

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ(ΤΕΙ)

ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ
ΣΕ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΦΑΣΟΛΙΟΥ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της σπουδάστριας Παναγοπούλου Φωτεινής

Καλαμάτα, Μάιος 2011

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ(ΤΕΙ)

ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ
ΣΕ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΦΑΣΟΛΙΟΥ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Πτυχιακή εργασία

της σπουδάστριας Παναγοπούλου Φωτεινής

Επιβλέπων καθηγητής: Κάρτσωνας Επαμεινώνδας

Καλαμάτα, Μάιος 2011

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ (ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΕΣΚΟΠΗΣΗ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

1.1 Ιστορική αναδρομή.....	3
1.2 Κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων.....	5
1.2.1 Βασικές έννοιες.....	5
1.2.2 Κατηγορίες ρύπων.....	6
1.2.3 Πηγές αερίων ρύπων.....	7
1.2.3.1 Φυσικές πηγές.....	8
1.2.3.2 Ανθρωπογενείς πηγές.....	9
1.3 Οι φωτοχημικοί ρύποι.....	10
1.4 Το όζον ως χημικό στοιχείο.....	11
1.5 Το όζον στην ατμόσφαιρα.....	12
1.5.1 Στρατοσφαιρικό όζον.....	13
1.5.2 Τροποσφαιρικό όζον.....	13
1.5.3 Μηχανισμός σχηματισμού όζοντος.....	14
1.5.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις όζοντος.....	15
1.5.5 Κρίσιμα επίπεδα όζοντος.....	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΟΖΟΝ-ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

2.1 Το όζον ως φυτοτοξικός ρύπος.....	19
2.2 Επίδραση όζοντος στη φυσιολογική λειτουργία του φυτού.....	19

2.3 Αντίδραση των φυτών στο όζον.....	21
2.4 Διάγνωση συμπτωμάτων.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

3.1 Γενικά.....	26
3.2 Στρατηγικές βελτίωσης ποιότητας αέρα.....	26
3.2.1 Μετριασμός.....	26
3.2.2 Προσαρμογή.....	27
3.2.3 Πρόληψη.....	27
3.3 Χημική προστασία.....	28

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ (ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ)

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	30
1.1 Το πρόγραμμα UNECE ICP Vegetation.....	30
1.2 Φυτά βιοδείκτες.....	33
1.3 Βιοκαταγραφή όζοντος.....	34
1.4 Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι και η επίδρασή τους στα φυτά στη περιοχή της Μεσσηνίας.....	36
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	
2.1 Υλικά.....	39
2.1.1 Φυτικό υλικό.....	39
2.1.2 Υλικά υποστρώματος-φυτοδοχεία-λίπασμα.....	39
2.2 Μέθοδοι.....	40
2.2.1 Πειραματικό σχέδιο.....	40
2.2.2 Έναρξη πειράματος- καλλιεργητικές φροντίδες.....	42

2.2.3 Τεχνική μετρήσεων.....	43
2.2.3.1 Μετρήσεις συνολικής χλωροφύλλης.....	44
2.2.3.2 Μετρήσεις του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας.....	44
2.2.3.3 Καταμέτρηση της συγκέντρωσης του όζοντος στη ατμόσφαιρα.....	45
2.2.3.4 Μετρήσεις ξηρού βάρους των λοβών φασολιών που σχηματίστηκαν.....	46
2.2.4 Στατιστική ανάλυση.....	47

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μέτρηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας στα φύλλα των γονοτύπων του φασολιού.....	48
3.1.1 Επίδραση του γονοτύπου στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων.....	49
3.1.2 Επίδραση του γονοτύπου στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών.....	49
3.1.3 Επίδραση της ώρας και ημερήσια διακύμανση του ρυθμού φωτοσύνθεσης.....	50
3.1.4 Μέτρηση συνολικής χλωροφύλλης στα φύλλα των ποικιλιών φασολιού με SPAD.....	51
3.2 Μέτρηση ξηρού βάρους φασολιών που σχηματίστηκαν.....	52
3.3. Μορφολογική καταγραφή ζημιάς στα φύλλα (scoring).....	53
3.4 Καταμέτρηση της συγκέντρωσης του όζοντος στην ατμόσφαιρα.....	59

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....61

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας Ε.Κάτωνα, καθώς χωρίς την βοήθειά του δε θα ήταν δυνατή η δημιουργία και η ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής μελέτης.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας Δρ.Δ.Βελισσαρίου, καθώς και το γεωπόνο ερευνητή του εργαστηρίου φυσιολογίας φυτών Γ.Σάλμα για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφεραν.

Ακόμη ευχαριστώ όλους εκείνους τους σπουδαστές που μέσα στα πλαίσια της πρακτικής τους εργασίας φρόντισαν τα φυτά κατά τη διάρκεια της πειραματικής εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τη διεύθυνση του Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας που επέτρεψε τη διεξαγωγή του πειράματος στις εγκαταστάσεις του ιδρύματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για το τόσο μεγάλο ενδιαφέρον και την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι πολλοί αέριοι ρύποι επιδρούν δυσμενώς, στα φυτά προκαλώντας οξεία (καταστροφή ιστών) ή χρόνια τοξικότητα (διαταραχή φυσιολογικών λειτουργιών). Η επικινδυνότητα των φωτοχημικών ρύπων και ειδικότερα του **τροποσφαιρικού όζοντος** οφείλεται κυρίως στις εξής ιδιότητές τους: α) έχουν ισχυρή φυτοτοξική δράση, β) δεν αποδομούνται σε καθαρή ατμόσφαιρα και γ) μεταφέρονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Το όζον συγκαταλέγεται στους **διασυνοριακούς ρύπους** σύμφωνα με τη Σύμβαση της Γενεύης για τη Διασυνοριακή Αέρια Ρύπανση του Ο.Η.Ε, η οποία καθορίζει τα **“κρίσιμα επίπεδα”**, πέραν των οποίων αναμένονται επιπτώσεις στη χλωρίδα της Ευρώπης.

Μέσα στα πλαίσια ειδικού διεθνούς προγράμματος (ICP Vegetation, UN-NECE, yield response and ozone injury on *phaseolus vulgaris*) το καλοκαίρι του 2010, έγινε βιοκαταγραφή των φυτοτοξικών επιπέδων του ατμοσφαιρικού αυτού ρύπου στη περιοχή της Μεσσηνίας.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση αυτών των επιπέδων ήταν η έκθεση στη φυσική ατμόσφαιρα της περιοχής της Καλαμάτας δύο ειδικών βιότοπων φασολιού (*phaseolus vulgaris*), ενός ευαίσθητου (S123) και ενός ανθεκτικού στο όζον(R156). Συγκεκριμένα 13 φυτά από κάθε βιότυπο καλλιεργήθηκαν, αναπτύχθηκαν και τέλος έγιναν εργαστηριακές μετρήσεις και παρατηρήσεις πάνω στο φύλλωμα και τη βιομάζα τους με σκοπό την καταγραφή των επιπτώσεων του ρύπου.

Το πείραμα έδειξε υψηλές συγκεντρώσεις του ρύπου στη Μεσσηνία. Αυτό ίσως εξηγεί τα χαρακτηριστικά συμπτώματα όζοντος που έχουν παρατηρηθεί σε καλλιέργειες και στη φυσική βλάστηση της περιοχής.

Λέξεις κλειδιά: τροποσφαιρικό όζον, διασυνοριακός ρύπος, κρίσιμα επίπεδα, ICP Vegetation.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

1.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή

· Πριν από την βιομηχανική επανάσταση

Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν είναι φαινόμενο της εποχής μας. Ένας από τους λόγους που ανάγκαζαν τις πρώτες φυλές να ζουν ως νομάδες, ήταν η ανάγκη να απομακρύνονται περιοδικά από την δυσσομία την οποία δημιουργούσαν τα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Η ανακάλυψη της φωτιάς δημιούργησε πρόσθετα προβλήματα ρυπαίνοντας τον αέρα, στις περιοχές που κατοικούσαν, με προϊόντα ατελούς καύσης. Η ανακάλυψη της καμινάδας μετατόπισε το πρόβλημα προς την ευρύτερη περιοχή και είχε σαν αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές να είναι καπνώδης. Χαρακτηριστική είναι η αναφορά του Ρωμαίου φιλόσοφου Σενέκα το 61 μ.Χ στην κακή ποιότητα του αέρα στην Ρώμη:

«Μόλις έφυγα μακριά από τον πνιγρό αέρα της Ρώμης και από τη βρωμιά των Καπνοδόχων που κάπνιζαν, διαχέοντας ολόγυρα θανατηφόρα αέρια και αιθάλη, ένοιωσα να αλλάζει η διάθεσή μου», Σενέκας, 61 μ.Χ.

Το 1157, η σύζυγος του βασιλιά Ερρίκου του 2^{ου} της Αγγλίας, Ελεονόρα, μετακόμισε από το Tutbury Castle του Nottingham, γιατί θεώρησε ανυπόφορη τη ρύπανση του αέρα εξ αιτίας της καύσης των ξύλων. Άλλες αναφορές από τον Μεσαίωνα περιγράφουν τα προβλήματα καπνού που δημιουργούσε η καύση του κάρβουνου, με αποτέλεσμα, ο Βασιλιάς Εδουάρδος ο 1^{ος} να απαγορεύσει το 1307 την χρήση του κάρβουνου στις ασβεστοκάμινους του Λονδίνου. Μαρτυρίες αναφέρουν ότι ένα άτομο τιμωρήθηκε με απαγχονισμό για παράβαση του νόμου. Οι κυριότερες δραστηριότητες που συνδέονταν με την ατμοσφαιρική ρύπανση τους αιώνες που προηγήθηκαν της βιομηχανικής επανάστασης, ήταν η μεταλλουργία, η κεραμοποιεία και η διατήρηση κτηνοτροφικών προϊόντων.

· Η βιομηχανική επανάσταση

Η βιομηχανική επανάσταση, τον 19ο αιώνα, οδήγησε στην εντατική χρήση κυρίως του κάρβουνου και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου, για την παραγωγή ενέργειας, κίνησης ατμομηχανών και πλοίων, καθώς και οικιακής θέρμανσης, με

αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την στάχτη. Το πρώτο σοβαρό επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνέβη το 1875 στο Λονδίνο, όπου σημειώθηκαν αρκετοί θάνατοι ανθρώπων και ζώων. Σε χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και οι ΗΠΑ, αναλαμβάνεται δράση για τον περιορισμό της αέριας ρύπανσης και αναπτύσσονται αντιρρυπαντικές τεχνολογίες.



Εικόνα 1.1 Μάντσεστερ το έτος 1935

Εικοστός Αιώνας

Παρόλο, λοιπόν, που η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν μπορεί να θεωρηθεί αποκλειστικό προνόμιο της σύγχρονης εποχής, μια σειρά από μεγάλα επεισόδια τις τελευταίες δεκαετίες μας υπενθύμισαν το μέγεθος του προβλήματος και την ανάγκη ελέγχου της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε. Η αιθαλομίχλη, το 1909, στη Γλασκώβη και το Εδιμβούργο θεωρήθηκε η κύρια αιτία για 1000 περίπου θανάτους ανθρώπων. Το 1930, πάλι σε επεισόδιο αιθαλομίχλης, στη βιομηχανική περιοχή της κοιλάδας του Meuse στο Βέλγιο αρρώστησαν εκατοντάδες άτομα, από τα οποία 60 πέθαναν τις επόμενες μέρες. Το 1948 στην πόλη Donora των Ηνωμένων Πολιτειών κατά την διάρκεια ενός τετραήμερου επεισοδίου ρύπανσης σημειώθηκαν 20 θάνατοι και 6,000 ασθένειες οι οποίες συνδέθηκαν με την αέρια ρύπανση. Για να εκτιμηθεί σωστά το μέγεθος του προβλήματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ο πληθυσμός της πόλης ήταν μόνο 14,000 κάτοικοι. Το μεγαλύτερο, όμως, επεισόδιο συνέβη στο Λονδίνο το 1952 όταν μια εβδομάδα υψηλών επιπέδων ρύπανσης είχε σαν αποτέλεσμα να συμβούν 4,000 «πλεονάζοντες» θάνατοι (σύγκριση των ρυθμών θανάτου πριν και μετά το επεισόδιο) οι οποίοι αποδόθηκαν στην ρύπανση. Όταν ο άνθρακας αντικαταστάθηκε από το πετρέλαιο και λόγω των αυξημένων αναγκών, το

πρόβλημα της ρύπανσης έγινε οξύτερο καθώς και ένας άλλος τύπος ρύπανσης, η φωτοχημική, έκανε την εμφάνισή του, αρχικά στο Λος Άντζελες των ΗΠΑ στις αρχές της δεκαετίας του 1940.



