

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**<< Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ NaCl ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΣΤΟ
ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ (*Zea mays L.*)>>**



ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ

ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΛΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΔΟΥΝΑΒΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα επιστημονική συνεργάτιδα κ. Γιαννακούλα Α., για την ανάθεση της παρούσας πτυχιακής άσκησης, καθώς και για την άριστη συνεργασία. Την ευχαριστώ θερμά για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία, αλλά και για τις γνώσεις και τις συμβουλές που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα. Επίσης για την βοήθεια και τις συμβουλές της στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Ηλία Η. καθηγητή, μέλος της τριμελούς επιτροπής για την αμέριστη βοήθεια του και την διάθεση των εργαστηριακών αναλώσιμων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΣΚΟΠΟΣ.....	4
-------------	---

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

A. ΤΟ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ

1.ΓΕΝΙΚΑ.....	5
2.ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	6
3.ΕΧΘΡΟΙ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ.....	7

B. ΑΥΞΗΣΗ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ – ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	9
2.ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ.....	10
ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ	10
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ.....	11
• ΕΛΛΕΙΨΗ ΝΕΡΟΥ.....	11
• ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΙΟΝΤΩΝ.....	12
• ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΙΟΝΤΩΝ.....	13
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	14
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ	
• ΑΖΩΤΟ.....	15
• ΦΩΣΦΟΡΟΣ.....	16
• ΚΑΛΙΟ.....	16
• ΧΛΩΡΙΟ.....	17
• ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	18
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ.....	19
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ	
• ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟΜΑΤΩΝ.....	21
• ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΠΝΟΗ.....	21
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΩΝ	
• ΣΤΟΜΑΤΩΝ.....	23
• ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ.....	24

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	25
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	33
ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	44
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	46
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	47

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	48
-------------------	----

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί συνέχεια προηγούμενων ερευνητικών εργασιών που μελέτησαν τις φυσιολογικές αντιδράσεις του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (αύξηση του βάρους, του ύψους καθώς επίσης και το φωτοσυνθετικό μηχανισμό του καλαμποκιού). Ως πειραματικό υλικό της πτυχιακής χρησιμοποιήθηκε το καλαμπόκι το οποίο αποτελεί φυτό οικονομικού και αγροτικού ενδιαφέροντος για την Ελλάδα. Τα συμπεράσματα του πειράματος βασίζονται σε αποτελέσματα τακτικών μετρήσεων του μήκους της ρίζας και του βλαστού καθώς επίσης και του ξηρού και νεπού βάρους του φυτού.

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης του NaCl στην αύξηση, ανάπτυξη και στον φωτοσυνθετικό μηχανισμό

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

A. ΤΟ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Το καλαμπόκι ή αραβόσιτος είναι σιτηρό της οικογένειας των Αγρωστωδών και κατάγεται από την Αμερικάνικη ήπειρο, όπου πριν από 5500 χρόνια το καλλιεργούσαν οι Ίνκας, οι Μάγια και οι Αζτέκοι. Η ελληνική ονομασία του αραβόσιτου σημαίνει <<η σίτος των Αράβων >> και εισήχθη στην Ελλάδα το 1600 από τη Βόρεια Αφρική. Το καλαμπόκι και η καλλιέργεια του είναι διαδεδομένη παγκοσμίως.

Στην Ελλάδα καλλιεργείται κυρίως στη Μακεδονία, τη Θράκη, τη Στερεά και τη Πελοπόννησο και η ετήσια παραγωγή φτάνει το 1,5 εκατομμύριο τόνους. Ωστόσο οι Η. Π. Α έχουν τη μεγαλύτερη παραγωγή στο κόσμο με 285 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Ακολουθούν η Κίνα, η Βραζιλία και το Μεξικό.

Παρότι το καλαμπόκι είναι βασική πηγή διατροφής σε πολλές χώρες, η θρεπτική του αξία είναι μικρότερη απ' ό τι στα άλλα σιτηρά. Ωστόσο αποτελεί σημαντική καλλιέργεια αμύλου. Αποτελεί επίσης μια πηγή πλούσια σε βιταμίνες της ομάδας Β. Στην ανθρώπινη διατροφή χρησιμοποιείται και το λάδι του καλαμποκιού, το αραβοσιτέλαιο, όπου οι κόκκοι του με την κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να γίνουν και αλκοόλη βιομηχανικής χρήσης.

Εκτός από τη διατροφική αξία, χρήσιμα είναι και τα μη φαγώσιμα μέρη. Από το καλάμι του καλαμποκιού φτιάχνεται χαρτί και χαρτόνι, ενώ οι άξονες των σπαδικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν καύσιμο, αλλά και στην παραγωγή διαφόρων διαλυτών χρήσιμων στη βιομηχανία. Παρόλο αυτά οι διατροφικές πρωτείνες πρέπει να προέρχονται από αλλού καθώς η πρωτεΐνη του καλαμποκιού στερείται δύο αμινοξέων που είναι ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο και τα ζώα, δηλαδή την τρυπτοφάνη και τη λυσίνη. Το καλαμπόκι έχει επίσης χαμηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο σε σύγκριση με άλλα δημητριακά.

2. ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το καλαμπόκι αποτελεί ένα ετήσιο φυτό, μεγάλης καλλιέργειας, που ως σοδειά σιτηρών έχει πολλά ασυνήθιστα ή ακόμα και μοναδικά χαρακτηριστικά. Κατ' αρχήν, και φυσικά προφανώς, μοιάζει διαφορετικό από τα μικρόκοκκα δημητριακά όπως το κριθάρι, το ρύζι και το σιτηρά. Αναπτύσσεται σε πολύ μεγαλύτερο ύψος, τυπικά 2 – 3μ, και δεν έχει στάχυ στην κορυφή του μίσχου. Είναι φυτό με χοντρό όρθιο και συμπαγή βλαστό, στενά, μακριά φύλλα σε σχήμα σπαθιού και κυματιστά άκρα. Ανήκει στα μόνονικα φυτά και είναι σταυρογονιμοποιούμενο.

Το καλαμπόκι έχει χωριστά αρσενικά και θηλυκά άνθη. Τα αρσενικά άνθη παράγονται στην αρσενική ταξιανθία, η οποία βρίσκεται στην κορυφή του φυτού όπου σχηματίζει θύσανο και έχει την ονομασία φόβη. Η θηλυκή ταξιανθία αποτελείται από ένα πλατύ στάχυ με παχύ άξονα πάνω στον οποίο βρίσκονται τα θηλυκά άνθη σε σειρές. Εκφύεται πλάγια στο στέλεχος περίπου στη μέση του φυτού και ονομάζεται σπάδικας.

Το καλαμπόκι (*Zea mays*), με αριθμό χρωμοσωμάτων 20, ανήκει στην οικογένεια *Graminaceae*, Στο γένος *Zea* υπάγεται το καλαμπόκι όπως και τέσσερα άλλα είδη (*mexicana*, *perennis*, *luxurians* και *diploperennis*).

Μετά τη γονιμοποίηση, η συλλογή των θηλυκών ανθών σχηματίζει τους γνωστούς κώνους. Οι περισσότερες εμπορικές ποικιλίες διαθέτουν έναν ή δύο μεγάλους κώνους.

Οι εμπορικές ποικιλίες του καλαμποκιού στα πιο τεχνολογικά προηγμένα γεωργικά συστήματα είναι ουσιαστικά υβρίδια, αυτά γονιμοποιούνται με διασταύρωση δυο διαφορετικών γονικών ποικιλιών πράγμα που σημαίνει ότι οι γόννοι είναι ιδιαίτερα εύρωστοι και υψηλής απόδοσης. Ωστόσο, η γενετική του υβριδισμού σημαίνει ότι ο σπόρος που συλλέγεται μπορεί να χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη μιας πετυχημένης σοδειάς και ότι πρέπει να γίνεται προμήθεια καινούριων σπόρων υβριδίου πρώτης γενιάς. Διαθέτει ένα σύστημα φωτοσύνθεσης το οποίο ονομάζεται C4, που σημαίνει ότι χρησιμοποιεί λιγότερο νερό για ένα δεδομένο επίπεδο απόδοσης.

3. ΕΧΘΡΟΙ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ

Οι καλλιέργειες καλαμποκιού χρειάζονται προστασία από ζιζάνια, παράσιτα και ασθένειες για να δίνουν τις υψηλότερες αποδόσεις και ποιότητα δημητριακού. Η τρωτότητα του καλαμποκιού στο έντομο διάτρησης των σιτηρών (*Ostrinia nubilalis*) και η ζημιά στις αποδόσεις εξαιτίας του, οδήγησαν στην ανάπτυξη γενετικά τροποποιημένου καλαμποκιού (GM) που εκφράζει την τοξίνη του θουρίγγειου βακίλου (*Bacillus thuringiensis* - Bt) που βοηθάει στην εξάλειψη του παρασίτου καθώς τρέφεται από την καλλιέργεια. Το καλαμπόκι αποτελεί στόχο επιθέσεων από πολλά παράσιτα και ασθένειες. Αυτά περιλαμβάνουν:

Έντομα

Τα παράσιτα έντομα του καλαμποκιού μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή βλάβη με το να τρώνε τις ρίζες, να τρυπώνουν στους μίσχους, να τρέφονται από τα φύλλα και τους κόκκους. Τα σημαντικά παράσιτα εδάφους συμπεριλαμβάνουν κάμπιες όπως ο βόρειος ριζοσκώληκας καλαμποκιού (*Diabrotica barberi*), ο δυτικός ριζοσκώληκας καλαμποκιού (*Diabrotica virgifera virgifera*), λευκοί φυλλοφάγοι (*Phyllophaga* spp.) και νηματοσκώληκες (*Limonioides* spp.).

Αρρώστιες

Γενικά, το καλαμπόκι δεν είναι τόσο ευάλωτο σε αρρώστιες φυλλώματος από μύκητες. Ωστόσο, στις αρχές της σεζόν στις πιο εύκρατες περιοχές, ασθένειες των φιντανιών όπως η ριζοκτονία ή σήψη των φυτών που προκαλείται από μύκητες όπως το *Pythium* spp. και *Rhizoctonia* spp. μπορούν να αποτελέσουν πρόβλημα.

Ζιζάνια

Τα ζιζάνια είναι σοβαρό πρόβλημα για το καλαμπόκι σε οποιοδήποτε κλίμα. Ορισμένα από τα επικρατέστερα χορτοζιζάνια που βρίσκονται στις περισσότερες περιοχές καλλιέργειών στις ΗΠΑ συμπεριλαμβάνουν τη μονοχρίτσα (*Echinochloa crus-galli*), αιματόχορτο (*Digitaria* spp.) και σετάρια (*Setaria* spp.). Τα σημαντικά πλατύφυλλα ζιζάνια

συμπεριλαμβάνουν τα βλίτα χηνοπόδιο (*Amaranthus spp.*), αμβροσία (*Ambrosia spp.*), ιπομέα (*Ipomoea spp.*), σολανό (*Solanum spp.*), αγριάγκαθο (*Xanthium spp.*), και αγριοβαμβακιά (*Abutilon theophrasti*). Στην Ευρώπη, μπορεί να προσθέσει κάποιος τον αγούλιαρα (*Sorghum halepense*) και το χηνοπόδιο ή *Chenopodium spp.* στον κατάλογο.



B. ΑΥΞΗΣΗ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ – ΑΛΛΑΤΟΤΗΤΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Επειδή η **αύξηση** είναι ένα εξαιρετικά πολύπλοκο φυσικό φαινόμενο, είναι συνεπώς και αρκετά δύσκολο να ορισθεί με ακρίβεια. Ίσως ένας απλός ορισμός της αύξησης θα ήταν: **η μη αναστρέψιμη μεγέθυνση ή διόγκωση, που συνοδεύεται από βιοσύνθεση νέων πρωτοπλασματικών συστατικών.**

Διακρίνεται σε **α)** στην κυτταρική διαίρεση και **β)** στην κυτταρική επιμήκυνση. Η κυτταρική διαίρεση καταλήγει σε δύο θυγατρικά κύτταρα, που προέρχονται από ένα μητρικό, αυξάνοντας έτσι τον αριθμό των κυττάρων. Θεωρείται ότι ολοκληρώνεται η διαδικασία αυτή, όταν τα θυγατρικά κύτταρα φτάσουν το μέγεθος του αρχικού μητρικού κυττάρου. Η κυτταρική επιμήκυνση καταλήγει σε αύξηση του μεγέθους των νεοσχηματισθέντων κυττάρων, που ξεπερνά εκείνη του μητρικού.

Λέγοντας διαφοροποίηση θα εννοούμε το σχηματισμό εξειδικευμένων κυττάρων ως προς τη μορφή, το μέγεθος και το περιεχόμενο. Δηλαδή ειδικών κυττάρων με ανάλογες υποκυτταρικές δομές και περιεχόμενα, που θα εξυπηρετήσουν τη λειτουργική τους δράση. Τέλος **ανάπτυξη** θα χαρακτηρίσουμε το συνδυασμό της αύξησης και της κυτταρικής διαφοροποιήσεις.

2. ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

Αλατότητα είναι η υπερβολική – υψηλή συγκέντρωση ιόντων κατά κανόνα Na^+ και Cl^- στο διάλυμα που βρίσκεται στην περιοχή του ριζοστρώματος (εδαφικό διάλυμα ή τεχνητό θρεπτικό διάλυμα). Αν και το νερό στην περιοχή της ρίζας βρίσκεται σε αφθονία, ωστόσο εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης ιόντων, δεν μπορεί να είναι διαθέσιμο λόγω του χαμηλού υδατικού δυναμικού. Ως παράγοντας καταπόνησης η αλατότητα παρουσιάζεται σε εκτεταμένες περιοχές του πλανήτη (η έκταση τους φθάνει το 20% του συνόλου των καλλιεργούμενων εδαφών) οι οποίες για διαφορετικούς λόγους εμφανίζουν υψηλή αλατότητα στο έδαφος (Καραμπουρνιώτης, 2003).

ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

Οι καλλιεργητές σήμερα, έχουν διάφορους τύπους ηλεκτρονικών μετρητών για την αλατότητα του νερού ή των θρεπτικών διαλυμάτων. Ευρύτερα χρησιμοποιημένα είναι η ηλεκτρο-αγωγιμότητα (ec) και **διαλυμένοι σύνολο** μετρητές **στερεών** (TDS). Οι μετρητές EK μετρούν τη δυνατότητα ενός διαλύματος ύδατος να φερθεί ένα ηλεκτρικό ρεύμα με τη μέτρηση του ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Μια λύση που είναι πλούσια σε θρεπτικές ουσίες έχει την υψηλότερη ηλεκτρο-αγωγιμότητα από μια λύση με τα λιγότερα ιοντικά άλατα. Αυτοί οι μετρητές μετρούν την ηλεκτρο-αγωγιμότητα είτε σε milliSiemens/cm (mS/cm) είτε το μικροϋπολογιστή Siemens/cm (mS/cm). **Οι μετρητές EK** χρησιμοποιούνται συχνότερα από τους εμπορικούς καλλιεργητές επειδή η μέτρησή τους αντιστοιχεί ακριβέστερα με την καλύτερη εκτίμηση της δύναμης των θρεπτικών διαλυμάτων.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

Οι περιοριστικοί παράγοντες της αύξησης των φυτών που παρατηρούνται σε συνθήκες αλατότητας είναι τρεις: **α)** Η έλλειψη νερού που δημιουργείται από το χαμηλότερο υδατικό δυναμικό που έχει το εξωτερικό διάλυμα σε σχέση με την ρίζα, **β)** Η τοξικότητα ιόντων και **γ)** η ανισορροπία ιόντων. Συνήθως οι τρεις πιο πάνω παράγοντες αλληλοεπικαλύπτονται και είναι δύσκολο να διαχωριστεί ο τρόπος δράσης του καθενός.

Συνέπεια των πρωταρχικών επιδράσεων της υψηλής συγκέντρωσης αλάτων είναι οι ανισορροπίες ιόντων και η υπεροσμωτική καταπόνηση, ενώ στη συνέχεια προκαλούνται δευτερογενείς επιδράσεις, όπως η οξειδωτική καταπόνηση (Zhu, 2001). Οι συγκεντρώσεις και η σύνθεση των αλάτων, η διάρκεια της έκθεσης, το φυτικό είδος, η ποικιλία, το υποκείμενο, το στάδιο της ανάπτυξης και οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες είναι μερικοί από τους παράγοντες που διαδραματίζουν ρόλο στην ανθεκτικότητα των φυτών (Marschner , 1995).

A) ΕΛΛΕΙΨΗ ΝΕΡΟΥ

Το νερό παίζει σημαντικό ρόλο στις φυσιολογικές λειτουργίες και στην επιβίωση των φυτών, αφού χρησιμοποιείται ως διαλύτης στις βιοχημικές αντιδράσεις (π.χ. φωτοσύνθεση), ως μέσο για τη σταθεροποίηση και λειτουργία βιολογικών μεμβρανών και ενζύμων και ως μέσο μεταφοράς ιόντων και προϊόντων μεταβολισμού. Επίσης συντελεί στη διατήρηση της σπαργής των κυττάρων και αποτελεί μέσο στήριξης διαφόρων ιστών.

Στα ανώτερα φυτά το νερό απορροφάται με τις ρίζες από το έδαφος και μεταφέρεται μέσω του βλαστού στα φύλλα ως αποτέλεσμα της διαφοράς υδατικού δυναμικού, ριζικής πίεσης και διαπνοής. Η υδατική κατάσταση του φυτού σε μια δεδομένη στιγμή εξαρτάται από το ισοζύγιο απορρόφησης νερού και διαπνοής. Όταν ο ρυθμός απώλειας νερού με τη διαπνοή είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό απορρόφησης από τις ρίζες, λόγω μειωμένης διαθεσιμότητας στο έδαφος, το υδατικό δυναμικό των φύλλων θα μειωθεί. Ως αποτέλεσμα, ο εφοδιασμός του φυτού με νερό και θρεπτικά στοιχεία μειώνεται και εφόσον το υδατικό έλλειμμα συνεχιστεί, τα φυτά θα ξηραθούν, εάν δεν διαθέτουν μηχανισμούς

προσαρμογής. Η μειωμένη διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη νερού ή στην αδυναμία πρόσληψης νερού λόγω αλατότητας, και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζεται μία κοινή μορφή υδατικής καταπόνησης (οσμωτική καταπόνηση). Στις συνθήκες αυτές δυσχεραίνεται η πρόσληψη νερού και θρεπτικών

συστατικών από το εδαφικό περιβάλλον. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τόσο η υδατική, όσο και η καταπόνηση αλατότητας επηρεάζουν δυσμενώς ένα κοινό παράγοντα, το οσμωτικό δυναμικό (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Σε συνθήκες αλατότητας η αύξηση των βλαστών επηρεάζεται περισσότερο από την αύξηση της ρίζας (Termaat and Munns., 1986), αν και παρατηρείται ταυτόχρονη μείωση και της αύξησης των ριζών, σε περιπτώσεις υψηλής εξωτερικής συγκέντρωσης αλάτων, σε 14 συνδυασμούς με χαμηλές συγκεντρώσεις Ca^{2+} (Cramer et al., 1988).

Συνήθως, μείωση του ρυθμού επιμήκυνσης των φύλλων σε αλατούχα υποστρώματα αποδίδεται σε έλλειψη νερού. Σε υποστρώματα αλάτων παρατηρείται μείωση της διαθεσιμότητας και απορρόφησης του νερού, η οποία μειώνει την ριζική πίεση και την μεταφορά νερού και ιόντων στους βλαστούς. Δεν είναι ακόμη σαφές εάν βραχυπρόθεσμα η μείωση της απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων ή οι ανεπιθύμητες αναλογίες ιόντων (π.χ. Na^+/Ca^{2+}) στις ζώνες αύξησης των φύλλων ευθύνονται για την μείωση του ρυθμού επιμήκυνσης των φύλλων (Lynch et al., Munns et al., 1989).

B) ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΙΟΝΤΩΝ

Το Cl^- είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο και το Na^+ διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην θρέψη των αλόφυτων και των C_4 φυτών. Οι συγκεντρώσεις τους σε αλατούχα διαλύματα είναι πολύ υψηλές, με συνέπεια να δρουν τοξικά. Σε πολλά ευπαθή στα άλατα φυτά, όπως το αμπέλι και τα οπωροφόρα δέντρα παρατηρούνται νεκρώσεις στα φύλλα και μείωση της αύξησης σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις $NaCl$ στο διάλυμα (Sykes, 1992; Maas, 1993) οι οποίες στο γένος *Citrus* δεν μπορούν να αποδοθούν στην χαμηλή οσμωτική πίεση αλλά σε τοξικότητα ιόντων όπως του Na ή του Cl (Maas, 1993). Σε άλλα είδη, όπως το *Sorghum*, το SO_4^{2-} μπορεί να έχει παρόμοια τοξική δράση ή και μεγαλύτερη από αυτή του Cl^- (Parker et al., 1983, 1987). Πολλά είδη αντιμετωπίζουν την τοξικότητα Na^+ με απελευθέρωση του στο

περιβάλλον με την βοήθεια αδένων. Ωστόσο, κάτω από συνθήκες κακού αερισμού του εδάφους λαμβάνει χώρα μαζική μεταφορά Na^+ και Cl^- στα φύλλα και στους βλαστούς, που οδηγεί σε τοξικότητα (Marschner, 1995).

Παλαιότερα για την εξήγηση της τοξικής δράσης των αλάτων στα φύλλα έμφαση δινόταν στην αναστολή των ενζυμικών αντιδράσεων καθώς και στην ελλειπή διαμερισματοποίηση μεταξύ κυτοπλάσματος και χυμοτοπίου. Σημαντική ωστόσο θεωρείται και η υπόθεση Oertli (1968) σύμφωνα με την οποία η συγκέντρωση αλάτων στον αποπλάστη οδηγεί σε αφυδάτωση, μείωση της σπαργής και θάνατο των κυττάρων και ιστών (Munns, 1988; Flowers, 1988).

Γ) ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΙΟΝΤΩΝ

Τα αλατούχα διαλύματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές ενεργότητες θρεπτικών ιόντων και από υπερβολικά υψηλούς λόγους $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, Na^+/K^+ , $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ και $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$.

Όταν τα γλυκόφυτα εκτεθούν σε συνθήκες αλατότητας, τότε παρατηρούνται ανισορροπίες θρεπτικών στοιχείων. Οι ανισορροπίες αυτές διαφέρουν σε ένταση ανάμεσα στα διάφορα καλλιεργούμενα είδη όσο και στις ποικιλίες του ίδιου είδους. Συνήθεις είναι οι ελλείψεις N και P σε συνθήκες αλατότητας αλλά και η τοξικότητα P. Ελλείψεις ή ανισορροπίες K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} είναι επίσης συνήθεις σε αλατούχα περιβάλλοντα (Grattan and Grieve, 1992).

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Η πρώτη αντίδραση των γλυκοφύτων στην αλατότητα είναι η μείωση της αύξησης τους (Flowers et al., 1977). Η μείωση αυτή, που εμφανίζεται πριν την εκδήλωση συμπτωμάτων τοξικότητας, οφείλεται αρχικά στην μείωση του υδατικού δυναμικού και αργότερα στη συσσώρευση τοξικών ιόντων. Η επιβράδυνση της αύξησης κατευθύνεται από τη ρίζα λόγω χαμηλού υδατικού δυναμικού στο έδαφος και μεταβιβάζεται στο βλαστό μέσω του ABA (Munns and Termaat, 1986). Όσο όμως ο χρόνος έκθεσης των γλυκοφύτων στην αλατότητα παρατείνεται, η μείωση της αύξησης μπορεί να προκληθεί από την τοξικότητα ιόντων. Το χαμηλό υδατικό δυναμικό επηρεάζει την εμφάνιση καταβολών φύλλων στο μερίστωμα. Ο ρυθμός εμφάνισης φύλλων καθώς και η κυτταροδιαίρεση μειώνονται όταν παρατηρείται παρατεταμένη έλλειψη νερού. Γενικά η αύξηση των κυττάρων είναι περισσότερο ευαίσθητη στην έλλειψη νερού από ότι η κυτταροδιαίρεση (Meyer and Boyer, 1972).

Η αλατότητα προκαλεί μείωση της φυλλικής επιφάνειας, λόγω πρόωρης γήρανσης των φύλλων. Η γήρανση αυτή οφείλεται στην μη αντιστρεπτή αναστολή της φωτοσύνθεσης καθώς και στην τοξική επίδραση των ιόντων Na^+ και Cl^- , μέσω της μείωσης του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της νέκρωσης των φύλλων. Η αναστολή της εμφάνισης και της αύξησης των φύλλων και των μεσογονατίων ταυτόχρονα με την απώλεια της υπάρχουσας φυλλικής επιφάνειας έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της αύξησης των βλαστών (Zekri, 1991; Ziska et al., 1990).

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Η διαθεσιμότητα ενός ιόντος και η απορρόφηση του από τα φυτά εξαρτάται: α) από την ενεργότητα του ιόντος στο διάλυμα που είναι συνάρτηση του pH και της 16 συγκέντρωσής του, β) της συγκέντρωσης του ιόντος στην χημική ένωση, και γ) των περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Η αλατότητα επηρεάζει την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων με δύο τρόπους: α) η ενεργότητα των ιόντων του υποστρώματος μειώνεται καθώς και η απορρόφηση και μεταφορά τους β) οι αλληλεπιδράσεις ιόντων στο υπόστρωμα δρουν ανταγωνιστικά και μειώνουν την απορρόφηση και μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά. Επίσης οι επιδράσεις στην επιλεκτικότητα και διαπερατότητα των μεμβρανών ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία.

ΑΖΩΤΟ

Στα περισσότερα εδάφη, αλατούχα ή μη, το N είναι συνήθως το θρεπτικό στοιχείο που είναι ελλειματικό για την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Συνεπώς, η προσθήκη N συνήθως αυξάνει τις αποδόσεις και την ανάπτυξη των φυτών σε εδάφη χωρίς πρόβλημα αλατότητας. Στην πλειονότητα των πειραμάτων όπου το N εφαρμοζόταν σε επίπεδα υψηλότερα του απαραίτητου σε συνθήκες αλατότητας, δεν παρατηρήθηκε θετική επίδραση στην αύξηση και απόδοση των φυτών. Μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις η αλατότητα μειώνει την συγκέντρωση N στα φυτά (Cram, 1973). Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι γνωστό ότι αύξηση της απορρόφησης και συγκέντρωσης Cl στα φυτά συνοδεύεται από μείωση της συγκέντρωσης του N (Gorham, 1988).

Σύμφωνα με τον Aslam (1984) το Cl⁻ ανταγωνίζεται την απορρόφηση NO₃⁻ περισσότερο από ότι τα SO₄²⁻. Ο Gorham (1986) παρατήρησε ότι παρά τη δραστική μείωση της συγκέντρωσης NO₃⁻ στα φύλλα κάτω από συνθήκες αλατότητας άλλες ενώσεις που περιέχουν N (προλίνη, γλυκίνη - μεταϊνη, κ.α.) είτε αυξάνονταν είτε διατηρούνται σταθερές. Η μορφή του N επηρεάζει την αντίδραση των φυτών που αναπτύσσονται σε αλατούχα μέσα. Έτσι, όσο αυξάνεται ο λόγος NH₄⁺/NO₃⁻ αυξάνεται η απορρόφηση και συγκέντρωση Na⁺ και Cl⁻ στα φυτά, ενώ όσο μειώνεται τόσο αυξάνεται το Ca²⁺ και K⁺ (Feigin, 1990).

ΦΩΣΦΟΡΟΣ

Η αλληλεπίδραση μεταξύ αλατότητας και P είναι περίπλοκη και εξαρτάται από το είδος του φυτού, την ποικιλία, την ηλικία του φυτού, την σύσταση και τις συγκεντρώσεις των αλάτων καθώς και από την συγκέντρωση του P στο εδαφικό διάλυμα (Grattan and Grieve, 1992).

Οι συγκεντρώσεις του P σε φυτικούς ιστούς που αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες αλατότητας μπορεί να είναι χαμηλές, πολύ υψηλές ή να μην επηρεάζονται καθόλου. Ιδιαίτερα, σε πειράματα που πραγματοποιούνται στο έδαφος ο P βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις είτε διότι έχει μικρή διαθεσιμότητα είτε διότι σχηματίζει αδιάλυτα σύμπλοκα με Ca, Mg, Al και Fe. Σε υδροπονικά πειράματα ωστόσο έχει βρεθεί ότι ο P βρίσκεται σε αυξημένες συγκεντρώσεις στους φυτικούς ιστούς λόγω πιθανής αύξησης της απορρόφησής του από τις ρίζες, λόγω της αλατότητας (Roberts et al., 1984; Grattan and Maas, 1985). Επίσης προσθήκη P σε αλόφυτα που αναπτύσσονται σε συνθήκες υψηλής αλατότητας αύξησε τους ρυθμούς αύξησης τους (Okusanya and Fawole, 1985).

