

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΘΕ.ΚΑ

ΤΙΤΛΟΣ :

*Αποτίμηση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής
ρύπανσης και ειδικότερα του όζοντος στα φυτά
με τη χρήση ειδικών φυτών δεικτών*

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ :

Αλέξανδρος Κολοκούτσας

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :

Δημήτριος Βελισσαρίου

ΚΑΛΑΜΑΤΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2002

ΤΕΙ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΤΜΗΜΑ
ΕΚΔΟΣΕΩΝ & ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : Δ. ΒΕΛΙΣΣΑΡΙΟΥ

ΜΕΛΗ : Ε. ΒΛΑΧΟΠΟΥΛΟΣ

Α. ΚΟΤΣΙΡΑΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας Δρ. Δ. Βελισσαρίου, καθώς χωρίς την απεριόριστη βοήθεια του σε όλους τους τομείς, δεν θα ήταν δυνατή η δημιουργία και η ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής μελέτης.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ την γεωπόνο ερευνήτρια του Εργαστηρίου Μη Παρασιτικών Ασθενειών Α. Ασημακοπούλου για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Ακόμα ευχαριστώ την τεχνική βοηθό του Εργαστηρίου Μη Παρασιτικών Ασθενειών, κυρία Ειρήνη Μουστάκα για την βοήθεια της.

Τέλος, ευχαριστώ την Διεύθυνση του Μ.Φ.Ι. που επέτρεψε την εκτέλεση της πειραματικής εργασίας στις εγκαταστάσεις του ιδρύματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
Γενικά	6
Η ατμοσφαιρική Ρύπανση	6
Ιστορικό	6
Η φύση των ατμοσφαιρικών ρύπων	8
Οι επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στα φυτά	9
Το όζον	10
Τρόπος δράσης του όζοντος στα φυτά	13
Οι επιπτώσεις του όζοντος στον άνθρωπο	14
Το πρόβλημα της φωτοχημικής ρύπανσης σήμερα	15
Παγκοσμίως	15
Στην Ελλάδα	17
Σκοπός της παρούσης εργασίας	19
Το πρόγραμμα UNECE.	19
Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας	20
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	22
Τεχνική καλλιέργειας	22
Τεχνικές μετρήσεων	23
Επεξεργασία στοιχείων	28
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	28
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Από τις 6 Ιουνίου έως τις 17 Σεπτεμβρίου 2001, στον πειραματικό αγρό του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου, στην Κηφισιά πραγματοποιήθηκε πειραματική εργασία για την αποτίμηση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ειδικότερα του τροποσφαιρικού όζοντος στα φυτά.

Χρησιμοποιήθηκαν 40 φυτά-δείκτες, κλώνοι τριφυλλίου (*Trifolium repens*), 20 από τα οποία ήταν ανθεκτικά στο όζον και 20 ευαίσθητα. Σκοπός ήταν η έκθεση των φυτών-δεικτών στο περιβάλλον του πειραματικού και η αποτίμηση των επιπτώσεων του όζοντος, όπως αυτό μετρήθηκε σε γειτονικό σταθμό του ΠΕΡΙΠΑ, πάνω στην ανάπτυξη, τα συμπτώματα, και τις φυσιολογικές λειτουργίες των δύο διαφορετικών, ως προς την αντοχή τους, κλώνων τριφυλλίου. Με τον τρόπο αυτό αποτιμάται έμμεσα και με βιολογικό τρόπο, η επιβάρυνση του περιβάλλοντος σε όζον για την περίοδο αυτή και οι επιπτώσεις του στις φυτοκοινωνίες.

Τα αποτελέσματα σε όλες τις μετρήσεις έδειξαν το ξηρό βάρος των ευαίσθητων κλώνων να είναι μικρότερο από των ανθεκτικών, με μεγάλη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Επίσης η σχέση νερό προς ξηρό βάρος παρουσίασε την τάση να είναι σημαντικά υψηλότερη στα φυτά του ευαίσθητου κλώνου έναντι των φυτά του ανθεκτικού, στις 2 τελευταίες κοπές.

Οι μετρήσεις της έντασης των μακροσκοπικών συμπτωμάτων τοξικότητας από το όζον έδειξαν τα φυτά του ευαίσθητου κλώνου να παρουσιάζουν σαφώς μεγαλύτερη ένταση συμπτωμάτων τοξικότητας από τα φυτά του ανθεκτικού κλώνου σε όλες τις μετρήσεις.

Από τις μετρήσεις της αγωγιμότητας των στοματίων βρέθηκε στην πλειοψηφία των μετρήσεων ότι οι ευαίσθητοι κλώνοι είχαν μικρότερη αγωγιμότητα από τους ανθεκτικούς. Οι διαφορές στην αγωγιμότητα μεταξύ των ευαίσθητων και των ανθεκτικών κλώνων ήταν στατιστικά σημαντικές.

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας έδειξαν ότι η παρουσία φυτοτοξικών συγκεντρώσεων όζοντος στην περιοχή και κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν έντονη. Τα φυτά δείκτες με την καταπόνηση που υπέστησαν κατέγραψαν τα επεισόδια όζοντος στην περιοχή και τις αναμενόμενες επιπτώσεις στις φυτοκοινωνίες. Παρουσιάστηκαν διαφορές ως προς την καταπόνηση των ευαίσθητων και ανθεκτικών κλώνων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά

Είναι γνωστό ότι οι τοξικές επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δημιουργούν στα φυτά σοβαρά προβλήματα επηρεάζοντας δυσμενώς καλλιέργειες και φυσική βλάστηση.

Από τον μεγάλο αριθμό σχετικών εργασιών στη διεθνή βιβλιογραφία και τη διοργάνωση συχνών επιστημονικών συνεδρίων με ιδιαίτερες αναφορές στους φωτοχημικούς ρύπους, γίνεται φανερό ότι θα συνεχίσει να αποτελεί διεθνώς ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα για τον πλανήτη.

Ένας από τους σημαντικότερους φωτοχημικούς ρύπους είναι το τροποσφαιρικό όζον, το οποίο μελετάται συστηματικά για την βιολογική - φυτοτοξική του δράση. Η βιολογική του σημασία είναι μεγάλη όχι μόνο για την οξεία και χρόνια τοξική του δράση στους φυτικούς ιστούς και στις φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού, αλλά και λόγω της ευρείας διασποράς του στο περιβάλλον, καθώς μπορεί να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις με τη βοήθεια ανέμων και αερίων ρευμάτων, από τα αστικά κέντρα όπου παράγεται, με αποτέλεσμα να επηρεάζει δυσμενώς τα φυσικά και τα γεωργικά οικοσυστήματα.

Η ατμοσφαιρική Ρύπανση

Ιστορικό

Ατμοσφαιρική ρύπανση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο στην ατμόσφαιρα της Γης εμφανίζονται ουσίες στερεές, υγρές ή αέριες οι οποίες, πάνω από ορισμένες συγκεντρώσεις ή δόσεις, έχουν άμεσες ή έμμεσες δυσμενείς επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς και το αβιοτικό περιβάλλον του πλανήτη.

Το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνειδητοποιήθηκε από την ανθρωπότητα κατά την διάρκεια της βιομηχανικής "επανάστασης" όπου το νέφος αιθαλομίχλης, γνωστό και ως νέφος "τύπου Λονδίνου" έκανε την εμφάνισή του σε όλα τα κέντρα βιομηχανικής ανάπτυξης της δύσης. Κύρια συστατικά του νέφους αυτού ήταν κυρίως ο καπνός (αιθάλη) και το διοξείδιο του θείου, δεδομένου ότι το κύριο καύσιμο της εποχής αυτής ήταν ο λιγνίτης.

Το πιο τραγικό και γνωστό επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι εκείνο του Λονδίνου, το Δεκέμβριο του 1952. Το επεισόδιο άρχισε στις 4 Δεκεμβρίου και σε δύο μέρες η ορατότητα σε μερικές περιοχές της πόλης, είχε μειωθεί στο ένα μόλις μέτρο. Εκτός από τον καπνό και την ομίχλη σημειώθηκαν υψηλές τιμές από το διοξείδιο του θείου, που συνδέεται (όπως και ο καπνός) άμεσα με την καύση του κάρβουνου. Περίπου 4.000 θάνατοι σε διάστημα τεσσάρων ημερών αποδόθηκαν στην ισχυρή ατμοσφαιρική ρύπανση που ο χαρακτήρας της (καπνός, ομίχλη και διοξείδιο του θείου) οδήγησε στη δημιουργία του όρου «αιθαλομίχλη τύπου Λονδίνου».

Με την πάροδο του χρόνου ο λιγνίτης αντικαταστάθηκε από το πετρέλαιο και τα παράγωγά του, όμως τα προβλήματα στην ποιότητα του αέρα δεν λύθηκαν λόγω της συνεχούς αυξανόμενης κατανάλωσης ενέργειας ενώ συνάμα ένας νέος τύπος ρύπανσης άρχισε να εμφανίζεται.

Ο νέος τύπος ρύπανσης, γνωστός σαν «φωτοχημική ρύπανση», πρωτοεμφανίστηκε στο Λος Άντζελες των ΗΠΑ στη δεκαετία του 1940, συνδέεται άμεσα με την χρήση ελαφρών καυσίμων κίνησης στα μέσα μεταφοράς και είναι χημικά περισσότερο πολύπλοκος και σε ορισμένες συνθήκες πιο επικίνδυνος για τον άνθρωπο από όσο η αιθαλομίχλη. Αντί μόνο του καπνού, της τέφρας και του διοξειδίου του θείου ανιχνεύονται πλέον στον αέρα και διάφορα οξειδωτικά, υπεροξειδία, οζονίδια και γενικά, προϊόντα χημικών αντιδράσεων υδρογονανθράκων με τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας που δημιουργούνται με τη βοήθεια του ηλιακού φωτός.

Βασικές πρόδρομες ουσίες του φωτοχημικού νέφους είναι τα οξειδία του αζώτου που δημιουργούνται κυρίως από τις υψηλές θερμοκρασίες των κινητήρων εσωτερικής καύσης.

Από τις αρχές της δεκαετίας του '40 σε αγροτικές περιοχές κοντά στο Λος Άντζελες οι παραγωγοί όταν παρατήρησαν για πρώτη φορά το πρόβλημα στα χωράφια τους, έδωσαν την χαρακτηριστική ονομασία «weather flecks» (στιγμάτα εξαιτίας του καιρού), συνδέοντας τα συμπτώματα που έβλεπαν στις καλλιέργειές τους με κάθε αλλαγή του καιρού, δηλαδή ουσιαστικά με κάθε αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου που μετέφερε τους φωτοχημικούς αέριους ρύπους από το γειτονικό Λος Άντζελες.

Από τότε μέχρι σήμερα η φυτοτοξική δράση του όζοντος έχει πλήρως αποδειχθεί και εξακολουθεί να ερευνάται εντατικά.

Στην Ευρώπη το πρόβλημα των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά απασχολεί την επιστήμη από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης όχι μόνο ως παράγων καταπόνησης αλλά και ως παράγων πίεσης επιλογής που θα μπορούσε να επηρεάσει την εξέλιξη των ειδών και τη βιοποικιλότητα.

Η φύση των ατμοσφαιρικών ρύπων

Ως ρύποι θεωρούνται οποιεσδήποτε ουσίες που διοχετεύονται άμεσα ή έμμεσα στην ατμόσφαιρα σε ποσότητες ικανές να επηρεάσουν την δομή, τη σύσταση ή τα χαρακτηριστικά της. Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους οι ρύποι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους πρωτογενείς και τους δευτερογενείς:

- Πρωτογενείς είναι οι ρύποι που εκπέμπονται απ'ευθείας από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα (π.χ. καπνός, διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα).
- Δευτερογενείς είναι οι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς ρύπους με χημικές αντιδράσεις που γίνονται είτε μεταξύ τους, είτε με τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας (π.χ. με τη θερμοκρασία, την υγρασία ή κυρίως την ηλιακή ακτινοβολία).

Ανάλογα με τη φυσική τους κατάσταση οι ρύποι διακρίνονται στα αέρια και τα στερεά σωματίδια. Οι κυριότεροι αέριοι ρύποι είναι το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου, το όζον και οι υδρογονάνθρακες. Τα σωματίδια ομαδοποιούνται σύμφωνα με το μέγεθος τους, στις σκόνες και τα αιωρούμενα σωματίδια, στον καπνό και σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με την χημική τους σύσταση.

Η κατάταξη των αέριων ρύπων ανάλογα με την κύρια πηγή εκπομπής τους είναι :

A. ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ (Σημειακές είναι οι πηγές μεγάλης δυναμικότητας που βρίσκονται εγκατεστημένες σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική θέση· θέση που σε ένα χάρτη μπορεί να θεωρηθεί και σαν μεμονωμένο σημείο).

- Διοξείδιο Του Θείου (ενεργειακές μονάδες λιγνίτη πετρελαίου, χαλυβουργίες κλπ).
- Φθόριο (παραγωγή αλουμινίου, λιπασμάτων, κεραμικών κλπ).
- Υδρογονάνθρακες (βιομηχανίες, διυλιστήρια σε ποσοστό 15%).

B. ΑΠΟ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΕΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

- Όζον (δευτερογενής φωτοχημικός ρύπος).
- «PAN» (δευτερογενής φωτοχημικός ρύπος).
- Διοξείδιο του αζώτου (πρόδρομος φωτοχημικός ρύπος, κυρίως από καυσαέρια οχημάτων σε ποσοστό 75%).
- Υδρογονάνθρακες (πρόδρομος φωτοχημικός ρύπος κυρίως από καυσαέρια οχημάτων σε ποσοστό 85%).
- Διοξείδιο του θείου (κεντρικές θερμάνσεις).

Οι επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στα φυτά

Οι κυριότεροι αέριοι ρύποι που έχουν επιπτώσεις στις φυτοκοινωνίες και τα γεωργικά οικοσυστήματα είναι το όζον, το PAN (Peroxy-Acetyl Nitrates), το διοξείδιο του θείου, το διοξείδιο του αζώτου, το φθόριο, η αμμωνία και οι υδρογονάνθρακες (διοξείδιο του άνθρακα).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει συνέπειες για:

- Τους ζωντανούς οργανισμούς (οξεία ή/ και χρόνια τοξικότητα).
- Το κλίμα (Παγκόσμιες κλιματικές μεταβολές, αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, αύξηση της υπερϊώδους ακτινοβολίας και του διοξειδίου του άνθρακα).
- Τα υλικά (Φθορά υλικών, καταστροφή αρχαιολογικών χώρων).
- Τα οικοσυστήματα (Διαταραχή ισορροπίας, εξαφάνιση ειδών).

Οι επιδράσεις της ρύπανσης στα φυτά μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες: στη νέκρωση, στους μεταχρωματισμούς και στις διαταραχές στην φυσιολογία.

Η αντοχή των φυτών στην ατμοσφαιρική ρύπανση ποικίλει, ανάλογα με το είδος και την ηλικία τους. Μεγαλύτερη γενικά αντοχή παρουσιάζουν τα ενήλικα και φυλλοβόλα δέντρα. Η ανανέωση του φυλλώματος συνδυάζεται

με ανανέωση του χρόνου επιβίωσης. Με τη λογική αυτή τα φυλλοβόλα δέντρα είναι τα καταλληλότερα στις περιπτώσεις εκείνες όπου η βλάστηση χρησιμοποιείται σαν «φράγμα» ρύπανσης, ιδίως στα όρια βιομηχανικών περιοχών ή δρόμων μεγάλης κυκλοφορίας.

Οι επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στις φυτοκοινωνίες και σε ευαίσθητες καλλιέργειες είναι :

- Η μείωση ή ο μηδενισμός της παραγωγής και της εμπορικής αξίας των ευαίσθητων καλλιεργειών.
- Οι αλλαγές στις σχέσεις ξενιστή-παθογόνου.
- Οι αλλαγές στις σχέσεις ξενιστή-ζωικών εχθρών.
- Ο ανταγωνισμός μεταξύ καλλιεργειών και ζιζανίων.
- Η συνεπίδραση με άλλους παράγοντες καταπόνησης όπως η ξηρασία, το ψύχος, οι ασθένειες κ.α.
- Η επίδραση στη βιοποικιλότητα.
- Η παρακμή του δάσους.

Το όζον

Το όζον είναι αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου συντιθεμένη από τρία άτομα (O_3). Το όνομά του προέρχεται από την ελληνική λέξη όζω, που σημαίνει μυρίζω. Έχει χαρακτηριστική οξεία αλλά όχι δυσάρεστη μυρωδιά. Το χρώμα του είναι ανοικτό μπλε. Απαντάται σε δύο στρώματα της ατμόσφαιρας. Στην στρατόσφαιρα, όπου τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική μείωσή της συγκέντρωσής του και στην τροπόσφαιρα, όπου παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσής του.

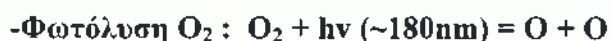
Η τροπόσφαιρα είναι το κατώτερο στρώμα όπου γίνονται όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα και η παραγωγή, η μεταφορά και η διάχυση των διαφόρων ρύπων. Ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της τροπόσφαιρας είναι η ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος. Η μεταβολή αυτή οφείλεται στη διαφορά του ισοζυγίου θερμότητας μεταξύ γης και αέρα που προκύπτει από την διαφορά της θερμοχωρητικότητάς τους. Μέρος της θερμότητας του εδάφους αποδίδεται από τα κατώτερα στρώματα του αέρα στα ανώτερα με φθίνουσα πρόοδο. Το μέσο ύψος της τροπόσφαιρας από το έδαφος είναι της τάξης των 10 χλμ.

