

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ)
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΘΕΚΑ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΘΕΜΑ:

*«Μετρήσεις και μελέτη των επιπτώσεων του τροποσφαιρικού
όζοντος, σε γονότυπους φασολιού δείκτες στην περιοχή του
Αντικάλαμου Μεσσηνίας»*

Της σπουδάστριας: Δεληγιάννη Μαρίνας

Καλαμάτα, Μάιος 2011

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ)
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΘΕΚΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΘΕΜΑ:

*«Μετρήσεις και μελέτη των επιπτώσεων του τροποσφαιρικού
όζοντος, σε γονότυπους φασολιού δείκτες στην περιοχή του
Αντικάλαμου Μεσσηνίας»*

Της σπουδάστριας: Δεληγιάννη Μαρίνας

Επιβλέπων καθηγητής: Κάρτσωνας Επαμεινώνδας

Καλαμάτα, Μάιος 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αφορά στις «Μετρήσεις και μελέτη των επιπτώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος, σε γονότυπους φασολιού δείκτες στην περιοχή του Αντικάλामου Μεσσηνίας».

Το πείραμα διεξήχθη στο χώρο του Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας σε υπαίθριο χώρο με φυτά φασολιού ευαίσθητης (S) και ανθεκτικής (R) ποικιλίας στην επίδραση του όζοντος.

Το θέμα αυτό έχει θεωρητικό αλλά κυρίως και πρακτικό ενδιαφέρον, αφού η χρήση και επίδραση του όζοντος στα φυτά αποτελεί μια πραγματικότητα στη σύγχρονη γεωργική πρακτική.

Ενδιαφέρθηκα να ασχοληθώ με αυτό το θέμα, λόγω της απορίας μου για το πώς επιδρά το όζον στα φυτά, γεγονός που παλαιότερα δεν γνωρίζαμε αφού δεν είχαμε ασχοληθεί και πειραματιστεί για τη σχέση όζοντος και καλλιεργούμενων φυτών. Δηλαδή, παραβλέπαμε μέχρι τώρα τις ευεργετικές και επιβλαβείς επιδράσεις του όζοντος πάνω στα φυτά. Η έρευνα συνήθως εξάγει χρήσιμα συμπεράσματα.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη.

Το **μέρος πρώτο**, που είναι το **θεωρητικό**, είναι αφιερωμένο στους ατμοσφαιρικούς ρύπους (πρωτογενείς-δευτερογενείς) και στο όζον, καθώς και την επίδρασή τους στην ανάπτυξη των φυτών για το Νομό Μεσσηνίας. Επιπλέον, γίνεται εκτίμηση της επίδρασης της υψηλής συγκεντρώσεως του όζοντος στα φυτά.

Στο **δεύτερο πρακτικό μέρος** περιγράφεται η διαδικασία του πειράματος, το πώς έγινε, που περατώθηκε, τι υλικά και μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν, ποια αποτελέσματα εξήχθησαν. Αναφέρονται, επίσης και τα χρήσιμα συμπεράσματα από την εκτέλεση του πειράματος.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον υπεύθυνο και επιβλέποντα την πτυχιακή μου εργασία Καθηγητή Εφαρμογών Δρ. Κάρτσωνα Επαμεινώνδα για την πολύτιμη βοήθειά του, τον επιτηρητή Καθηγητή του εκτελεσθέντος πειράματος Δρ. Βελισσαρίου Δημήτριο, καθώς και τα μέλη Ε.Τ.Π. Καλλίμαχο Νηφάκο και Σάλμα Ιωάννη για τις πληροφορίες και τη βοήθεια που μου παρείχαν. Επίσης, την οικογένειά μου που με στήριξε και έδειξε υπομονή όλο αυτό το διάστημα.

Καλαμάτα, Μάιος 2011.

Μαρίνα Δεληγιάννη

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΜΕΡΟΣ 1^ο ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ.....	1
1.1.1. Ιστορική αναδρομή.....	1
1.1.2. Κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	2
1.1.3. Πρωτογενείς – δευτερογενείς ρύποι.....	2
1.1.3.1. Πρωτογενείς ρύποι.....	3
1.1.3.2. Δευτερογενείς ρύποι.....	5
1.1.3.3. Πηγές προέλευσης.....	8
1.1.4. Οι φωτοχημικοί ρύποι.....	9
1.2. ΟΖΟΝ – Πώς δημιουργείται; – Που υπάρχει;.....	11
1.2.1. Το όζον ως χημικό στοιχείο.....	11
1.2.2. Το όζον στην ατμόσφαιρα.....	11
1.2.2.1. Το στρατοσφαιρικό όζον.....	12
1.2.2.2. Το τροποσφαιρικό όζον.....	14
1.2.2.3. Μηχανισμός σχηματισμού όζοντος.....	14
1.3. Επίδραση του όζοντος στην ανάπτυξη φυτών και επιπτώσεις σε αυτά.....	16
1.3.1. Το όζον ως φυτοτοξικός ρύπος.....	16
1.3.2. Επίδραση όζοντος στη φυσιολογική λειτουργία του φυτού.....	16
1.3.3. Το πρόγραμμα ICP Vegetation.....	19
1.3.3.1. Στόχοι του προγράμματος ICP Vegetation.....	20
1.3.3.2. Περίληψη των πρόσφατων αποτελεσμάτων του ICP Vegetation.....	21
1.3.3.3. Μελλοντική εργασία για το ICP Vegetation.....	21
1.3.3.4. Φυτά βιοδείκτες.....	22
1.3.3.5. Βιοκαταγραφή όζοντος.....	23
1.4. ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ.....	25

1.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ	
ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ.....	31
1.5.1. Μορφολογικές – Ανατομικές παρατηρήσεις.....	31
1.5.2. Φυσιολογικές παρατηρήσεις	32
ΜΕΡΟΣ 2^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	33
2.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	33
2.1.1. Υλικά	33
2.1.1.1. Φυτικό υλικό.....	33
2.1.1.2. Υλικά υποστρώματος – Φυτοδοχεία – Λίπασμα.....	33
2.1.2. Μέθοδοι	34
2.1.2.1. Σπορά σπόρων – Ανάπτυξη φυτών	34
2.1.2.2. Πειραματικό σχέδιο.....	35
2.1.2.3. Καταγραφή ανάπτυξης φυτών – Καταγραφή ζημιών από το όζον	36
2.1.2.4. Μετρήσεις συνολικής χλωροφύλλης των φύλλων	37
2.1.2.5. Μετρήσεις του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας με LCI Portable Photosynthesis System	37
2.1.2.6. Καταμέτρηση της συγκέντρωσης του όζοντος στην ατμόσφαιρα	38
2.1.2.7. Στατιστική Ανάλυση	
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	39
3.1. Μέτρηση Ρυθμού Φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας στα φύλλα των γονοτύπων του φασολιού.....	39
3.1.1. Επίδραση του γονοτύπου στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων.....	39
3.1.2. Επίδραση του γονοτύπου στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών.....	40
3.1.3. Επίδραση της ημερομηνίας και ημερήσια διακύμανση του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας.....	42
3.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ ΤΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΦΑΣΟΛΙΟΥ ΜΕ SPAD	43
3.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΖΗΜΙΑΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ (SCORING)	43
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	47
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	48

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

1.1.1. Ιστορική αναδρομή

Μέσω της χρονολογικής καταγραφής σημαντικών γεγονότων που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα αίτια πρόκλησης αυτής, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αέρια ρύπανση δεν είναι φαινόμενο της σύγχρονης εποχής, αλλά χρονολογείται από αρχαιότατων χρόνων και η εξέλιξή της συνίσταται στη διαφοροποίηση των πηγών προέλευσης της ανάλογα με την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Πριν τη βιομηχανική επανάσταση, οι πηγές που συνδέθηκαν με την παραγωγή αέριας ρύπανσης ήταν οι βιομηχανίες επεξεργασίας δερμάτων ζώων και παραγωγής χαλκού, σιδήρου κ.α. Η βιομηχανική επανάσταση (18^{ος} – 19^{ος} αιώνας) που χαρακτηρίστηκε από το επίτευγμα του ανθρώπου να διαχειριστεί τον ατμό, όξυνε το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της ευρείας χρήσης των ατμομηχανών που απαιτούσαν καύση άνθρακα σε μεγάλες ποσότητες.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα οι κύριες τεχνολογικές αλλαγές που επηρέασαν την ρύπανση του αέρα ήταν η αντικατάσταση των ατμομηχανών από ηλεκτρικές, η ηλεκτροδότηση των σιδηροδρόμων και η αντικατάσταση του άνθρακα από πετρέλαιο (1900 – 1925). Ακολούθησαν σοβαρά επεισόδια ρύπανσης του αέρα εντείνοντας τις ανάγκες για έρευνα.

Στη Μεγάλη Βρετανία μια μεγάλη καταστροφή από ατμοσφαιρική ρύπανση συνέβη στο Λονδίνο το 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 λιγνίτη. 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».

Παρόμοια περιστατικά που βίωσαν άλλες χώρες, στις μεγάλες πόλεις τους τις επόμενες δύο δεκαετίες, είχαν ως αποτέλεσμα τις πρώτες εθνικές νομοθετήσεις και τη

δημιουργία μεγάλων ερευνητικών κέντρων (1950 – 1970), που είχαν αντικείμενο τη μελέτη αυτών των προβλημάτων. Στο τέλος του 20^{ου} αιώνα η εμφάνιση όξινης βροχής, του φωτοχημικού νέφους και των προβλημάτων που δημιουργήθηκαν στις καλλιέργειες, έγιναν εθνικό θέμα στις Ηνωμένες Πολιτείες και στη Γερμανία, όπου επενδύθηκαν εκατοντάδες εκατομμύρια για έρευνα. Ακολούθησαν και οι υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μεγάλα βήματα ήταν η αντικατάσταση των συμβατικών αυτοκινήτων με καταλυτικά και η χρήση αμόλυβδης βενζίνης (Krupa, 1997).

1.1.2. Κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι σημαντικότερες πηγές ρύπανσης που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση των ρύπων :

- α) τα μέσα μεταφοράς (αυτοκίνητα, πλοία, αεροπλάνα)
- β) τη βιομηχανική δραστηριότητα
- γ) την παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρισμού)
- δ) την οικιακή δραστηριότητα (θέρμανση)

ε) κάθε είδους καύση που δεν περιλαμβάνεται στις παραπάνω κατηγορίες. Η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα επηρεάζεται εκτός από τις κάθε είδους καύσεις στερεών, υγρών και αερίων καυσίμων και από τους ρύπους που προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Οι σημαντικότεροι ρύποι προέρχονται από τις καύσεις και μάλιστα από τις ατελείς καύσεις (χωρίς την επαρκή παρουσία του οξυγόνου).

1.1.3. Πρωτογενείς - δευτερογενείς ρύποι

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, που μπορούν να βρεθούν είτε σε αέρια κατάσταση είτε σε μορφή αερομεταφερόμενων σωματιδίων, κατηγοριοποιούνται ως πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα προερχόμενοι από φυσικές ή ανθρώπινες πηγές (SO₂, NO₂). Ανάλογα με τις φυσικές και χημικές τους

ιδιότητες και τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν τοπικά, εθνικά και διεθνώς, μπορούν είτε να εναποθετηθούν σε επιφάνειες κοντά στην πηγή προέλευσής τους είτε να μεταφερθούν έως και χιλιόμετρα μακριά, όπου, κατά τη διάρκεια της μεταφοράς αυτής, μπορούν να μετασχηματιστούν σε δευτερογενείς. Συνεπώς, οι δευτερογενείς ρύποι (O_3 , PAN, SO_4) σχηματίζονται εμμέσως στην ατμόσφαιρα από αντιδράσεις των πρωτογενών ρύπων. Η διαδικασία αυτή εξαρτάται συχνά από τη διακύμανση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία συμμετέχει στη δημιουργία των δευτερογενών ρύπων, τότε ονομάζονται φωτοχημικοί ρύποι (Krupa, 1997).

1.1.3.1. Πρωτογενείς ρύποι

Πρωτογενείς ρύποι ονομάζονται οι ρύποι που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα στη μορφή που παράγονται από τις διάφορες πηγές τους. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν το SO_2 , H_2S , HC, HF, NO_x , C_2H_4 , CO, Pb, ο αμίαντος, τα αλογόνα και διάφορες ενώσεις τους.



Εικόνα 1. Τοξικότητα φθορίου σε φύλλα αμπέλου – Φωκίδα.

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το SO₂ ελευθερώνεται με την καύση των γαιανθράκων και από τις χαρτοβιομηχανίες. Υψηλές συγκεντρώσεις SO₂ διαπιστώνονται σε επιφανειακά στρώματα αέρος που σημαίνει ότι έχει αυξημένη δυνατότητα προκλήσεως συμπτωμάτων οξείας τοξικότητας στα φυτά. Αποτελεί επίσης την πηγή της όξινης βροχής, η οποία δημιουργείται, όταν το SO₂ ενώνεται με τις σταγόνες νερού και παράγεται H₂SO₄. Το SO₂ εισέρχεται στο φύλλο μέσω των στοματίων, με ένα ποσοστό 15% που μπορεί να εισέλθει κατευθείαν στο έλασμα του φύλλου μέσω της εφυμενίδος. Όταν το SO₂ εισέλθει στο φύλλο μετατρέπεται στα τοξικά ιόντα HSO₃⁻ και SO₃⁻ και εν συνεχεία στο μη τοξικό ιόν SO₄⁻. Εάν ο ρυθμός συσσωρεύσεως των τοξικών ιόντων είναι μεγαλύτερος από αυτόν της μετατροπής τους στο μη τοξικό ιόν, τότε αναπτύσσονται συμπτώματα τοξικότητας στο φυτό. Τυπικά συμπτώματα στα φυτά είναι οι περιφερειακές νεκρώσεις των φύλλων και οι νεκρώσεις μεταξύ των νεκρώσεων. Το SO₂ αποτελεί τοξικό ρύπο με αθροιστική δράση. Η ευαισθησία ενός φυτού στο SO₂ εξαρτάται κυρίως από το βαθμό απορροφήσεώς του κατά τη διάρκεια αναπτύξεώς του φυτού και από τις εφαρμοζόμενες καλλιεργητικές φροντίδες, καθότι το θείο αποτελεί βασικό στοιχείο θρέψεως του φυτού.

Υδροφθόριο (HF)

Το φθόριο και τα φθοριούχα άλατα παράγονται κατά την επεξεργασία πολλών ορυκτών, όπως βωξίτη, και από εργοστάσια επεξεργασίας υάλου και χημικών λιπασμάτων. Τα περισσότερα εδάφη περιέχουν ορισμένη ποσότητα διαλυμένου φθορίου με αποτέλεσμα τα περισσότερα φυτά να περιέχουν στο φύλλωμά τους ποσότητα φθορίου μικρότερη των 10 ppm. Το HF συγκεντρώνεται στους φυτικούς ιστούς, κυρίως στην περιφέρεια των φύλλων (Εικόνα 1.). Όταν η συγκέντρωση φθάσει σε τοξικά επίπεδα, παρατηρούνται νεκρώσεις των άκρων του ελάσματος.

