Νότια Γαλλία ή την Τασμανία. Το αγγλικό αιθέριο έλαιο lavender έχει μια λιγότερο υπέρτερη κορυφαία οσφρητική νότα έναντι του γαλλικού αιθέριου ελαίου, αλλά με διακριτικό βάθος, σθένος και εμμονή. Στη Γαλλία, όπου επικρατούν περισσότερο ζεστά καλοκαίρια, μερικές από τις πολύ πτητικές κορυφαίες νότες του αιθέριου ελαίου μπορεί να χαθούν.

Σύνθεση διάφορων αιθέριων ελαίων λεβάντας και λεβαντίνης

Συστατικό/ χαρακτηριστικό	<i>L.</i> <i>angustifolia</i> Γνήσια λεβάντα	<i>L. intermedia</i> (Λεβαντινή Var Grosso)	<i>L. intermedia</i> (Λεβαντίνη Var Abrial)	<i>L latifolia</i> Spike Λεβάντα
Linalool	25-38%	24-35%	26-38%	34-50%
Linalyl acetate	25-45%	28-38%	20-29%	< 1.6%
1.8-cineole	1-2%	4-7%	6-11%	16-39%
β-caryophyllene	3-12%			
limonene	< 1%	0.5-1.5%	0.5-1.5%	0.5-3%
Terpinen-4ol	206%	1.5-5%	0.3-1%	
B-ocimene	2.5-6%	0.5-1.5%	1.5-7%	
Lavandulyl acatate	3.4-6.2%	1.5-3%	1-2%	
Lavandulol	>0.1%	0.2-0.8%	0.4-1.2%	
α-terpineol	<2%			0.2-2%
camphor	0.5-1%	6-8%	7-11%	10-20%
Trans-α- bisabolene				0.4-2.5%
borneol		1.5-3%	1.5-3.5%	
pinene				1-3%
Δείκτης διαθλάσεως	1.455-1.466	1.458-1.462	1.460-1.466	1.461-1.468
Σχετική πυκνότητα	0.878-0.892	0.891-0.899	0.877-0.897	0.894-0.907

Απόδοση σε αιθέριο έλαιο % βάρος νωπού	1.4-1.6%	1-2.5%	1-2.5%	1-1.5%
--	----------	--------	--------	--------

Το γαλλικό αιθέριο έλαιο *lavandin* είναι επίσης ιδιαίτερο, αλλά το αιθέριο έλαιο του εμπορίου σχεδόν πάντα έχει τροποποιηθεί από την προσθήκη ή την αφαίρεση συγκεκριμένων συστατικών για να επεκταθούν και να διευρυνθούν οι χρήσεις αυτού του προϊόντος. Το αιθέριο έλαιο *Lavandin* χρησιμοποιείται πρώτιστα από τη βιομηχανία των απορρυπαντικών.

Συστατικά του αιθέριου ελαίου της *Lavandula angustifolia* πιστοποιημένης κατά ΑΟΟ.

Συστατικά του αιθέριου ελαίου	%
1.8 cineol	0.2-0.8
Cis-ocimene	5-9
Trans-ocimene	2.5-4.9
3-Octanone 3	0.7-2
Camphor	<0.5
Linalool	<36
Linalyl-acetate	30-46
Terpinene-4ol	3-5
Lavandulyl-acetate	>2.5
Lavandulol	>0.5
α-Terpineol	<0.5

Συστατικά του αιθέριου ελαίου	Lavande Maillette(ξηρή)	Lavande Maillette(νωπή τεμαχισμένη)
1,8 Cineol-	0.04%	0,15%
Cis-ocimene	1.32%	1%
Trans-ocimene	0,45%	0,6%
3-Octanone	1,2%	1,5%
Camphor	0,39%	0,5%
Linalool	38%	43,5%
Linalyl Acetate	42%	36,8%
Terpinene-4-ol	0,18%	0,75%
Lavandulyl-acetate	0,24%	0,25%
Lavandulol	0	0,1%
α- Terpeneol	0,2%	0,7%

Κατά την διακίνηση των εμπορικών αιθέριων ελαίων της λεβάντας αυτά χαρακτηρίζονται(όσον αφορά την καλή ποιότητα) ως 38/40, 40/42 ή (για την υψηλή ποιότητα) ως 48/50 και 50/52.

9.2 Παραλαβή των αιθέριων ελαίων

Τα αιθέρια έλαια παραλαμβάνονται με διάφορες μεθόδους όπως είναι η απόσταξη, η εκχύλιση και η μηχανική παραλαβή.

Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από:

1. Το είδος και το τμήμα του φυτικού υλικού (γιασεμί, μέντα, άνθη, βλαστοί, φύλλα, σπέρματα κλπ.)
2. Την περιεκτικότητα του φυτού σε αιθέρια έλαια.
3. Την αξία του αιθέριου ελαίου.
4. Τη χημική σύνθεση των διαφόρων συστατικών του αιθέριου ελαίου.
5. Τους οικονομικούς παράγοντες.

Η κάθε μέθοδος παραλαβής των αιθέριων ελαίων περιλαμβάνει διάφορα είδη, π.χ. η απόσταξη περιλαμβάνει την υδροαπόσταξη, την υδρο-ατμοαπόσταξη, τους υδρατμούς και άλλα είδη απόσταξης.

Η εκχύλιση διακρίνεται: α) στην εκχύλιση με πτητικούς διαλύτες, β) με ψυχρό λίπος και γ) με θερμό λίπος.

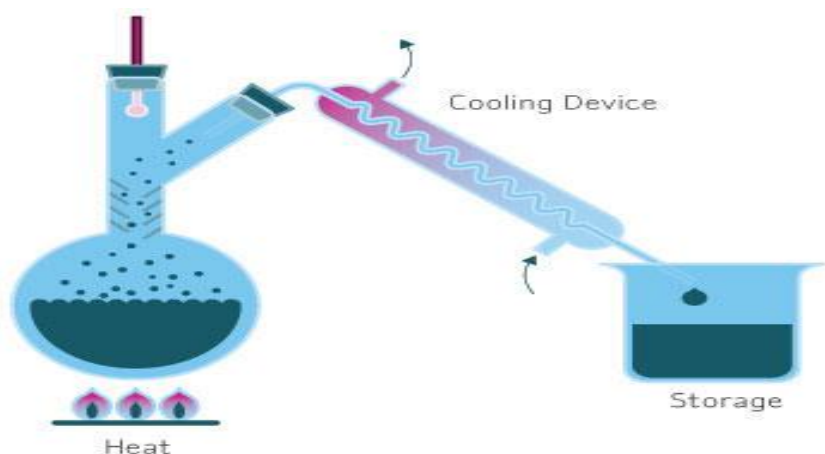
Η μηχανική παραλαβή διακρίνεται στη σύνθλιψη και την απόξεση.

9.2.1 Απόσταξη

Είναι η πιο απλή, οικονομική και ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μέθοδος παραλαβής των αιθέριων ελαίων από όλα σχεδόν τα αρωματικά φυτικά υλικά. Η διαδικασία της απόσταξης, περιλαμβάνει την τοποθέτηση του φυτικού υλικού μέσα σε δοχείο με νερό όπου θερμαίνεται μέχρι βρασμού, οπότε οι ατμοί που σχηματίζονται παρασύρουν τα αιθέρια έλαια από τους ιστούς. Στη συνέχεια οι ατμοί συμπυκνώνονται με ψύξη και υγροποιούνται, οπότε, λόγω διαφοράς στο ειδικό βάρος, τα αιθέρια έλαια διαχωρίζονται από το νερό. Τα σημαντικότερα είδη απόσταξης είναι η υδροαπόσταξη ή η απόσταξη με νερό, η υδρο-ατμοαπόσταξη, η απόσταξη με υδρατμούς και άλλα είδη απόσταξης.

9.2.2 Υδροαπόσταξη ή απόσταξη με νερό (waterdistillation)

Υδροαπόσταξη ή απόσταξη με νερό (waterdistillation) είναι το είδος της απόσταξης που χρησιμοποιήθηκε πολύ στο παρελθόν και χρησιμοποιείται ακόμη σε πολλές χώρες του κόσμου. Έχει πολλά μειονεκτήματα γι' αυτό και η χρήση της περιορίστηκε αισθητά. Σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως σε τριμμένους καρπούς ή ρίζες, ροδοπέταλα και άνθη εσπεριδοειδών.



Εικόνα 3: Αναπαράσταση υδροαπόσταξης αιθέριων ελαίων.

Στην υδροαπόσταξη ή απόσταξη με νερό (waterdistillation) το προς απόσταξη φυτικό υλικό τοποθετείται στον άμβυκα αποστάξεως που περιέχει νερό. Στη συνέχεια το υλικό θερμαίνεται με φωτιά ή με ατμό που κυκλοφορεί στα τοιχώματα του άμβυκα με ειδικές σωληνώσεις. Ένα μειονέκτημα της απόσταξης είναι ότι το νερό και το φυτικό υλικό έρχονται σε άμεση επαφή μεταξύ τους και αυτό μπορεί να προκαλέσει υδρόλυση των συστατικών του αιθέριου ελαίου.

Η ταχύτητα της απόσταξης ρυθμίζεται από την ένταση της φωτιάς ή την ποσότητα των ατμών που κυκλοφορούν στα τοιχώματα και στις σωληνώσεις του άμβυκα. Στην

αρχή της απόσταξης η ταχύτητα της είναι μικρή και στη συνέχεια αυξάνεται για να ληφθεί το μέγιστο ποσοστό του αιθέριου ελαίου. Στην υδροαπόσταξη πρέπει να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του φυτικού υλικού, γιατί έχει ως αποτέλεσμα την αποσύνθεση διαφόρων συστατικών του αιθέριου ελαίου. Ο άμβυκας θα πρέπει να έχει μικρό ύψος και μεγάλη διάμετρο ώστε να έχει μεγάλη επιφάνεια εξάτμισης.

Η υδροαπόσταξη ή απόσταξη με νερό (waterdistillation) παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Είναι απλή μέθοδος και χρησιμοποιείται εύκολα.
- Το αποστακτικό μηχάνημα έχει μικρό κόστος.
- Το συγκρότημα μεταφέρεται εύκολα.
- Είναι κατάλληλη για απόσταξη τεμαχισμένων ή τριμμένων καρπών- ριζών ή άλλων υλικών τα οποία είναι δύσκολα να αποσταχθούν με άλλο τρόπο.

Τα μειονεκτήματα της υδροαπόσταξης ή απόσταξης με νερό (waterdistillation) είναι τα εξής:

1. Χρειάζεται περισσότερος χρόνος για την απόσταξη και επομένως καταναλίσκονται περισσότερα καύσιμα.
2. Η απόδοση σε αιθέριο έλαιο είναι σχετικά μικρή.
3. Το αιθέριο έλαιο είναι κατώτερης ποιότητας, λόγω αποσύνθεσης διαφόρων συστατικών.

9.2.3 Υδρο-ατμοαπόσταξη ή απόσταξη με νερό και ατμό (water and steam distillation)

Το είδος αυτό της απόσταξης θεωρείται καλύτερο από το προηγούμενο και αντικατέστησε σε μεγάλο βαθμό την απόσταξη με νερό σε πολλές χώρες. Έχει το πλεονέκτημα ότι το φυτικό υλικό δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το νερό αλλά τοποθετείται σε πλέγμα που βρίσκεται λίγο πιο πάνω από την επιφάνεια του νερού. Το νερό θερμαίνεται με έναν από τους τρόπους που αναφέρθηκε στο προηγούμενο είδος απόσταξης και ο ατμός που παράγεται μπαίνει σε όλη τη μάζα του φυτικού υλικού και παρασύρει το αιθέριο έλαιο.

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της υδροαπόσταξης είναι:

1. Το φυτικό υλικό που αποστάζεται έρχεται σε επαφή μόνο με τον παραγόμενο ατμό γι' αυτό και περιορίζεται η καταστροφή (αποσύνθεση) των διαφόρων συστατικών του αιθέριου ελαίου.
2. Η κατανάλωση καυσίμων είναι μικρότερη.

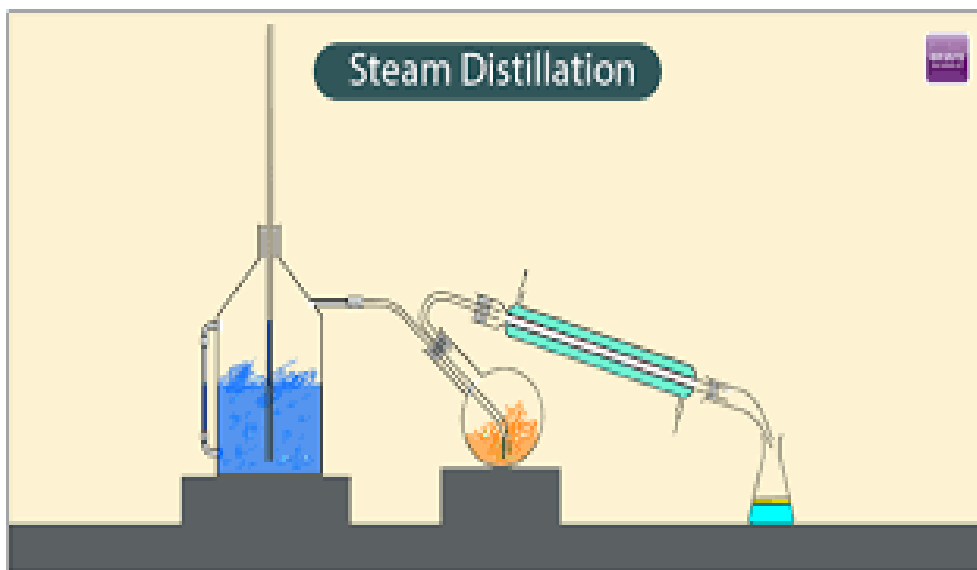
9.2.4 Απόσταξη με υδρατμούς (steam distillation)

Το είδος αυτό της απόσταξης είναι εξέλιξη της προηγούμενης μεθόδου. Είναι πιο σύγχρονο και χρησιμοποιείται από τις βιομηχανίες για αποστάξεις μεγάλων ποσοτήτων φυτικού υλικού. Ο ατμός παράγεται σε ειδικό ατμολέβητα (ατμοπαραγωγό) ή

ατμογεννήτρια και το σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν υπάρχει νερό στον πυθμένα.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

1. Το αιθέριο έλαιο είναι καλύτερης ποιότητας και η ποσότητα είναι λίγο μεγαλύτερη.
2. Είναι κατάλληλο για αποστάξεις μεγάλων ποσοτήτων φυτικού υλικού.
3. Είναι κατάλληλο για όλα σχεδόν τα αρωματικά φυτά εκτός από τα άνθη και τα κονιοποιημένα υλικά.



Εικόνα 4: Αναπαράσταση της απόσταξης αιθέριων ελαίων με υδρατμούς .

Η απόσταξη με υδρατμούς (stamdistillation) περιλαμβάνει διάφορους τύπους από τους οποίους σημαντικότεροι είναι:

1. Με ατμοσφαιρική πίεση. Είναι ο πιο κοινός τρόπος απόσταξης και χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις παραλαβής των αιθέριων ελαίων.
2. Με ελαττωμένη πίεση, Υπερτερεί έναντι του προηγούμενου γιατί περιορίζει την αποσύνθεση των διαφόρων συστατικών και μειώνει τη διάρκεια της απόσταξης. Χρησιμοποιείται σε μεγάλης, σχετικώς, αξίας αιθέρια έλαια που είναι ευπαθή σε υψηλές θερμοκρασίες.
3. Με υψηλή πίεση. Χρησιμοποιείται σε σπέρματα, ρίζες, φύλλα πεύκου. Η αύξηση της πίεσης του άμβυκα είναι δύο ατμόσφαιρες, με την αύξηση της πίεσης συντομεύεται η διάρκεια της απόσταξης και αυξάνεται η αναλογία του αιθέριου ελαίου προς το νερό στο απόσταγμα. Παράλληλα με την αύξηση της πίεσης έχουμε και αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλεί αποσύνθεση των συστατικών του αιθέριου ελαίου.

9.2.5 Άλλα είδη απόσταξης

Εκτός από τα παραδοσιακά είδη απόσταξης υπάρχουν και άλλα είδη που επινοήθηκαν αργότερα, όπως:

- α) η στροβιλο-απόσταξη (turbodistillation),
- β) η υδροδιαχυτική απόσταξη (hydrodiffuser) και
- γ) η συνεχής απόσταξη (continuous distillation)

Αναλυτικότερα:

9.2.6 Στροβιλο-απόσταξη (turbodistillation)

Η Στρόβιλο-απόσταξη επινοήθηκε στην Γαλλία. Ο άμβυκας σε αυτό το είδος απόσταξης έχει διπλά τοιχώματα για να κυκλοφορεί ο ατμός και να θερμαίνεται το περιεχόμενό του. Ακόμη στον πυθμένα του υπάρχει ένα κοπτικό όργανο (στρόβιλος) που τεμαχίζει το φυτικό υλικό που βρίσκεται μέσα στο νερό. Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους είναι:

- μικρή κατανάλωση ατμού(το μισό της παραδοσιακής),
- μεγάλη ταχύτητα απόσταξης(τετραπλάσια σε σύγκριση με την παραδοσιακή απόσταξη),
- μικρότερος χρόνος απόσταξης,
- καλύτερη ποιότητα αιθέριου ελαίου,
- πλήρης παραλαβή του αιθέριου ελαίου,
- κατάλληλο για αποστάξεις όλων των ειδών φυτικού υλικού,
- χωρητικότητα 200-600 Lt.

Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν έχει διαδοθεί στην πράξη.

9.2.7 Υδροδιαχυτική απόσταξη (hydrodiffuser)

Πρόκειται για μια ελβετική εφεύρεση της οποίας το κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι η εισαγωγή του ατμού γίνεται από πάνω προς τον πυθμένα και ο άμβυκας αντί να θερμαίνεται ψύχεται. Όταν ο ατμός περάσει μέσα στο φυτικό υλικό φτάνει στα τοιχώματα του άμβυκα και υγροποιείται. Το σύστημα λειτουργεί με υποπίεση. Τα χαρακτηριστικά αυτού του αποστακτικού συγκροτήματος είναι τα εξής:

- μείωση κατά 50% του χρόνου απόσταξης και μείωση της ποσότητας του ατμού και του νερού για ψύξη,
- μείωση του χώρου,

-καλύτερη ποιότητα του αιθέριου ελαίου αφού αποφεύγεται η αποσύνθεση των συστατικών του και

-η χωρητικότητα των συγκροτημάτων αυτών κυμαίνεται από 500-4000 Lt.

9.2.8 Συνεχής απόσταξη (continuous distillation)

Πρόκειται για ένα σύστημα απόσταξης όπου ο ατμός διοχετεύεται και συγχρόνως κινείται είτε αντίθετα είτε προς την κατεύθυνση της πορείας του φυτικού υλικού. Η συνεχής απόσταξη δεν βρήκε μεγάλη εφαρμογή στην πράξη.



Εικόνα5: Αποστακτικό συγκρότημα: Άμβυκας, ψυκτήρας, δοχείο διαχωρισμού.

9.2.9 Εκχύλιση

Η διαδικασία της εκχύλισης πραγματοποιείται με τρεις μεθόδους:

1. Εκχύλιση με πτητικούς διαλύτες.
2. Εκχύλιση με ψυχρό λίπος.
3. Εκχύλιση με θερμός λίπος.

9.2.10 Εκχύλιση με πτητικούς διαλύτες

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Robiquet το 1835 προκειμένου να παραλάβει αιθέρια έλαια από άνθη με τη χρήση του διαιθυλικού αιθέρα, Ο πετρελαϊκός αιθέρας που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Hizzel το 1874, θεωρείται ένας από τους καλύτερους διαλύτες και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα. Η εκχύλιση με διαλύτες αντικατέστησε, προς το παρόν, τις άλλες μεθόδους όπως την απόσταξη και την εκχύλιση με λίπος, κυρίως σε αιθέρια έλαια μεγάλης αξίας(σε φυτά όπως γιασεμί, υάκινθος, μιμόζα, βιολέτα, τριαντάφυλλο, κ.α.)

Το πλεονέκτημα της εκχύλισης με διαλύτες είναι ότι παραλαμβάνεται με τη διαδικασία αυτή όλο το αιθέριο έλαιο και όχι μόνο τα πτητικά συστατικά, όπως συμβαίνει στην απόσταξη. Τα μειονεκτήματά της είναι:

- το αιθέριο έλαιο έχει χρώμα σκοτεινό,
- για την εκχύλιση χρειάζεται καλά ειδικευμένο προσωπικό και μεγαλύτερη δαπάνη και
- τα έξοδα (διαλύτης - εργατικά κλπ.) είναι μεγαλύτερα από εκείνα της απόσταξης.

9.2.11 Εκχύλιση με ψυχρό λίπος

Η μέθοδος αυτή αποτελεί τη βελτίωση της μεθόδου παρασκευής αρωματικών αλοιφών (πομάδων) που χρησιμοποιούνταν στην αρχαιότητα και σύμφωνα με την οποία έβαζαν άνθη, ρίζες κ.α., σε δοχεία που περιείχαν λίπος.

Είναι απλή μέθοδος, χρησιμοποιείται σε άνθη(π.χ. γιασεμί το πολυανθές) και βασίζεται στην ιδιότητα που έχει το λίπος να απορροφά και να συγκρατεί τις πτητικές ουσίες-αιθέρια έλαια όταν έρχονται σε επαφή μαζί του.

Το λίπος πρέπει να είναι καθαρό, απαλλαγμένο από κάθε οσμή και να είναι μέσης σύστασης (ημίσκληρο). Συνήθως χρησιμοποιείται καθαρό χοιρινό λίπος ή σε αναλογία βοδινό - χοιρινό 1:2, στο οποίο προσθέτονται αντιοξειδωτικές ουσίες (benjoïn 0,6%), στυπτηρίας (0,15%-0,30%).