Η στρατόσφαιρα αρχίζει από ένα ορισμένο ύψος όπου η θερμοκρασία αντί να ελαττώνεται αρχίζει προοδευτικά να αυξάνει σε συνάρτηση με την αύξηση των συγκεντρώσεων του όζοντος που έχει την ιδιότητα να απορροφά μέρος από την υπεριώδη ακτινοβολία και να αποταμιεύει έτσι θερμότητα. Το μέσο ύψος της στρατόσφαιρας από το έδαφος είναι 10 ως 50 χ.λ.μ..

Το όζον χαρακτηρίζεται ως ρύπος μόνο όταν βρίσκεται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όταν δηλαδή είναι αναπνεύσιμο από τον άνθρωπο. Αντίθετα το όζον που βρίσκεται στη στρατόσφαιρα όχι μόνο δεν είναι ρύπος, αλλά αποτελεί ζωτικής σημασίας στοιχείο.

Το όζον της στρατόσφαιρας προστατεύει τη ζωή στον πλανήτη από την υπεριώδη ακτινοβολία, καθώς την φιλτράρει βιολογικά και λαμβάνει μέρος σε σημαντικές χημικές αντιδράσεις της στρατόσφαιρας. Σχηματίζεται από μια σειρά φωτοχημικών αντιδράσεων στις οποίες ουσιαστικά συμμετέχουν, το μοριακό οξυγόνο (O_2) και η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) του ηλιακού φωτός. Στο ύψος της στρατόσφαιρας η υπεριώδης ακτινοβολία είναι αρκετά ισχυρή ώστε να διασπά μόρια οξυγόνου σε άτομα (φωτόλυση οξυγόνου). Τα άτομα οξυγόνου (O^{\cdot}) «οξειδώνουν» το μοριακό οξυγόνο σε τριατομικό όζον (O_3) το οποίο με τη σειρά του διασπάται ξανά από τη UV σε μόριο και άτομο οξυγόνου. Οι αντιδράσεις αυτές γίνονται ταυτόχρονα και υπάρχει μία διαρκής μετατροπή οξυγόνου σε όζον και αντίστροφα, έτσι ώστε οι αντιδράσεις αυτές να οδηγούν σε μια σταθερή συγκέντρωση όζοντος και παράλληλα σε «δαπάνη» της υπεριώδους ακτινοβολίας που βγαίνει από το στρώμα αυτό με δραστικά μειωμένη ένταση.

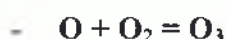
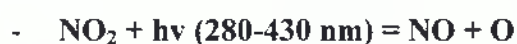
Οι αντιδράσεις δημιουργίας του φυσικού ή «καλού» όζοντος στην ατμόσφαιρα είναι οι εξής :



Το στρώμα του όζοντος που δημιουργείται έτσι, δρα προστατευτικά για την ζωή στον πλανήτη, καθώς φιλτράρει την βιολογικά επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία (UV radiation) και λαμβάνει μέρος σε σημαντικές χημικές αντιδράσεις της στρατόσφαιρας. Επομένως, η παρουσία του σε αυτό το στρώμα είναι σημαντική.

Το όζον της τροπόσφαιρας, το «κακό» όζον, είναι ένας από τους αέριους φωτοχημικούς ρύπους που συνθέτουν το «νέφος» των μεγαλουπόλεων και έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Είναι δευτερογενής ρύπος και σχηματίζεται υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε άλλους πρωτογενείς ρύπους που έχουν προέλευση κυρίως από ανθρωπογενείς διεργασίες. Κυρίως υπεύθυνοι για την παραγωγή φωτοχημικών ρύπων ή των πρόδρομων ουσιών τους, είναι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης οι οποίοι εκτός από διάφορους άλλους ρύπους που εκπέμπουν (άκαυστοι υδρογονάνθρακες, CO, κ.α.), παράγουν πρωτογενώς και NO_x (οξειδία του αζώτου, κυρίως NO₂ και NO), ακόμη και όταν λειτουργούν σωστά, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στους θαλάμους καύσης, καθώς πραγματοποιείται ο σχηματισμός NO_x από το άζωτο και το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Έτσι, το μεγαλύτερο ποσοστό ευθύνης για τους φωτοχημικούς ρύπους φέρουν οι κινητήρες εσωτερικής καύσης (κυρίως οχήματα), ενώ σε πολύ μικρότερο ποσοστό ευθύνονται οι βιομηχανίες και οι καυστήρες κεντρικής θέρμανσης των πολυκατοικιών (που όμως παράγουν άλλου είδους ρύπους σε μεγάλες ποσότητες, όπως SO₂ και CO₂). Οι αλυσιδωτές αντιδράσεις περιλαμβάνουν μετατροπή του NO σε NO₂ υπό την προϋπόθεση ότι οι δύο αυτοί ρύποι βρίσκονται σε αρκετά υψηλά επίπεδα έτσι ώστε να διατηρείται ο λόγος NO/NO₂ σε τέτοιες τιμές, ικανές να στηρίξουν το απαιτούμενο για το σχηματισμό του όζοντος επίπεδο.

Οι αντιδράσεις της δημιουργίας του ρύπου του όζοντος στην ατμόσφαιρα είναι οι εξής:



Ενώ στη στρατόσφαιρα, το απαιτούμενο για το σχηματισμό του όζοντος, άτομο οξυγόνου παρέχεται από το μοριακό οξυγόνο, στην τροπόσφαιρα, αυτό παρέχεται από την αναγωγή ενός μορίου NO₂ σε NO. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην τροπόσφαιρα η UV δεν είναι ισχυρή για να φωτολύσει το οξυγόνο αλλά αρκετή για τη φωτόλυση του NO₂ που είναι ο κύριος πρωτογενής ρύπος του φωτοχημικού νέφους.

Οι πλήρεις αντιδράσεις του κύκλου του όζοντος στην τροπόσφαιρα είναι οι εξής:



- $\text{NO}_2 + \text{O}_2 = \text{O}_3$
- $\text{NO} + \text{O}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}_2$
- $\text{RO}_2 + \text{NO} = \text{RO} + \text{NO}_2$

Έτσι, ενώ το στρατοσφαιρικό όζον προστατεύει τη ζωή στον πλανήτη από την υπεριώδη ακτινοβολία, το τροποσφαιρικό όζον είναι ο πλέον διαδεδομένος και τοξικός ρύπος, πολύ δηλητηριώδης για τους ζωντανούς οργανισμούς (ζωικούς και φυτικούς). Οπότε, ρύπανση για τη στρατόσφαιρα είναι η καταστροφή όζοντος, ενώ για την τροπόσφαιρα είναι η δημιουργία όζοντος.

Τρόπος δράσης του όζοντος στα φυτά

Το όζον μπαίνει στο φυτό μέσω των στοματίων των φύλλων, κατά τη φυσιολογική λειτουργία της ανταλλαγής αερίων μεταξύ του φυτού και του περιβάλλοντός του. Η επάρκεια εδαφικού νερού έχει θετική επίδραση στην ευαισθησία του φυτού, καθώς παρατείνει το άνοιγμα των στοματίων και επομένως διευκολύνεται η απορρόφηση του ρύπου. Η ζημιά από το όζον τείνει να αυξηθεί όταν αυξάνεται η σχετική υγρασία, λόγω της θετικής συσχέτισης μεταξύ ατμοσφαιρικής υγρασίας και ανοίγματος των στοματίων. Η ευαισθησία στο όζον αυξάνεται με τη μείωση της φωτοπεριόδου και την αύξηση της νυχτερινής θερμοκρασίας (Βελισσαρίου Δ., 1994). Μέσα στο φύλλο, το όζον επιδρά στα κύτταρα και επηρεάζει την περατότητα των μεμβρανών είτε όλου του κυττάρου είτε των επί μέρους οργανιδίων του.

Ειδικά στους χλωροπλάστες η μεμβράνη καταρρέει και η χλωροφύλλη διαχέεται στο κυτόπλασμα. Το στρώμα των χλωροπλαστών είναι το πρώτο που επηρεάζεται στο κύτταρο· σε ένα φυσιολογικό κύτταρο εμφανίζεται ομοιογενές ενώ μετά την επίδραση του όζοντος συσσωματώνεται και το κύτταρο καταστρέφεται καθώς το κυτόπλασμα ξεκολλάει από τα τοιχώματα καταρρέοντας προς το κέντρο του κυττάρου μαζί με τα κυτταρικά οργανίδια. Σε περιπτώσεις σαν αυτή η ζημιά είναι μη αντιστρεπτή. Υπάρχει όμως και η περίπτωση η ζημιά να είναι αντιστρεπτή και το φυτό να συνέλθει κάτω από την επίδραση των μηχανισμών της ομοιόστασης. Η ομοιόσταση είναι ένα σύνολο πολύπλοκων αντιδράσεων που συντελούν στην εξουδετέρωση δυσμενών παραγόντων του εξωτερικού ή εσωτερικού περιβάλλοντος ενός

οργανισμού, οι οποίοι τείνουν να μεταβάλλουν τη δυναμική σταθερότητα και την ισορροπία του (Κυριακάκης Δ., 1994).

Οι επιπτώσεις του όζοντος, εκτός από εμφάνιση συμπτωμάτων στα φύλλα, αναφέρονται και σε μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας του φυτού, μείωση της ξηράς ουσίας, μείωση του ρυθμού ανάπτυξής του, καθώς και αλλαγές στην κατανομή των προϊόντων μεταβολισμού. Όλες αυτές οι μεταβολές οδηγούν το φυτό σε πρόωρο γήρας και το σύνολο του γεωργικού ή φυσικού οικοσυστήματος σε παρακμή (π.χ. παρακμή του δάσους).

Η επίδραση του όζοντος, δημιουργεί μία σειρά ορατών συμπτωμάτων. Το σημαντικότερο σύμπτωμα του όζοντος στα φυτά, είναι η νεκρωτική κηλίδωση της άνω κυρίως επιφάνειας των φύλλων. Εξίσου σημαντικά συμπτώματα όμως είναι και η χλώρωση και η νέκρωση μεγάλης επιφάνειας ή και ολόκληρου του φύλλου.

Η εμφάνιση των συμπτωμάτων –νεκρωτικών κηλίδων- στις επιφάνειες των φύλλων οφείλεται στα κατεστραμμένα κύτταρα. Όπως αναφέρθηκε, τα κύτταρα του δρυφρακτοειδούς παρεγχύματος είναι αυτά που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ευαισθησία στο όζον, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τα πρώτα συμπτώματα στην άνω επιφάνεια του φύλλου.

Η εμφάνιση συμπτωμάτων στα φύλλα μπορεί και να μην έχει επιπτώσεις στην γεωργική παραγωγή, παρά μόνο στον βαθμό που μειώνεται η ενεργά φωτοσυνθετική φυλλική επιφάνεια. Όμως, εάν το προϊόν είναι το φύλλωμα (π.χ. μαρούλι) τότε μπορεί να έχουμε μηδενισμό της εμπορικής αξίας όλης της παραγωγής.

Η ζημιά εξαιτίας του όζοντος διακρίνεται σε οξεία και χρόνια. Έτσι, μπορεί να έχουμε οξεία (ορατή) ζημιά- αν πρόκειται για συμπτώματα που οφείλονται σε έκθεση του φυτού που οφείλονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις όζοντος για μικρά χρονικά διαστήματα, ή χρόνια (μη ορατή) ζημιά –αν πρόκειται και για συμπτώματα που οφείλονται σε έκθεση του φυτού σε μικρότερες συγκεντρώσεις όζοντος για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Οι επιπτώσεις του όζοντος στον άνθρωπο

Λόγω του γενικότερου προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον πλανήτη θεωρήσαμε σκόπιμο να αναφερθούμε και στις επιπτώσεις του όζοντος στον άνθρωπο.

Η εισπνοή ακόμα και μικρών συγκεντρώσεων όζοντος μπορεί να προκαλέσει:

-Οξύ αναπνευστικό πρόβλημα

-Να επιτείνει το άσθμα

-Να επιφέρει σημαντική προσωρινή μείωση της αναπνευστικής ικανότητας του πνεύμονα σε κάποιους ενήλικες, πάνω από 15-20%

-Να προκαλέσει φλεγμονή ιστών του πνεύμονα

-Να οδηγήσει σε εισαγωγή στο νοσοκομείο και στο τμήμα επειγόντων (10-20% του συνόλου των αναπνευστικών περιστατικών που επισκέπτονται νοσοκομεία σχετικά με αναπνευστικά προβλήματα στη βορειοανατολική Αμερική σχετίζονται με τη ρύπανση του όζοντος).

-Εξασθενεί το ανοσοποιητικό σύστημα κάνοντας τους ανθρώπους περισσότερο ευαίσθητους σε αναπνευστικές ασθένειες συμπεριλαμβανομένης της βρογχίτιδας και της πνευμονίας. (Σαϊτάνης Κ., 1998)

Το πρόβλημα της φωτοχημικής ρύπανσης σήμερα

Παγκοσμίως

Στις Η.Π.Α από τις αρχές τις δεκαετίας του '70 δημιουργήθηκε ένα Εθνικό Δίκτυο Εκτίμησης Απωλειών Καλλιεργειών (NCLAN= National Crop Loss Assessment Network) με σκοπό να μελετήσει ειδικά τις επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στα καλλιεργούμενα φυτά.

Με το πρόγραμμα αυτό αποτιμήθηκε η ετήσια εθνική ζημιά στις Η.Π.Α εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο ύψος των 5 δις. δολαρίων λόγω της μείωσης παραγωγής βασικών αγροτικών προϊόντων όπως σιτάρι, καλαμπόκι, ρύζι, σόγια, βαμβάκι, τριφύλλι κ.α. Αποδείχτηκε δε ότι το 90% της ζημιάς αυτής οφείλονταν μόνο στο όζον.(Βελισσαρίου Δ., 1994)

Συγκεντρώσεις όζοντος αρκετές ώστε να ζημιώσουν ευαίσθητες καλλιέργειες έχουν παρατηρηθεί σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες των 70 μιλίων από μεγάλες μητροπολιτικές πηγές όπως η Φιλαδέλφεια, η Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες.

Από όλα αυτά γίνεται εμφανές ότι το όζον είναι ο σημαντικότερος φυτοτοξικός αέριος ρύπος στις Η.Π.Α., και εξακολουθεί να μελετάται συστηματικά.

Στην Ευρώπη, το πρόβλημα των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και κυρίως του τροποσφαιρικού όζοντος μελετάται συστηματικά από τα μέσα της δεκαετίας του '70.

Την τελευταία δεκαετία, μέσα στα πλαίσια της Διεθνούς Σύμβασης της Γενεύης για τη Διασυννοριακή Αέρια Ρύπανση (UNECE = Οικονομική Επιτροπή του Ο.Η.Ε για την Ευρώπη), πραγματοποιήθηκαν τέσσερα Πανευρωπαϊκά Συνέδρια Εργασίας

Bad Harzburg, Γερμανία 1988

Egham, Αγγλία 1992

Bern, Ελβετία 1993

Κιουρίο, Φιλανδία 1996

με σκοπό να οριστούν τα Κρίσιμα Επίπεδα των σπουδαιότερων φυτοτοξικών αέριων ρύπων στην Ευρώπη.

Ως Κρίσιμα Επίπεδα ορίστηκαν οι συγκεντρώσεις εκείνες του ρύπου πέραν των οποίων αναμένονται δυσμενείς επιπτώσεις στις καλλιέργειες, στα δάση και στην υπόλοιπη φυσική βλάστηση. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε φυσικά στο όζον που απασχολεί συστηματικά την Ευρωπαϊκή επιστημονική κοινότητα από την δεκαετία του '70. Χρειάστηκε να αποτιμηθούν οι επιπτώσεις του όζοντος με βάση τις μετρούμενες συγκεντρώσεις του στην ατμόσφαιρα.

Στο τελευταίο Συνέδριο Εργασίας στη Φιλανδία το 1996 ορίστηκε ως Κρίσιμο Επίπεδο όζοντος : **Η αθροιστική ποσότητα του όζοντος που καταγράφεται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, πέρα από την οριακή συγκέντρωση (κατώφλι) των 40 ppb.**

Η συνοπτική ονομασία του δείκτη, που μετράται σε ppb.hours, είναι: ΑΟΤ40 = Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb.

Κάτω από το όριο των 40 ppb δεν αναμένονται σημαντικές επιπτώσεις στα φυτά. Για τις καλλιέργειες και τη φυσική βλάστηση θεσπίστηκαν ως Κρίσιμα Επίπεδα τα 3000 ppb.hours για τους 3 μήνες Μάιο-Ιούλιο και για τα δάση τα 10000 ppb.hours για τους 6 μήνες Απρίλιο-Σεπτέμβριο.

Η θέσπιση αυτών των επιπέδων δεν είναι οριστική και αποτελεί αντικείμενο συνεχόμενων συζητήσεων. Υπάρχουν ακόμα διαφωνίες που στηρίζονται σε διάφορα επιχειρήματα, όπως ότι τα περισσότερα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την θέσπιση αυτών των ορίων προέρχονται από πειράματα σε ελεγχόμενες συνθήκες όπου οι συγκεντρώσεις όζοντος δεν υφίστανται διακυμάνσεις όπως πραγματικά συμβαίνει σε φυσικές συνθήκες. Επίσης υποστηρίζεται ότι θα ήταν σημαντικότερο οι μετρήσεις, να αναφέρονταν όχι στη συγκέντρωση όζοντος που εκτίθεται το φυτό, αλλά στο ποσοστό που απορροφάται από τα φύλλα (λόγω της εμπλοκής των στοματίων), που συχνά εξαρτάται και από την η εδαφική υγρασία.