Πέραν όμως των επάκριων νεκρώσεων το φθόριο προκαλεί νεκρώσεις και στους καρπούς δενδρωδών καλλιεργειών, όπως της ροδακινιάς, όπου υποβαθμίζει την ποιότητα των ροδάκινων λόγω πρόωρης ερυθριάσεως και γηράνσεως των ιστών πλησίον του κάλυκα.

Αιθυλένιο (C₂H₄)

Ελευθερώνεται κατά την καύση του φυσικού αερίου, πετρελαίου, άνθρακα, από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων και από πολλές χημικές βιομηχανίες. Αποτελεί ρύπο μικρής και τοπικής σημασίας. Συγκεντρώσεις γύρω στο 0,1 ppm προκαλούν ανάσχεση της βλαστήσεως, επιναστεία και πρόωρη φυλλόπτωση. Ανώμαλη άνθηση και βυθισμένες μελανές νεκρωτικές κηλίδες σε καρπούς (π.χ. μήλα) είναι επίσης συμπτώματα του αιθυλενίου.

1.1.3.2. Δευτερογενείς ρύποι

Οι δευτερογενείς ρύποι σχηματίζονται κατά τη διάρκεια πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων μεταξύ των πρωτογενών ρύπων και άλλων ατμοσφαιρικών συστατικών όπως των υδρατμών. Οι αντιδράσεις αυτές λαμβάνουν χώρα παρουσία φωτός, οπότε δημιουργείται το λεγόμενο φωτοχημικό νέφος. Αυτό το νέφος παρουσιάζεται κυρίως σε αστικές περιοχές, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη. Στο φωτοχημικό νέφος έχουμε τη δημιουργία κυρίως των PAN και του όζοντος.

Όζον (O₃)

Το όζον είναι ο πλέον σημαντικός φυτοτοξικός αέριος ρύπος. Παράγεται από τις μηχανές εσωτερικής καύσεως και από την αντίδραση του απελευθερούμενου NO₂ με το O₂. Επίσης παράγεται από τις αστραπές και άλλα φυσικά φαινόμενα. Ιδανικές συνθήκες για το σχηματισμό όζοντος είναι θερμοκρασία πάνω από 32°C, άνεμοι χαμηλής εντάσεως, έντονη ηλιακή ακτινοβολία και μικρής διάρκειας βροχοπτώσεις. Έτσι, υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικού όζοντος παρατηρούνται συνήθως κατά τη διάρκεια των θερμών περιόδων, η οποία συμπίπτει με την περίοδο αναπτύξεως των φυτών. Ομοίως, στις αγροτικές περιοχές κατά τη διάρκεια των θερμών περιόδων, παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος σε χρονικά διαστήματα που τα φυτά εμφανίζουν υψηλούς ρυθμούς φωτοσυνθέσεως.

Το όζον εισέρχεται στο φύλλο μέσω των στοματίων κατά τη λειτουργία της φωτοσυνθέσεως και της αναπνοής. Αρχικά, ζημιώνονται τα κύτταρα του μεσοφύλλου (ιστός που περιέχει χλωροπλάστες και είναι υπεύθυνος για τη φωτοσύνθεση ή την

αφομοίωση CO₂). Επειδή η αρχική επίδραση του όζοντος εστιάζεται στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτού, υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος μπορεί να προκαλέσουν συμπτώματα που σχετίζονται με τη διάσπαση της χλωροφύλλης, με την κατάρρευση των κυττάρων, την καταστροφή των κυττάρων του μεσοφύλλου και του δρυφρακτοειδούς παρεγχύματος και την εμφάνιση συνήθως λευκωπών κηλίδων στην επάνω επιφάνεια του φύλλου (Εικόνες 2. –3.).

Το ατμοσφαιρικό όζον προκαλεί χημικές διαφοροποιήσεις στην εφυμενίδα του φύλλου, ενώ η επαφή του με τους εσωτερικούς ιστούς του φυτού οδηγεί σε βιολογικές και φυσιολογικές αλλαγές. Η ευαισθησία των φυτών τροποποιείται από κάθε παράγοντα που επηρεάζει το άνοιγμα των στοματίων (φως, σχετική υγρασία, εδαφική υγρασία). Εκμεταλλευόμενοι το γεγονός της εμφανίσεως τυπικών συμπτωμάτων σε ορισμένα ευαίσθητα στο όζον είδη φυτών (π.χ. ποικιλία Bel-W₃ του καπνού) τα χρησιμοποιούμε ως βιολογικούς δείκτες για τον έλεγχο ρυπάνσεως της ατμόσφαιρας από το όζον. Άριστος βιολογικός δείκτης για την ανίχνευση του όζοντος στην Ελλάδα έχει αποδειχθεί η ποικιλία Λητώ του *Trifolium alexandrinum*. Συμπτώματα που προκαλούνται από το ατμοσφαιρικό όζον στα φυτά αναφέρονται στον Πίνακα 1.



Εικόνα 2. Τοξικότητα όζοντος σε φύλλα καπνού – Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Πίνακας 1. : Συμπτώματα που προκαλούνται από το ατμοσφαιρικό όζον στα φυτά.

Είδος φυτού	Συμπτώματα στα φύλλα
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Αργύρωση, χλώρωση, μεμονωμένες νεκρωτικές κηλίδες
<i>Cucurbita pepo</i>	Λευκά στίγματα
<i>Vitis vinifera</i>	Λευκές κηλίδες, πρόωρη φυλλόπτωση, νανισμός
<i>Ipomoea batatas</i>	Χλώρωση
<i>Allium cepa</i>	Λευκές κηλίδες, επάκρια ξήρανση των φύλλων
<i>Solanum tuberosum</i>	Φαιές κηλίδες, χλώρωση, αργύρωση
<i>Glycine max</i>	Ερυθρίαση, χλώρωση, ιώδη στίγματα
<i>Spinacia oleracea</i>	Λευκόφαιες κηλίδες
<i>Nicotiana tabacum</i>	Ασημόλευκες κηλίδες
<i>Citrus communis</i>	Λευκόφαιες κηλίδες
<i>Prunus cerasus</i>	Ερυθρομέλανα στίγματα, ερυθρίαση και χλώρωση των φύλλων, πρόωρη φυλλόπτωση
<i>Pinus spp.</i>	Χλωρωτικές κηλίδες στις παλαιότερες βελόνες, επάκρια ξήρανση των βελονών
<i>Abies spp.</i>	Χλωρωτικές κηλίδες στις παλαιότερες βελόνες



Εικόνα 3. Τοξικότητα ατμοσφαιρικών ρύπων σε συνδυασμό με ξηρασία σε δάσος ελάτης – Πάρνηθα, Αττική.

Νιτρικό περοξυακετύλιο (PAN, $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OONO}_2$)

Το **Νιτρικό περοξυακετύλιο** αποτελεί δευτερογενή ατμοσφαιρικό ρύπο. Είναι προϊόν απευθείας ενώσεως του NO_2 με τις περοξυακετυλικές ρίζες που παράγονται φωτοχημικά από τους άκαυστους υδρογονάνθρακες των καυσαερίων. Εμφανίζεται με το όζον κατά τη διάρκεια των φωτοχημικών επεισοδίων. Παραμένουν στην ατμόσφαιρα

και μεταφέρονται σε μακρινές αποστάσεις στην ύπαιθρο, σε καλλιέργειες και φυσικά οικοσυστήματα. Χαρακτηριστικά συμπτώματα τοξικότητας του PAN είναι η εμφάνιση κηλίδων λευκού (αργύρωση) ή ορειχάλκινου χρώματος στην κάτω επιφάνεια των φύλλων. Το σύμπτωμα αυτό οφείλεται στην αποκόλληση της κάτω εφυμενίδας του φύλλου και στην εισαγωγή στρώματος αέρος στον φυτικό ιστό. Το PAN συσσωρεύεται στην κάτω επιφάνεια του φύλλου στους μεσοκυττάριους χώρους του δρυφακτοειδούς παρεγχύματος. Ο ακριβής μηχανισμός της προκλήσεως τοξικότητας δεν είναι πλήρως γνωστός, η συμβολή όμως του φωτός είναι αναγκαία πριν από, κατά τη διάρκεια και μετά την έκθεση των φυτών στον ατμοσφαιρικό ρύπο. Η τοξική δράση του PAN στα φυτά έχει εντοπισθεί περισσότερο σε ποώδη και λαχανικά παρά σε δένδρα και θάμνους. Το μαρούλι θεωρείται ως το πλέον ευαίσθητο φυτικό είδος.

Διοξείδιο και μονοξείδιο του αζώτου (NO_x)

Τα **NO_x** συνεισφέρουν στη δημιουργία της όξινης βροχής. Το NO₂ ελευθερώνεται από τις μηχανές εσωτερικής καύσεως και προκαλεί αποχρωματισμό των πράσινων οργάνων των φυτών, τα οποία συνήθως αποκτούν ορειχάλκινο χρώμα. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις η επίδρασή του αφορά στη μείωση της αναπτύξεως των φυτών. Συνοπτικά στοιχεία, αναφορικά με τη συμβολή των κυριότερων ρυπαντών της ατμόσφαιρας στην εκδήλωση τοξικοτήτων στα φυτά.

1.1.3.3. Πηγές προέλευσης

Οι πηγές εκπομπής των αέριων ρύπων ταξινομούνται ανάλογα με τη φύση τους σε σταθερές και κινητές. Οι σταθερές πηγές κατηγοριοποιούνται επιμέρους ως: **α) σημείο μεμονωμένου γεγονότος** (single event point), π.χ. διαρροή από ατύχημα, **β) συνεχείς** (continucs point), π.χ. καπνοδόχος που εκπέμπει ρύπους, **γ) τοπικές** (area), π.χ. μια μεγάλη πόλη, **δ) εθνικές** (regional), π.χ. συγκεντρωμένα αστικά κέντρα, **ε) διεθνείς** (continental), π.χ. πολλές ανεπτυγμένες χώρες που βρίσκονται κοντά στην Ευρώπη. Ομοίως και οι κινητές πηγές δίνονται και ως πηγές **γραμμής**, όπως για παράδειγμα ένας αυτοκινητόδρομος ή η γραμμή που αφήνει ένα αεροσκάφος.

Η κατάταξη των πηγών των πρωτογενών ρύπων ανάλογα με τη φύση τους είναι:

A) Φυσικές, δηλαδή φυσικές δραστηριότητες (κεραυνός, μικροβιακές διαδικασίες εδάφους, οξείδωση της αμμωνίας) ή γεω-βιογενετικές πηγές ατμοσφαιρικού μεθανίου (CH_4), το οποίο είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

B) Τεχνητές (Ανθρωπογενείς), θεωρούνται κυρίως τα μεταφορικά μέσα, οι βιομηχανίες, τα χημικά που χρησιμοποιούνται στη γεωργία και τα αέρια (SO_2 , NO_x) που απελευθερώνονται από τη καύση της βιομάζας.

Οι δευτερογενείς ρύποι παράγονται στην ατμόσφαιρα μέσω αντιδράσεων που περιγράφονται ως ομογενείς (αέρια σε αέρια φάση) ή ετερογενείς (αέρια φάση σε σωματίδια είτε υγρά είτε στερεά). Ο σημαντικότερος δευτερογενής αέριος ρύπος στην επιφάνεια της Γης είναι το O_3 , το οποίο παράγεται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα (π.χ. καυσαέρια των μέσων μεταφοράς) και δεν πρέπει να συγχέεται με το φυσικό και ευεργετικό στρώμα όζοντος της στρατόσφαιρας.

Όταν υπάρχουν άνεμοι προερχόμενοι από τα αστικά κέντρα, οι συγκεντρώσεις όζοντος συχνά φτάνουν σε υψηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών στις προαστιακές και αγροτικές περιοχές.

Στην σύγχρονη εποχή, οι άνθρωποι που ζουν στην ύπαιθρο και υποθέτουν ότι αναπνέουν καθαρό και φρέσκο αέρα, μπορεί στην πραγματικότητα να υπόκεινται σε περισσότερη ρύπανση όζοντος απ' ό,τι οι άνθρωποι της πόλης. Είναι όμως σημαντικό να σημειωθεί ότι οι κάτοικοι της πόλης μπορεί να υφίστανται υψηλές συγκεντρώσεις πρωτογενών αέριων ρύπων (Krupa, 1997).

1.1.4. Οι φωτοχημικοί ρύποι

Είναι διεθνώς γνωστό ότι πολλοί αέριοι ρύποι έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στα φυτά με αποτελέσματα άμεσα (οξεία τοξικότητα και καταστροφή ιστών) ή έμμεσα (χρόνια τοξικότητα με πρόωρη γήρανση, μείωση της απόδοσης, αύξηση ευπάθειας σε ασθένειες, εχθρούς και σταδιακή νέκρωση).

Σήμερα, οι φωτοχημικοί ρύποι (και κυρίως το τροποσφαιρικό όζον) θεωρούνται οι πλέον επικίνδυνοι αέριοι ρύποι για τα φυτά. Παράγονται δευτερογενώς από τα καυσαέρια κινητήρων εσωτερικής καύσης (κυρίως οχήματα) υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως ότι έχει προαναφερθεί.

Η επικινδυνότητα των φωτοχημικών ρύπων για τα φυτά οφείλεται στις εξής ιδιότητες :

A. Έχουν ισχυρή φυτοτοξική δράση.

B. Δεν αποδομούνται σε καθαρή ατμόσφαιρα.

Γ. Μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις σε προαστιακές ζώνες και ευρύτερα στην ύπαιθρο (το όζον ανήκει στους διασυνοριακούς ρύπους σύμφωνα με τη Σύμβαση της Γενεύης για την Διασυνοριακή Αέρια Ρύπανση του Ο.Η.Ε.).

Επιπλέον του όζοντος, ένας δευτερογενής φωτοχημικός ρύπος είναι το PAN (Peroxy-Acetyl Nitrate) που γενικά παρατηρείται σε μικρότερες συγκεντρώσεις απ' ότι το όζον, αλλά σε σημαντικές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι τοξικό για τα φυτά (Krupa, 1997).