Εικόνα 1.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση στο σύγχρονο Λος Άντζελες

1.2 Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι και οι κυριότερες πηγές τους

1.2.1 Βασικές έννοιες:

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα. Για να εκφράσουμε τα επίπεδα ρύπανσης χρησιμοποιούμε συνήθως δύο μονάδες συγκέντρωσης, είτε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ είτε μέρη ανά εκατομμύριο όγκου ή απλά μέρη ανά εκατομμύριο (πολλές φορές δανειζόμαστε από την αγγλική βιβλιογραφία την σύντμηση $\text{ppmv} = \text{Parts Per Million by Volume}$ ή απλά ppm). Συγκέντρωση 1 μέρος ανά εκατομμύριο όγκου σημαίνει ότι αντιστοιχεί μία μονάδα όγκου του ρύπου σε κάθε 10⁶ μονάδες όγκου αέρα. Παρ' όλο που συγκέντρωση ίση με 1 ppm ακούγεται μικρή, για πολλούς αέριους ρύπους υπερβαίνει κατά πολύ τις συνηθισμένες τιμές που συναντώνται στην ατμόσφαιρα. Γι αυτό τον λόγο σε πολλές περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις ενός ρύπου μετρώνται σε μέρη ανά δισεκατομμύριο όγκου (ή ppb). Οι συγκεντρώσεις των σωματιδιακών ρύπων, αλλά και των αερίων ρύπων μετρώνται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

1.2.2 Κατηγορίες ρυπών :

Οι ρύποι διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες

A. Πρωτογενείς ρύποι

B. Δευτερογενείς ρύποι

Πρωτογενείς ονομάζουμε τους ρύπους οι οποίοι προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης. Τέτοιες πηγές είναι η βιομηχανία, τα αυτοκίνητα (βενζίνη, πετρέλαιο), η θέρμανση κλπ. Κυριότεροι πρωτογενείς ρύποι είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του θείου (SO₂), οι υδρογονάνθρακες (HC) και τα σωματίδια. Οι ρύποι αυτοί μαζί με το όζον (O₃) παρακολουθούνται συστηματικά από τους αρμόδιους κρατικούς φορείς και ονομάζονται «συμβατικοί ρύποι».

Οι πρωτογενείς ρύποι στην ατμόσφαιρα μέσω διαφόρων χημικών αντιδράσεων παράγουν τους δευτερογενείς ρύπους, κυριότεροι εκ των οποίων είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το όζον (O₃). Το όζον για παράδειγμα είναι αποτέλεσμα της αντίδρασης του οξειδίου του αζώτου με διάφορες πτητικές οργανικές ενώσεις, αντίδραση η οποία καταλύεται από το ηλιακό φως.

Μια άλλη σημαντική κατηγορία ρύπων είναι τα αιωρούμενα σωματίδια. Πρόκειται για σωματίδια στερεής ή υγρής φάσης, τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Τέτοια σωματίδια είναι η σκόνη, ο καπνός, διάφορα μέταλλα κλπ. Διακρίνονται ανάλογα τη διάμετρό τους. Σημαντικό ρόλο έχουν τα σωματίδια που έχουν διάμετρο μέχρι 10 μm (μικροχλιοστά) (PM-10) και ιδίως τα σωματίδια με πολύ μικρή διάμετρο (PM-2,5), διότι το μέγεθός τους, επιτρέπει την είσοδό τους στο αναπνευστικό σύστημα, προκαλώντας σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα.



Εικόνα 1.3 Ατμοσφαιρικοί ρύποι

1.2.3 Πηγές αερίων ρύπων:

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αερίων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Με τον όρο φυσικές πηγές αναφερόμαστε στις πηγές εκπομπών αερίων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρ' όλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αερίων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις.

1.2.3.1 Φυσικές πηγές

Η χλωρίδα της γης αποτελεί την μεγαλύτερη φυσική πηγή εκπομπής αερίων ρύπων. Τα δέντρα και τα φυτά, παρά την συμβολή τους στην μετατροπή, μέσω της φωτοσύνθεσης, του διοξειδίου του άνθρακος της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο, αποτελούν τα ίδια τη μεγαλύτερη πηγή υδρογονανθράκων του πλανήτη. Οι ωκεανοί αποτελούν τη δεύτερη σημαντικότερη πηγή «φυσικών» ρύπων. Η δράση των βενθικών και φυτοπλαγκτονικών οργανισμών οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων θειούχων ενώσεων. Επιπλέον, η μηχανική δράση των κυμάτων προκαλεί τη διάβρωση των πετρωμάτων και την παραγωγή σωματιδίων με μέγεθος ικανό ώστε να είναι δυνατή η αιώρησή τους στην ατμόσφαιρα. Τέλος, ο άνεμος συμπαρασύρει υδροσταγονίδια που περιέχουν άλατα αποτελώντας, έτσι, συνεχή πηγή ατμοσφαιρικών αιωρημάτων (αεροζόλ). Ατμοσφαιρικά αιωρήματα δημιουργούνται ωστόσο και από την επίδραση του ανέμου στο έδαφος και τα στοιχεία που βρίσκονται στην επιφάνειά του. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατό να φτάσουν ή και να ξεπεράσουν τα θεσπισμένα όρια προστασίας. Αποτέλεσμα των υψηλών συγκεντρώσεων αποτελεί η μείωση της ορατότητας της ατμόσφαιρας.

Μια άλλη σημαντική πηγή φυσικών ρύπων αποτελεί και η καύση της βιομάζας. Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στις εκτεταμένες πυρκαγιές που λαμβάνουν χώρα σε δάση και λειβαδικές εκτάσεις και που δεν οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τέτοιες πυρκαγιές συναντάμε συχνά κατά τις θερινές περιόδους του έτους, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που σημειώνονται, είτε μετά από ισχυρές καταιγίδες, λόγω των κεραυνών. Τέλος, μιλώντας για φυσικές πηγές, δε θα μπορούσαμε να παραλείψουμε τα ηφαιστεια. Η έκρηξη ενός ηφαιστείου παράγει μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και αερίων όπως διοξείδιο του θείου, μεθάνιο και υδρόθειο. Τα σύννεφα που σχηματίζονται από τα σωματίδια και τα αέρια εκτοξεύονται σε μεγάλο ύψος και μπορεί να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι εκπομπές σωματιδίων από την πρόσφατη έκρηξη του Pinatubo είχε σαν αποτέλεσμα να καταγραφεί ελαφρά μείωση στη θερμοκρασία του πλανήτη.

1.2.3.2 Ανθρωπογενείς Πηγές.

Τρεις είναι οι κυριότερες κατηγορίες ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης: η βιομηχανική δραστηριότητα (συμπεριλαμβανομένου και του τομέα παραγωγής ενέργειας), οι μεταφορές και οι κεντρικές θερμάνσεις.

Βιομηχανία

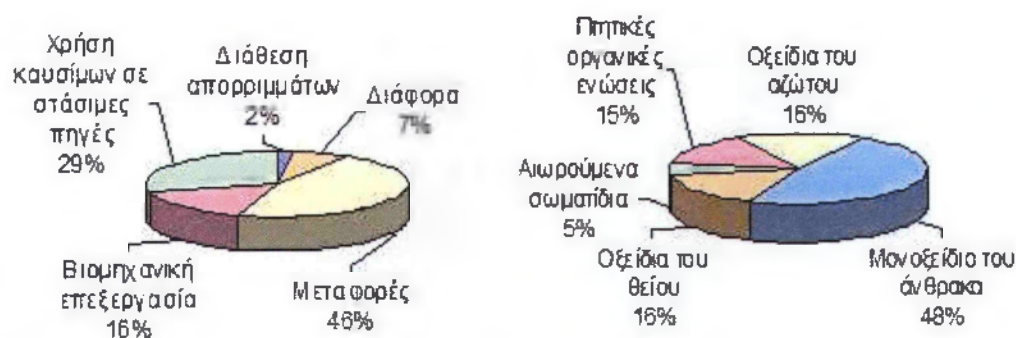
Η βιομηχανία αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή αερίων ρύπων καθώς το μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι μεγάλες ποσότητες ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται οδηγούν στην παραγωγή εξίσου μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου. Επίσης, είναι η κυριότερη πηγή βαρέων μετάλλων σε ποσοστό που πλησιάζει το 100%. Στην Ελλάδα είναι χαρακτηριστική η υπερσυγκέντρωση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων στην περιοχή των μεγάλων αστικών κέντρων της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Ωστόσο, ειδικά για την Αθήνα, η συμμετοχή της στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη είναι μικρής κλίμακας. Η χωροθέτησή της σε σχέση με το αστικό συγκρότημα σε συνδυασμό με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες δεν επιτρέπουν τη συχνή μεταφορά ρύπων προς το κέντρο της πόλης.

Αυτοκίνητο

Μέσα στην πληθώρα των ρυπογόνων δραστηριοτήτων μιας σύγχρονης πόλης, η χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου αποτελεί την σημαντικότερη συνεισφορά του πολίτη στην ρύπανση της περιοχής. Παρά την μικρή, σχετικά, συνεισφορά κάθε μεμονωμένου αυτοκινήτου, η ρύπανση από τον μεγάλο αριθμό τους προστίθεται για να αποτελέσει την μεγαλύτερη απειλή για την ποιότητα του αέρα στις μεγαλουπόλεις. Η ισχύς που είναι απαραίτητη για την κίνηση του αυτοκινήτου προέρχεται από την καύση του καυσίμου σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Η ρύπανση προέρχεται τόσο από τα προϊόντα της καύσης (τυπικά από την εξάτμιση του αυτοκινήτου) όσο και από την εξάτμιση του καύσιμου. Οι υδρογονάνθρακες και τα οξείδια του αζώτου που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα, με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας, σχηματίζουν το όζον, ίσως το πιο επικίνδυνο συστατικό του φωτοχημικού νέφους των πόλεων. Συμπληρωματικά, το διοξείδιο του άνθρακα, αν και ακίνδυνο για την υγεία είναι το σημαντικότερο θερμοκηπικό αέριο με μεγάλη συνεισφορά στην παγκόσμια μεταβολή του κλίματος.

Θέρμανση

Η συνεισφορά της θέρμανσης στα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει καθαρά εποχικό χαρακτήρα και έγκειται στην παραγωγή καπνού, διοξειδίου του θείου και, σε μικρότερο ποσοστό, οξειδίων του αζώτου. Αν και οι ρύποι, που παράγονται σε ετήσια βάση από τις κεντρικές θερμάνσεις, αποτελούν ένα μικρό ποσοστό σε σχέση με την παραγωγή των ίδιων ρύπων από τις άλλες δύο πηγές, το διοξείδιο του θείου αποτελεί, στις αστικές περιοχές, ρύπο-δείκτη για τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης. Ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι οι πολύ χαμηλές καμινάδες που χρησιμοποιούνται οι οποίες αδυνατούν να διασπείρουν τους ρύπους στην ευρύτερη περιοχή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σε πολλές περιπτώσεις αυξημένα τοπικά προβλήματα.



Εικόνα 1.4 Κατανομή ανθρωπογενών πηγών και εκπομπών αέριων ρύπων

1.3 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 πρόωγη 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.

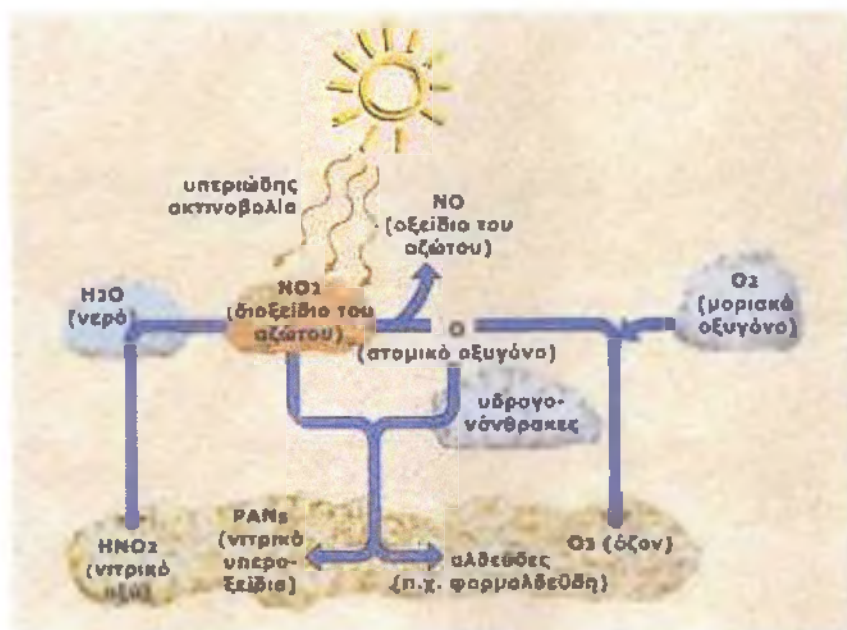
Η επικινδυνότητα των φωτοχημικών ρύπων για τα φυτά οφείλεται στις εξής ιδιότητες:

A. έχουν ισχυρή φυτοτοξική δράση.

Β. δεν αποδομούνται σε καθαρή ατμόσφαιρα.