Η εκχύλιση γίνεται σε ειδικά πλαίσια (τελάρα) 50x40 cm με γυάλινη πλάκα στο μέσο και το λίπος τοποθετείται στις δύο πλευρές. Στη συνέχεια τοποθετούνται τα άνθη και τα τελάρα μπαίνουν το ένα πάνω στο άλλο. Μετά από 24-30 h αφαιρείται το λίπος. Στη συνέχεια ή το λίπος μαζί με το αιθέριο έλαιο που έχει απορροφήσει διατίθεται στο εμπόριο σαν αρωματική αλοιφή ή το αιθέριο έλαιο εκχυλίζεται. Η εκχύλιση γίνεται με αιθυλική αλκοόλη (αναλογία 1:1 λίπους). Η μέθοδος παραλαβής με ψυχρό λίπος χρησιμοποιήθηκε πολύ στο παρελθόν αλλά σήμερα έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί.

9.2.12 Εκχύλιση με θερμό λίπος

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τα άνθη των εσπεριδοειδών, τα τριαντάφυλλα, τις μιμόζες, τις βιολέτες, κλπ. Και σήμερα έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί. Το λίπος μαζί με τα άνθη θερμαίνεται στους 80 C, ανακατεύονται μέχρι να κορεστεί το λίπος με το αιθέριο έλαιο και στη συνέχεια το λίπος φιλτράρεται.

9.2.13 Μηχανική παραλαβή

Στην περίπτωση αυτή τα αιθέρια έλαια παραλαμβάνονται μόνο με μηχανικά μέσα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στους ξηρούς καρπούς(π.χ. στα αμύγδαλα κ.α.) και στους φλοιούς εσπεριδοειδών. Για τους ξηρούς καρπούς χρησιμοποιούνται πιεστήρια που μοιάζουν με κοινά ελαιοτριβεία ενώ για τους φλοιούς των εσπεριδοειδών χρησιμοποιούνται τόσο μηχανήματα που επεξεργάζονται ολόκληρους τους καρπούς πριν την χυμοποίηση (τρίφτης τρυπάει τους φλοιούς) όσο και μηχανήματα που επεξεργάζονται τους φλοιούς μετά την χυμοποίηση.



Εικόνα 6: Φυτά λεβάντας που έχουν μεγαλώσει εμφανώς

10 Το πρόβλημα της εναλάτωσης του εδάφους

Η εναλάτωση του εδάφους είναι ένα υπαρκτό πρόβλημα που βρίσκεται όχι μόνον εν δυνάμει, αλλά και εν εξελίξει σε πολλές περιοχές της χώρας και του πλανήτη, όπου εφαρμόζεται η αρδευόμενη γεωργία και όπου επικρατούν ξηροθερμικές κλιματικές συνθήκες.

Προβλήματα από τη συσσώρευση των αλάτων δημιουργούνται, όταν η περιεκτικότητά τους αρχίζει να υπερβαίνει κάποιες οριακές τιμές, πέρα από τις οποίες τα φυτά αδυνατούν να λειτουργήσουν φυσιολογικά. Όταν αυτό συμβεί, τότε η ανάπτυξή τους αναστέλλεται με συνέπεια τη μείωση των αποδόσεων ή ακόμη και τον εκμηδενισμό τους σε περιπτώσεις οξείας αλατότητας.

Αυτό βέβαια οφείλεται στην υψηλή ωσμωτική πίεση, η οποία αναστέλλει τη φυσιολογική λειτουργία των διάφορων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα φυτά. Κάτω από την επίδραση υψηλού ωσμωτικού φορτίου τα φυτά αδυνατούν να προσροφήσουν το νερό σε επαρκείς ποσότητες μέσω του ριζικού συστήματος, γεγονός που καθιστά την περαιτέρω ανάπτυξη του φυτού προβληματική και πολλές φορές αδύνατη. Η αδυναμία του φυτού να εφοδιαστεί με νερό δημιουργεί συμπτώματα που μοιάζουν με εκείνα της ξηρασίας. Ήτοι, καταρχάς τα φύλλα χάνουν τη σπαργή τους, ακολούθως εμφανίζεται μια κυανή απόχρωση, καθώς και συσσώρευση στην επιφάνεια των φύλλων μίας κηρώδους ουσίας. Σε οξείες περιπτώσεις παρατηρείται ξήρανση τμήματος του ελάσματος και τελικά θάνατος του φυτού.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού συνίσταται η έκπλυση των ελεύθερων αλάτων, λαμβάνοντας μέριμνα η ποσότητα των εκπλυνόμενων αλάτων να είναι περίπου ίση με εκείνη των αλάτων που εισρέουν στο έδαφος μέσω του νερού άρδευσης. Αυτό είναι απαραίτητο για τη διατήρηση του ισοζυγίου των αλάτων στο έδαφος. Είναι φανερό ότι μετά την έκπλυση των αλάτων εκτονώνεται το ωσμωτικό φορτίο του εδαφοδιαλύματος και επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή των αλάτων στο έδαφος.

Κατά τη δημιουργία της εναλάτωσης του εδάφους συνέπεια της άρδευσης, η περιεκτικότητα των αλάτων αυξάνει στην περιοχή της ριζόσφαιρας λόγω της πρόσληψης μεγάλων ποσοτήτων νερού από τις ρίζες, με αποτέλεσμα τη συμπύκνωση των αλάτων στους χώρους πέριξ των ριζών. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αμβλυνθεί με την προσθήκη νερού κατά την άρδευση, σε τέτοιες ποσότητες ώστε το επίπεδο του νερού στο έδαφος να διατηρείται σε σχετικά υψηλά επίπεδα για την εκτόνωση της υψηλής αγωγιμότητας και τη μείωση της ωσμωτικής πίεσης, που ενδεχομένως είναι δυνατόν να εμφανιστεί μεταξύ δύο συνεχόμενων αρδεύσεων. Θα πρέπει επομένως να προσεχτούν κατά την εφαρμογή του νερού τα εξής:

A) τη διατήρηση του νερού στο έδαφος σε επίπεδο υδατοϊκανότητας,

B) η εφαρμογή της έκπλυσης για την απομάκρυνση των αλάτων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρείται η ωσμωτική ισορροπία και

Γ) το ύψος της υπόγειας στάθμης να είναι σε βάθος μεγαλύτερο των 2 m.

10.1 Παράγοντες της Ανθεκτικότητας των φυτών στα Άλατα.

Η επίτευξη του δυναμικού απόδοσης των καλλιεργειών με τη χρήση συγκεκριμένου νερού άρδευσης εξαρτάται από το είδος του φυτού και από την ποιότητα του νερού. Γενικά όμως έχει διαπιστωθεί ότι παίζει σπουδαίο ρόλο η ανθεκτικότητα του φυτού στα άλατα. Πολλοί παράγοντες επιδρούν στην ανθεκτικότητα αυτή. Μερικοί από αυτούς εξαρτώνται από το ίδιο το φυτό, ενώ άλλοι σχετίζονται με το έδαφος και το κλίμα. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι εξής:

- α) η φάση ανάπτυξης του φυτού,
- β) η ποικιλία ή το υποκείμενο(κληρονομικότητα),
- γ) η γονιμότητα του εδάφους,
- δ) η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό,
- ε) η κατανομή των αλάτων στο προφίλ,
- στ) το κλίμα-περιβάλλον και
- ζ) οι καλλιεργητικές πρακτικές.

10.2 Πως τα φυτά αντιδρούν στην Αλατότητα

Τα φυτά για να αναπτυχθούν κάτω από αλατούχες συνθήκες του εδάφους, υποχρεώνονται να αναπτύξουν κάποιους αμυντικούς ή και επιθετικούς μηχανισμούς, οι οποίοι γενικά σχετίζονται με (α) την πρόσληψη των ιόντων και (β) τη σύνθεση των διάφορων οργανικών ουσιών ή και (γ) αμφοτέρων.

Κλασικό παράδειγμα τα αλόφυτα, τα οποία αντέχουν σε υψηλά επίπεδα αλατότητας του εδάφους και μπορούν να συσσωρεύουν άλατα σε υψηλές συγκεντρώσεις. Τα φυτά αυτά είναι προσαρμοσμένα να προσροφούν άλατα και να τα απομονώνουν στα κενοτόπια των κυττάρων τους (vacuoles), ενώ οι οργανικές συμβατές διαλυτές ενώσεις παίζουν το ρόλο της ωσμωτικής προσαρμογής στο κυττόπλασμα. Όμως, στα μη αλόφυτα (γλυκόφυτα), τα άλατα μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνα, διότι συσσωρευόμενα στα κύτταρα σε υψηλές συγκεντρώσεις καταστρέφουν τα ένζυμα και τα οργανίδια τους. Η ευαισθησία των φυτών στα άλατα εμφανίζεται κατά τις εξής φάσεις ανάπτυξης: (α) φύτευμα, (β) βλάστηση, (γ) αναπαραγωγή. Ειδικότερα η φάση της βλάστησης για πολλά φυτά είναι ίσως η πλέον ευαίσθητη, επίσης, κατά τη φάση του φυτρώματος τα πράγματα γίνονται πιο πολύπλοκα. Τοιουτοτρόπως, υπάρχουν φυτά που είναι γενικά ευαίσθητα στην αλατότητα, κατά το φύτευμα όμως είναι ανθεκτικά(καλαμπόκι, τομάτα). Αντίθετα, το βαμβάκι είναι περισσότερο ανθεκτικό στα άλατα και τα τεύτλα, είναι όμως περισσότερο ευαίσθητα κατά το φύτευμα. Επίσης, υπάρχουν άλλα φυτά που είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στα άλατα, και όμως κατά το φύτευμα είναι ευαίσθητα στην αλατότητα.

Οι περισσότερες καλλιέργειες είναι γενικά μη ανθεκτικές στα άλατα, γι' αυτό και θεωρούνται ως «γλυκόφυτα». Οι καλλιέργειες αυτές έχουν την τάση να απομονώνουν το Cl από τους βλαστούς και ιδιαίτερα από τα φύλλα. Η ρύθμιση της ωσμωτικής πίεσης των γλυκοφύτων βασίζεται στη σύνθεση των οργανικών ωσμωλυτών. Τα γλυκόφυτα δεν μπορούν να συσσωρεύουν (απομονώνουν) τα άλατα στα κενοτόπια και τις οργανικές διαλυτές ενώσεις στο κυττόπλασμα, σε αντίθεση με τα αλόφυτα, στα οποία ο διαχωρισμός αυτός των ανόργανων αλάτων και των οργανικών ουσιών αποτελεί το βασικό μηχανισμό επιβίωσης τους κάτω από αλατούχες συνθήκες. Όσον αφορά στις ειδικές ιοντικές επιδράσεις, η πρόσληψη του Ca^{2+} σε υψηλές ποσότητες συχνά αμβλύνει (μετριάξει) τις επιπτώσεις της αλατότητας στα φυτά.

Εξάλλου, η ευαισθησία των φυτών στα άλατα συχνά μεταβάλλεται κατά την περίοδο ανάπτυξής τους κάτω από αλατούχες συνθήκες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλές φορές οι αναπτυσσόμενες ρίζες επηρεάζονται λιγότερο από την αλατότητα απ' ό,τι οι βλαστοί, κάτι που λαμβάνει χώρα, ιδιαίτερα παρουσία του Ca^{2+} . Οι επιπτώσεις της αλατότητας στους βλαστούς εκδηλώνεται με τη μείωση της φυλλικής επιφάνειας, η οποία σχετίζεται με το μειωμένο εφοδιασμό των φύλλων με άλλα θρεπτικά.

11 Βιοδιεργέτες

Η ανάγκη μείωσης των αρνητικών επιπτώσεων της εντατικής καλλιέργειας στο περιβάλλον, καθώς και των διαθέσιμων χημικών σκευασμάτων στην αγορά, λόγω κανονισμών από την μια μεριά και η ανάγκη αύξησης της παραγωγής τροφίμων παγκοσμίως από την άλλη, έστρεψαν τον τομέα της γεωργικής επιστήμης στην αναζήτηση νέων πρακτικών για την παραγωγή τροφίμων, χωρίς περιβαλλοντικά προβλήματα και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Μετά από συστηματική έρευνα, η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, γεννήθηκαν και ήρθαν στην επιφάνεια μία σειρά προϊόντων, οι «βιοδιεγέρτες».

11.1 Η έννοια των βιοδιεργετών

Η λέξη «βιοδιεγέρτες» χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από ειδικούς της καλλιέργειας οπωροκηπευτικών για να περιγράψουν ουσίες που επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών, χωρίς αυτές να ανήκουν σε καμιά άλλη κατηγορία φυτοπροστατευτικών προϊόντων και λιπασμάτων (Du Jardin, 2015). Η διατύπωση του όρου «βιοδιεγέρτες» (biostimulants) έγινε για πρώτη φορά από τους Zhang και Schmidt στο Κρατικό Πανεπιστήμιο της Βιρτζίνια το 1997 και αναφερόταν στις «ουσίες που εφαρμόζονται σε μικρές ποσότητες στα φυτά και μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη τους» (Du Jardin, 2015). Η επίσημη ωστόσο παρουσίαση και προώθηση των βιοδιεγερτικών ουσιών στην παγκόσμια αγορά έγινε μόλις το 2012 στο Στρασβούργο, όπου διεξήχθη το 1^ο Παγκόσμιο Συνέδριο για την εφαρμογή τέτοιων προϊόντων στη γεωργική παραγωγή (Du Jardin, 2015).

Σήμερα, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Βιομηχανικών Βιοδιεγερτών (EBIC, 2012) « *οι βιοδιεγέρτες περιλαμβάνουν ουσίες ή / και μικροοργανισμούς των οποίων η λειτουργία κατά την εφαρμογή τους στο φυτό ή την ριζόσφαιρα είναι να διεγείρουν φυσικές διεργασίες για την ενίσχυση/ωφέλεια της πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων, της συνολικής απόδοσης, της αντοχής στο αβιοτικό στρες και της βελτίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καλλιεργιών* »

Οι βιοδιεγέρτες αποτελούν μια ξεχωριστή κατηγορία προϊόντων και έχουν διαφορετικούς μηχανισμούς και τρόπους δράσης από τα λιπάσματα και τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα (Calvo et al., 2014, Du Jardin, 2015). Οι βιοδιεγέρτες δεν έχουν άμεση δράση κατά των παρασίτων και συνεπώς δεν εμπίπτουν στο ρυθμιστικό πλαίσιο των φυτοφαρμάκων, ούτε και των λιπασμάτων που περιέχουν κάποια συγκεκριμένα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. (Du Jardin, 2015). Η επίδρασή τους στην ανάπτυξη των φυτών προέρχεται από την ικανότητά τους να μεταβάλλουν τις διαδικασίες φυσιολογίας του φυτού, βελτιώνοντας το μεταβολισμό του. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την EBIC (2012) οι βιοδιεγέρτες προωθούν την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών με αποδεδειγμένους τρόπους στους οποίους περιλαμβάνονται:

- 1) Η βελτίωση αποδοτικότητας του φυτικού μεταβολισμού, γεγονός το οποίο συνεπάγεται αυξημένες αποδόσεις και ενισχυμένη ποιότητα
- 2) Ενίσχυση αντοχής των φυτών ή ανάκαμψη από βιοτικές (μύκητες, βακτήρια, έντομα) και αβιοτικές (ξηρασία, αλατότητα, μη ευνοϊκές θερμοκρασίες, οξειδωτικό στρες) καταπονήσεις
- 3) Διευκόλυνση της αφομοίωσης και χρήσης θρεπτικών συστατικών
- 4) Βελτίωση ποιοτικών χαρακτηριστικών
- 5) Αποδοτικότερη χρήση νερού και
- 6) Ενίσχυση ορισμένων φυτικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους λόγω ανάπτυξης μικροβιακής δραστηριότητας και ανάπτυξης συμπληρωματικών μικροοργανισμών

Η αποτελεσματικότητα των βιοδιεγερτικών ουσιών εξαρτάται από παράγοντες, όπως η θρεπτική κατάσταση του φυτού, οι εδαφικές ιδιότητες και οι συνθήκες καταπόνησης (Keltling, 1997, Jardin 2012, Calvo et al., 2014). Έρευνες έχουν δείξει, ότι οι συχνές και μικρές δόσεις των βιοδιεγερτικών ουσιών είναι πιο αποτελεσματικές από τις λιγότερο συχνές και μεγάλες δόσεις, όπως επίσης ότι τα αποτελέσματα από την χρήση τους είναι συνήθως καλύτερα το δεύτερο χρόνο σε σχέση με τον πρώτο (Schmidt et al., 2003, Vernieri et al., 2005).

Η εφαρμογή των βιοδιεγερτών στα φυτά μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους, όπως με ριζοπότισμα, με ψεκάσμο του φυλλώματος καθώς και με προσθήκη του προϊόντος στο νερό άρδευσης (Povero et al., 2016, Van Oosten et al., 2017). Η επικρατέστερη εφαρμογή των βιοδιεγερτών στα φυτά είναι μέσω του ποτίσματος των ριζών τους, έτσι ώστε να γίνει άριστη αξιοποίηση των ουσιών και/ή των μικροοργανισμών που περιέχει μέσω του ριζικού συστήματος των φυτών (Van Oosten et al., 2017).

Οι βιοδιεγέρτες διατίθενται σε μια ποικιλία συνθέσεων και με ποικίλα συστατικά. Με κριτήριο την προέλευση και το περιεχόμενό τους οι βιοδιεγέρτες μπορούν να ανήκουν

σε μία ή και περισσότερες από τις ακόλουθες κατηγορίες (Du Jardin 2015, Halpern et al., 2015, Van Oosten et al., 2017):

- 1) Χουμικά και φουλβικά οξέα
- 2) Εκχυλίσματα φυκών
- 3) Προϊόντα υδρόλυσης πρωτεϊνών και αμινοξέων
- 4) Εμβόλια μικροοργανισμών (μύκητες, βακτήρια)
- 5) Χιτοζάνη και άλλα βιοπολυμερή και
- 6) Ανόργανες ενώσεις (Al, Co, Na, Se και Si)

Είναι σημαντικό οι βιοδιεγέρτες να προσδιορίζονται περισσότερο από τον τρόπο δράση τους και όχι τόσο από την σύνθεσή τους, επειδή αυτή περιλαμβάνει πληθώρα συστατικών (Bulgari et al., 2015).

11.2 Το πυρίτιο ως βιοδιεγέρτης

Το πυρίτιο (Si) είναι το δεύτερο σε αφθονία χημικό στοιχείο στον πλανήτη (περίπου 28%, κατά μάζα), μετά από το οξυγόνο. Εν τούτοις μόνο ένα πολύ μικρό μέρος από αυτό το πυρίτιο διαλυτοποιείται και καθίσταται διαθέσιμο για τα φυτά. Τα τελευταία απορροφούν το πυρίτιο του εδάφους μόνο στη μορφή του H_4SiO_4 , το οποίο βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα σε εύρος συγκέντρωσης 0,1-0,6 mM (Luyckx et al., 2017).

Παρότι το πυρίτιο δεν συγκαταλέγεται στα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία (Amon and Stout, 1939), τα τελευταία χρόνια πληθαίνουν οι μελέτες που υποστηρίζουν ότι ασκεί θετική επίδραση στην ανάπτυξη πολλών ανώτερων φυτών. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει πολλούς επιστήμονες στη διατύπωση της άποψης ότι το Si πιθανότατα είναι απαραίτητο για τη θρέψη ορισμένων τουλάχιστον φυτικών ειδών (Epstein, 1999). Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι ένας μεγάλος αριθμός αγρωστωδών ειδών έχει την ικανότητα να συσσωρεύει έως και 10% του Si (Vivancos et al., 2015), με το ρύζι να αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό συσσωρευτή Si (Kaurand Greger, 2019).

Η παρουσία του Si στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών τα καθιστά ικανά να αντεπεξέλθουν σε διάφορες μορφές καταπόνησης, συμβάλλει στη διατήρηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και προωθεί την ενεργό ανάπτυξη ριζών και φυλλώματος. Ωστόσο, επειδή η μετατόπιση και η κίνηση του Si είναι μια πολύ αργή διαδικασία, συνήθως απαιτείται εξωγενής προσθήκη διαλυτού Si προκειμένου να βελτιωθούν οι συνθήκες stress και να βελτιωθούν οι αποδόσεις των καλλιεργειών.

Υπάρχουν διαθέσιμα πολλά ερευνητικά δεδομένα που δείχνουν ότι η χορήγηση του Si προκαλεί αλλαγές στη φυσιολογία των φυτών και ο ρόλος του Si αποκτά μεγαλύτερη σημασία υπό δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες. Αναλυτικότερα, πολλές μελέτες έχουν αναφέρει ότι το Si αυξάνει την ανθεκτικότητα των φυτών σε αβιοτικά στρες (Epstein, 1999, Maand Takahashi, 2002, Maand Yamaji, 2006), όπως στην αλατότητα και τη ξηρασία (Zhuand Gong, 2014, Rizwan et al., 2015), στις ακραίες θερμοκρασίες (Ma, 2004), στην ανεπάρκεια θρεπτικών συστατικών (Marafon and Endres, 2013) και στην τοξικότητα από βαρέα μέταλλα (Pontigo et al., 2015; Pontigo et al., 2017). Επιπλέον, το Si μπορεί να αποτελέσει έναν ρυθμιστή των αμυντικών μηχανισμών των φυτών σε προσβολές από εχθρούς και

ασθένειες (Ma, 2004), μέσω ενίσχυσης του κυτταρικού τους τοιχώματος (Wang, 2004). Οι Trenholm et al. (2004) ακόμα ανέφεραν ότι οι πυριτικοί κρύσταλλοι τοποθετούνται σε επιδερμικά κύτταρα σχηματίζοντας ένα φράγμα που μειώνει τις απώλειες νερού μέσω των επιδερμίδων. Τέλος, η εφαρμογή του Si βρέθηκε να έχει επίδραση στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών των φυτών και συγκεκριμένα μπορεί να ενισχύσει την πρόσληψη φωσφόρου, ασβεστίου και μαγνησίου ή να μειώσει την πρόσληψη αζώτου και καλίου (Liang et al., 2007).