1.2. OZON – Πώς δημιουργείται; – Πού υπάρχει;

1.2.1. Το όζον ως χημικό στοιχείο

Το καθαρό όζον είναι μια αλλοτροπική μορφή του O_2 συντιθέμενη από τρία άτομα (O_3). Σε θερμοκρασία δωματίου το αέριο έχει ανοιχτό μπλε χρώμα. Υγροποιείται κάτω από τους $-112^\circ C$. Το υγροποιημένο όζον έχει σκούρο μπλε χρώμα και είναι επικίνδυνο εκρηκτικό. Σε μία αναλογία αραίωσης των 100 ppb έχει χαρακτηριστική οσμή, γι' αυτό και η ονομασία του προέρχεται από την ελληνική λέξη 'όζω' που σημαίνει μυρίζω. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις είναι πολύ δηλητηριώδες και προκαλεί λύση του βλεννογόνου υμένα. Είναι δε περίπου 50 φορές πιο διαλυτό στο νερό απ' ότι το οξυγόνο. Το όζον είναι από τα πιο ισχυρά οξειδωτικά, αντιδρά ραγδαία με διάφορα μερικώς ακόρεστα οργανικά συστατικά και καταστρέφει τα ελαστομερή. Λόγω της ιδιότητάς του ως οξειδωτικό μέσο, το όζον χρησιμοποιείται σε περιορισμένες συγκεντρώσεις ως απολυμαντικό για το νερό και τον αέρα, λευκαντικό κεριών και υφαντών. Οι φυσικές ιδιότητες του όζοντος φαίνονται συγκεντρωτικά στο Πίνακα 2.

Πίνακας 2

«Φυσικές ιδιότητες όζοντος»

Μοριακό Βάρος	48
Σημείο Τήξεως	$-192,7^\circ C$
Σημείο Βρασμού	$-111,9^\circ C$
Πυκνότητα αερίου ($0^\circ C$, 760mm Hg)	2,144 g/l
Πυκνότητα υγρού ($-195,4^\circ C$, 760mm Hg)	1,614 g / ml
Διαλυτότητα στο νερό ($0^\circ C$, 760mm Hg)	49 ml / 100 ml νερού
Θερμοχωρητικότητα ($0^\circ C$)	9,1 cal / g mol $^\circ C$

Πηγή: Krupa, 1977, Σαϊτάνης, 1998.

1.2.2. Το όζον στην ατμόσφαιρα

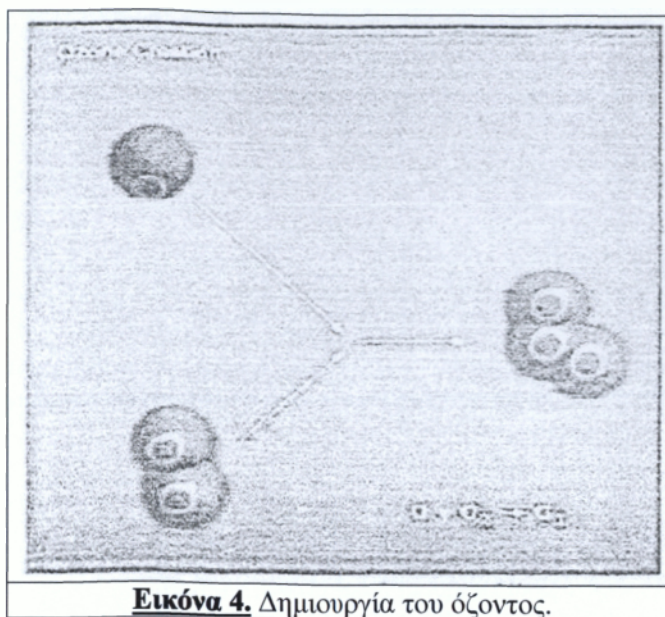
Το όζον είναι ένα φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας στην οποία η συγκέντρωσή του διαφοροποιείται ανάλογα με το υψόμετρο, την εποχή του έτους και την περιοχή. Η συγκέντρωσή του στην επιφάνεια της γης επηρεάζεται από την ύπαρξη

και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Σε αστικές και προαστιακές περιοχές, οι τυπικές καλοκαιρινές μέγιστες ημερήσιες τιμές κυμαίνονται από 100 - 400 ppb, για τις περιοχές της υπαίθρου από 50 - 120 ppb, ενώ σε απομακρυσμένες θαλάσσιες περιοχές και σε απόμακρα τροπικά δάση οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 20 - 40 ppb (Krupa, 1997).

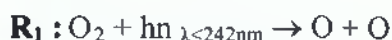
Το όζον στην ατμόσφαιρα παρουσιάζεται σε δύο στρώματα. Αρχικά σχηματίζεται στη στρατόσφαιρα καθώς η ηλιακή ακτινοβολία αλληλεπιδρά με το οξυγόνο. Παράλληλα εντοπίζεται και στην τροπόσφαιρα, ως ένας σημαντικός φωτοχημικός ρύπος. Για το διαχωρισμό αυτό χρησιμοποιούμε τις έννοιες τροποσφαιρικό και στρατοσφαιρικό όζον αντίστοιχα.

1.2.2.1. Το στρατοσφαιρικό όζον

Το στρατοσφαιρικό όζον παρά τη χημικά υψηλή δραστηριότητά του, διαδραματίζει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη της επίγειας ζωής. Περίπου το 90% του ατμοσφαιρικού στρώματος όζοντος βρίσκεται στη στρατόσφαιρα όπου, κατά τον Charman (1930), παράγεται από τη φωτολυτική διάσπαση των μορίων του οξυγόνου από την υπεριώδη ακτινοβολία που εισέρχεται στη στρατόσφαιρα σε μήκη κύματος μικρότερα από 242 nm (R_1). Το ατομικό οξυγόνο το οποίο σχηματίζεται, αντιδρά με το μοριακό οξυγόνο προς σχηματισμό του όζοντος (Εικόνα 4.) παρουσία ενός τρίτου σώματος, το οποίο μπορεί να είναι N_2 ή O_2 (R_2). Το όζον μπορεί πάλι να διασπαστεί φωτολυτικά και να δώσει ατομικό και ξανά μοριακό οξυγόνο (R_3, R_4).



Οι χημικές αντιδράσεις που εξηγούν τα παραπάνω είναι:



Αυτές οι αντιδράσεις είναι σημαντικές για τη διατήρηση της ισορροπίας παρουσίας όζοντος στη στρατόσφαιρα. Αποτέλεσμα των φωτοχημικών αυτών αντιδράσεων είναι η απορρόφηση μεγάλου μέρους της υπεριώδους ακτινοβολίας, η οποία αν έφτανε στη γη θα απέβαινε καταστροφική για τη ζωή στον πλανήτη. Παρ' όλα αυτά, έρευνες δείχνουν την ύπαρξη σημαντικών επιπρόσθετων αντιδράσεων αέριας φάσης, στις οποίες οξείδια του υδρογόνου, οξείδια του αζώτου και αλογόνα παίζουν καταλυτικό ρόλο στη διάσπαση του όζοντος (Hampson, 1964, Crutzen, 1970, Jonston, 1971, Molina και Rowland, 1974). Επίσης αποδείχθηκε ότι ετερογενείς αντιδράσεις στην επιφάνεια παγοκρυστάλλων μπορούν επίσης να παίξουν σημαντικό ρόλο στην καταλυτική διάσπαση του όζοντος από το χλώριο. Αυτές οι αντιδράσεις θεωρούνται υπεύθυνες για την 'τρύπα του όζοντος' (Solomon, 1988).

1.2.2.2. Το τροποσφαιρικό όζον

Το τροποσφαιρικό όζον είναι ένας δευτερογενής ρύπος με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που σχετίζονται τόσο με τις πηγές όσο και με τον τρόπο σχηματισμού του στις περιοχές της τροπόσφαιρας. Η αυξημένη συγκέντρωση του όζοντος συνδέεται με τις ανθρωπογενείς εκπομπές πρόδρομων στοιχείων όπως οξειδία του αζώτου, πτητικά οργανικά συστατικά (Volatile Organic Compounds) (VOC), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και μεθάνιο (CH₄) (Σαϊτάνης, 1998). Ο σχηματισμός του φωτοχημικού όζοντος στην τροπόσφαιρα προκύπτει από την αρχική οξείδωση των μεταβλητών οργανικών συνθέσεων (VOC) από το ηλιακό φως και υπό την παρουσία νιτρικών οξειδίων NO_x (=NO και NO₂). Οι συχνότητες και οι μηχανισμοί οξείδωσης των VOC γενικά είναι γνωστά και ποσοτικοποιούνται μέσω εργαστηριακών μελετών, παρ' όλο που παραμένουν σημαντικές αβεβαιότητες σχετικά με συγκεκριμένες τάξεις των VOC (Fowier *et al.*, 1997). Απουσία οξειδίων του αζώτου άλλες φωτοχημικές διαδικασίες όπως η φωτόλυση, οδηγούν στη βραδεία διάσπαση του όζοντος. Όταν οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλές, όπως στις απομακρυσμένες περιοχές της υπαίθρου, ο ρυθμός παραγωγής όζοντος εξαρτάται περισσότερο από τις συγκεντρώσεις των NO_x. Ωστόσο στις μεγάλες πόλεις με έντονα προβλήματα στην κυκλοφορία των αυτοκινήτων η παρουσία των NO_x είναι πάντα επαρκής και ο σχηματισμός όζοντος εξαρτάται περισσότερο από τις συγκεντρώσεις των VOC (Chameides *et al.*, 1992)

Παρότι υπάρχουν ακόμα ασάφειες στις φωτοχημικές διαδικασίες της τροπόσφαιρας, έχει πλέον τεκμηριωθεί ότι το όζον μπορεί να σχηματιστεί φωτοχημικά τόσο σε περιοχές με ρύπανση όσο και σε περιοχές χωρίς ρύπανση και ότι οι ίδιοι μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για το σχηματισμό του και στους δύο τύπους περιοχών (Calvert *et al.*, 1972, Seinfeld, 1989).

1.2.2.3. Μηχανισμός σχηματισμού όζοντος

Με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται φωτόλυση του NO₂ προς σχηματισμό του O₃ και NO, τα οποία επίσης αντιδρούν μεταξύ τους προς επανασηματισμό του NO₂. Επιτυγχάνεται έτσι μια κατάσταση ισορροπίας, στην οποία η συγκέντρωση όζοντος παραμένει αμετάβλητη (Σαϊτάνης, 1998). Η χημεία μετατροπής

οξειδωμένων νιτρικών ενώσεων είναι σαφώς ορισμένη και εξηγεί το σχηματισμό μιας σειράς ανόργανων και οργανικών ενώσεων, οι οποίες έχουν το ρόλο της πηγής για NO_x και υδρογόνων που περιέχουν ελεύθερες ρίζες. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η νιτρική ρίζα (NO_3) παίζει κυρίαρχο ρόλο στη χημεία των οξειδωμένων νιτρικών ενώσεων (Fowier *et al*, 1997). Για να υπάρξει καθαρή παραγωγή, απαιτούνται ρίζες ικανές να αντιδρούν με το NO και να το μετατρέπουν σε NO_2 χωρίς την κατανάλωση O_3 . Τέτοιες ρίζες προκύπτουν από μια φωτοχημική διαδικασία η οποία αρχικά παράγει ρίζες $-\text{OH}$.

Στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, η αρχική παραγωγή των $-\text{OH}$ συμβαίνει με τη φωτόλυση του όζοντος και αντίδραση με υδρατμούς ενώ σε τροπόσφαιρα που υπάρχει ρύπανση, η παραγωγή του όζοντος συμβαίνει με τη φωτόλυση αλδεϋδων ή νιτρωδών. Τα $-\text{OH}$ που δημιουργούνται αντιδρούν με CO ή με μεθάνιο και δίνουν υπεροξυρίζες (HO_2) ή με άλλους πλην μεθανίου υδρογονάνθρακες και δίνουν επίσης υπεροξυρίζες (RO_2 , HO_2). Οι υπεροξυρίζες είναι πολύ δραστικές και αντιδρούν με το NO και το μετατρέπουν σε NO_2 χωρίς τη δαπάνη O_3 . Έτσι απομένουν λιγότερα μόρια NO να αντιδράσουν με τα μόρια του O_3 , επιτρέποντας την καθαρή αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος (Σαϊτάνης, 1998).

Παρότι το O_3 είναι ένας ρύπος που σχηματίζεται τοπικά, τόσο η μεταφορά των ρύπων από τις αστικές περιοχές, όσο και η μεταφορά του από την ελεύθερη τροπόσφαιρα ή τη στρατόσφαιρα ή ακόμα και ο επιτόπιος σχηματισμός του μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη συγκέντρωσή του στις αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές (Σαϊτάνης, 1998).

1.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΑΥΤΑ

1.3.1. Το όζον ως φυτοτοξικός ρύπος

Η φυτοτοξικότητα του όζοντος αποτελεί αντικείμενο μελέτης στα πλαίσια των μη παρασιτικών ασθενειών. Η ένταση και το είδος των συμπτωμάτων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες και διαφέρουν μεταξύ των ειδών αλλά και των ποικιλιών. Μεταξύ των επιπτώσεων του όζοντος στα φυτά αναφέρονται νεκρωτικές χλωρωτικές κηλίδες στα φύλλα, μείωση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας, μείωση της αγωγιμότητας των στοματίων κ.α. (Λέκκας, 2003). Προϋπόθεση για την εμφάνιση τοξικότητας στα φυτά είναι τα κύτταρά τους να έρθουν σε επαφή με τοξικές ουσίες. Υπάρχουν τρεις δυνατοί τρόποι μέσω των οποίων ουσίες μπορούν να εισέλθουν των φυτών, αυτοί είναι: πρόσληψη από το έδαφος μέσω των ριζών, επιδερμική διείσδυση και πρόσληψη μέσω των στοματίων. Δεδομένου ότι η πρόσληψη του όζοντος από το έδαφος είναι αμελητέα (Jaker H.J. *et al*, 1992), ο κύριος τρόπος εισόδου του στο φυτό είναι τα στομάτια και ελάχιστα μέσω της επιδερμίδας.

Η συνεχώς αυξανόμενη συγκέντρωση του όζοντος, κυρίως στο Βόρειο ημισφαίριο του πλανήτη μας, ώθησε τους επιστήμονες να προβούν σε ερευνητικές δραστηριότητες για την ανίχνευση των επιπέδων του και τη διερεύνηση της επίδρασής του σε πολλά είδη φυτών, με έμφαση στα καλλιεργούμενα.

1.3.2. Επίδραση όζοντος στη φυσιολογική λειτουργία του φυτού

Σε κυτταρικό επίπεδο, το όζον και άλλοι αέριοι ρύποι προκαλούν ένα μεγάλο αριθμό επιπτώσεων, που περιλαμβάνουν αλλαγές στη διαπερατότητα των μεμβρανών, τροποποιήσεις στις φωτοσυνθετικές αντιδράσεις, τροποποιήσεις στο μεταβολισμό των υδατανθράκων και του αζώτου, καθώς και επιπτώσεις σε δευτερογενείς μεταβολισμούς (Jaker H.J. *et al*, 1992).

Ο κύριος τρόπος εισόδου του όζοντος εντός των φυτών είναι μέσα από τα στόματα. Τα στομάτια είναι πόροι της επιδερμίδας, οι οποίοι ελέγχονται από την παρουσία δύο καταφρακτικών κυττάρων. Η λειτουργία ανοίγματος και κλεισίματος του

στοματικού πόρου βασίζεται στην μεταβολή του σχήματος, του όγκου και του ανομοιομορφου πάχους του κυτταρικού τοιχώματος των καταφρακτικών κυττάρων λόγω μεταβολής της πίεσης.