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

Επιπλέον του όζοντος, ένας δευτερογενείς 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.



Εικόνα 1.5 Φωτοχημικοί ρύποι

1.4 Το όζον ως γημικό στοιχείο

Το καθαρό όζον είναι μια αλλοτροπική μορφή του O₂ συντιθέμενη από τρία άτομα (O₃). Σε θερμοκρασία δωματίου το αέριο έχει ανοιχτό μπλέ χρώμα. Υγροποιείται κάτω από τους 112° C. Το υγροποιημένο όζον έχει σκούρο μπλέ χρώμα και είναι επικίνδυνο εκρηκτικό. Σε μια 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 ιδιότητας του ως οξειδωτικό μέσο, το όζον χρησιμοποιείται σε περιορισμένες συγκεντρώσεις ως απολυμαντικό για το νερό και τον αέρα, λεθκαντικό κεριών και υφαντών.

Πίνακας 1.1: Φυσικές ιδιότητες όζοντος

Μοριακό βάρος	48
Σημείο τήξεως	-192,7°C
Σημείο βρασμού	-111,9°C
Πυκνότητα αερίου (0° C, 760mm Hg)	2,144g/l
Πυκνότητα υγρού (-195.4° C,760mm Hg)	1,614g/ml
Διαλυτότητα στο νερό(0° C, 760mm Hg)	49ml/100ml νερού
Θερμοχωρητικότητα (0 ° C)	9,1cal/g mol °C

Πηγή: Krupa, 1977, Σαιτάνη, 1998

1.5 Το όζον στην ατμόσφαιρα

Το όζον είναι ένα φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας στην οποία η συγκέντρωση 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.

1.5.1 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 Chapman(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. Το ατομικό οξυγόνο το οποίο σχηματίζεται, αντιδρά με το μοριακό οξυγόνο προς σχηματισμό του όζοντος παρουσία ενός τρίτου σώματος, το οποίο μπορεί να είναι N_2 ή O_2 . Το όζον μπορεί πάλι να διασπαστεί φωτολυτικά και να δώσει ατομικό και ξανά μοριακό οξυγόνο.

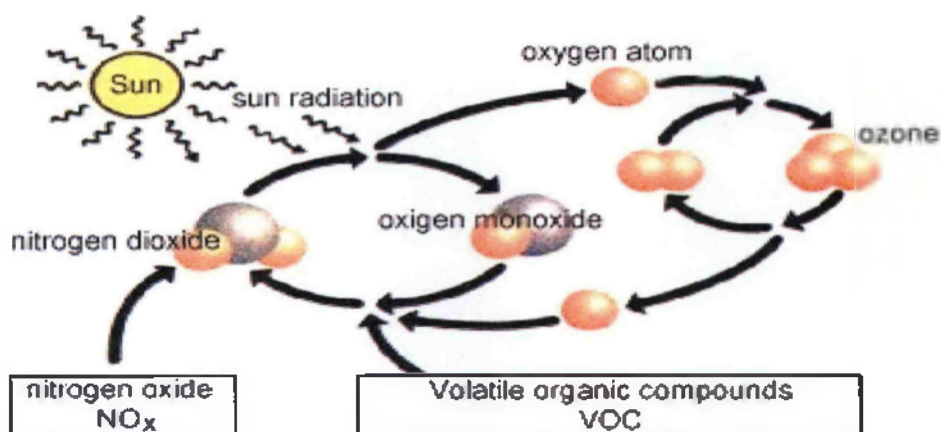
Αυτές οι αντιδράσεις είναι σημαντικές για τη διατήρηση της ισορροπίας παρουσίας όζοντος στη στρατόσφαιρα. Αποτέλεσμα των φωτοχημικών αυτών αντιδράσεων είναι η απορρόφηση μεγάλου μέρους της υπεριώδους ακτινοβολίας, η οποία αν έφτανε στη γη θα απέβαινε καταστροφική για τη ζωή στο πλανήτη. Παρ' όλα αυτά, 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. Επίσης αποδείχτηκε ότι ετερογενείς αντιδράσεις στην επιφάνεια παγοκρυστάλλων μπορούν επίσης να παίξουν σημαντικό ρόλο στη καταλυτική διάσπαση του όζοντος από το χλώριο. Αυτές οι αντιδράσεις θεωρούνται υπεύθυνες για την 'τρύπα του όζοντος (Solomon,1988).

1.5.2 Το τροποσφαιρικό όζον

Το τροποσφαιρικό όζον είναι ένας δευτερογενείς 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 οξείδια του αζώτου, πτητικά οργανικά συστατικά, μονοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο. Ο σχηματισμός του φωτοχημικού όζοντος στην τροπόσφαιρα προκύπτει από την αρχική οξειδωση των μεταβλητών οργανικών συνθέσεων(VOC) από το ηλιακό φως και υπό τη παρουσία νιτρικών οξειδίων. Οι συχνότητες και οι μηχανισμοί οξειδωσης των VOC γενικά είναι γνωστά και ποσοτικοποιούνται μέσω εργαστηριακών μελετών, παρ' όλο που παραμένουν σημαντικές αβεβαιότητες

σχετικά με συγκεκριμένες τάξεις των VOC. 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 στη κυκλοφορία των αυτοκινήτων η παρουσία των NO_x είναι πάντα επαρκής και ο σχηματισμός όζοντος εξαρτάται περισσότερο από τις συγκεντρώσεις των VOC.

Παρότι υπάρχουν ακόμα ασάφειες στις φωτοχημικές διαδικασίες της τροπόσφαιρας, έχει πλέον τεκμηριωθεί ότι το όζον μπορεί να σχηματιστεί 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.



Εικόνα 1.6 Σχηματισμός όζοντος

1.5.3 Μηχανισμός σχηματισμού όζοντος

Με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται φωτόλυση του NO_2 προς σχηματισμό του O_3 και NO , τα οποία επίσης αντιδρούν μεταξύ τους προς επανασχηματισμό του NO_2 . Επιτυγχάνεται έτσι μια κατάσταση ισορροπίας, στην οποία η συγκέντρωση όζοντος παραμένει αμετάβλητη (Σαιτάνης, 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. Για να υπάρξει καθαρή παραγωγή, απαιτούνται ρίζες ικανές να αντιδρούν με το NO και να το μετατρέπουν σε NO₂ χωρίς τη κατανάλωση O₃. Τέτοιες ρίζες προκύπτουν από μία φωτοχημική διαδικασία η οποία αρχικά παράγει ρίζες –OH.

Στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, η αρχική παραγωγή των –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 αλδεύδων ή νιτρωδών. Τα –OH που δημιουργούνται αντιδρούν με CO ή με μεθάνιο και δίνουν υπεροξυρίζες ή με άλλους πλήν μεθανίου υδρογονάνθρακες και δίνουν επίσης υπεροξυρίζες. Οι υπεροξυρίζες είναι πολύ δραστικές και αντιδρούν με το NO και το μετατρέπουν σε NO₂ χωρίς τη δαπάνη O₃. Έτσι απομένουν λιγότερα μόρια NO να αντιδράσουν με τα μόρια του O₃, επιτρέποντας την καθαρή αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος.

Παρότι το όζον 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. (Σαιτάνης, 1998)

1.5.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις όζοντος

- Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις όζοντος στο UK ποικίλουν ανάλογα με την περιοχή και την τοπογραφία. Οι μεγαλύτερες μέσες συγκεντρώσεις συμβαίνουν στην επαρχία και σε όλες τις περιοχές αυξάνουν με το υψόμετρο.
- Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις όζοντος είναι γενικά χαμηλότερες στις αστικές περιοχές σε ένα μέσο όρο 20-40% σε σχέση με τη συγκέντρωση των γειτονικών επαρχιακών περιοχών, που αναλογεί σε 5 με 10 ppb μείωση.
- Οι συγκεντρώσεις όζοντος είναι, κατά μέσο όρο, μεγαλύτερες σε παράλιες περιοχές κατά 20% περίπου. Η επίδραση περιορίζεται στην περιοχή, σε απόσταση 5-10 km από την παραλία.
- Υπάρχουν καθαροί ετήσιοι και ημερήσιοι κύκλοι στη συγκέντρωση του όζοντος στο UK (και σε όλη την Ευρώπη) με μέγιστη κατά την άνοιξη και

ελάχιστη το φθινόπωρο, και σε μέση μέγιστη κατά το απόγευμα και βραδινή ελάχιστη αντίστοιχα.

- Στις αστικές περιοχές, η παρουσία του O_3 βρίσκεται γενικώς σε χαμηλότερα επίπεδα, κυρίως εξαιτίας της αναγωγής του από άλλους ρύπους όπως το NO .

1.5.5 Κρίσιμα επίπεδα όζοντος

Εξαιτίας της μεγάλης σοβαρότητας του προβλήματος των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά, δημιουργήθηκε η ανάγκη σε Ευρωπαϊκούς αλλά και παγκόσμιους φορείς, όπως ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών, να προσδιορίσουν δείκτες επικινδυνότητας για κάθε αέριο ρύπο που άμεσα ή έμμεσα επηρεάζει δυσμενώς τη παραγωγή των καλλιεργειών ή διαταράζει τους μηχανισμούς αειφορίας των φυσικών οικοσυστημάτων. Οι δείκτες αυτοί θέτουν τα όρια ανοχής του ρύπου, πέρα από τα οποία αναμένονται δυσμενείς επιπτώσεις. Για τη καθιέρωσή τους χρειάζεται η ύπαρξη μιας στερεής επιστημονικής βάσης και είναι απαραίτητο οι δείκτες αυτοί να αποδίδουν την έκθεση των φυτών στο όζον σε πραγματικές συνθήκες, καθώς και να είναι οι ίδιοι διεθνώς.

Ο προσδιορισμός του περιβαλλοντικού κινδύνου, που συνδέεται με την επίδραση του όζοντος στα φυτά, βασίζεται στη 'λογική' των κρίσιμων επιπέδων. Τα κρίσιμα επίπεδα καθορίζονται με τη χρήση του δείκτη AOT40, δηλαδή την αθροιστική έκθεση σε πάνω από 40 ppb όζοντος κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης του φυτού.

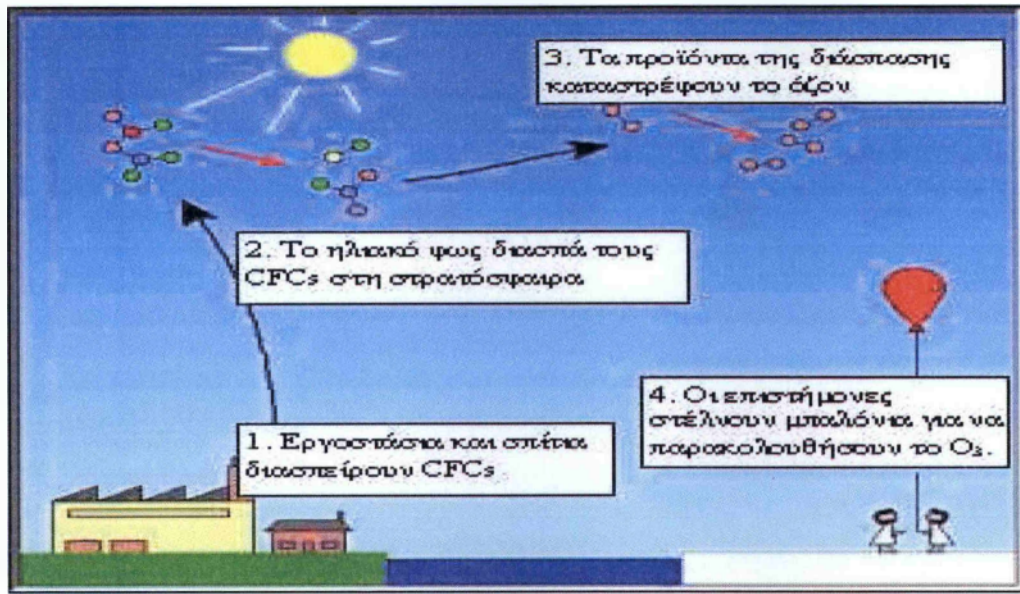
Τα Κρίσιμα Επίπεδα όζοντος για τα φυτά στην Ευρώπη ορίστηκαν στο τελευταίο Συνέδριο Εργασίας στη Φιλανδία τον Απρίλιο του 1996 (Βελισσαρίου Δ., 2000), όπου και συμφωνήθηκε να προλαμβάνουν τις ζημιές στις πιο ευαίσθητες παραγωγικές καλλιέργειες, δάση και τη φυσική βλάστηση.