Στην Ελλάδα

Το πρόβλημα της φωτοχημικής ρύπανσης στη ζώνη της Μεσογείου και γενικότερα στη χώρα μας είναι πολύ μεγαλύτερο απ' ότι στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η Αθήνα παρουσιάζει συχνά υψηλότερα επίπεδα όζοντος ακόμα και από άλλες Μεσογειακές πόλεις (Μαδρίτη, Βαρκελώνη, Ρώμη, Μιλάνο).

Η Αθήνα τα 30 τελευταία χρόνια λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού αποτελείται από τουλάχιστον 4.000.000 κατοίκους, σχεδόν το μισό νούμερο του πληθυσμού της χώρας. Έτσι ο μέσος όρος κατοίκων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο είναι 12.000, 10 φορές υψηλότερος από τους διεθνείς μέσους όρους.

Στο λεκανοπέδιο της Αττικής όπου είναι χτισμένη η Αθήνα, σε σύνολο επιφάνειας ~450 χλμ., έχει συσσωρευθεί ένα ποσοστό 40% της Ελληνικής βιομηχανίας (μεταξύ Πειραιά και Ελευσίνας) και κυκλοφορούν πάνω από 1.7 εκατομμύρια οχήματα (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, Αύγουστος 2001). Τα παραπάνω αποτελούν τις ιδανικές συνθήκες οι οποίες προάγουν, δημιουργούν και διατηρούν τους αέριους ρύπους.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό φωτοχημικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι:

- Η εκπομπή πρωτογενών αέριων ρύπων (NOx, Υδρογονάνθρακες).

- Η ηλιοφάνεια (Η υπεριώδης ακτινοβολία να είναι μεγάλης έντασης καθώς επηρεάζει τις φωτοχημικές αντιδράσεις σχηματισμού του όζοντος).
- Η άπνοια.
- Τοπογραφικό (κοιλιάδες, λεκανοπέδια που ευνοούν θερμοκρασιακές αναστροφές).
- Οι υψηλές θερμοκρασίες (>20°C).
- Το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής το οποίο αυξάνεται κατά τη διάρκεια ημερών με έντονη ακτινοβολία ακολουθούμενο από νύχτες με χαμηλή θερμοκρασία.

Το λεκανοπέδιο περικλείεται από βουνά και λόφους, ενώ είναι ανοικτό προς τη θάλασσα σε μία μόνο μεριά. Αυτή η τοπογραφική διάταξη ευνοεί την δημιουργία μετεωρολογικών φαινομένων (θερμοκρασιακή αναστροφή, απόγειος και αποθαλάσσια αύρα) τα οποία συντελούν στη μεταφορά των αέριων ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις. Το αποτέλεσμα είναι η υποβάθμιση του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς αυτός επιβαρύνεται με ρύπους, ενώ είναι συχνό φαινόμενο η ύπαρξη έντονων επεισοδίων ρύπανσης.

Οι άνεμοι που πνέουν με χαμηλή ταχύτητα και έχουν περάσει πριν από αστικές ή βιομηχανικές περιοχές (όπου έχουμε αυξημένη παραγωγή ρύπων) μεταφέρονται μέσω της απόγειου αύρας πάνω από την θάλασσα του Σαρωνικού, όπου παράγονται οι δευτερογενείς ρύποι. Λίγο πριν τη μέση της ημέρας οι αέριες μάζες επιστρέφουν μέσω της αποθαλάσσιας αύρας εμπλουτισμένες και με τους δευτερογενείς ρύπους (κυρίως όζον) και συνήθως έχουν φτάσει στη βόρεια άκρη του λεκανοπεδίου και συνεχίζουν τη μετακίνηση τους σε απρόβλεπτες αποστάσεις.

Το αποτέλεσμα είναι να έχει καταγραφεί εμφάνιση ζημιών όζοντος σε πολλές περιοχές της Ελλάδας όπως στην Βοιωτία, Θεσσαλία, Κοζάνη, Αιτωλοακαρνανία, Εύβοια, Αργολίδα, Λακωνία και Κρήτη. (Βελισσαρίου Δ., 1995).

Ένα τυπικό παράδειγμα ζημιών όζοντος σε καλλιέργειες είναι η περίπτωση της περιοχής των Γόμφων Τρικάλων όπου από το 1988 είχαν παρατηρηθεί τοξικότητες άγνωστης αιτίας σε πολλές καλλιέργειες όπως πεπόνι, καρπούζι κλπ. Σε αυτές τις καλλιέργειες είχαν αποκλειστεί οι πιθανότητες προσβολής από ζωικούς εχθρούς (έντομα, ακάρεα, νηματώδεις)

και ασθένειες (μύκητες, βακτήρια, ιοί). Το πρόβλημα εμφανιζόταν σε συγκεκριμένες περιόδους του έτους (άνοιξη, καλοκαίρι) και σε πολλών ειδών καλλιέργειες ταυτόχρονα (πεπόνι, καλαμπόκι, καρπούζι, κρεμμύδια, καλαμπόκι και μαϊντανό) και μάλιστα σε χωράφια διαφορετικών παραγωγών της περιοχής. Το 1995 μετά από επιτόπια έρευνα με φυτά δείκτες και σειρά παρατηρήσεων αποδείχτηκε ότι οι τοξικότητες οφείλονταν στο όζον. (Βελισσαρίου Δ., 1995).

Σκοπός της παρούσης εργασίας

Το πρόγραμμα UNECE.

Πολλές χώρες (Αυστρία, Βέλγιο, Καναδάς, Φιλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ιταλία, Νορβηγία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία, Βρετανία, Η.Π.Α., Ολλανδία και πρώην Σοβιετική Ένωση) συμμετέχουν στο ειδικό πρόγραμμα της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE) με τίτλο: "International Cooperative Program for Research on Evaluating Effects of Air Pollutants and other Stresses on Agricultural Crops" (ICP-CROPS, United Nations Economic Commission for Europe).

Η παρουσία Μεσογειακών χωρών στο πρόγραμμα αυτό καθώς και στον καθορισμό των Κρίσιμων Επιπέδων όζοντος για την Ευρώπη ήταν απαραίτητος και καθοριστικός (Βελισσαρίου Δ., 1994).

Το πρόγραμμα αυτό έχει ως κύριο στόχο την αξιολόγηση των επιπτώσεων του όζοντος στις καλλιέργειες με τη χρήση βιολογικών δεικτών. Η χώρα μας συμμετέχει από το 1988 μέσω του Εργαστηρίου Μη Παρασιτικών Ασθενειών του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου. Από το έτος 2000 στο πρόγραμμα συμμετέχει και το ΤΕΙ Καλαμάτας.

Σκοπός του προγράμματος είναι να προσδιορισθεί το γεωγραφικό εύρος του προβλήματος του όζοντος στο χώρο της Ευρώπης, από περιοχές όπου οι συγκεντρώσεις του όζοντος είναι αρκετές ώστε να προκαλέσουν μείωση της παραγωγής ευαίσθητων καλλιεργειών και να πραγματοποιηθεί ο καθορισμός Κρίσιμων Επιπέδων όζοντος στην Ευρώπη για φυτοτοξικές επιπτώσεις σε καλλιέργειες, δάση και φυσική βλάστηση.

Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας

Η ευαισθησία των φυτών στην επίδραση της ρύπανσης διαφέρει από είδος σε είδος. Ορισμένα φυτά είναι τόσο ευαίσθητα που χρησιμοποιούνται και ως βιολογικοί δείκτες. Τα φυτά δείκτες χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, αλλά ειδικότερα στον τομέα της ρύπανσης είναι πολύτιμα εργαλεία. Με τη βοήθειά τους μπορούμε να ανιχνεύσουμε την παρουσία ενός ρύπου και να υπολογίσουμε την ένταση του σε μία ή περισσότερες περιοχές χωρίς μεγάλη δαπάνη. Ο πλέον γνωστός δείκτης που χρησιμοποιείται διεθνώς είναι η ποικιλία καπνού «Bel-W3».

Ένας από τους κύριους σκοπούς του προγράμματος είναι η έκθεση σε φυσικό περιβάλλον, φυτών δεικτών με κοινό πρωτόκολλο (εποχή, χρόνος έκθεσης, τεχνική καλλιέργειας κλπ.), σε όλες τις συμμετέχουσες χώρες πειράματος. Μετά το τέλος της περιόδου έκθεσης αξιολογούνται οι επιπτώσεις και με τον τρόπο αυτό μπορεί να εκτιμηθεί η επιβάρυνση σε φωτοχημική ρύπανση της κάθε χώρας.

Το συγκεκριμένο πείραμα που περιγράφεται σε αυτή τη μελέτη, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του παραπάνω προγράμματος προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της συγκέντρωσης του όζοντος σε ειδικούς κλώνους τριφυλλιού βιολογικού δείκτη.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί κλώνοι τριφυλλιού *Trifolium repens* οι οποίοι προέκυψαν από μια σειρά πειραματικών δοκιμών ευαισθησίας στο όζον στις ΗΠΑ (Heagle A.S, 1995). Ο ένας κλώνος είναι ευαίσθητος στο όζον (SENSITIVE) ενώ ο άλλος είναι ανθεκτικός (RESISTANT).



Εικόνα 1. Ο χώρος του πειράματος στον αγρό του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου στην Κηφισιά.

Τα φυτά δείκτες εκτίθενται στο φυσικό περιβάλλον κάθε μιας χώρας για καθορισμένη χρονική περίοδο. Η αξιολόγηση των επιπτώσεων γίνεται με μετρήσεις μετά το πέρας της περιόδου έκθεσης για να βρεθούν διαφορές στο ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος των φυτών. Επίσης γίνονται μετρήσεις για την αξιολόγηση των διαφορών του ρυθμού διαπνοής των φύλλων ανάμεσα στα Ευαίσθητα και στα Ανθεκτικά φυτά και αξιολόγηση της έντασης των ορατών συμπτωμάτων τοξικότητας από το όζον, στα φύλλα των φυτών. Η βαθμονόμηση των συμπτωμάτων έγινε με τα κριτήρια της κλίμακας που έχει ορίσει το πρωτόκολλό του προγράμματος. Στο συγκεκριμένο πείραμα έγιναν και μετρήσεις της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών.

Οι μετρήσεις θα ήταν πιο αξιοποιήσιμες εάν είχαν πραγματοποιηθεί στην περίοδο μεταξύ Απριλίου και Ιουνίου, όπως είναι καθορισμένο στο πρωτόκολλό του πειράματος. Αυτοί οι μήνες είναι ιδιαίτερα κρίσιμοι καθώς χαρακτηρίζονται από συχνά επεισόδια όζοντος.

Δυστυχώς λόγω τεχνικών δυσκολιών δεν στάθηκε δυνατόν να εκτεθούν τα φυτά κατά την περίοδο αυτή. Η έκθεση άρχισε τον Ιούλιο και περατώθηκε τον Σεπτέμβριο. Τα αποτελέσματα θα ήταν περισσότερο αξιοποιήσιμα για το πρόγραμμα, όμως δεν χάνουν αξία τους δεδομένου ότι στη χώρα μας τα επίπεδα του όζοντος παραμένουν υψηλά σε όλη τη διάρκεια του θέρους.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τεχνική καλλιέργειας

Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν 40 φυτά *Trifolium repens*, 20 από τον ανθεκτικό κλώνο (RESISTANT) και 20 από τον ευαίσθητο κλώνο (SENSITIVE). Στις 6 Ιουνίου τοποθετήθηκαν και τα 40 φυτά σε γλάστρες χωρητικότητας 300 ml, που περιείχαν μείγμα κομπόστας (FLORAGARD, τύπος Floradur N 100-250 mg/l, P100-250 mg/l, K 100-350 mg/l, PH 5,0-6,5) και περλίτη. Το ποσοστό του περλίτη σε κάθε φυτοδοχείο ήταν 30%. Η ανάπτυξη των φυτών έγινε μέσα σε θερμοκήπιο με ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας.

Στις 25 Ιουνίου τα φυτά και από τους δύο κλώνους μεταφυτεύτηκαν σε γλάστρες, χωρητικότητας 15 λίτρων, στον πειραματικό αγρό του Μπενακειού Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου στην Κηφισιά.

Η άρδευση των φυτών πραγματοποιούνταν καθημερινά ούτως ώστε η εδαφική υγρασία να είναι σε τέτοια επίπεδα που να μην καταπονούνται τα φυτά από έλλειψη νερού. Είναι γνωστό ότι η μειωμένη εδαφική ή ατμοσφαιρική υγρασία προκαλεί κλείσιμο των στοματίων και επομένως μείωση της ποσότητας του όζοντος που εισέρχεται μέσα στο φυτό από τα στομάτια των φύλλων.

Τα φυτά τοποθετήθηκαν σε 4 σειρές και η κάθε σειρά αποτελούνταν από 10 γλάστρες. Οι θέσεις των γλαστρών στις σειρές αυτές, ήταν έτσι διαμορφωμένες ώστε να έχουμε εναλλακτική διαδοχή ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ-ΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ κλώνων στη θέση τους στην ύπαιθρο.



Εικόνα 2. Οι θέσεις των φυτών στον χώρο του πειράματος.

Τεχνικές μετρήσεων

Η συγκομιδή των τριφυλλιών γίνονταν κάθε 28 μέρες. Οι ημερομηνίες των τριών συγκομιδών ήταν στις: 23 Ιουλίου, 20 Αυγούστου και 17 Σεπτεμβρίου. Από κάθε γλάστρα γίνονταν η κοπή του υπέργειου τμήματος κάθε φυτού. Αμέσως μετά τη συγκομιδή μετρήθηκε το νωπό βάρος κάθε φυτού. Μετά από τη ζύγιση του νωπού βάρους, το υπέργειο τμήμα των φυτών τοποθετήθηκε στο ξηραντήριο σε θερμοκρασία 80°C για 48 ώρες. Ύστερα από την έξοδό τους από το ξηραντήριο μετρήθηκε το ξηρό βάρος.

Για την ποσοτική εκτίμηση των συμπτωμάτων τοξικότητας από το όζον, 15 μέρες ύστερα από κάθε συγκομιδή, κάθε Παρασκευή, γινόταν η καταγραφή της έντασης των συμπτωμάτων στα φύλλα των φυτών σύμφωνα με τη κλίμακα που αναφέρεται στο σχετικό πρωτόκολλο. Τα πέντε επίπεδα σύμφωνα με αυτήν την κλίμακα έχουν ως εξής:

- 0 : υγιή φύλλα χωρίς συμπτώματα καταπόνησης
- 1 : πολύ ελαφριά καταπόνηση, εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων
- 2 : ελαφριά καταπόνηση, 1-5% φύλλων με ελαφριά καταπόνηση
- 3 : μέτρια καταπόνηση, 5-25% καταπονημένων φύλλων
- 4 : μεγάλη καταπόνηση, >25% καταπονημένων φύλλων

5 : καθολική καταπόνηση, 90-100% καταπονημένων φύλλων

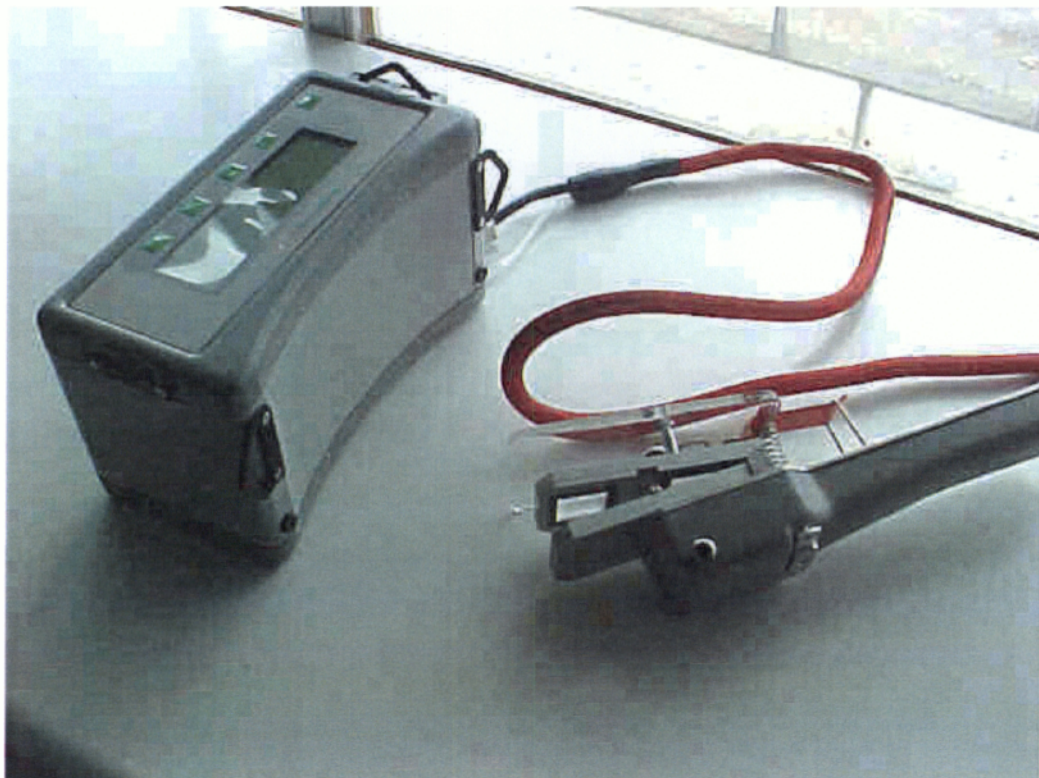
Οι μετρήσεις της φωτοσυνθετικής ικανότητας των τριφυλλιών, έγιναν με τη συσκευή μέτρησης της φωτοσύνθεσης LCi 2003, του οίκου ADC.