12 Εισαγωγή στο πείραμα

Η αλατότητα είναι ένας σημαντικός περιβαλλοντικός περιορισμός που καθιστά τα εδάφη μη παραγωγικά και περιορίζει την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτών (Khan et al., 2010), ιδιαίτερα σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές (Gebauer et al., 2004; Khan and Panda, 2008). Υπό αλατούχες συνθήκες, τα φυτά παρουσιάζουν μείωση των παραμέτρων ανάπτυξης όπως νωπό και ξηρό βάρος φύλλων, στελεχών και ριζών, σε συνδυασμό με μείωση της περιεκτικότητας σε νερό και περιορισμό της κυτταρικής διαστολής (Munns, 1994). Οι αυξημένες συγκεντρώσεις Na^+ και Cl^- στο διάλυμα του εδάφους μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε διατροφικές διαταραχές, κυρίως λόγω της μειωμένης πρόσληψης θρεπτικών συστατικών όπως K, Ca, Mg και N (Grattan and Grieve, 1998).

Η κρισιμότερη φυσιολογική διεργασία, η οποία δέχεται την επίδραση, βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα, του παράγοντα της αλατότητας είναι η φωτοσύνθεση (Parida et al., 2005). Ο βαθμός στον οποίο αυτή διαταράσσεται διαφέρει από είδος σε είδος (Sánchez-Blanco et al., 2004). Εξαιρετικά ευπαθής στόχος είναι η φωτοσυνθετική ροή ηλεκτρονίων η οποία είναι δυνατόν να διαταραχθεί ακόμα και με την ύπαρξη χαμηλών συγκεντρώσεων των ιόντων Na^+ και Cl^- . Επίσης, η λειτουργία της φωτοσυνθετικής συσκευής διαταράσσεται λόγω της μειωμένης στοματικής αγωγιμότητας που επιφέρει μειωμένη τροφοδοσία με CO_2 (Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Έχει αναφερθεί πως υψηλή πρόσληψη NaCl ανταγωνίζεται την πρόσληψη άλλων θρεπτικών ιόντων όπως του καλίου (K^+), προκαλώντας ανεπάρκεια του συγκεκριμένου στοιχείου στα φυτά. Κάτω από αυτές τις συνθήκες λοιπόν, μειώνεται η απόδοση ανά φωτόνιο της φωτοσυνθετικής έκλυσης οξυγόνου ως αποτέλεσμα δυσλειτουργίας του συμπλόκου φωτόλυσης του νερού του φωτοσυστήματος II (Parida et al., 2005).

Σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας, το συνολικό περιεχόμενο των χλωροφυλλών και καροτενοειδών των φύλλων μειώνεται. Τα παλαιότερα φύλλα αρχίζουν να εμφανίζουν χλώρωση και αποβάλλονται από το φυτό μετά από παρατεταμένη περίοδο έντονης καταπόνησης. (Parida et al., 2005).

Έπειτα από βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη έκθεση φυτών σε συνθήκες αλατότητας η αφομοίωση του CO_2 είναι περιορισμένη λόγω της συσσώρευσης των αλάτων στην επιφάνεια των φύλλων (Parida et al., 2005). Ο περιορισμός της διάχυσης του CO_2 στους χλωροπλάστες γίνεται εντονότερος από την επίδραση των αλάτων μέσω περιορισμού του ανοίγματος των στοματίων και μεταφοράς του στο μεσόφυλλο προκαλώντας μεταβολές στη φωτοχημεία των φύλλων και στο μεταβολισμό του άνθρακα. Οι επιπτώσεις αυτές αλλάζουν σύμφωνα με την ένταση και τη διάρκεια της καταπόνησης καθώς και με την ηλικία των φύλλων, επειδή τα παλαιότερα φύλλα

επηρεάζονται περισσότερο από τη συσσώρευση υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων και το φυτικό είδος (Chaves *et al.*, 2009).

Η επίδραση των αλάτων στα φυτά επιφέρει αξιοσημείωτη δυσλειτουργία των στοματιών των φύλλων, περιορισμό της διαθεσιμότητας του CO₂ μέσω αυτών και συνεπώς μείωση της στοματικής αγωγιμότητας και της ανταλλαγής αερίων μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος. Σε άλλη περίπτωση, το NaCl μπορεί να παρεμποδίσει το άνοιγμα των στοματιών (Sánchez-Blanco *et al.*, 2004) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός διαπνοής των φύλλων και η απώλεια νερού από τα φύλλα και να προκαλούνται αλλαγές στη δραστηριότητα των χλωροπλαστών (Parida *et al.*, 2005). Ο βαθμός στον οποίο το κλείσιμο των στοματιών επηρεάζει τη φωτοσυνθετική ικανότητα εξαρτάται από το μέγεθος της μερικής πίεσης του CO₂ στο εσωτερικό του φύλλου. Υπάρχουν επίσης αναφορές για αναστολή της φωτοσύνθεσης κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας η οποία οφείλεται σε διάφορους μηχανισμούς πέρα από τη λειτουργία των στοματιών. Αυτό συμβαίνει λόγω της αυξημένης αντίστασης στη διάχυση του CO₂ από το τοίχωμα του μεσοφύλλου στους χλωροπλάστες (Parida *et al.*, 2005).

Κατά την αύξηση των επιπέδων αλατότητας, παρατηρείται πτώση του υδατικού και οσμωτικού δυναμικού των φυτών ενώ οι πιέσεις σπαργής αυξάνονται. Συνεπώς μειώνεται σημαντικά ο ρυθμός της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας τόσο από την ολική συγκέντρωση των αλάτων όσο και από τη σύσταση των ιόντων (Parida *et al.*, 2005). Η πτώση του οσμωτικού δυναμικού οδηγεί σε απώλεια σπαργής, κλείσιμο των στοματιών και ακολουθείται από μείωση ανταλλαγής αερίων και πτώση του ρυθμού φωτοσύνθεσης (Shannon, 1997).

Η επίδραση της αλατότητας εξαρτάται έντονα από τη καλλιέργεια, ακόμη και από την ποικιλία και το ρίζωμα. Με βάση την ανταπόκρισή τους στην αλατότητα, υπήρχαν φυτά που χαρακτηρίζονται είτε ως ανθεκτικά είτε ως ευαίσθητα στην αλατότητα (Yadav *et al.*, 2011). Στην βιβλιογραφία, αν και υπάρχουν ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με την ανοχή των καλλιεργειών στην αλατότητα, αυτές επικεντρώνονται κυρίως στα οπωροκηπευτικά είδη (Shannon and Grieve, 1999). Ενδεικτικά, στη μπάμια (Ashraf *et al.*, 2003, Ünlükara *et al.*, 2008), στο μπιζέλι (Attia *et al.*, 2009), στο κριθάρι (Mangal *et al.*, 1989), στο φασόλι (Kaymakanova *et al.*, 2008), στην τομάτα (Mohammad *et al.*, 1998) αναφέρεται μείωση στο ρυθμό ανάπτυξής τους σε υψηλή αλατότητα.

Επίσης, αποδείχθηκε πως στο σύνολο τους τα αλατούχα εδάφη μπορούν να επηρεάζουν άμεσα πολλά χαρακτηριστικά των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών όπως την απόδοσή τους, την διατροφική τους αξία, καθώς και την ποσότητα και τη σύσταση του αιθέριου ελαίου τους (Tabatabaie και Nazari, 2007). Έχει αναφερθεί ότι, η ανάπτυξη των σποροφύτων του θυμαριού (Belaqziz *et al.*, 2009), του βασιλικού (Ramin, 2005), του χαμομηλιού και της μαντζουράνας (Ali *et al.*, 2007) μειώθηκαν σοβαρά υπό στρεσογόνες συνθήκες αλατότητας. Επίσης η αλατότητα βρέθηκε να επηρεάζει αρνητικά μορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως τον αριθμό των φύλλων και την φυλλική επιφάνεια σε ορισμένα φαρμακευτικά και αρωματικά φυτά όπως στη μέντα (Azizetal., 2008), στη λεβάντα (García-Caparrós, 2017, Paraskevopoulou *et al.*, 2020), στο γεράνι (Leithy *et al.*, 2009), στο θυμάρι (Najafian *et al.*, 2009) και στη φασκομηλιά (Ben Taarit *et al.*, 2009). Τέλος, σε μια πληθώρα πειραμάτων βρέθηκε ότι η απόδοση αιθέριου ελαίου για πολλά αρωματικά φυτά μειώθηκε υπό την πίεση υψηλής αλατότητας, όπως στην μέντα (Tabatabaie and Nazari, 2007), στο θυμάρι (Belaqziz *et al.*, 2009) και στον βασιλικό (Said-Al Ahland Omer, 2011).

Ένα βασικό στοιχείο που εφαρμόζεται, κυρίως στο ριζικό σύστημα των φυτών για τον περιορισμό των αβιοτικών καταπονήσεων, όπως η αλατότητα, είναι το πυρίτιο (Si)

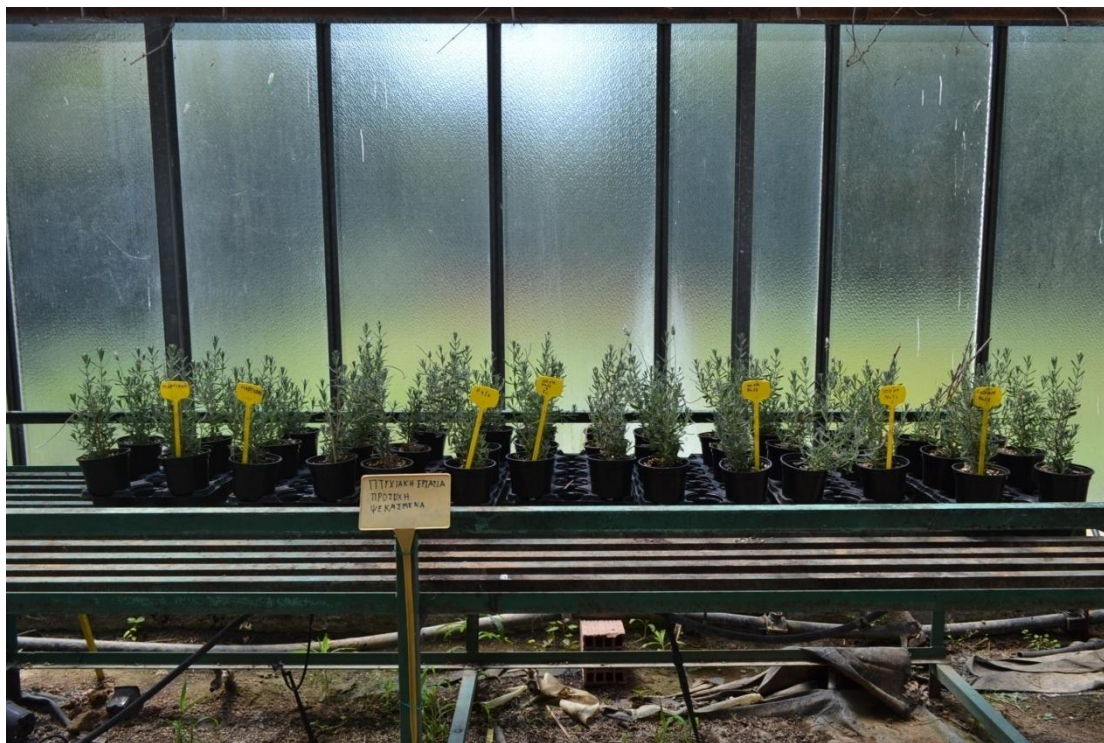
(Liang, 1999). Αρκετές έρευνες έδειξαν, ότι το Si είναι ικανό να μειώσει την πρόσληψη Na^+ , μειώνοντας έτσι την αρνητική επίδραση του άλατος σε φυτά που εκτίθενται σε υπερβολικά υψηλές συγκεντρώσεις NaCl (Zhuand Gong, 2014). Συγκεκριμένα, υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας ο Si περιόρισε τη μετατόπιση του Na στο βλαστό της κολοκύθας (Savvas et al., 2009), στο κριθάρι (Liang, 1999), στο κοινό φασόλι (Zuccarini, 2008), στο ρύζι (Yeo et al., 1999; Gong et al., 2006), στη ντομάτα (Gunes et al., 2007) και στο σιτάρι (Tuna et al., 2008). Οι Stamatakis et al. (2003), Savvas et al. (2007, 2009), Gunes et al. (2007), Murillo-Amador et al. (2007) και Shi et al. (2013) διαπίστωσαν ότι η εξωγενής προσθήκη Si μειώνει επίσης τη συγκέντρωση Cl στα φύλλα φυτών που εκτίθενται σε υπερβολικά υψηλές συγκεντρώσεις NaCl.

Αν και ο μηχανισμός με τον οποίο το Si επεμβαίνει στη βελτίωση της κατάστασης των φυτών υπό συνθήκες αλατότητας δεν είναι πλήρως κατανοητός, από μελέτες που έγιναν, φαίνεται πως η βελτίωση αυτή οφείλεται στον περιορισμό της πρόσληψης και ή της μεταφοράς του Na και του Cl στα νεαρά φύλλα των φυτών (Liang, 1999; Savvas et al., 2007, 2009; Ashraf et al., 2009). Επιπλέον, η προσθήκη Si, προκαλεί αλλαγές στις ενδογενείς ορμόνες των φυτών, οι οποίες δρουν ως μηχανισμός άμυνας στα αυξημένα επίπεδα αλατότητας. Αυτό σημαίνει ότι το Si απαλύνει τα συμπτώματα της αλατότητας μόνο σε περίπτωση που αυτή οφείλεται σε NaCl, ενώ δεν ασκεί κανένα προστατευτικό ρόλο έναντι υπερβολικών συγκεντρώσεων θρεπτικών στοιχείων. Φαίνεται επομένως ότι το πυρίτιο ασκεί προστατευτική επίδραση στα φυτά εξειδικευμένα έναντι του NaCl.

13 Υλικά και μέθοδοι

Για το σκοπό του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 38 νεαρά φυτά λεβάντας του είδους *Lavandula Dentata L.* (Λεβάντα η οδοντωτή), των οποίων η προμήθεια έγινε από φυτώριο. Τα φυτά αυτά χρησιμοποιήθηκαν κατά το διάστημα τριών μηνών. Αρχικά, τοποθετήθηκαν στο θερμοκήπιο (1) του αγροκτήματος του ΤΕΙ, για ενάμιση μήνα.

Κάθε ένα φυτό μεταφυτεύτηκε για το σκοπό του πειράματος σε πλαστικό δοχείο μεταφυτεύσεως διαστάσεων 12x12 cm, το οποίο περιείχε ως υπόστρωμα μίγμα τύρφης-περλίτη σε αναλογία 1:1. Τα φυτά χωρίστηκαν σε πέντε εξάδες και σε μια οκτάδα, η οποία δε θα δεχόταν καμία εφαρμογή, ώστε να αποτελέσει το Μάρτυρα.



Εικόνα 7: Η διάταξη των φυτών του πειράματος

Σε εβδομαδιαία βάση γίνονταν με τη μέθοδο του ψεκασμού εφαρμογή διαλυμάτων με καθορισμένη συγκέντρωση NaCl και Si. Οι συγκεντρώσεις του NaCl ήταν 50 μM , 100 μM , 150 μM . Εκτός αυτών, χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα 0,35 μM Si και 100 μM NaCl και 0,35 Si. Τα διαλύματα παρασκευάστηκαν στο χώρο του Εργαστηρίου Βοτανικής με τη χρήση του υπάρχοντος εξοπλισμού και υλικών.

Έγιναν συνολικά πέντε εφαρμογές, για τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν ψεκαστήρες του Εργαστηρίου Βοτανικής. Δύο ημέρες μετά από την πρώτη εφαρμογή, πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση του ύψους των φυτών. Μετά από πέντε μέρες, έγινε η δεύτερη μέτρηση. Έπειτα από μια εβδομάδα, έγινε η τρίτη και τελευταία μέτρηση ύψους. Όλες έγιναν με τυχαία επιλογή τριών φυτών από κάθε μεταχείριση.

Μετά την παρέλευση ενάμιση μηνός από την έναρξη του πειράματος, παρατηρήθηκε έντονο στρες σε όλες τις μεταχειρίσεις, το οποίο αποδόθηκε στις ακραίες ξηροθερμικές συνθήκες που επικρατούσαν στο θερμοκήπιο του αγροκτήματος. Εξαιτίας του παραπάνω γεγονότος, αποφασίστηκε να μεταφερθούν τα φυτά στο θάλαμο

ανάπτυξης του εργαστηρίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο θάλαμος φωτίζεται από λαμπτήρες UV και διατηρεί σταθερή θερμοκρασία.

Κατά το διάστημα παραμονής των φυτών στο θάλαμο ανάπτυξης, πραγματοποιήθηκε η τελευταία εφαρμογή διαλυμάτων. Μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος των ψεκασμών, έγινε συλλογή ταξιανθιών, όπως και δύο μετρήσεις φθορισμού της χλωροφύλλης, οι οποίες απείχαν μεταξύ τους διάστημα έντεκα ημερών, ώστε να προσδιοριστεί με αυτή τη μέθοδο ο βαθμός καταπόνησης των φυτών. Και αυτή η διαδικασία έγινε, με τυχαία επιλογή τριών φυτών από κάθε μεταχείριση.

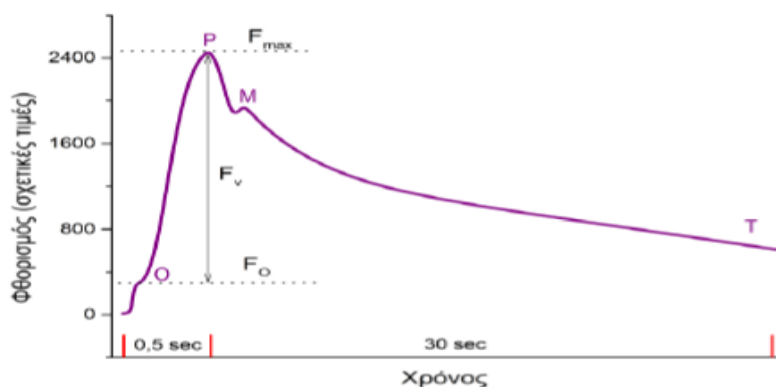
Η μέτρηση φθορισμού της χλωροφύλλης έγινε με φθορισμόμετρο, το οποίο ανήκει στον εξοπλισμό του εργαστηρίου.

13.1 Μέτρηση του φθορισμού της χλωροφύλλης

Όταν ένα φύλλο φωτίζεται με σταθερή ένταση φωτισμού, η εκπομπή φθορισμού παραμένει σταθερή. Η μέτρηση του φθορισμού αυτού, παρέχει ελάχιστες πληροφορίες για τη φυσιολογική κατάσταση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας. Πολύ χρησιμότερη είναι η παρακολούθηση των μεταβολών του φθορισμού της χλωροφύλλης κάτω από μεταβαλλόμενο φωτισμό και, συγκεκριμένα, κατά τα πρώτα λεπτά μετά τον αιφνίδιο φωτισμό ενός φύλλου που παρέμεινε, προηγουμένως, για κάποιο χρονικό διάστημα στο σκοτάδι.

13.1.1 Οι φάσεις επαγωγής του φθορισμού της χλωροφύλλης

Η επαγωγή φθορισμού στα φυτά είναι γνωστή από τις αρχές της δεκαετίας του 1930 ως “φαινόμενο Kautsky”, από το όνομα του Γερμανού επιστήμονα που τη μελέτησε. Η κινητική της επαγωγής αυτής, που χαρακτηρίζεται από μία ταχεία φάση ανόδου και μία αργή φάση απόσβεσης του φθορισμού, παρουσιάζεται στο διάγραμμα της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 8: Γραφική απεικόνιση της κινητικής επαγωγής φθορισμού (καμπύλη Kautsky) από φύλλο που παρέμεινε προηγουμένως στο σκοτάδι.

Με τον αιφνίδιο φωτισμό ενός φύλλου που έχει προηγουμένως διατηρηθεί για αρκετή ώρα στο σκοτάδι, ο φθορισμός ανέρχεται ακαριαία (σε λίγα msec) σε ένα σημείο O (F_0) και, κατόπιν, αυξάνεται ως το ανώτερο σημείο P (F_m) με μικρότερη κλίση. Ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει στο σημείο P, εξαρτάται από την κατάσταση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας αλλά και από το είδος του φυτού, συνήθως δε, είναι μικρότερος του 1 sec. Την αύξηση αυτή του φθορισμού, ακολουθεί στη συνέχεια η απόσβεσή του, αφού από το σημείο P και μετά ο φθορισμός μειώνεται και, διαμέσου

ενός δεύτερου μεγίστου M, καταλήγει εντός ολίγων λεπτών (συνήθως 3-4 λεπτά), στο επίπεδο T, όπου και παραμένει σταθερός.

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες, με την πρόοδο της τεχνολογίας, έγινε δυνατή η κατασκευή εύχρηστων οργάνων για τη μέτρηση ασθενών φωτεινών σημάτων σε πολύ μικρούς χρόνους. Με τη βοήθεια των οργάνων αυτών, διενεργήθηκαν εντατικές μελέτες του φαινομένου Kautsky, σε μια προσπάθεια πλήρους θεωρητικής ερμηνείας των διαφόρων φάσεων της επαγωγής και απόσβεσης του φθορισμού, καθώς και περαιτέρω διερεύνησης των δυνατοτήτων πρακτικής εφαρμογής.