Υπέρβαση των κρίσιμων επιπέδων δε σημαίνει ότι θα υπάρξει καταστροφή στις καλλιέργειες, αλλά ότι υπάρχει η πιθανότητα ζημιών για τις ευαίσθητες ποικιλίες. Επίσης ο βαθμός υπέρβασης των κρίσιμων επιπέδων δε μπορεί απευθείας να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της έκτασης των ζημιών ή για τον προσδιορισμό των οικονομικών επιπτώσεων του όζοντος στις καλλιέργειες. Αυτό συμβαίνει επειδή ο βαθμός της βλάβης των φυτών από την έκθεση σε υψηλά επίπεδα όζοντος σχετίζεται με την <<επιδεκτικότητα>> των φυτών στο ρύπο εξαιτίας του ανοίγματος

των στοματιών που, με τη σειρά του, σχετίζεται με την επάρκεια νερού. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι ότι καταβάλλονται πλέον προσπάθειες ώστε στα Κρίσιμα Επίπεδα όζοντος να λαμβάνεται υπόψη και οι εκάστοτε συνθήκες που επηρεάζουν τη στοματική αγωγιμότητα των φυτών.

Οι τιμές του δείκτη AOT40 υπολογίζονται για ένα διάστημα 3-6 μηνών της περιόδου ανάπτυξης, αλλά αυτό μπορεί να μην αντιπροσωπεύει τις πραγματικές περιόδους ανάπτυξης. Επίσης, η ευαισθησία των καλλιεργειών στο όζον δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του φυτού. Ο χρονικός υπολογισμός των επεισοδίων όζοντος ποικίλει ανάμεσα στις χρονιές και τις τοποθεσίες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη διαφοροποίηση των επιπτώσεων και στα φυτά.

Αναλύσεις που έχουν γίνει σε εποχιακά δείγματα του δείκτη AOT40 στο Ηνωμένο Βασίλειο έδειξαν μεγάλες διακυμάνσεις από χρόνο σε χρόνο. Οι μέσοι όροι των δεδομένων πολλών ετών δείχνουν ένα περισσότερο σύννηθες πρότυπο: κατά τον Απρίλιο και το Μάιο υπήρχαν μικρές σχετικά διαφορές αλλά οι τιμές για τους υπόλοιπους καλοκαιρινούς μήνες είχαν μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στις νότιες περιοχές (όπου συνέβησαν σοβαρές υπερβάσεις του AOT40) και στις πιο απόμακρες βόρειες περιοχές όπου σχεδόν καμία υπέρβαση του AOT40 δε συνέβη. Είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί ακριβέστερα η πραγματική επίδραση του όζοντος στη βλάστηση περιοχών όπου ξεπερνιούνται τα κρίσιμα επίπεδα. Αυτό θα απαιτήσει περισσότερη πειραματική και δοκιμαστική δουλειά έτσι ώστε η επίδραση παραγόντων όπως: διαφοροποίηση ευαισθησίας ανάμεσα στα είδη/ποικιλίες, επίδραση κλιματικών και εδαφικών παραγόντων και χρονικός προσδιορισμός επεισοδίων όζοντος να μπορούν να ποσοτικοποιηθούν. Σημαντικό είναι να εξελιχθούν μέθοδοι χαρτογράφησης της πρόσληψης όζοντος στα φυτά, και η ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ πρόσληψης όζοντος και εμφάνισης παθολογικών συμπτωμάτων (Fowler et al, 1997).



Εικόνα 1.7 Αναπαράσταση δράσης όζοντος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΟΖΟΝ- ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

2.1 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 και άλλα. 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 στομάτων. Δεδομένου ότι η πρόσληψη του όζοντος από το έδαφος είναι αμελητέα (Jaker et al, 1992), ο κύριος τρόπος εισόδου 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.

2.2 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 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 στη μεταβολή του σχήματος, του όγκου και του ανομοιόμορφου 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 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 αποδόμηση του εξαιτίας της αντίδρασης 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 φυτών στο O_3 προκαλεί αρχικά τουλάχιστον μερικό κλείσιμο των στοματίων (Aben et al, 1990, Gillespie and Winner, 1989), παρόλο που υπάρχουν ανακοινώσεις 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 στοματιών 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 εντεριώνη. (sapwood to heartwood).
5. **Μετατροπή της αφομοίωσης στο φυτικό ιστό:** ποσοστό φυλλικής επιφάνειας, ειδικό μήκος ριζών κλπ (Jaker et al, 1992).

2.3 Αντίδραση των φυτών στο όζον

Είναι γενικά αποδεκτό πώς το ποσό της διάσπασης του O₃ στο φύλλο εξαρτάται είτε από τη διαφορά μεταξύ της συγκέντρωσης O₃ στο όριο της φυτόσφαιρας (envelope) και της συγκέντρωσης του O₃ μέσα στα κύτταρα του φύλλου, είτε από την αγωγιμότητα του φύλλου.

Οποιαδήποτε αντίδραση του φυτού κατά την έκθεσή του στο O₃ είναι απόρροια της δραστηκής δόσης μέσα στον ιστό (των ενεργών ποικιλιών) και της ικανότητας αποκατάστασης του οργάνου, η οποία είναι ένας μηχανισμός άλλων παραγόντων που τροποποιούν το αποτέλεσμα θ (π.χ. ταυτόχρονη παρουσία άλλων ρύπων ή βιοτικών επιδράσεων).

Ανταπόκριση φυτού = f (δραστική δόση, ικανότητα αποκατάστασης)

Η δραστική δόση O₃, η οποία δεν μπορεί να προσδιοριστεί στα φυτικά και εδαφικά συστήματα, εξαρτάται από την ποσότητα διάσπασης του όζοντος στο εσωτερικό των φύλλων (απορροφημένη δόση) και είναι ένας μηχανισμός της ποσότητας αποτοξίνωσης .

Δραστική δόση = f (απορροφημένη δόση, αποτοξινωτική ικανότητα)

Οι δυνατότητες αποκατάστασης και αποτοξίνωσης προσδιορίζονται από το γενότυπο του αντίστοιχου φυτού και εξαρτώνται από παράγοντες όπως η θρεπτική κατάσταση και το στάδιο ανάπτυξής του. Η ποσότητα πρόσληψης (απορροφημένη δόση) είναι μια σύνθετη λειτουργία της συγκέντρωσης όζοντος στο όριο της φυτόσφαιρας του αντίστοιχου φυτικού/εδαφικού συστήματος και της αγωγιμότητας των φύλλων.

Απορροφημένη δόση = f (συγκέντρωση O₃ στο όριο της φυτόσφαιρας του φυτικού/εδαφικού συστήματος, αγωγιμότητα των φύλλων)

Εάν οι απορροφημένες δόσεις ξεπεράσουν τα φυσιολογικά επίπεδα (κρίσιμα επίπεδα) το φυτό υφίσταται στρες. Σε μια δεδομένη στιγμή η αγωγιμότητα εξαρτάται από τη ποικιλία του φυτού, το γενότυπο και το στάδιο ανάπτυξης, τους πραγματικούς εδαφικούς παράγοντες καθώς και τις πραγματικές συνθήκες του φυσικού κλίματος.

Η επίδραση του όζοντος μπορεί να είναι **χρόνια ή άμεση**. Η άμεση προκαλείται από μικρής διάρκειας επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης και συνήθως αναφέρονται συμπτώματα στα φύλλα. Συνεχές ήπιας μορφής στρες μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στη διαπνοή των φυτών (π.χ. αλλαγές στη συμπεριφορά των στομάτων) ή σε τροποποίηση της αποτοξινωτικής τους δυνατότητας. 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**)

Πίνακας 2.1:<<Επιπτώσεις όζοντος σε φυτικές λειτουργίες και χαρακτηριστικά>>

Χαρακτηριστικά του φυτού	Αποτελέσματα
Φωτοσύνθεση	Μειώνεται στα περισσότερα είδη
Φυλλική αγωγιμότητα	Μειώνεται σε ευαίσθητα είδη και καλλιέργειες
Αποδοτικότητα χρήσης νερού	Μειώνεται σε ευαίσθητα είδη
Επιφάνεια φύλλου	Μειώνεται σε ευαίσθητα είδη
Ειδικό βάρος φύλλων	Αυξάνεται σε ευαίσθητα είδη
Βαθμός ωριμότητας καλλιέργειας	Μειώνεται
Άνθηση	Μείωση καρπόδεσης, παραγωγής ανθών και καρπών, καθυστέρηση καρπόδεσης
Παραγωγή ξηράς ουσίας	Μειώνεται στα περισσότερα είδη
Ευαισθησία μεταξύ ειδών	Μεγάλη ποικιλομορφία
Ευαισθησία μεταξύ καλλιεργειών	Συχνά μεγάλη ποικιλομορφία
Ευαισθησία σε στρες ξηρασίας	Τα φυτά γίνονται λιγότερο ευαίσθητα στο όζον αλλά περισσότερο ευαίσθητα στη ξηρασία
Ευαισθησία σε στρες θρεπτικών στοιχείων	Τα φυτά γίνονται πιο επιρρεπή στο όζον

Πηγή: Runeckles and Krupa, 1994

2.4 Διάγνωση συμπτωμάτων

Το O₃ εισέρχεται στα φύλλα μέσα από τα στόματα κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής ανταλλαγής αερίων. Ως ισχυρό οξειδωτικό, το O₃ προκαλεί διάφορους τύπους συμπτωμάτων, τα οποία εξαρτώνται από τη διάρκεια της έκθεσης και το είδος του φυτού. Ως έχει προαναφερθεί, τα παθογνωμονικά συμπτώματα χωρίζονται σε χρόνια και άμεσα. Τα **άμεσα** συμπτώματα περιλαμβάνουν τη νέκρωση των κυττάρων και εμφανίζονται μέσα σε μερικές ώρες ή ημέρες συνεχούς έκθεσης. Εκφράζονται ως στίγματα (μικρές ανοιχτόχρωμες ή και σκουρόχρωμες φυσικά χρωματισμένες περιοχές διαμέτρου 2-4mm κατά προσέγγιση), κηλίδες (μικροσκοπικά καστανά σημάδια διαμέτρου μικρότερης από 1mm), αργυρώσεις και αμφίπλευρες νεκρώσεις,

που συνήθως συνδέονται με έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις O₃. Τα χρόνια συμπτώματα τυπικά εμφανίζονται πιο αργά, μέσα σε μέρες, εβδομάδες ή και μήνες συνεχούς έκθεσης, και μπορεί να εκφραστούν ως χλωρώσεις, στίγματα, πρόωρη γήρανση και νέκρωση (Karenlampi and Skarby, 1996).

Τα συμπτώματα όζοντος συνήθως παρατηρούνται μεταξύ των νευρώσεων στην άνω επιφάνεια των μεγαλύτερων ή μέσης ηλικίας φύλλων, αλλά επίσης μπορεί να συμβούν και στις δύο επιφάνειες του φύλλου σε μερικά είδη. Ο τύπος και η σοβαρότητα της καταπόνησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων της διάρκειας και της συγκέντρωσης στην έκθεση στο όζον, τις καιρικές συνθήκες που ευνοούν το άνοιγμα των στοματίων, και τα γενετικά χαρακτηριστικά του φύλλου (κυρίως ο αριθμός στοματίων). Ένα ή όλα αυτά τα συμπτώματα μπορεί να συμβούν σε μερικά είδη ανάλογα με τις συνθήκες, και συγκεκριμένα συμπτώματα στο ένα είδος μπορεί να διαφέρουν από τα ίδια συμπτώματα στο άλλο. Με διαρκή καθημερινή έκθεση στο O₃ , κλασσικά συμπτώματα (στίγματα, κηλίδες, αργυρώσεις, και ερυθρώσεις) βαθμιαία ακολουθούνται από χλώρωση και νέκρωση.(Karenlampi and Skarby, 1996).

Πίνακας 2.2: << Συμπτώματα όζοντος>>

Κατηγορία φυτών	Συμπτώματα
Δικοτυλήδονα	Μικρές κηλίδες ή στίγματα στην άνω επιφάνεια
Μονοκοτυλήδονα	Χλωρωτικά σημάδια ή λευκές κηλίδες μεταξύ των νευρώσεων ή και σε ολόκληρο το φυτό
Κωνοφόρα	Κιτρινόχροες κηλιδώσεις στις βελόνες- νέκρωση των άκρων τους

Πηγή: .(Karenlampi and Skarby, 1996).

Μελέτες σε υπαίθριες καλλιέργειες έχουν επανειλημμένως επιβεβαιώσει ότι η δημιουργία κηλίδων, στιγμάτων, αργυρώσεων και ερυθρώσεων στα φύλλα των φυτών είναι τυπικά συμπτώματα τοξικότητας όζοντος. Φυτά που αναπτύσσονται υπό κάλυψη και λαμβάνουν αέρα φιλτραρισμένο με ενεργό άνθρακα (CF) για να

μειωθούν οι συγκεντρώσεις όζοντος, δεν εμφανίζουν συμπτώματα τα οποία συμβαίνουν σε φυτά που αναπτύσσονται σε υπαίθριες καλλιέργειες. (διαδίκτυο 3).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

3.1 Γενικά

Η δημιουργία του όζοντος σε τοπική κλίμακα, και ο περιορισμός του, είναι ένα σημαντικό θέμα κρατικής μέριμνας σε ένα μεγάλο αριθμό διεθνών πολιτικών οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων κυρίως των UNECE και την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η δουλειά της UNECE όσον αφορά στις επιπτώσεις του όζοντος σε καλλιέργειες και δέντρα, συνέστησε τη λογική του δείκτη AOT40 για το χαρακτηρισμό της έκθεσής των σε κρίσιμα επίπεδα όζοντος.

Η δουλειά της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει επικεντρωθεί κυρίως στις συνέπειες του όζοντος στην ανθρώπινη υγεία και στο ρόλο που παίζουν τα καυσαέρια των οχημάτων στην υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα. Έχουν γίνει προτάσεις για ποιοτικά όρια όσον αφορά στα αέρια που εκπέμπονται και τα καύσιμα για το 2000 και μετά. Η επιτροπή έθεσε ένα αντικειμενικό όριο για τη ποιότητα του αέρα στα 90 ppb, επίπεδο το οποίο κανονικά δεν ξεπερνιέται εκτός από τα πολύ ενεργώς φωτοχημικά καλοκαίρια.

3.2 Στρατηγικές βελτίωσης ποιότητας του αέρα

3.2.1.Μετριάσμος

Είναι η πιο συχνή προσέγγιση βελτίωσης της ποιότητας του αέρα. Γενικά έχει μεγάλο κόστος και ο συσχετισμός κόστους-κέρδους παίζει μεγάλο ρόλο. Οι τεχνολογίες ελέγχου εκπομπής αέριων ρύπων και οι εφαρμογές τους είναι το αποτέλεσμα νόμων ή νομοθετημάτων, και αυτοί είναι με τη σειρά τους συνέπεια επιστημονικής ή δημόσιας πίεσης. Προς το παρόν ο έλεγχος εκπομπών χρησιμοποιείται στις περισσότερο ανεπτυγμένες χώρες. Αναπτυσσόμενα έθνη δεν τα υιοθέτησαν αμέσως λόγω της σημαντικής ανάπτυξης του πληθυσμού, των χαμηλών βιοτικών επιπέδων και της οικονομικής πίεσης. Παρόλο που, προς το παρόν, οι ανεπτυγμένες χώρες, όπως οι Η.Π.Α , είναι οι μεγαλύτεροι παραγωγοί ρύπων όπως το CO₂ , μελλοντικοί περιβαλλοντικοί νόμοι μπορεί να περιορίσουν τις εκπομπές μέσω του μετριάσμου. Καθώς βρισκόμαστε στον 21^ο αιώνα, τα αναπτυσσόμενα έθνη

μπορεί να αναλάβουν το ρόλο των κυρίαρχων πομπών αερίων ρύπων. Για παράδειγμα οι εκπομπές όζοντος στη κοιλάδα του Μεξικού αυξήθηκαν από το 1970 ενώ την ίδια χρονική περίοδο οι εκπομπές όζοντος στη περιοχή του Λος Άντζελες είχαν μειωθεί.(Krupa, 1977).

3.2.2 Προσαρμογή

Βελτίωση της ποιότητας του αέρα μέσω της προσαρμογής τροποποιώντας τον τρόπο ζωής, είναι γενικά μια πρακτική προσέγγιση σε ανεπτυγμένα έθνη. Ένα προαπαιτούμενο της στρατηγικής αυτής είναι η περιβαλλοντική παιδεία. Ενώ ο περιορισμός συνεπάγεται συγκεκριμένης πηγής ή πηγών, η προσαρμογή χρειάζεται ολόκληρες κοινωνίες να αλλάξουν τρόπο ζωής. Για παράδειγμα η χρήση λαμπτήρων εξοικονόμησης ενέργειας σε όλα τα σπίτια και τις επιχειρήσεις θα μείωνε τις απαιτήσεις ενέργειας και έτσι θα μειωνόταν η παραγωγή.

Η προσαρμογή μπορεί να είναι αποτελεσματική εάν η απαιτούμενη αλλαγή εφαρμοζόταν παγκοσμίως. Ένα επιτυχημένο παράδειγμα είναι η κατασκευή αυτοκινήτων εξοικονόμησης ενέργειας από όλες τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Όπως και με το μετριασμό, εξαιτίας οικονομικών πέσεων και έλλειψης περιβαλλοντικής παιδείας, η προσαρμογή δεν έχει δοκιμαστεί επιτυχώς στα αναπτυσσόμενα κράτη.

3.2.3 Πρόληψη

Η πρόληψη είναι σαφώς καλύτερη από την αντιμετώπιση. Επεξηγηματικά, στις Η.Π.Α. , η πρόληψη ρύπανσης είναι στο προσκήνιο από το 1990. Η πρόληψη απαιτεί αλλαγές στη διαδικασία της τεχνολογίας. Ένα απλό παράδειγμα είναι η κατασκευή τούβλων. Η συμβατική παραγωγή τούβλων έχει ως αποτέλεσμα της εκπομπή τοξικών αερίων(κυρίως HF). Η κατασκευή τούβλων που περιέχουν υψηλά επίπεδα ασβεστίου ή αλκαλικών, στην ουσία απορροφούν το HF. Συμπερασματικά η πρόληψη απαιτεί όχι μόνο μεγάλη πρόοδο στη τεχνολογία παραγωγής αλλά και εύρος οικονομικών πηγών για να γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές. (Krupa,1997).

3.3 Χημική προστασία

Ζημιές στη φυτική παραγωγή από το όζον μπορούν να προληφθούν μέσω μιας ποικιλίας χημικών σκευασμάτων, που καλούνται πολλές φορές **antiozodants**. Το σκεύασμα που έχει λάβει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η EDU. Αυτό σε πολλά φυτικά είδη, προλαμβάνει τα ορατά συμπτώματα, μειώνει τη γήρανση των ιστών, μειώνει την αναστολή της ανάπτυξης που προκαλεί το όζον, όταν εφαρμόζεται με τη μορφή σπρέι ή με πότισμα του εδάφους. Υποτίθεται ότι το EDU προσφέρει προστασία απέναντι στο όζον. Έχουν όμως αναφερθεί περιπτώσεις όπου το EDU προκάλεσε τοξικότητα. Κατά συνέπεια η προστασία που προσφέρει έναντι των επιπτώσεων που έχει το όζον διαφέρει ανάλογα με το φυτό και τις επικρατούσες εδαφικές και κλιματικές συνθήκες. Για να μην έχουμε την εμφάνιση τοξικότητας προτείνονται διαφορετικές ποσότητες στα διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών. (Jaker et al, 1992).

Τα παρακάτω σκευάσματα όταν εφαρμοστούν στα φυτά μειώνουν τη καταπόνηση των φύλλων από το όζον. Πολλά από αυτά τα σκευάσματα διαθέτουν αντιοξειδωτικές ικανότητες.

ΣΚΕΥΑΣΜΑΤΑ :

Ascorbic acid, glutathione, thiol compounds, sulfhydryl reagents polyamines, tryptophane, indole, IAA, mescaline, hydrazine, octadecene 1, DPNH, maneb, zineb, ferbam, ziram, thiram, N-butyl dithiocarbamate, urea, kinetin, p-hydroxybenzoic acid, diphenylamine, phenothiazine, 1,4-naphthoquinone, dichlone, N,N'-diphenyl-p-phenylenediamine, phenothiazine, nickel-N-dibutyl, dithiocarbamate, benzimidazole, benomyl. Diphenylamine, sodium benzoate, propyl galate, cytokinins, piperonyl butoxide.

Μέσα στα φυτικά κύτταρα τα πιο σημαντικά φυσικά αντιοξειδωτικά πιστεύεται ότι είναι τα : Ascorbic acid, glutathione, και πιθανόν οι πολυαμίνες. Μαζί με τα ένζυμα (ascorbate peroxidase, glutathione reductase, superoxide dismutase, catalase) διαμορφώνουν το αντιοξειδωτικό σύστημα του φυτού. (Jaker et al, 1992).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ
ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. 1 Το πρόγραμμα UNECE ICP VEGETATION

Από τη δεκαετία του 1950 εμφανίστηκαν οι πρώτες ανακοινώσεις παρατηρήσεων φυτοτοξικών επιδράσεων του O_3 . Το 1959, μετά από ένα χρόνο έρευνας για το προσδιορισμό του αιτίου των επονομαζόμενων <<κηλίδων καιρού>> στα καπνά, ανακοινώθηκε ότι αυτές προκαλούνται από υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Έκτοτε, πλήθος μελετών σε παγκόσμια κλίμακα έχουν καταδείξει τις αρνητικές επιδράσεις του O_3 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 τη περίοδο συμμετέχουν στο πρόγραμμα αυτό επιστήμονες από 28 χώρες. Αυτές είναι : Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Νήσοι Φαρόι, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιταλία, Λετονία, Λιθουανία, οι Κάτω Χώρες, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, πρώην Σοβιετική Ένωση, Σερβία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία, Αγγλία, Ουκρανία και Η.Π.Α. η χώρα μας συμμετέχει από το 1988 (Βελισσαρίου, προσωπική επικοινωνία), με πειραματικό σημείο το Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο στη Κηφισιά, ενώ από το 2000 στο πρόγραμμα εντάσσεται και το Τ.Ε.Ι της 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 μία 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 το 2001, τη Γερμανία το 2002, τη Σλοβενία το 2003 και την Ελλάδα το 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 στη περιοχή της Ευρώπης. Η διεθνής συνεργασία, για να ελέγξει τη ρύπανση, ενισχύεται από τη Συνθήκη LRTAP (διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανσης μεγάλου εύρους). Τα πρωτόκολλα του δεσμεύουν τις χώρες στη μείωση των εκπομπών των ρύπων μέχρι κάποια συγκεκριμένα έτη που έχουν τεθεί ως στόχοι.

ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ICP Vegetation

- Να εκτελέσει συντονισμένα πειράματα και να καθορίσει τα αποτελέσματα της ρύπανσης όζοντος στις καλλιέργειες και στη φυσική βλάστηση στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική.
- 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.
- 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.
- Να αναπτύξει μια οικονομική αξιολόγηση των απωλειών, που προκαλούνται από το όζον, στις καλλιέργειες.
- Να εκτελέσει τις βιβλιογραφικές επισκοπήσεις και τα πειράματα για να παρέχει τις πληροφορίες για την ευαισθησία φυτικών ειδών στο όζον.
- Να εκτελέσει τις βιβλιογραφικές επισκοπήσεις και τα πειράματα για τη συσσώρευση ατμοσφαιρικής εναπόθεσης των βαρέων μετάλλων σε επιλεγμένες ποικιλίες φυτών, συμπεριλαμβανομένων και των βρυών.

Περίληψη των πρόσφατων αποτελεσμάτων του ICP Vegetation

- Τα περιβαλλοντικά επίπεδα όζοντος μειώνουν σημαντικά τη βιομάζα των ευαίσθητων ειδών σε διάφορους τόπους στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική.
- Τα κρίσιμα επίπεδα όζοντος, που έχουν συνέπειες στη παραγωγή, ξεπερνιούνται συχνά σε περισσότερες, από τα τρία τέταρτα, περιοχές του ICP Vegetation.
- Η θερμοκρασία, η υγρασία, και άλλοι ρύποι επηρεάζουν σημαντικά την ανταπόκριση του φασολιού στο περιβαλλοντικό όζον.
- 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.
- Τα περιβαλλοντικά επεισόδια όζοντος έχουν πλήξει τις καλλιέργειες τουλάχιστον μία φορά σε κάθε πειραματικό χώρο από τότε που ξεκίνησαν τα πειράματα (1994), και κάθε έτος πλήττονται στο 90% των περιοχών.
- Διάφορες σημαντικές καλλιέργειες όπως ο σίτος, ο αραβόσιτος, η πατάτα και η σόγια μπορούν να εμφανίσουν συμπτώματα όζοντος όταν αναπτύσσονται σε εμπορικές καλλιέργειες.
- Συμπτώματα όζοντος έχουν ανιχνευθεί επίσης σε είδη φυσικής βλάστησης μετά από περιβαλλοντικά επεισόδια.
- Μέχρι τώρα, ορατά συμπτώματα έχουν παρατηρηθεί στις ακόλουθες γεωργικές καλλιέργειες στην Ευρώπη: αγκινάρα, φασόλι, τριφύλλι, βαμβάκι, ραδίκι, κολοκύθι, αμπέλι, πράσο, μαρούλι, αραβόσιτο, πατάτα, κολοκύθα, σόγια, σπανάκι, ηλίανθος, καπνός, τομάτα, καρπούζι, σιτάρι (<http://icpvegetation.ceh.ac.uk>).
- Στη χώρα μας χαρακτηριστικά συμπτώματα τοξικότητας όζοντος έχουν καταγραφεί μέχρι στιγμής στις εξής καλλιέργειες: καπνός (Αγρίνιο 1991, Καρδίτσα 1992, Αργολίδα 1995), σιτάρι (Κωπαΐδα 1996, Θεσσαλία 1995,1996), καλαμπόκι (Καλαμπάκα 1995), καρπούζι (Θήβα 1994, Τρίκαλα 1995,1996), πεπόνι (Τρίκαλα 1995,1996), κρεμμύδι (Τρίκαλα 1995), φασόλι (Αττική 1992, Θήβα 1993, Τρίκαλα 1995), πατάτα (Θήβα 1993), ραδίκι (Αττική 1993), παντζάρι (Αττική 1993), αντίδι (Αττική 1993), μαϊντανός (Τρίκαλα 1995,1996), καθώς επίσης και σε

έλατα και σε πεύκα σε δασικές περιοχές όπως η Πάρνηθα, το Καρπενήσι, τα Άγραφα, ο Παρνασσός, ο Ταΰγετος, κ.α. (Βελισσαρίου Δ., 2000).

Μελλοντική εργασία για το ICP Vegetation

- Αξιολόγηση των κρίσιμων επιπέδων όζοντος για καλλιέργειες και φυσική βλάστηση.
- Προτάσεις συστάσεων για την περαιτέρω ανάπτυξη της προσέγγισης κρίσιμων επιπέδων, για αξιολόγηση του κινδύνου όζοντος για τη βλάστηση στις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες.
- 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.
- Νέα πειράματα για τη έρευνα των αποτελεσμάτων του περιβαλλοντικού όζοντος στη φυσική βλάστηση.
- 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.
- Μια οικονομική αξιολόγηση των απωλειών των συγκομιδών που προκαλούνται από το όζον.
- Περαιτέρω έλεγχος της απόθεσης βαρέων μετάλλων στα φυτά.
- Έλεγχος της απόθεσης βαρέων μετάλλων στα βρύα (διαδίκτυο 2).

1.2 Φυτά βιοδείκτες

Οι μελέτες που ασχολούνται με την επίδραση του ρύπου O_3 στα φυτά αντιμετωπίζουν το πρόβλημα με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Στη πρώτη, καταγράφεται η συγκέντρωση του O_3 με τη 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).

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 ξυλώδων ή και μη ξυλώδων 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 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 στο 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 ότι το αιθυλένιο επιδρά στη ρύθμιση των αντιοξειδωτικών αντιδράσεων του φυτού. (Jaker et al, 1992).

1.3 Βιοκαταγραφή όζοντος

Τα φυτά βιοδείκτες χρησιμοποιούνται σε πολλές βιολογικές εφαρμογές, αλλά και ειδικότερα στο τομέα της ρύπανσης είναι πολύτιμα εργαλεία. Με τη βοήθειά τους μπορούμε να ανιχνεύσουμε τη παρουσία ενός ρύπου και να υπολογίσουμε την έντασή του σε μία ή και περισσότερες περιοχές χωρίς μεγάλη δαπάνη. (Βελισσαρίου και Κυριαζή, 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 στη ποιότητα του αέρα και για τον καθορισμό της επίπτωσης του όζοντος στην υγεία των φυτών. Η χρήση ενός τέτοιου δικτύου χρειάζεται για τη 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 τη περιοχή. (διαδίκτυο 1).

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 στο κύριο όγκο του δρυμού της Πάρνηθας μέσα στο δάσος 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 κατέγραψαν ισχυρή παρουσία όζοντος σε όλη την έκταση του δρυμού. (Βελισσαρίου και Σκρετής, 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 φασόλι (*phaseolus vulgaris*, bush bean, French Dwarf bean). Το χαρακτηριστικό της ποικιλίας, που την κάνει ιδιαίτερα χρήσιμη, είναι ότι έχει δύο βιότυπους (R123 και S156), γεγονός που μας επιτρέπει να κάνουμε συγκρίσεις. Ο ένας βιότυπος έχει χαρακτηριστική ευαισθησία στις αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος ενώ ο άλλος παρουσιάζει ανθεκτικότητα έναντι του φωτοχημικού ρύπου.

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 επλεγμένα και σταθερά. Ένα τέτοιο είδος προέκυψε από μια σειρά δοκιμών ευαισθησίας στο όζον που έγινε το 1988-89 με Ελληνικές ποικιλίες που χρησιμοποιούνταν στη γεωργική πράξη. Πρόκειται για το Αλεξανδρινό τριφύλλι, ποικιλία << λητώ >>, η οποία κρίθηκε κατάλληλη για βιολογικός δείκτης όζοντος και προτάθηκε να χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα ICP Vegetation.(Βελισσαρίου και Κυριαζή,1996).

1.4 Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι και η επίδραση τους στα φυτά στη περιοχή της Μεσσηνίας

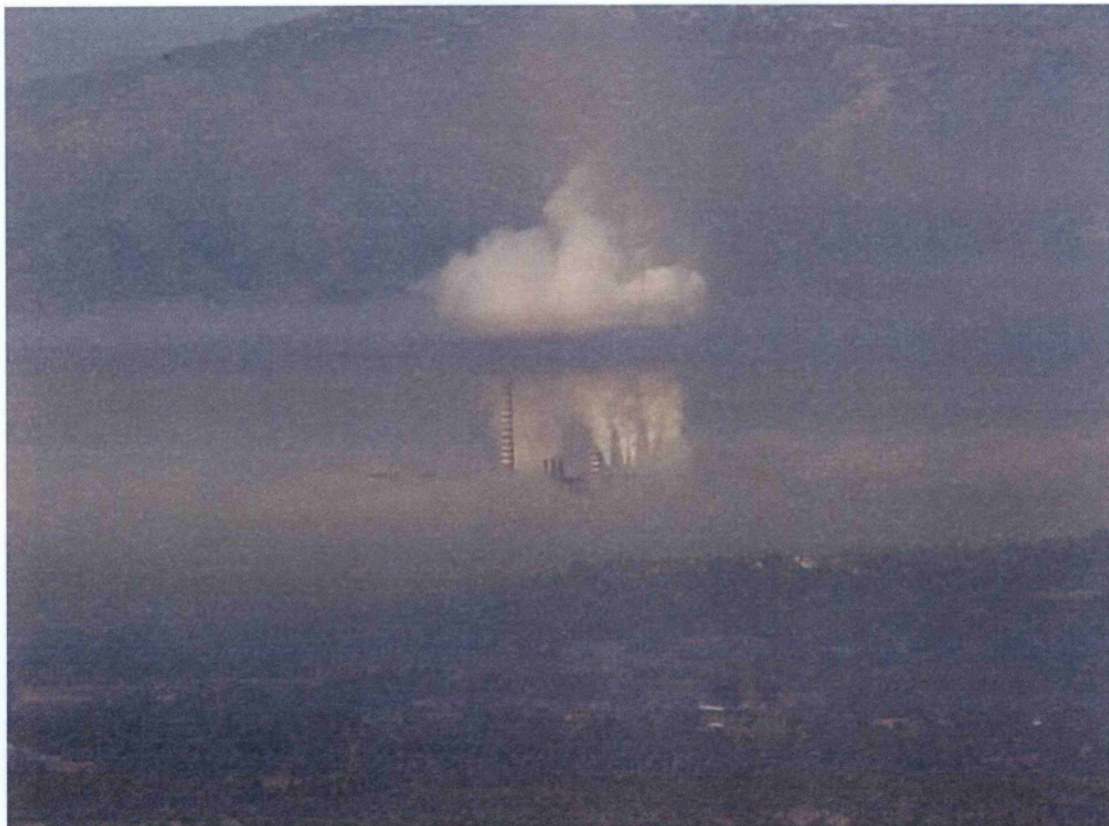
Παρόμοια συμπτώματα με αυτά του δασικού οικοσυστήματος της Πάρνηθας διαπιστώθηκαν στο δασικό οικοσύστημα του Βορειοδυτικού Ταυγέτου, είχαμε δηλαδή την παρουσία εξασθενημένων δένδρων και ιδιαίτερα ελάτης και την εμφάνιση πολλών ξερών δένδρων. Δημιουργήθηκε η υποψία, ότι η ζημιά οφείλεται σε υπερβολική 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. Άλλωστε παρατηρώντας από το δασικό οικοσύστημα στο Βόρειο τμήμα του Ταυγέτου, το εργοστάσιο είναι φανερό η σημαντική παραγωγή ρύπων από αυτό καθώς και η γειτνίαση του με το δασικό οικοσύστημα με αυτό. Είναι επίσης εμφανής και η μεγάλη διασπορά των ρύπων που παράγονται. Διερευνήθηκε λοιπόν η παρουσία όζοντος στη περιοχή αυτή.



Εικόνα 1.1 Εμφανή συμπτώματα υποβάθμισης του δασικού οικοσυστήματος του Β.ΔΤαυγέτου



Εικόνα 1.2. Άποψη του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης από το Βόρειο Ταβγετο



Εικόνα 1.3 Μεγάλη παραγωγή ρύπων εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης



Εικόνα 1.4 Διασπορά των ρύπων εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΥΛΙΚΑ

2.1.1. 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. 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 . 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 Complesal combo supra (12-8-16 + 3MgO+B+Fe+Zn) το οποίο είναι αργής αποδέσμευσης σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις του πρωτοκόλλου του ICP Vegetation.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ

2.2.1 Πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο προβλέπει την εγκατάσταση τουλάχιστον 8 δοχείων για κάθε γενότυπο στο πειραματικό χώρο, προς έκθεσή τους στην ατμόσφαιρα της περιοχής ώστε να διαπιστωθεί παρουσία τροποσφαιρικού όζοντος. Εμείς χρησιμοποιήσαμε 26 δοχεία εκ των οποίων στα 13 τοποθετήσαμε βιοτύπους φασολιού ανθεκτικούς στο ρύπο (resistant biotypes) και άλλα 13 δοχεία με ευαισθησία στις αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος (sensitive biotypes).

Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν μοσχεύματα φασολιού των δύο βιοτύπων (50 συνολικά), που χρησιμοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2009 στο αντίστοιχο πείραμα. Η αρχική προέλευση των βιοτύπων αυτών είναι οι Η.Π.Α. Η επιλογή των μοσχευμάτων έγινε έτσι ώστε να είναι υγιή, απαλλαγμένα από παρασιτικές ασθένειες καθώς και με επαρκές ριζικό σύστημα για να επιτευχθεί γρήγορη ριζοβολία.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν δοχεία από τύρφη (jiffy pots) τα οποία γεμίστηκαν με περλίτη και τοποθετήθηκαν στο θερμοκήπιο. Μετά τη φύτευση των μοσχευμάτων (στις 11/5/2010), τα δοχεία τοποθετήθηκαν άμεσα στην υδρονέφωση για να αποφευχθεί η υπερβολική άρδευση, δεδομένου ότι μπορεί να αυξηθεί η ευαισθησία των βιοτύπων σε μύκητες, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των πρώτων 7-10 ημερών. Καθημερινά γινόταν έλεγχος για τη σωστή λειτουργία της υδρονέφωσης ώστε να εξασφαλιστεί συνεχής και επαρκής υγρασία ωσότου επιτευχθεί ικανοποιητική ριζοβολία και βλάστηση.

Για την εγκατάσταση του πειράματος επιλέχθηκε υπαίθριος χώρος στο Τ.Ε.Ι Καλαμάτας στον Αντικάλανο Μεσσηνίας. Η χωροθέτηση έγινε ως ορίζεται από το πρωτόκολλο για τα πειράματα του ICP Vegetation, σε απόσταση μεγαλύτερη από 200 m από κεντρικούς δρόμους και 50 m από κτίρια. Ο χώρος ισοπεδώθηκε με τη βοήθεια εκσκαφέα και καθαρίστηκε από τα ζιζάνια. Τοποθετήθηκε νάιλον ως υπόβαθρο των φυτοδοχείων (που θα φέρουν τα φασόλια) έτσι ώστε να αποτραπεί η απευθείας επαφή τους με το έδαφος, για να μη χαθεί η υγρασία τους και να μην μεταδίδονται ασθένειες και μολύσματα. Το αρδευτικό σύστημα που εγκαταστάθηκε ήταν ένα δίκτυο αυτόματου ποτίσματος (με μπέκ), το οποίο αργότερα στηρίχθηκε πάνω στα φυτοδοχεία.

Σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο χρησιμοποιήθηκαν 26 δοχεία λευκού χρώματος, περιεκτικότητας 15 λίτρων με διάμετρο επιφάνειας 30 cm. τα δοχεία αυτά επιτρέπουν 3-5 μήνες ανάπτυξη χωρίς υποστύλωση και το λευκό χρώμα μειώνει την υπερθέρμανσή τους. Τα δοχεία απολυμάνθηκαν και ως υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε μίγμα τύρφης-φυτοχώματος-περλίτη σε αναλογία 1:1:1.

Για τη μεταφύτευση έγινε επιλογή των 26 πιο εύρωστων μοσχευμάτων (13 από κάθε γενότυπο) και τα υπόλοιπα διατηρήθηκαν στο θερμοκήπιο, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος ως εφεδρικά. Η βλάστηση έγινε 6 μέρες μετά τη φύτευση (στις 17/5/2010) και η μεταφύτευση στα δοχεία πραγματοποιήθηκε 8 μέρες μετά τη φύτευσή τους στα jiffy pots (στις 19/5/2010) ,ενώ στα φυτοδοχεία τοποθετήθηκαν ταμπέλες που ανέγραφαν το βιότυπο και τη θέση των φασολιών στον πειραματικό χώρο. Τα δοχεία τοποθετήθηκαν στο πειραματικό χώρο 7 μέρες μετά (στις 26/5/2010). Η εγκατάσταση των δοχείων έγινε διαδοχικά σε 4 σειρές των 7 δοχείων, τοποθετημένων εναλλάξ (1 resistant – sensitive). (Πίνακας 2.1, Εικόνα)

Πίνακας 2.1 : Διάταξη δοχείων στον πειραματικό χώρο

R₁	S₄	R₈	S₁₁
S₁	R₅	S₈	R₁₂
R₂	S₅	R₉	S₁₂
S₂	R₆	S₉	R₁₃
R₃	S₆	R₁₀	S₁₃
S₃	R₇	S₁₀	
R₄	S₇	R₁₁	

2.2.2 Έναρξη πειράματος – καλλιεργητικές φροντίδες

Πρώτη μέρα του πειράματος θεωρείται η ημέρα που το φασόλι τοποθετείται υπαίθρια στη πειραματική τοποθεσία και πρέπει να είναι αμέσως μετά τη φύτευση των φασολιών στα τελικά δοχεία.(των 15 λίτρων).

Η συχνότητα και η διάρκεια των ποτισμάτων ρυθμίζονταν ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τις απαιτήσεις των φυτών σε νερό για αποφυγή παρουσίας stress στα φυτά λόγω έλλειψης εδαφικής υγρασίας.(Πίνακας 2.2)

Πίνακας 2.2: <<ρυθμίσεις άρδευσης>>

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
4/6/10	Ανά 8 ώρες	10 λεπτά
2/7/10	Ανά 8 ώρες	15 λεπτά
12/7/10	Ανά 4 ώρες	15 λεπτά

Καθημερινά γινόταν έλεγχος για την ορθή λειτουργία του αρδευτικού συστήματος και παρατήρηση των φυτών για πιθανές προσβολές καθώς και για τη φυσιολογική ανάπτυξή τους.

Καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (με τη χρήση γεωργικών εργαλείων και ηλεκτρικού μηχανήματος) η βλάστηση περιμετρικά των δοχείων και ηλεκτρικού μηχανήματος) η βλάστηση περιμετρικά των δοχείων αλλά και σε όλη την έκταση του πειραματικού χώρου διατηρήθηκε σε ύψος χαμηλότερο του επιπέδου των δοχείων, ώστε να αποτραπεί η δημιουργία σκόνης και λάσπης αλλά και η μετάδοση ασθενειών και μολύνσεων. Παράλληλα γινόταν αφαίρεση των ζιζανίων εντός των δοχείων.



Εικόνα 2.1 Εγκατάσταση φυτείας με τις δύο ποικιλίες φασολιών

2.2.3 Τεχνική μετρήσεων (scoring)

Η τεχνική των μετρήσεων έγινε με δύο τρόπους. Πρώτα με καταγραφή των παθογνωμονικών συμπτωμάτων στη φυλλική επιφάνεια των φυτών και έπειτα με συγκομιδή και καταμέτρηση του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος.

Η ποσοτική εκτίμηση των συμπτωμάτων έγινε με τη βοήθεια ενός πίνακα βαθμονόμησης με κλίμακα 6 επιπέδων (πίνακας 2.3) , σύμφωνα πάντα με το σχετικό πρωτόκολλο.

Πίνακας 2.3: <<Κλίμακα βαθμονομήσεων>>

0	Χωρίς συμπτώματα
1	Μικρή καταπόνηση, 1-5% των φύλλων
2	Μέτρια καταπόνηση, 5-25% των φύλλων
3	Βαριά καταπόνηση, 25-50% των φύλλων
4	Πολύ βαριά καταπόνηση, 50-90% των φύλλων
5	Ολική καταπόνηση, 90-100% των φύλλων

Πηγή: (Experimental protocol, 2010)

2.2.3.1. 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.



Εικόνα 2.2 :Όργανο μέτρησης συνολικής χλωροφύλλης(Spad)

2.2.3.2 Μετρήσεις του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας με LCI Portable Photosynthesis System

Η μέτρηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων πραγματοποιήθηκε με το όργανο LCI. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν ανά 3-5 μέρες συνήθως δύο φορές τη μέρα πρωί και μεσημέρι που η θερμοκρασία είναι πιο υψηλή. Το όργανο τοποθετούνταν στην επιφάνεια του φύλλου που ήταν στραμμένη προς τον ήλιο και παίρνονταν κάποιες τιμές που μας έδειχναν τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων. Στο τέλος όλες αυτές οι μετρήσεις καταγράφηκαν σε πίνακα που θα παρουσιαστεί πιο κάτω.

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, $\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{mol}^{-1}$

2.2.3.3. 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).

2.2.3.4. Μετρήσεις ξηρού βάρους των λοβών φασολιού που σχηματίστηκαν

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής: οι καρποί κόπηκαν και συγκεντρώθηκαν σε χάρτινες σακούλες στις οποίες αναγραφόταν ο βιότυπος και η θέση των φασολιών στον πειραματικό χώρο. Οι σακούλες τοποθετήθηκαν σε προθερμασμένα ξηραντήρια για 48 ώρες σε θερμοκρασία 80° C. Μετά το πέρας των 48 ωρών (και την ολοκλήρωση της ξήρανσης) έγινε μέτρηση του ξηρού βάρους του περιεχομένου της κάθε σακούλας με τη χρήση ζυγαριάς ακριβείας. Επίσης οι λοβοί φασολιού χωρίστηκαν στις εξής τρεις κατηγορίες:

1^η κατηγορία Λοβοί με σπόρους και μέγεθος μεγαλύτερο των 4 cm.

2^η κατηγορία Λοβοί χωρίς σπόρους και μέγεθος μεγαλύτερο των 4 cm.

3^η κατηγορία Λοβοί χωρίς σπόρους και μέγεθος μεταξύ 2-4 cm.

2.2.4 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 Τυχαιοποιημένο 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 ΤΟΥ 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 1. 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	14.05 a	0.53
S	12.05 b	0.53
<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 1, η επίδραση του γονοτύπου στο ρυθμό φωτοσύνθεσης ήταν πολύ σημαντική όταν εξετάστηκαν τα δεδομένα καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. 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 τη δεύτερη που περιλαμβάνει την περίοδο από την άνθηση έως και τη συγκομιδή των καρπών οπότε έχουμε και τη λήξη των μετρήσεων.

Πίνακας 2. 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	13.89 a	0.37
S	12,14 b	0.42
<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 $P=0.05$.		

Πίνακας 3 . Επίδραση του γονοτύπου (ανθεκτικού ή ευαίσθητου στο όζον) στη στοματική αγωγιμότητα φύλλων φυτών φασολιού. Οι μετρήσεις αφορούν το δεύτερο μισό της περιόδου καλλιέργειας.

Γονότυπος	Στοματική αγωγιμότητα
R	0.67
S	0.64
<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 $P=0.05$.	

Η επίδραση του γονότυπου (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 2)

Κατά τη δεύτερη περίοδο ανάπτυξης των φυτών δηλαδή από την άνθηση τους μέχρι και τη συγκομιδή, ο γονότυπος της καλλιεργούμενης ποικιλίας δεν επέδρασε σημαντικά στη στοματική αγωγιμότητα των φυτών (Πίνακας 3)

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. Στην πρώτη περίοδο ανάπτυξης τους (μέχρι και την άνθηση τους), παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στο ρυθμό φωτοσύνθεσης ενώ και στις δύο περιόδους ανάπτυξης δεν παρατηρήθηκε διαφορά στη στοματική αγωγιμότητα των φυτών των δύο γονότυπων (Πίνακες 2,3)

3.1.3. Επίδραση της ώρας και ημερήσια διακύμανση του ρυθμού φωτοσύνθεσης

Στη συνέχεια εξετάστηκε η επίδραση της ώρας της ημέρας στο ρυθμό φωτοσύνθεσης. Όσον αφορά το ρυθμό φωτοσύνθεσης η επίδραση της ώρας της ημέρας σε αυτόν ήταν πολύ σημαντική. Τα φυτά λοιπόν έχουν τον χαμηλότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης στις 18:00 το απόγευμα σε σύγκριση με τις 09:00 και 13:00, όπου παρατηρήθηκαν και οι υψηλότεροι ρυθμοί φωτοσύνθεσης (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Επίδραση της ώρας στο ρυθμό φωτοσύνθεσης φυτών φασολιού. Οι μετρήσεις αφορούν όλη τη περίοδο καλλιέργειας.

Γονότυπος	Ρυθμός φωτοσύνθεσης
09:00	14.20
13:00	13.38
18:00	12.98
<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 $P=0.05$.	

3.1.4 Μέτρηση συνολικής χλωροφύλλης στα φύλλα των ποικιλιών φασολιού 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 5 είναι φανερό, ότι τα φυτά του ευαίσθητου είχαν χαμηλότερα επίπεδα χλωροφύλλης σε σύγκριση με αυτά από τον ανθεκτικό γονότυπο.

Πίνακας 5. Επίδραση του γονότυπου (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	31,14 a
S	29,64 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 $P=0.05$.	

3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΦΑΣΟΛΙΩΝ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΚΑΝ

Πίνακας 6. Μέτρηση ξηρού βάρους μεγάλων λοβών φασολιών με σπόρο

Γονότυπος	Ξηρό βάρος μεγάλων λοβών φασολιού με σπόρο σε (g)
R	46,10 a
S	24,77 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 $P=0.05$.	

Οι λοβοί με σπόρο που αναπτύχθηκαν σε φυτά του ανθεκτικού γονότυπου είχαν υψηλότερο (στατιστικά σημαντικό) βάρος σε σύγκριση με τους αντίστοιχους που αναπτύχθηκαν σε φυτά φασολιού του ευαίσθητου γονότυπου όπως φαίνεται στο πίνακα 6.

Πίνακας 7. Μέτρηση ξηρού βάρους μεγάλων λοβών φασολιών χωρίς σπόρο

Γονότυπος	Ξηρό βάρος μεγάλων λοβών φασολιού χωρίς σπόρο σε (g)
R	9,03
S	4,05
<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 $P=0.05$.	

Οι λοβοί χωρίς σπόρο που αναπτύχθηκαν σε φυτά του ανθεκτικού γονότυπου είχαν ελαφρά υψηλότερο (μη στατιστικά σημαντικό) βάρος σε σύγκριση με τους αντίστοιχους που αναπτύχθηκαν σε φυτά φασολιού του ευαίσθητου γονότυπου όπως φαίνεται στο πίνακα 7.

Πίνακας 8. Μέτρηση ξηρού βάρους μικρών λοβών φασολιών χωρίς σπόρο

Γονότυπος	Ξηρό βάρος μικρών λοβών φασολιού χωρίς σπόρο σε (g)
R	0,88 b
S	0,38 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 $P=0.05$.	

Όπως φαίνεται στο πίνακα 8, οι λοβοί χωρίς σπόρο που αναπτύχθηκαν σε φυτά του ανθεκτικού γονότυπου είχαν υψηλότερο (στατιστικά σημαντικό) βάρος σε σύγκριση με τους αντίστοιχους που αναπτύχθηκαν σε φυτά του ευαίσθητου γονότυπου

3.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΖΗΜΙΑΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ (SCORING)

Όπως αναφέρθηκε εκτός των φυσιολογικών μετρήσεων στα φυτά των δύο γονοτύπων, εκτιμήθηκε και μορφολογικά το ποσοστό της φυλλικής επιφάνειας το οποίο είχε ζημιωθεί από την υπερβολική παρουσία του όζοντος. Η υπερβολική συγκέντρωση όζοντος προκαλεί χαρακτηριστικό σύμπτωμα στα φύλλα των φυτών (καφέ μεταχρωματισμός του ελάσματος).

Στο μέσο της καλλιεργητικής περιόδου τα φύλλα με χαρακτηριστικά συμπτώματα από την υπερβολική συγκέντρωση όζοντος (σε μικρό βέβαια ποσοστό ζημιάς) παρατηρήθηκαν στα φυτά του ευαίσθητου γονοτύπου.

Πίνακας 9. Καταγραφή των συμπτωμάτων της τοξικότητας του όζοντος στα φύλλα φασολιού ανθεκτικής και ευαίσθητης ποικιλίας (22/06/2010) στο μέσο της πειραματικής περιόδου.