Γενικότερα, αν και κάτω από συνθήκες αλατότητας έχουμε αυξημένες συγκεντρώσεις Cl⁻, αυτές δεν επηρεάζουν την απορρόφηση άλλων ανιόντων όπως PO₄³⁻, SO₄²⁻, είτε διότι η απορρόφηση τους γίνεται με διαφορετικούς φορείς, είτε διότι γίνεται ταχύτατη ενσωμάτωσή τους στην οργανική ουσία μόλις εισέλθουν στο φυτό (Epstein, 1956).

ΚΑΛΙΟ

Το κάλιο όπως και ο P βρίσκονται σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα, σε σχέση με τα άλλα ιόντα. Το K εύκολα προσροφάται στα αρνητικά φορτία της αργίλου καθώς και μεταξύ των στοιβάδων των ορυκτών της αργίλου τύπου 2:1. Η συγκέντρωση K⁺ στα φυτά συσχετίζεται με το λόγο Na⁺/K⁺ του εκχυλίσματος κορεσμού του εδάφους (Devitt et al., 1981). Αν και τα φυτά εκλεκτικά απορροφούν και μεταφέρουν το K⁺ σε σχέση με το Na⁺, ο βαθμός επιλεκτικότητας εξαρτάται από το είδος του φυτού και την ποικιλία.

Έτσι, σε πολλά γλυκόφυτα το Na⁺ μπορεί να υποκαταστήσει μερικώς το K⁺, χωρίς να επηρεάζει την ανάπτυξη του φυτού. Η εκλεκτικότητα K⁺/Na⁺ στα φυτά διατηρείται αν η περιεκτικότητα των ριζών σε Ca είναι επαρκής και οι ρίζες έχουν στη διάθεσή τους επαρκές O₂ (Grattan and Grieve, 1992). Σε πολλές μελέτες βρέθηκε ότι η συγκέντρωση K⁺ στο

φυτό μειώνεται όσο η συγκέντρωση Na^+ ή ο λόγος $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ του θρεπτικού υποστρώματος αυξάνεται (Okusanya and Ungar, 1984; Cramer et al., 1985; Jansen and Chang, 1987; Subbarao et al., 1990). Αν και πολλές μελέτες έδειξαν μείωση της απορρόφησης και μεταφοράς K^+ σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις Na^+ , υπάρχουν λίγα πειράματα που δείχνουν ότι η προσθήκη K^+ σε πλούσια σε Na^+ εδάφη βελτιώνει την ανάπτυξη ή την παραγωγή των φυτών. Το Ca^{2+} ανταγωνίζεται ισχυρά το Mg^{2+} για τις θέσεις πρόσδεσης στο πλασμαλήμμα των ριζών (Marschner, 1986). Γι' αυτό το λόγο υψηλές συγκεντρώσεις Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα συνήθως έχουν σαν αποτέλεσμα την έλλειψη Mg στα φύλλα (Bernstein και Hayward 1958).

Μείωση της φωτοσύνθεσης, όπως και της ικανότητας χρησιμοποίησης του νερού έχουν παρατηρηθεί σε φυτά που αναπτύσσονται σε περιοχές με υψηλό λόγο Mg/Ca (Plant and Grieve, 1988). Στις περιπτώσεις φυτών που αναπτύσσονται σε παράκτιες περιοχές ή ποτίζονται με θαλασσινό νερό μπορούν να παρατηρηθούν ανισορροπίες θρεπτικών στοιχείων, λόγω αυξημένου λόγου $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ στο θαλασσινό νερό (Grattan and Grieve, 1992).

ΧΛΩΡΙΟ

Παρότι το Cl^- αποτελεί βασικό ιχνοστοιχείο για την θρέψη των φυτών, σε συνθήκες αλατότητας οι συγκεντρώσεις του στο εδαφικό διάλυμα ξεπερνούν κατά πολύ τις ανάγκες των φυτών και οδηγούν σε τοξικότητα. Χαρακτηριστικά συμπτώματα της τοξικότητας Cl^- είναι η μείωση της αύξησης, χαρακτηριστικές χλωρώσεις στην περιφέρεια του ελάσματος καθώς και νεκρώσεις στα παλαιότερα φύλλα (Maas, 1993; Marschner, 1995; Θεριός, 1996).

Φύλλα χωρίς συμπτώματα μπορεί ορισμένες φορές να έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις Cl^- από ότι φύλλα με συμπτώματα των ίδιων ειδών (Brown et al., 1956). Είδη που είναι ευαίσθητα στα άλατα αναπτύσσουν καψίματα στα φύλλα, που δεν είναι χαρακτηριστικά της τοξικότητας Cl^- . Τα είδη αυτά μπορούν να παρουσιάσουν τα ίδια συμπτώματα σε ισοοσμωτικά διαλύματα θεικών αλάτων (Bernstein, 1958). Επίσης, δύσκολα διαχωρίζονται καψίματα στα φύλλα που προκαλούνται από έλλειψη νερού (υδατική καταπόνηση). Ο μηχανισμός της τοξικότητας Cl^- παραμένει άγνωστος. Η ομοιότητα στη συγκέντρωση Cl^- στην οποία εμφανίζονται συμπτώματα στα ευαίσθητα είδη δείχνει ότι

υπάρχει κοινός μηχανισμός σ' αυτά τα είδη. Στην πατάτα το Cl αν και δεν είναι ιδιαίτερα τοξικό μειώνει την μεταφορά υδατανθράκων καθώς και τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης (Bernstein and Hayward, 1958).

Σε υπόστρωμα υψηλής συγκέντρωσης αλάτων η μείωση της αύξησης μπορεί να οφείλεται σε παρεμπόδιση της απορρόφησης, μεταφοράς και χρησιμοποίησης ιόντων από τα φυτά. Το Cl ανταγωνίζεται την απορρόφηση των NO₃⁻, αν και η μείωση της αύξησης των φυτών δεν φαίνεται να οφείλεται σ' αυτό λόγο. Μπορεί επίσης σε πλούσια υπόστρωμα σε φωσφορικά u953 ιόντα να προκαλέσει μεγάλη απορρόφηση και κατά συνέπεια πιθανή τοξικότητα P στα φυτά (Roberts et al., 1984).

Επίσης η τοξικότητα Cl έχει συσχετιστεί με δημιουργία υπεροξειδικών ριζών (O₂) και οξείδωση λιπιδίων, που συσχετούνται με πρόκληση οξειδωτικού stress στα μιτοχόνδρια (Hernández et al., 1993).

Η συγκέντρωση Cl στο εμβόλιο εξαρτάται σημαντικά από το υποκείμενο όπως έχει ήδη αναφερθεί για τα εσπεριδοειδή, αβοκάντο και πυρηνόκαρπα (Bernstein, 1958). Κατά συνέπεια, η επιλογή του κατάλληλου υποκειμένου αποτελεί ένα πρακτικό μέτρο περιορισμού της συγκέντρωσης Cl στο εμβόλιο.

ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα εδαφικά διαλύματα, με εξαίρεση το Cl⁻, είναι χαμηλές (μM) και εξαρτώνται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Η διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων αυτών εξαρτάται κυρίως από το pH του εδαφικού διαλύματος καθώς και από την προσρόφηση τους στα ορυκτά της αργίλου, ή την οργανική ουσία του εδάφους. Η διαλυτότητα των ιχνοστοιχείων αυτών συνήθως αυξάνεται κάτω από συνθήκες αλατότητας (Sharpley et al., 1992).

Ωστόσο η συγκέντρωση τους στους φυτικούς ιστούς μπορεί να αυξάνεται, να μειώνεται ή να παραμένει σταθερή. Οι συγκεντρώσεις τους στα φυτά εξαρτώνται από το φυτικό είδος, τον ιστό, την φύση της αλατότητας, την συγκέντρωση του ιχνοστοιχείου στο εδαφικό διάλυμα και από τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες (Grattan and Grieve, 1992). Αν και η επίδραση της αλατότητας, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων ποικίλει, υπάρχουν ενδείξεις ότι η αλατότητα NaCl προκαλεί έλλειψεις-Fe. Στις περιπτώσεις αυτές η επίδραση της έλλειψης φαίνεται από την αλλαγή της μορφολογίας των ριζών των φυτών (Kramer, 1984).

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ

Το υδατικό δυναμικό των κυττάρων είναι μία σύνθετη παράμετρος που προκαλείται από το αλγεβρικό άθροισμα δύο κυρίως παραμέτρων, του οσμωτικού δυναμικού (osmotic potential, Ψ_{π}) και του δυναμικού σπαργής (turgor potential, Ψ_p). Στα περισσότερα είδη το δυναμικό προσρόφησης (matrix potential, Ψ_m) δεν είναι σημαντικό μέχρι που χάνεται το περισσότερο νερό (50%) και έτσι θεωρείται αμελητέο. Το οσμωτικό δυναμικό οφείλεται στην παρουσία διαλυμένων ενώσεων στο χυμοτόπιο. Η σχέση με τον όγκο του νερού στο κύτταρο το καθιστά ένα ευαίσθητο δείκτη της υδατικής κατάστασης του φυτικού ιστού. Το δυναμικό σπαργής αναπτύσσεται εντός του κυττάρου ως απάντηση στη δράση του οσμωτικού δυναμικού και της ελαστικής παραμόρφωσης των κυτταρικών τοιχωμάτων. Η μεγάλη δυσκολία της απευθείας μέτρησης του Ψ_p έχει ως αποτέλεσμα να υπολογίζεται από τη διαφορά $\Psi_w - \Psi_{\pi}$, που περικλείει όμως πολλούς κινδύνους.

Άλλες παράμετροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες είναι η χημική ενεργότητα του νερού (a_w) των ιστών, και το απόλυτο ή το σχετικό υδατικό περιεχόμενο (Relative Water Content, RWC) του φυτικού ιστού. Το υδατικό δυναμικό δεν συνδέεται πλήρως με τη χημική ενεργότητα του νερού διότι η σχέση τους είναι λογαριθμική ($\Psi_w = (RT/V_w) \cdot \ln a_w$). Όταν το υδατικό δυναμικό μειώνεται 1-2 MPa, η χημική ενεργότητα του νερού μειώνεται πολύ λίγο.

Το απόλυτο υδατικό περιεχόμενο παρέχει προφανώς την πλέον άμεση εικόνα της υδατικής κατάστασης του φυτού. Ως δείκτης όμως του υδατικού ελλείμματος δεν είναι ακριβής, διότι επηρεάζεται από το μέγεθος των κυττάρων και το ξηρό βάρος. Η χρήση του σχετικού υδατικού περιεχομένου (περιεκτικότητα σε νερό του ιστού σε σχέση με την περιεκτικότητα σε νερό του ιστού σε πλήρη σπαργή) αποφεύγει αυτή τη δυσκολία, αλλά απαιτεί πολύ ακριβή προσδιορισμό, ειδικά όταν ο φυτικός ιστός είναι κοντά στο σημείο υδατοκορεσμού ($\Psi_w = 0$). Σε φυτά με υψηλό υδατικό περιεχόμενο, σημαντικές μεταβολές στις φυσιολογικές λειτουργίες μπορεί να προκληθούν με απώλεια μόνο 1-2% του νερού του ιστού, που είναι συνήθως το σφάλμα στη μέτρηση του RWC. Ίσως γι' αυτό σε πολλές μελέτες το RWC δεν μεταβλήθηκε, παρόλο που επηρεάστηκαν οι φυσιολογικοί παράμετροι (Hsiao, 1973).

Η περιεκτικότητα σε νερό (ως ποσοστό του νερού βάρους) δεν είναι καλός δείκτης της υδατικής καταπόνησης, διότι μικρές αλλαγές στην περιεκτικότητα του νερού αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες αλλαγές του RWC και δεν είναι γνωστή πια ακριβώς η συσχέτιση του με το υδατικό δυναμικό. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι δεν είναι σωστό να

χρησιμοποιηθεί μία μόνο παράμετρος ως δείκτης της υδατικής καταπόνησης, εκτός από μερικές περιπτώσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις ένας συνδυασμός του υδατικού δυναμικού και του σχετικού υδατικού περιεχομένου ή του δυναμικού σπαργής δίνει μία επαρκή εικόνα του μεγέθους της υδατικής καταπόνησης.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟΜΑΤΩΝ

Η μείωση της στοματικής αγωγιμότητας των φυτών που αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες αλατότητας οφείλεται τόσο στην οσμωτική επίδραση όσο και στην τοξική επίδραση του Na^+ , όπως φαίνεται και από τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ περιεκτικότητας Na^+ και αφομοίωσης CO_2 , που αποδεικνύει την επίδραση του ιόντος στην μείωση της στοματικής αγωγιμότητας (Plaut, 1995).

Τα στομάτια είναι ευαίσθητα στην υδατική κατάσταση του φύλλου, με τάση να κλείνουν με μείωση του υδατικού δυναμικού των φύλλων (Jarvis, 1980; Ludlow, 1980). Η αντίσταση τους εξαρτάται από τον αριθμό των στομάτων ανά μονάδα φυλλικής επιφάνειας και από τη μορφολογία του στοματικού πόρου. Η μεταβολή του στοματικού ανοίγματος που επιτυγχάνεται από τη μεταβολή της σπαργής των καταφρακτικών κυττάρων, προκαλεί το κλείσιμο των στομάτων, που είναι η βασική αντίδραση του φυτού στο υδατικό έλλειμμα.

Γενικά είναι παραδεκτό ότι στα περισσότερα φυτά η αγωγιμότητα των στομάτων δεν επηρεάζεται από τη μείωση του υδατικού δυναμικού των φύλλων μέχρι μιας οριακής τιμής, πέρα της οποίας η αγωγιμότητα των στομάτων μειώνεται γρήγορα (Turner, 1974). Η τιμή αυτή είναι χαμηλότερη όταν τα φυτά έχουν υποβληθεί σε υδατική καταπόνηση (Jones and Pawson, 1979).

ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΠΝΟΗ

Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των γλυκοφύτων μειώνεται με την αύξηση της αλατότητας στη ριζόσφαιρα των φυτών (Ziska et al., 1990; Tattini et al., 1995). Η μείωση της φωτοσύνθεσης αποδίδεται στην επίδραση της αλατότητας σε παράγοντες που έχουν σχέση με την συμπεριφορά των στομάτων ή και σε άλλους παράγοντες (Walker et al., 1981, 1982).

Ο έλεγχος της φωτοσύνθεσης δια μέσου των στομάτων κυριαρχεί, όταν το φυτό δεν μπορεί να ρυθμίσει τις υδατικές του σχέσεις μέσω της

οσμωρύθμισης. Αλλά, ακόμα και όταν ευαίσθητα στα άλατα φυτά έχουν μηχανισμό οσμωρύθμισης, τα απορροφούμενα άλατα παρεμβαίνουν στις βιοχημικές διεργασίες (Flowers et al., 1977). Έτσι, η μείωση της φωτοσύνθεσης αποδίδεται σε παράγοντες μη-σχετικούς με τα στόματα (non stomatal factors). Φαίνεται ότι η επίδραση της αλατότητας στη φωτοσύνθεση οφείλεται στην τοξικότητα ιόντων και όχι στην έλλειψη νερού, αφού μεγαλύτερη μείωση της συγκέντρωσης CO₂ στους μεσοκυττάριους χώρους παρατηρήθηκε με συνθήκες αλατότητας από ότι με υδατική καταπόνηση, παρόλο που το υδατικό δυναμικό των φύλλων ήταν ακριβώς το ίδιο (Playt, 1995).

Η φωτοσύνθεση και η διαπνοή έχουν διαφορετική εξάρτηση από τη στοματική αγωγιμότητα. Κάτω από σταθερή διαφορά δυναμικού μεταξύ φύλλου - ατμόσφαιρας, η διαπνοή παρουσιάζει γραμμική μεταβολή με τη στοματική αγωγιμότητα, ενώ η φωτοσύνθεση παρουσιάζει σχέση υπερβολής. Δηλαδή υπό ευνοϊκές συνθήκες φωτισμού, υγρασίας και ήπιας υδατικής καταπόνησης, η στοματική αγωγιμότητα μπορεί να είναι πολύ μεγάλη και μερικό κλείσιμο των στομάτων θα μειώσει αρχικά τη διαπνοή, με μικρή επίδραση στη φωτοσύνθεση. Σε συνθήκες χαμηλότερης υγρασίας ή αυξημένης έλλειψης νερού, η στοματική αγωγιμότητα θα είναι μικρότερη, και το κλείσιμο των στομάτων από αυτό το σημείο και μετά θα μειώσει το ίδιο τη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση. Στα περισσότερα οπωροφόρα, που η φωτοσύνθεση και η αγωγιμότητα είναι χαμηλές έχει βρεθεί ότι αγωγιμότητα στομάτων 0,3-0,6 cm·s⁻¹ είναι επαρκής για κορεσμό της φωτοσυνθετικής ικανότητας (Lakso, 1985). Μεταβολές της στοματικής αγωγιμότητας πάνω από αυτές τις τιμές επηρεάζουν κυρίως τη διαπνοή.

Το κλείσιμο των στομάτων, χωρίς κάποια αλλαγή στην αντίσταση του μεσόφυλλου, θα πρέπει να μειώσει τη συγκέντρωση του CO₂ στους μεσοκυττάριους χώρους (C_i), μέχρι να επιτευχθεί μία νέα κατάσταση ισορροπίας μεταξύ ροής και δέσμευσης του CO₂.

Ωστόσο, σε συνθήκες έλλειψης νερού, η συγκέντρωση του CO₂ στους μεσοκυττάριους χώρους συνήθως παραμένει υψηλή, ή τουλάχιστον υψηλότερη από αυτή που αναμένεται από τη μείωση της φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας (Bradford and Hsiao, 1982; Schulze, 1986). Αυτό σημαίνει ότι η αγωγιμότητα του μεσόφυλλο μειώνεται παράλληλα με τη στοματική αγωγιμότητα, όταν μειώνεται η φωτοσύνθεση και συνήθως μεταφράζεται σαν άμεση παρεμπόδιση της φωτοσυνθετικής μηχανής στο επίπεδο των χλωροπλαστών.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ

Τα φύλλα των φυτών που αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες αλατότητας είναι συνήθως παχύτερα, με μεγαλύτερο περιεχόμενο νερού (υδαρή) (Waisel, 1991; Shannon et al., 1994). Αυτή η υδαρότητα αποδίδεται στην οσμωρύθμιση των φυτών, καθώς αυξάνει την εσωτερική επιφάνεια στην οποία γίνεται διάχυση του CO₂ σε σχέση με την επιφάνεια του φύλλου, και μειώνει την εσωτερική υ945 αντίσταση του φύλλου στην απορρόφηση του CO₂. Επίσης η αλατότητα αυξάνει τον αριθμό τριχών, μειώνοντας έτσι την απώλεια νερού μέσω διαπνοής. Η αλατότητα καταστρέφει τις μεμβράνες των κυττάρων και προκαλεί απέκκριση ενώσεων (Hautala κ.α. 1992). Το Ca⁺² εξουδετερώνει την επίδραση του NaCl, όσο αφορά την εκροή ιόντων (Leopold and Willing , 1984; Cramer et al., 1985). Το NaCl προκάλεσε κατάρρευση των κυττάρων του μεσόφυλλου, διάσπαση της εφυμενίδας και των στομάτων, κατάρρευση των κυτταρικών τοιχωμάτων, καταστροφή των χλωροπλαστών και των πυρήνων (Kozlowski, 1997).

ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ

Αλατούχα εδάφη παρουσιάζονται συνήθως σε περιοχές κοντά: α) σε δέλτα ποταμών ή σε παραθαλάσσιες περιοχές που κατακλύζονται εποχιακά από θάλασσα, β) που λόγω ανάγλυφου βρίσκονται στα χαμηλότερα σημεία μία ευρύτερης λεκάνης ή περιοχής, γ) περιοχές με εδάφη μικρής υδατοπερατότητας. Γενικότερα, τα προβλήματα από τα αλατούχα εδάφη είναι εντονότερα σε περιοχές με ημίξηρο και ξηρό κλίμα όπου η εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη ενώ η βροχόπτωση δεν επαρκεί για της ανάγκες έκπλυσης των αλάτων από το έδαφος. Τέλος, αλατούχα εδάφη δημιουργούνται σε αρδευόμενες περιοχές λόγω της κακής ποιότητας του νερού άρδευσης (Μισσοπολινός, 1991).

Σύμφωνα με το U.S. Salinity Laboratory αλατούχα εδάφη θεωρούνται τα εδάφη που παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) στο εκχύλισμα κορεσμού μεγαλύτερη από 4 dS.m⁻¹ και ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) μικρότερο από 15. Επειδή όμως η EC μετράται στο εκχύλισμα κορεσμού, η συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα στην κατάσταση υδατοικανότητας θα είναι περίπου διπλάσια από τη συγκέντρωση του εκχυλίσματος κορεσμού και ακόμα υψηλότερη όταν η υγρασία του εδάφους είναι κάτω από την κατάσταση υδατοικανότητας.

Οι περισσότερες καλλιέργειες και ιδιαίτερα οι δενδρώδεις έχουν πρόβλημα με ηλεκτρικές αγωγιμότητες μεγαλύτερες από 2 dS.m⁻¹. Το pH των αλατούχων εδαφών ποικίλει. Εδάφη με ESP μεγαλύτερο του 15 ονομάζονται αλατούχα- νατριωμένα και έχουν pH > 7 ενώ παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα και προβλήματα 12 αερισμού, όταν απομακρυνθούν τα άλατα. Τα εδάφη αυτά χαρακτηρίζονται από μεγάλους λόγους Na⁺/ Ca⁺⁺ (Maas και Grieve 1987). Τα άλατα που συγκεντρώνονται στο έδαφος μπορεί να προέλθουν από τα πετρώματα και ορυκτά, από αλμυρές λίμνες, την άρδευση με νερό κακής ποιότητας, την υψηλή υπεδάφια στάθμη, την κακή αποστράγγιση του εδάφους και την μικρή βροχόπτωση, την τοπογραφία, την ύπαρξη αδιαπέραστων στρωμάτων στο έδαφος, την υψηλή εξατμισοδιαπνοή και την ανοδική κίνηση του νερού (Θεριός, 1996).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Τα πείραμα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Βοτανικής του Α.Τ.Ε.Ι της Θεσσαλονίκης από 18/11/2008 ως 19/12/2008. Για την πραγματοποίηση του χρησιμοποιήθηκε το φυτό καλαμπόκι. (*Zea mays L.*)

A . ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Προβλάστηση

Έγινε απολύμανση των σπόρων με τα εξής τρία διαλύματα: α) Διχλωριούχο υδράργυρο (HgCl_2) 0,2 M, β) Αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικό οξύ (EDTA) 0,03M, γ) Χλωριούχο Κάλιο (KCl) 0,1M. Διαδοχικά οι σπόροι αιωρήθηκαν με τα τρία διαλύματα ανά δέκα λεπτά για κάθε διάλυμα.

Η προβλάστηση του καλαμποκιού έγινε σε θερμοστατικό κλίβανο θερμοκρασίας $23 \pm 1^\circ\text{C}$ για 5 ημέρες στο σκοτάδι, σε πλαστικούς δίσκους με τρία φύλλα διηθητικού χαρτιού και προσθήκη απεσταγμένου νερού.

Ανάπτυξη φυτών (συνθήκες καλλιέργειας)

Τα αρτίβλαστα (μήκους ρίζας περίπου 1,5cm) μεταφέρθηκαν σε θάλαμο ανάπτυξης όπου και έγινε υδροπονική καλλιέργεια. Οι συνθήκες στο θάλαμο ήταν: σχετική υγρασία 80%, φωτοπερίοδος: 16ώρες φως-8 ώρες σκοτάδι, θερμοκρασία 23°C , σχετική υγρασία 80% και ένταση

φωτός $350\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Χρησιμοποιήθηκαν πλαστικές γλάστρες με δίχτυ. Όλα τα φυτά τοποθετήθηκαν πρώτα για δύο μέρες σε τροποποιημένο θρεπτικό διάλυμα Hoagland (pH 5,5) με συγκέντρωση 1/10 για τα μακροστοιχεία και 1/1 για τα μικροστοιχεία αντίστοιχα. Αναλυτικά η χημική σύσταση του Hoagland ήταν η ακόλουθη: Μακροστοιχεία N: 1,6mM, Ca: 0,6mM, P: 0,2mM, S: 0,1mM, Mg: 0,1mM, και Μικροστοιχεία Fe: 20 μ M, Cl: 50 μ M, B: 25 μ M, Mn: 2 μ M, Zn: 2 μ M, Cu: 0,5 μ M, Mo: 0,5 μ M (Giannakoula et al., 2008).



Μετρήσεις μήκους των φυτών

Τα φυτά βγήκαν προσεκτικά από τις γλάστρες με το δίχτυ και έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις του υπέργειου τμήματος.

Μέτρηση της Φωτοσύνθεσης

Μέτρηση φθορισμού χλωροφύλλης

Η φωτεινή ακτινοβολία που απορροφάται από τη χλωροφύλλη ακολουθεί μια από τις εξής πορείες: α) μετατρέπεται σε φωτοχημική ενέργεια στο φωτοσύστημα II (PSII) για την αναγωγή του CO₂ β) χάνεται ως θερμότητα γ) εκπέμπεται ως φθορισμός δ) μεταφέρεται για την διέγερση των γειτονικών χρωστικών μορίων στο PSI.

Οι δρόμοι αυτοί είναι ανταγωνιστικοί με αποτέλεσμα οποιαδήποτε αλλαγή στο ρυθμό της φωτοσύνθεσης και την εκπομπή θερμότητας προκαλεί μεταβολή και στον εκπεμπόμενο φθορισμό. Είναι γνωστό (Krause & Weis, 1991) ότι σε θερμοκρασία δωματίου, η εκπομπή του φθορισμού της χλωροφύλλης προέρχεται από τα μόρια της χλωροφύλλης α η οποία σχετίζεται με το φωτοσύστημα II (PSII).

Γρήγορη και αργή φάση επαγωγής φθορισμού

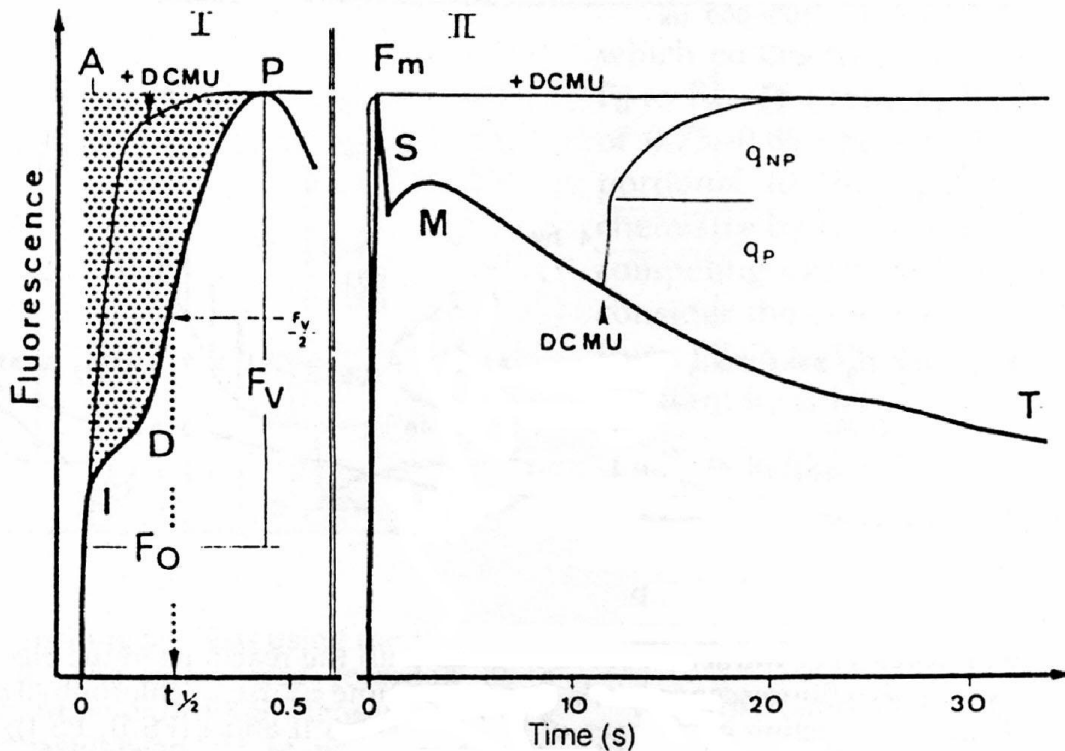
Ο εκπεμπόμενος φθορισμός της χλωροφύλλης α του φύλλου παρουσιάζει δύο μέγιστα, το πρώτο στα 690nm και το δεύτερο στα

750nm. Το διεγείρον φως του οργάνου μας προερχόταν από ερυθρό φως με μέγιστο εκπομπής στα 670nm ενώ η ένταση του ουσιαστικά μηδενίζεται μετά τα 700nm. Η ανίχνευση του εκπεμπόμενου φθορισμού γίνεται μέσω φωτοδιόδου, πριν από το οποίο παρεμβάλλεται φίλτρο, διαπερατό σε μήκη κύματος πέρα από τα 700nm. Έτσι αποφεύγεται η παρεμβολή που προκαλεί στο ανιχνευόμενο σήμα φως μήκους κύματος μικρότερου από 700nm που αντανακλάται από την επιφάνεια του φύλλου. Στην περίπτωση που τα φύλλα φωτίζονται συνεχώς, εκπέμπουν σταθερή ένταση φθορισμού, ο οποίος όμως μας δίνει ελάχιστες πληροφορίες για την κατάσταση του φύλλου με αποτέλεσμα όλες οι μελέτες του φθορισμού να λαμβάνουν χώρα με ξαφνική ακτινοβολία, έπειτα από μια περίοδο προσαρμογής για ορισμένο χρονικό διάστημα στο σκοτάδι.

Η κινητική της επαγωγής του φθορισμού της χλωροφύλλης (Kautsky & Hirsch, 1931) που προκύπτει από τα παραπάνω καλείται τυπική καμπύλη φθορισμού γνωστή ως φαινόμενο Kautsky (Kautsky effect). Ο φθορισμός που εκπέμπεται μετράται σε αυθαίρετες μονάδες) (Σχήμα 1).

Η κινητική της επαγωγής του φθορισμού της χλωροφύλλης (Kautsky & Hirsch, 1931) που προκύπτει από τα παραπάνω καλείται τυπική καμπύλη φθορισμού γνωστή ως φαινόμενο Kautsky (Kautsky effect). Ο φθορισμός που εκπέμπεται μετράται σε αυθαίρετες μονάδες.

(Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Χαρακτηριστική κινητική επαγωγής φθορισμού της χλωροφύλλης ή φαινόμενο Kautsky. Διακρίνονται τα επίπεδα O, I, D, P, S, M, T, καθώς και η γρήγορη (OIDP) και αργή (PSMT) φάση κινητικής.

Σύμφωνα με το φαινόμενο Kautsky ο φθορισμός (F) ενός φύλλου που φωτίζεται με απότομο συνεχές φως μετά από παραμονή του στο σκοτάδι ξεκινά από ένα αρχικό επίπεδο O (F₀) που αντιστοιχεί στον βασικό φθορισμό της φωτοσυνθετικής συσκευής που εκπέμπεται όταν όλα τα κέντρα αντίδρασης είναι “ανοιχτά” δηλαδή πριν διεγερθεί το PSII.

Όλοι οι αρχικοί δέκτες ηλεκτρονίων του PSII (Q_A, Q_B) οξειδώνονται πλήρως και οι φωτοχημικές διεργασίες δύναται να πετύχουν το μέγιστο ρυθμό τους. Η επαγωγή φθορισμού εκφράζεται από χαρακτηριστικές φάσεις και συγκεκριμένα επίπεδα, όπως O, I, D, P, S, M, T (Parageorgiou, 1975). Την χρονική στιγμή (απαιτείται λιγότερο από 2 sec για να φθάσει ο φθορισμός στο μέγιστο επίπεδο) που η ένταση του διεγειρομένου φωτός φθάνει το επίπεδο κορεσμού ο αρχικός φθορισμός

ανέρχεται σε ένα μέγιστο επίπεδο (P) που αντιστοιχεί στην αναγωγή της πλαστοκινόνης PQ αφού πρώτα περάσει ένα ενδιάμεσο επίπεδο που αντιστοιχεί στην αναγωγή του Q_A και μιας χαμηλότερης κάμψης D. Η αυξητική πορεία του φθορισμού από το επίπεδο O στο επίπεδο P επιτυγχάνεται με παράλληλη μείωση της φωτοχημικής ικανότητας και αντίστοιχα σε κλείσιμο των κέντρων αντίδρασης.

Μετά το μέγιστο (P) ο φθορισμός σταδιακά μειώνεται για τους εξής λόγους: α) εξαιτίας της απόσβεσης (quenching) του φθορισμού β) εξαιτίας της ροής ηλεκτρονίων προς τα κέντρα αντίδρασης του PSI. Ο μέγιστος φθορισμός (Fm) προσεγγίζεται όταν όλα τα αποθέματα του πρωταρχικού δέκτη Q_A έχουν πλήρως αναχθεί οπότε και στο σημείο αυτό η φωτοχημική ικανότητα θεωρείται μηδέν. Στην συνέχεια, η φωτοχημική ικανότητα αυξάνεται καθώς ξεκινά η ροή ηλεκτρονίων από την Q_A προς τα κέντρα αντίδρασης του PSI ενώ ο φθορισμός μειώνεται (S). Το σύνολο των επιπέδων O-IDP ορίζεται ως **γρήγορη φάση κινητικής επαγωγής του φθορισμού** και η όλη πορεία διαρκεί περίπου 0,5sec. Ο φθορισμός συνεχίζει να μειώνεται και περνάει από ένα δεύτερο μέγιστο (M) όπου σηματοδοτείται η έναρξη αφομοίωσης CO_2 (Ireland et al., 1984) και τέλος καταλήγει έπειτα από 35sec περίπου στο τελικό επίπεδο μιας σταθερής τιμής T, όπου η τιμή του φθορισμού είναι παρεμφερής με την αρχική του επιπέδου O (F_0) που αντιστοιχεί στην αποκατάσταση σταθερού ρυθμού αφομοίωσης CO_2 (Ireland et al., 1984; Schreiber & Bilger, 1987). Η πτώση από το μέγιστο (P) στο ελάχιστο επίπεδο (T), φθορισμού καλείται **αργή φάση κινητικής επαγωγής του φθορισμού**.

Η διαφορά μεταξύ μέγιστου και αρχικού φθορισμού καλείται μεταβλητός φθορισμός χλωροφύλλης ($F_v = F_m - F_0$). Ο λόγος F_v/F_m του μεταβλητού φθορισμού προς το μέγιστο φθορισμό είναι ένας πολύ χρήσιμος δείκτης της φωτοχημικής ικανότητας των φυτών. Ο λόγος αυτός όπως έχει προηγουμένως μελετηθεί (Demming & Bjorkman, 1987)

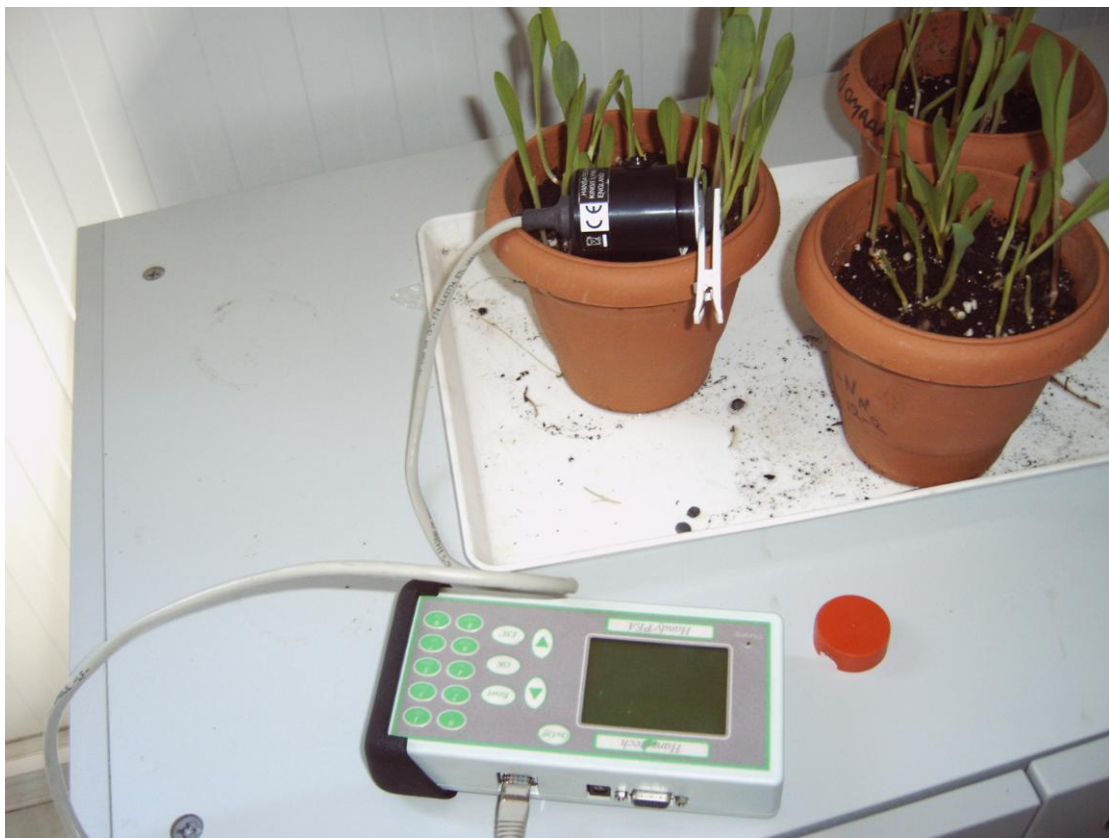
είναι ευθέως ανάλογος με την απόδοση της φωτοσύνθεσης ανά φωτόνιο. Αποτελεί έτσι μια καλή ένδειξη φωτοανασταλτικών βλαβών που πιθανώς να προέρχονται από διάφορες μορφές περιβαλλοντικής καταπόνησης (ξηρασία, ασθένειες, βαρέα μέταλλα) (Bolhar–Nordenkampf et al., 1989).

Πειραματική διαδικασία

Ο φθορισμός της χλωροφύλλης μετρήθηκε με μια ρυθμιζόμενη και χαμηλής έντασης ακτινοβολία από εκπεμπόμενο φως διόδων (διέγερσης μήκος κύματος στα 655nm, ανίχνευση πάνω από 700nm) χρησιμοποιώντας ένα φορητό παλμικό ρυθμιζόμενο φθορισμόμετρο (Pea ,Hansatech Walz, Germany) όπως περιγράφηκε από τους Shreiber, Schliwa & Bilger (1986). Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην πάνω επιφάνεια των φύλλων, μετά από μισής ώρας παραμονή τους στο σκοτάδι.

Το όργανο αποτελείται από τρεις μονάδες: α) τους συνδετήρες φύλλου (leafclips) που χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή του αισθητήρα (sensor) και διαθέτουν ειδικό κλείστρο για να κρατούν το φύλλο στο σκοτάδι β) τη μονάδα ελέγχου (control box) για αποθήκευση και επεξεργασία των μετρήσεων γ) τη μονάδα του αισθητήρα (sensor unit) που εκπέμπει ερυθρό φωτισμό. Η κεφαλή μέτρησης του αισθητήρα: ι) φωτίζει τον ιστό και ιι) ανιχνεύει και καταγράφει τα επαγόμενα σήματα του φθορισμού. Αποτελείται από 6 διόδους εκπομπής φωτός υψηλής έντασης (LEDs) που φωτίζουν ομοιόμορφα την επιφάνεια φύλλου (διάμετρος 4mm) με μέγιστη φωτεινή ένταση 630Wm^{-2} . Ο φθορισμός που εκπέμπεται από τον φωτοσυνθετικό ιστό περνάει μέσα από ένα οπτικό φίλτρο και φθάνει στον ανιχνευτή ο οποίος απορροφά τα μεγάλα

μήκη κύματος και ανακλά το μικρότερο μήκους κύματος φωτός που προέρχεται από τα LEDs. Η μονάδα του αισθητήρα συνδέεται με ένα καλώδιο με τη συσκευή ελέγχου που έχει και όλα τα ηλεκτρονικά μέρη του PEA.



Φορητό παλμικό ρυθμιζόμενο φθορισμόμετρο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις. Αρχικά έγιναν οι πρώτες μετρήσεις, της χλωροφύλλης, στις διάφορες παραμέτρους του φυτού και μετά από δεκαπέντε μέρες ακολούθησαν οι δεύτερες επαναληπτικές μετρήσεις. Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται οι τιμές όπως καταγράφηκαν από τις πρώτες μετρήσεις.

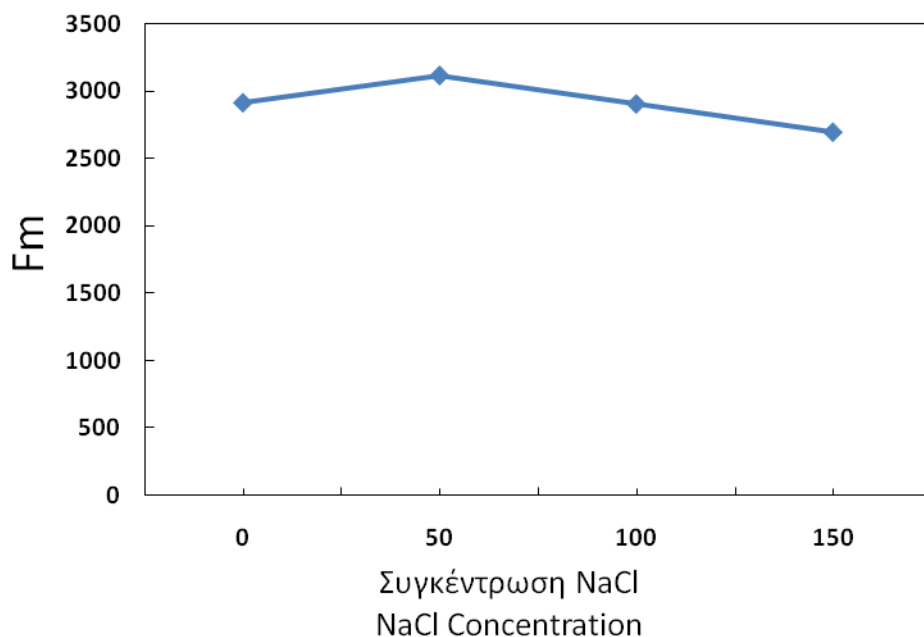
Πίνακας 1. Τιμές διαφόρων παραμέτρων φθορισμού χλωροφύλλης

Zea mays								
Μεταχείριση/ Treatment	Fo	Fm	Fv/Fm	Area	Tm	P. Index	Fv	Fv/Fo
control	448	2268	0,802	23600	90	1,334	1820	4,063
	416	2139	0,806	24200	90	1,611	1723	4,142
	695	3542	0,803	46300	90	2,847	2847	4,096
	722	3715	0,805	50900	90	2,993	2993	4,145
	379	2401	0,842	27000	90	2,674	2022	5,335
50mmol	585	3233	0,819	61700	90	2,453	2648	4,526
	698	3837	0,818	52000	90	3,139	3139	4,497
	512	2994	0,828	46600	90	2,482	2482	4,848
	768	3229	0,762	72800	90	2,461	2461	3,204
100mmol	743	3141	0,763	46000	90	2,398	2398	3,227
	957	3844	0,751	65000	90	2,887	2887	3,017
	322	1413	0,772	23500	90	1,091	1091	3,388
	1007	3385	0,683	21700	90	2,315	2378	2,361
	1108	3655	0,696	28800	90	2,547	2547	2,299
150mmol	531	1843	0,712	21800	90	1,458	1312	2,471
	500	1915	0,738	28900	90	1,415	1415	2,830

Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα:

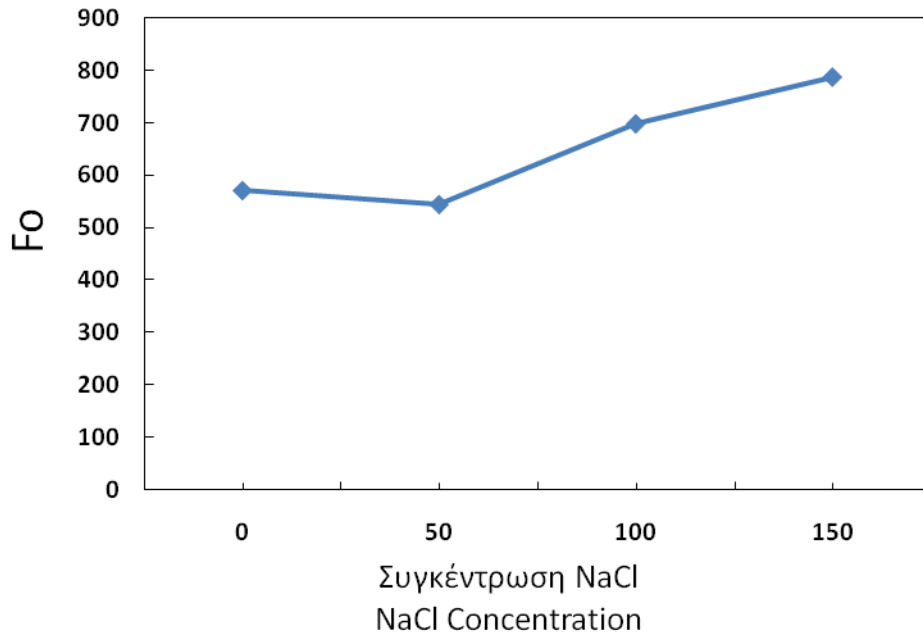
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1^{ης} ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι πρώτες μετρήσεις της χλωροφύλλης, μετά την επέμβαση-επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0, 50, 100, 150 μM) μας έδωσαν τις εξής τιμές-αποτελέσματα:

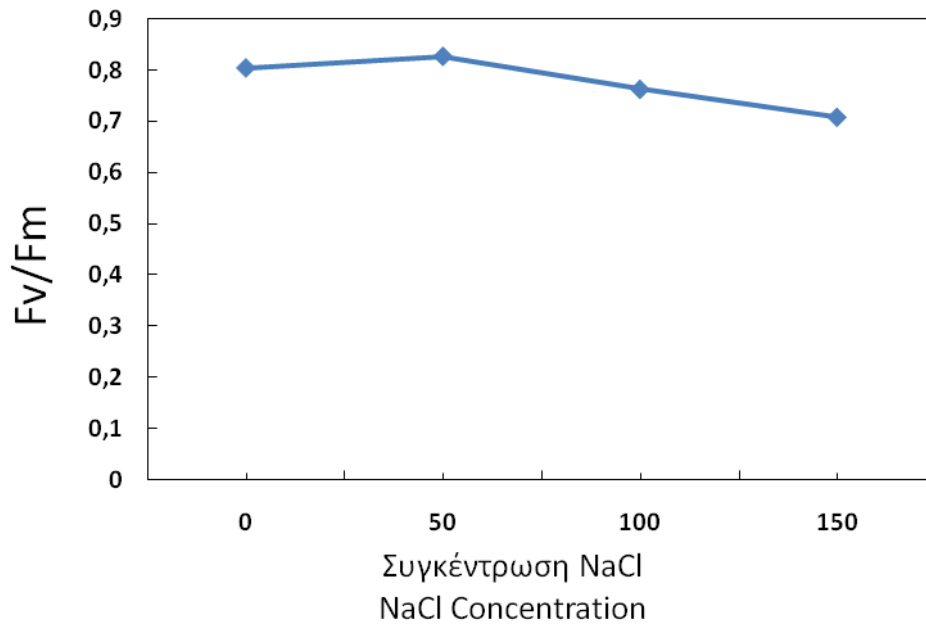


Σχήμα 2: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στην παράμετρο του μέγιστου φορισμού.

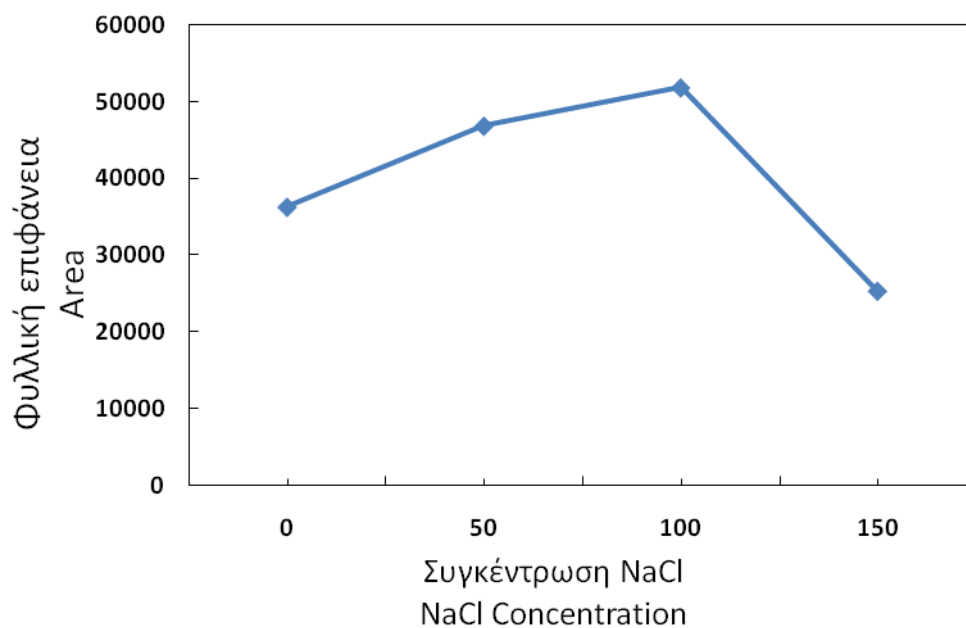
Figure 2: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Fm.



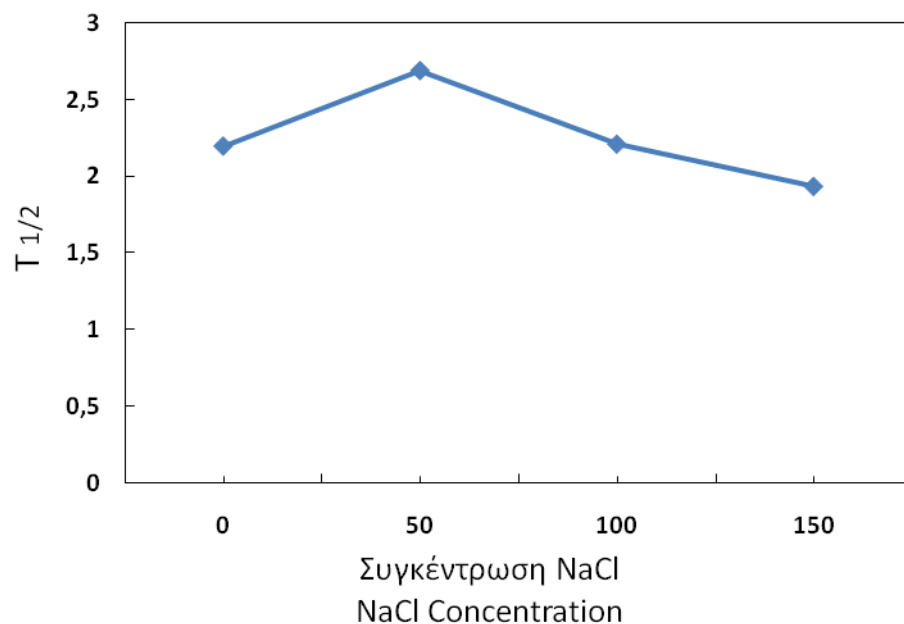
Σχήμα 3: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στην παράμετρο του αρχικού φθορισμού.
Figure 3: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Fo.



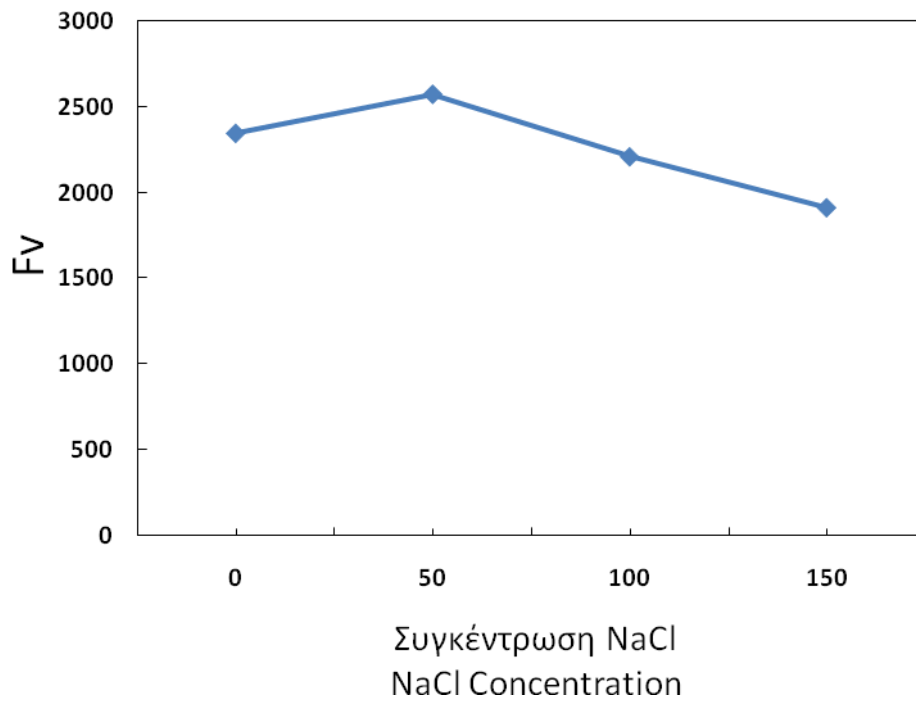
Σχήμα 4: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στο λόγο Fv/Fm
Figure 4: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Fv/Fm.



Σχήμα 5: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στη παράμετρο φυλλικής επιφάνειας.
Figure 5 : Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Area.

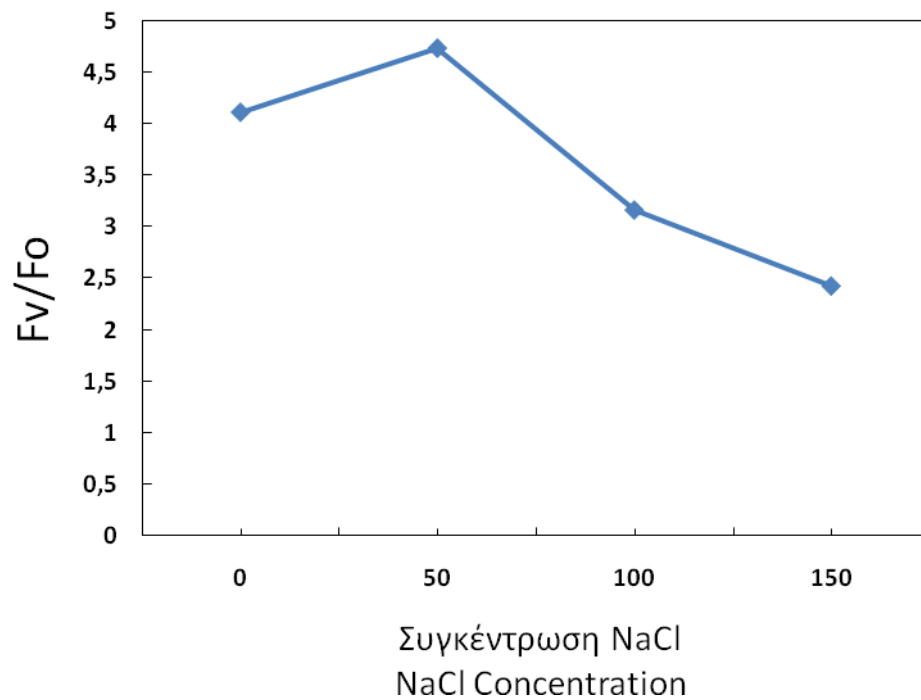


Σχήμα 6: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στο χρόνο T_{1/2} που χρειάζεται για να φτάσει στο μέγιστο φορτισμό.
Figure 6: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on T_{1/2}.



Σχήμα 7: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στο μεταβλητό φθορισμό.

Figure 7: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Fv.



Σχήμα 8: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στο λόγο Fv/Fo.

Figure 8: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Fv/Fo.

Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται οι τελικές τιμές των επαναληπτικών μετρήσεων:

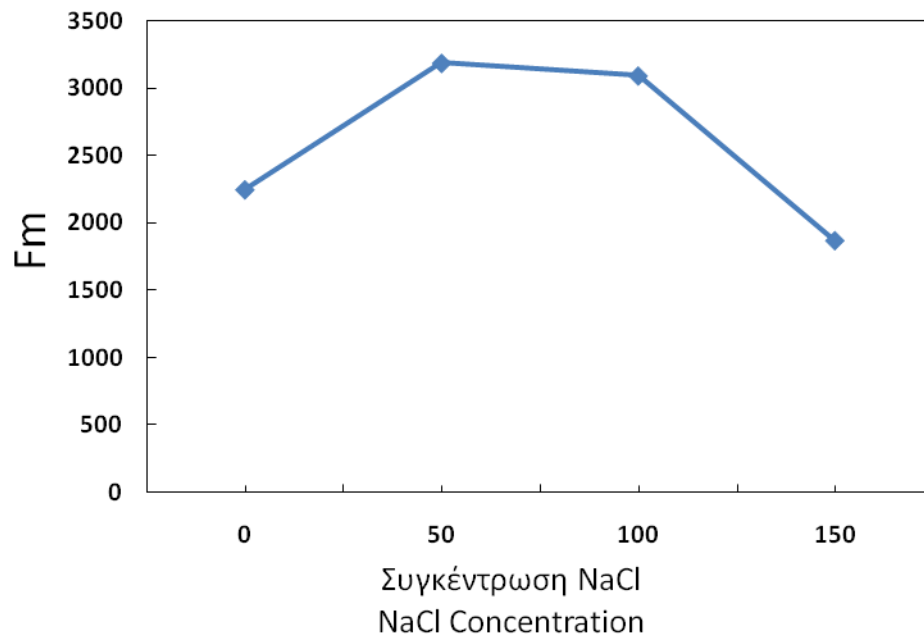
Πίνακας 2. Τιμές διαφόρων παραμέτρων φθορισμού χλωροφύλλης

Zea mays								
Μεταχείριση/ Treatment	F_o	F_m	F_v/F_m	Area	T_m	P. Index	F_v	F_v/F_o
control	414	2023	0,795	45800	90	5,178	1609	3,886
	460	2248	0,795	29200	90	5,908	1788	3,887
	524	2628	0,801	33400	90	5,531	2104	4,015
	420	2097	0,799	44800	90	1,676	1677	3,993
	519	3360	0,845	77500	90	2,841	2841	5,474
50mmol	430	2511	0,829	36200	90	2,047	2081	4,840
	548	3525	0,844	57300	90	2,977	2977	5,432
	519	3360	0,845	77500	90	2,841	2841	5,474
	684	3048	0,775	48500	90	2,364	2364	3,456
100mmol	838	3377	0,754	26540	90	2,6	2539	3,030
	957	3844	0,751	65000	90	2,887	2887	3,017
	471	2112	0,777	32200	90	2,298	1641	3,484
	485	1552	0,688	22800	90	1,393	1067	2,200
	435	1680	0,741	20200	90	1,525	1245	2,862
150mmol	395	1546	0,745	21000	90	2,049	1151	2,914
	810	2708	0,701	34200	90	0,421	1898	2,343

Με βάση τις τιμές των επαναληπτικών μετρήσεων καταλήξαμε στα εξής αποτελέσματα:

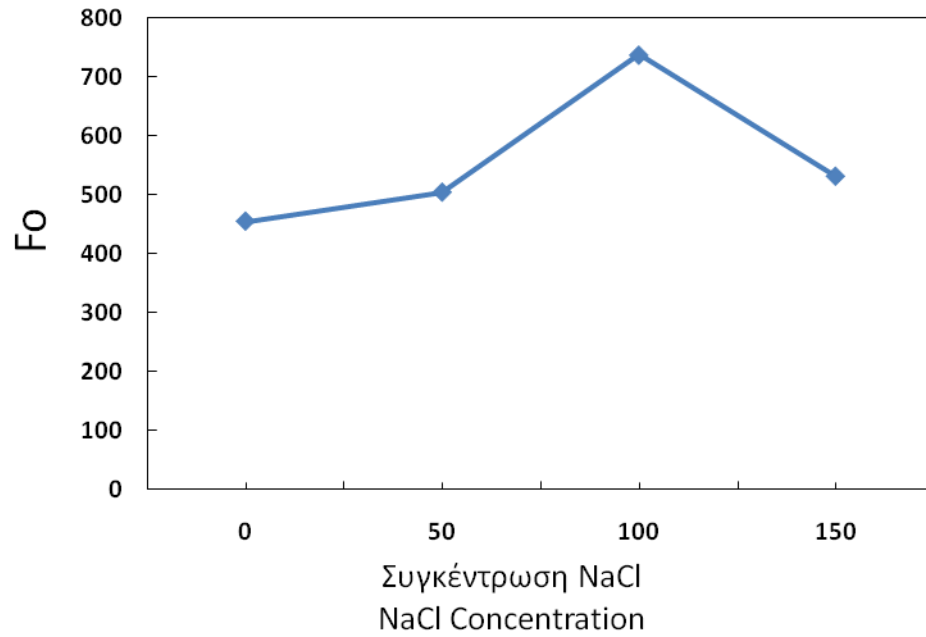
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2^{ης} ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Ύστερα από δεκαπέντε μέρες πραγματοποιήθηκε επανάληψη κάποιων μετρήσεων και βρήκαμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

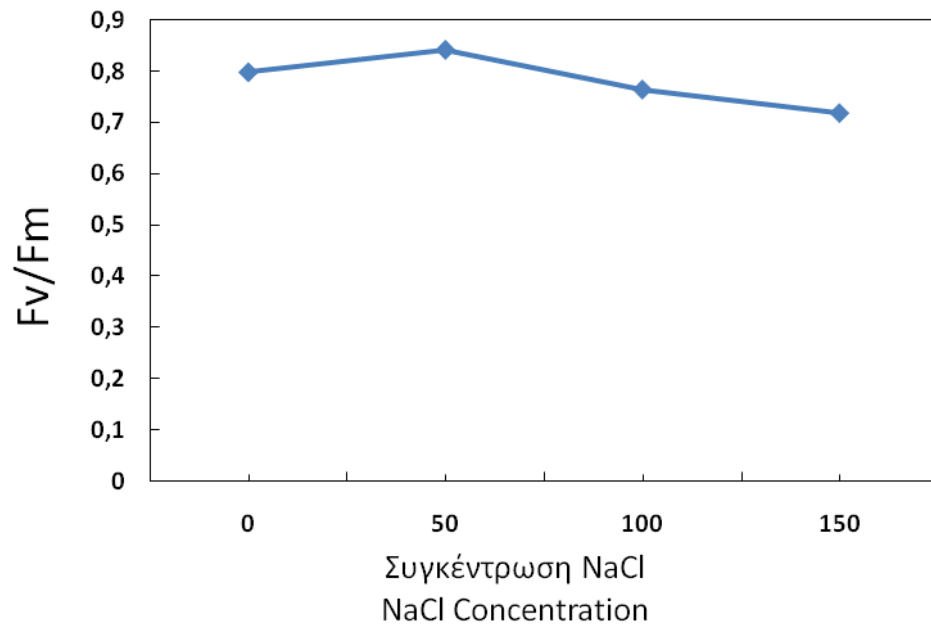


Σχήμα 9: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στην παράμετρο του μέγιστου φορισμού.

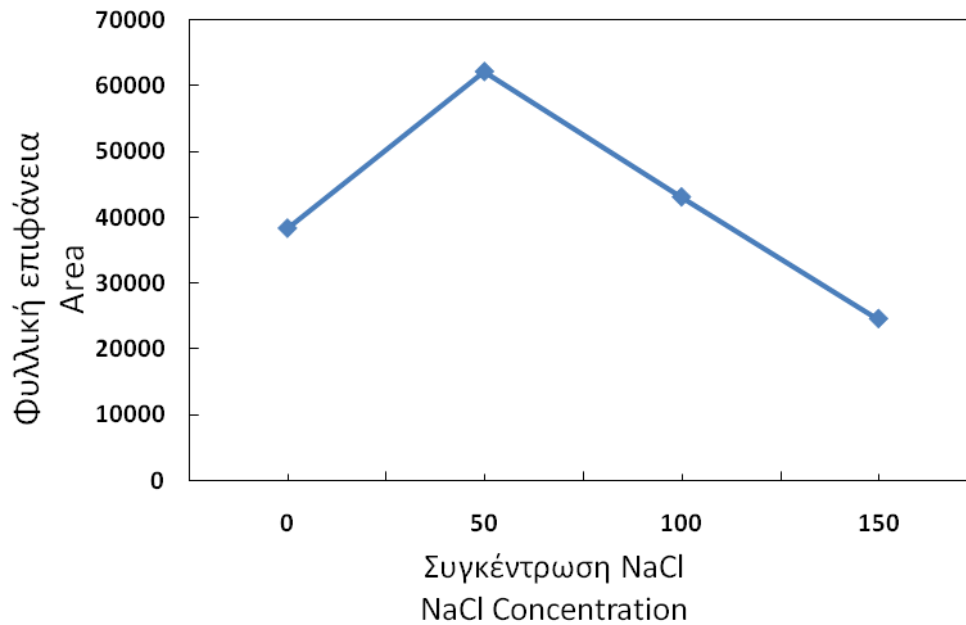
Figure 9: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Fm.



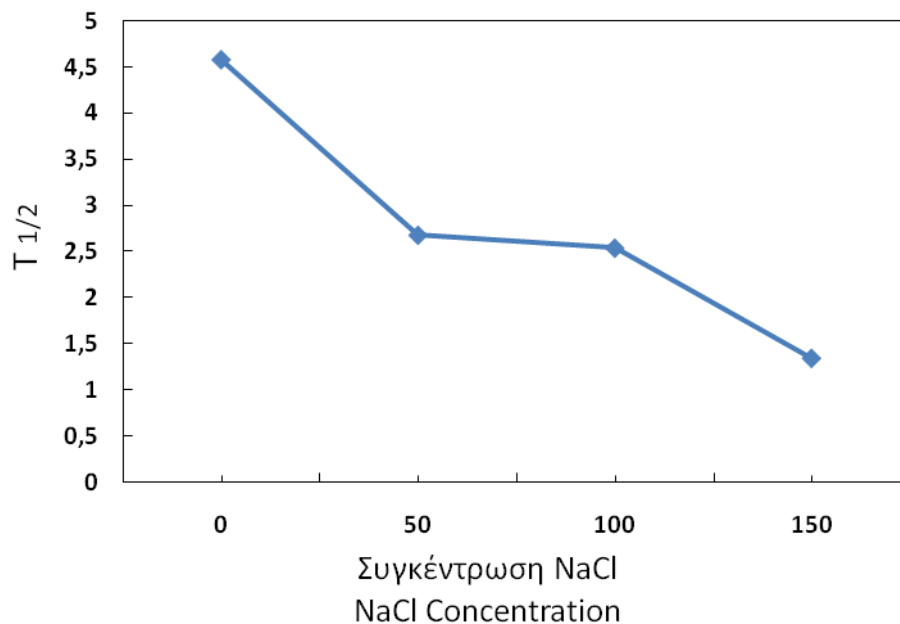
Σχήμα 10: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στην παράμετρο του αρχικού φθορισμού.
Figure 10: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Fo.



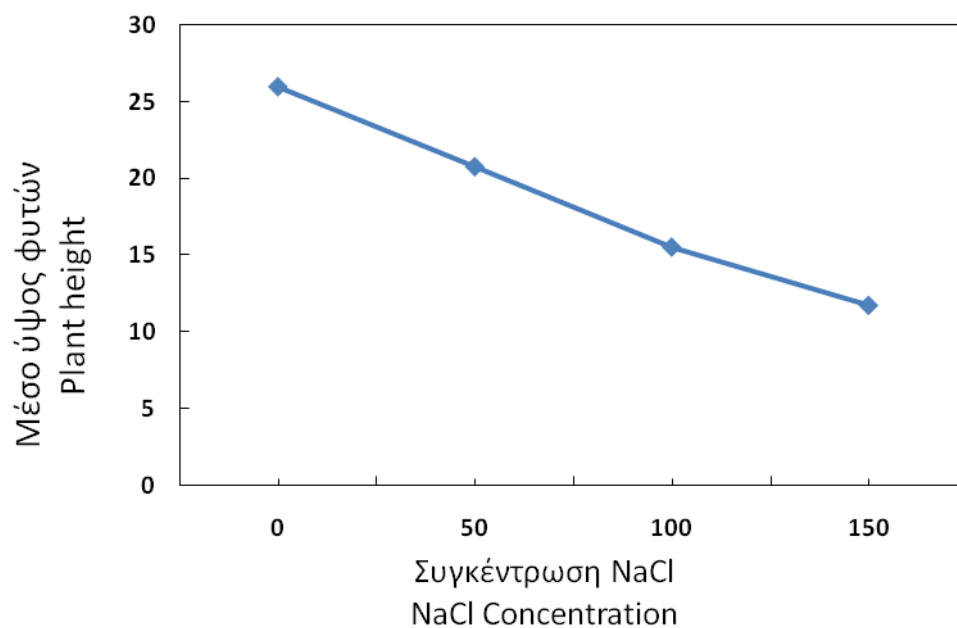
Σχήμα 11: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στο λόγο Fv/Fm.
Figure 11: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Fv/Fm.



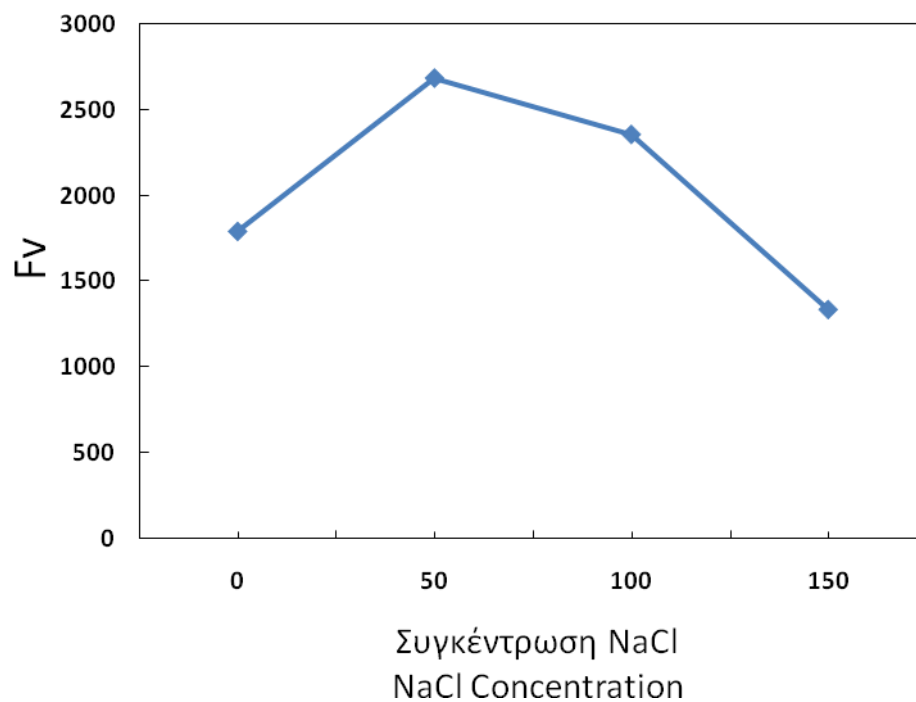
Σχήμα 12: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στη παράμετρο φυλλικής επιφάνειας
Figure 12: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Area.



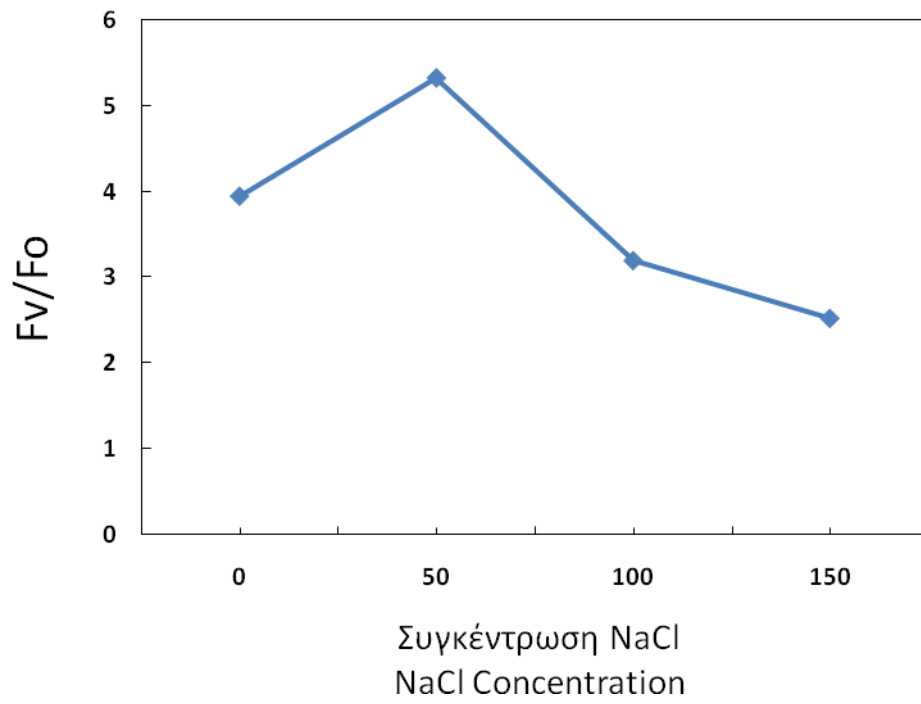
Σχήμα 13: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στο χρόνο T_{1/2} που χρειάζεται για να φτάσει στο μέγιστο φορτισμό.
Figure 13: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on T_{1/2}.



Σχήμα 14: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μ M) στην παράμετρο του ύψους των φυτών.
Figure 14: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μ M) on plant height.



Σχήμα 15: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μ M) στο μεταβλητό φθορισμό.
Figure 15: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μ M) on Fv.



Σχήμα 16: Επίδραση του NaCl σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,50,100,150 μM) στο λόγο Fv/Fo.
Figure 16: Effect of NaCl on different NaCl concentration (0,50,100,150 μM) on Fv/Fo.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η επίδραση της αλατότητας στη φυσιολογία των φυτών αποτελεί σοβαρό πρόβλημα. Γενικά θεωρούμε ότι είναι βλαβερά για τα φυτά, όταν παρουσιάζονται σε μεγάλες ποσότητες. Η πρώτη αντίδραση των φυτών στην αλατότητα είναι η μείωση της αύξησης τους, η οποία οφείλεται στην έλλειψη νερού, στην τοξικότητα και στην ανισορροπία των ιόντων. Επίσης παρουσιάζεται μείωση της στοματικής αγωγιμότητας των φυτών, εξαιτίας της οσμωτικής και τοξικής επίδρασης. Τα στομάτια είναι ευαίσθητα, με τάση να κλείνουν. Προκαλείται μείωση της φυλλικής επιφάνειας, λόγω πρόωρης γήρανσης των φύλλων, η οποία οφείλεται στη μη αντιστρεπτή αναστολή της φωτοσύνθεσης, ενώ ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης μειώνεται με την αύξηση της αλατότητας. (Ziiska et al., 1990; Tattini et al., 1995).

Από την αξιολόγηση και μελέτη των αποτελεσμάτων του πειράματος παρατηρούμε ότι η αλατότητα επιδρά στη ρίζα, αλλά και στο βλαστό των φυτών, προκαλώντας μείωση της αύξησής τους (Cramer et al., 1988).

Στο μέγιστο φθορισμό, f_m , τα αποτελέσματα μας φανερώνουν σημαντική αύξηση στα 50 ml NaCl, που πιθανόν να οφείλονται στην αντίδραση του φυτού, στο stress. Ωστόσο κατακόρυφη μείωση του f_m παρουσιάζεται στην μεγαλύτερη συγκέντρωση NaCl, δηλαδή στα 150 μM (σχήμα 2, 9), που πιθανόν να μας δείχνει ότι τι φυτό μας σρεσάρετε αρκετά. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν γίνει σε προγενέστερες εργασίες της Giannakoula et al., (2008).

Σημαντική αύξηση του αρχικού φθορισμού, f_0 , παρατηρείται στα 100 και 150 μM (σχήμα 3, 10). Τα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες των Schreiber και Armond, (1978). Σύμφωνα με τους Schreiber & Armond η αύξηση παρεμπόδισης της μεταφοράς της ενέργειας ενεργοποίησης από τις αντένες του PSII στα ενεργά κέντρα αντίδρασης έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο του αρχικού επιπέδου φθορισμού. Επίσης οι Bolhar-Nordenkamp et al. (1989) προσθέτουν ότι η ολική ή μερική βλάβη των κέντρων αντίδρασης του PSII συντελεί στην αύξηση του F_0 .

Ο λόγος f_v/f_m που μας δείχνει τη μέγιστη φωτοχημική απόδοση, παρουσιάζει αύξηση στα 50 μM και σημαντική μείωση στα 150 μM , σχήμα 4, 11). Παρόμοια αποτελέσματα υπάρχουν στην εργασία του Kofidis et al., (2007).

Η φυλλική επιφάνεια του φυτού, παρουσιάζει αύξηση στα 50 και 100 μM του NaCl, ενώ στην υψηλότερη συγκέντρωση των 150 μM , έχουμε αξιοσημείωτη πτώση της area (σχήμα 5, 12). Τα αποτελέσματα αυτά

συμπίπτουν με προηγούμενη εργασία του Kofidis et al., (2007), ο οποίος αναφέρει πως η φυλλική επιφάνεια επηρεάζεται στις υψηλές συγκεντρώσεις.

Ο μισός χρόνος $T_{1/2}$ που απαιτείται για να φτάσει η επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων NaCl στο μέγιστο φθορισμό, μας δίνει μέγιστες τιμές στα 0 μM και κατακόρυφη πτώση στα 150 (σχήμα 6, 13). Τα δεδομένα αυτά είναι σε απόλυτη συμφωνία με κάποιες εργασίες της παγκόσμιας βιβλιογραφίας, αφού στις περισσότερες των περιπτώσεων, ο χρόνος παρουσιάζει θεαματική μείωση, εξαιτίας του stress που δέχεται το φυτό στις μεγάλες συγκεντρώσεις NaCl.

Το μέσος ύψος του φυτού μας (σχήμα 14), μετά την επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων, εμφανίζει αύξηση μόνο στα 0 μM , ενώ από τα 50 μM υπάρχει φανερή και σταδιακή πτώση-μείωση του ύψους. Στις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούμε πτώση του ύψους, επειδή το φυτό μας υπόκειται σε καταπονήσεις, με αποτέλεσμα τη μείωση του ύψους του.

Ο μεταβλητός φθορισμός f_v , παρουσιάζει αύξηση στην συγκέντρωση των 50 μM NaCl (σχήμα 7, 15). Τα δεδομένα αυτά συμπίπτουν απόλυτα με προηγούμενες μελέτη του Papageorgiou (1975) ο οποίος υποστήριξε ότι η τιμή F_v (μεταβλητός φθορισμός) αντανάκλα την ισοροπία ανάμεσα στο Q_A και το Q_B . με αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής F_v του φθορισμού, η οποία συμπίπτει με την επιβράδυνση της ροής ηλεκτρονίων στο φωτοσύστημα II.

Στο λόγο f_v/f_0 υπάρχει μέγιστη αύξηση στα 50 μM (σχήμα 8, 16) και απότομη μείωση στα 150 μM NaCl. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν γίνει σε προγενέστερες εργασίες του Kofidis et al., (2007).

Επειδή το πρόβλημα της αλατότητας θεωρείται σημαντικό, η πιο πιθανή λύση είναι οι ανθεκτικές ποικιλίες και οι γενετικά βελτιωμένες και καθαρές σειρές, που να παρουσιάζουν αντοχή στο πρόβλημα της αλατότητας (Lieth et al., 1999). Ωστόσο περαιτέρω έρευνα είναι απαραίτητη για τη βελτίωση του προβλήματος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά τη ολοκλήρωση του πειράματος και ανάλογα με τα αποτελέσματα που βρήκαμε, καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Η αλατότητα μειώνει την αύξηση των φυτών.
- Μειώνεται σημαντικά το ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών
- Έχουμε μείωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης με την αύξηση της αλατότητας .

- Συγκεκριμένα παρουσιάζεται:
 1. Στον μέγιστο φθορισμό, Fm, μέγιστη αύξηση 106% στη συγκέντρωση των 50μM NaCl. Δεν υπάρχουν, όμως, μεγάλες διακυμάνσεις στις υπόλοιπες μετρήσεις αποδεικνύοντας ότι δεν επηρεάζεται ο μέγιστος φθορισμός από τις συγκεντρώσεις NaCl.
 2. Στον αρχικό φθορισμό, Fo, μέγιστη αύξηση 162% στη συγκέντρωση των 100μM NaCl και αξιοσημείωτη πτώση στα 150μM NaCl διαπιστώνοντας ότι η συγκέντρωση NaCl σε μεγάλες τιμές επιδρά αρνητικά στον αρχικό φθορισμό.
 3. Στο λόγο, Fv/Fm έχουμε μέγιστη αύξηση 103% στα 50μM NaCl χωρίς να παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές στις υπόλοιπες μετρήσεις.
 4. Στη φυλλική επιφάνεια, Area, μέγιστη αύξηση 160% στα 50μM NaCl ενώ παρατηρείται πτώση στα 150μM NaCl αποδεικνύοντας ότι αυξάνοντας τη συγκέντρωση NaCl η φυλλική επιφάνεια μειώνεται.
 5. Στο μισό χρόνο $T_{1/2}$, σταδιακή πτώση σε όλες τις συγκεντρώσεις επιβεβαιώνοντας ότι ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει η επίδραση του NaCl στο μέγιστο φθορισμό μειώνεται.
 6. Στο μεταβλητό φθορισμό, Fv, αύξηση 149% στη συγκέντρωση των 50μM NaCl.
 7. Στο λόγο, Fv/Fo, αύξηση 134% στη συγκέντρωση των 50μM NaCl.
 8. Στο μέσο ύψος των φυτών, μείωση όσο αυξάνεται η συγκέντρωση NaCl αποδεικνύοντας ότι το NaCl δρα ανασταλτικά στο ύψος του φυτού.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μια μελέτη του τρόπου επίδρασης του NaCl στην αύξηση και ανάπτυξη του μήκους του βλαστού και της ρίζας του καλαμποκιού (*Zea mays L.*), καθώς και στην συμπεριφορά του ως προς τις παραμέτρους του φθορισμού της χλωροφύλλης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Richard H., Nieman R. and Clark A., 1976. Interactive Effects of Salinity and Phosphorus Nutrition on the Concentrations of Phosphate and Phosphate Esters in Mature Photosynthesizing Corn Leaves. *Plant Physiology*.57: 157-161.
2. Muhammad A., Ray C., Huffaker, William D. and Rains, 1984. Early Effects of Salinity on Nitrate Assimilation in Barley Seedlings. *Plant Physiology*.76: 321-325.
3. Lynch J. and Lauchli A., 1988. Salinity Affects Intracellular Calcium in Corn Root Protoplasts. *Plant Physiology*.87: 351-356.
4. Lynch J., Cramer G. and Lauchli A., 1987. Salinity Reduces Membrane-Associated Calcium in Corn Root Protoplasts. *Plant Physiology* . 83: 390-394.
5. Azaizeh H., Gunse B. and Steudle E., 1992. Effects of NaCl and CaCl₂ on Water Transport across Root Cells of Maize (*Zea mays* L.) Seedlings. *Plant Physiology*.99: 886-894.
6. Lynch J., Polito VS. and Lauchli A., 1989. Salinity Stress Increases Cytoplasmic Ca Activity in Maize Root Protoplasts. *Plant Physiology*.90: 1271-1274.
7. Koyro H.-W., 2004. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Plant Ecology*. D-35392 Giessen.
8. Lieth H., M. Moschenko, M. Lohmann, H.-W. Koyro and A. Hamdy, Halophyte Uses in Different Climates. 1999. I. Ecological and Ecophysiological Studies, Backhuys Publishers, Leiden , 258 pp.
9. Tester M. and R. Davenport, 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **91**: 503–527.
10. Giannakoula A., 2008, Μελέτη της επίδρασης του (Al) αργιλίου σε δύο καθαρές σειρές καλαμποκιού (*Zea mays* L.) με διαφορετική ανθεκτικότητα ως προς το Al.
11. Kofidis G., 2007, Growth, Anatomy and Chlorophyll Fluorescence of Coriander Plants (*Coriandrum Sativum* L.) treated with Prohexadione-Calcium and Daminozide.
12. Oren A., 1999. Microbiology and biogeochemistry of hypersaline environments. CRC Press. (σ.)359.
13. Hall. D.O. Photosynthesis/ D. O. Cambridge University Press, 1999.

14. Καλτσίκης, Παντούσης Ιωάννης. Ειδική βελτίωση φυτών. εκδόσεις: Σταμούλης. Πειραιάς, 1992.
15. Σφήκας Α.Γ. 1978. Ειδική Γεωργία Α.Π.Θ. Γεωπονική.
16. Υφούλης Χ. Αγαθοκλής. Φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Αθήναι: ΥΠΕΘ, 1977.
17. Σφακιανάκης Ι.Ν. 1984. Το καλαμπόκι και η καλλιέργεια του. Θεσσαλονίκη, 1984.
18. Ηλίας Φ. Ηλίας. Φυσιολογία Φυτών. Εκδόσεις Κυριακίδης, Θεσσαλονίκη.
19. Καράταγλης Στέλιος. Φυσιολογία Φυτών. Εκδόσεις Art of Text. Θεσσαλονίκη, 1992.
20. [http://www.paraquat.com./greek/χρήση paraquat σε καλλιέργειες/αραβόσιτος](http://www.paraquat.com./greek/χρήση_paraquat_σε_καλλιέργειες/αραβόσιτος).
21. <http://www.scirys.com/srsapp/>.
22. <http://www.scholar.google.gr>.
23. [http://chlorophyll fluorescence.com](http://chlorophyll_fluorescence.com).
24. <http://file://c:/users/x/downloads/αλατότητα.htm>.
25. <http://www.springerlink.com/content/j260wm01262t277u/>.
26. <http://www.plantphysiol.org/cgi/content/abstract/99/3/886>.
27. <http://www.articlegarden.com>.