Με βάση τις μελέτες αυτές, συνάγεται ότι μετά από σύντομη παραμονή στο σκοτάδι (10 min έως 2 hr, ανάλογα με το φυτό και τη φυσιολογική του κατάσταση), οι πρωταρχικοί αποδέκτες ηλεκτρονίων του φωτοσυστήματος II (Photo System II, PSII), που είναι η κινόνη A (Quinone A, QA) και η κινόνη B (Quinone B, QB) είναι πλήρως οξειδωμένοι. Κατά συνέπεια, τα φωτοχημικά κέντρα αντίδρασης του PSII μπορούν να δεχθούν ενέργεια διέγερσης, καθώς είναι ικανά να διοχετεύσουν τα ηλεκτρόνια προς τις QA και QB. Στο σκοτάδι, δηλαδή, τα κέντρα αντίδρασης θεωρούνται «ανοιχτά». Το F₀, επομένως, αντιπροσωπεύει την ένταση του φθορισμού όταν τα δραστικά κέντρα του PSII είναι ανοιχτά.

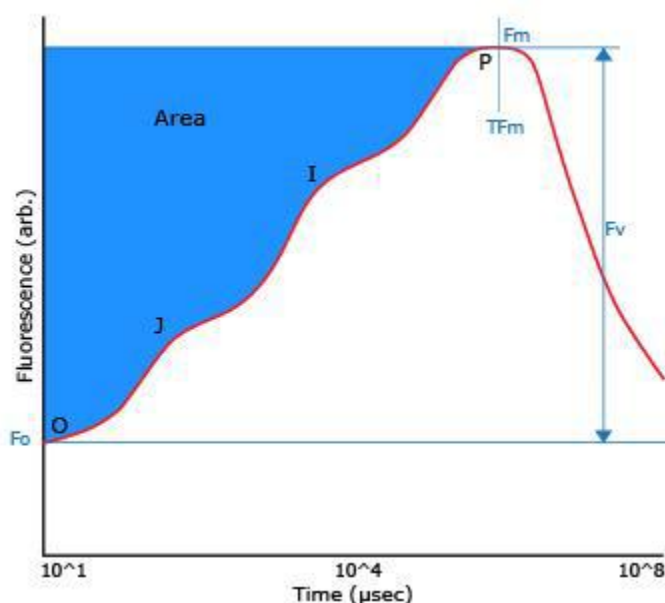
Ο F₀ μπορεί να αυξηθεί αν ορισμένα κέντρα καταστραφούν ή αν η μεταφορά της ενέργειας διέγερσης από τη φωτοσυλλεκτική κεραία προς τα κέντρα αντίδρασης παρεμποδίζεται. Εφ' όσον το διεγείρον φως είναι ισχυρό, δηλαδή έχει ένταση που κορεννύει την φωτοσύνθεση, ηλεκτρόνια διοχετεύονται από τον δότη P680 προς τις QA και QB, τα αποθέματα των οποίων ανάγονται πλήρως. Στο διάστημα που μεσολαβεί μέχρι οι QA και QB να διοχετεύσουν περαιτέρω τα ηλεκτρόνιά τους προς την πλαστοκινόνη και το PSI, τα κέντρα αντίδρασης του PSII δεν μπορούν να δεχθούν επιπλέον ενέργεια διέγερσης, επειδή η ροή ηλεκτρονίων περιορίζεται, παροδικά, από την έλλειψη οξειδωμένων μορφών των QA και QB. Κατά συνέπεια, ο αριθμός των «κλειστών» κέντρων αντίδρασης αυξάνεται, η παραγωγή φωτοχημικού έργου στο PSII ελαττώνεται, ενώ αντίστοιχα αυξάνεται ο φθορισμός.

Με την άφιξη στο σημείο P, το οποίο αντιστοιχεί στον μέγιστο εκπεμπόμενο φθορισμό (F_m) όταν η χρησιμοποιούμενη ένταση φωτισμού κορεννύει την φωτοσύνθεση, όλα τα κέντρα αντίδρασης του PSII θεωρούνται «κλειστά». Καθώς τα ηλεκτρόνια διοχετεύονται στην πλαστοκινόνη και αρχίζει η λειτουργία του PSI, οι QA και QB επανοξειδώνονται, τα κέντρα αντίδρασης ανοίγουν σταδιακά, η φωτοχημική απόδοση του PSII αυξάνεται και ο φθορισμός αποσβέννυται.

Το μέγιστο σημείο M σηματοδοτεί, πιθανώς, την έναρξη της φωτοσυνθετικής αφομοίωσης του CO₂, ενώ χαμηλές τιμές εκπομπής φθορισμού στο τελικό επίπεδο T υποδεικνύουν καλή συνεργασία των δύο φωτοσυστημάτων και αποδοτικότερη αφομοίωση του CO₂. Αξίζει να επισημανθεί, ότι οι μετρήσεις του φθορισμού είναι πάντοτε σχετικές και τα απόλυτα επίπεδα F₀, F_m και T μπορεί να διαφέρουν σε διάφορα υγιή φύλλα του ίδιου είδους. Συνεπώς, οι μετρήσεις στηρίζονται στις σχετικές αναλογίες των μετρούμενων μεγεθών.

Η ταχεία φάση ανόδου του φθορισμού μελετήθηκε λεπτομερέστερα από τους (Strasser et al. 1995), οι οποίοι παρατήρησαν, ότι αν ο άξονας του χρόνου στην καμπύλη του Kautsky λογαριθμιστεί, η μετάβαση από το ελάχιστο σημείο (O) στο μέγιστο σημείο

(P) του φθορισμού δεν είναι γραμμική, αλλά πολυφασική, εμφανίζοντας τουλάχιστον δύο επιπλέον κορυφές (J και I), κάτι που φαίνεται καθαρά σε λογαριθμική κλίμακα χρόνου. Εξαιτίας αυτών των σημείων, η ταχεία φάση της επαγωγής του φθορισμού ονομάστηκε OJIP καμπύλη.



Εικόνα 9 : Τυπική γραφική απεικόνιση τριφασικής OJIP καμπύλη επαγωγής του φθορισμού της χλωροφύλλης.

Τα φύλλα στα οποία μετράται η ένταση του φθορισμού πρέπει να έχουν παραμείνει στο σκοτάδι για αρκετή ώρα. Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται ότι όλοι οι ενδιάμεσοι φορείς ηλεκτρονίων μεταξύ των δύο φωτοσυστημάτων βρίσκονται στην οξειδωμένη τους μορφή και ότι ο δότης P680 είναι αποδιεγερμένος. Στην κατάσταση αυτή, τα ενεργά κέντρα είναι «ανοιχτά» και μπορούν να επιτελέσουν το μέγιστο φωτοχημικό έργο, και άρα να εκπέμψουν τον ελάχιστο φθορισμό. Στο σημείο αυτό (O), ο φθορισμός (F_o) αντανακλά την ενέργεια διεγέρσεως που χάνεται για φωτοχημικό έργο κάτω από ιδανικές συνθήκες (Henriques 2009). Στη συνέχεια, τα δείγματα φωτίζονται και με την προϋπόθεση ότι η ένταση του φωτός με την οποία φωτίζονται τα δείγματα είναι αρκετά ισχυρή (saturating light), όλοι οι ενδιάμεσοι φορείς ηλεκτρονίων ανάγονται, ο δότης P680 διεγείρεται και τα ενεργά κέντρα των φωτοσυστημάτων θεωρούνται «κλειστά». Στο σημείο P, ο φθορισμός έχει την μέγιστη τιμή του (F_m) (Henriques 2009). Μεταξύ των δύο ακραίων σημείων (O και P), εμφανίζονται άλλα δύο χαρακτηριστικά σημεία. Το σημείο J που εμφανίζεται στα 2 ms (Strasser et al. 2004) και το σημείο I που εμφανίζεται στα 30 ms. Οι τρεις διακριτές φάσεις O-J, J-I και I-P της καμπύλης, συνδέονται με τρεις διαφορετικές αναγωγικές διεργασίες κατά μήκος της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων. Πιο συγκεκριμένα, η φάση O-J σχετίζεται με την αναγωγή της QA (Schansker et al. 2005), η φάση J-I σχετίζεται με την αναγωγή της PQ (Toth et al. 2007) και η φάση I-P, σχετίζεται με γεγονότα που λαμβάνουν χώρα στην αναγωγική πλευρά του PSI (Schansker et al. 2005).

13.1.2 Διαδικασία μέτρησης

Ο φθορισμός της χλωροφύλλης αποτελεί μία μη επεμβατική, μη καταστρεπτική, φθηνή και γρήγορη μέθοδο εκτίμησης της φωτοσυνθετικής κατάστασης ενός δείγματος. Για τη μέτρησή του είναι διαθέσιμα διάφορα όργανα με διαφορετικά χαρακτηριστικά, που μπορούν όμως να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα φθορισμόμετρα ρυθμιζόμενου εύρους παλμού (pulse modulated fluorometers), και τα φθορισμόμετρα συνεχούς διέγερσης (constant excitation fluorometers).



Εικόνα 10 : Φθορισμόμετρο ρυθμιζόμενου εύρους παλμού για τη μέτρηση της χλωροφύλλης (Plant Efficiency Analyzer, PEA)

Με τα φθορισμόμετρα ρυθμιζόμενου εύρους παλμού μελετούμε κατά προτίμηση την κινητική του φθορισμού σε προσαρμοσμένα στο φως δείγματα, αφού προηγουμένως φτάσουν σε μία σταθερή κατάσταση φθορισμού (Baker 2008).

Η χρονική ανάλυση του σήματος του φθορισμού σε αυτά τα όργανα είναι σχετικά χαμηλή, δηλαδή το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των μετρήσεων είναι σχετικά μεγάλο. Με τα φθορισμόμετρα συνεχούς διέγερσης μελετούμε την κινητική του φθορισμού προσκοτεινιασμένων δειγμάτων κατά τη φάση της ταχείας ανόδου του φθορισμού. Τα όργανα αυτά έχουν υψηλή χρονική ανάλυση, δηλαδή η χρονική απόσταση μεταξύ των μετρήσεων είναι σχετικά μικρή.

Ο φθορισμός της χλωροφύλλης μετρήθηκε με μια ρυθμιζόμενη και χαμηλής έντασης ακτινοβολία από εκπεμπόμενο φως διόδων (μήκος κύματος διέγερσης στα 655nm, μήκος κύματος εκπομπής πάνω από 700nm) χρησιμοποιώντας ένα φορητό παλμικό ρυθμιζόμενο φθορισμόμετρο (Plant Efficiency Analyzer, PEA, Hansatech Ltd King's Lynn, Norfolk, England). Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην πάνω επιφάνεια των φύλλων, μετά από μισή ώρα παραμονής τους στο σκοτάδι. Το όργανο αυτό αποτελείται από τις εξής τρεις μονάδες: τους συνδετήρες φύλλου που χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή του αισθητήρα και διαθέτουν ειδικό κλείστρο για να κρατούν το φύλλο στο σκοτάδι, την μονάδα ελέγχου για αποθήκευση και επεξεργασία των μετρήσεων και την μονάδα του αισθητήρα που εκπέμπει ερυθρό φωτισμό.

Η κεφαλή μέτρησης του αισθητήρα φωτίζει τον ιστό και ανιχνεύει και καταγράφει τα επαγόμενα σήματα του φθορισμού. Αποτελείται από 6 διόδους εκπομπής φωτός υψηλής έντασης που φωτίζουν ομοιόμορφα την επιφάνεια φύλλου (διάμετρος 4mm) με μέγιστη φωτεινή ένταση 630Wm^{-2} . Ο φθορισμός που εκπέμπεται από τον φωτοσυνθετικό ιστό διέρχεται μέσα από ένα οπτικό φίλτρο και φθάνει στον ανιχνευτή, ο οποίος απορροφά τα μεγάλα μήκη κύματος και ανακλά το μικρότερο μήκος κύματος φωτός που προέρχεται από τις διόδους εκπομπής. Η μονάδα του αισθητήρα συνδέεται με ένα καλώδιο με τη συσκευή ελέγχου που έχει και όλα τα ηλεκτρονικά μέρη του φθορισμόμετρου.

Ως πρώτη αξιόπιστη μέτρηση θεωρείται η μέτρηση στα 50μs μετά την έναρξη φωτισμού του δείγματος γι αυτό και εκλαμβάνεται ως η αρχική τιμή φθορισμού F_0 . Ο φθορισμός επάγεται από ερυθρό φωτισμό (μέγιστο 735nm) ρυθμιζόμενης έντασης, η οποία αναφέρεται ως ένταση διέγερσης.

Η ελάχιστη απόδοση του φθορισμού F_0 του φύλλου που προσαρμόστηκε στο σκοτάδι προσδιορίστηκε κάτω από αμυδρό κόκκινο φως χαμηλής έντασης. Στην επάνω πλευρά του φύλλου και περίπου στο μέσο αυτού τοποθετήσαμε έναν συνδετήρα φύλλου σε καθορισμένη απόσταση από την οπτική ίνα του υποδοχέα και μιά αμυδρή 5 s ερυθρή ακτινοβολία (735 nm) στάλθηκε για να οξειδώσει πλήρως την αλυσίδα μεταφοράς των ηλεκτρονίων.

Η μέγιστη απόδοση του φθορισμού των φυτών (F_m) επιτεύχθηκε με έκθεση του φωτοσυστήματος PSII σε ένα παλμικά κορεσμένο (0,8s) άσπρο φως. Η διαφορά ανάμεσα στο F_m (μέγιστη τιμή φθορισμού) και το F_0 (αρχική τιμή φθορισμού) έδωσε τον μεταβαλλόμενο φθορισμό F_v ($F_v = F_m - F_0$). Η μέγιστη φωτοχημική απόδοση του φωτοσυστήματος II προσδιορίστηκε ως η αναλογία του μεταβαλλόμενου φθορισμού F_v προς τον μέγιστο επίπεδο φθορισμού (F_v/F_m) και αντιπροσωπεύει την φωτοσυνθετική ικανότητα του ανοιχτού PSII. Οι παράμετροι φθορισμού που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη αυτή και περιλαμβάνουν τις απευθείας παρεχόμενες από το όργανο καθώς και τις εξ' υπολογισμού προκύπτουσες παραμέτρους, είναι οι εξής:

Ο ελάχιστος φθορισμός (F_0). Είναι η πρώτη αξιόπιστη τιμή φθορισμού ύστερα από το φωτισμό του δείγματος στα 50 μs, όταν θεωρητικώς όλα τα ενεργά κέντρα του PSII είναι ανοιχτά και υπάρχει μια ελεύθερη ροή ηλεκτρονίων. Κάθε φωτόνιο που απορροφάται από ένα μόριο χλωροφύλλης μετατοπίζει ένα ηλεκτρόνιο από την θεμελιώδη σε μία διεγερμένη κατάσταση. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η μεταφορά ηλεκτρονίων είναι αρκετά γρήγορη έτσι ώστε να υπάρχει μια σταθερή ροή ηλεκτρονίων και να εμφανίζεται ένας ελάχιστος φθορισμός (F_0). Ο πραγματικός φθορισμός F_0 όμως εμφανίζεται μόνο όταν ο σταθερός αποδέκτης ηλεκτρονίων (QA) του PSII είναι πλήρως οξειδωμένος. Αυτό προϋποθέτει πλήρη προηγούμενη προσαρμογή του δείγματος στο σκοτάδι, οπότε ο φθορισμός F_0 εμφανίζεται ουσιαστικά σε χρόνο μηδέν, αφού αποτελεί την σχεδόν άμεση ανύψωση του φθορισμού (κλίμακα nanoseconds) της χλωροφύλλης που φωτίζεται. Τέτοιοι χρόνοι όμως δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν εξαιτίας συμφυών περιορισμών στην ηλεκτρονική τεχνολογία. Ωστόσο είναι δυνατή η εκτίμηση με μεγάλη ακρίβεια του επιπέδου του F_0 με χρήση κατάλληλου μαθηματικού αλγορίθμου.

Ο μέγιστος φθορισμός (F_m). Είναι ο μέγιστος φθορισμός χλωροφύλλης που προκαλείται από φως συνεχούς έντασης. Τα ενεργά κέντρα του PSII είναι τώρα κλειστά και ο αποδέκτης ηλεκτρονίων (QA) πλήρως αναγμένος. Η ροή των ηλεκτρονίων εμποδίζεται, επειδή η ποσότητα του QA δεν μπορεί να μεταφέρει τα ηλεκτρόνια αρκετά γρήγορα, έτσι ώστε να συμβαδίσει με την εισροή των φωτονίων, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται η μέγιστη κβαντική απόδοση του PSII και η μέγιστη εκπομπή φθορισμού (F_m). Η παράμετρος αυτή μπορεί να θεωρείται ως μέγιστος φθορισμός μόνον εφόσον η ένταση του φωτός που παρέχεται από το φθορισμόμετρο κορεννύει πλήρως το φυτό και

ο αποδέκτης ηλεκτρονίων QA είναι πλήρως αναγμένος. Εάν η ένταση του φωτός δεν είναι αρκετά υψηλή, το φυτό μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να μην είναι πλήρως κορεσμένο, με αποτέλεσμα ο ανώτερος φθορισμός που επιτυγχάνεται να μην είναι ο μέγιστος και, επομένως, να μην μπορεί να θεωρηθεί ως φθορισμός F_m οπότε και η σχέση F_v/F_m να μην είναι σωστή. Αυτό ήταν και το κύριο πρόβλημα στο παρελθόν με τα παλαιάς τεχνολογίας φθορισμόμετρα, τα οποία δεν ήταν σε θέση πολλές φορές να παρέχουν φως διέγερσης με αρκετά υψηλή ένταση.

Ο μέγιστος μεταβαλλόμενος φθορισμός (F_v). Είναι η διαφορά στην ένταση φθορισμού μεταξύ των κλειστών και ανοικτών κέντρων αντίδρασης ($F_v = F_m - F_o$). Η διαφορά αυτή ουσιαστικά αντιστοιχεί στο μέρος της απορροφημένης φωτεινής ενέργειας που θα χρησιμοποιούνταν στη φωτοσύνθεση, εάν όλα τα κέντρα αντίδρασης ήταν ανοικτά.

Ο λόγος F_v/F_m . Έχει αποδειχθεί εμπειρικά ότι σε μια πλειάδα φυτικών ειδών ο λόγος F_v/F_m είναι ανάλογος της ανά φωτόνιο απόδοσης της φωτοσύνθεσης και αποτελεί μέτρο της φωτοχημικής ικανότητας του PSII (Kalaji et al. 2011). Η μείωση του λόγου F_v/F_m είναι ενδεικτική του αποτελέσματος κάποιων περιβαλλοντικών εξωτερικών παραγόντων και αυτή η αλλαγή δείχνει απώλεια της φωτοχημικής απόδοσης (Srivastava et al. 1997). Σε υγιή φυτά με άριστη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, η παράμετρος F_v/F_m κυμαίνεται μεταξύ 0,800 και 0,850 (Krause & Weis 1991). Τιμές χαμηλότερες από αυτήν την περιοχή, δείχνουν ότι το φυτό είναι εκτεθειμένο σε κάποιου είδους καταπόνηση. Η μέτρηση της παραμέτρου αυτής παρέχει πολλά πλεονεκτήματα, γιατί η εκτίμηση της φωτοσυνθετικής απόδοσης απαιτεί αφαίρεση των φύλλων από το φυτό και είναι χρονοβόρα, ενώ η μέτρηση του F_v/F_m είναι μη καταστροφική, μπορεί να γίνει στην ύπαιθρο και ολοκληρώνεται εντός δευτερολέπτων. Οι μεταβολές του F_v/F_m παρουσία των δυσμενών συνθηκών παρουσιάζονται πολύ πριν εμφανιστούν οποιαδήποτε ορατά συμπτώματα στο φυτό. Κατά συνέπεια, η μέθοδος έχει άριστη αξία πρόγνωσης, χωρίς, ωστόσο, να μπορεί να προσδιορίσει τον δυσμενή παράγοντα καταπόνησης. Και αυτό γιατί όπως μια πληθώρα μελετών των τελευταίων δεκαετιών έχει δείξει, μια μεγάλη σειρά δυσμενών περιβαλλοντικών παραγόντων όπως η υψηλή θερμοκρασία, η χαμηλή θερμοκρασία, ο υπερβολικά υψηλός φωτισμός, η έλλειψη νερού, τα ζιζανιοκτόνα, η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, κ.α., μπορούν να προκαλέσουν μείωση της ανά φωτόνιο φωτοσυνθετικής απόδοσης, κατ' επέκταση και του F_v/F_m .

Ο λόγος F_v/F_o . Ο λόγος αυτός, που ουσιαστικά αντανάκλα τις δομικές μεταβολές του PSII εκφράζει την ικανότητα παροχής ηλεκτρονίων στα δραστικά κέντρα του PSII, καθώς και την ταχύτητα της φωτοσυνθετικής μετατροπής των κβάντων στα κέντρα αντιδράσεων του PSII (Havaux & Lannoey 1985a). Σε υγιή φυτά με άριστη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, η παράμετρος F_v/F_o έχει τιμές μεγαλύτερες του 4. Τιμές χαμηλότερες του 4, δείχνουν ότι το φυτό είναι εκτεθειμένο σε κάποιου είδους καταπόνηση και η δομική και λειτουργική δυνατότητα των χλωροπλαστών έχει υποστεί κάποια βλάβη (Chatzistathis et al. 2011).