Γονότυπος	1-5%	5-25%	>25%	Νεκρά φύλλα
R	25	10		12
S	64	41	8	8

Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου τα φύλλα με χαρακτηριστικά συμπτώματα από την υπερβολική συγκέντρωση όζοντος στα φυτά του ευαίσθητου γονοτύπου είχαν αυξηθεί τόσο στον αριθμό των ζημιωμένων φύλλων και επίσης είχε αυξηθεί και το ποσοστό της ζημιωμένης φυλλικής επιφάνειας.

Πίνακας 10. Καταγραφή των συμπτωμάτων της τοξικότητας του όζοντος στα φύλλα φασολιού ανθεκτικής και ευαίσθητης ποικιλίας (07/07/2010), στο τέλος της πειραματικής περιόδου.

Γονότυπος	1-5%	5-25%	>25%	Νεκρά φύλλα
R	27	13		26
S	34	103	106	43



Εικόνα 3.1 Φύλλα φυτού φασολιού του ανθεκτικού γονότυπου



Εικόνα 3.2 ανεπτυγμένο φυτό φασολιού του ανθεκτικού γονότυπου



Εικόνα 3.3 Αναπτυγμένο φυτό φασολιού του ευαίσθητου γονότυπου



Εικόνα 3.4 Λεπτομέρεια φύλλου φυτού της ευαίσθητης ποικιλίας φασολιού



Εικόνα 3.5 Φυτό φασολιού ευαίσθητης ποικιλίας



Εικόνα 3.6. Προσβεβλημένο φύλλο της ευαίσθητης ποικιλίας φασολιού από το όζον

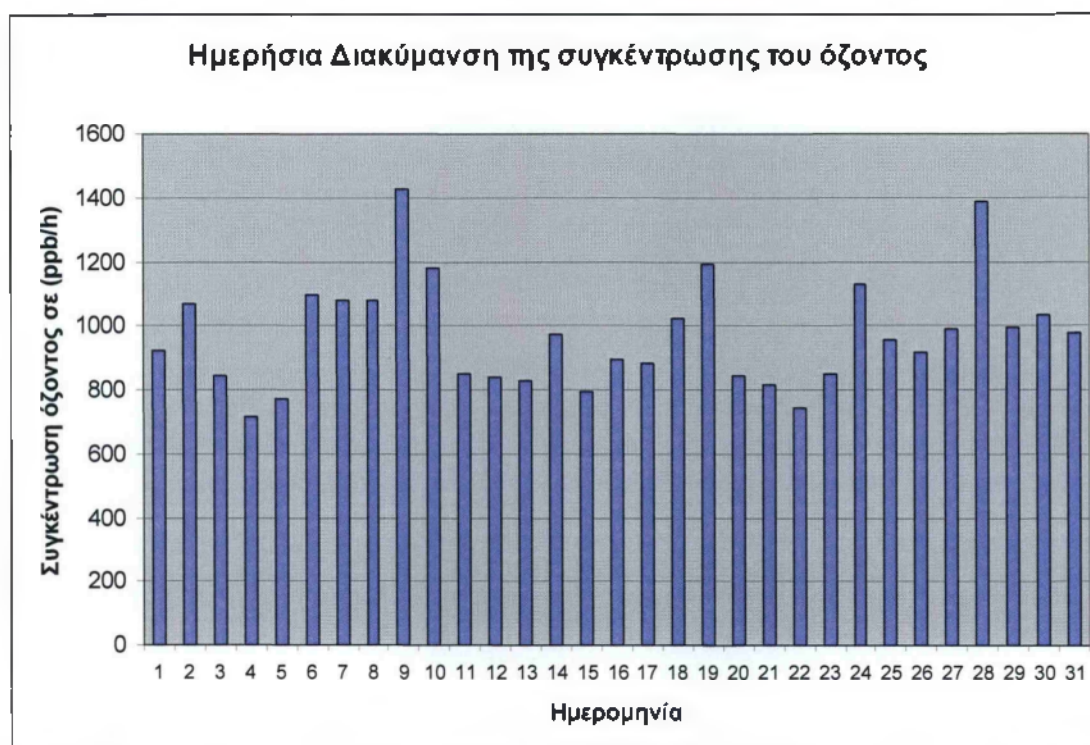


Εικόνα 3.7 Συμπτώματα τοξικότητας όζοντος σε φύλλο φασολιού

3.4. ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.2.3.3. η συγκέντρωση του όζοντος στο πειραματικό χώρο του εργαστηρίου φυσιολογίας φυτών του ΤΕΙ Καλαμάτας μετρήθηκε με τη βοήθεια ενός μετρητή όζοντος (DASIBI 1003-RS). Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η ημερήσια διακύμανση της συνολικής συγκέντρωσης του όζοντος για το μήνα Μάιο.

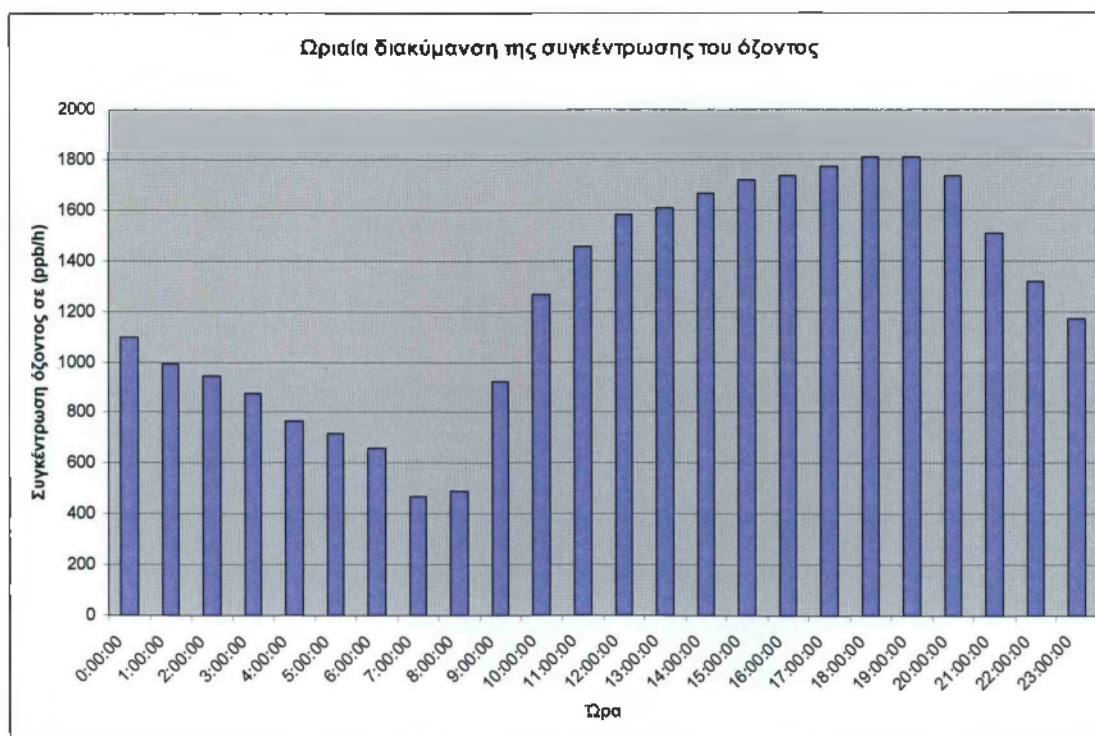
Η συνολική συγκέντρωση του όζοντος για το μήνα Μάιο ήταν 30112 ppb/h. Στο σχήμα 1 φαίνεται πως διακυμάνθηκε η συνολική συγκέντρωση του όζοντος για την κάθε ημέρα του μήνα.



Σχήμα 1. Ημερήσια διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος στο πειραματικό χώρο του ΤΕΙ Καλαμάτας το μήνα Μάιο.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η αθροιστική συγκέντρωση του όζοντος για κάθε ώρα της ημέρας ως άθροισμα όλων των ημερών του μήνα Μαΐου, ώστε να εκτιμηθεί ποια στιγμή του εικοσιτετραώρου παρουσιάζεται η υψηλότερη συγκέντρωση όζοντος.

Φαίνεται λοιπόν (Σχήμα2) ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος παρουσιάζονται τις απογευματινές ώρες της ημέρας (17.00-20.00) κατά το μήνα Μάιο.



Σχήμα 2. Ωριαία διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος στο πειραματικό χώρο του ΤΕΙ Καλαμάτας το μήνα Μάιο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

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, αυτή ήταν ελαφρά υψηλότερη στον ανθεκτικό γονότυπο σε σχέση με τον ευαίσθητο, αλλά χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, καθ'όλη τη διάρκεια του πειράματος.

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.

Ακόμη, κατά την ξήρανση των λοβών των φασολιών και των δυο γονοτύπων μετρήθηκε και εκτιμήθηκε το ξηρό βάρος τους. Παρατηρήθηκε ότι τόσο στους καρπούς με σπόρο όσο και σε αυτούς χωρίς σπόρο το ξηρό βάρος των λοβών του ανθεκτικού γονοτύπου ήταν υψηλότερο από αυτό των λοβών του ευαίσθητου γονοτύπου.

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 (30112 ppb/h για το μήνα Μάιο), προκάλεσε σημαντική καταπόνηση στα φυτά του ευαίσθητου γονότυπου (S) μειώνοντας σημαντικά τις φυσιολογικές τους λειτουργίες.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα, λοιπόν, δείχνουν ότι στην περιοχή του Αντικάλαμου του νομού Μεσσηνίας, παρουσιάστηκαν φυτοτοξικά επίπεδα όζοντος κατά τη χρονική περίοδο από τον Απρίλιο μέχρι και τον Ιούλιο του έτους 2010.

Για μια μικρή πληθυσμιακά πόλη όπως η πόλη της Καλαμάτας, με την έλλειψη βαριάς βιομηχανίας, που θα επιβάρυνε ρυπογόνα την ατμόσφαιρά της, οι συγκεντρώσεις όζοντος που καταγράφηκαν, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι είναι σε σαφώς υψηλότερα επίπεδα από τα αναμενόμενα. Αυτό όμως δεν είναι απόλυτα ορθό, δεδομένου ότι, στη χώρα μας αλλά και σε όλη τη ζώνη της Μεσογείου δεν θα πρέπει να υπάρχουν αναμενόμενα επίπεδα όζοντος στην ύπαιθρο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι δεδομένη η ευρεία γεωγραφική διασπορά του όζοντος στην ύπαιθρο λόγω της δυνατότητας μεταφοράς του όζοντος σε πολύ μακρινές αποστάσεις (διασυνοριακός ρύπος).

Βεβαίως δε πρέπει να αγνοηθεί η γειννίαση της πόλης της Καλαμάτας με το τοπικό αεροδρόμιο με όποιες εκπομπές μπορεί να επιβαρύνει όχι μόνο τη Καλαμάτα αλλά και την ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας.

Όμως θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη η πιθανότητα μεταφοράς του όζοντος ή και αέριων πρόδρομων ουσιών, όπως το διοξείδιο του αζώτου, μέσω αέριων μαζών ,που πολλές φορές συντελείται σε αποστάσεις έως και 100 χλμ (από το γειτονικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του γειτονικού νομού της Μεγαλόπολης.

Όλες αυτές οι παρατηρήσεις δίνουν μια ακόμα σαφή ένδειξη ότι το πρόβλημα της φωτοχημικής ρύπανσης με δευτερογενείς φωτοχημικούς ρύπους όπως είναι το όζον, καταγράφεται και πάλι να έχει ευρεία εξάπλωση στη χώρα μας όσον αφορά τουλάχιστον στα επίπεδα εκείνα που είναι φυτοτοξικά. Εντονότερα αναδεικνύεται η ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των επιπέδων του όζοντος και σε άλλες περιοχές της χώρας, για εξακρίβωση της εποχιακής συμπεριφοράς των συγκεντρώσεων στα καλλιεργούμενα φυτά καθώς και στα ανθρωπογενή και φυσικά οικοσυστήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη 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 formaldehyde as a hydrogen atom source in the lower atmosphere. *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., Greenberg 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. Meteorol. 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
- ✦ 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-Range 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, Περιλήψεις Ανακοινώσεων, σελ. 16-17, 6-8 Οκτωβρίου 1992, Πάτρα και Γεωργία Ανάπτυξη 6 (23) ,Νοε-Δεκ, 1992, σελ. 39-40
- ✚ Λέκκας Δ., 2004.Επιδράσεις φυτοπροστατευτικών προϊόντων στη φυτοτοξική δράση του όζοντος. Μεταπτυχιακή μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ 152

Διαδίκτυο

- ✚ Διαδίκτυο 1: www.fiaozone.net/basics.htm
- ✚ Διαδίκτυο 2: www.icpvegetation.ceh.ac.uk
- ✚ Διαδίκτυο 3: www.ces.ncsu.edu/depts/pp/notes/ozone/ozone.html
- ✚ Διαδίκτυο 4: www.env-edu.gr