Η συσκευή αποτελείται από την κεντρική μονάδα η οποία διαθέτει ηλεκτρονικό επεξεργαστή, κάρτα αποθήκευσης στοιχείων για PC, 5 πιεζόμενα πλήκτρα και τον θάλαμο του φύλλου ο οποίος συνδέεται με την κεντρική μονάδα από ένα καλώδιο.

Η κεντρική μονάδα παρέχει ατμοσφαιρικό αέρα με σχετικά σταθερές συγκεντρώσεις CO₂ και H₂O στο θάλαμο σε συγκεκριμένες αναλογίες.

Αργότερα ο αέρας φεύγοντας από τον θάλαμο επεξεργάζεται για την ποσότητα του CO₂ (που είναι μειωμένη σε σύγκριση με πριν) από έναν υπέρυθρο αναλυτή αερίων. Επίσης επεξεργάζεται και η ποσότητα του H₂O (που είναι αυξημένη σε σύγκριση με πριν) από δύο αισθητήρες υγρασίας.

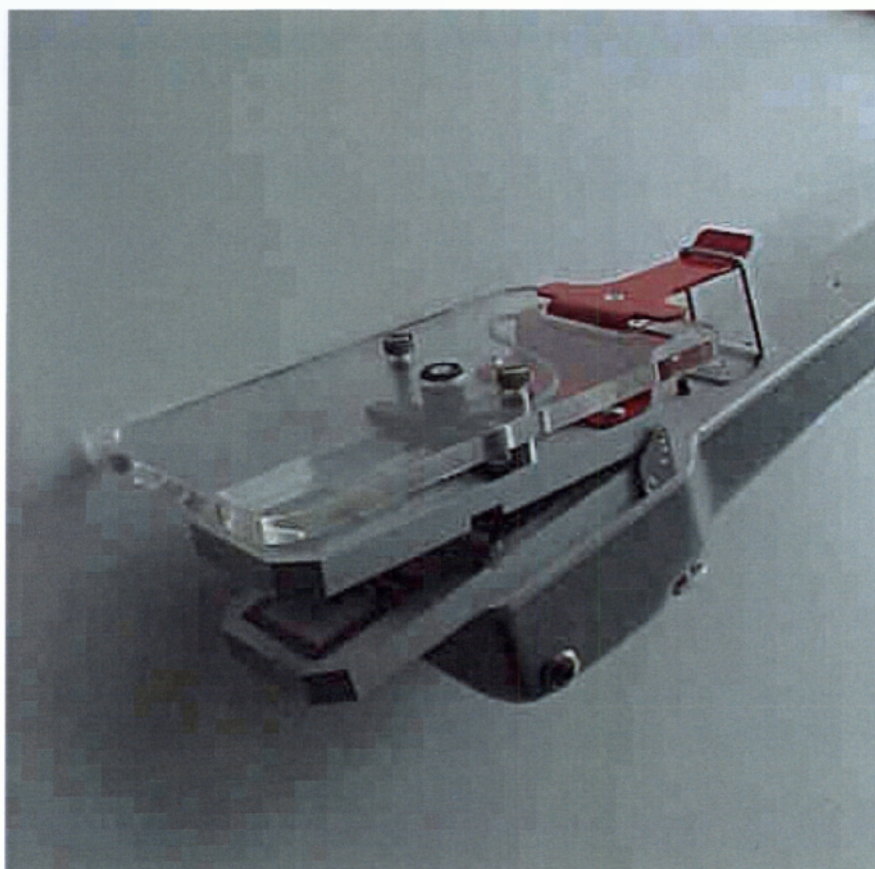
Συνεχώς φρέσκος αέρας περνά από τον θάλαμο της συσκευής. Ένας μικρός ανεμιστήρας στον θάλαμο προκαλεί την κίνηση του αέρα μέσα σε αυτόν.



Εικόνα 3. Η συσκευή μέτρησης της φωτοσύνθεσης LCi 2003, του οίκου ADC.

Η διαφορά στις τιμές των μετρήσεων προκύπτει από την συγκέντρωση του εισερχόμενου αέρα (το σημείο αναφοράς–reference level) μείον τη συγκέντρωση του εξερχόμενου αέρα ο οποίος έχει περάσει πριν από το φύλλο (με συνέπεια να έχουν αλλάξει οι συγκεντρώσεις σε CO₂ και H₂O).

Οι υπολογισμοί των μετρήσεων πραγματοποιούνται περίπου κάθε 20 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 4. Ο θάλαμος του φύλλου της συσκευής μέτρησης φωτοσύνθεσης.

Η συσκευή επίσης μετράει θερμοκρασία φύλλου, την θερμοκρασία του αέρα στο θάλαμο, την Φωτοσυνθετικά Ενεργό Ακτινοβολία και την ατμοσφαιρική πίεση.

Οι ημερομηνίες των μετρήσεων ήταν οι εξής: 10, 14, 31 Αυγούστου και 3, 7, 10, 14 Σεπτεμβρίου. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και κατά τις ηλιόλουστες μέρες στη διάρκεια του πειράματος και κατά τις συννεφιασμένες. Οι ώρες των μετρήσεων ήταν σταθερές στις 9:00, 12:00 και 16:00. Από τα 40 φυτά επιλέγονταν, διαφορετικά κάθε φορά, 7 Ανθεκτικά και 7 Ευαίσθητα. Σε όλες τις μετρήσεις τις ίδιες μέρας για κάθε μία γλάστρα, επιλέγονταν για την μέτρηση πάντα το ίδιο φύλλο.

Για τον υπολογισμό των επιπέδων του όζοντος χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε δύο γειτονικούς σταθμούς του ΠΕΡΠΑ στην Λυκόβρυση και τα Άνω Λιόσια (βλ. σχετικό χάρτη, σελ.27), λόγω έλλειψης μετρητή όζοντος στον χώρο του πειράματος, στον αγρό του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου στην Κηφισιά. Ο σταθμός της Λυκόβρυσης επελέγη ως ο πλησιέστερος στην περιοχή του πειράματος και ο σταθμός των Άνω Λιοσίων ως εκείνος που παρουσιάζει σχεδόν μόνιμα τα υψηλότερα επίπεδα όζοντος στο Λεκανοπέδιο Αττικής. Στους σταθμούς του ΠΕΡΠΑ οι μετρητές του όζοντος καταγράφουν σε 24ωρη βάση την μέση ωριαία συγκέντρωση όζοντος σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Από αυτά τα δεδομένα και για τις ανάγκες του πρωτοκόλλου του πειράματος, αλλά και σύμφωνα με την διεθνή πρακτική, υπολογίστηκε η αθροιστική συγκέντρωση όζοντος (AOT40) ως εξής : Τα $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μετατράπηκαν σε ppb (parts per billion - μέρη στο δισεκατομμύριο) και από τις 24ωρες μετρήσεις κάθε ημέρας χρησιμοποιήθηκαν μόνο εκείνες που συμπεριλαμβάνονταν μεταξύ 07:00 και 19:00. Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκε τελικά η αθροιστική συγκέντρωση όζοντος (AOT40) σε μονάδες που εκφράζουν "δόση" όζοντος ανά ώρα δηλαδή ppb.hours.

Για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις για την εποχή έκθεσης των πειραματικών φυτών στους μήνες Ιούλιο Αύγουστο και Σεπτέμβριο όπως επίσης και η αθροιστική συγκέντρωση όζοντος τους «κρίσιμους μήνες» Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο.

Πίνακας 1.1. Θέσεις και χαρακτηρισμός θέσεων μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

α/α	Όνομα θέσης	Χαρακτήρας θέσης
1	Πατησίων	Εμπορικός-Αστικός
2	Αθήνας	Εμπορικός
3	Πειραιάς	Εμπορικός-Αστικός
4	Γεωπονική	Βιοτεχνικός
5	Ν.Σμυρνη	Κατοικίας
6	Περιτέρι	Εμπορικός-Κατοικίας
7	Λιόσια	Αγροτικός-Κατοικίας
8	Μαρούσι	Κατοικίας
9	Αριστοτελους	Εμπορικός-Αστικός
10	Λυκαβριση	Κατοικίας



Χάρτης του δικτύου σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΑΡΘ (πρώην ΠΕΡΠΑ) στην Αττική (πηγή : ΠΕΡΠΑ)

Επεξεργασία στοιχείων

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων διεκπεραιώθηκε με τη χρησιμοποίηση του στατιστικού προγράμματος Statistica (StatSoft, Inc.) για την ανάλυση της διακύμανσης και τη σύγκριση των μέσων όρων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα του πειράματος φαίνονται στους πίνακες 1 έως 17 και στις γραφικές παραστάσεις 1 έως 16.

Διευκρινίζεται ότι τα επίπεδα της συγκέντρωσης όζοντος αναφέρονται :

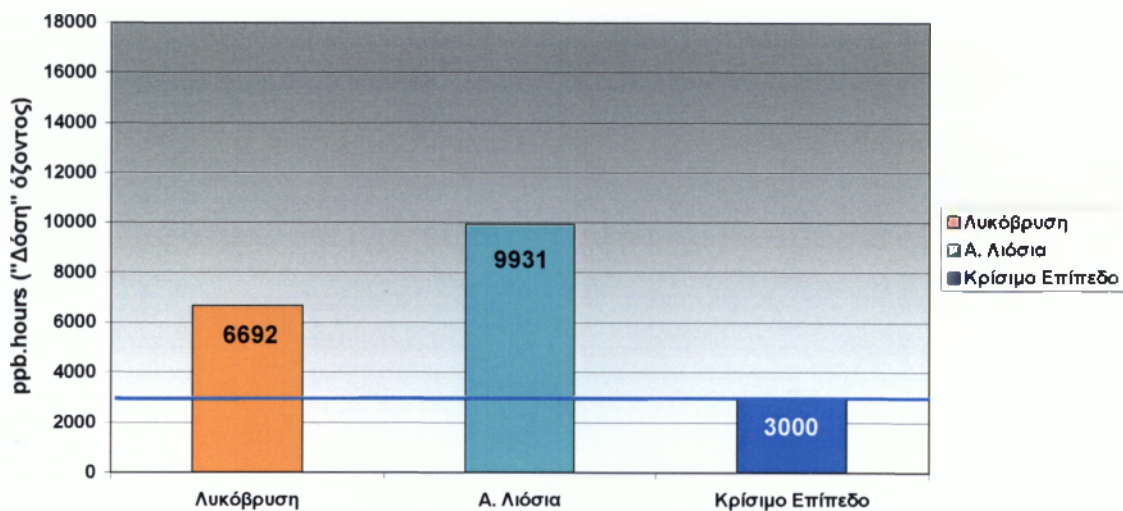
A. Είτε στην κρίσιμη περίοδο μέτρησης των Κρίσιμων Επιπέδων όζοντος για την Ευρώπη, δηλαδή κατά την περίοδο των τριών μηνών Απριλίου, Μαΐου και Ιουνίου. Η περίοδος αυτή είναι κοινή για όλη την Ευρώπη.

B. Είτε στην περίοδο έκθεσης των φυτών δεικτών του πειράματός μας η οποία δυστυχώς δεν στάθηκε δυνατόν να συμπέσει με την παραπάνω περίοδο για καθαρά τεχνικούς λόγους (μη έγκαιρη παραλαβή πολλαπλασιαστικού υλικού από τους συντονιστές του πειράματος).

Και στις δύο περιπτώσεις έχει υπολογιστεί η "δόση" του όζοντος σε ppb.hours σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

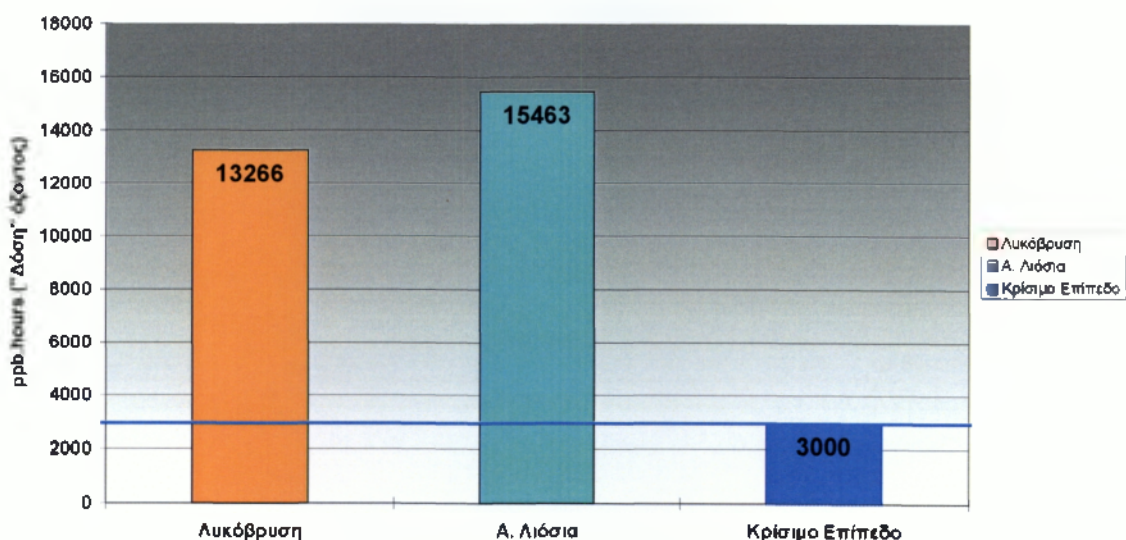
ΕΠΙΠΕΔΑ ΟΖΟΝΤΟΣ (ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 1-4)

Συνολική αθροιστική συγκέντρωση όζοντος (ΑΟΤ40) κατά την "κρίσιμη" περίοδο (Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, 2001), σε δύο Σταθμούς του ΠΕΡΠΑ γειτονικούς στην περιοχή του πειράματος (Βλέπε σχετ. χάρτη), σε σύγκριση με τα ευρωπαϊκά κρίσιμα επίπεδα



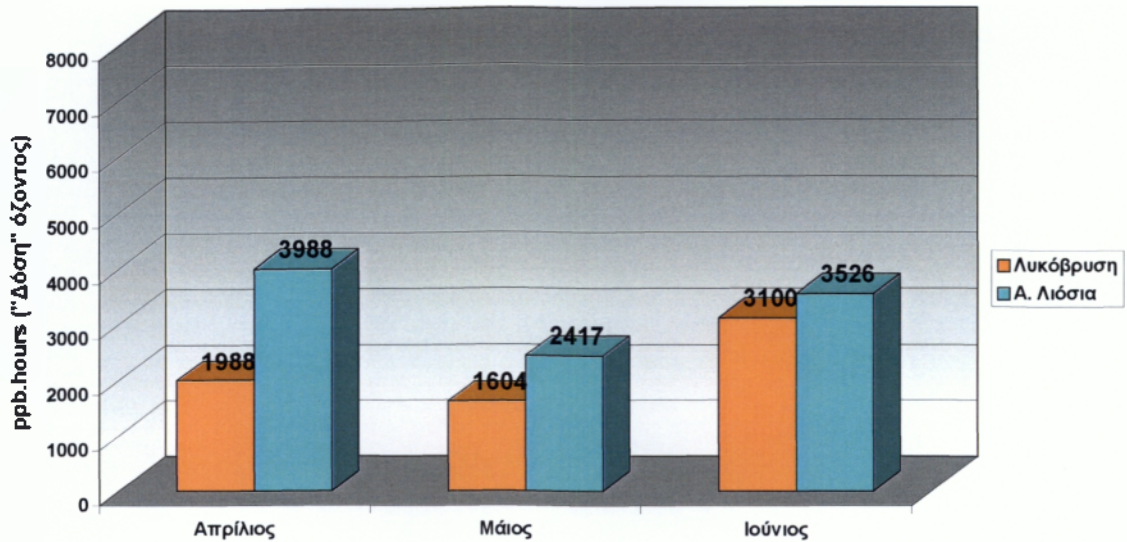
ΓΡΑΦΗΜΑ 1

Συνολική αθροιστική συγκέντρωση του όζοντος κατά την περίοδο έκθεσης του πειράματος (25/6-17/9) σε δύο Σταθμούς του ΠΕΡΠΑ γειτονικούς στην περιοχή του πειράματος σε σύγκριση με τα ευρωπαϊκά κρίσιμα επίπεδα.