Η Επιφάνεια (Area). Η παράμετρος αυτή εκφράζει την περιοχή υπεράνω της καμπύλης επαγωγής φθορισμού μεταξύ των σημείων F_o and F_m . Είναι ανάλογος του συνολικού μεγέθους της αναγμένης PQ στην αναγμένη πλευρά του PSII. Η παράμετρος αυτή μειώνεται σε μεγάλο βαθμό όταν η μεταφορά των ηλεκτρονίων από τα δραστικά κέντρα στο σύνολο των κινονών εμποδίζεται. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η παράμετρος

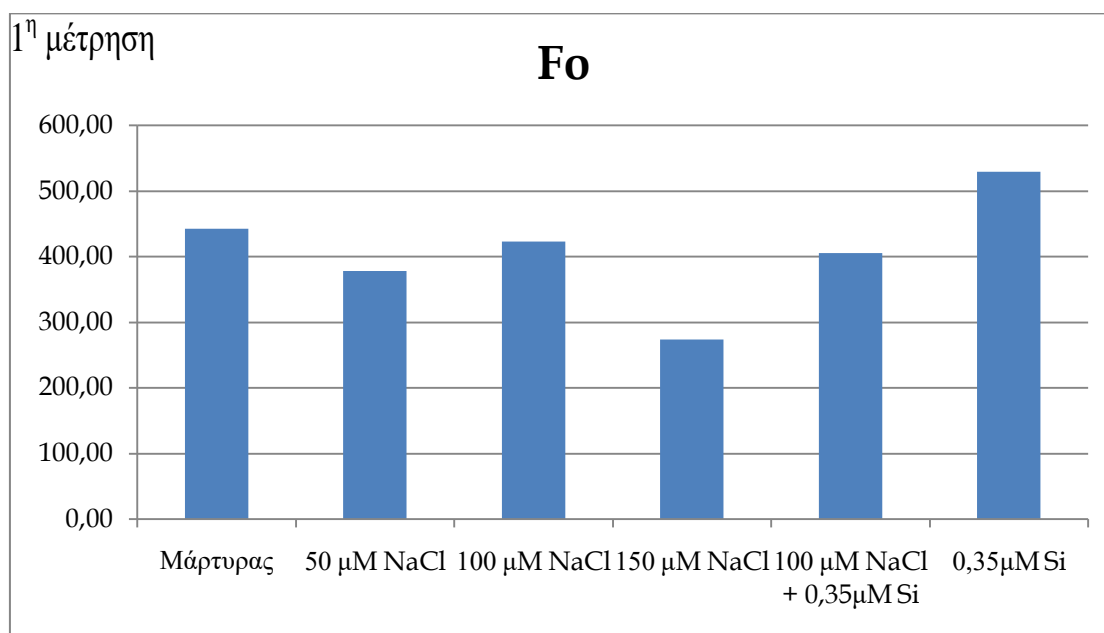
αυτή μπορεί να ελαττωθεί μέχρι και 59% σε γενότυπους ευαίσθητους σε καταπόνηση, σε σχέση με ανθεκτικούς γενότυπους (Strasser et al. 2004).

Ο δείκτης απόδοσης PI (Performance index). Η παράμετρος αυτή που είναι ένας δείκτης ζωτικότητας του δείγματος, διαμορφώνεται σύμφωνα με την εξίσωση Nernst η οποία περιγράφει τις δυνάμεις των αναγωγικών αντιδράσεων και γενικά των κινήσεων της ελεύθερης ενέργειας Gibbs στα βιοχημικά συστήματα. Ο δείκτης αυτός συνιστά ουσιαστικά έναν φωτοσυνθετικό δείκτη απόδοσης της μετατροπής ενέργειας από τα φωτόνια που απορροφούνται από τη φωτοσυλλεκτική κεραία του PSII, έως την αναγωγή της QB.

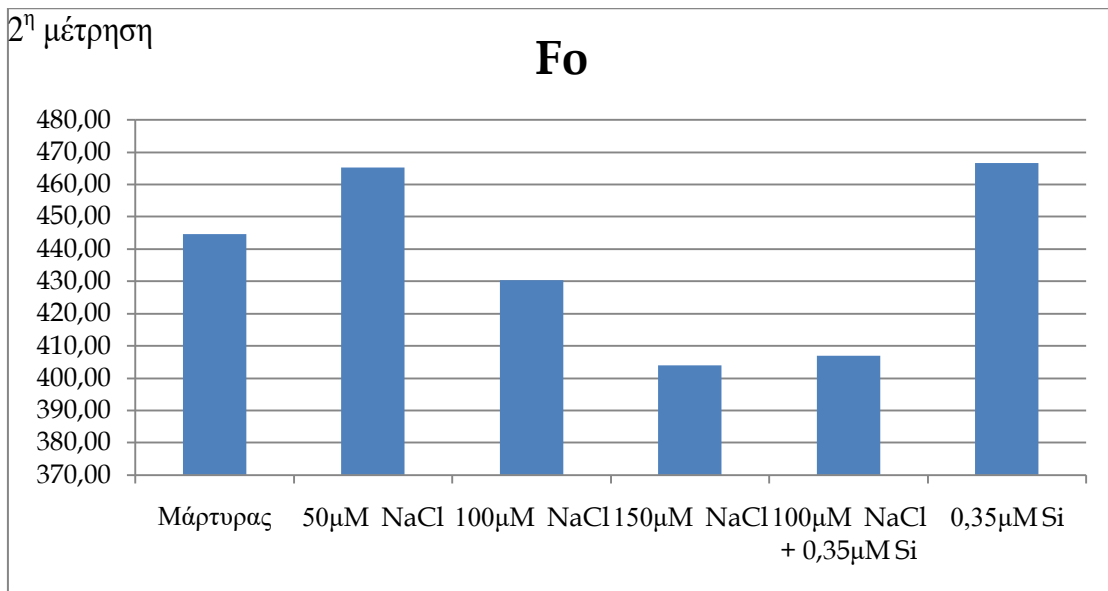
14 Αποτελέσματα των μετρήσεων

14.1 Φθορισμός

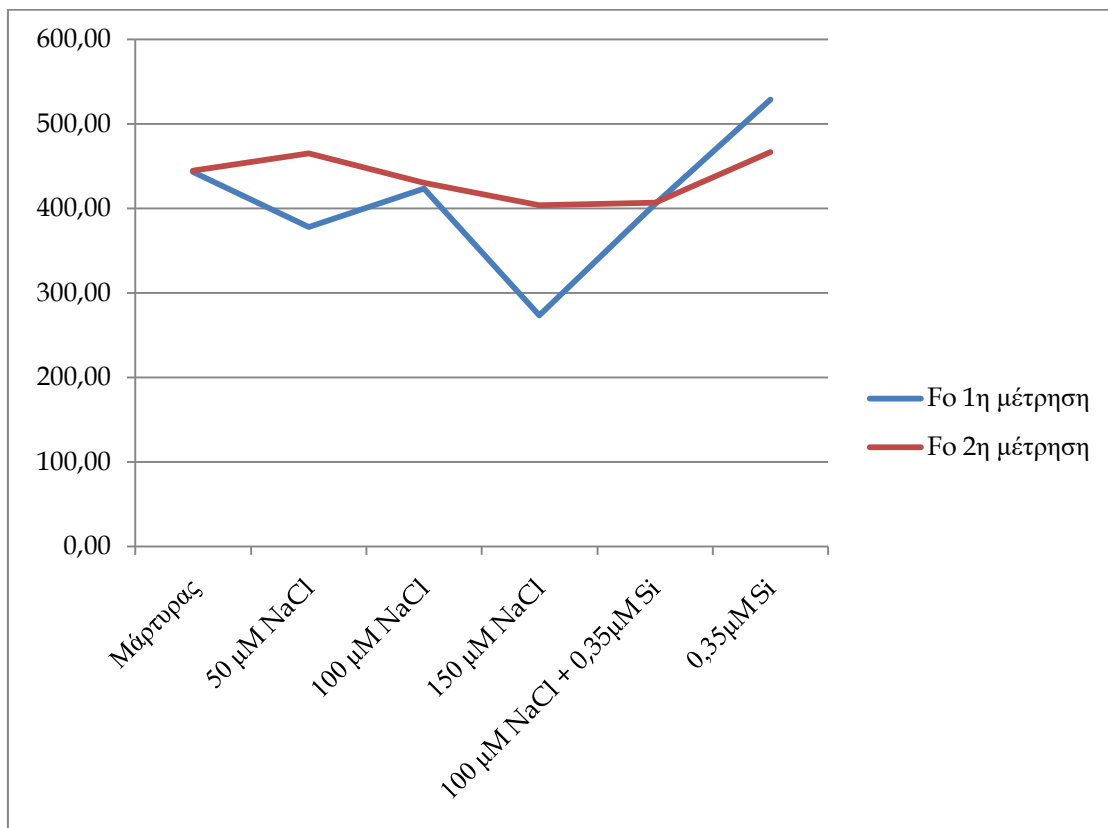
Fo				
Επεμβάσεις	1 ^η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα	2 ^η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα
Μάρτυρας	443,00	100,00%	444,67	100,00%
50 μM NaCl	378,00	85,33%	465,33	104,65%
100 μM NaCl	423,33	95,56%	430,33	96,78%
150 μM NaCl	273,33	61,70%	404,00	90,85%
100 μM NaCl + 0,35 μM Si	405,33	91,50%	407,00	91,53%
0,35 μM Si	529,00	119,41%	466,67	104,95%



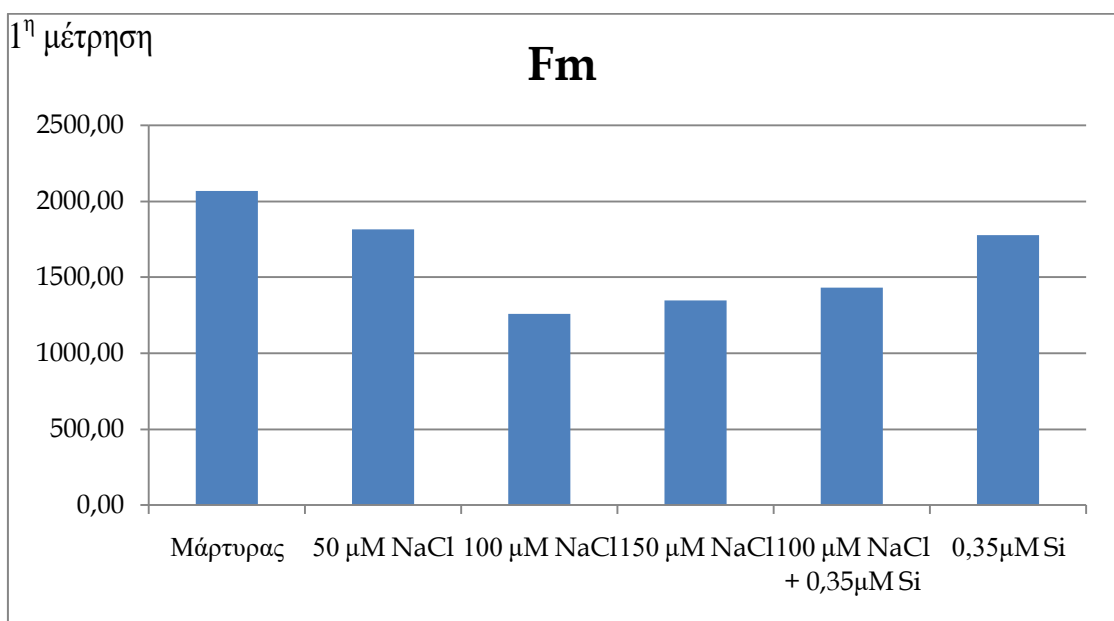
Στον ελάχιστο φθορισμό (Fo), σύμφωνα με τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι, στην πρώτη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 150 μM NaCl και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 0,35 μM Si.



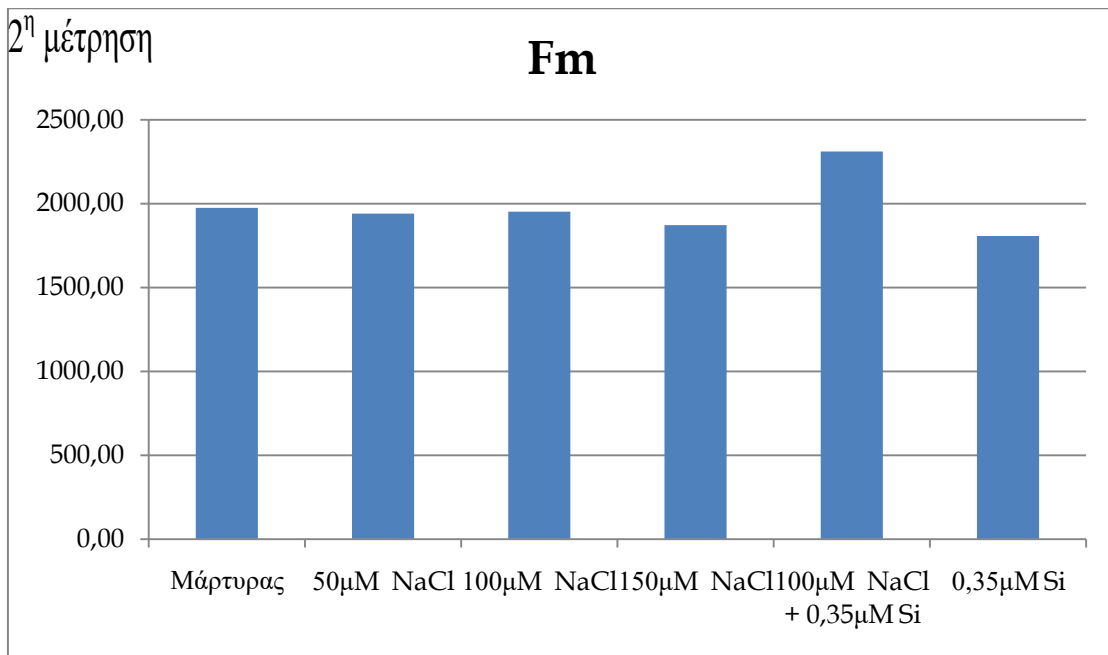
Στη δεύτερη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 150 μM NaCl, ενώ το μεγαλύτερο η μεταχείριση 0,35 μM Si.



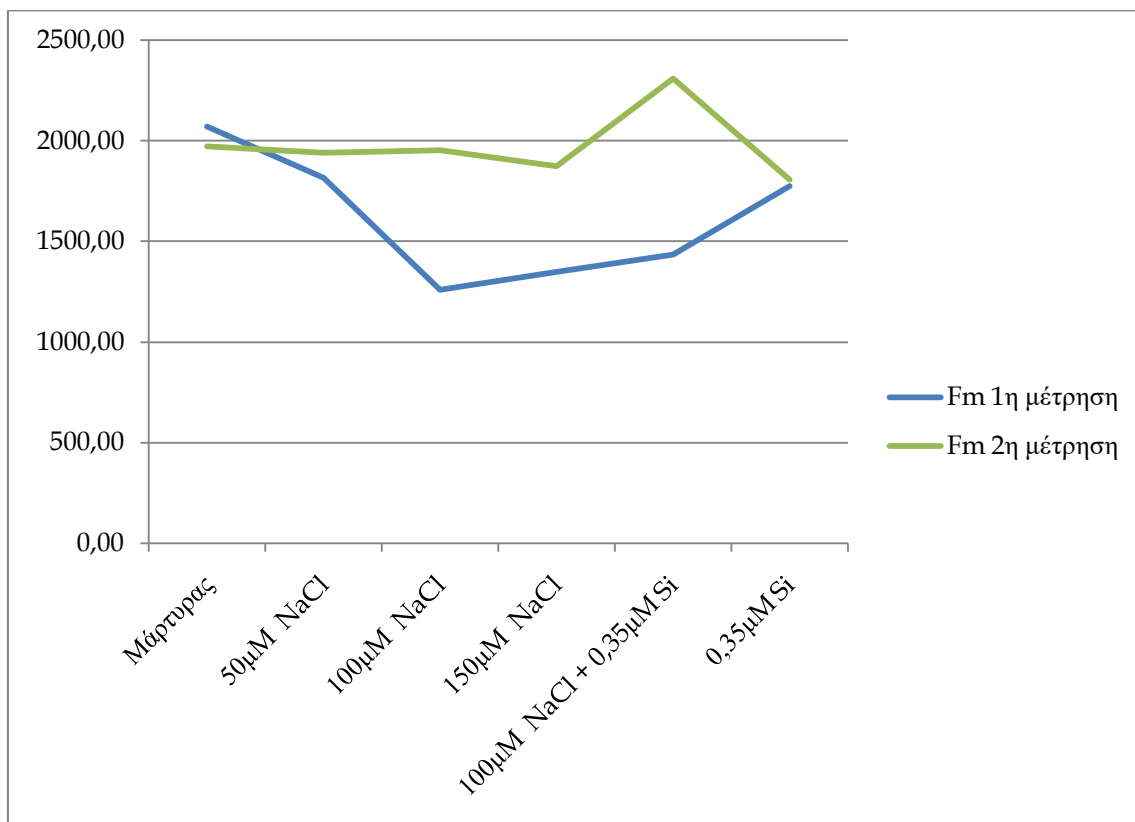
Fm				
Επεμβάσεις	1η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα	2η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα
Μάρτυρας	2070,00	100,00%	1973,67	100,00%
50μM NaCl	1817,67	87,81%	1940,33	98,31%
100μM NaCl	1260,00	60,87%	1952,67	98,94%
150μM NaCl	1347,00	65,07%	1874,00	94,95%
100μM NaCl + 0,35μM Si	1434,00	69,28%	2310,67	117,07%
0,35μM Si	1776,00	85,80%	1806,67	91,54%



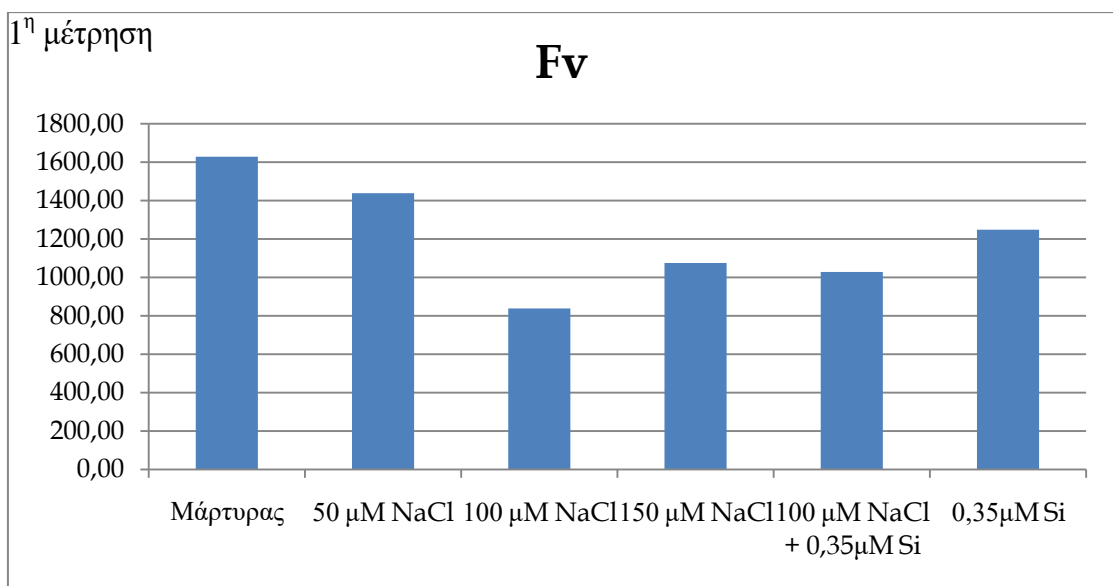
Στο μέγιστο φορτισμό (Fm), σύμφωνα με τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι, στην πρώτη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 100 μM NaCl και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 50 μM NaCl.