Το O_3 κατά την πορεία εισόδου του στα φυτά, έρχεται σε επαφή με την εφυμενίδα και τα στομάτια των φύλλων, αντιδρά με τα συστατικά της εφυμενίδας προκαλώντας καταστροφή της επιφάνειάς της και προκαλεί απώλεια K^+ στα καταφρακτικά κύτταρα, με αποτέλεσμα την απώλεια σπαργής τους. Έτσι, τα στομάτια κλείνουν παρεμποδίζοντας την περαιτέρω είσοδο του O_3 στα φυτά.

Ο μηχανισμός μεταφοράς του όζοντος μεταξύ του ανώτερου εξωτερικού επιφανειακού στρώματος του ελάσματος και του εσωτερικού στρώματος του φυλλικού ιστού, γίνεται μέσω μοριακής διάσπασης (Karenlampi and Skarby, 1996). Το O_3 περνώντας από τα στομάτια εισέρχεται στον υποστομάτιο μεσοκυττάριο χώρο και διαλύεται στο νερό που περιέχεται στο χώρο αυτό. Εκεί παρατηρείται η αποδόμησή του εξαιτίας της αντίδρασής του με το νερό, δίνοντας «δραστικές ρίζες οξυγόνου», οι οποίες μπορούν να οξειδώσουν πολλούς κυτταρικούς μεταβολίτες και να επιδράσουν σε συστατικά των μεμβρανών, όπως είναι οι ομάδες $-SH$, τα αμινοξέα και τα ακόρεστα λιπαρά οξέα (Heath, 1975). Οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να αντιδράσουν με ένζυμα, μερικά εκ των οποίων σχετίζονται με τη φωτοσύνθεση και άλλες μεταβολικές διεργασίες (Bennett, 1984).

Το O_3 δεν αντιδρά με το κυτταρικό τοίχωμα (το οποίο είναι αδρανές), περνώντας όμως στο πλασμάλημμα είναι ενεργό να αντιδράσει με τα συστατικά του κυτοπλάσματος και των μεμβρανών του. Πιο γρήγορα προσβάλλονται οι διπλές μεμβράνες του ενδοπλασματικού δικτύου, αλλά πιο έντονα οι χλωροπλάστες (Ledbetter *et al*, 1959). Οι θυλακοειδείς μεμβράνες των χλωροπλαστών είναι εξαιρετικά ευαίσθητες κυρίως λόγω των $-SH$ ομάδων. Στις θυλακοειδείς μεμβράνες ενεργούν ένζυμα, τα οποία διευκολύνουν τις αντιδράσεις της φωτοσυνθετικής λειτουργίας. Είναι προφανές ότι οποιαδήποτε μεταβολή αυτών των μεμβρανών θα έχει δυσμενείς επιδράσεις στη φωτοσύνθεση.

Η απόδοση των φυτών που εκτίθενται στο O_3 μπορεί να μειώνεται λόγω του κλεισίματος των στοματίων ή λόγω βλαβών του φωτοσυνθετικού μηχανισμού. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι η έκθεση των φυτών στο O_3 προκαλεί αρχικά τουλάχιστον μερικό κλείσιμο των στοματίων (Aben *et al*, 1990, Gillespie and Winner, 1989), παρόλο που υπάρχουν αναφορές ότι η φωτοσυνθετική διαδικασία είναι αυτή που επηρεάζεται πρώτα (Farage *et al.*, 1991).

Οι περισσότερες εργασίες που ασχολήθηκαν με τις επιπτώσεις του O₃ στα φυτά τόσο σε συνθήκες υπαίθρου όσο και εργαστηρίου οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η αγωγιμότητα των στοματίων μειώνεται εξαιτίας του O₃ (Yunus and Yqbal, 1996).

Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και άλλες κυτοπλασματικές ουσίες που προσβάλλονται από το O₃ όπως οι πρωτεΐνες, τα οργανικά οξέα, οι υδατάνθρακες και τα μιτοχόνδρια με τις μεμβράνες τους αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τους χλωροπλάστες. Παρακάτω παρουσιάζονται βήμα προς βήμα οι φυσιολογικές και βιοχημικές διαδικασίες που επηρεάζονται από αέριους ρύπους:

1. Αρχή της αφομοίωσης: Φωτοσυνθετικός βαθμός, άνοιγμα στομάτων, ανάπτυξη φύλλων και γήρανση, παρεμπόδιση φωτός.
2. Διαμερισμός αφομοίωσης: Ποσοστό βλαστών – ριζών, εξειδικευμένες φυλλικές περιοχές, ποσοστό βάρους φύλλων, ποσοστό φλοιώματος (sapwood).
3. Αναπνοή: Διατήρηση και ανάπτυξη.
4. Νέκρωση ιστών: Απώλεια φύλλων (φυλλόρροια) και ριζιδίων, πρόωρη γήρανση και abscission, (αποκοπή) μετατροπή φλοιώματος σε εντεριόνη (sapwood to heartwood).
5. Μετατροπή της αφομοίωσης στο φυτικό ιστό: Ποσοστό φυλλικής επιφάνειας, ειδικό μήκος ριζών κλπ (Jaker H.J. και συν., 1992).

Η επίδραση του όζοντος μπορεί να είναι χρόνια ή άμεση. (Karenlampi and Skarby, 1996). Η άμεση προκαλείται από μικρής διάρκειας επεισόδια και συνήθως αναφέρονται συμπτώματα φύλλων (Sagar, Krupa, 1997). Βραχυχρόνια ανταπόκριση στο στρες μπορεί να είναι ήπια έως και θανατηφόρα. Συνεχές -ήπιας μορφής- στρες μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στην αγωγιμότητα των φυτών (π.χ. αλλαγές στη συμπεριφορά των στομάτων) ή σε τροποποίηση της αποτοξίνωσής τους ή της δυνατότητας αποκατάστασης. Χρόνια ή μακράς διάρκειας έκθεση, σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων διακοπτόμενες από σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, μπορεί να συνοδεύεται από εμφανή συμπτώματα αλλά και όχι (Πίνακας 2.1). Οι αντιδράσεις του φυτού επίσης μπορεί να είναι ήπιες ή θανατηφόρες αλλά συνήθως έχουν ως αποτέλεσμα μείωση παραγωγής, γονιμότητας και διατάραξη οικολογικών και γενετικών πληροφοριών (Karenlampi and Skarby, 1996).

1.3.3. Το πρόγραμμα ICP Vegetation

Από τη δεκαετία του 1950 εμφανίστηκαν οι πρώτες ανακοινώσεις παρατηρήσεων φυτοτοξικών επιδράσεων του O₃. Το 1959, μετά από ένα χρόνο έρευνας για τον προσδιορισμό του αιτίου των επονομαζόμενων «κηλίδων καιρού» στα καπνά, ανακοινώθηκε ότι αυτές προκαλούνταν από υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Έκτοτε, πλήθος μελετών σε παγκόσμια κλίμακα έχουν καταδείξει τις αρνητικές επιδράσεις του O₃ σε αρκετά καλλιεργούμενα και αυτοφυή είδη.

Προς το τέλος της δεκαετίας του '80, μέσα στα πλαίσια ειδικού διεθνούς προγράμματος (ICP Vegetation, UN-NECE, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution), που ασχολείται με τις συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη φυσική βλάστηση και τις καλλιέργειες, έγιναν προσπάθειες για την ανάπτυξη της επιστήμης που σχετίζεται με την ποσοτικοποίηση των ζημιών (σε καλλιέργειες) από το όζον και άλλους ρύπους.

Αυτή την περίοδο συμμετέχουν στο πρόγραμμα του ICP Vegetation επιστήμονες από 28 χώρες, όπως π.χ. Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Νήσοι Φαρόι, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιταλία, Λετονία, Λιθουανία, οι Κάτω Χώρες, η Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, πρώην Σοβιετική Ένωση, Σερβία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία, Αγγλία, Ουκρανία και Η.Π.Α.

Η χώρα μας συμμετέχει στο πρόγραμμα από το 1988 (Βελισσαρίου, προσωπική επικοινωνία), με πειραματικό σημείο το Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο στην Κηφισιά, ενώ από το 2000 στο πρόγραμμα εντάσσεται και το Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας. Το πρόγραμμα συντονίζεται από το Κέντρο Οικολογίας και Υδρολογίας του Μπανγκόρ (UK).

Επιπλέον, επιτροπή εμπειρογνομόνων από το Βέλγιο, την Ισπανία και την Ελβετία παρέχουν συμβουλές και βοήθεια στον πρόεδρο του ICP Vegetation με τη συμμετοχή τους στην οργανωτική επιτροπή. Οι συμμετέχοντες συναντώνται κάθε έτος σε μια συνεδρίαση (Task Force Meeting) του Working Group για να συζητήσουν τα νεότερα αποτελέσματα και τη μελλοντική ανάπτυξη του προγράμματος. Τα τελευταία χρόνια, η συνεδρίαση της ομάδας εργασίας έχει φιλοξενηθεί από το Βέλγιο (2001), τη Γερμανία (2002), τη Σλοβενία (2003) και την Ελλάδα (2004).

Το ICP Vegetation είναι ένα από τα πολλά προγράμματα διεθνούς συνεργασίας (ICPs) και συνεδριάσεων που ερευνούν τα αποτελέσματα των ρύπων στα ύδατα, υλικά, δάση, οικοσυστήματα, υγεία, και που χαρτογραφούν τα αποτελέσματά τους στην περιοχή της Ευρώπης.

Η διεθνής συνεργασία, για να ελέγξει τη ρύπανση, ενισχύεται από τη Συνθήκη LRTAP (διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση μεγάλου εύρους). Τα πρωτόκολλά του δεσμεύουν τις χώρες στη μείωση των εκπομπών των ρύπων μέχρι κάποια συγκεκριμένα έτη που έχουν τεθεί ως στόχοι.

1.3.3.1. Στόχοι του προγράμματος ICP Vegetation

Οι στόχοι του ICP Vegetation είναι οι ακόλουθοι έξι:

1. Να εκτελέσει συντονισμένα πειράματα και να καθορίσει τα αποτελέσματα της ρύπανσης όζοντος στις καλλιέργειες και στη φυσική βλάστηση στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική.
2. Να αναπτύξει μηχανογραφημένα πρότυπα για την ποσοτικοποίηση και την ερμηνεία της επιρροής παραγόντων, όπως οι κλιματολογικές συνθήκες και τα επίπεδα άλλων ρύπων στην ανταπόκριση διαφορετικών φυτικών ειδών στο όζον.
3. Σε συνεργασία με άλλες ομάδες που εργάζονται στο πλαίσιο της Συνθήκης, να χρησιμοποιήσουν αυτά τα πρότυπα για να αναπτύξουν τους χάρτες που παρουσιάζουν τις περιοχές όπου οι καλλιέργειες διατρέχουν κίνδυνο από τη ρύπανση όζοντος στην Ευρώπη.
4. Να αναπτύξει μια οικονομική αξιολόγηση των απωλειών, που προκαλούνται από το όζον, στις καλλιέργειες.
5. Να εκτελέσει τις βιβλιογραφικές επισκοπήσεις και τα πειράματα για να παρέχει τις πληροφορίες για την ευαισθησία φυτικών ειδών στο όζον.
6. Να εκτελέσει τις βιβλιογραφικές επισκοπήσεις και τα πειράματα για τη συσσώρευση ατμοσφαιρικής εναπόθεσης των βαρέων μετάλλων σε επιλεγμένες ποικιλίες φυτών, συμπεριλαμβανομένων και των βρύων.

1.3.3.2. Περίληψη των πρόσφατων αποτελεσμάτων του ICP Vegetation

Τα πιο πρόσφατα περιβαλλοντολογικά αποτελέσματα του συγκεκριμένου προγράμματος είναι τα εξής εφτά:

1. Τα περιβαλλοντικά επίπεδα όζοντος μειώνουν σημαντικά τη βιομάζα των ευαίσθητων ειδών, όπως το τριφύλλι, σε διάφορους τόπους στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική.
2. Τα κρίσιμα επίπεδα όζοντος, που έχουν συνέπειες στην παραγωγή, ξεπερνιούνται συχνά σε περισσότερες - από τα τρία τέταρτα - περιοχές του ICP Vegetation.
3. Η θερμοκρασία, η υγρασία, και άλλοι ρύποι επηρεάζουν σημαντικά την ανταπόκριση του τριφυλλίου στο περιβαλλοντικό όζον.
4. Οι καλλιέργειες σε τόπους που έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος μπορεί να μην λάβουν τις υψηλότερες δόσεις όζοντος λόγω του ότι τα αποτελέσματα τροποποιούνται ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τη στοματική αγωγιμότητα.
5. Τα περιβαλλοντικά επεισόδια όζοντος έχουν πλήξει τις καλλιέργειες τριφυλλίου τουλάχιστον μια φορά σε κάθε πειραματικό χώρο από τότε που ξεκίνησαν τα πειράματα (το 1994), και κάθε έτος πλήττονται στο 90% των περιοχών.
6. Διάφορες σημαντικές καλλιέργειες όπως ο σίτος, ο αραβόσιτος, η πατάτα και η σόγια μπορούν να εμφανίσουν συμπτώματα όζοντος όταν αναπτύσσονται σε εμπορικές καλλιέργειες.
7. Συμπτώματα όζοντος έχουν ανιχνευθεί επίσης σε είδη φυσικής βλάστησης μετά από περιβαλλοντικά επεισόδια.
(<http://www.icpvegetation.ceh.ac.uk>).

1.3.3.3. Μελλοντική εργασία για το ICP Vegetation

1. Αξιολόγηση των κρίσιμων επιπέδων όζοντος για καλλιέργειες και φυσική βλάστηση.

2. Προτάσεις συστάσεων για την περαιτέρω ανάπτυξη της προσέγγισης κρίσιμων επιπέδων, για αξιολόγηση του κινδύνου όζοντος για τη βλάστηση στις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες.
3. Περαιτέρω ανταλλαγή των στοιχείων όσον αφορά στις επιπτώσεις του όζοντος στη φυσική βλάστηση, και η ανάπτυξη των προτύπων για να προσδιοριστεί η ευαισθησία στο όζον.
4. Νέα πειράματα για την έρευνα των αποτελεσμάτων του περιβαλλοντικού όζοντος στη φυσική βλάστηση.
5. Περαιτέρω ανάπτυξη των προτύπων ροής-επίδρασης για διάφορες καλλιέργειες και χρήση τους για τη χαρτογράφηση των αποτελεσμάτων όζοντος πέρα από την περιοχή της UNECE για την Ευρώπη.
6. Μια οικονομική αξιολόγηση των απωλειών των συγκομιδών που προκαλούνται από το όζον.
7. Περαιτέρω έλεγχος της απόθεσης βαρέων μετάλλων στα φυτά τριφυλλίου.
8. Έλεγχος της απόθεσης βαρέων μετάλλων στα βρύα (<http://www.icpvegetation.ceh.ac.uk>).

1.3.3.4. Φυτά βιοδείκτες

Οι μελέτες που ασχολούνται με την επίδραση του ρύπου O_3 στα φυτά αντιμετωπίζουν το πρόβλημα με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Στην πρώτη, καταγράφεται η συγκέντρωση του O_3 με την χρήση ειδικών οργάνων και εκτιμώνται οι πιθανές επιδράσεις του στα φυτά, με βάση μια γνωστή σχέση μεταξύ έκθεσης των φυτών στο O_3 και των επιπτώσεών του στα φυτά. Η δεύτερη προσέγγιση αφορά στη χρήση φυτών βιοδεικτών του O_3 (βιοκαταγραφή όζοντος) (Λέκκας Δ., 2003).

Ως βιολογικοί δείκτες (ή βιοδείκτες) χαρακτηρίζονται ζωντανοί οργανισμοί (ή φυσιολογικοί μηχανισμοί) που παρουσιάζουν ευαισθησία σε συγκεκριμένες επιβλαβείς ουσίες και εκδηλώνουν χαρακτηριστικές μεταβολές όταν εκτεθούν σε αυτές (Βελισσαρίου Δ., 1992).

Φυτά βιοδείκτες που εκδηλώνουν κάποια ορατή αντίδραση στο όζον μπορεί να είναι κάποιο είδος δένδρου, είδη ξυλωδών ή και μη ξυλωδών θάμνων. Το κύριο

χαρακτηριστικό αυτών των ειδών είναι ότι εμφανίζουν διακριτά συμπτώματα στα φύλλα τους που μπορούν εύκολα να διαγνωσθούν (παθογνωμονικά).

Πολλές φορές τα συμπτώματα του όζοντος στα φυτά αυτά εμφανίζονται μετά το τέλος της περιόδου έκθεσης. Έτσι συμπεραίνουμε ότι οι χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στην καταπόνηση των φύλλων συνεχίζουν να δρουν και μετά το τέλος της περιόδου έκθεσης στον αέριο ρύπο (Jaker H.J. *et al.*, 1992).

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η στοματική πρόσληψη του όζοντος είναι προαπαιτούμενη για τη δημιουργία τοξικοτήτων στο φυτό. Παρόλα αυτά, σε πολλά πειράματα, έχει βρεθεί ότι τα φυτά διαφοροποιούνται όσον αφορά στην ευαισθησία τους στο όζον χωρίς να σημειώνονται ανάλογες διαφορές στη στοματική τους αγωγιμότητα.

Επιπλέον, υπάρχουν ακόμα αβεβαιότητες σχετικά με το ρόλο του αιθυλενίου στον καθορισμό της ευαισθησίας του φυτού, είναι όμως πιθανόν να συμβάλλει ή να είναι ο παράγοντας που καθορίζει πότε ένα φυτό είναι ευαίσθητο στο όζον. Αυτή η υπόθεση στηρίζεται στο γεγονός ότι το αιθυλένιο επιδρά στη ρύθμιση των αντιοξειδωτικών αντιδράσεων του φυτού (Jaker H.J. *et al.*, 1992).

1.3.3.5. Βιοκαταγραφή όζοντος

Τα φυτά βιοδείκτες χρησιμοποιούνται σε πολλές βιολογικές 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 έντασή του σε μια ή περισσότερες περιοχές χωρίς μεγάλη δαπάνη (Velissariou D and Kyriazi A., 1996).

Η βιοκαταγραφή επιτυγχάνεται εύκολα εάν εγκατασταθεί ένα ευρύ δίκτυο σταθμών με φυτά βιοδείκτες. Ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα γίνεται αξιολόγηση της έντασης και της σοβαρότητας των συμπτωμάτων που εμφανίζονται στα φύλλα των ευαίσθητων φυτών. Τα στοιχεία που προκύπτουν χρησιμοποιούνται για τη χρονική καταγραφή των αλλαγών στην ποιότητα του αέρα και για τον καθορισμό της επίπτωσης του όζοντος στην υγεία των φυτών.

Η χρήση ενός τέτοιου δικτύου χρειάζεται για την τεκμηρίωση και τη χαρτογράφηση του φαινομένου σε εθνικό επίπεδο, δεδομένου ότι το μέγεθος των

ζημιών εξαρτάται από την ευαισθησία του φυτικού είδους, το μικροκλίμα και το τοπογραφικό της περιοχής, καθώς και από την περιοχή (Βελισαρίου Δ., 1992), (<http://www.fiaozone.net/basics.htm>).

Ένα παράδειγμα βιοκαταγραφής όζοντος μέσω της χρήσης φυτών βιοδεικτών στην Ελλάδα αποτελεί το παρακάτω πείραμα: Το καλοκαίρι του 1997 έγιναν συστηματικές μετρήσεις και βιοκαταγραφές όζοντος στον κύριο όγκο του δρυμού της Πάρνηθας μέσα στο δασός της ελάτης προκειμένου να αποτιμηθούν τα επίπεδα αυτού του φυτοτοξικού αέριου ρύπου. Οι μετρήσεις έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος που υπερέβαιναν σημαντικά τα Κρίσιμα Επίπεδα για την Ευρώπη και τα φυτά δείκτες (καπνός Bel-W3) “κατέγραψαν” ισχυρή παρουσία όζοντος σε όλη την έκταση του δρυμού (Velissariou D., Skretis L. 2001).

Ο καπνός “Bel-W3” είναι από τις πλέον διαδεδομένες ποικιλίες καπνού που χρησιμοποιείται ευρέως για τη βιοκαταγραφή του όζοντος ενώ εξίσου σημαντική ποικιλία θεωρείται το τριφύλλι (*Trifolium subterraneum* cv *Geraldton* and *T.repens* cv *Regal*). Το χαρακτηριστικό αυτής της ποικιλίας, που την κάνει ιδιαίτερα χρήσιμη, είναι ότι έχει δύο βιότυπους (NC-S και NC-R), γεγονός που μας επιτρέπει να κάνουμε συγκρίσεις. Ο ένας βιότυπος έχει χαρακτηριστική ευαισθησία στις αυξημένες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικού όζοντος (ευαίσθητος βιότυπος) ενώ ο άλλος παρουσιάζει ανθεκτικότητα έναντι του φωτοχημικού ρύπου (ανθεκτικός βιότυπος).

Πάντα όμως επιζητείται ο εντοπισμός νέων φυτικών ειδών ευαίσθητων σε συγκεκριμένους ρύπους που να είναι γρήγορης ανάπτυξης, προσαρμοσμένα στο περιβάλλον που χρησιμοποιούνται, να είναι εύκολη η απόκτηση του σπόρου και γενετικά επιλεγμένα και σταθερά.

Ένα τέτοιο είδος προέκυψε από μια σειρά δοκιμών ευαισθησίας στο όζον που έγινε το 1988-89 με Ελληνικές ποικιλίες που έγιναν στη χώρα μας και χρησιμοποιούνταν στη γεωργική πράξη. Πρόκειται για το Αλεξανδρινό τριφύλλι (*Trifolium alexandrinum* L.) ποικιλία “Λητώ”, η οποία κρίθηκε κατάλληλη για βιολογικός δείκτης όζοντος και προτάθηκε να χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα ICP Vegetation (Velissariou D and Kyriazi A., 1996).

1.4. ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ.

Παρόμοια συμπτώματα με αυτά του δασικού οικοσυστήματος της Πάρνηθας, διαπιστώθηκαν στο δασικό οικοσύστημα του Βορειοδυτικού Ταύγετου, είχαμε δηλαδή την παρουσία εξασθενημένων δένδρων και ιδιαίτερα ελάτης και την εμφάνιση πολλών ξερών δένδρων (Εικ. 5). Δημιουργήθηκε η υποψία, ότι η ζημιά οφείλεται όπως και στην Πάρνηθα σε υπερβολική παρουσία όζοντος. Η υπερβολική παρουσία αυτή του όζοντος αλλά και άλλων ρύπων πρωτογενούς παραγωγής που να εξασθενούν το οικοσύστημα συνδέεται με τη λειτουργία του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης μιας και είναι ο σημαντικότερος παράγοντας παραγωγής ρύπων στην περιοχή (Εικ. 6). Άλλωστε παρατηρώντας από το δασικό οικοσύστημα στο Βόρειο τμήμα του Ταύγετου, το εργοστάσιο είναι φανερό η σημαντική παραγωγή ρύπων από αυτό καθώς και η γειτνίαση του με το δασικό οικοσύστημα (Εικ. 7). Είναι επίσης εμφανής και η μεγάλη διασπορά των ρύπων που παράγονται (Εικ. 8).



Εικόνα 5. Εμφανή συμπτώματα υποβάθμισης του δασικού οικοσυστήματος του ΒΔ Ταύγετου.



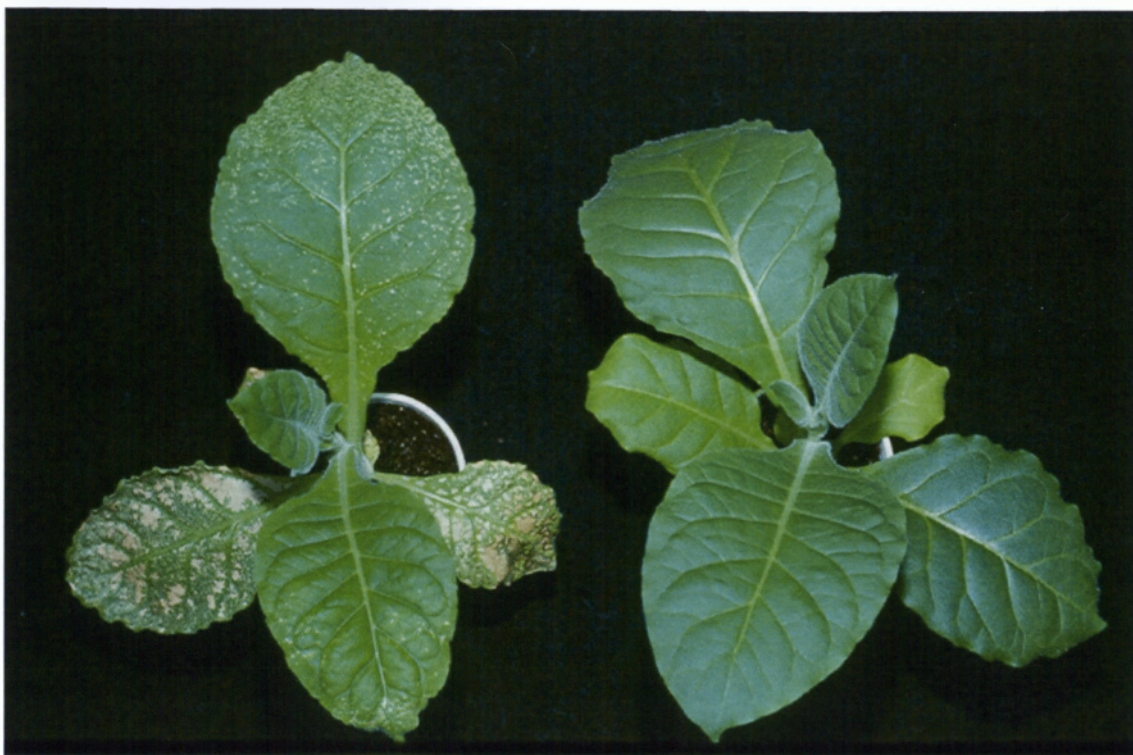
Εικόνα 6. Άποψη του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης από τον Βόρειο Ταΰγετο.



Εικόνα 7. Μεγάλη παραγωγή ρύπων εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενεργείας της Μεγαλόπολης Αρχικά



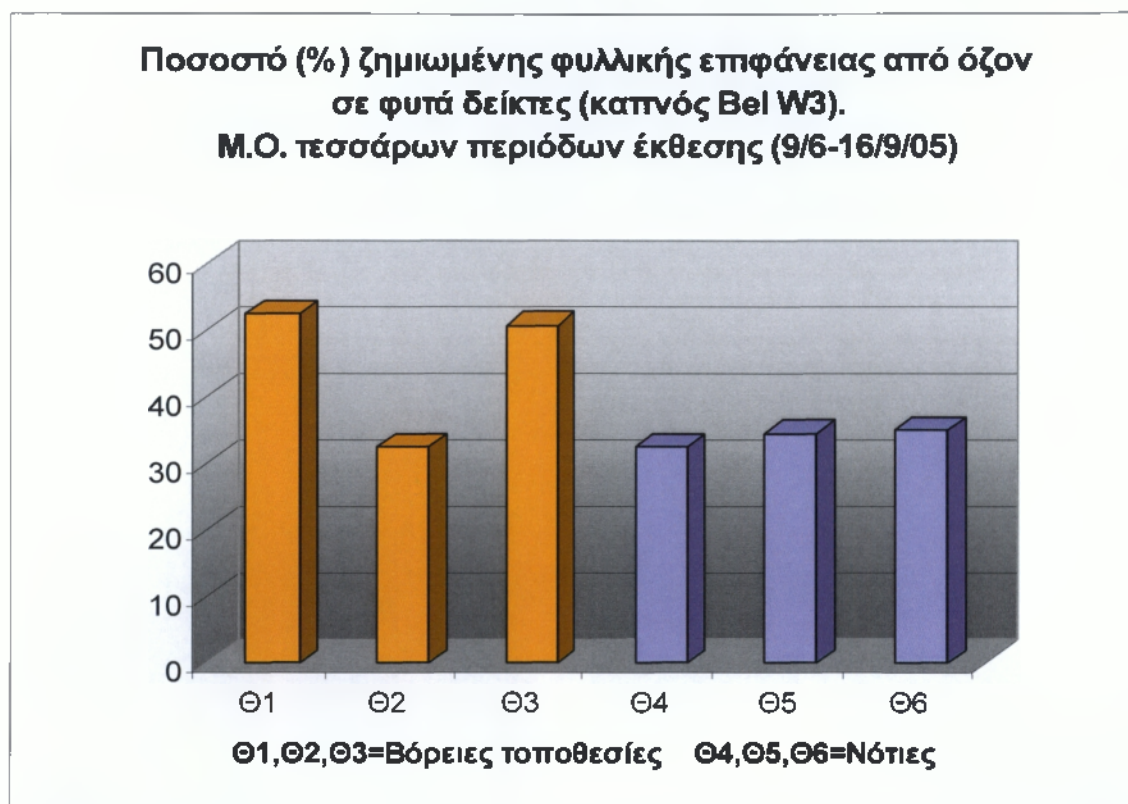
Εικόνα 8. Διασπορά των ρύπων εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης.



Εικόνα 9. Συμπτώματα σε φυτά καπνού της ποικιλίας Bel W3 από έκθεση σε υπερβολική παρουσία όζοντος (αριστερά φυτό με έντονα τα συμπτώματα της προσβολής και δεξιά υγιές φυτό).

Διερευνήθηκε λοιπόν η παρουσία όζοντος στην περιοχή αυτή για να διαπιστωθεί ο λόγος της υποβάθμισης του δάσους. Αρχικά εκτιμήθηκε η παρουσία του ρύπου στην περιοχή, με τη χρήση φυτών καπνού της ποικιλίας Bel W3 που όπως αναφέρθηκε (1.3.3.5) είναι από τις πλέον διαδεδομένες ποικιλίες καπνού που χρησιμοποιείται ευρέως για τη βιοκαταγραφή του όζοντος. Τοποθετήθηκαν λοιπόν φυτάρια της ποικιλίας αυτής σε διάφορες τοποθεσίες του Βόρειου Ταϊγέτου. Μετά από

14 ημέρες τα φυτά του καπνού είχαν σοβαρές αλλοιώσεις στο φύλλωμά τους, αποτέλεσμα που υποδεικνύει την αυξημένη παρουσία όζοντος στην περιοχή (Εικ. 9).



Σχήμα 1. Ποσοστό (%) της ζημιωμένης φυλλικής επιφάνειας σε φυτά δείκτες καπνού Bel W3.

Το έτος 2005 τοποθετήθηκαν σε έξι τοποθεσίες του όρους Ταΰγετος (3 στο βόρειο μέρος και τρεις στο νότιο μέρος) φυτά καπνού (Bel W3) σε τέσσερις περιόδους έκθεσης και για όλη τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου (9/6/2005-16/9/2005) όπου και παρατηρείται έξαρση της συγκέντρωσης του ρύπου. Εκτιμήθηκαν το ποσοστό (%) της ζημιωμένης φυλλικής επιφάνειας και υπολογίσθηκε ο μέσος όρος στις τέσσερις περιόδους. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 1, στις βόρειες τοποθεσίες παρατηρήθηκε σημαντικά μεγαλύτερη ζημιωμένη φυλλική επιφάνεια σε σύγκριση με τις νότιες. Σε δύο μάλιστα από τις βόρειες τοποθεσίες το ποσοστό της ζημιωμένης φυλλικής επιφάνειας έφτασε και το 50 % της συνολικής επιφάνειας του φύλλου.

Ταυτόχρονα στις ίδιες έξι τοποθεσίες του δάσους του Ταΰγету τοποθετηθήκαν παθητικοί δειγματολήπτες όζοντος (Εικ. 10) σε ειδικά στέγαστρα πάνω στα δένδρα και μέσα στο δάσος, ώστε απευθείας να καταμετρηθεί η συγκέντρωση του όζοντος στην περιοχή. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2 ο υψηλότερος μέσος όρος της αθροιστικής

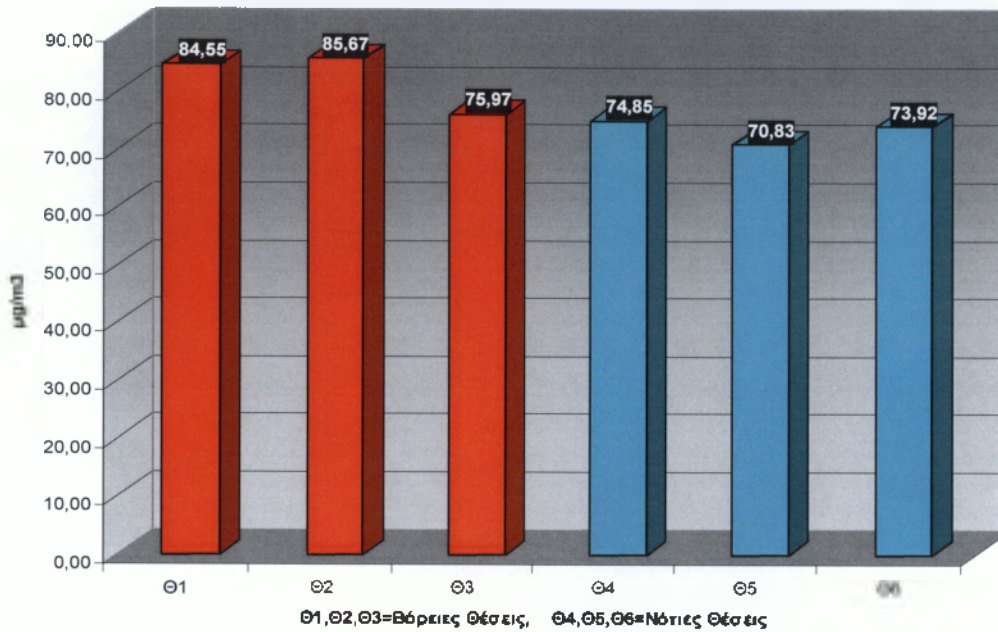
συγκέντρωσης του όζοντος (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$) παρατηρήθηκε στις 3 βόρειες τοποθεσίες σε σύγκριση πάντα με τις νότιες.



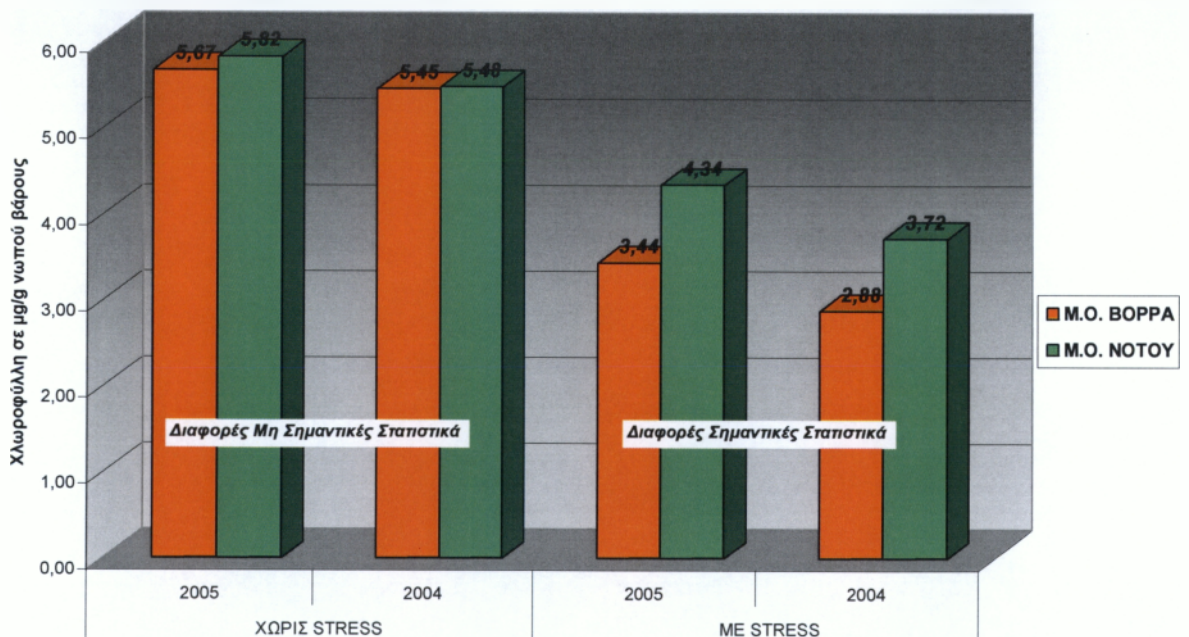
Εικόνα 10. Δειγματολήπτες O_3 τοποθετημένοι σε έλατα σε ειδικά στέγαστρα.

Παράλληλα με τους παθητικούς δειγματολήπτες του όζοντος μετρήθηκαν και οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης a+b σε βελόνες δένδρων ελάτης στις τρεις βόρειες και τρεις νότιες θέσεις του Ταυγέτου. Οι βελόνες συλλέχτηκαν από έλατα με εμφανή καταπόνηση και χωρίς εμφανή καταπόνηση. Οι βελόνες από έλατα με εμφανή τα σημάδια καταπόνησης από το βόρειο μέρος του Ταυγέτου είχαν σημαντικά χαμηλότερη συγκέντρωση χλωροφύλλης από έλατα με εμφανή σημάδια καταπόνησης από το νότιο τμήμα του Ταυγέτου. Αντίθετα όταν οι βελόνες προήλθαν από δένδρα χωρίς καταπόνηση δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης ανάμεσα στις δύο περιοχές μελέτης (Σχήμα 3).

**Μέσοι Όροι αθροιστικής συγκέντρωσης Οζοντος έξι περιοχών του Ταυγέτου
Μετρήσεις από 9/6/05 έως 29/9/05 (13εβδομάδες)**



Σχήμα 2. Μέσος όρος αθροιστικής συγκέντρωσης O₃ σε έξι περιοχές του Ταυγέτου



Σχήμα 3. Συγκεντρώσεις χλωροφύλλης a+b σε βελόνες ελάτης σε τρεις βόρειες και τρεις νότιες θέσεις του Ταυγέτου από έλατα με εμφανή καταπόνηση και χωρίς εμφανή καταπόνηση

Στη συνέχεια τις επόμενες χρονιές στο αγρόκτημα του εργαστηρίου φυσιολογίας πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχα πειράματα χρησιμοποιώντας ως φυτά δείκτες τριφύλλια από δύο διαφορετικές ποικιλίες (NC-S & NC-R), όπου (NC-S & NC-R) αντίστοιχα μια ευαίσθητη και μια ανθεκτική ποικιλία τριφυλλιού στο όζον. Τέλος τα τελευταία έτη το πείραμα πραγματοποιείται σύμφωνα και με τα πειραματικό πρωτόκολλο του προγράμματος ICP Vegetation με δύο γονοτύπους φασολιού (έναν ευαίσθητο και μια ανθεκτικό).

1.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

1.5.1. Μορφολογικές – Ανατομικές παρατηρήσεις

Η ζημιά που προκαλεί η αυξημένη επίδραση του όζοντος στα φυτά, μπορεί να εκτιμηθεί τόσο μελετώντας μακροσκοπικά τις αλλοιώσεις στα φύλλα και στους βλαστούς αυτών, όσο και μικροσκοπικά μελετώντας διαφοροποιήσεις στην ανατομία των ανωτέρω οργάνων.

Μορφολογικές παράμετροι που μπορούν να εκτιμηθούν είναι:

α) Φύλλα: καστανός μεταχρωματισμός του ελάσματος των φύλλων, σύμπτωμα χαρακτηριστικό της τοξικότητας του όζοντος.

β) Βλαστούς: πιθανοί ανάλογοι μεταχρωματισμοί σε πράσινους βλαστούς

γ) Διαφοροποιήσεις στην ανάπτυξη των φυτών, οι Krause and Hockel, 1995, μέτρησαν διαφορές στην ανάπτυξη και τη διάμετρο βλαστών του είδους *Fagus sylvatica* μετά από έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος.

1.5.2. Φυσιολογικές παρατηρήσεις

Φυσιολογικές μετρήσεις και παρατηρήσεις οι οποίες μπορούν να μας δείξουν την καταπόνηση των φυτών από όζον είναι: η μέτρηση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας των φύλλων, η μέτρηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης, η μέτρηση της στοματικής αγωγιμότητας, η μέτρηση του ρυθμού διαπνοής των φύλλων, και η μέτρηση της χλωροφύλλης των φύλλων.

ΜΕΡΟΣ 2^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1.1. Υλικά

2.1.1.1. Φυτικό υλικό

Χρησιμοποιήθηκαν φυτά γονοτύπων φασολιού (*Phaseolus vulgaris*), από τους οποίους ο S-156 είναι ευαίσθητος στις υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος καθώς και ο γονότυπος R-123 ο οποίος είναι ανθεκτικός στις υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Η προέλευση των βιότυπων αυτών είναι οι Η.Π.Α (από το USDA-ARS Plant science Unit field site near Raleigh, North Carolina).

2.1.1.2. Υλικά υποστρώματος – Φυτοδοχεία- Λίπασμα

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για το εδαφικό υπόστρωμα ήταν:

- α) τύρφη
- β) περλίτης
- γ) υπόστρωμα

Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε φυτοδοχεία λευκού χρώματος για μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, όγκου 20 lt (Εικ. 11). Επίσης τα φυτοδοχεία με τα φυτά σύμφωνα και με τις απαιτήσεις του πρωτοκόλλου ICP Vegetation τοποθετήθηκαν μακριά από κτίρια και δρόμους, ενώ η φυσική βλάστηση γύρω από τα φυτοδοχεία κρατιόταν σε χαμηλό ύψος (γινόταν κοπή του ζιζανιοτάπητα και όχι χημική καταπολέμηση των ζιζανίων).

Για την λίπανση των φυτών χρησιμοποιήθηκε σύνθετο λίπασμα Compleasal combo supra (12-8-16 + 3MgO+B+Fe+Zn) το οποίο είναι αργής αποδέσμευσης σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις του πρωτοκόλλου του ICP Vegetation.

2.1.2. Μέθοδοι

Η καλλιέργεια των 2 ποικιλιών του φασολιού πραγματοποιήθηκε την περίοδο του καλοκαιριού λόγω του υψηλότερου σχηματισμού όζοντος (§1.1.3.2.).

2.1.2.1. Σπορά σπόρων – Ανάπτυξη φυτών

Οι σπόροι των δύο ανωτέρω ποικιλιών φυτευτήκαν απευθείας στα φυτοδοχεία, (Εικ. 11) αφού είχαν παραμείνει για 24 h σε νερό. Μετά από 7 ημέρες, εμφανίστηκαν τα φυτάρια. Τα φυτά ποτίζονταν καθημερινά στις 06.00 το πρωί ώστε τα φύλλα να είναι σε σπαργή όταν πραγματοποιούνταν η πρωινή μέτρηση. Επίσης ανά 20 ημέρες πραγματοποιούνταν λίπανση των φυτών με Complestal combo supra (12-8-16 + 3MgO+B+Fe+Zn).



Εικόνα 11. Εγκατάσταση φυτείας με τους δυο γονοτύπους φασολιών

2.1.2.2. Πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο του πρωτοκόλλου του ICP Vegetation προβλέπει την εγκατάσταση δοχείων με φασόλια των δύο διαφορετικές ποικιλίες (S και R) στον πειραματικό χώρο, προς έκθεσή τους στην ατμόσφαιρα της περιοχής ώστε να διαπιστωθεί παρουσία του τροποσφαιρικού όζοντος. Οι μισοί εκ των βιότυπων φασολιού έχουν χαρακτηριστική ευαισθησία στις αυξημένες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικού όζοντος (sensitive biotypes), ενώ τα υπόλοιπα μισά φυτά παρουσιάζουν ανθεκτικότητα έναντι του συγκεκριμένου ρύπου (resistant biotypes).

Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν σπορόφυτα των δύο βιότυπων τριφυλλιού.

Για την εγκατάσταση του πειράματος επιλέχθηκε υπαίθριος χώρος στο Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας στον Αντικάλαμο Μεσσηνίας. Η χωροθέτηση έγινε σύμφωνα με το πρωτόκολλο μέσα στα πλαίσια για τα πειράματα του ICP Vegetation, σε απόσταση μεγαλύτερη από 200 m από κεντρικούς δρόμους και 50 m από κτίρια.

Ο χώρος ισοπεδώθηκε με την βοήθεια εκσκαφέα και καθαρίστηκε από ζιζάνια. Τοποθετήθηκαν πλάκες (καθαρισμένες από εδαφικά υπολείμματα) ανά 0,5m, ως υπόβαθρο των φυτοδοχείων (που θα φέρουν τα φασόλια) έτσι ώστε να αποτραπεί η απευθείας επαφή τους με το έδαφος, να μη χαθεί η υγρασία τους και να μην μεταδίδονται ασθένειες και μολύσματα. Το αρδευτικό σύστημα που εγκαταστάθηκε ήταν ένα δίκτυο αυτόματου ποτίσματος (με ρυθμιζόμενους σταλάκτες), το οποίο αργότερα στηρίχθηκε πάνω στα φυτοδοχεία.

Σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο χρησιμοποιήθηκαν 28 δοχεία λευκού χρώματος, περιεκτικότητας 15 lt με διάμετρο επιφάνειας 30 cm κατά προσέγγιση. Αυτό το μέγεθος των δοχείων χρειάζεται επειδή για την απρόσκοπτη ανάπτυξη η των φυτών του φασολιού.

Επίσης, το συγκεκριμένο είδος δοχείων των 15 λίτρων επιτρέπει 3-5 μήνες ανάπτυξης δίχως υποστύλωση ενώ το λευκό χρώμα μειώνει την υπερθέρμανσή τους. Τα δοχεία απολυμάνθηκαν και ως υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε μίγμα κομπόστα-περλίτη σε αναλογία 1:1.

Η εγκατάσταση των φυτοδοχείων στον πειραματικό χώρο έγινε διαδοχικά σε 4 σειρές των 7 δοχείων (Πίνακας 3), τα φυτοδοχεία τοποθετήθηκαν εναλλάξ ένα

ανθεκτικό και ένα ευαίσθητο ώστε να απομονωθεί η παραλλακτικότητα της θέσης των φυτοδοχείων στην ανάπτυξη των φυτών (1 resistant-1 sensitive).

Πίνακας 3 : Διάταξη φυτοδοχείων στον πειραματικό χώρο

R₁	S₄	R₈	S₁₁
S₁	R ₅	S ₈	R ₁₂
R₂	S ₅	R ₉	S ₁₂
S₂	R ₆	S ₉	R ₁₃
R₃	S ₆	R ₁₀	S ₁₃
S₃	R ₇	S ₁₀	R ₁₄
R₄	S ₇	R ₁₁	S ₁₄

2.1.2.3. Καταγραφή ανάπτυξης φυτών – Καταγραφή ζημιών από το όζον

Μετά από 10 ημέρες από την σπορά φύτεψαν οι σπόροι των δυο γονοτύπων και μετά από 30 ημέρες από το φύτεψμα άνθισαν το 50% των φυτών.

Η μακροσκοπική καταγραφή της ζημιωμένης φυλλικής επιφάνειας πραγματοποιήθηκε μετά από 70 ημέρες από το φύτεψμα των σπόρων. Εκτιμήθηκε δηλαδή το ποσοστό των καταστραμμένων φύλλων που παρουσιάστηκαν σε κάθε φυτό την ανωτέρω χρονική περίοδο. Η κλίμακα βαθμονόμησης που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

Κατηγορία 1^η Φυτά χωρίς συμπτώματα στα φύλλα ή με μικρή καταπόνηση (1-5% των φύλλων), ή με μέτρια καταπόνηση, (5-25% των φύλλων)

Κατηγορία 2^η Βαριά καταπόνηση, (25-50% των φύλλων)

Κατηγορία 3^η Πολύ βαριά καταπόνηση, (50-100% των φύλλων)

2.1.2.4. Μετρήσεις συνολικής χλωροφύλλης των φύλλων

Με το όργανο **Spad 502 Minolta** μετρήθηκε η συνολική χλωροφύλλη των φύλλων. Το ανωτέρω όργανο είναι ένας φορητός μετρητής της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη, που πραγματοποιεί τη μέτρηση της χλωροφύλλης χωρίς να προκαλεί ζημιά στα φυτά. Μετρήθηκε λοιπόν η συνολική χλωροφύλλη των φύλλων σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών τόσο από τον ανθεκτικό όσο και από τον ευαίσθητο γονότυπο. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μονάδες SPAD.

2.1.2.5. Μετρήσεις του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας με **LCI Portable Photosynthesis System**

Με το όργανο **LCI Portable Photosynthesis System** μετρήθηκαν ο ρυθμός φωτοσύνθεσης (Photosynthetic Rate A) καθώς επίσης και η στοματική αγωγιμότητα των φύλλων (stomatal conductance g_s).

Ρυθμός φωτοσύνθεσης (A)

Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης μετριέται σε A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) είναι ο ρυθμός ανταλλαγής CO_2 στο θάλαμο του φύλλου και υπολογίζεται από τον τύπο

$$A = u_s \Delta c$$

όπου u_s η συνολική ροή αέρα για κάθε m^2 φυλλικής επιφάνειας, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ και Δc η διαφορά της συγκέντρωσης του CO_2 concentration through chamber, dilution corrected

Αντίστοιχα η στοματική αγωγιμότητα συμβολίζεται ως (g_s), και μετριέται σε $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

υπολογίζεται δε από τον τύπο $g_s = 1/r_s$

όπου r_s είναι η στοματική αντίσταση στην εξάτμιση του νερού και υπολογίζεται σε, $\text{m}^2 \text{s mol}^{-1}$

2.1.2.6. Καταμέτρηση της συγκέντρωσης του όζοντος στην ατμόσφαιρα

Παράλληλα με τις ανωτέρω μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα φυτά των δύο ποικιλιών φασολιού, καταγράφονταν και η συγκέντρωση του όζοντος στο χώρο που είχαν τοποθετηθεί τα φυτά, με τη βοήθεια ενός μετρητή όζοντος (DASIBI 1003-RS).

Ο συγκεκριμένος μετρητής ήταν εγκατεστημένος στο πειραματικό χώρο του εργαστηρίου Φυσιολογίας του Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας εντός της περιοχής εκτέλεσης του πειράματος.

Ο μετρητής αυτός λειτουργεί ως εξής: ο ατμοσφαιρικός αέρας εισάγεται στο μετρητή μέσω ενός σωλήνα και ο μετρητής καταγράφει με τη βοήθεια ειδικών φίλτρων τη συγκέντρωση όζοντος της ατμόσφαιρας. Ο ανωτέρω μετρητής είναι προγραμματισμένος ανάλογα με τις ανάγκες του πειράματος να καταγράφει τη μέση ωριαία συγκέντρωση όζοντος της ατμόσφαιρας.

Τα δεδομένα του μετρητή, με τη μορφή αρχείου, αποθηκεύονταν σε μηνιαία βάση σε έναν υπολογιστή, ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με το μετρητή. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε ημέρα και παρουσιάζεται στον πίνακα.

Οι μετρήσεις για τις συγκεντρώσεις του όζοντος εκφράζονται σε ppb/h (δηλαδή σε μέρη στο εκατομμύριο ανά ώρα).

2.1.2.7. Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα STATGRAPHICS, Η σημαντικότητα των αποτελεσμάτων ελέγχθηκε με ανάλυση της διασποράς (Analysis of Variance).

Η σύγκριση των μέσων έγινε με τη μέθοδο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$ ή $P \leq 0.01$. Σχεδιάστηκε, μονοπαραγοντικό πείραμα, και εφαρμόστηκε το Εντελώς Τυχαίοποιημένο Σχέδιο. Στην παράθεση των αποτελεσμάτων οι μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα της λατινικής αλφαβήτου διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. Ο αριθμός των επαναλήψεων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 14 ($n=14$).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ ΤΩΝ ΓΟΝΟΤΥΠΩΝ ΤΟΥ ΦΑΣΟΛΙΟΥ

3.1.1. Επίδραση του γονοτύπου στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων

Μετρήθηκαν ο ρυθμός φωτοσύνθεσης και η στοματική αγωγιμότητα των φυτών των δύο γονοτύπων, ώστε να εκτιμηθεί εάν ο γονότυπος επηρέασε τις φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού στα δεδομένα επίπεδα όζοντος. Δηλαδή εάν τα φυτά του ευαίσθητου γονότυπου καταπονήθηκαν από την υψηλή παρουσία όζοντος.

Πίνακας 4. Επίδραση του γονοτύπου (ανθεκτικού ή ευαίσθητου στο όζον) στο ρυθμό φωτοσύνθεσης καθώς και στη στοματική αγωγιμότητα φυτών φασολιού. Οι μετρήσεις αφορούν όλη τη περίοδο καλλιέργειας.

Γονότυπος	Ρυθμός φωτοσύνθεσης	Στοματική αγωγιμότητα
R	14.80 a	0.36
S	10.52 b	0.30
<i>Ανάλυση της διασποράς</i>		
Γονότυπος	**	NS
Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίζονται με το Student's test σε $P=0.05$. *, **: σημαντικά σε $P=0.05$, $P=0.01$, αντίστοιχα, NS: μη σημαντικά σε $P=0.05$.		

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 4 η επίδραση του γονοτύπου στο ρυθμό φωτοσύνθεσης ήταν πολύ σημαντική όταν εξετάστηκαν τα δεδομένα καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (από την έναρξη των μετρήσεων έως και τη συγκομιδή των καρπών). Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης ήταν πολύ υψηλότερος στα φυτά του ανθεκτικού γονοτύπου (R) σε σύγκριση με αυτά του ευαίσθητου γονοτύπου (S). Αντίθετα η στοματική αγωγιμότητα όταν εξετάστηκε συνολικά σε όλη τη διάρκεια του πειράματος

δεν επηρεάστηκε από το γονότυπο (ήταν ελαφρά υψηλότερη στα φυτά του ανθεκτικού γονοτύπου, αλλά η διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική).

3.1.2. Επίδραση του γονοτύπου στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών

Για την ευκολότερη μελέτη των δεδομένων καθώς και την ασφαλέστερη διεξαγωγή συμπερασμάτων, η περίοδος καλλιέργειας χωρίστηκε σε δύο επιμέρους χρονικές περιόδους, την πρώτη που περιλαμβάνει την περίοδο από την έναρξη των μετρήσεων έως και την άνθηση των φυτών και η δεύτερη που περιλαμβάνει την περίοδο από την άνθηση έως και τη συγκομιδή των καρπών οπότε έχουμε και τη λήξη των μετρήσεων.

Η επίδραση του γονοτύπου (R ή S), ήταν πολύ σημαντική στο ρυθμό φωτοσύνθεσης των φυτών κατά την πρώτη περίοδο ανάπτυξης τους (από την έναρξη των μετρήσεων μέχρι και την άνθηση τους). Αντίθετα η στοματική αγωγιμότητα δεν επηρεάστηκε από τον γονότυπο των φυτών στην ανωτέρω περίοδο ανάπτυξης (Πίνακας 5). Στα φυτά λοιπόν του ευαίσθητου γονοτύπου ο ρυθμός φωτοσύνθεσης παρουσιάστηκε σημαντικά χαμηλότερος λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος στην ατμόσφαιρα.

Πίνακας 5. Επίδραση του γονοτύπου (ανθεκτικού ή ευαίσθητου στο όζον) στο ρυθμό φωτοσύνθεσης καθώς και στη στοματική αγωγιμότητα φυτών φασολιού. Οι μετρήσεις αφορούν το πρώτο μισό της περιόδου καλλιέργειας.

Γονότυπος	Ρυθμός φωτοσύνθεσης	Στοματική αγωγιμότητα
R	13.52 a	0.38
S	11.22 b	0.39
<i>Ανάλυση της διασποράς</i>		
Γονότυπος	**	NS
Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίζονται με το Student's test σε $P=0.05$.		
*,** : σημαντικά σε $P=0.05$, $P=0.01$, αντίστοιχα, NS: μη σημαντικά σε $P=0.05$.		

Κατά τη δεύτερη περίοδο ανάπτυξης των φυτών δηλαδή από την άνθηση τους μέχρι και τη συγκομιδή, ο γονότυπος της καλλιεργούμενης ποικιλίας επέδρασε σημαντικά στο ρυθμό φωτοσύνθεσης αυξάνοντας μάλιστα τη διαφορά ανάμεσα στους δύο γονοτύπους. Φυτά του γονότυπου R (ανθεκτικός γονότυπος στο όζον) παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης και ελαφρά μη σημαντική αύξηση στη στοματική αγωγιμότητα σε σύγκριση πάντα με τα φυτά του ευαίσθητου γονότυπου S (Πίνακας 6) στη τελευταία περίοδο ανάπτυξης των φυτών.

Συμπεραίνουμε ότι καθώς προχωρούσε η περίοδος καλλιέργειας των φυτών και πλησίαζαν αυτά στην ωρίμανση τους η ζημιά από την παρουσία του όζοντος εντεινόταν, προκαλώντας περαιτέρω καταπόνηση στις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών του ευαίσθητου γονότυπου σε σύγκριση πάντα με αυτά του ανθεκτικού γονότυπου. Έτσι λοιπόν στην πρώτη περίοδο ανάπτυξης τους (μέχρι και την άνθηση τους), παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στο ρυθμό φωτοσύνθεσης, στο δεύτερο μισό της ανάπτυξης αυτή αυξήθηκε ακόμα περισσότερο, επίσης μειώθηκε ελαφρά η στοματική αγωγιμότητα στα φυτά του ευαίσθητου γονοτύπου, στη δεύτερη περίοδο ανάπτυξης (μετά την άνθηση τους) (Πίνακες 5, 6).

Πίνακας 6. Επίδραση του γονοτύπου (ανθεκτικού ή ευαίσθητου στο όζον) στο ρυθμό φωτοσύνθεσης καθώς και στη στοματική αγωγιμότητα φυτών φασολιού. Οι μετρήσεις αφορούν το δεύτερο μισό της περιόδου καλλιέργειας.

Γονότυπος	Ρυθμός φωτοσύνθεσης	Στοματική αγωγιμότητα
R	16.20 a	0.28
S	9.69 b	0.23
Ανάλυση της διασποράς		
Γονότυπος	**	NS
Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίζονται με το Student's test σε $P=0.05$.		
*, **: σημαντικά σε $P=0.05$, $P=0.01$, αντίστοιχα, NS: μη σημαντικά σε $P=0.05$.		

Η αύξηση της έντασης της ζημιάς πιθανόν να οφείλεται στην αυξημένη ηλικία των φυτών, στη αθροιστική συγκέντρωση του ρύπου στα φύλλα των ευαίσθητων φυτών, στα αυξημένα επίπεδα συγκεντρώσεων του όζοντος λόγω του προχωρημένου της εποχής και στη σταδιακή εξασθένηση των φυτών.

3.1.3. Επίδραση της ημερομηνίας και ημερήσια διακύμανση του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας

Στη συνέχεια εξετάστηκε η επίδραση της χρονικής στιγμής της ημέρας (ανεξάρτητα τα ου είδους του γονότυπου) στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη στοματική αγωγιμότητα των φυτών. Όσον αφορά το ρυθμό φωτοσύνθεσης η επίδραση της ώρας της ημέρας σε αυτόν ήταν πολύ σημαντική. Οι υψηλότεροι ρυθμοί φωτοσύνθεσης (Πίνακας 7) επετεύχθησαν από τα φυτά κατά τις 11:00 και 14:00, ενώ αντίστοιχα ο χαμηλότερος ρυθμός φωτοσύνθεσης στις 17:00 το απόγευμα. Όσον αφορά τη στοματική αγωγιμότητα οι χαμηλότερες τιμές της παρατηρήθηκαν ξανά στις 17:00 το απόγευμα και οι υψηλότερες στις 11:00 το πρωί.

Πίνακας 7. Επίδραση της χρονικής στιγμής της ημέρας στο ρυθμό φωτοσύνθεσης καθώς και στη στοματική αγωγιμότητα φυτών φασολιού. Οι μετρήσεις αφορούν όλη τη περίοδο καλλιέργειας.

Γονότυπος	Ρυθμός φωτοσύνθεσης	Στοματική αγωγιμότητα
09:00	12.09 ab	0.38 bc
11:00	12.72 b	0.43 c
14:00	13.93 b	0.32 b
17:00	10.71 a	0.17 a
<i>Ανάλυση της διασποράς</i>		
Γονότυπος	**	**
Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίζονται με το Student's test σε $P=0.05$. *, **: σημαντικά σε $P=0.05$, $P=0.01$, αντίστοιχα, NS: μη σημαντικά σε $P=0.05$.		

Τις απογευματινές λοιπόν ώρες της ημέρας παρατηρήθηκε σημαντική μείωση τόσο του ρυθμού φωτοσύνθεσης όσο και της στοματικής αγωγιμότητας των φυταρίων σε σύγκριση με τις πρωινές.

3.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ ΤΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΦΑΣΟΛΙΟΥ ΜΕ SPAD

Στο δεύτερο μισό της καλλιέργειας μετρήθηκε η συνολική χλωροφύλλη των φύλλων τόσο σε φυτά από τον ανθεκτικό στο όζον γονότυπο, όσο και σε φυτά του ευαίσθητου στο όζον γονότυπου. Από τον πίνακα 8 είναι φανερό, ότι τα φυτά του ευαίσθητου είχαν χαμηλότερα επίπεδα χλωροφύλλης σε σύγκριση με αυτά από τον ανθεκτικό γονότυπο.

Πίνακας 8. Επίδραση του γονοτύπου (ανθεκτικού ή ευαίσθητου στο όζον) στη συνολική χλωροφύλλη των φύλλων (μέτρηση σε μονάδες Spad) φασολιού. Οι μετρήσεις αφορούν το δεύτερο μισό της περιόδου καλλιέργειας.

Γονότυπος	SPAD
R	38,96 a
S	28,06 b
<i>Ανάλυση της διασποράς</i>	
Γονότυπος	**
Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίζονται με το Student's test σε $P=0.05$. *, **: σημαντικά σε $P=0.05$, $P=0.01$, αντίστοιχα, NS: μη σημαντικά σε $P=0.05$.	

3.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΖΗΜΙΑΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ (SCORING)

Όσον αφορά τη μορφολογική εξέταση των ζημιωμένων φύλλων των φυτών του ευαίσθητου γονοτύπου προέκυψαν τα εξής: όπως φαίνεται από το Πίνακα 8 τα φυτά του ευαίσθητου γονοτύπου σε σύγκριση με τα φυτά του ανθεκτικού γονοτύπου παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερη ζημιά στα φύλλα τους, η οποία σε ποσοστό 72% των φύλλων ξεπέρασε το 50% της επιφάνειάς τους (Πίνακας 8) σε αντίθεση με τα φυτά της ανθεκτικής ποικιλίας όπου δεν παρουσίασαν προβλήματα στη φυλλική επιφάνειά τους (Πίνακας 9).

Στα φύλλα λοιπόν της ευαίσθητης ποικιλίας (S) παρατηρήθηκαν σημαντικοί μεταχρωματισμοί του ελάσματος τους, χαρακτηριστικό σύμπτωμα της τοξικότητας σε φυτά από όζον (Εικ. 13,15,16). Αντίθετα στα φυτά της ανθεκτικής ποικιλίας (R) δεν παρατηρήθηκαν ζημιές στα φύλλα τους (Εικ. 12,14).

Πίνακας 9. Καταγραφή των συμπτωμάτων της τοξικότητας του όζοντος στα φύλλα φασολιού ανθεκτικής και ευαίσθητης ποικιλίας.

Γονότυπος	5-25%	25-50%	50-100%
R	100%		
S	14%	14%	72%



Εικόνα 12. Αναπτυγμένο φυτό φασολιού του ανθεκτικού γονότυπου



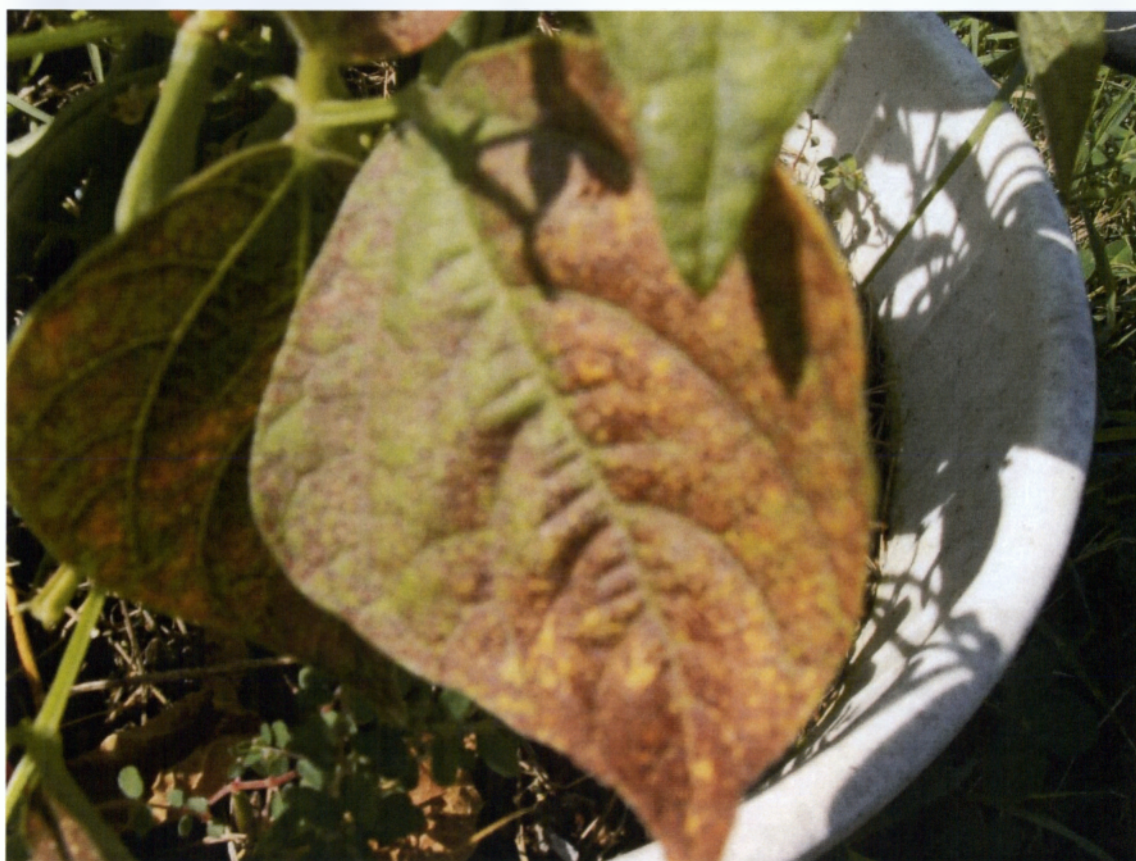
Εικόνα 13. Αναπτυγμένο φυτό φασολιού του ευαίσθητου γονότυπου



Εικόνα 14. Λεπτομέρεια φύλλου του ανθεκτικού στο όζον γονοτύπου φασολιού



Εικόνα 15. Λεπτομέρεια φύλλου του ευαίσθητου στο όζον γονοτύπου φασολιού



Εικόνα 16. Λεπτομέρεια φύλλου του ευαίσθητου στο όζον γονοτύπου φασολιού

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε εξετάστηκε η συμπεριφορά δύο γονότυπων φασολιού των R 123 (ανθεκτικός στο όζον) και S 156 (ευαίσθητος στο όζον); σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος.

Εξετάστηκε ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των φυτών των δυο γονότυπων και βρέθηκε ότι τα φυτά του ευαίσθητου γονότυπου παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης σε όλη τη διάρκεια του πειράματος σε σύγκριση πάντα με αυτά του ανθεκτικού γονότυπου. Όσον αφορά τη στοματική αγωγιμότητα, στη πρώτη μισή περίοδο του πειράματος αυτή δεν παρουσίασε διαφορές ανάμεσα στους δύο γονότυπους, αλλά αντίθετα διέφερε ελαφρά μη σημαντικά ανάμεσα στους δύο γονότυπους στο δεύτερο μισό του πειράματος, με τον ανθεκτικό γονότυπο να παρουσιάζει ελαφρά υψηλότερη στοματική αγωγιμότητα.

Εξετάστηκε επίσης και η συνολική χλωροφύλλη των φύλλων με το όργανο SPAD 502 της Minolta. Η συνολική χλωροφύλλη εμφανίστηκε σημαντικά υψηλότερη στα φυτά του ανθεκτικού γονότυπου σε σύγκριση πάντα με τα φυτά του ευαίσθητου γονότυπου.

Η μορφολογική εξέταση της ζημιάς που παρουσιάστηκε στο έλασμα των φύλλων (scoring) στο τέλος της πειραματικής περιόδου, έδειξε σημαντική καταστροφή του ελάσματος των φύλλων του ευαίσθητου γονότυπου (S) που εκφράστηκε με καφετί μεταχρωματισμό του. Αντίθετα ο ανθεκτικός γονότυπος (R) δεν παρουσίασε σημαντική καταστροφή στα φύλλα των φυτών του.

Είναι λοιπόν εμφανές ότι η υψηλή συγκέντρωση όζοντος που μετρήθηκε στο πειραματικό χώρο του εργαστηρίου Φυσιολογίας Φυτών στο ΤΕΙ Καλαμάτας (ppb), προκάλεσε σημαντική καταπόνηση στα φυτά του ευαίσθητου γονότυπου (S) μειώνοντας σημαντικά τις φυσιολογικές τους λειτουργίες.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα λοιπόν δείχνουν ότι στην περιοχή του Αντικάλामου του νομού Μεσσηνίας, παρουσιάστηκαν φυτοτοξικά επίπεδα όζοντος κατά τη χρονική περίοδο από τον Απρίλιο μέχρι και τον Ιούλιο του έτους 2009.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένα βιβλιογραφία

- Buse A., Mills G., Harmens H., Boker P., Hayes F., Williams P., Emberson L., Cinderby S., Ashmore M., Temmerman L. and the participants of the ICP Vegetation, 2003. Air pollution and Vegetation. annual report 2002/2003. CEH, Great Britain.
- Calvert J.G., Demerjian K. and McQuigg R.D, 1972. Photolysis of phormaldehyde as a hydrojen atom source in the lower atmposphere.Science 175: 751-752
- Clameides W.L., Fehsefel F., Rodger M.O., Cardelino C., Martinez J., Parrish D., Lonneman W.L., Lawson D.R., Rasmussen R.A., Zimmerman P., Greenderg J., Middleton P. and Wang T., 1992.Ozone precursor relationships in the ambient atmosphere.Journal of Geophysical Research 97: 6037-6055.
- Chapman S., 1930. A theory of atmospheric ozone. Mem. Roy. Meteorol.Soc.3:103-125
- Crutzen P.J.I., 1979.The influence of nitrogen oxide on the atmospheric ozone content. Q.J.R.Metereorol. Soc. 96:320-327.
- Experimental Protocol. Yield response and ozone injury on Phaseolus vulgaris, ICP Vegetation, 2010.
- Hampson J., Photochemical behavior of ozone layer. Tech. Note, Can. Armarmant Res.Dev.Estab. TN 1627/64. Valcartier, Canada
- Jaker HJ, M Unsworth, L De Temmerman and P. Mathy, (Eds), 1992. Effects of Air Pollution on Agricultural crops in Europe. The Air Pollution Research Report 46 Results of the European Open – Top chambers Project. Commission of The European Communities.
- Johnston H.S., 1971.Reduction of stratospheric ozone by nitrogen oxide catalysts from supersonic transport exhaust. Science 17:517-522
- Karenlampi Lauri and Lena Skarby, (Eds), 1996. Critical levels for ozone in Europe: testing and finalizing the concepts. UN-ECE convention on Long-Rage transport Transboursy and Air pollution workshop report.Kuopio, Finland, 15-17 April, 1996
- Runeckles V.C. and Chevone B.I., 1992. Crop responses to ozone.In: surface level ozone exposures and their effects of vegetation edited by Allen S.Lefohn. Lewis publishers, INC, pp: 189-270

- Sagar V.Krupa, 1997. Air pollution, People, and plants. By the American Phytopathological Society, St Paul, Minesota, U.S.A.
- Seinfeld J., 1989 Urban air pollution: state of science. Science 243:745-752
- Solomon S., 1998 The mystery of the Antarctic ozone hole. Revs. Geophys. 26:131-148
- Velissariou D and Kyriazi A., 1996. A Greek clover variety-biological indicator for ozone toxicity (Abstract) Phytopathol. Mediterr. 1996, 35, pp 227-228
- Velissariou D., 2000. Establishment of the Critical Levels of ozone in Europe and its effects on crop plants, forests and natural vegetation. (Abstract) Phytopathol. Mediterr. 2000. 39:338p
- Velissariou D., Skretis L., 2001. Phytotoxic ozone concentrations in the fir forest of the Parnis National Park (Abstract) Phytopathol. Mediterr. 2001, 40:83p
- Yunus M and M. Yqbal, 1996. Plant response to air pollution. ISBN 0-471-96061-6

Ελληνική βιβλιογραφία

- Βελισσαρίου Δ., 1992. Αέριοι φωτοχημικοί ρύποι- όζον: Φυτοτοξικοί ρύποι της πόλης που απειλούν καλλιέργειες και φυσική βλάστηση. Εισήγηση στο 6^ο Πανελλήνιο Φυτοπαθολογικό Συνέδριο, Περίληψεις Ανακοινώσεων, σελ. 16-17, 6-8 Οκτωβρίου 1992, Πάτρα και Γεωργία Ανάπτυξη 6 (23) , Νοε-Δεκ, 1992, σελ. 39-40
- Λέκκας Δ., 2003. Επιδράσεις φυτοπροστατευτικών προϊόντων στη φυτοτοξική δράση του όζοντος. Μεταπτυχιακή μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ 152