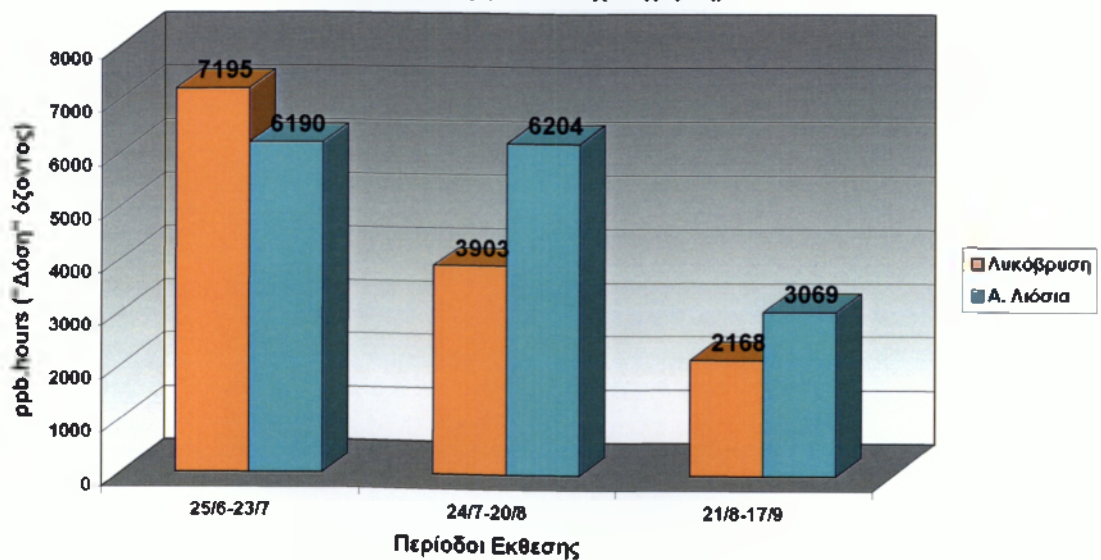
ΓΡΑΦΗΜΑ 2

Αθροιστική συγκέντρωση όζοντος (ΑΟΤ40) κατά την κρίσιμη περίοδο κατά μήνα, σε δύο Σταθμούς του ΠΕΡΠΑ γειτονικούς στην περιοχή του πειράματος (Βλέπε σχετ. χάρτη)



ΓΡΑΦΗΜΑ 3

Αθροιστική συγκέντρωση όζοντος (ΑΟΤ40) κατά την περίοδο έκθεσης (25/6-17/9) σε δύο Σταθμούς του ΠΕΡΠΑ γειτονικούς στην περιοχή του πειράματος (Βλέπε σχετ. χάρτη)



ΓΡΑΦΗΜΑ 4

ΞΗΡΑ ΒΑΡΗ (ΠΙΝΑΚΕΣ 1-3, ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 5-8)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

**ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΞΗΡΩΝ ΒΑΡΩΝ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ
ΛΟΓΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ/ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΚΛΩΝΟΥ
Α' ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ : 23/7/2001**

Ξ.Β. σε gr

Α/Α Φυτού	Ευαίσθητα (Ε)	Ανθεκτικά (Α)	Λόγος Ε/Α
1	1,93	3,95	0,49
2	2,45	3,61	0,68
3	1,45	3,16	0,46
4	0,58	6,14	0,09
5	0,06	5,08	0,01
6	2,65	5,03	0,53
7	1,87	3,02	0,62
8	2,98	3,35	0,89
9	1,74	2,56	0,68
10	2,16	3,48	0,62
11	1,02	2,08	0,49
12	2,36	1,25	1,89
13	1,69	5,10	0,33
14	1,07	4,36	0,25
15	2,49	4,41	0,56
16	1,30	2,87	0,45
17	3,77	1,43	2,64
18	2,61	3,04	0,86
19	4,96	2,26	2,19
20	-	2,12	-
Μ.Ο.	2,06	3,42	0,60

P = 0,0013946 (ANOVA-ECHEL)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2**ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΞΗΡΩΝ ΒΑΡΩΝ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ
ΛΟΓΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ/ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΚΛΩΝΟΥ****Β' ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ : 20/8/2001****Ξ.Β. σε gr**

Α/Α Φυτού	Ευαίσθητα (Ε)	Ανθεκτικά (Α)	Λόγος Ε/Α
1	2,87	5,92	0,48
2	3,44	10,51	0,33
3	4,29	7,46	0,58
4	0,99	13,29	0,07
5	1,57	12,18	0,13
6	5,57	9,76	0,57
7	8,28	9,92	0,83
8	6,86	5,76	1,19
9	6,26	9,78	0,64
10	5,58	9,87	0,57
11	1,73	5,35	0,32
12	4,42	3,74	1,18
13	5,66	7,94	0,71
14	4,06	10,46	0,39
15	3,67	12,29	0,30
16	5,85	5,62	1,04
17	6,59	6,89	0,96
18	7,87	7,48	1,05
19	7,37	7,24	1,02
20	0,89	6,18	0,14
Μ.Ο.	4,69	8,38	0,56

P = 0,000030 (ANOVA-EXCEL)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΞΗΡΩΝ ΒΑΡΩΝ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ

ΛΟΓΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ/ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΚΛΩΝΟΥ

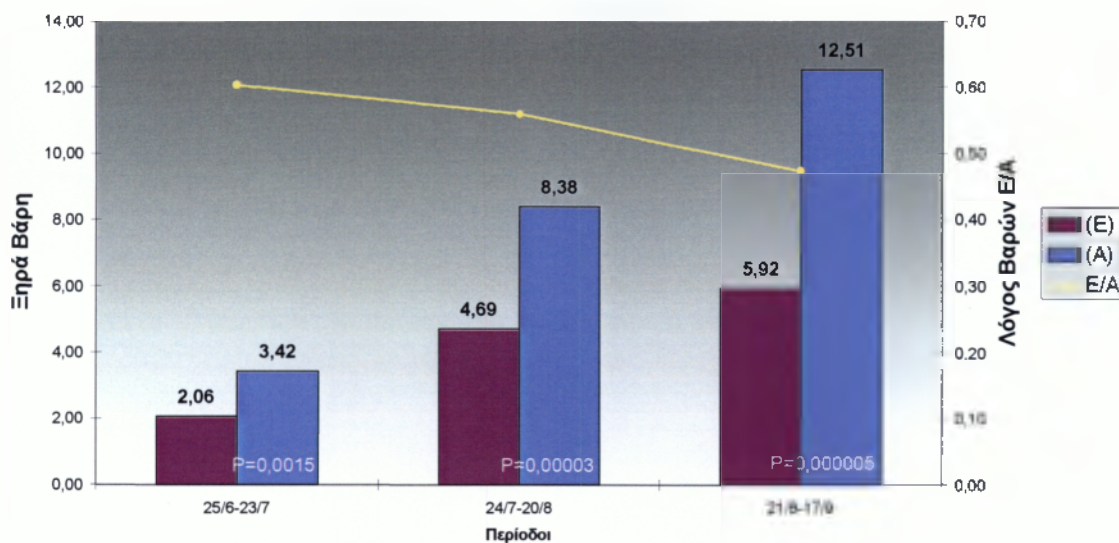
Γ' ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ : 17/9/2001

Ξ.Β. σε gr

Α/Α Φυτού	Ευαίσθητα (Ε)	Ανθεκτικά (Α)	Λόγος Ε/Α
1	3,47	10,08	0,34
2	3,57	15,39	0,23
3	5,76	13,06	0,44
4	2,49	14,89	0,17
5	3,18	19,87	0,16
6	7,48	18,18	0,41
7	15,30	8,32	1,84
8	5,48	11,83	0,46
9	6,32	10,91	0,58
10	5,36	13,93	0,38
11	2,20	11,29	0,19
12	4,75	6,68	0,71
13	6,84	18,30	0,37
14	4,81	3,97	1,21
15	1,20	17,78	0,07
16	12,92	11,90	1,09
17	8,76	12,75	0,69
18	8,38	12,66	0,66
19	8,91	11,24	0,79
20	1,27	7,20	0,18
Μ.Ο.	5,92	12,51	0,47

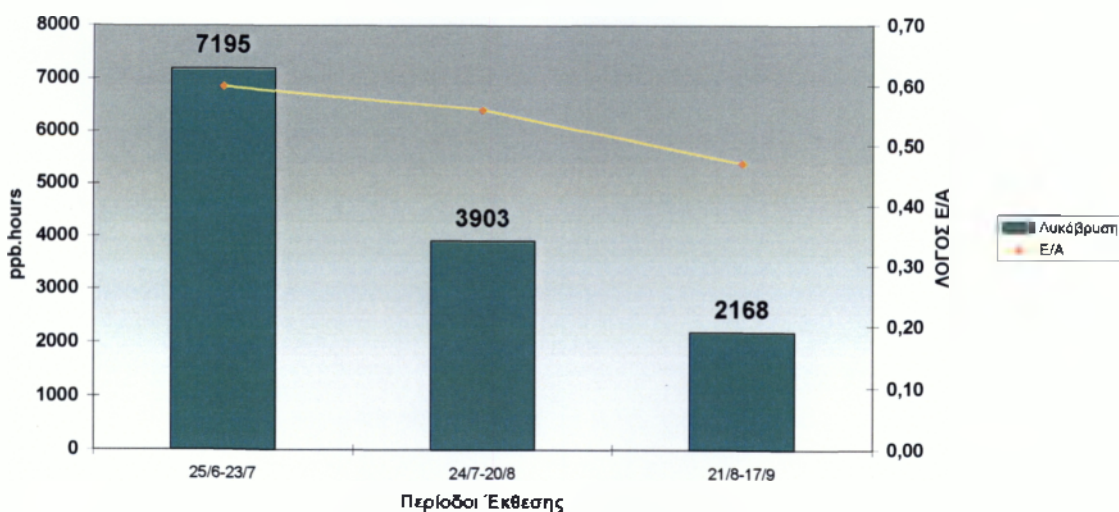
P = 0,000005 (ANOVA-EXCEL)

Συσχέτιση του Μ.Ο. των ξηρών βαρών του υπέργειου τμήματος των Ευαίσθητων (Ε) και Ανθεκτικών (Α) τριφυλλιών στις τρεις περιόδους έκθεσης και η μεταβολή του λόγου Ε/Α



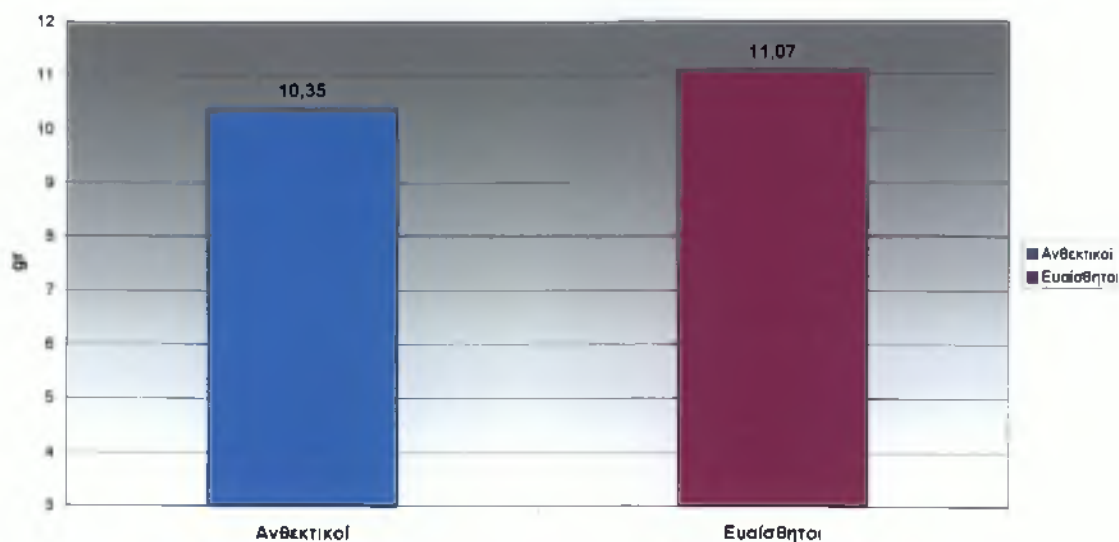
ΓΡΑΦΗΜΑ 5 (Άθροισμα Πινάκων 1,2,3)

Μεταβολή του λόγου του ξ.βάρους ευαίσθητου/ανθεκτικού κλώνου (Ε/Α) στις 3 περιόδους έκθεσης (25/6-17/9) και των αθροιστικών συγκεντρώσεων όζοντος. (σταθμός ΠΕΡΠΑ Λυκόβρυσης)



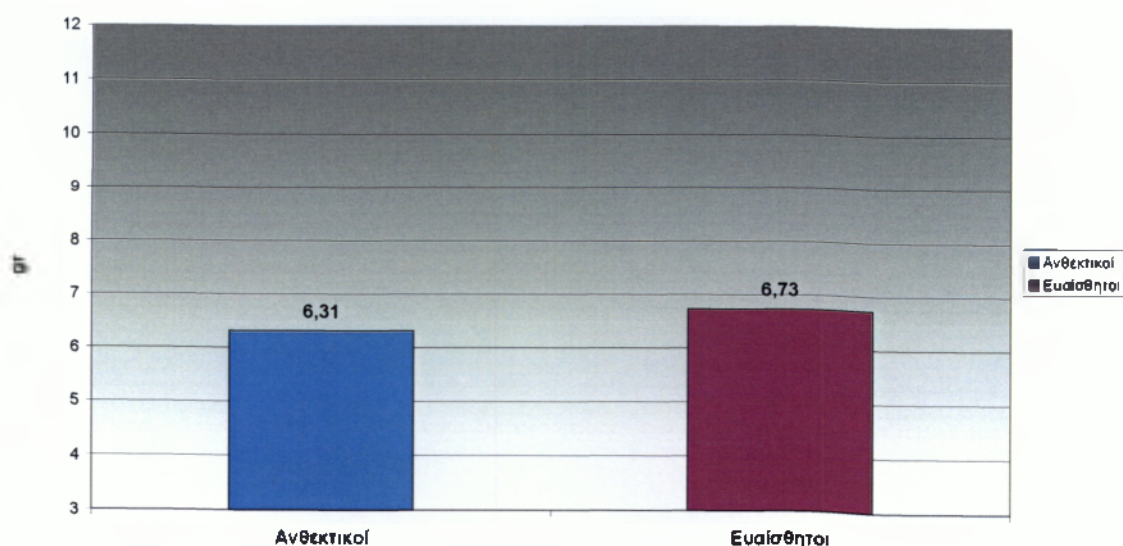
ΓΡΑΦΗΜΑ 6

Ο Μέσος Όρος σε γραμμάρια (gr) της σχέσης νωπό προς ξηρό Βάρος (Ν.Β/Ξ.Β), σε ευαίσθητους και ανθεκτικούς κλώνους κατά την δεύτερη συγκομιδή στις 20 Αυγούστου.



ΓΡΑΦΗΜΑ 7

Ο Μέσος Όρος σε γραμμάρια (gr) της σχέσης νωπό προς ξηρό Βάρος (Ν.Β/Ξ.Β), σε ευαίσθητους και ανθεκτικούς κλώνους κατά την τρίτη συγκομιδή στις 17 Σεπτεμβρίου.



ΓΡΑΦΗΜΑ 8

ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΖΟΝΤΟΣ (ΠΙΝΑΚΕΣ 4-9,

ΓΡΑΦΗΜΑ 9)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

**ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΖΗΜΙΑΣ ΟΖΟΝΤΟΣ
ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΦΥΤΑ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ
Α' ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ : 13/7/2001**

Α/Α Φυτού	Ευαίσθητα (Ε)	Ανθεκτικά (Α)
1	3	1
2	4	1
3	4	1
4	4	1
5	4	3
6	4	1
7	4	1
8	4	1
9	4	3
10	4	1
11	4	2
12	4	1
13	4	1
14	4	3
15	4	1
16	4	1
17	4	1
18	3	2
19	4	1
20	*	1
Μ.Ο.	3,89	1,40

0 : υγιή φύλλα χωρίς συμπτώματα καταπόνησης

1 : πολύ ελαφριά καταπόνηση, εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων

2 : ελαφριά καταπόνηση, 1-5% φύλλων με ελαφριά καταπόνηση

3 : μέτρια καταπόνηση, 5-25% καταπονημένων φύλλων

4 : μεγάλη καταπόνηση, >25% καταπονημένων φύλλων

5 : καθολική καταπόνηση, 90-100% καταπονημένων φύλλων

* : Φυτό κατεστραμμένο από έντομα

ΠΙΝΑΚΑΣ 5
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΖΗΜΙΑΣ ΟΖΟΝΤΟΣ
ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΦΥΤΑ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ
Α' ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ : 20/7/2001

A/A	Ευαίσθητα	Ανθεκτικά
Φυτού	(E)	(A)
1	1	2
2	4	2
3	4	2
4	4	1
5	4	4
6	4	2
7	4	3
8	4	3
9	4	3
10	4	3
11	4	3
12	4	1
13	4	1
14	4	4
15	4	2
16	3	3
17	3	3
18	4	3
19	4	3
20	5	3
M.O.	3,80	2,55

0 : υγιή φύλλα χωρίς συμπτώματα καταπόνησης

1 : πολύ ελαφριά καταπόνηση, εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων

2 : ελαφριά καταπόνηση, 1-5% φύλλων με ελαφριά καταπόνηση

3 : μέτρια καταπόνηση, 5-25% καταπονημένων φύλλων

4 : μεγάλη καταπόνηση, >25% καταπονημένων φύλλων

5 : καθολική καταπόνηση, 90-100% καταπονημένων φύλλων

* : Φυτό κατεστραμμένο από έντομα

ΠΙΝΑΚΑΣ 6
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΖΗΜΙΑΣ ΟΖΟΝΤΟΣ
ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΦΥΤΑ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ
Α' ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ : 10/8/2001

Α/Α Φυτού	Ευαίσθητα (Ε)	Ανθεκτικά (Α)
1	2	1
2	2	1
3	3	2
4	2	3
5	3	2
6	2	2
7	3	2
8	1	2
9	3	1
10	3	1
11	2	1
12	2	2
13	3	2
14	3	1
15	3	2
16	3	2
17	2	3
18	3	1
19	3	2
20	3	2
Μ.Ο.	2,55	1,75

0 : υγιή φύλλα χωρίς συμπτώματα καταπόνησης

1 : πολύ ελαφριά καταπόνηση, εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων

2 : ελαφριά καταπόνηση, 1-5% φύλλων με ελαφριά καταπόνηση

3 : μέτρια καταπόνηση, 5-25% καταπονημένων φύλλων

4 : μεγάλη καταπόνηση, >25% καταπονημένων φύλλων

5 : καθολική καταπόνηση, 90-100% καταπονημένων φύλλων

* : Φυτό κατεστραμμένο από έντομα

ΠΙΝΑΚΑΣ 7
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΖΗΜΙΑΣ ΟΖΟΝΤΟΣ
ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΦΥΤΑ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ
Α' ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ : 17/8/2001