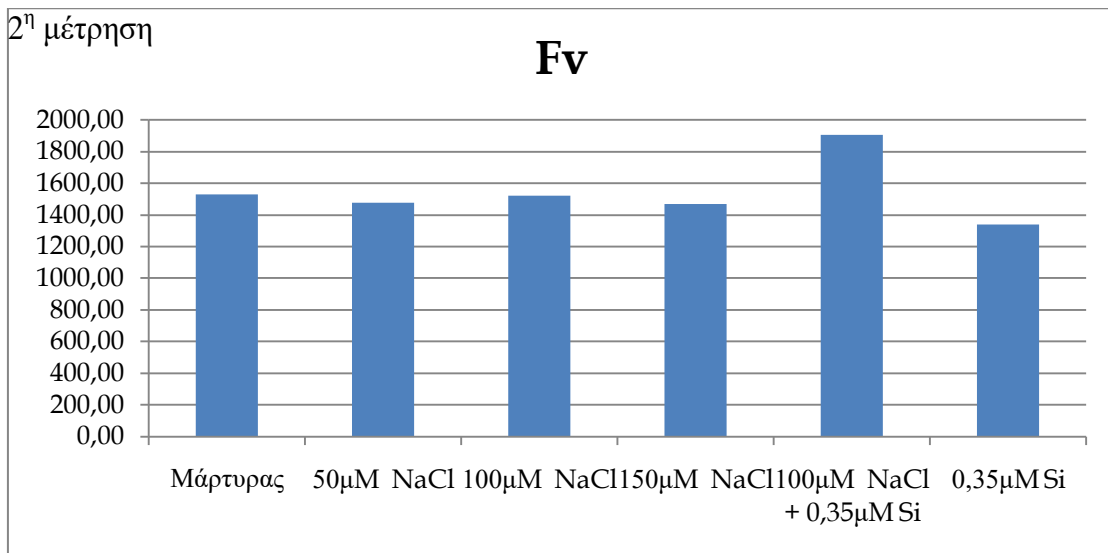
Στη δεύτερη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 0,35 μM Si, ενώ το μεγαλύτερο η μεταχείριση 100 μM NaCl+0,35 μM Si



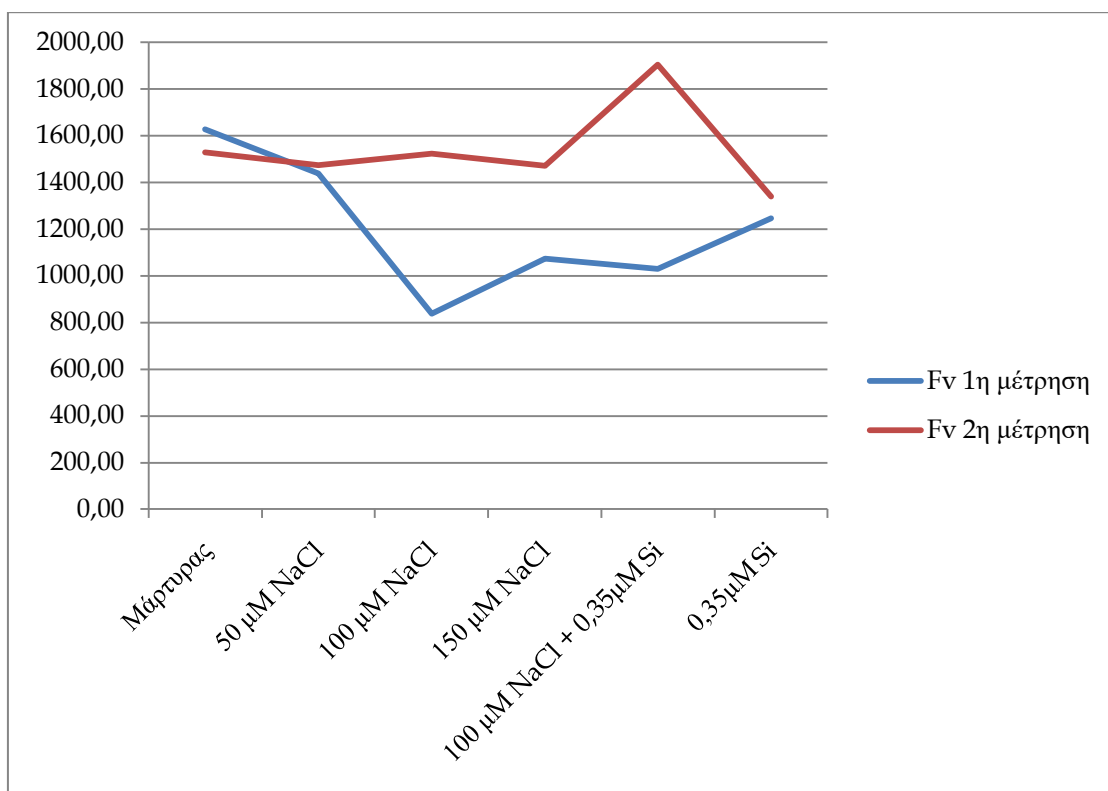
Fv				
Επεμβάσεις	1η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα	2η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα
Μάρτυρας	1627,00	100,00%	1529,00	100,00%
50 μM NaCl	1439,67	88,49%	1475,00	96,47%
100 μM NaCl	836,67	51,42%	1522,34	99,56%
150 μM NaCl	1073,67	65,99%	1470,00	96,14%
100 μM NaCl + 0,35 μM Si	1028,67	63,22%	1903,67	124,50%
0,35 μM Si	1247,00	76,64%	1340,00	87,64%



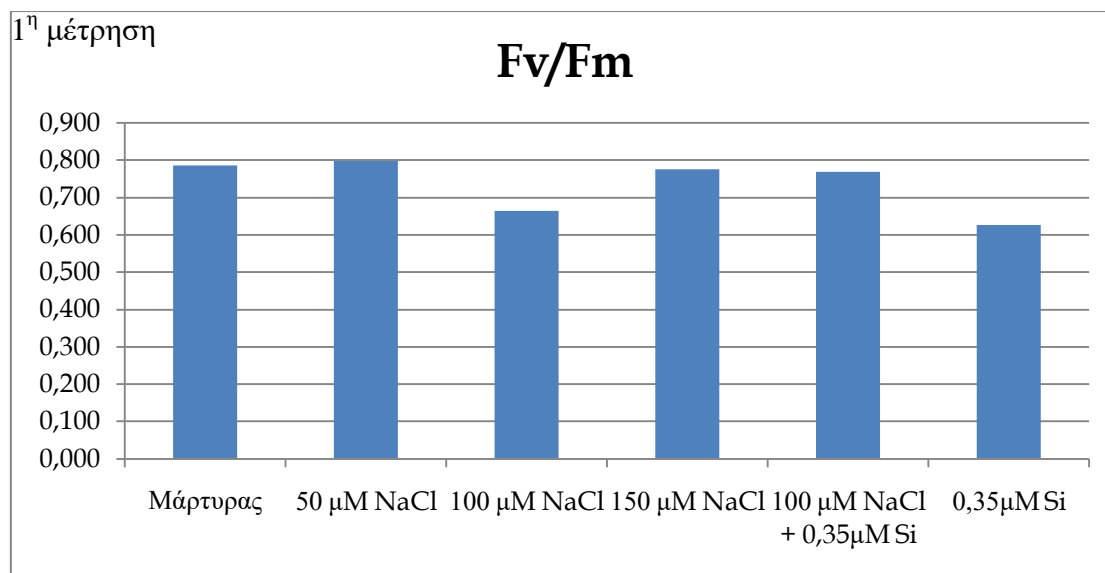
Στον μέγιστο μεταβαλλόμενο φθορισμός (Fv), συμφώνα με τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι, στην πρώτη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 100 μM NaCl και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 50 μM NaCl.



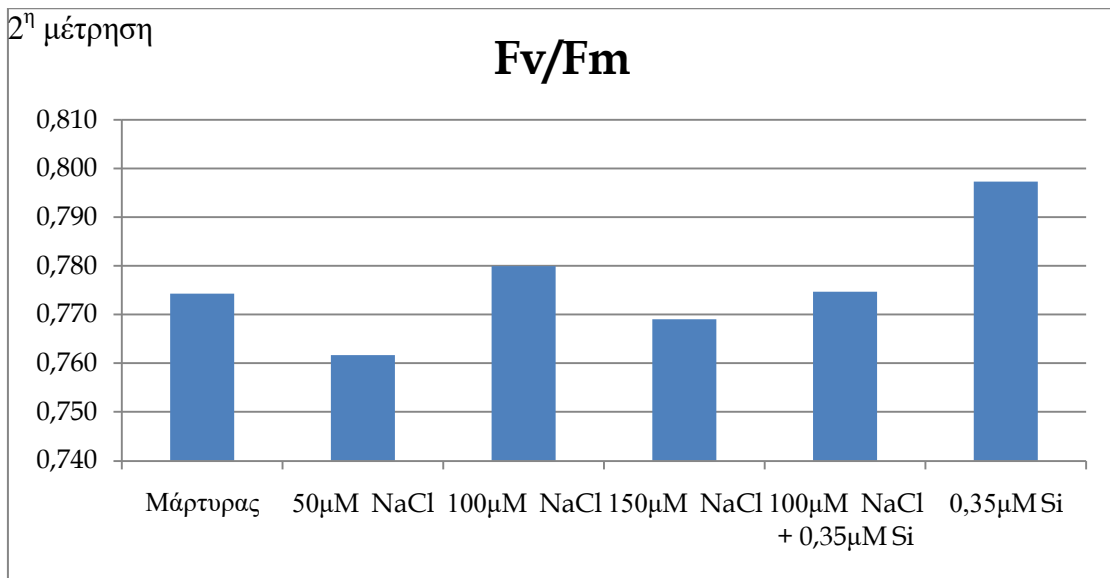
Στη δεύτερη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 0,35 μM Si, ενώ το μεγαλύτερο η μεταχείριση 100 μM NaCl+0,35 μM Si.



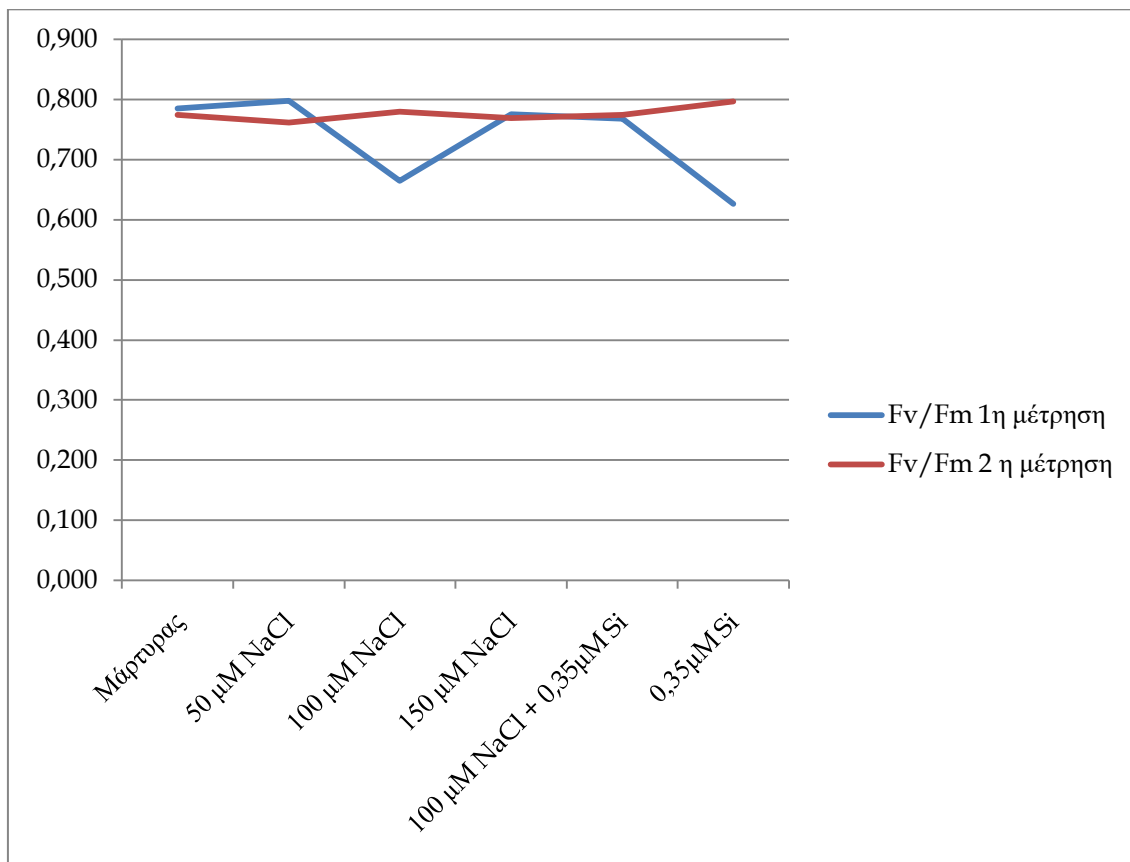
Fv/Fm				
Επεμβάσεις	1η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα	2η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα
Μάρτυρας	0,785	100,00%	0,774	100,00%
50 μM NaCl	0,798	101,66%	0,762	98,36%
100 μM NaCl	0,665	84,63%	0,780	100,73%
150 μM NaCl	0,776	98,77%	0,769	99,31%
100 μM NaCl + 0,35 μM Si	0,768	97,84%	0,775	100,04%
0,35 μM Si	0,626	79,75%	0,797	102,97%



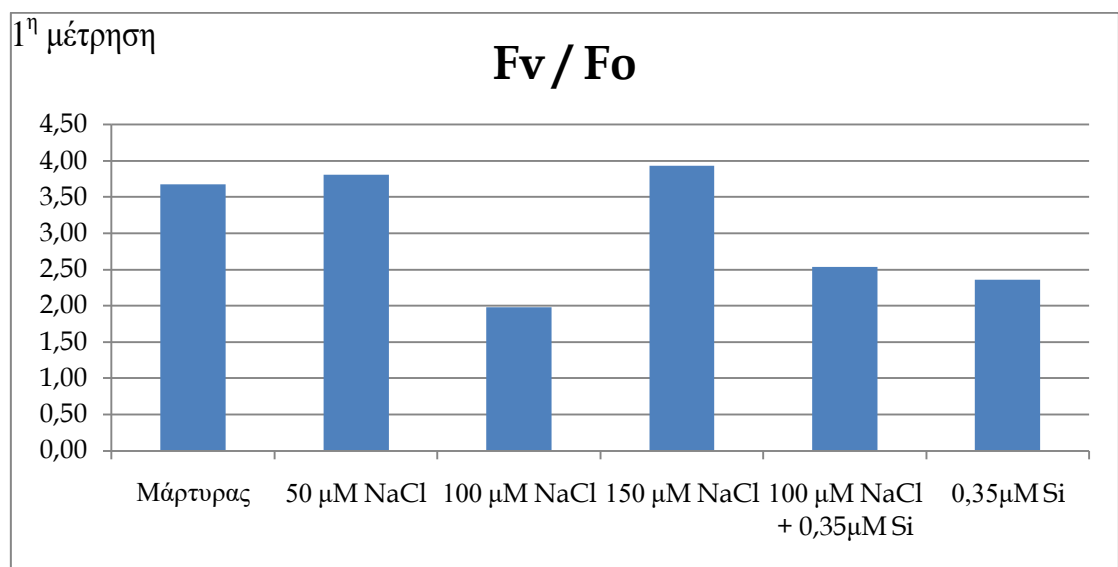
Στο λόγο Fv/Fm, σύμφωνα με τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι, στην πρώτη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 0,35 μM Si και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 50 μM NaCl.



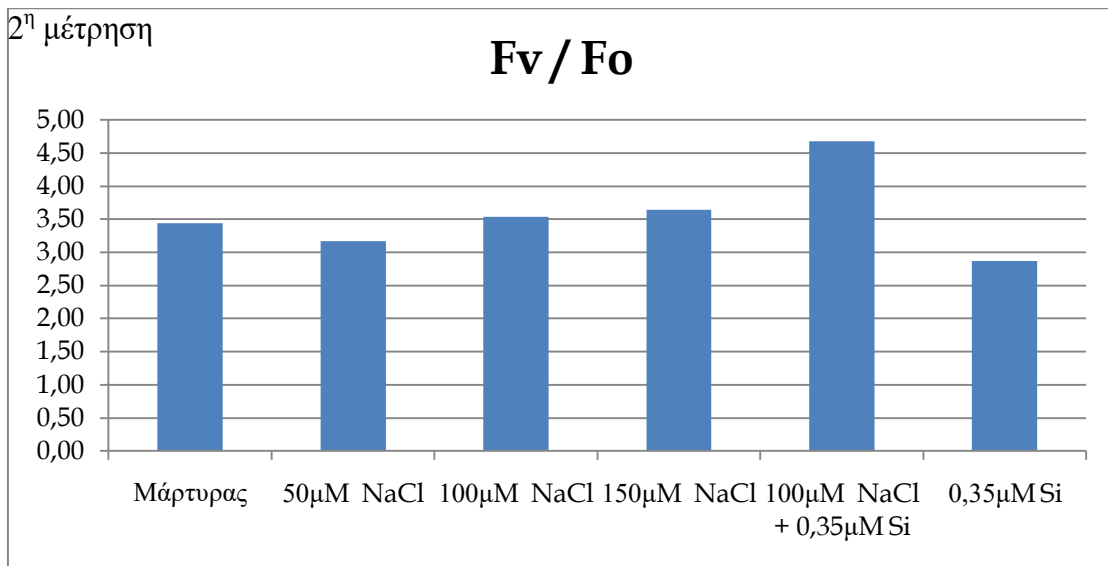
Στη δεύτερη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 50 μM NaCl, ενώ το μεγαλύτερο η μεταχείριση 0,35μM Si.



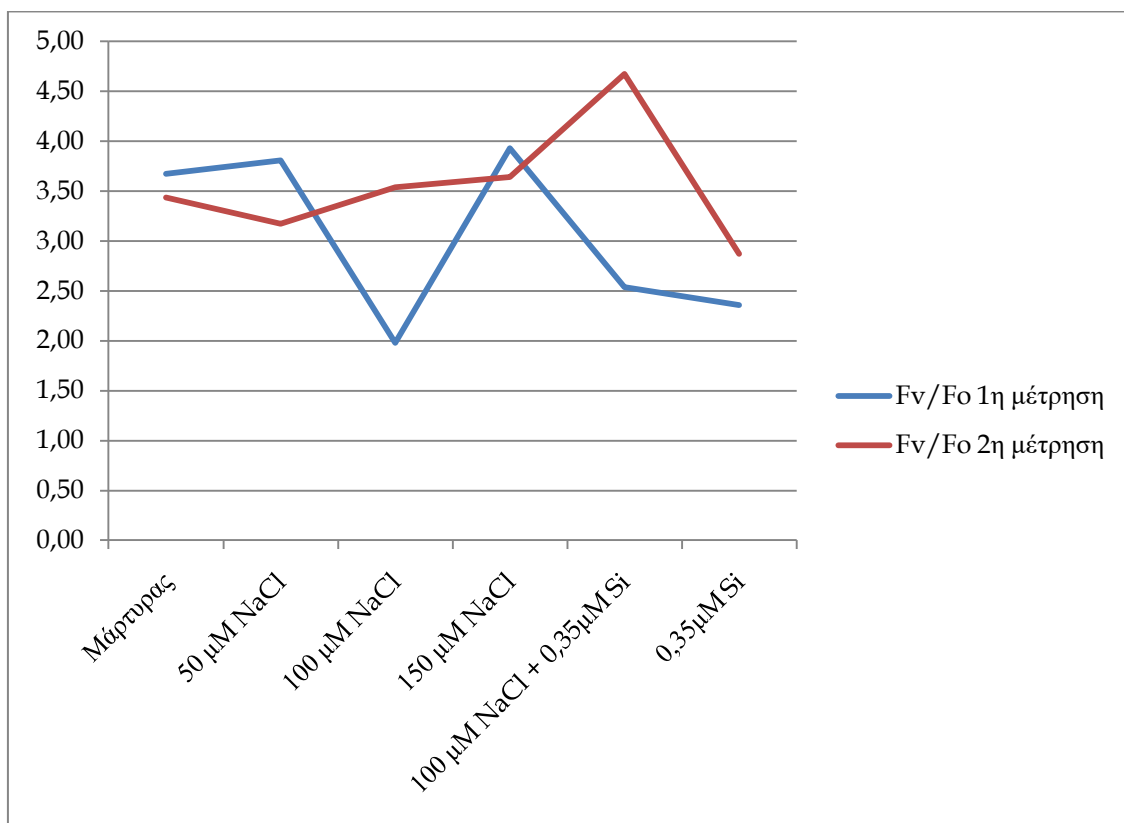
Fv/Fo				
Επεμβάσεις	1η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα	2η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα
Μάρτυρας	3,67	100,00%	3,44	100,00%
50 μM NaCl	3,81	103,70%	3,17	92,19%
100 μM NaCl	1,98	53,81%	3,54	102,88%
150 μM NaCl	3,93	106,95%	3,64	105,82%
100 μM NaCl + 0,35 μM Si	2,54	69,10%	4,68	136,03%
0,35 μM Si	2,36	64,18%	2,87	83,51%



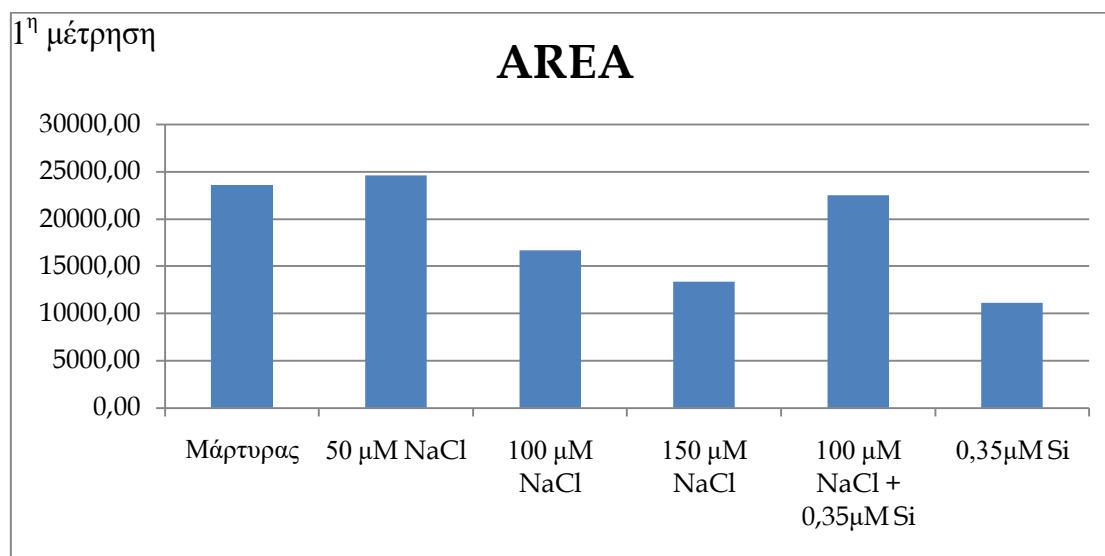
Στο λόγο Fv/Fo, σύμφωνα με τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι, στην πρώτη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 100 μM NaCl και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 150 μM NaCl.



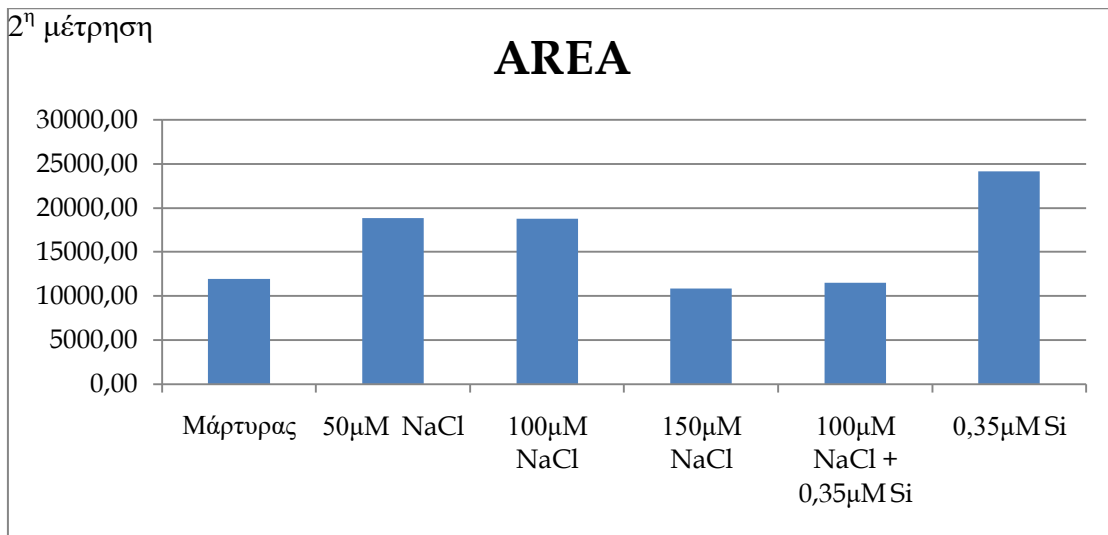
Στη δεύτερη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 0,35 μM Si, ενώ το μεγαλύτερο η μεταχείριση 100 μM NaCl + 0,35 μM Si.



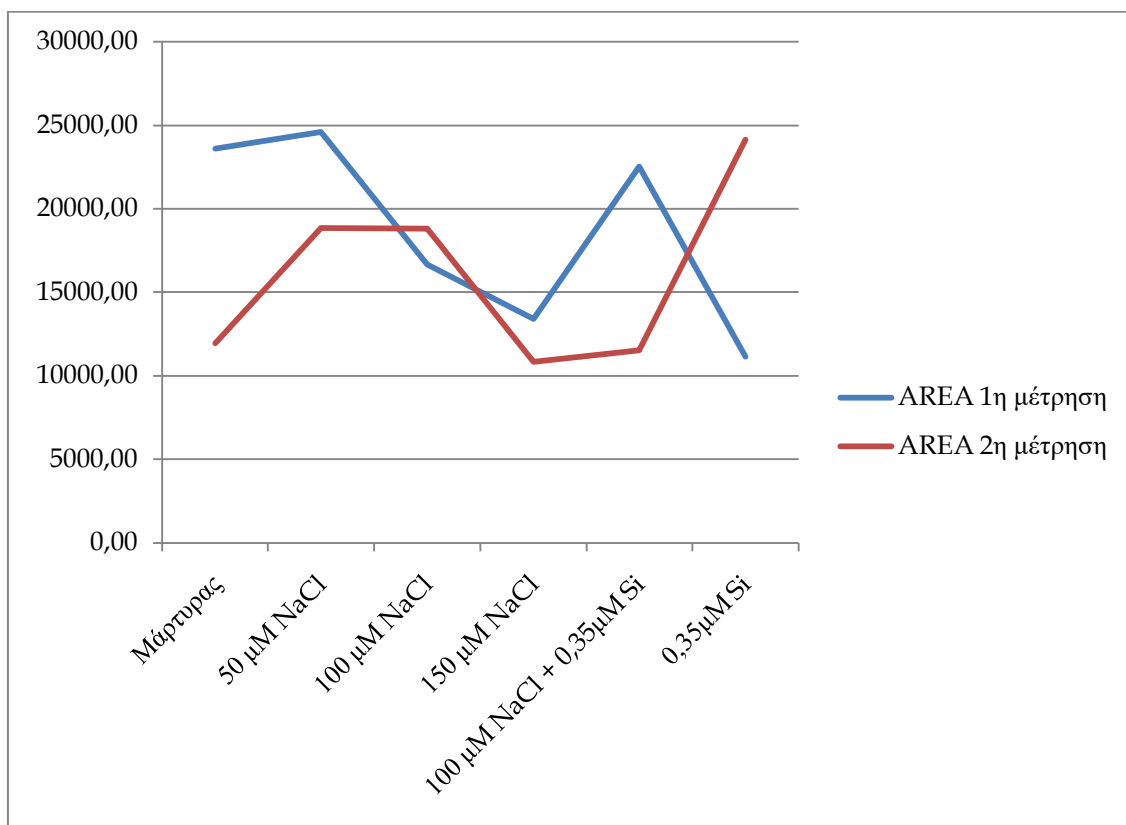
AREA				
Επεμβάσεις	1 ^η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα	2 ^η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα
Μάρτυρας	23600,00	100,00%	11935,67	100,00%
50 μM NaCl	24600,00	104,24%	18866,67	158,07%
100 μM NaCl	16666,67	70,62%	18800,00	157,51%
150 μM NaCl	13400,00	56,78%	10833,33	90,76%
100 μM NaCl + 0,35 μM Si	22533,33	95,48%	11533,33	96,63%
0,35 μM Si	11133,33	47,18%	24133,33	202,20%



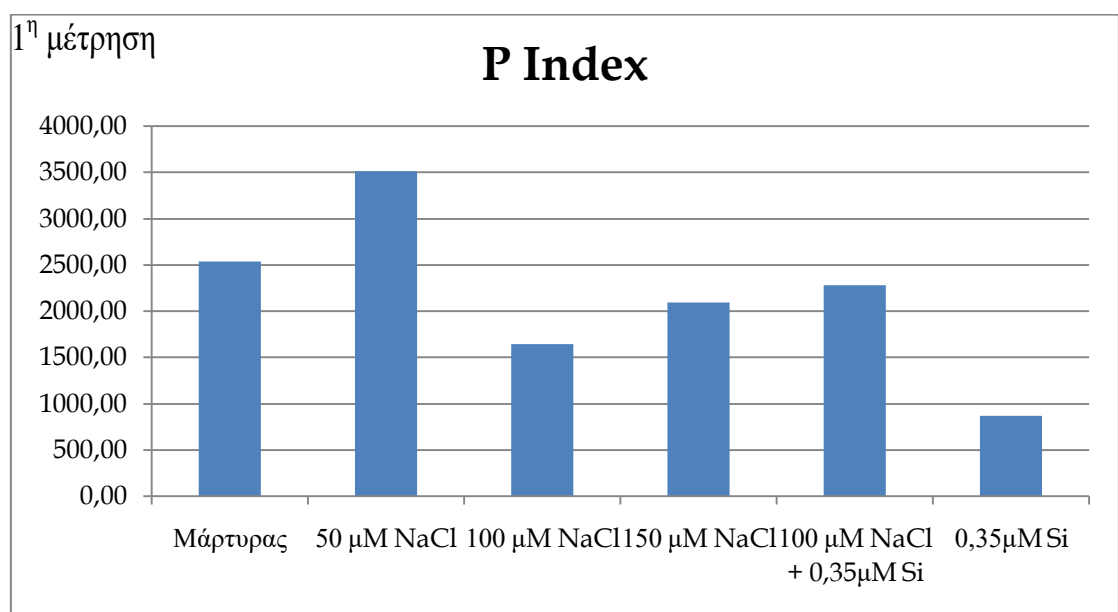
Στην τιμή της επιφάνειας (Area), σύμφωνα με τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι, στην πρώτη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 0,35 μM Si και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 50 μM NaCl.



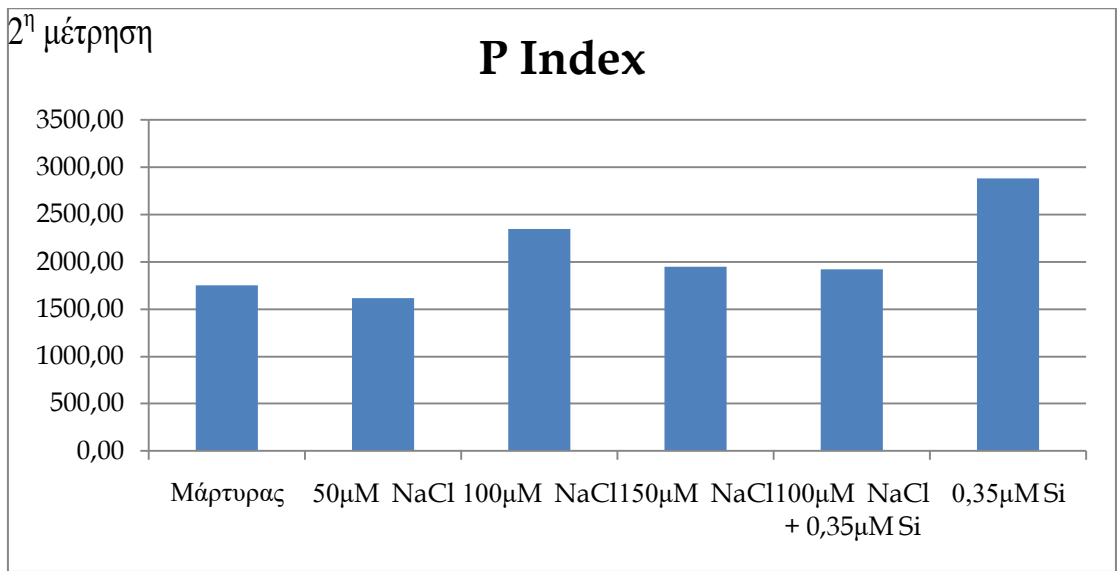
Στη δεύτερη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 150 μM NaCl, ενώ το μεγαλύτερο η μεταχείριση 0,35 μM Si.



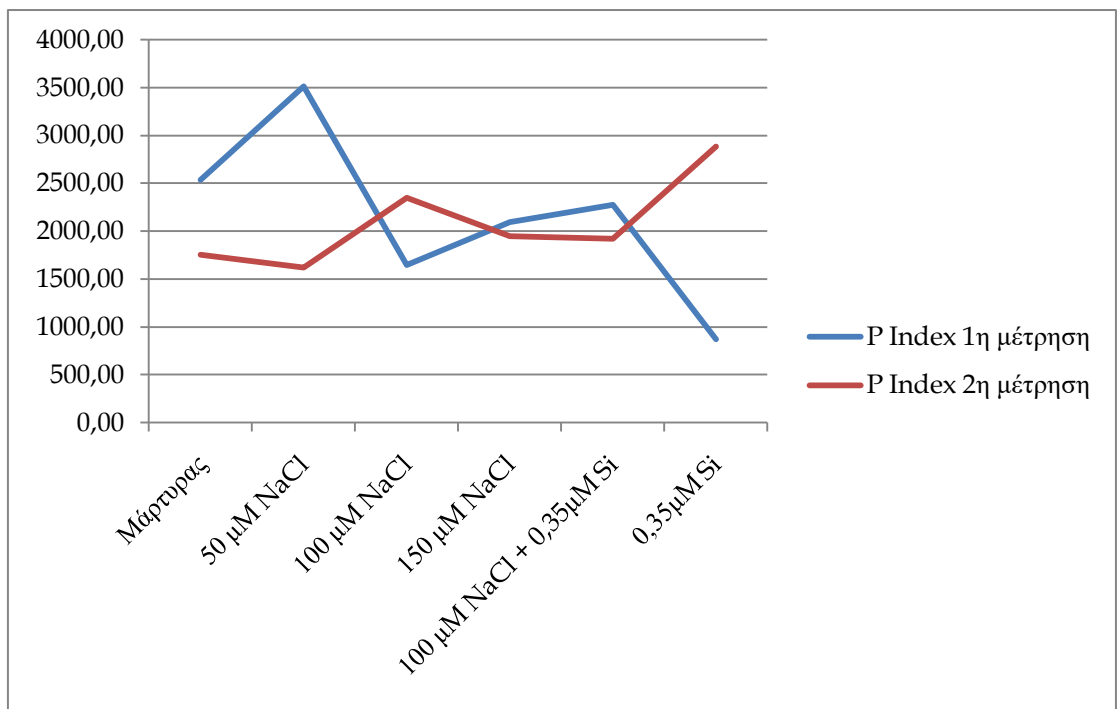
P Index				
Επεμβάσεις	1 ^η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα	2 ^η μέτρηση	Ποσοστό επί του μάρτυρα
Μάρτυρας	2539,00	100,00%	1753,00	100,00%
50 μM NaCl	3511,00	138,28%	1617,67	92,28%
100 μM NaCl	1644,33	64,76%	2348,00	133,94%
150 μM NaCl	2092,67	82,42%	1948,67	111,16%
100 μM NaCl + 0,35 μM Si	2279,00	89,76%	1920,33	109,55%
0,35 μM Si	869,00	34,23%	2883,00	164,46%



Στον δείκτη απόδοσης PI (Performance Index), σύμφωνα με τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι, στην πρώτη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 0,35 μM Si και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 50 μM NaCl. Στη δεύτερη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 150 μM NaCl, ενώ το μεγαλύτερο η μεταχείριση 0,35 μM Si.

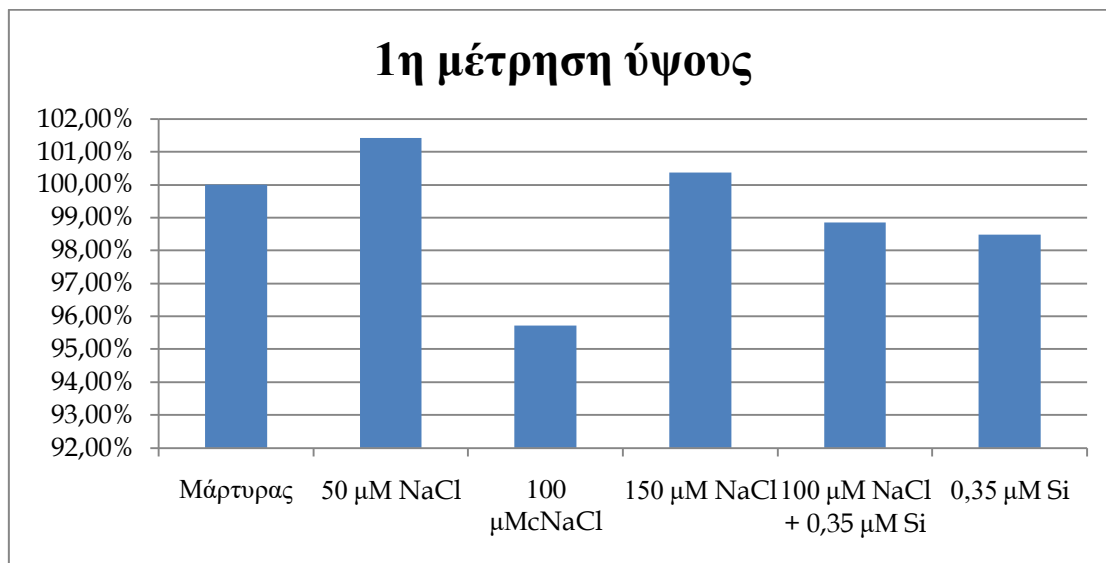


Στη δεύτερη μέτρηση το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 150 μM NaCl, ενώ το μεγαλύτερο η μεταχείριση 0,35 μM Si.

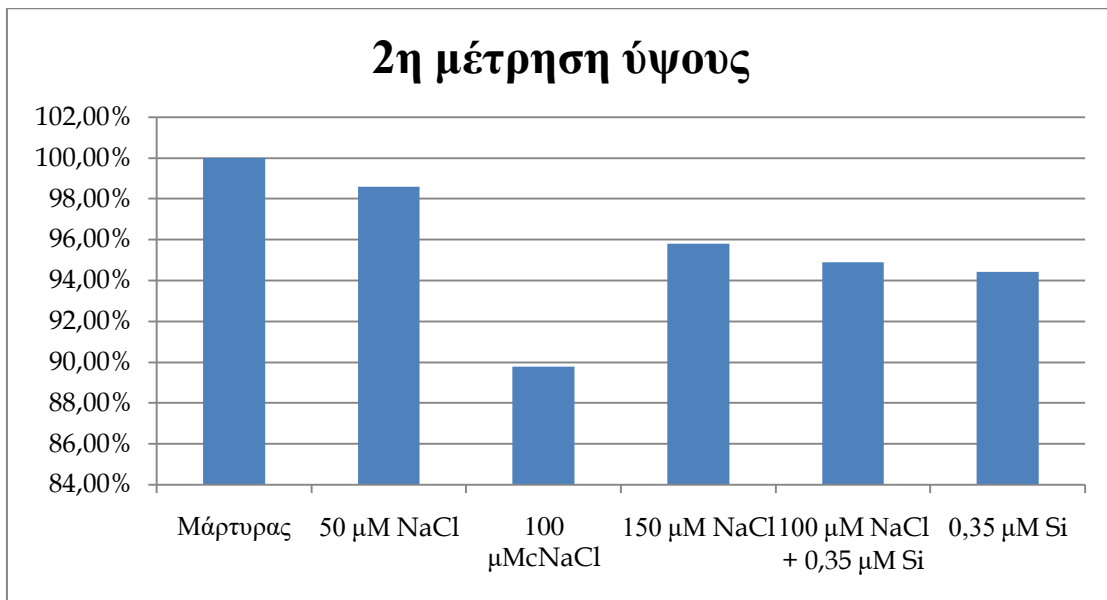


14.2 Μετρήσεις ύψους

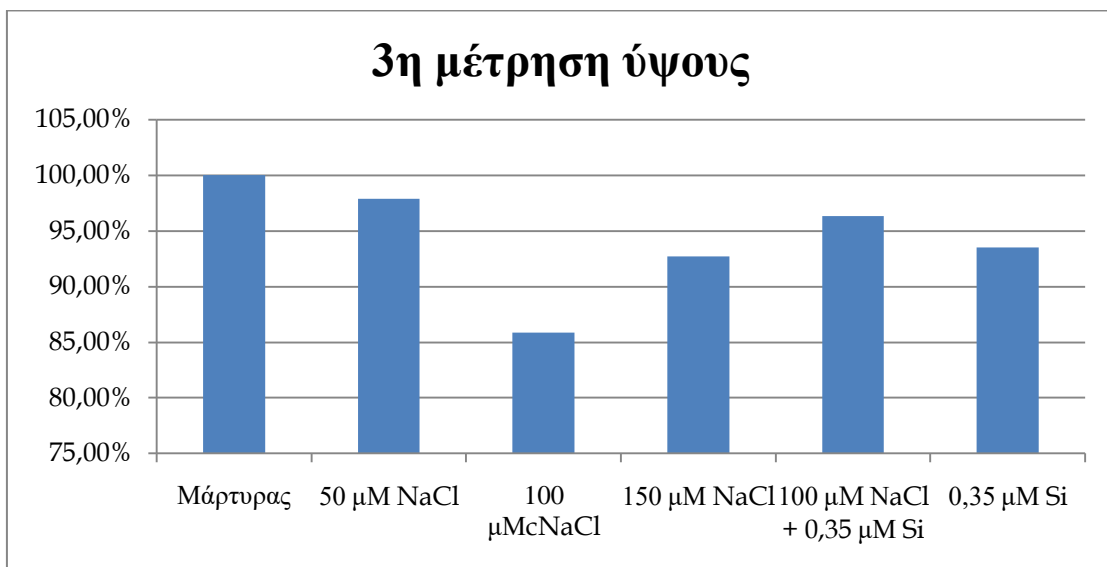
Επεμβάσεις	Ποσοστό επί του Μάρτυρα		
	1 ^η μέτρηση	2 ^η μέτρηση	3 ^η μέτρηση
Μάρτυρας	100,00%	100,00%	100,00%
50 μM NaCl	101,43%	98,60%	97,90%
100 μM NaCl	95,71%	89,77%	85,84%
150 μM NaCl	100,37%	95,81%	92,69%
100 μM NaCl+0,35 μM Si	98,86%	94,88%	96,35%
0,35 μM Si	98,49%	94,42%	93,52%



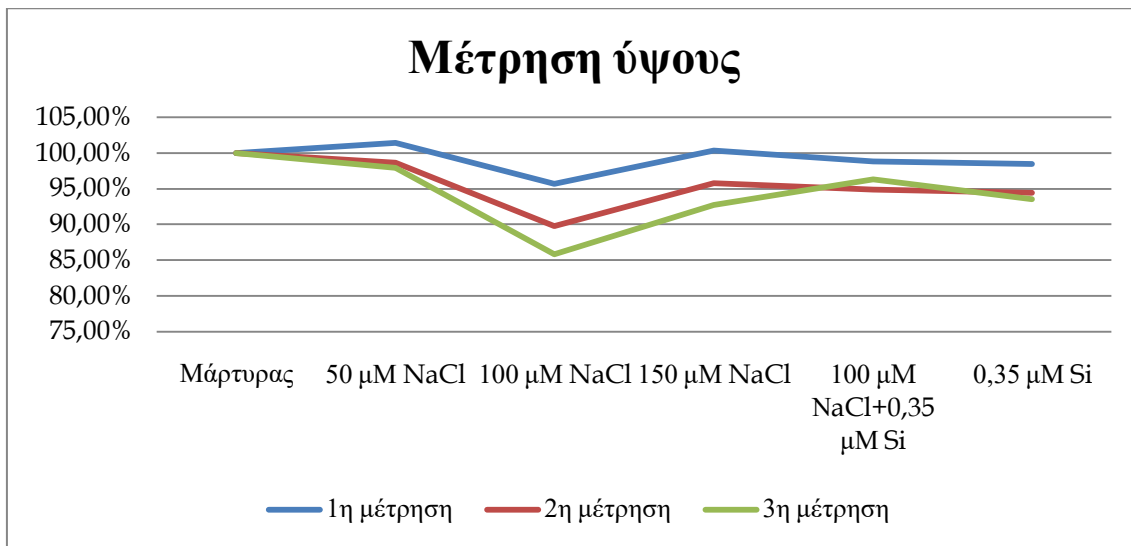
Συμφώνα με το διάγραμμα παρατηρούμε ότι, στην πρώτη μέτρηση ύψους το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 100 μM NaCl και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 50 μM NaCl.



Συμφώνα με το διάγραμμα παρατηρούμε ότι, στην δεύτερη μέτρηση ύψους το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 100 μM NaCl και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 50 μM NaCl.