Α/Α	Ευαίσθητα	Ανθεκτικά
Φυτού	(Ε)	(Α)
1	4	3
2	4	3
3	4	4
4	4	4
5	4	3
6	4	4
7	4	4
8	3	4
9	4	3
10	4	3
11	4	3
12	4	4
13	4	4
14	4	3
15	4	4
16	4	4
17	3	4
18	4	4
19	4	4
20	4	4
Μ.Ο.	3,90	3,65

0 : υγιή φύλλα χωρίς συμπτώματα καταπόνησης

1 : πολύ ελαφριά καταπόνηση, εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων

2 : ελαφριά καταπόνηση, 1-5% φύλλων με ελαφριά καταπόνηση

3 : μέτρια καταπόνηση, 5-25% καταπονημένων φύλλων

4 : μεγάλη καταπόνηση, >25% καταπονημένων φύλλων

5 : καθολική καταπόνηση, 90-100% καταπονημένων φύλλων

* : Φυτό κατεστραμμένο από έντομα

ΠΙΝΑΚΑΣ 8
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΖΗΜΙΑΣ ΟΖΟΝΤΟΣ
ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΦΥΤΑ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ
Α' ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ : 7/9/2001

A/A	Ευαίσθητα	Ανθεκτικά
Φυτού	(E)	(A)
1	2	1
2	2	1
3	2	2
4	3	1
5	2	2
6	2	1
7	2	1
8	3	1
9	1	1
10	2	1
11	2	2
12	2	1
13	2	1
14	2	2
15	3	1
16	2	1
17	1	1
18	2	1
19	2	1
20	3	1
M.O.	2,10	1,20

0 : υγιή φύλλα χωρίς συμπτώματα καταπόνησης

1 : πολύ ελαφριά καταπόνηση, εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων

2 : ελαφριά καταπόνηση, 1-5% φύλλων με ελαφριά καταπόνηση

3 : μέτρια καταπόνηση, 5-25% καταπονημένων φύλλων

4 : μεγάλη καταπόνηση, >25% καταπονημένων φύλλων

5 : καθολική καταπόνηση, 90-100% καταπονημένων φύλλων

* : Φυτό κατεστραμμένο από έντομα

ΠΙΝΑΚΑΣ 9
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΖΗΜΙΑΣ ΟΖΟΝΤΟΣ
ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΦΥΤΑ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ
Α' ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ : 14/9/2001

Α/Α Φυτού	Ευαίσθητα (Ε)	Ανθεκτικά (Α)
1	3	3
2	4	2
3	4	3
4	4	3
5	4	3
6	4	3
7	4	3
8	4	3
9	3	3
10	4	3
11	4	3
12	4	3
13	4	3
14	4	4
15	4	3
16	4	4
17	3	3
18	4	3
19	4	3
20	4	3
Μ.Ο.	3,85	3,05

0 : υγιή φύλλα χωρίς συμπτώματα καταπόνησης

1 : πολύ ελαφριά καταπόνηση, εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων

2 : ελαφριά καταπόνηση, 1-5% φύλλων με ελαφριά καταπόνηση

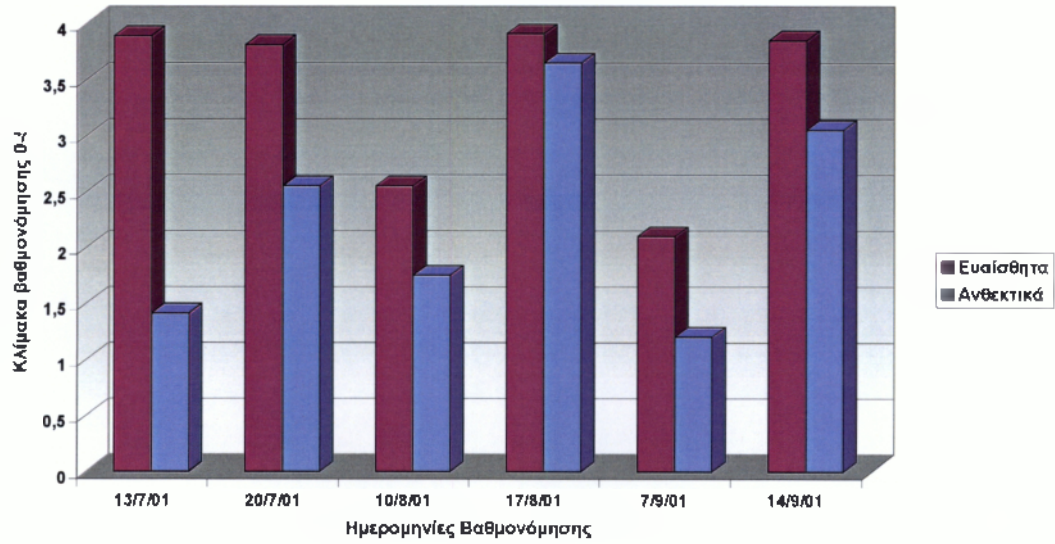
3 : μέτρια καταπόνηση, 5-25% καταπονημένων φύλλων

4 : μεγάλη καταπόνηση, >25% καταπονημένων φύλλων

5 : καθολική καταπόνηση, 90-100% καταπονημένων φύλλων

* : Φυτό κατεστραμμένο από έντομα

Βαθμονόμηση συμπτωμάτων τοξικότητας όζοντος κατά τη διάρκεια του πειράματος (σε κλίμακα 0 - 5)



ΓΡΑΦΗΜΑ 9 (από τους Μ.Ο. των Πινάκων 4- 9)

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΜΑΤΙΩΝ**(ΠΙΝΑΚΕΣ 10-17, ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 10-16)****ΠΙΝΑΚΑΣ 10**

Αγωγιμότητα στοματίων

α/α Φυτών	10/8/2001		
	ΠΡΩΙ	ΜΕΣΗΜΕΡΙ	ΑΠΟΓΕΥΜΑ
E1	0,06	0,16	0,08
E2	0,13	0,08	0,09
E3	0,1	0,09	0,08
E4	0,07	0,08	0,04
E5	0,05	0,05	0,02
E6	0,25	0,23	0,05
E7	0,12	0,19	0,09
M.O.	0,111	0,126	0,064
A1	0,15	0,23	0,08
A2	0,11	0,13	0,06
A3	0,26	0,18	0,14
A4	0,02	0	0,01
A5	0,22	0,26	0,11
A6	0,09	0,13	0,08
A7	0,21	0,16	0,09
M.O.	0,151	0,156	0,081
P =	n.s.	n.s.	n.s.
Μέση Θερμ/σία Φύλλου	37,06	43,73	37,44
Φωτοσ. Ενεργ. Ακτινοβολ.	836,36	1564,86	661,86

Μέτρηση αγωγιμότητας των στοματίων των φύλλων επτά Ευαίσθητων και επτά Ανθεκτικών φυτών τριφυλλιού (δειγματοληπτικά), στις 10 Αυγούστου 2001, σε τρεις διαφορετικές περιόδους της ημέρας.

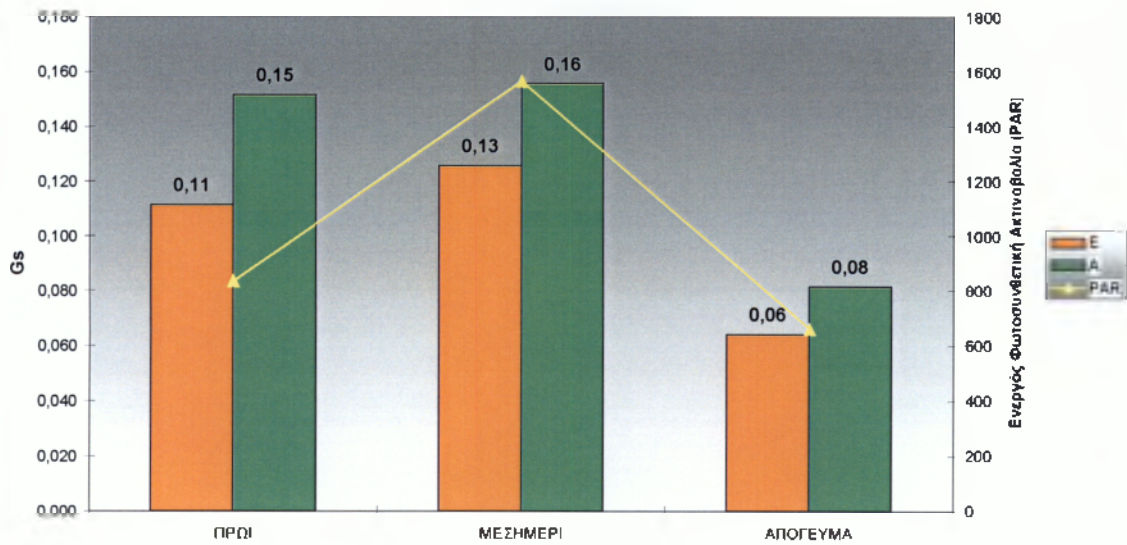
ΠΡΩΙ = 9:00 – 10:00

ΜΕΣΗΜΕΡΙ = 12:00 – 13:00

ΑΠΟΓΕΥΜΑ = 16:00 – 17:00

Μονάδες :Αγωγιμότητας (Gs) : $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-100)Θ/σίας : $^{\circ}\text{C}$ Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία (PAR) : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-3000)

Μεταβολή αγωγιμότητας στοματίων (Gs) σε Ευαίσθητους (E) και Ανθεκτικούς (A) κλώνους Τριφυλλιού και της Ενεργού Φωτοσυνθετικής Ακτινοβολίας (PAR), σε συνάρτηση με την περίοδο της ημέρας στις 10/8/01.



ΓΡΑΦΗΜΑ 10 (Στοιχεία από Πίνακα 10)

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

Αγωγιμότητα στοματίων

α/α	14/8/2001		
	ΠΡΩΙ	ΜΕΣΗΜΕΡΙ	ΑΠΟΓΕΥΜΑ
E1	0,06	0,05	*
E2	0,21	0,24	*
E3	0,28	0,29	*
E4	0,32	0,23	*
E5	0,1	0,03	*
E6	0,19	0,08	*
E7	0,06	0,05	*
M.O.	0,174	0,139	
A1	0,15	0,22	*
A2	0,09	0,12	*
A3	0,08	0,08	*
A4	0,33	0,19	*
A5	0,16	0,15	*
A6	0,26	0,21	*
A7	0,29	0,23	*
M.O.	0,194	0,171	
P =	n.s.	n.s.	n.s.
Μέση Θερμ/σία Φύλλου	32,08	36,86	*
Φωτοσ. Ενεργ. Ακτινοβολ.	945,79	1348,29	*

Μέτρηση αγωγιμότητας των στοματίων των φύλλων επτά Ευαίσθητων και επτά Ανθεκτικών φυτών τριφυλλιού (δειγματοληπτικά), στις 14 Αυγούστου 2001, σε τρεις διαφορετικές περιόδους της ημέρας.

* : Στα σημεία του πίνακα όπου υπάρχει * δεν έχουμε μετρήσεις. Ο συγκεκριμένος πίνακας δεν έχει γραφική παράσταση και οι τιμές του δεν συμπεριλήφθηκαν στους Μέσους Όρους Αγωγιμότητας των στοματίων .

ΠΡΩΙ = 9:00 – 10:00 ΜΕΣΗΜΕΡΙ = 12:00 – 13:00

Μονάδες :

Αγωγιμότητας (Gs) : $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-100)

Θ/σίας : $^{\circ}\text{C}$

Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία (PAR) : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-3000)

ΠΙΝΑΚΑΣ 12

Αγωγιμότητα στοματίων

α/α	31/8/2001		
	ΠΡΩΙ	ΜΕΣΗΜΕΡΙ	ΑΠΟΓΕΥΜΑ
E1	0,05	0,1	0,08
E2	0,12	0,12	0,16
E3	0,12	0,12	0,21
E4	0,12	0,06	0,11
E5	0,1	0,12	0,12
E6	0,07	0,06	0,09
E7	0,07	0,12	0,1
M.O.	0,093	0,100	0,124
A1	0,17	0,08	0,07
A2	0,16	0,1	0,08
A3	0,14	0,07	0,13
A4	0,17	0,06	0,15
A5	0,1	0,08	0,12
A6	0,13	0,17	0,05
A7	0,11	0,11	0,12
M.O.	0,140	0,096	0,103
P =	n.s.	n.s.	n.s.
Μέση Θερμ/σία Φύλλου	33,27	39,26	36,94
Φωτοσ. Ενεργ. Ακτινοβολ.	855,00	1495,07	1084,43

Μέτρηση αγωγιμότητας των στοματίων των φύλλων επτά Ευαίσθητων και επτά Ανθεκτικών φυτών τριφυλλιού (δειγματοληπτικά), στις 31 Αυγούστου 2001, σε τρεις διαφορετικές περιόδους της ημέρας.

ΠΡΩΙ = 9:00 – 10:00

ΜΕΣΗΜΕΡΙ = 12:00 – 13:00

ΑΠΟΓΕΥΜΑ = 16:00 – 17:00

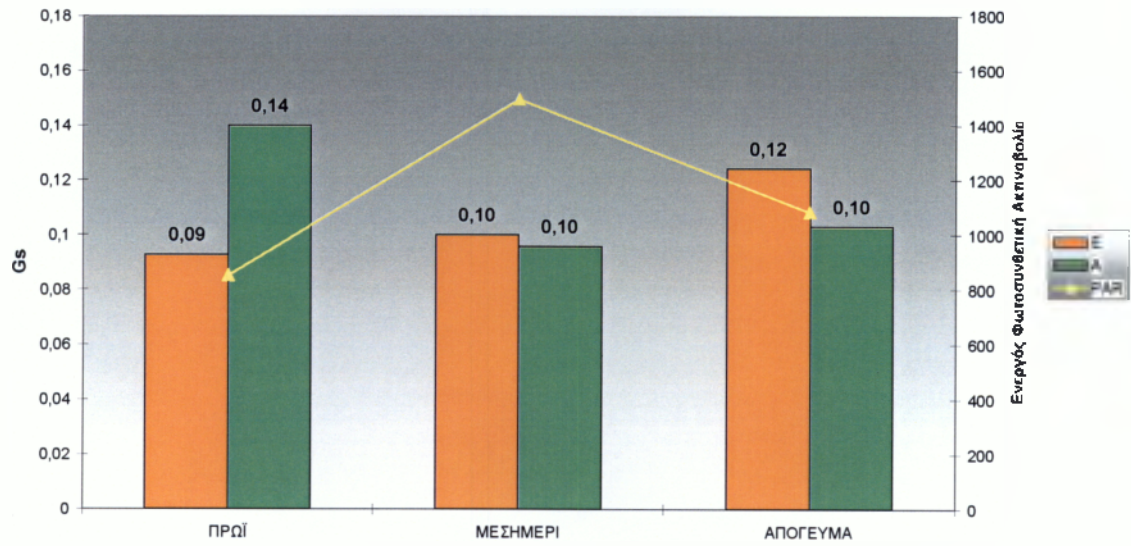
Μονάδες :

Αγωγιμότητας (Gs) : $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-100)

Θ/σίας : $^{\circ}\text{C}$

Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία (PAR) : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-3000)

Μεταβολή αγωγιμότητας στοματίων (Gs) σε Ευαίσθητους (E) και Ανθεκτικούς (A) κλώνους Τριφυλλιού και της Ενεργού Φωτοσυνθετικής Ακτινοβολίας (PAR), σε συνάρτηση με την περίοδο της ημέρας στις 31/8/01.



ΓΡΑΦΗΜΑ 11 (Στοιχεία από πίνακα 12)

ΠΙΝΑΚΑΣ 13

Αγωγιμότητα στοματίων

α/α	3/9/2001		
	ΠΡΩΙ	ΜΕΣΗΜΕΡΙ	ΑΠΟΓΕΥΜΑ
E1	0,05	0,07	0,08
E2	0,07	0,11	0,15
E3	0,08	0,08	0,07
E4	0,09	0,1	0,06
E5	0,15	0,16	0,14
E6	0,11	0,08	0,08
E7	0,09	0,08	0,05
M.O.	0,091	0,097	0,090
A1	0,17	0,08	0,07
A2	0,16	0,1	0,08
A3	0,14	0,07	0,13
A4	0,17	0,06	0,15
A5	0,1	0,08	0,12
A6	0,13	0,17	0,05
A7	0,11	0,11	0,12
M.O.	0,140	0,096	0,103
P =	n.s.	n.s.	n.s.
Μέση Θερμ/σία Φύλλου	35,19	35,68	37,71
Φωτοσ. Ενεργ. Ακτινοβολ.	958,07	1105,14	950,00

Μέτρηση αγωγιμότητας των στοματίων των φύλλων επτά Ευαίσθητων και επτά Ανθεκτικών φυτών τριφυλλιού (δειγματοληπτικά), στις 3 Σεπτεμβρίου 2001, σε τρεις διαφορετικές περιόδους της ημέρας.

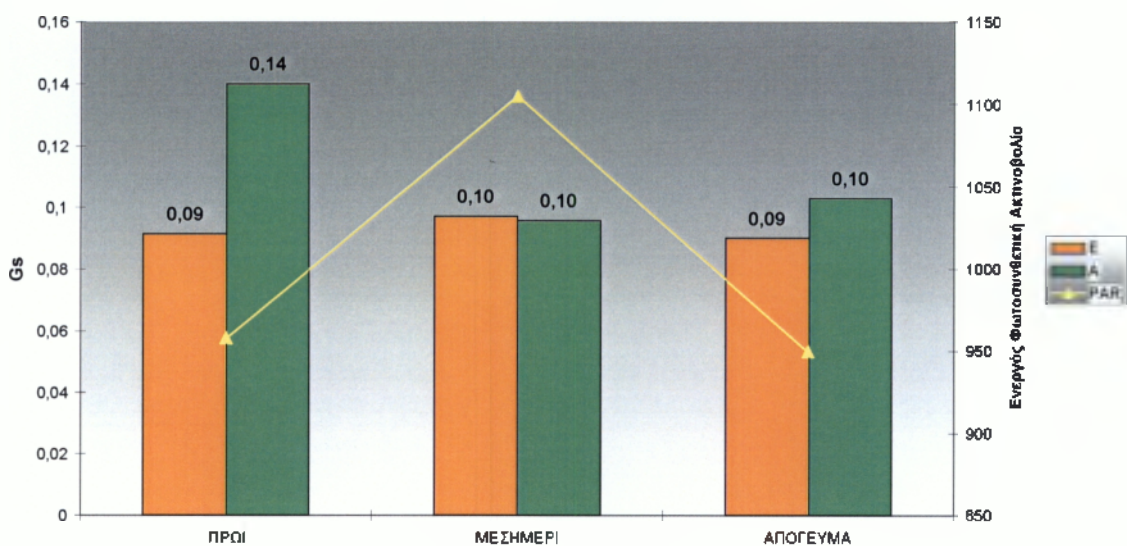
ΠΡΩΙ = 9:00 – 10:00

ΜΕΣΗΜΕΡΙ = 12:00- 13:00

ΑΠΟΓΕΥΜΑ = 16:00 – 17:00

Μονάδες :Αγωγιμότητας (Gs) : $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-100)Θ/σίας : $^{\circ}\text{C}$ Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία (PAR) : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-3000)

Μεταβολή αγωγιμότητας στοματίων (Gs) σε Ευαίσθητους (E) και Ανθεκτικούς (A) κλώνους Τριφυλλιού και της Ενεργού Φωτοσυνθετικής Ακτινοβολίας (PAR), σε συνάρτηση με την περίοδο της ημέρας στις 3/9/01.



ΓΡΑΦΗΜΑ 12 (Στοιχεία από πίνακα 13)

ΠΙΝΑΚΑΣ 14

Αγωγιμότητα στοματίων

α/α	7/9/2001		
	ΠΡΩΙ	ΜΕΣΗΜΕΡΙ	ΑΠΟΓΕΥΜΑ
E1	0,07	0,06	0,09
E2	0,05	0,03	0,06
E3	0,09	0,1	0,06
E4	0,06	0,04	0,07
E5	0,05	0,11	0,08
E6	0,08	0,09	0,05
E7	0,07	0,1	0,05
M.O.	0,067	0,076	0,066
A1	0,14	0,16	0,08
A2	0,08	0,09	0,06
A3	0,1	0,06	0,06
A4	0,09	0,09	0,09
A5	0,12	0,08	0,04
A6	0,12	0,15	0,05
A7	0,13	0,04	0,06
M.O.	0,111	0,096	0,063
P =	n.s.	n.s.	n.s.
Μέση Θερμ/σία Φύλλου	30,43	37,71	29,66
Φωτοσ. Ενεργ. Ακτινοβολ.	951,36	1649,21	163,21

Μέτρηση αγωγιμότητας των στοματίων των φύλλων επτά Ευαίσθητων και επτά Ανθεκτικών φυτών τριφυλλιού (δειγματοληπτικά), στις 7 Σεπτεμβρίου 2001, σε τρεις διαφορετικές περιόδους της ημέρας.

ΠΡΩΙ = 9:00 – 10:00

ΜΕΣΗΜΕΡΙ : 12:00 – 13:00

ΑΠΟΓΕΥΜΑ = 16:00 – 17:00

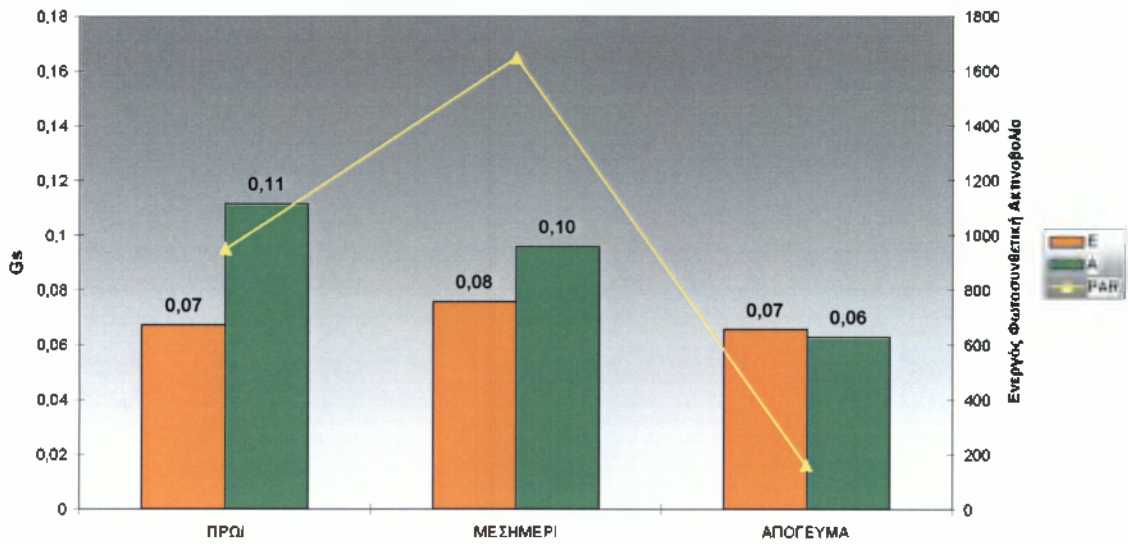
Μονάδες :

Αγωγιμότητας (Gs) : $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-100)

Θ/σίας : °C

Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία (PAR) : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-3000)

Μεταβολή αγωγιμότητας στοματίων (Gs) σε Ευαίσθητους (E) και Ανθεκτικούς (A) κλώνους Τριφυλλιού και της Ενεργού Φωτοσυνθετικής Ακτινοβολίας (PAR), σε συνάρτηση με την περίοδο της ημέρας στις 7/9/01.



ΓΡΑΦΗΜΑ 13 (Στοιχεία από πίνακα 14)

ΠΙΝΑΚΑΣ 15

Αγωγιμότητα στοματίων

α/α	10/9/2001		
	ΠΡΩΙ	ΜΕΣΗΜΕΡΙ	ΑΠΟΓΕΥΜΑ
E1	0,09	0,07	0,08
E2	0,07	0,14	0,09
E3	*	0,03	0,03
E4	*	0,13	0,08
E5	*	0,11	0,14
E6	*	0,1	0,06
E7	*	0,08	0,06
M.O.	0,080	0,094	0,077
A1	0,14	0,19	0,13
A2	0,11	0,16	0,12
A3	0,13	0,14	0,18
A4	0,19	0,07	0,19
A5	0,04	0,03	0,04
A6	0,22	0,18	0,12
A7	0,07	0,03	0,05
M.O.	0,129	0,114	0,119
P =	n.s.	n.s.	n.s.
Μέση Θερμ/σία Φύλλου	31,89	35,58	36,91
Φωτοσ. Ενεργ. Ακτινοβολ.	859,00	1307,57	1263,21

Μέτρηση αγωγιμότητας των στοματίων των φύλλων επτά Ευαίσθητων και επτά Ανθεκτικών φυτών τριφυλλιού (δειγματοληπτικά), στις 10 Σεπτεμβρίου 2001, σε τρεις διαφορετικές περιόδους της ημέρας.

ΠΡΩΙ = 9:00 – 10:00

ΜΕΣΗΜΕΡΙ = 12:00 – 13:00

ΑΠΟΓΕΥΜΑ = 16:00 – 17:00

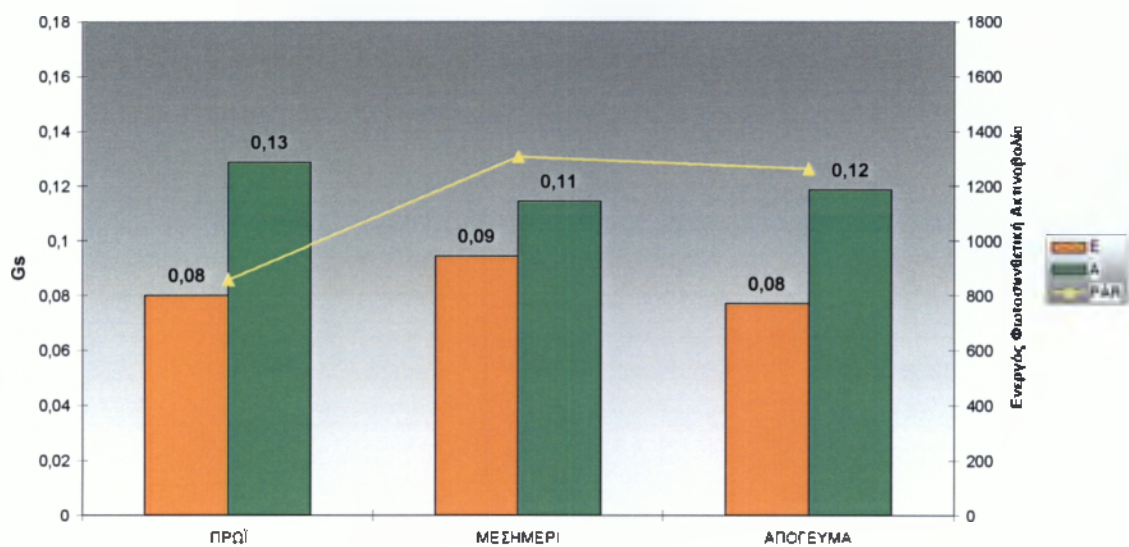
Μονάδες :

Αγωγιμότητας (Gs) : $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-100)

Θ/σίας : $^{\circ}\text{C}$

Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία (PAR) : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-3000)

Μεταβολή αγωγιμότητας στοματίων (Gs) σε Ευαίσθητους (E) και Ανθεκτικούς (A) κλώνους Τριφυλλιού και της Ενεργού Φωτοσυνθετικής Ακτινοβολίας (PAR), σε συνάρτηση με την περίοδο της ημέρας στις 10/9/01.



ΓΡΑΦΗΜΑ 14 (Στοιχεία από πίνακα 15)

ΠΙΝΑΚΑΣ 16

Αγωγιμότητα στοματίων

α/α	14/9/2001		
	ΠΡΩΙ	ΜΕΣΗΜΕΡΙ	ΑΠΟΓΕΥΜΑ
E1	0,06	0,07	0,04
E2	0,08	0,08	0,14
E3	0,02	0,03	0,04
E4	0,1	0,11	0,06
E5	0,07	0,09	0,09
E6	0,05	0,07	0,1
E7	0,03	0,02	0,02
M.O.	0,059	0,067	0,070
A1	0,1	0,07	0,11
A2	0,11	0,14	0,07
A3	0,21	0,09	0,13
A4	0,05	0,08	0,06
A5	0,07	0,05	0,03
A6	0	ο/γ	0,03
A7	0,16	0,05	0,12
M.O.	0,100	0,080	0,079
P =	n.s.	n.s.	n.s.
Μέση Θερμ/σία Φύλλου	30,36	37,56	35,20
Φωτοσ. Ενεργ Ακτινοβολ.	1055,50	1521,50	1319,50

Μέτρηση αγωγιμότητας των στοματίων των φύλλων επτά Ευαίσθητων και επτά Ανθεκτικών φυτών τριφυλλιού (δειγματοληπτικά), στις 14 Σεπτεμβρίου 2001, σε τρεις διαφορετικές περιόδους της ημέρας.

ΠΡΩΙ = 9:00 – 10:00

ΜΕΣΗΜΕΡΙ = 12:00 – 13:00

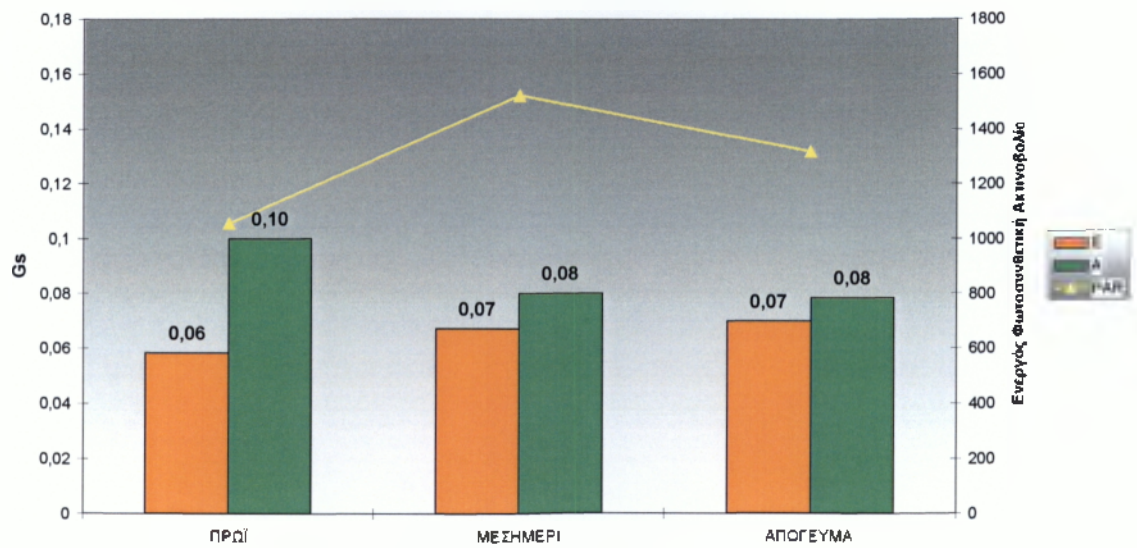
ΑΠΟΓΕΥΜΑ = 16:00 – 17:00

Μονάδες :Αγωγιμότητας (Gs) : mol m⁻² s⁻¹ (0-100)

Θ/σίας : °C

Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία (PAR) : μmol m⁻² s⁻¹ (0-3000)

Μεταβολή αγωγιμότητας στοματίων (Gs) σε Ευαίσθητους (E) και Ανθεκτικούς (A) κλώνους Τριφυλλιού και της Ενεργού Φωτοσυνθετικής Ακτινοβολίας (PAR), σε συνάρτηση με την περίοδο της ημέρας στις 14/9/01.



ΓΡΑΦΗΜΑ 15 (Στοιχεία από πίνακα 16)

ΠΙΝΑΚΑΣ 17

Αγωγιμότητα στοματίων

Ευαίσθητα	Μ. Ο. Μετρήσεων		
	ΠΡΩΙ	ΜΕΣΗΜΕΡΙ	ΑΠΟΓΕΥΜΑ
28/8/2001	0,11	0,13	0,06
31/8/2001	0,09	0,10	0,12
3/9/2001	0,09	0,10	0,09
7/9/2001	0,07	0,08	0,07
10/9/2001	0,08	0,09	0,08
14/9/2001	0,06	0,07	0,07
Μ.Ο.	0,084	0,093	0,082
Ανθεκτικά			
10/8/2001	0,15	0,16	0,08
31/8/2001	0,14	0,10	0,10
3/9/2001	0,14	0,10	0,10
7/9/2001	0,11	0,10	0,06
10/9/2001	0,13	0,11	0,12
14/9/2001	0,10	0,08	0,08
Μ.Ο.	0,129	0,106	0,091
P =	0,002	n.s.	n.s.
Μ.Ο. Μέσης Θερμότητας Φύλλου	32,90	38,05	35,65
Μ.Ο. Φωτοσ Ενεργ. Ακτινοβολ.	923,01	1427,38	907,04

Οι Μέσοι Όροι (Μ.Ο) των μετρήσεων της αγωγιμότητας των στοματίων των φύλλων, επτά Ευαίσθητων και επτά Ανθεκτικών φυτών τριφυλλιού (δειγματοληπτικά), σε τρεις διαφορετικές περιόδους της ημέρας.

ΠΡΩΙ = 9:00 – 10:00

ΜΕΣΗΜΕΡΙ = 12:00 – 13:00

ΑΠΟΓΕΥΜΑ = 16:00 – 17:00

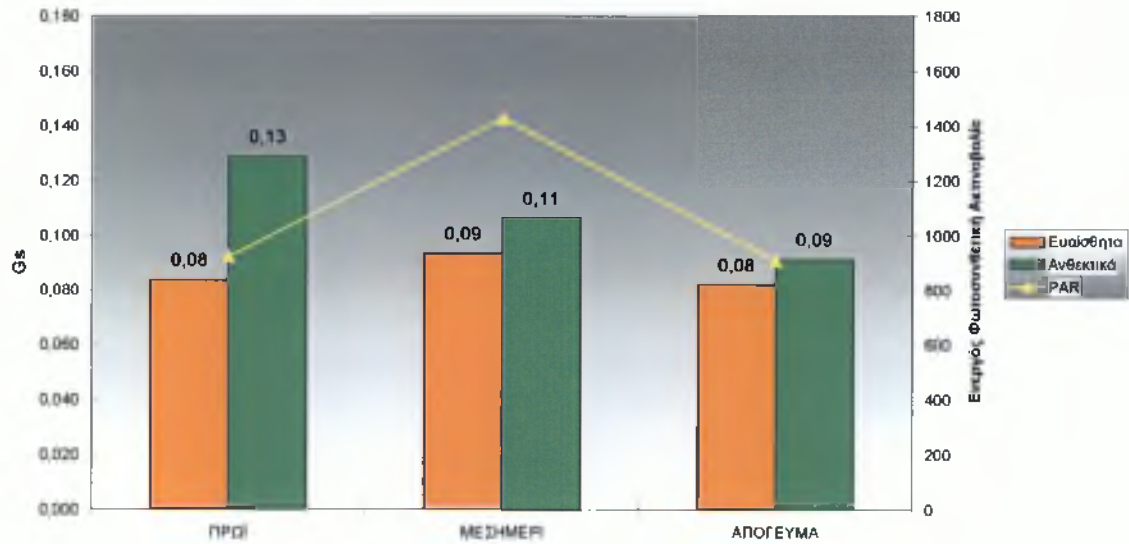
Μονάδες :

Αγωγιμότητας (Gs) : $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-100)

Θ/σίας : °C

Φωτοσυνθετική Ενεργός Ακτινοβολία (PAR) : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0-3000)

Μέσος Όρος μεταβολής αγωγιμότητας στοματίων (Gs) σε Ευαίσθητους (Ε) και Ανθεκτικούς (Α) κλώνους Τριφυλλιού και της Ενεργού Φωτοσυνθετικής Ακτινοβολίας (PAR), σε συνάρτηση με την περίοδο της ημέρας.



ΓΡΑΦΗΜΑ 16 (Στοιχεία από πίνακα 17)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως ήδη αναφέρθηκε η διεξαγωγή του πειράματος έγινε ουσιαστικά εκτός εποχής. Το πρωτόκολλο προέβλεπε έκθεση των φυτών δεικτών στο διάστημα μεταξύ Απριλίου και Ιουνίου, περίοδος στην οποία υπολογίζονται και τα κρίσιμα επίπεδα όζοντος. Δυστυχώς, λόγω αντικειμενικών τεχνικών δυσκολιών δεν έγινε έγκαιρα η παραλαβή υγιών μοσχευμάτων φυτών δεικτών από το συντονιστικό κέντρο. Αυτό έγινε εφικτό περί τα μέσα Ιουνίου.

Παρόλα αυτά κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί το πείραμα εκτός των ημερομηνιών του πρωτοκόλλου, δεδομένου ότι η παρουσία του όζοντος στην Ελλάδα ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη την διάρκεια του θέρους. Έτσι, η πειραματική διαδικασία διατηρεί την αυτοδυναμία της και τα αποτελέσματα του πειράματος την αυτοτελή αξία τους.

Τα επίπεδα του τροποσφαιρικού όζοντος

Στους θεωρούμενους κρίσιμους μήνες Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο τα αθροιστικά επίπεδα του όζοντος σε σχέση με τα κρίσιμα επίπεδα για την Ευρώπη (3000 ppb.hours) που μετρήθηκαν στους δύο συγκεκριμένους σταθμούς του ΠΕΡΠΑ, ήταν 2,2 φορές μεγαλύτερα στη Λυκόβρυση και 3,3 φορές μεγαλύτερα στα Άνω Λιόσια (Γράφημα 1). Αυτό δείχνει για μία ακόμη φορά ότι η φωτοχημική ρύπανση της ατμόσφαιρας του λεκανοπεδίου Αττικής είναι σε υψηλά επίπεδα. Συμπερασματικά, και τα αναμενόμενα επίπεδα της περιοχής όπου εκτελέστηκε το πείραμα (Κηφισιά) θα είναι αντίστοιχα υψηλά, δεδομένης της γειτνίασής της κυρίως με το σταθμό της Λυκόβρυσης.

Κατά την περίοδο του πειράματος, δηλαδή τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο (συγκεκριμένα από 25/6/2001-17/9/2001), τα αντίστοιχα επίπεδα όζοντος ήταν 4,4 φορές μεγαλύτερα από τα κρίσιμα επίπεδα για την Ευρώπη στη Λυκόβρυση και 5,2 φορές μεγαλύτερα στα Άνω Λιόσια (Γράφημα 2). Αυτό ακριβώς δείχνει ότι οι συγκεντρώσεις όζοντος κατά την διάρκεια του πειράματος ήταν σημαντικά μεγαλύτερη (περίπου διπλάσια) από την θεωρούμενη ως κρίσιμη περίοδο, οπότε και επιβεβαιώθηκε η ορθότητα της επιλογής να εκτελεστεί αυτοτελώς το πείραμα την συγκεκριμένη εποχή.

Αξιολόγηση διαφοράς ξηρού βάρους υπέργειου τμήματος

Όπως φαίνεται στους πίνακες 1 έως 3 και στα γραφήματα 5 και 6 στις 3 συγκομιδές του πειράματος στις 23 Ιουλίου, 20 Αυγούστου και 17 Σεπτεμβρίου βρέθηκε ότι σε όλες τις μετρήσεις το ξηρό βάρος των ευαίσθητων κλώνων να είναι μικρότερο από το βάρος των ανθεκτικών με πολύ μεγάλη στατιστικά σημαντική διαφορά. Αυτό και μόνο δείχνει με σαφήνεια την παρουσία φυτοτοξικών συγκεντρώσεων όζοντος στην περιοχή του πειράματος, πράγμα που είναι και ο κυριότερος στόχος του Προγράμματος.

Στο πρωτόκολλο του πειράματος υπολογίζεται επίσης ως δείκτης ο λόγος του Μ.Ο. των Ξ.Β. των δύο κλώνων για κάθε συγκομιδή. Ο λόγος αυτός συσχετίζεται με τα αντίστοιχα επίπεδα όζοντος κάθε περιόδου έκθεσης.

Στην περίπτωση μας δεν υπήρξε αρνητική συσχέτιση των δύο αυτών μεγεθών (Γράφημα 5) όπως θα ήταν αναμενόμενο. Αυτό πιθανώς να εξηγείται από το γεγονός ότι τα επίπεδα όζοντος και στις τρεις περιόδους έκθεσης ήταν υψηλότερα ή πολύ κοντά στο κρίσιμο επίπεδο οπότε η επίδραση του όζοντος ήταν εξίσου σημαντική και ο δείκτης του λόγου κυμάνθηκε γενικά σε αξιοσημείωτα χαμηλά επίπεδα χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές, πράγμα που έδειξε ούτως ή άλλως σημαντική επίδραση του όζοντος στην ανάπτυξη των ευαίσθητων κλώνων.

Η σχέση νωπό προς ξηρό βάρος παρουσίασε την τάση να είναι μεγαλύτερη στα φυτά του ευαίσθητου κλώνου από τα φυτά του ανθεκτικού, στις 2 τελευταίες κοπές (Γραφήματα 7 και 8). Προφανώς, λόγω της μειωμένης αγωγιμότητας των στοματίων των ευαίσθητων φυτών σε σχέση με αυτή των ανθεκτικών, τα ευαίσθητα φυτά κράτησαν μεγαλύτερες ποσότητες νερού έναντι των ανθεκτικών.



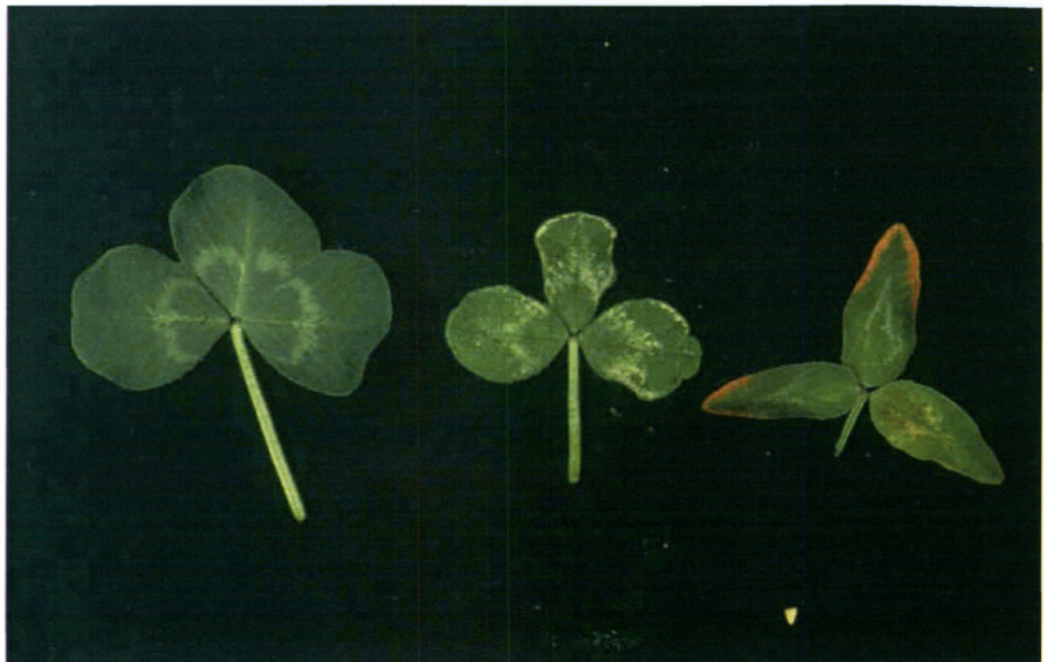
Εικόνα 5. Οι διαφορές στην ανάπτυξη του ανθεκτικού κλώνου (αριστερά) και του ευαίσθητου (δεξιά) είναι σημαντικές.

Αξιολόγηση μακροσκοπικών συμπτωμάτων όζοντος στα φυτά.

Οι μετρήσεις της έντασης των ορατών συμπτωμάτων τοξικότητας από το όζον στις 13 και 20 Ιουλίου, 10 και 17 Αυγούστου, 7 και 14 Σεπτεμβρίου (πίνακες 4-9, και Γράφημα 9), έδειξαν σαφείς διαφορές μεταξύ των ευαίσθητων και των ανθεκτικών κλώνων. Παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά συμπτώματα και στους δύο κλώνους (ερυθροί μεταχρωματισμοί, νεκρωτικές κηλίδες, πρόωρο γήρας), με διαφορετική όμως ένταση μεταξύ τους. Βρέθηκε ότι τα φυτά του ευαίσθητου κλώνου παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερη ένταση συμπτωμάτων τοξικότητας από τα φυτά του ανθεκτικού κλώνου σε όλες τις μετρήσεις.



Εικόνα 6. Χαρακτηριστικά συμπτώματα τοξικότητας όζοντος σε φύλλα ευαίσθητου κλώνου.



Εικόνα 7. Ορατά συμπτώματα τοξικότητας όζοντος σε ευαίσθητο κλώνο (μεσαίο και δεξιό φύλλο). Οι διαφορές είναι σαφείς σε σύγκριση με τον ανθεκτικό κλώνο (αριστερό φύλλο.)

Διαφορές στην αγωγιμότητα στοματίων

Από τις μετρήσεις της αγωγιμότητας των στοματίων βρέθηκε σε γενικές γραμμές ότι οι ευαίσθητοι κλώνοι είχαν μικρότερη αγωγιμότητα από τους ανθεκτικούς. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο ότι τα φύλλα των ευαίσθητων κλώνων είχαν περισσότερες και σε μεγαλύτερο βαθμό νεκρωτικές κηλίδες από τους ανθεκτικούς κλώνους, άρα λιγότερα ενεργά στομάτια ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί και να οφείλεται και στον διαφορετικό ρυθμό λειτουργίας των στοματίων εξαιτίας της γενετικής διαφοράς των κλώνων.

Οι διαφορές στην αγωγιμότητα μεταξύ των ευαίσθητων και των ανθεκτικών κλώνων ήταν στατιστικά σημαντικές (Πίνακες 10-17, Γραφήματα 10-16).

Επίσης παρατηρήθηκε στις περισσότερες μετρήσεις ότι οι διαφορές ήταν μεγαλύτερες τις πρωινές ώρες. Ως πιθανότερη αιτία θα μπορούσε να θεωρηθεί η μικρότερη θερμική καταπόνηση έναντι των μεσημεριανών και απογευματινών ωρών.

Διαφορές στο ρυθμό φωτοσύνθεσης

Οι μετρήσεις του ρυθμού της φωτοσύνθεσης δεν έδωσαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Από τις μετρήσεις δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά από την κύρια επίδραση του γονότυπου ενώ βρέθηκε ότι η επίδραση του παράγοντα «περίοδος της ημέρας» ήταν στατιστικά σημαντική. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι ο ρυθμός φωτοσύνθεσης του ευαίσθητου κλώνου μειώθηκε στατιστικά σημαντικά κατά την μέτρηση στις 12:00 και 16:00 σε σχέση με αυτή των 9:00.

Αντίθετα, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο ρυθμό φωτοσύνθεσης μεταξύ των ευαίσθητων και ανθεκτικών κλώνων και στις τρεις μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Cvitas T., Gusten H., Heinrich G., Klasinc L., Lalas D.P. & Petrakis M.(1985)
Characteristics of air pollution during the summer in Athens, Greece. *Staub-Reinhalt*, **45**,
297-301.

Mills G., Hayes F., Buse A. & Reynolds B. (2000) Air Pollution and Vegetation,
UNECE ICP Vegetation, Annual Report 1999/2000, *Centre for Ecology & Hydrology*
(Natural environment research council) August 2000.

Gusten H., Heinrich G., Cvitas T., Klasinc L., Rui, B. & Lalas, D.P. (1988)
Photochemical formation and transport of ozone in Athens, Greece. *Atmospheric*
Environment, **22**, 1855-1861.

Heagle A.S., Miller J.E., Chevone B.I., Dreschel T.W., Manning W.J., McCool
P.M., Lynn Morrison C., Neely G.E. & Rebbeck J. (1995). Response of a white
clover indicator system to tropospheric ozone at eight locations in the United States.
Water, Air and Soil Pollution **85** : 1373-1378.

Jacobson & Hill. (1970). Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation. A
PICTORIAL ATLAS. *Air pollution control association*, Pittsburgh- Pennsylvania,
1970.

Lalas D. P., Tombrou T., Petrakis M., Asimakopoulos M., & Helmis C. (1987). An
experimental study of the horizontal and vertical distribution of ozone over Athens.
Atmospheric Environment, **21**, 2681-2693

OZONE IN THE UNITED KINGDOM. (1997). *Fourth Report of the photochemical*
Oxidants Review Group, 1997

Petrakis M. (1988) Pollution in Athens and Modelling Approaches. *Meteorology and Air Pollution in the Mediterranean area*. ISPRA COURSES, Madrid, Sep. 26-30, 1988.

Tsani-Bazaca, E. (1988). Hydrocarbons and Photooxidants in the Lower Athens Atmosphere. *Meteorology And Air Pollution in the Mediterranean Area*. ISPRA courses, Madrid, Sept. 26-30, 1988.

Velissariou D.E. (1993). Ozone sensitivity of important crop plants around Athens, Greece. *PhD Thesis*, July 1993.

Velissariou D., Gimeno B.S., G. Schenone and R. Guardans. (1994). Ozone effects on the Mediterranean region: An overview. *CRITICAL LEVELS FOR OZONE*, a UN-ECE workshop report. March 1994, 122-136

Velissariou D. and Davison A.W. (1994). Ozone effects on important Greek fodder crops. *Critical levels for ozone. a UN-ECE workshop report*. March 1994, 252-255.

Velissariou D., Davison A.W., Barnes J.D., Gimeno B. (1995). The use of Aleppo pine, *Pinus Halepensis* Mill as a bioindicator of ozone stress in Greece and Spain. *Bioindicators of Environmental Health*. Amsterdam 1995, 63-72

Velissariou D., Gimeno B. S., A.W Davison, Funagali I. (1996). Records of O₃ visible injure in the ECE Mediterranean region. *Critical levels for Ozone in Europe: Testing and Finalizing the Concepts*. 1996, 343-350.

Velissariou D. & Kyriazi A. (1996). A Greek clover variety - biological indicator for ozone toxicity. *Phytopath. Medit.* 1996, 35, pp 227-8

Velissariou D. (1996). First record of Photochemical PANs (Peroxy-Acetyl Nitrates) toxicity on commercial lettuce in Greece. *Phytopath. Medit.* 1996, 35, p 228

Βελισσαρίου Δ. (1994), Όζον, ο κρυφός εχθρός της Αθήνας. Πλήρες δισέλιδο άρθρο στο Βήμα της Κυριακής, 4 Σεπτεμβρίου 1994.

Βελισσαρίου Δ., Βενουζίου Ι., Παππάς Κ. (1995). Άγνωστης αιτιολογίας τοξικότητες σε ελληνικές καλλιέργειες. Μήπως ατμοσφαιρική ρύπανση είναι μία αιτία για πολλές από αυτές; Μία περίπτωση μελέτης του φαινομένου στους Γόμφους Τρικάλων. 8ο Πανελλήνιο Φυτοπαθολογικό Συνέδριο. Περιλήψεις Ανακοινώσεων σελ. 124. Ηράκλειο, Κρήτη, Οκτώβριος 1996.

και Γεωργία και Ανάπτυξη σελ. 46, Οκτ-Νοε, 1996.

Κυριαζή Αικ. (1995) Οι δυσμενείς επιπτώσεις του φωτοχημικού ρύπου όζοντος σε καλλιεργούμενα φυτά και δοκιμές αντιμετώπισης του προβλήματος. Πτυχιακή μελέτη που υποβλήθηκε στο εργαστήριο φυτοπαθολογίας του τμήματος Φυτικής παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα 1995.

Σαϊτάνης Κ. (1998). Επιπτώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος σε ποικιλίες καπνού καλλιεργούμενες στην Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή που υποβλήθηκε στο εργαστήριο οικολογίας & προστασίας του περιβάλλοντος του τμήματος Φυτικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα 1998.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ Διεύθυνση ΕΑΡΘ. (1989). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Αθήνας-Τεχνική Έκθεση-. Τόμος 2. Πηγές ρύπανσης, Αθήνα, Μάρτιος 1989.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ Διεύθυνση ΕΑΡΘ. (1989). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Αθήνας-Τεχνική Έκθεση. Τόμος 3. Πρωτογενείς ρύποι, Αθήνα, Ιούλιος 1989.

Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε Διεύθυνση ΕΑΡΘ. (1989). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Αθήνας-Τεχνική Έκθεση. Τόμος 4. Φωτοχημικοί Ρύποι. Αθήνα, Σεπτέμβριος 1989.