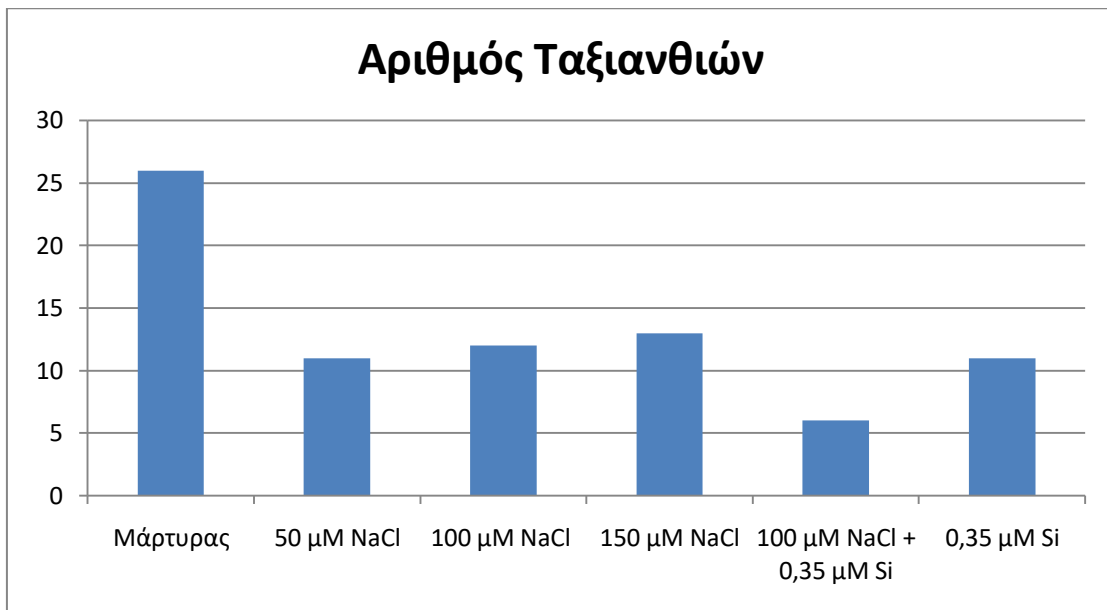


Συμφώνα με το διάγραμμα παρατηρούμε ότι, στην τρίτη μέτρηση ύψους το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα εμφανίζει η μεταχείριση 100 μM NaCl και το μεγαλύτερο η μεταχείριση 50 μM NaCl.



14.3 Συλλογή Ταξιανθιών

Επεμβάσεις	Αριθμός Ταξιανθιών	Ποσοστό επί του Μάρτυρα
Μάρτυρας	26	100,00%
50 μM NaCl	11	42,31%
100 μM NaCl	12	46,15%
150 μM NaCl	13	50,00%
100 μM NaCl + 0,35 μM Si	6	23,08%
0,35 μM Si	11	42,31%



Συμφώνα με το διάγραμμα παρατηρούμε ότι, ο μάρτυρας υπερβαίνει σε αριθμό ταξιανθιών, κατά πολύ όλες τις άλλες μεταχειρίσεις, ενώ οι μεταχειρίσεις 0,35 μM Si και 100 μM NaCl+0,35 μM Si δεν υπερβαίνουν τις υπόλοιπες.

Συζήτηση-Συμπεράσματα

Η λεβάντα είναι ένα φυτό μεγάλης οικονομικής σημασίας τόσο για τους καλλιεργητές όσο και για την βιομηχανία καλλυντικών, φαρμακευτικών και καθαριστικών προϊόντων. Μπορεί να βοηθήσει στην εκμετάλλευση εδαφών που δεν είναι κατάλληλα για άλλες καλλιέργειες. Γι' αυτό το λόγο, θελήσαμε να ερευνήσουμε τις επιπτώσεις της καταπόνησης από αλατότητα στην ανάπτυξη φυτών λεβάντας, καθώς και την πιθανή απάλυνση των επιπτώσεων προκαλούνται από αυτήν, με τη χρήση πυριτίου. Εφόσον , έχει αποδειχθεί πως τα αλατούχα εδάφη μπορούν να επηρεάζουν άμεσα πολλά χαρακτηριστικά των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών, όπως την απόδοσή τους, την διατροφική τους αξία, καθώς και την ποσότητα και τη σύσταση του αιθέριου ελαίου τους (Tabatabaie και Nazari, 2007). Επιπλέον, η αλατότητα βρέθηκε να επηρεάζει αρνητικά μορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως τον αριθμό των φύλλων και την φυλλική επιφάνεια στη λεβάντα (García-Caparrós, 2017, Paraskevopoulou et al., 2020)

Έτσι επιλέξαμε το πυρίτιο (Si), διότι είναι ένα βασικό στοιχείο που εφαρμόζεται για τον περιορισμό των αβιοτικών καταπονήσεων ,όπως η αλατότητα (Liang, 1999). Ειδικότερα, αρκετές έρευνες έδειξαν ,ότι το Si είναι ικανό να μειώσει την πρόσληψη Na^+ , μειώνοντας έτσι την αρνητική επίδραση του άλατος σε φυτά που εκτίθενται σε υπερβολικά υψηλές συγκεντρώσεις NaCl (Zhuand Gong, 2014)

Όμως, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος μας διαπιστώσαμε ότι:

Ο λόγος Fv/Fm: Στην παράμετρο αυτή, οι μεταχειρίσεις με τα μικρότερα ποσοστά επί του μάρτυρα κατά την 1^η μέτρηση ήταν: 100 μM NaCl , 0,35 μM Si. Οι τιμές σε αυτές τις μεταχειρίσεις ήταν 0,665 , 0,626 αντίστοιχα, πολύ χαμηλότερες από τις φυσιολογικές, που είναι 0,800-0,850. Αυτό υποδεικνύει ότι είχαμε απώλεια φωτοχημικής απόδοσης, το οποίο είναι αποτέλεσμα καταπόνησης που υπέστησαν τα φυτά.

Ο δείκτης απόδοσης P. Index: Η μέτρηση που έγινε σε αυτήν παράμετρο, έδειξε τα εξής: Τα 50 μM NaCl στην 1^η μέτρηση εμφάνισαν το μοναδικό μεγαλύτερο ποσοστό επί του μάρτυρα. Στην 2^η μέτρηση η ίδια μεταχείριση είχε το μοναδικό μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα. Αντίθετα, το μικρότερο ποσοστό επί του μάρτυρα στην 1^η μέτρηση παρατηρήθηκε στην μεταχείριση 0,35 μM Si που δείχνει ότι έχει επηρεαστεί σημαντικά από τις επεμβάσεις που κάναμε σε αυτά τα φυτά. Κατά την 2^η μέτρηση η μεταχείριση 0,35 μM Si είχε το μεγαλύτερο ποσοστό επί του μάρτυρα. Στα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων φαίνεται η αρνητική επίπτωση της αλατότητας στη φωτοσύνθεση . Οι μεταβολές σε φυσιολογικές διαδικασίες οι οποίες προκαλούνται από την καταπόνηση λόγω αλατότητας και οδηγούν σε αυτές τις επιπτώσεις έχουν περιγραφεί από τους (Parida *et al.*, 2005), (Chaves *et al.*, 2009), (Sánchez-Blanco *et al.*, 2004) και (Καραμπουρνιώτης *et al.*, 2012).

Ύψος των φυτών: Όσο αφορά τα ύψη των φυτών της λεβάντας, παρατηρήσαμε ότι η μεταχείριση με 100 μM NaCl , είχε τα μικρότερα ποσοστά επί του μάρτυρα και στις 3 μετρήσεις, και μάλιστα σε κάθε μέτρηση μειώνονταν και το ποσοστό αυτό (1^η- 95,71%, 2^η- 89,77%, 3^η- 85,84%). Στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις δεν είδαμε τόσο μεγάλη διαφορά από το μάρτυρα, που σημαίνει ότι δεν είχαμε ανάλογο στρες όπως στα 100 μM

NaCl. Σε όλες τις μετρήσεις ύψους το ποσοστό επί του μάρτυρα της μεταχείρισης 100 μM NaCl + 0,35 μM Si ήταν μεγαλύτερο από το ποσοστό επί του μάρτυρα της μεταχείρισης είναι 100 μM NaCl. Στην τρίτη δε μέτρηση το ποσοστό επί του μάρτυρα της μεταχείρισης 100 μM NaCl + 0,35 μM Si ήταν μεγαλύτερο και από αυτό της μεταχείρισης 150 μM NaCl. Φαίνεται λοιπόν ότι η καταπόνηση από αλατότητα επηρέασε αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών κάτι που είχε παρατηρηθεί και από τους (Zhang Pengfei et al. 2017) στην τομάτα, όπως επίσης και ότι τα φυτά τα οποία δέχτηκαν επέμβαση με NaCl και Si είχαν καλύτερη ανάπτυξη. Παρόμοιες ενδείξεις είχαν και οι (Niaz Ahmed et al 2019) στο ρύζι.

Ταξιανθίες των φυτών: Τέλος, στις ταξιανθίες, είδαμε σε όλες τις μεταχειρίσεις μεγάλες απώλειες σε σύγκριση με του μάρτυρα. Εκεί που παρατηρήθηκε το μεγαλύτερο πρόβλημα ήταν στην μεταχείριση με 100 μM NaCl + 0,35 μM Si, με 6 ταξιανθίες και ποσοστό 23% επί του μάρτυρα, φαίνεται να έχει επηρεαστεί σημαντικά και από το πυρίτιο όπως και από το άλας. Οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις (50 μM NaCl, 0,35 μM Si, 100 μM NaCl, 150 μM NaCl) με 11, 11, 12, 13 ταξιανθίες αντίστοιχα, και ποσοστά 50% επί του μάρτυρα περίπου, στρεσαρίστηκαν και αυτές από τις επεμβάσεις που κάναμε.

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε, ότι η χρήση του πυριτίου δεν προσέφερε ιδιαίτερα στην απάλυνση των συμπτωμάτων καταπόνησης από αλατότητα.

BIBΛIOΓPAΦIA

- Ahmed N., Murtaza M., Ali A.M., Baqir M., Mahmood S.H., Qazi M.A., Ahmad I., Haider Z., 2019. Silicon improves nutrition and productivity under salinity. *Pak. J. Bot.* 51 837-843.
- Ali R.M., Abbas H.M. and Kamal R.K., 2007. The effects of treatment with polyamines on dry matter, oil and flavonoid contents in salinity stressed chamomile and sweet marjoram. *Plant Soil Environ.* 53 529–543.
- Arnon D.I. and Stout P.R., 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, 14, 371–375.
- Ashraf M., Arfan M. and Ahmad A., 2003. Salt Tolerance in Okra: Ion Relations and Gas Exchange Characteristics. *Journal of plant nutrition*. Vol. 26, No. 1, pp. 63–79.
- Attia H., Nouaili S., Soltani A. and Lachaa M., 2009. Comparison of the responses to NaCl stress of two pea cultivars using split-root system. *Scien. Hortic.*, Pages 6.
- Aziz E.E., Al-Amier H. and Craker L.E., 2008. Influence of salt stress on growth and essential oil production in peppermint, pennyroyal, and apple mint. *J. Herbs Spices Med. Plants* 14 77–87.
- Belaqziz R., Romane A. and Abbad A., 2009. Salt stress effects on germination, growth and essential oil content of an endemic thyme species in Morocco (*Thymus maroccanus* Ball.). *J. Appl. Sci. Res.* 5 858–863.
- Ben Taarit M.K., Msaada K., Hosni K.M., Hammami M., Kchouk E. and Marzouk B., 2009. Plant growth, essential oil yield and composition of sage (*Salvia officinalis* L.) fruits cultivated under salt stress conditions. *Ind. Crops Prod.* 30 333–337.
- Bulgari, R., Cocetta G., Trivellini A., Vernieri, P. and Ferrante A., 2015. Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture and Horticulture*, Vol. 31, No. 1, 1–17.
- Calvo P., Nelson, L. and Kloepper J.W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, 383, 3–41.
- Chaves M.M., Flexas J. and Pinheiro C., 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103 pp. 551-560.
- Du Jardin, P., 2015. “Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation”, *Scientia Horticulturae*, 196, pp: 3-14
- EBIC, 2012. Economic overview of the biostimulants sector in Europe
- Epstein E., 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641–664.
- García-Caparrós P., Llanderal A., Pestana M., Correia P.J. and Lao M.T., 2016. *Lavandula multifida* response to salinity: Growth, nutrient uptake, and physiological changes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 1–9.
- Gebauer J., El-Siddig K., Salih A.A. and Ebert G., 2004. Tamarindus indica L. seedlings are moderately salt tolerant when exposed to NaCl-induced salinity. *Sci. Hort.* 103, 1-8.

- Gong H.J., Randall D.P. and Flowers T.J., 2006. Silicon deposition in root reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by reducing by pass flow. *Plant Cell Environ.* 29,1970–1979
- Grattan S.R. and Grieve C.M., 1992. Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environments. *Agric. Ecosystems Environ.* 38, 275-300
- Gunes A., Ali I., Bagci E.G., and Pilbeam D.J., 2007. Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic. *Plant Soil* 290,103–114.
- Halpern M., Bar-Tar A., Ofek M., Minz D., Muller T. and Yermiyahu., 2015. “The Use of Biostimulants for Enhancing Nutrient Uptake”, *Advances in Agronomy*, 1, pp: 141-174
- Jardin P., 2012. The Science of plant biostimulants, a bibliographic analysis. Report on biostimulants, 1-37.
- Kaur H. and Greger M., 2019. A review on si uptake and transport system. *Plants* 8, 81. 10.3390/plants8040081
- Kaymakanova M. and Stoeva N., 2008. Physiological reaction of bean plants (*Phaseolus vulg* L.) to salt stress. *Plant PhysiolSoaglyt.* 34 (3-4), 177-188.
- Kelting M.P., 1997. Effect of Soil Amendments and Biostimulants on the Post-transplant Growth of Landscape Trees (Master Thesis). Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Khan M.H. and Panda S.K., 2008. Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiol Plant*, 30, 91-89.
- Khan N., Syeed S., Masood A., Nazar R. and Iqbal N., 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *Intl. J. Plant. Biol.* 1:e1
- Leithy S., Gaballah M.S. and Gomaa A.M., 2009. Associative impact of bio-and organic fertilizers on geranium plants grown under saline conditions. *Int. J. Acad. Res.* 1 17–23.
- Liang Y.C, Sun W.C, Zhu Y.G, and Christie P., 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. *Environmental Pollution*, 147, 422–428.
- Liang Y.C., 1999. Effects of silicone on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant Soil* 29, 217–224
- Luyckx M., Hausman J.-F., Lutts S., and Guerriero G., 2017. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. *Front. Plant Sci.* 8, 411. 10.3389/fpls.2017.00411
- Ma J.F. and Takahashi E., 2002. *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*. Elsevier, Amsterdam.
- Ma J.F. and Yamaji N., 2008. Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65, 3049–3057.
- Ma J.F., 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50, 11–18

- Mangal J.L., Lal S. and Hooda P.S., 1989. Salt tolerance of onion seed crop. *J. Hort Sci.*, 64, 233–6.
- Marafon A.C. and Endres L., 2013. Silicon: fertilization and nutrition in higher plants. *Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo Em Periódico Indexado (ALICE. Rev. Cienc. Agrar.* 6, 80–88.
- Mohammad M., Shibli R., Ajouni M. and Nimri L., 1998. Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.* 21, 1667–1680.
- Munns, R., 1994. Physiological processes limiting growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell Environ.* 16: 15–24
- Murillo-Amador B. et al., 2007. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *J. Agron. Crop Sci.* 193, 413–421.
- Najafian S., Khoshkhui M., Tavallali V. and Saharkhiz M.J., 2009. Effect of salicylic acid and salinity in thyme (*Thymus vulgaris* L.): investigation on changes in gas exchange, water relations, and membrane stabilization and biomass accumulation. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 3 2620–2626.
- Paraskevopoulou A.T., Kontodaimon Karantzi A., Liakopoulos G., Londra P.A. and Bertouklis K., 2020. The Effect of Salinity on the Growth of Lavender Species. *Water*, 12, 618.
- Parida A. K. and Das A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60 pp. 324-349.
- Pengfei Z., Yanyan D., Masateru S., Natsumi M., Kengo I., 2017. Interactions of Salinity Stress and Flower Thinning on Tomato Growth, Yield, and Water Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*.
- Pontigo S., Ribera A., Gianfreda L., Mora M.D., Nikolic M. and Cartes P., 2015. Silicon in vascular plants: Uptake, transport and its influence on mineral stress under acidic conditions. *Planta*, 242, 23–37.
- Pontigo S., Godoy K., Jiménez H., Gutiérrez-Moraga A., Mora M.D.L.L. and Cartes P., 2017. Silicon-Mediated Alleviation of Aluminum Toxicity by Modulation of Al/Si Uptake and Antioxidant Performance in Ryegrass Plants. *Front. Plant Sci.* 8, 642. 10.3389/fpls.2017.00642.
- Povero G., Mejia J., Di Tommaso D., Piaggese A. and Warrior P., 2016. “A Systematic Approach to Discover and Characterize Natural Plant Biostimulants”, *Frontiers in Plant Science*, 7, pp: 1-12.
- Ramin A.A., 2005. Effects of salinity and temperature on germination and seedling establishment of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) *J. Herbs Spices Med. Plants* 11 81–90.
- Rizwan M., Ali S., Ibrahim M., Farid M., Adrees M., Bharwana S.A., et al., 2015. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 15416–15431. 10.1007/s11356-015-5305-x
- Said-Al Ahl H.A.H. and Omer E.A., 2011. Medicinal and aromatic plants production under salt stress. *Herba pol.* 57 72–87.

- Savvas D., Giotis D., Chatzieustratiou E., Bakea M. and Patakioutas G., 2009. Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environ. Exp. Bot.* 65, 1–17.
- Savvas D., Gizas G., Karras G., Lydakis Simantiris N., Salahas G., Papadimitriou M. and Tsouka N., 2007. Interactions between silicon and NaCl - salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. *Eur. J. Hortic. Sci.* 72, 73–79.
- Schmidt R.E., Ervin E.H. and Xunzhong Zh., 2003. Questions and answers about biostimulants. 91-94.
- Shannon M. C., 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*, Vol. 60 pp. 75-120.
- Shannon M.C. and Grieve C.M., 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Sci. Hort.*, 78, 5–38.
- Sánchez-Blanco M.J., Rodríguez P., Olmos E., Morales M.A. and Torecillas A., 2004. Plant and Environment Interactions – Differences in the effects of simulated sea aerosol on water relations, salt content, and leaf ultrastructure of rock-rose plants. *Journal of Environmental Quality*, 33 pp. 1369-1375.
- Shi Y., Wang Y.C., Flowers T.J., and Gong H.J., 2013. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. *J. Plant Physiol.* 170, 847–853.
- Stamatakis A., Savvas D., Papadantonakis N., Lydakis-Simantiris N. and Kefalas P., 2003. Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. *Acta Hortic.* 609, 141–149.
- Tabatabaie S.J. and Nazari J., 2007. Influence of nutrient concentration and NaCl salinity on growth, photosynthesis and essential oil content of peppermint and lemon verbena. *Turkish J. Agric.* 31 245–253.
- Trenholm L.E., Datnoff L.E. and Nagara R.T., 2004. Influence of silicon on drought and shade tolerance of St. Augustine grass. *HortTechnology* 14, 487–490.
- Tuna A.L., Kaya C., Higgs D., Murillo Amador B., Aydemir S. and Girgin A.R., 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environ. Exp. Bot.* 62, 10–16.
- Ünlükara A., Kurunç A., Kesmez G.D. and Yurtseven E., 2008. Growth and Evapotranspiration of Okra *Abelmoschus Esculentus* L. as Influenced by Salinity of Irrigation Water. *Journal of irrigation and drainage engineering.* 160-166.
- Van Oosten M., Pepe O., De Pascale S., Silletti S. and Maggio A., 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, pp: 1-12.
- Vernieri P., Borghesi E., Ferrante A. and Magnani G., 2005. Application of biostimulants in floating system for improving rocket quality. *Journal of Food, Agriculture and Environment* Vol.3 (3and4), 86 – 88.
- Vivancos J., Labbé C., Menzies J.G. and Bélanger R.R., 2015. Silicon-mediated resistance of A rabadopsis against powdery mildew involves mechanisms other

- than the salicylic acid (SA)-dependent defence pathway. *Mol. Plant Pathol.* 16, 572–582. 10.1111/mpp.12213.
- Yadav S., Irfan M., Ahmad A. and Hayat S., 2011. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: A review. *J Environ Biol* 32:667-685
 - Yeo A.R., Flowers S.A., Rao G., Welfare K., Senanayake N. and Flowers T.J., 1999. Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. *Plant Cell Environ.* 22, 559–565.
 - Zhu Y.X. and Gong H.J., 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 455–472.
 - Zuccarini P., 2008. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biol. Plantar.* 52, 157–160.
 - Δόρδας Χ., 2012, *Αρωματικά και Φαρμακευτικά Φυτά, Σύγχρονη Παιδεία*. Θεσσαλονίκη.
 - Καραγιάννη Α., 2019, Η επίδραση του ασκορβικού οξέος στην ‘απάλυνση’ των συμπτωμάτων τοξικότητας φυτών φράουλας (*Fragaria vesca*) που αναπτύσσονται σε υψηλές συγκεντρώσεις Βορίου. Πτυχιακή διατριβή. Θεσσαλονίκη.
 - Καραμπουρνιώτης Γ., Λιακόπουλος Γ. και Νικολόπουλος Δ., 2012. Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών: οι λειτουργίες των φυτών κάτω από αντίξοες συνθήκες του περιβάλλοντος. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.
 - Κατσιώτης Σ., Χατζοπούλου Π., 2016, *Αρωματικά φαρμακευτικά φυτά και αιθέρια έλαια*, Εκδόσεις Κυριακίδη. Θεσσαλονίκη.
 - Κουκουλάκης Π., Παπαδόπουλος Αρ., *Τα προβληματικά Εδάφη και η Βελτίωσή τους*, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης. Αθήνα.
 - Κουτσός Θ., 2006, *Αρωματικά και Φαρμακευτικά Φυτά*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη.