

**Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: Η επίδραση του τροποσφαιρικού  
όζοντος στην ανάπτυξη των φυτών.**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ: ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ  
ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ ΑΝΤΙΓΟΝΗ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ: ΓΟΥΜΕΝΑΚΗ ΕΛΕΝΗ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2005**

Ευχαριστούμε πολύ όλους όσους βοήθησαν στη διεξαγωγή του πειράματος.

# Περιεχόμενα

## Κεφάλαιο 1

### Εισαγωγή

Ορισμός.....	σελ.7
Οι κυριότεροι ρύποι	
1. Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ).....	σελ.8
2. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	σελ.8
3. Υδρογονάνθρακες (HCs).....	σελ.9
4. Οξειδία του αζώτου και αμμωνία (NO <sub>x</sub> και NH <sub>3</sub> ).....	σελ.10
5. Ενώσεις του θείου και όξινη βροχή.....	σελ.11
6. Όζον (O <sub>3</sub> ).....	σελ.13
7. Σωματιδιακοί ρύποι.....	σελ.13
8. Αλογόνα.....	σελ.15
8.1 Χλώριο και παράγωγα.....	σελ.15
8.2 Φρέον.....	σελ.15
8.3 Φθόριο (F).....	σελ.15
9. Άλλοι ρυπογόνοι παράγοντες.....	σελ.16
9.1 Μόλυβδος (Pb).....	σελ.16
9.2 Κάδμιο (Cd).....	σελ.17
9.3 Υδράργυρος (Hg).....	σελ.17
Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	σελ.17
Διαβάθμιση του προβλήματος.....	σελ.18
Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	σελ.18
i)Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	σελ.18
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	σελ.20
Πτητικά οργανικά συστατικά (VOCs).....	σελ.20
Οξειδία του αζώτου (NO <sub>x</sub> ).....	σελ.20
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> ).....	σελ.20
Όζον (O <sub>3</sub> ).....	σελ.21
Μικροσωματιδιακή ύλη.....	σελ.22
Τοξικοί αέριοι ρύποι.....	σελ.22

Μόλυβδος (Pb) .....	σελ.23
Υδράργυρος (Hg).....	σελ.23
Φυσικοί αλλεργιογόνοι παράγοντες.....	σελ.23
ii) Επιδράσεις στην πανίδα.....	σελ.24
iii) Επιδράσεις στην χλωρίδα.....	σελ.24
Υδρογονάνθρακες (HCs).....	σελ.25
Οξείδια του αζώτου και αμμωνία (NO <sub>x</sub> και NH <sub>3</sub> ).....	σελ.26
Ενώσεις του θείου και όξινη βροχή.....	σελ.27
Φθόριο (F).....	σελ.30
iv) Επιδράσεις στο κλίμα.....	σελ.31

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Τροποσφαιρικό όζον: Σχηματισμός και επιδράσεις στη βλάστηση

Εισαγωγή.....	σελ.32
Η δημιουργία του όζοντος στην τροπόσφαιρα.....	σελ.33
Οι επιδράσεις του όζοντος στη βλάστηση.....	σελ.38
Οι επιδράσεις του όζοντος στην ανάπτυξη των φυτών και στις αποδόσεις τους.....	σελ.41
Δευτερογενείς επιδράσεις του όζοντος.....	σελ.42
Σχέσεις δόσης – αντίδρασης.....	σελ.43
Μέτρηση της αρνητικής επίδρασης του όζοντος στα φυτά.....	σελ.44
Ροή του όζοντος στο εσωτερικό των φύλλων.....	σελ.45
Επιδράσεις της έκθεσης στο όζον O <sub>3</sub> στην αγωγιμότητα των στοματίων.....	σελ.47
Μηχανισμοί άμυνας των φυτών στην έκθεση στο όζον.....	σελ.49
Επιδράσεις του όζοντος στις καλλιέργειες και στα δάση: Μια παγκόσμια επισκόπηση.....	σελ.51

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Έλεγχος της επίδρασης του όζοντος στην σχετική ανάπτυξη ενός ευαίσθητου και ενός ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού (*Trifolium repens* cv Regal)

Εισαγωγή.....	σελ.56
Υλικά και μέθοδοι.....	σελ.61
Φυτικό υλικό.....	σελ.61
Πειραματικός χώρος.....	σελ.62
Καλλιεργητικές τεχνικές.....	σελ.62
Προετοιμασία πειραματικού χώρου.....	σελ.68
Επεμβάσεις ψεκασμού.....	σελ.69
Συγκομιδή και μέτρηση βιομάζας.....	σελ.70
Μετρήσεις στοματικής αγωγιμότητας ( $g_s$ ) στους υδρατμούς.....	σελ.72
Μετρήσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων.....	σελ.73

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αποτελέσματα.....	σελ.74
-------------------	--------

A) Επίδραση του όζοντος στη σχετική ανάπτυξη του ευαίσθητου (NC-S) και του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου (NC-R).....	σελ.76.
A1) 1η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (17/3/04-15/4/04).....	σελ.77
A2) 2 <sup>η</sup> ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (16/4/04-12/5/04).....	σελ.79
A3) 3η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (13/5/04-12/6/04).....	σελ.81
A4) 4η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (13/6/04-9/7/04).....	σελ.83
A5) Η ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ NC-S / NC-R ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΑΟΤ40 ΑΝΑ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΦΥΤΙΛΙΩΝ ΑΠΟ ΥΑΛΟΒΑΜΒΑΚΑ.....	σελ.85
B) Αλληλεπίδραση φυτοφαρμάκων και τροποσφαιρικού όζοντος – Επίδρασεις στο φυτικό σύστημα NC-S/NC-R.....	σελ.87
B1) 1η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (17/4/04-13/5/04).....	σελ.89
B1i)ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S).....	σελ.89
B1ii)ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-R).....	σελ.91

B1iii) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ/ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S / NC- R) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (17/4/04-13/5/04) ΚΑΙ Η ΤΙΜΗ ΑΟΤ40 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ.....σελ.93	σελ.93
B2) 2η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (14/5/04-13/6/04).....σελ.95	σελ.95
B2i) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S).....σελ.95	σελ.95
B2ii) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-R).....σελ.97	σελ.97
B2iii) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ / ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S / NC-R) ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (14/5/04-13/6/04).....σελ.99	σελ.99
B3) 3η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (14/6/04-10/7/04).....σελ.101	σελ.101
B3i) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S).....σελ.101	σελ.101
B3ii) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-R).....σελ.103	σελ.103
B3iii) ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ / ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC- S / NC-R) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΡΙΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (14/6/04-10/7/04).....σελ.105	σελ.105
B4) Η ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ NC- S / NC- R ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΑΟΤ40 ΑΝΑ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΚΑΙ ΑΝΑ ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΟΥ.....σελ.107	σελ.107

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συζήτηση-Συμπεράσματα.....σελ.109	σελ.109
-----------------------------------	---------

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εκτίμηση των μελλοντικών επιδράσεων του όζοντος στη βλάστηση.....σελ.115	σελ.115
--	---------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.118	σελ.118
--------------------------	---------

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Εισαγωγή

### Ορισμός

Η ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται ως η προσθήκη κάθε φυσικού, χημικού ή βιολογικού παράγοντα που διαφοροποιεί τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Ατμοσφαιρικός ρύπος μπορεί να είναι ένα τοξικό αέριο με κάποια μακροχρόνια αποτελέσματα σε ένα οργανισμό, που πιθανά δεν είναι άμεσα αντιληπτά, ή ένα μη ορατό ραδιενεργό υλικό, με καταστρεπτικές επιδράσεις στην εξέλιξη της ζωής. Ρύποι επίσης θεωρούνται οποιαδήποτε υλικά είναι δυνατόν να εισέλθουν στην ατμόσφαιρα, είτε εσκεμμένα, είτε διαμέσου κάποιας φυσικής διαδικασίας, τα οποία έχουν έστω και έμμεσες επιπτώσεις, όπως μείωση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας ή κάποια άλλη αλλαγή της σύστασης του αέρα. Η προσθήκη διαφόρων μορίων ή μικροσωματιδίων και η δημιουργία ενός στρώματος που συγκρατεί ορισμένα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας, πολύ απαραίτητα για τη ζωή στη Γη, είναι επίσης μια μορφή ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Το επικάλυμμα αυτό μπορεί επίσης να αποτρέψει την αντανάκλαση θερμότητας από τη Γη στον ουρανό, με αποτέλεσμα την ενίσχυση του ήδη υπάρχοντος φαινομένου του θερμοκηπίου, γεγονός που έχει αποδειχθεί ότι θα συμβάλει στην αλλαγή του κλίματος στον πλανήτη, με αναμενόμενες επακόλουθες επιδράσεις στους ζώντες οργανισμούς. Μερικές ουσίες που καταφέρνουν να φθάσουν στο στρατοσφαιρικό στρώμα του όζοντος, που προστατεύει τον πλανήτη μας από την επικίνδυνη για τη ζωή υπεριώδη (UV) ακτινοβολία, και να το καταστρέψουν, αφορούν επίσης στο θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

## **Οι κυριότεροι ρύποι**

### **1. Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)**

Το CO<sub>2</sub>, αν και όχι άμεσα τοξικό σε χαμηλά επίπεδα, αποτελεί ένα τεχνολογικό απόβλητο εκτεταμένης κλίμακας, με έμμεσες επιδράσεις στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη και μακροπρόθεσμα αποτελέσματα. Εκτιμάται μια ετήσια εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα της τάξης των 10<sup>13</sup> τόνων από διεργασίες βιολογικής αποσύνθεσης που έχουν ως αρχή την παραγωγή μεθανίου. Στο ποσό αυτό συνεισφέρουν ανθρωπογενείς δραστηριότητες με ένα ετήσιο ποσό της τάξης των 10<sup>10</sup> τόνων. Σύμφωνα με μερικές επιστημονικές εκτιμήσεις, το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας μπορεί και να διπλασιαστεί στο άμεσο μέλλον. Το προβλεπόμενο αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Από την άλλη πλευρά είναι γνωστή η σημασία του CO<sub>2</sub> για τη ζωή στον πλανήτη μας. Τα φυτά χρειάζονται το CO<sub>2</sub> για τη φωτοσύνθεση. Με άλλα λόγια ολόκληρη η τροφική αλυσίδα από την οποία εξαρτάται η ζωή, βασίζεται στο CO<sub>2</sub>. Διερευνάται το ενδεχόμενο ωφέλειας του φυτικού βασιλείου από πιθανές αυξήσεις του CO<sub>2</sub>.

### **2. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό και αναφλέξιμο. Είναι ένας από τους μαζικότερα παραγόμενους ρύπους. Υπολογίζεται ότι 102 εκατομμύρια τόνοι παρήχθησαν στις Ηνωμένες Πολιτείες μονάχα το 1968, ποσό που ισούται με το άθροισμα όλων των άλλων ρύπων που παρήχθησαν εκείνη τη χρονιά. Περίπου οι 60 εκατομμύρια τόνοι από αυτό το ποσό προέρχονταν από τα οχήματα, ενώ κατά κάποιο μικρότερο ποσοστό συνεισέφεραν και οι μονάδες θέρμανσης, οι βιομηχανικές κατεργασίες και η καύση των στερεών αποβλήτων. Το CO παράγεται και με φυσικές διαδικασίες. Η πιο σπουδαία με φυσικό τρόπο παραγωγή CO είναι η



οξειδωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου. Μια δεύτερη φυσική πηγή CO έχει βρεθεί ότι είναι η επιφάνεια των ωκεανών.

### **3.Υδρογονάνθρακες (HCs)**

Η τάξη των ατμοσφαιρικών ρύπων, γνωστή ως υδρογονάνθρακες (HCs), περιλαμβάνει όλες τις ενώσεις που αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα, εκτός από τα οξείδια του άνθρακα, τα καρβίδια και τα ανθρακικά άλατα.

Πηγές των ατμοσφαιρικών υδρογονανθράκων είναι κυρίως οι ατελείς καύσεις των πτητικών καυσίμων και η χρήση οργανικών ως χημικά αντιδραστήρια. Έχει υπολογιστεί μια ετήσια εκπομπή CH<sub>4</sub> από φυσικές πηγές, της τάξης των 16x10<sup>8</sup> τόνων/έτος και μια εκπομπή της τάξης των 1,7x10<sup>8</sup> τόνων/έτος σε τερπένια. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες προσθέτουν υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα περίπου 1x10<sup>8</sup> τόνους/έτος, με κύριο συστατικό το μεθάνιο (~90%). Το υπόλοιπο 10% αφορά μια μεγάλη ποικιλία υδρογονανθράκων προερχόμενων από το πετρέλαιο και τις διάφορες χρήσεις του, από εξατμίσεις διαλυτών, από αποτεφρώσεις, κτλ.

Δεδομένου ότι το μεθάνιο ουσιαστικά δεν συμμετέχει σε φωτοχημικές αντιδράσεις, έχει καθιερωθεί ένας διαχωρισμός των υδρογονανθράκων της ατμόσφαιρας σε δυο κατηγορίες: (i) το μεθάνιο και (ii) όλους τους υπόλοιπους υδρογονάνθρακες, που τους ονομάζουμε μάλιστα πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, σε συντομογραφία VOCs). Ένας ορισμός που φαίνεται πιο σαφής είναι αυτός που προέρχεται από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας της Αμερικής (Environmental Protection Agency, EPA), η οποία χαρακτηρίζει ως VOCs κάθε πτητική οργανική ένωση η οποία όταν εισέλθει στην ατμόσφαιρα μπορεί να παραμείνει σε αυτή τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για να πάρει μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις.

#### 4. Οξείδια του αζώτου και αμμωνία (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>)

NO<sub>x</sub> είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την αέρια μόλυνση που είναι τώρα σε αφθονία στις περισσότερες αστικές περιοχές του κόσμου, το ‘‘x’’ υποδηλώνει το αβέβαιο όσον αφορά στις σχετικές ποσότητες των NO και NO<sub>2</sub> οι οποίες διαφέρουν σημαντικά κατά τη διάρκεια του χρόνου και μεταξύ των τοποθεσιών. Αυτή η μεταβολή οδηγεί σε δυσκολίες στην εκτίμηση της φυτοτοξικότητας των NO<sub>x</sub> επειδή τα δυο αέρια εμφανίζουν μερικές αντίθετες χημικές ιδιότητες και επομένως δύναται να έχουν αρκετά διαφορετικές επιπτώσεις σε μοριακό επίπεδο (Mansfield 2002).

Η μεγάλη μάζα των οξειδίων του αζώτου προέρχεται από καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες, αν και υπάρχουν και φυσικές πηγές (μικροβιακοί οργανισμοί) που παράγουν οξείδια και άλλες ενώσεις του αζώτου (όπως π.χ. NH<sub>3</sub>). Οι διάφορες βιολογικές δραστηριότητες συνεισφέρουν περίπου κατά 500 εκατομμύρια τόνους/έτος στην εκπομπή NO και κατά 600 εκατομμύρια τόνους/έτος στην εκπομπή NO<sub>2</sub>, ενώ η παραγωγή αμμωνίας από βιολογικούς οργανισμούς ανέρχεται στους 3.700 εκατομμύρια τόνους/έτος. Αμμωνία επίσης εξατμίζεται σε μεγάλες ποσότητες από εντατικά αγροτικά συστήματα. Αν και οι ανθρώπινες δραστηριότητες εκλύουν σαφώς πολύ λιγότερες ποσότητες οξειδίων του αζώτου (~1/15 του συνολικού NO), οι εκπομπές αυτές συγκεντρώνονται στο περιορισμένο περιβάλλον των πόλεων, με αποτέλεσμα να γίνονται πολύ επικίνδυνες. Η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα είναι συνδυασμένη με μια μεγάλη ποικιλία αναπνευστικών ασθενειών και είναι υπεύθυνα για την παραγωγή των φωτοχημικών οξειδωτικών.

Μεγάλο μέρος από το διαθέσιμο πειραματικό υλικό αφορά στην επίδραση του NO<sub>2</sub>, αν και πολλά φυτά αναπτύσσονται σε καταστάσεις όπου το NO είναι πρωταρχικό συστατικό των NO<sub>x</sub>, στα οποία εκτίθενται. Στην πραγματικότητα το μεγαλύτερο μέρος από το οξειδωμένο άζωτο στην ατμόσφαιρα απελευθερώνεται ως NO, το οποίο μπορεί να μετατραπεί αργότερα σε NO<sub>2</sub>, απουσία O<sub>3</sub> (Neubert *et al.* 1993). Η ατμοσφαιρική χημεία των NO<sub>x</sub> είναι κύριας σημασίας για την

παραγωγή και απομάκρυνση του όζοντος, το σχηματισμό των φωτοχημικών οξειδωτών και των τροποσφαιρικών κύκλων που αφορούν στα νιτρώδη και νιτρικά οξέα. Η συμμετοχή των φυτών σε αυτές τις διαδικασίες είναι μεγάλης σημασίας, γιατί λειτουργούν σαν δέκτες μεγάλου μέρους των εναποτιθέμενων  $\text{NO}_x$ , μέρος από τα οποία μπορεί να απελευθερωθούν ξανά κατά τη διάρκεια κυτταρικών διαδικασιών ή σαν αποτέλεσμα της μικροβιακής δραστηριότητας στο έδαφος.

Οι επιδράσεις των  $\text{NO}_x$  έχουν περισσότερο μελετηθεί στο πλαίσιο της αστικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Μόλις λίγες δεκαετίες νωρίτερα ο πλέον σημαντικός ρύπος της τροπόσφαιρας των πόλεων στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική ήταν το  $\text{SO}_2$  (Ashmore 2005), αν και η παρουσία του  $\text{NO}_2$  θεωρούνταν ως συνέπεια, γιατί μπορεί να αλληλεπιδράσει με το  $\text{SO}_2$  και να προκαλέσει μεγαλύτερη ζημιά από ότι το σύνολο των ανεξάρτητων επιδράσεων των δύο αερίων (Mansfield & Freed-Smith 1981). Υπάρχουν σημαντικά προβλήματα στον καθορισμό των επιδράσεων των  $\text{NO}_x$  και  $\text{SO}_2$  γιατί και τα δύο μπορούν να διεγείρουν την ανάπτυξη των φυτών σε πολύ χαμηλές δόσεις, είτε είναι παρόντα ξεχωριστά, είτε σε συνδυασμό.

Η ακολουθία των γεγονότων που συμβαίνει όταν οι εισαγωγές αζώτου έχουν αυξηθεί σε μία περιοχή με αρχικά χαμηλές αναλογίες εναπόθεσης, είναι αρκετά πολύπλοκη. Πολλές διαδικασίες αλληλεπιδρούν και μπορούν να λειτουργούν κατά διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Η σοβαρότητα των επιδράσεων της εναπόθεσης του αέριου αζώτου εξαρτάται από: α) τη διάρκεια και τη συνολική ποσότητα των εισαγωγών, β) τη μορφή των αζωτούχων εισαγωγών, γ) την εγγενή ευαισθησία των φυτικών ειδών που υπάρχουν, δ) τις αβιοτικές συνθήκες του οικοσυστήματος (Bobbink & Lamers 2002).

## **5. Ενώσεις θείου και όξινη βροχή**

Το θείο είναι ένας από τους κύριους ρύποι της ατμόσφαιρας. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει οξείδια του θείου, υδρόθειο και ένα αριθμό άλλων ενώσεων οι οποίες είναι κατά κανόνα δύσοσμες. Το διοξείδιο

του θείου είναι η πλέον συνηθισμένη πρωτογενής εκπομπή από αυτήν την ομάδα ρύπων.

Πρωτεύοντα ρόλο στην εκπομπή του SO<sub>2</sub> παίζουν η καύση του άνθρακα στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι διεργασίες καύσης και διύλισης πετρελαίου και οι μεταλλουργικές βιομηχανίες. Το θείο υπάρχει στον άνθρακα και στο πετρέλαιο, συνήθως σε ποσοότητες 0-6% κ.β υπό μορφή οργανικών μορίων τα οποία όταν καίγονται παράγουν SO<sub>2</sub>. Το επεξεργασμένο πετρέλαιο και οι βενζίνες περιέχουν λιγότερο από 0.05% θείο. Οι μεταλλουργικές βιομηχανίες παράγουν SO<sub>2</sub> κατά την φρύξη των ορυκτών που είναι συνήθως σουλφίδια των μετάλλων. Το θείο με τη μορφή διαφόρων ενώσεων του εκπέμπεται και από φυσικές πηγές, όπως λόγου χάρη ηφαιστεια και θερμές πηγές

Όσον αφορά στην όξινη βροχή, εκτός από τις θειούχες ενώσεις συμβάλλουν και τα οξειδία του αζώτου (κατά το 1/3), οξειδία αμετάλλων και το υδροχλωρικό οξύ, τα οποία με ατμοσφαιρικές διεργασίες οξειδώνονται ακόμη περισσότερο και μετατρέπονται σε ισχυρά οξέα. Στις βορειοανατολικές ΗΠΑ υπολογίσθηκε ότι στη δημιουργία της όξινης βροχής συμμετείχαν κατά 65% το θειϊκό, κατά 30% το νιτρικό και κατά 5% το υδροχλωρικό οξύ. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι επικρατούν παντού οι ίδιες αναλογίες.

Έχει διαπιστωθεί ότι ο χρόνος παραμονής των οξειδίων του θείου στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται από μία μέχρι τρεις μέρες, ενώ των οξειδίων του αζώτου πέντε με οχτώ μέρες. Με τόσο χρόνο παραμονής και με δυνατούς ανέμους καταλαβαίνει κανείς πόσο μακριά μπορεί να φτάσουν οι ρύποι. Υπάρχουν παραδείγματα μεταφοράς ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αποστάσεις μεγαλύτερες από χίλια χιλιόμετρα. Οι υψηλές καμινάδες δεν είναι λοιπόν η λύση, γιατί απλώς μεταθέτουν και μεταφέρουν το πρόβλημα. Η καλύτερη λύση στο πρόβλημα της ρύπανσης είναι κατά πρώτο λόγο μια μή ρυπαίνουσα τεχνολογία, και κατά δεύτερο λόγο συστήματα καθαρισμού, όπως φίλτρα ή άλλες ανάλογες τεχνικές (Δερμιτζάκης 1988)

## 6. Όζον (O<sub>3</sub>)

Το όζον αποτελεί τον κυριότερο δείκτη της φωτοχημικής ρύπανσης, που είναι διεθνώς γνωστή και σαν νέφος τύπου Λος Άντζελες, γιατί πρώτα εκεί παρουσιάστηκε και μελετήθηκε.

Το όζον είναι αέριο άχρωμο, βαρύτερο του αέρα με ισχυρή οξειδωτική δράση και έντονη οσμή. Ο όρος, που χρησιμοποιείται από όλες τις γλώσσες, προέρχεται από την ελληνική λέξη "όζω" που σημαίνει αναδίδω άσχημη μυρωδιά. Υπάρχει στην ατμόσφαιρα από φυσική προέλευση (μεταφορά από τη στρατόσφαιρα, κεραυνοί, κ.λπ.), κυρίως όμως προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας η παραγωγή του όζοντος, όπως και των άλλων φωτοχημικών από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, δημιουργείται δευτερογενώς και προάγεται σε ημέρες με έντονη ηλιοφάνεια και υψηλή θερμοκρασία έχοντας πρόδρομες ουσίες κυρίως τα οξειδία του αζώτου, τις ρίζες υδροξυλίου και τους υδρογονάνθρακες. Ο μηχανισμός των χημικών αυτών αντιδράσεων για το σχηματισμό της φωτοχημικής ρύπανσης είναι ιδιαίτερα σύνθετος και πολύπλοκος. Χρειάζεται να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι ο σχηματισμός του όζοντος δεν εξαρτάται μόνο από την ποσότητα των NO<sup>-</sup> και των υδρογονανθράκων αλλά και από τη μεταξύ τους σχέση καθώς και την ποιοτική σύσταση των υδρογονανθράκων (Βαβίζος & Μερτζάνης 2002). Λεπτομερέστερη περιγραφή του σχηματισμού του όζοντος και των επιπτώσεων του στους ζώντες οργανισμούς επιχειρείται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

## 7. Σωματιδιακοί ρύποι

Σωματίδια σε μελέτες σχετικές με την ατμοσφαιρική ρύπανση, είναι ένας πολύ ευρύς όρος που καλύπτει όλες τις ουσίες στην ατμόσφαιρα που δεν είναι αέρια. Τα σωματίδια είναι συνδυασμοί πολλών μορίων, μερικές φορές παρόμοιων, άλλες φορές διαφορετικών μεταξύ τους. Περιλαμβάνουν ιόντα, συμπλέγματα μορίων, κρυστάλλους πάγου, σκόνη, σωματίδια καπνού, σταγόνες βροχής, γύρη, κτλ. Ωριμάζουν στον αέρα μέσω αρκετών διαδικασιών. Μερικά από αυτά τα σωματίδια

λειτουργούν σαν πυρήνες στους οποίους συμπυκνώνονται ατμοί. Μερικά σωματίδια αντιδρούν χημικά με αέρια της ατμόσφαιρας ή ατμούς και σχηματίζουν διάφορες συνθέσεις. Όταν δυο σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους στον αέρα τείνουν να συγκολληθούν εξαιτίας ελκτικών δυνάμεων δημιουργώντας έτσι σταδιακά όλο και μεγαλύτερα συσσωματώματα. Όσο μεγαλύτερο γίνεται το σωματίδιο, τόσο μεγαλώνει το βάρος του και αυξάνονται επομένως οι πιθανότητές του για εναπόθεση στο έδαφος. Η διεργασία κατά την οποία η σωματιδιακή ύλη παρασύρεται από τις νιφάδες του χιονιού, τη βροχή, το χαλάζι, ή την ομίχλη, είναι συνηθισμένη μορφή συσσωμάτωσης και εναπόθεσης (υγρή εναπόθεση). Μερικά σωματίδια εγκαταλείπουν τον αέρα κατόπιν συγκρούσεως, και επακόλουθης συγκράτησης, με στερεές επιφάνειες των φυτών και του εδάφους. Η ύπαρξη σωματιδίων ύλης στην ατμόσφαιρα είναι ένα δυναμικό φαινόμενο με συνεχείς εκτινάξεις από πηγές μικροσωματιδίων, δημιουργία συσσωματωμάτων στον αέρα από συμπύκνωση ατμών επάνω τους ή χημικές αντιδράσεις μεταξύ αυτών με αέρια και ατμούς και απομάκρυνσή τους από τον αέρα με συσσωματώσεις, ξηρές ή υγρές εναποθέσεις και συγκρούσεις.

Οι οπτικές και τοξικολογικές ιδιότητες των σωματιδίων εξαρτώνται έντονα από το μέγεθός τους.

Η κυριότερη ανησυχία μας για τη σωματιδιακή ύλη που περιπλανάται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από το γεγονός ότι σωματίδια κάποιου μεγέθους εισπνέονται και κατακρατούνται από το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.

Ένα άλλο θέμα που σχετίζεται με τη σωματιδιακή ύλη της ατμόσφαιρας είναι η απορρόφηση και διασπορά της ηλιακής ακτινοβολίας που υφίσταται από αυτά. Το θέμα έχει άμεση σχέση με τη διατήρηση και εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη και επομένως μας αφορά σημαντικά. Μια τέτοια διασπορά και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας τείνει να ελαττώσει τη θερμοκρασία του πλανήτη σε αντίθεση με το φαινόμενο τον θερμοκηπίου. Τα δυο φαινόμενα εμφανίζουν αντίρροπες τάσεις.

## 8. Αλογόνα

### 8.1 Χλώριο και παράγωγα

Το χλώριο ως αέριο είναι ισχυρά τοξικό. Στην ατμόσφαιρα όμως βρίσκεται κυρίως στην ιοντική του μορφή. Η συγκέντρωση των χλωριδίων ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Cl}_2$  και  $\text{HCl}$ ) στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται στα 0.5-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η κύρια πηγή χλωρίου σε ιοντική μορφή για την ατμόσφαιρα είναι η θάλασσα από όπου παρασύρεται με τη βοήθεια των ανέμων. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες προσθέτουν χλωρίδια στην ατμόσφαιρα στις διεργασίες παραγωγής πολυβινιλοχλωριδίου (PVC), της καύσης ανθράκων που περιέχουν χλώριο σε περιεκτικότητες της τάξης του 0.5%, και από τα χλωροπαράγωγα ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ ) που χρησιμοποιούνται σε αντικατάσταση του αντικροτικού  $\text{Pd}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$  της βενζίνης των αυτοκινήτων για τον έλεγχο των ανεπιθύμητων κρότων του κινητήρα. Στα καυσαέρια των αυτοκινήτων εκλύονται επίσης ενώσεις του τύπου  $\text{PbCl}_2$  και  $\text{PbBrCl}$ . Χλωρίδια επίσης εκπέμπονται κατά τις απολυμάνσεις χώρων και υδάτων.

### 8.2 Φρέον

Τα φρέον είναι πολύ σταθερά μόρια σε ατμοσφαιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα να έχουν μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα και επομένως να διαχέονται σε μεγάλα ύψη στην στρατόσφαιρα όπου θα αποτελέσουν τον κύριο καταστροφέα του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Χρησιμοποιούνται για διάφορους ψεκασμούς (~50%), ως ψυκτικά (~30%), στην βιομηχανία πλαστικών (~10%) και ως διαλυτικά μέσα. Το 1973 παράχθηκαν 3,1 $\times 10^5$  τόνοι  $\text{CCl}_3\text{F}$  και 4.7 $\times 10^5$  τόνοι  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ .

### 8.3 Φθόριο (F)

Αν και το φθόριο (F) είναι ένα συχνό στοιχείο στο φλοιό της γης, εναέριοι ρύποι που περιέχουν φθόριο δεν είναι συνήθεις και συχνά εμφανίζονται σε μια τοπική περιοχή σαν εκπομπές συγκεκριμένων βιομηχανικών διαδικασιών. Μερικά παραδείγματα είναι η μεταχείριση του φωσφορικού ορυκτού με οξύ στη διαδικασία λιπασμάτων, το

ψήσιμο των πηλών σε καμίνια στους χώρους που κατασκευάζουν τούβλα, η χρήση ορυκτών που περιέχουν φθόριο σε χυτήρια αλουμινίου ή ατσαλιού, και η παραγωγή υδροφθορίου (HF) ή η χρήση του στην κατασκευή βερνικιού του γυαλιού. (Διεθνής Ακαδημία Επιστημών, 1971).

Υπάρχουν επίσης φυσικές πηγές αερομεταφερόμενου φθορίου καθώς και ένας παγκόσμιος κύκλος φθορίου. Εκρήξεις ηφαιστειών απελευθερώνουν απόβλητα που περιέχουν φθόριο και η γεωθερμική δραστηριότητα είναι πηγές πτητικών φθορίων. Η στρατοσφαιρική υποβίβαση των φθοριανθράκων θα προσθέσει στην παγκόσμια εναπόθεση των φθορίων που προέρχονται από φυσικές πηγές (McCune & Weinstein 2002).

## **9. Άλλοι ρυπογόνοι παράγοντες**

### **9.1 Μόλυβδος (Pb)**

Ο μόλυβδος μολύνει το περιβάλλον είτε σαν ελεύθερο στοιχείο είτε υπό μορφή ενώσεων. Στην ατμόσφαιρα συναντάται υπό μορφή αιωρούμενων σωματιδίων. Μέσω των καυσαερίων των αυτοκινήτων, ιδιαίτερα αυτών της παλιάς τεχνολογίας (μη-καταλυτικά), εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες Pb στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας της προσθήκης του μολύβδου στην βενζίνη (τετρααιθυλιούχος μόλυβδος) ως αντικροτικού μέσου, δηλαδή, για την ανύψωση του αριθμού των οκτανίων. Αυτά τα πρόσθετα είναι υπεύθυνα για το 80% περίπου της συνολικής εισόδου μολύβδου στην ατμόσφαιρα από ανθρώπινες δραστηριότητες, που εκτιμούνται στους  $4 \times 10^6$  τόνους/έτος. Η ποσότητα μολύβδου που προέρχεται από φυσικές πηγές είναι σχεδόν ασήμαντη (6% της ολικής έκλυσης μολύβδου στο περιβάλλον). Στις ΗΠΑ το 1986 σημειώθηκε μια ετήσια εκπομπή της τάξης των 200 χιλιάδων τόνων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σταδιακή καθιέρωση της αμόλυβδης βενζίνης στις ΗΠΑ κατά το διάστημα 1976-1986 μείωσε τις εκπομπές του μολύβδου στην ατμόσφαιρα κατά 87%. Το παράδειγμα έχει ακολουθηθεί σήμερα από τις περισσότερες χώρες του κόσμου με αποτέλεσμα την ουσιαστική μείωση της έκθεσης σε μόλυβδο των ζώντων οργανισμών.



## 9.2 Κάδμιο (Cd)

Είναι πιο τοξικό από το μόλυβδο, αλλά η χρήση του είναι σαφώς πιο περιορισμένη. Εμφανίζεται κυρίως ως πρόσμιξη, σε ελάχιστες ποσότητες, με τον ψευδάργυρο που αποτελεί ένα πολυχρησιμοποιημένο κατασκευαστικό υλικό. Η κύρια χρήση του καδμίου αφορά τις επιμεταλλώσεις (>50%), τη βιομηχανία χρωμάτων, κραμάτων και πλαστικών. Εισέρχεται στον οργανισμό κυρίως από τις τροφές, περίπου 50μg/μέρα σε αστικές συνθήκες. Οι καπνιστές έχουν ιδιαίτερο πρόβλημα, εφόσον ένα πακέτο τσιγάρα προσφέρει 3μg.

## 9.3 Υδράργυρος (Hg)

Το πλέον τοξικό από τα βαριά μέταλλα. Αν και οι παγκοσμίως παραγόμενες ποσότητες Hg είναι μικρές (δεν ξεπερνούν τους  $10^4$  τόνους/έτος) έχουν παρατηρηθεί στην ατμόσφαιρα πολλές ενώσεις Hg με επαρκή συγκέντρωση και διάρκεια ώστε να προκαλέσουν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

## Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ως κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούμε να θεωρήσουμε: (i) τα μέσα μεταφοράς, (ii) την οικιακή θέρμανση, (iii) τις διεργασίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, (iv) τις ανεπιθύμητες καύσεις, (v) τις βιομηχανικές καύσεις, και γενικότερα τις βιομηχανικές εκπομπές.

Είναι δύσκολο να καθοριστεί το ποσοστό συμβολής στην ατμοσφαιρική ρύπανση που αναλογεί σε κάθε μια από αυτές τις πηγές. Μια πρώτη κατανομή έχει χρεώσει τη συνεισφορά των μηχανών εσωτερικής καύσης για την κίνηση των αυτοκινήτων στο 60% της συνολικής ετήσιας εκπομπής. Σύμφωνα με την ίδια εκτίμηση οι γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνεισφέρουν κατά 10-15%, η οικιακή θέρμανση περίπου 10%, οι βιομηχανικές καύσεις και βιομηχανικές εκπομπές περίπου 20% και οι λοιπές ανεπιθύμητες

καύσεις περίπου 5%. Επειδή η κοινωνία μας είναι εξελίξιμη, αυτά τα προσεγγιστικά ποσοστά δεν είναι σταθερά.

Άλλες κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι οι ποικίλες εκπομπές της Χημικής Βιομηχανίας, όπως διυλιστήρια πετρελαίου, μονάδες παραγωγής φωσφορούχων λιπασμάτων, πολτοποίηση, επεξεργασία χαρτιού κ.α.

Σε αυτές τις κύριες κατηγορίες εκπομπών έρχεται να προστεθεί ένας μεγάλος αριθμός από άλλες μικρότερες, που ενώ δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές, εντούτοις συνεισφέρουν στο συνολικό πρόβλημα. Μερικές από αυτές τις εκπομπές που θα άξιζε ίσως να σημειώσουμε σαν παραδείγματα είναι: τα οργανικά συστατικά στα αερολύματα, οι διαδικασίες κατασκευής δρόμων, οικοδομών και συγκροτημάτων, το κάπνισμα, κ.α.

## **Διαβάθμιση του προβλήματος**

Το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης εντοπίζεται τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Συνηθίζεται μια διαβάθμιση σε πέντε διαφορετικά επίπεδα - κλίμακες:

- (1) τοπική κλίμακα,
- (2) αστική,
- (3) περιφερειακή,
- (4) διηπειρωτική και
- (5) παγκόσμια κλίμακα.

## **Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

### **i) Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία**

Το ερώτημα που τίθεται είναι αν γνωρίζουμε επαρκώς τις βλαβερές επιδράσεις των διαφόρων ρύπων στην ανθρώπινη υγεία, αλλά και γενικότερα στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Η αλήθεια είναι κάπου στη μέση. Γνωρίζουμε αρκετά και κυρίως για ενώσεις που

υφίστανται επί χρόνια. Η τεχνολογία όμως εξελίσσεται αλματωδώς αναπτύσσοντας συνεχώς νέα υλικά και ουσίες των οποίων οι επιδράσεις (κυρίως οι μακροπρόθεσμες) μας είναι άγνωστες. Ευτυχώς οι ιατρικές μας γνώσεις για τις βλαβερές επιδράσεις των διάφορων ρύπων εμπλουτίζονται συνεχώς και η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει πιο άμεση και συστηματική παρακολούθηση. Η εικόνα που όμως τελικά αποκτιέται είναι ότι αυτό το ξέφρενο ξέσπασμα της τεχνολογίας φαίνεται να κλείνει την πλάστιγγα προς την αρνητική κατεύθυνση, και ένας μεγάλος αριθμός προβλημάτων της ανθρώπινης υγείας, κυρίως αναπνευστικά προβλήματα και διάφορες μορφές καρκίνων, αποδίδονται στη μόλυνση του περιβάλλοντος.

Με την καύση του πετρελαίου παράγονται πολλοί ρύποι συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του αζώτου, των οξειδίων του θείου, υδρογονανθράκων, του υδραργύρου και σωματιδίων. Αυτοί οι ρύποι, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας, όπως άσμα, ερεθισμό στους πνεύμονες, βρογχίτιδα, πνευμονία, μειωμένη αντίσταση σε μολύνσεις του αναπνευστικού, ακόμα και πρόωρο θάνατο. Μερικοί αέριοι ρύποι είναι τοξικοί. Παραδείγματα από τοξικούς εναέριους ρύπους περιλαμβάνουν οργανικά πτητικά συστατικά όπως η βενζίνη, έμμονα οργανικά συστατικά όπως η διοξίνη και μέταλλα όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος.

Η εναέρια ρύπανση προκαλεί πολλά προβλήματα στην υγεία και διαφορετικοί ρύποι, μπορούν να οδηγήσουν σε αναπνευστικά προβλήματα, επιδεινούμενες αλλεργίες και δυσμενείς επιδράσεις στο νευρολογικό σύστημα, στην αναπαραγωγή και στην ανάπτυξη. Εντονότερη είναι η επίδραση σε ευάλωτες κατηγορίες όπως τα παιδιά οι ηλικιωμένοι, οι έγκυες, άτομα με προβλήματα στην καρδιά ή στους πνεύμονες και άτομα με εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα. Άτομα που εργάζονται ή γυμνάζονται σε υπαίθριους χώρους δύναται επίσης να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα.

## **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**

Η τοξική δράση του CO σχετίζεται με το αναπνευστικό σύστημα. Ανταγωνίζεται έντονα τη δέσμευση του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη του αίματος, το μεταφορέα δηλαδή του οξυγόνου στους ιστούς ενός οργανισμού, παράγοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη, ένα μόριο που δεν έχει πλέον την ικανότητα δέσμευσης και μεταφοράς οξυγόνου.

## **Πτητικά οργανικά συστατικά (VOCs)**

Τα VOCs στην ατμόσφαιρα, έχουν δυο κύριες επιδράσεις στην υγεία. Μερικοί από αυτούς είναι άμεσα τοξικοί και μπορούν να αντιδράσουν με οξείδια του αζώτου προς σχηματισμό όζοντος. Αυτοί οι επικίνδυνοι εναέριοι ρύποι σχετίζονται με τον καρκίνο καθώς και με δυσμενείς επιδράσεις στο νευρολογικό σύστημα, στην αναπαραγωγή και την ανάπτυξη.

## **Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)**

Οι επιδράσεις των NO<sub>x</sub> στην ανθρώπινη υγεία είναι σοβαρά αρνητικές. Υπάρχουν αποδείξεις για σοβαρή συμμετοχή στην εμφάνιση οξείας βρογχίτιδας σε νήπια και παιδιά προσχολικής ηλικίας. Τέτοια φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί όταν τα επίπεδα του NO<sub>2</sub> κυμαίνονταν, σε 24ωρη βάση, από 118 έως 156 μg/m<sup>3</sup> (0.063 έως 0.083ppm) και για μια περίοδο έκθεσης άνω των 6 μηνών. (Γεντεκάκης 1999)

Τα οξείδια του αζώτου, έχουν πολλαπλούς ρόλους στην επιβλαβή επίδραση της υγείας. Το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), μπορεί να είναι άμεσα τοξικό στους πνεύμονες, ενώ επίσης αντιδρά με τα πτητικά οργανικά συστατικά για το σχηματισμό του όζοντος. Στους πνεύμονες, το NO<sub>2</sub> αντιδρά με το νερό προς σχηματισμό οξέων που καταστρέφουν τον ιστό των πνευμόνων.

## **Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)**

Το 95% των παραγώγων του θείου που προέρχεται από ανθρωπογενείς πηγές είναι με τη μορφή του διοξειδίου του θείου. Οι

τοξικές επιδράσεις του είναι πολλές και διάφορες. Σε υψηλές δόσεις μπορεί να προκαλέσει επιπεφυκίτιδα, νέκρωση του κερατοειδούς, ρινοφαρυγγίτιδα, απώλεια της αίσθησης της γεύσης, λαρυγγικό οίδημα, τραχεΐτιδα, βρογχίτιδα, πόνους στο στήθος, βήχα, δύσπνοια, κυάνωση, πνευμονία, πνευμονικό οίδημα, εμετό, εξάντληση και κάψιμο στο δέρμα. Μετά από έκθεση σε 2-5ppm παρατηρήθηκε ασυνήθιστα σοβαρή βλάβη των πνευμόνων ή μετρίως ισχυρή κρίση άσθματος σε άτομα που δεν είχαν παρεμφερή προβλήματα στο παρελθόν. Συγκεντρώσεις 5-10ppm προκαλούν βρογχικούς σπασμούς. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις (0.5ppm) γίνεται αντιληπτή η δυσάρεστη οσμή του. Συνεχείς εκθέσεις έχουν σαν αποτέλεσμα χρόνιο βήχα και έκκριση βλέννας. Τέλος, διαπιστώθηκε αυξημένο ποσοστό χρόνιων αναπνευστικών συμπτωμάτων στους πληθυσμούς με μεγαλύτερη έκθεση (Δερμιτζάκης 1988).

### **Όζον (O<sub>3</sub>)**

Το όζον κοντά στην επιφάνεια της γης, που είναι το κύριο συστατικό της αιθαλομίχλης είναι διεισδυτικός αέριος ρύπος στις ΗΠΑ. Το όζον σχηματίζεται από πτητικά οργανικά συστατικά και οξειδία του αζώτου. Έκθεση σε ανεβασμένα επίπεδα όζοντος μπορεί να προκαλέσει οξύ βήχα, λαχάνιασμα, πόνο κατά την αναπνοή, ερεθισμό των οφθαλμών και των πνευμόνων και μεγαλύτερη ευαισθησία σε ασθένειες του αναπνευστικού όπως η βρογχίτιδα και η πνευμονία. Μεγάλος αριθμός από μελέτες έχουν δείξει ότι υψηλότερα επίπεδα όζοντος επιδεινώνουν τις κρίσεις άσθματος και συνδέουν τα ανεβασμένα επίπεδα όζοντος με τις αυξανόμενες εισαγωγές στα νοσοκομεία και στα επείγοντα ιατρεία για άσθμα. Πρόσφατη μελέτη με πειραματόζωα, κλινικά υποκείμενα και ανθρώπινους πληθυσμούς έχει αναγνωρίσει μια σορεία από δυσμενείς επιδράσεις στην υγεία του όζοντος σε συνήθη επίπεδα στις ΗΠΑ. Οι επιδράσεις περιλαμβάνουν αυξανόμενα αναπνευστικά συμπτώματα, καταστροφή σε κύτταρα του αναπνευστικού συστήματος, πνευμονικό οίδημα, μειώσεις στην λειτουργία των πνευμόνων, αυξανόμενη ευαισθησία σε μολύνσεις του

αναπνευστικού, αυξανόμενος κίνδυνος νοσοκομειακής περίθαλψης και πρόωρου θανάτου.

### **Μικροσωματιδιακή ύλη**

Βραχυχρόνια ή μακροχρόνια έκθεση σε μικροσωματιδιακούς ρύπους, συνεισφέρει στην εμφάνιση χρόνιων αναπνευστικών προβλημάτων, μπορεί να αυξήσουν το ρίσκο καρδιακής ανακοπής και πρόωρου θανάτου. Μεγάλος αριθμός από μελέτες, έχουν επιδιώξει να ποσοτικοποιήσουν τον αριθμό των θανάτων που μπορούν να αποδοθούν στη μόλυνση από μικροσωματιδιακούς ρύπους. Το Πρόγραμμα Επιστήμης Περιβαλλοντολογικής Μηχανικής στην Σχολή του Χάρβαρντ για την Δημόσια Υγεία συμπέρανε ότι περίπου 4% του ρυθμού θανάτων στις Η.Π.Α μπορεί να αποδοθεί στην αέρια ρύπανση.

Επιπλέον, μία πρόσφατη μελέτη από τους Abt Associates, η οποία αφορούσε τις επιδράσεις της υγείας των μικροσωματιδιακών ρύπων που απελευθερώνονται αποκλειστικά από τις εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας των ΗΠΑ, συμπέρανε ότι κάθε έτος πάνω από 30.000 θάνατοι και περισσότεροι από 60.3000 κρίσεις άσματος αποδίδονται στην μικροσωματιδιακή ρύπανση από αυτές τις πηγές. Η μελέτη που υπογραμμίζει αυτό το συμπέρασμα φανερώνει ότι αυτά τα άτομα, πεθαίνουν μήνες ή και χρόνια νωρίτερα, εξαιτίας της αέριας ρύπανσης.

### **Τοξικοί αέριοι ρύποι**

Άτομα που εκτίθενται σε τοξικούς αέριους ρύποι σε ικανοποιητικές συγκεντρώσεις και διάρκεια, μπορεί να έχουν μια αυξανόμενη πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου ή άλλου σοβαρού προβλήματος συμπεριλαμβανομένου καταστροφής στο ανοσοποιητικό σύστημα, στο νευρολογικό, στο αναπαραγωγικό (μειωμένη γονιμότητα), στην ανάπτυξη και στο αναπνευστικό. Επιπλέον στην έκθεση στα τοξικά αέρια, μερικοί αέριοι ρύποι όπως ο υδράργυρος μπορούν να εναποτίθενται πάνω στο έδαφος ή στις υδάτινες επιφάνειες όπου αρχικά προσλαμβάνονται από τα φυτά, στη συνέχεια από τα ζώα και με

τον τρόπο αυτό σταδιακά μετακινούνται δια μέσου της τροφικής αλυσίδας.

### **Μόλυβδος (Pb)**

Μετά την αναγνώριση της τοξικότητας του μολύβδου στην ανθρώπινη υγεία, οι βιολόγοι μελέτησαν εκτεταμένα τόσο τις επιδράσεις του όσο και τους μηχανισμούς λήψης του από τους ζώντες οργανισμούς. Η τοξική επίδραση τον μολύβδου στην ανθρώπινη υγεία εμφανίζεται στην αρχή σαν μια περιφερειακή νευροπάθεια. Σε ένα μεγάλο αριθμό (~160) περιστατικών δηλητηρίασης από μόλυβδο, παρουσιάστηκε χρόνια νεφρίτιδα σχεδόν σε όλους, παράλυση των κάτω άκρων κατά ποσοστό 78%, ενώ το 9% εκδήλωσε και κάποιου είδους εγκεφαλοπάθεια. Είναι πιθανή και η δράση του ως καρκινογόνου στοιχείου, αν και αυτό έχει διαπιστωθεί μόνο σε πειραματόζωα.

Ο ευκολότερος τρόπος εισόδου του μολύβδου στην κυκλοφορία του αίματος είναι η εισπνοή, εφόσον τα ιόντα του δεν απορροφούνται εύκολα από το έντερο. Παρά ταύτα οι τροφές και το νερό αποτελούν μια σημαντική πορεία εισόδου του μολύβδου προς τον οργανισμό, εφόσον μεγάλες ποσότητες από τις ενώσεις του, σωματιδιακού όντας τύπου, επικάθονται στο έδαφος

### **Υδράργυρος (Hg)**

Σε όλες του τις μορφές ο Hg καταστρέφει το συκώτι και τα νεφρά.

### **Φυσικοί αλλεργιογόνοι παράγοντες**

Φυσικοί αλλεργιογόνοι παράγοντες όπως η γύρη και σπόρια μυκήτων συνεισφέρουν στις αλλεργίες, στο άσθμα και σε άλλες αναπνευστικές συνθήκες.

## **ii) Επιδράσεις στην πανίδα**

Εάν αναλογιστούμε ότι όλοι οι συνηθισμένοι ρύποι έχουν αρνητικά αποτελέσματα στην ευημερία και στη ζωή του ανθρώπου, είναι απλό να υποθέσουμε ότι θα έχουν παρόμοια επίδραση και στα ζώα που έχουν παραπλήσια φυσιολογία με τον άνθρωπο. Αν και δεν υπάρχει αφθονία δεδομένων για την επιβεβαίωση των επιδράσεων από το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα και τους σωματιδιακούς ρύπους στη ζωή ειδικά των κατοικίδιων ζώων, πρέπει να δεχτούμε αξιωματικά ότι τα ζώα που ζουν σε πυκνοκατοικημένες περιοχές έχουν πιο σύντομη ζωή από αυτά που ζουν μακριά από βιομηχανικές και πυκνοκατοικημένες περιοχές της Γης. Η ελάττωση του πληθυσμού ή ακόμα και αυτή η πλήρης εξαφάνιση διαφόρων άγριων ζώων και πουλιών, συνδέονται πολλές φορές με το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Ίσως η πιο επιβλαβής δραστηριότητα του ανθρώπου που σχετίζεται άμεσα με την επιβίωση των ζώων είναι η αδιάκριτη χρήση των θανατηφόρων εντομοκτόνων. Και αν ακόμη οι αέριοι ρύποι δεν απορροφηθούν άμεσα από τον δέκτη, εισέρχονται στον οργανισμό διαμέσου της τροφικής αλυσίδας, εφόσον αυτοί θα επικαθίσουν στη βλάστηση ή θα απορροφηθούν από αυτήν. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση μολύνει τους υδάτινους ορίζοντες μεταφέροντας έτσι τους ρύπους σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από τις πηγές της.

## **iii) Επιδράσεις στη χλωρίδα**

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα δεδομένα έρχονται να αποδείξουν ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει τη βλάστηση, τουλάχιστον στην ίδια έκταση που επηρεάζει τη ζωή των ανθρώπων και των ζώων. Το υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α εκτιμά ότι οι απώλειες γεωργικής παραγωγής εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πλησιάζουν τα 500.000.000 δολάρια το χρόνο. Η ατμοσφαιρική ρύπανση επιδρά στα φυτά με δύο τρόπους. Είτε άμεσα, υπό την επίδραση κάποιου σοβαρού επεισοδίου ρύπανσης, είτε



μακροπρόθεσμα εξαιτίας μακρόχρονης έκθεσης της χλωρίδας σε αυξημένα επίπεδα ρύπων. Η σταδιακή αλλαγή των κλιματολογικών παραγόντων λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης επιφέρει επίσης τις δικές της επιδράσεις όπως μετατόπιση των εύκρατων ζωνών, δημιουργία παρατεταμένης ξηρασίας ή έντονων καταστροφικών βροχοπτώσεων, τυφώνων κτλ.

Τα φυτά επηρεάζονται τόσο από πρωτογενείς ρύπους (όπως αυτοί εκπέμπονται από την πηγή), όσο και από δευτερογενείς ρύπους (που προκύπτουν από διάφορες χημικές μεταβολές των πρωτογενών). Βασικοί πρωτογενείς ρύποι που σχετίζονται με σοβαρές επιδράσεις στη χλωρίδα είναι το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το υδροφθόριο (HF). Οι κυριότεροι δευτερογενείς ρύποι είναι το όζον (O<sub>3</sub>) και το νιτρικό υπεροξειδίο του αζώτου, CH<sub>3</sub>COO<sub>2</sub>NO<sub>2</sub> (PAN).

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν πρέπει να το "βλέπουμε" μόνο κοντά στις πηγές και ξεκομμένο από μετεωρολογικά φαινόμενα τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στην εξάπλωση ή την επικίνδυνη υπερσυγκέντρωση των ρύπων. Είναι γνωστές οι καταστροφές δασών που προκλήθηκαν από όξινη βροχή, πολύ μακριά από την πηγή των ρύπων.

### **Υδρογονάνθρακες (HCs)**

Μια από τις πτητικές οργανικές ενώσεις που έχει μελετηθεί περισσότερο είναι το αιθυλένιο (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>). Συγκέντρωση αιθυλενίου της τάξης των 2ppm για 24 ώρες στην ορχιδέα *Cattleya sp.* προκάλεσε τραυματισμό στα σέπαλα, των 10ppm για 48 ώρες σε μηλιά προκάλεσε παραγωγή εξογκωμάτων στα κλαδιά, των 20ppm για 24 ώρες στην ορχιδέα *Cattleya sp.* παρεμπόδισε την ανάπτυξη των οφθαλμών, των 30ppm για 48 ώρες στο γαρύφαλλο παρεμπόδισε την άνθιση, των 100ppm για 6 ώρες στο γαρύφαλλο προκάλεσε κλείσιμο των ανθέων, των 100ppm για 8 ώρες σε πιπεριά και τομάτα αποκοπή των ανθοφόρων οφθαλμών, των 25 ppm για 46 ημέρες στο αγγούρι προκάλεσε μειωμένη παραγωγή ανθέων και τέλος 25ppm για 50 ημέρες

στη σόγια και 44μέρες στο φασόλι προκάλεσε μειωμένη παραγωγή ανθέων και καρπών (Collins & Bell 2002).

### **Οξείδια του αζώτου και αμμωνία (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>)**

Η εμφάνιση φυτοτοξικότητας συμβαίνει παρόλα αυτά ακαριαία καθώς αυξάνεται η δόση, και η φύση της καμπύλης δόσης-αντίδρασης επηρεάζεται σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Mansfield 1999). Τώρα γνωρίζουμε ότι υπάρχουν ακόμη μεγαλύτερες δυσκολίες στην παρουσίαση αξιόπιστων δεδομένων δόσης-αντίδρασης για τα NO<sub>x</sub> από ότι για το SO<sub>2</sub> γιατί οι επιδράσεις του NO και του NO<sub>2</sub> μπορεί να είναι θεμελιακά διαφορετικές σε επίπεδο κυττάρου. Το NO<sub>2</sub> είναι λιγότερο τοξικό από ότι το SO<sub>2</sub> και το O<sub>3</sub>. Στην πραγματικότητα χαμηλές δόσεις NO<sub>2</sub> μερικές φορές παρέχουν έναν ευεργετικό εμπλουτισμό αζώτου για τα φυτά, ειδικά σε εδάφη φτωχά σε άζωτο. Παρόλα αυτά, οι οικολογικές επιπτώσεις της επιπλέον εναπόθεσης αζώτου (NO<sub>x</sub> και NH<sub>3</sub>), είναι πολύπλοκες και σπάνια θεωρούνται μακροπρόθεσμα ευεργετικές.

Επίσης, έχουν αναφερθεί αρνητικές επιδράσεις στα φυτά - π.χ. πτώση των φύλλων και μείωση της παραγωγής πορτοκαλιών, όταν τα επίπεδα NO<sub>2</sub> ήταν 470μg/m<sup>3</sup> (0.25ppm) για μια περίοδο διάρκειας άνω των 8 μηνών (Γεντεκάκης 1999).

Μία από τις πιο εμφανείς επιδράσεις είναι η συσσώρευση των αζωτούχων συστατικών, καταλήγοντας σε αυξανόμενους κύκλους αζώτου, διαθεσιμότητα αζώτου και αυξημένη φυτική παραγωγή γιατί πολλά φυσικά εδαφικά οικοσυστήματα έχουν μικρές ποσότητες αζώτου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανταγωνιστικό αποκλεισμό χαρακτηριστικών ειδών από περισσότερο νιτρόφιλα φυτά, ιδιαίτερα κάτω από κακές θρεπτικές συνθήκες. Σε πολύ φτωχά σε θρεπτικά συστατικά εδάφη, η ποικιλομορφία των φυτών μερικές φορές αυξάνεται σαν αποτέλεσμα της εισβολής ειδών τα οποία δεν ήταν αυθεντικά στις αρχικές δύσκολες συνθήκες. Σε αυτή την περίπτωση, παρ' όλα αυτά, η εγγενής βλάστηση από αυτά τα περιβάλλοντα εξαφανίζεται.

Μακροχρόνια εναπόθεση αυξανόμενου ατμοσφαιρικού αζώτου μπορεί τελικά να οδηγήσει σε μία μετατροπή της φυτικής παραγωγής από αζωτοπεριορισμένη σε φωσφοροπεριορισμένη. Αυτή η μετατροπή έχει επιπτώσεις στην παραγωγικότητα του οικοσυστήματος και στην εσωτερική ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών, όπως συμβαίνει στα φωσφοροπεριορισμένα οικοσυστήματα κάτω από εμπλουτισμό με άζωτο. Μεγάλες εισαγωγές αζώτου μπορούν επίσης να προκαλέσουν οξείδωση του εδάφους με αβαθή ορίζοντα και αυξημένες συγκεντρώσεις τοξικών μετάλλων όπως το αλουμίνιο, ειδικά μετά από νιτροποίηση του αμμωνίου σε ασθενή περιβάλλοντα. Σε αυτή την περίπτωση, τα φυτικά είδη που είναι ανθεκτικά στα όξινα εδάφη επικρατούν, παράλληλα με την εξαφάνιση διαφόρων φυτών που κινδυνεύουν, τυπικά των ενδιάμεσων τιμών pH.

Επιπρόσθετα, η σχετική αλλαγή της ισορροπίας του αμμωνίου και των νιτρικών μπορεί επίσης να επηρεάσει τη λειτουργία πολλών φυτικών ειδών. Σε αρκετά οικοσυστήματα οι επιδράσεις της αυξημένης διαθεσιμότητας αζώτου και της οξείδωσης του εδάφους έχουν συμβεί ταυτόχρονα και επομένως είναι δύσκολο να διαχωριστούν.

Τέλος, έχει αποδειχτεί ότι σε μερικά οικοσυστήματα (ξηρά ρείκια, ρείκια υψιπέδων) η ευαισθησία της βλάστησης σε δευτερεύοντες παράγοντες καταπόνησης και σε παράγοντες διατάραξης (παθογόνα και χορτοφάγα ζώα-χειμερινοί τραυματισμοί και ξηρασία), έχουν επηρεαστεί από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους αζώτου αν και τα δεδομένα λείπουν για τα περισσότερα οικοσυστήματα (Bobbink & Lamers 2002).

## **Ενώσεις θείου και όξινη βροχή**

Το θείο είναι ένα απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο για τη φυσιολογική αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Η κύρια πηγή προέλευσης του θείου για τα φυτά είναι το έδαφος με την μορφή της θειώδους ρίζας ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), η οποία προσλαμβάνεται από τις ρίζες και μεταφέρεται στα φύλλα όπου το μεγαλύτερο μέρος αφομοιώνεται σε συστατικά οργανικού S

(Marschner 1995). Μια σημαντική δευτερεύουσα πηγή S για τα φυτά είναι από την ατμόσφαιρα (Dekok 1990).

Ο τραυματισμός των φυτών από διοξείδιο του θείου παρατηρείται πρώτα στο φύλλωμα το οποίο είναι περισσότερο ευαίσθητο στην έκθεση  $\text{SO}_2$  απ' ό,τι ο βλαστός, οι οφθαλμοί και τα αναπαραγωγικά μέρη. Το ποσοστό στο οποίο το φύλλωμα αντιδρά στο  $\text{SO}_2$  καθορίζεται από βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες καθώς και από τη συγκέντρωση, τη διάρκεια και τη συχνότητα της έκθεσης στο  $\text{SO}_2$ . Ο τραυματισμός από  $\text{SO}_2$  μπορεί να είναι οξυς ή χρόνιος (Legge & Krupa 2002) Μια οξεία έκθεση στο  $\text{SO}_2$  περιλαμβάνει μια μικρής διάρκειας έκθεση στο  $\text{SO}_2$  από λίγα λεπτά μέχρι λίγες ώρες ικανοποιητικής συγκέντρωσης, ώστε να καταλήξει στη νέκρωση του φυλλώματος μέσα σε λίγες ώρες ή μέρες. Η χρόνια έκθεση στο  $\text{SO}_2$  περιλαμβάνει έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις  $\text{SO}_2$  καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής με τυχαία μέγιστα επίπεδα (Krupa 1996)

Τα κλασσικά συμπτώματα τραυματισμού από  $\text{SO}_2$  στα φυτά είναι γνωστά ότι αποτελούνται από κιτρίνισμα των φύλλων και τελικά νέκρωση σε πολύ σοβαρές περιπτώσεις ευαίσθητων φυτών, λόγω αναστολής της φωτοσύνθεσης εξαιτίας της καταστροφής της χλωροφύλλης.

Το  $\text{SO}_2$  εισέρχεται στα φύλλα κυρίως διαμέσου των στοματίων. Μέσα στο φύλλο, το  $\text{SO}_2$  διαλύεται ταχέως στην υδάτινη φάση του κυτταρικού τοιχώματος (αποπλάστη), για να σχηματίσει όξινα θειικά ( $\text{HSO}_3^-$ ) και θειικά ιόντα ( $\text{SO}_3^-$ ). Ταχεία μετατροπή των τοξικών  $\text{SO}_3^-$  σε μη τοξικά  $\text{SO}_4^-$  μπορεί να επιτευχθούν στον αποπλάστη (Pfanzen *et al.* 1990) οδηγώντας σε μια αυξανόμενη ροή S μέσα στα κύτταρα του φύλλου, διαμέσου της διαπνοής (Wolfenden *et al.* 1991, Renneneberg & Herschbach 1996). Η παρουσία των  $\text{SO}_3^-$  είναι απαγορευτική για τη δραστηριότητα της υπεροξάσης και η οξειδωση των  $\text{SO}_3^-$  ανταγωνίζεται την οξειδωση των συστατικών των φαινολών στο σχηματισμό της λιγνίνης. Οι Renneneberg και Polle (1994), παρόλα αυτά υπολόγισαν ότι η ικανότητα των ενζυματικών υγρών του αποπλάστη να οξειδώσουν τα

$\text{SO}_3^-$  είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από τη στοματική εισροή του  $\text{SO}_2$  μέσα στο φύλλο στα 30ppb ( $80\mu\text{gr m}^{-3}$ ).

Ο Materna (1966), ήταν ο πρώτος που παρατήρησε ότι τα φυτά που εκτίθενται στο  $\text{SO}_2$  επαναπελευθερώνουν μέρος από το προσροφημένο θείο, κυρίως σαν  $\text{H}_2\text{S}$ . Αυτό φαίνεται να είναι ένα γενικό φαινόμενο. Ανάμεσα στα ανώτερα φυτά 7–15% του απορροφημένου  $\text{SO}_2$  επαναπελευθερώνεται (Rennenberg 1991). Η μετατροπή των  $\text{SO}_4^{-2}$  και  $\text{SO}_3^-$  σε  $\text{H}_2\text{S}$  επιτυγχάνεται δια μέσω του φωτός και θεωρείται πως συμβαίνει στο χλωροπλάστη. Αυτή η συνολική διαδικασία της απώλειας του θείου στην ατμόσφαιρα μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα μέσο για το φυτό για να μειώσει το περίσσειμα θείου και να ρυθμίσει τη θρέψη του σε θείο δια μέσω ομοιοστατικού ρυθμισμού της συγκέντρωσης κυστεΐνης στο κύτταρο (Rennenberg & Herschbach 1996).

Οι επιδράσεις του  $\text{SO}_2$  στα στομάτια είναι αρκετά πολύπλοκες για να επιτρέψουν τη διαπίστωση ικανοποιητικών αποτελεσμάτων, αλλά γενικά φαίνεται ότι βραχυχρόνιες εκθέσεις, ειδικά σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 50ppb ( $<134\mu\text{gr/m}^3$ ), συχνά προκαλούν μεγαλύτερο στοματικό άνοιγμα, ενώ μακροχρόνιες εκθέσεις με υψηλότερες συγκεντρώσεις συνήθως προκαλούν μερικό στοματικό κλείσιμο. Αυτοί οι τύποι έχουν σημαντικές επιπτώσεις, πρώτον δια μέσω της αύξησης ή αναστολής της πρόσληψης του φωτοσυνθετικού  $\text{CO}_2$  και της απώλειας νερού μέσω της διαπνοής. Δεύτερον, θα υπάρξει μια μεταβολή στην ποσότητα ή την αναλογία στην οποία το  $\text{CO}_2$  εισέρχεται στα φυτά και φτάνει στα μέρη μεταβολισμού στον υποκείμενο ιστό του μεσόφυλλου (Black 1982). Περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. αβιοτικοί παράγοντες όπως το φως, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας, κτλ) καθώς και η παρουσία διαφόρων χημικών συστατικών στην ατμόσφαιρα (π.χ. η συγκέντρωση του  $\text{CO}_2$ ) κατά τη διάρκεια της έκθεσης μπορεί επίσης να τροποποιήσει την αγωγιμότητα των στοματίων (Mansfield 1998). Γενικά, οξείες ή χρόνιες εκθέσεις στο  $\text{SO}_2$  μπορούν να καταλήξουν σε μείωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης (Winner *et al.* 1985).

Η όξινη βροχή δρα πάνω στους ζωντανούς οργανισμούς ποικιλοτρόπως. Πρωταρχικά, δρα απευθείας πάνω στα φύλλα, καταστρέφοντας το εξωτερικό προστατευτικό τους κάλυμμα με αποτέλεσμα να εισχωρούν μέσα από τα στομάτια τοξικά συστατικά. Μετέπειτα διαλύει και παρασύρει χρήσιμα συστατικά για την ανάπτυξη του φυτού, όπως είναι το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το κάλιο, με αποτέλεσμα να μην μπορεί το φυτό να τα προσλάβει σε επαρκείς ποσότητες. Το ασβέστιο π.χ. σχετίζεται με το σχηματισμό των κυττάρων και με διεργασίες που αφορούν τη μεταφορά σακχάρων, νερού και θρεπτικών συστατικών από τις ρίζες στα φύλλα. Το μαγνήσιο επίσης είναι σημαντικό στοιχείο για τη φωτοσύνθεση και τη σύνθεση του DNA, και είναι επίσης απαραίτητο συστατικό των σπόρων.

### **Φθόριο (F)**

Ο τύπος των διαφυλλικών συμπτωμάτων που εμφανίζονται από την έκθεση στο υδροφθόριο εξαρτάται κυρίως από τα είδη των φυτών και δευτερεύοντως από τη συγκέντρωση του υδροφθορίου και τη διάρκεια της έκθεσης (Guderian 1977, Treshow 1984, Weinstein 1998).

Σε κωνοφόρα, όπως το πεύκο (*Pinus sp.*), το έλατο (*Abies sp.*), η ερυθρελάτη (*Picea sp.*) και το αγριόπευκο (*Larix sp.*), τα συμπτώματα μπορεί να εμφανισθούν πρώτα σαν μια χλώρωση της άκρης της βελόνας. Με τον καιρό ή με τη δριμύτητα των συμπτωμάτων, οι ιστοί της κορυφής νεκρώνονται – συνήθως με ένα καφέ ή κοκκινοκαφέ χρώμα – και διαχωρίζεται από τον υγιή ιστό από μια σκουρότερη ζώνη του νεκρωτικού ιστού. Η εμφάνιση δυο ή περισσότερων στενών, σκούρων ζωνών μέσα στο νεκρωτικό ιστό είναι μια ένδειξη ότι δύο ή περισσότερες εκθέσεις έχουν συμβεί. Στα δικότυλα (πλατύφυλλα) είδη, τα συμπτώματα μπορεί να συμβούν αρχικά σαν μια χλώρωση στην άκρη ή κατά μήκος του περιγράμματος του φύλλου. Σε αυξανόμενη σοβαρότητα, η χλώρωση γίνεται περισσότερο έντονη και η χλωρωτική περιοχή επεκτείνεται κατά μήκος των περιγραμμάτων και στη μέση κατά μήκος του κεντρικού νεύρου. Σε εντονότερη επίδραση μόνο το

κεντρικό νεύρο και οι κύριες νευρώσεις παραμένουν πράσινα (McCune & Weinstein 2002).

#### **iv) Επιδράσεις στο κλίμα**

Ίσως ένα από τα πλέον ενδιαφέροντα θέματα που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η επίδρασή της στις κλιματολογικές συνθήκες. Μακροχρόνιες προσεκτικές παρατηρήσεις και μετρήσεις αποδεικνύουν το γεγονός εκτεταμένων επιδράσεων. Η βροχή, το χαλάζι και το χιόνι είναι αποτέλεσμα υγροποίησης και κρυστάλλωσης υδρατμών πάνω σε πυρήνες μικροσωματιδιακής ύλης. Αυξανόμενη λοιπόν της μόλυνσης του αέρα από σωματιδιακούς ρύπους, κυρίως στις αστικές περιοχές, προκαλείται σημαντική αύξηση των βροχοπτώσεων στις περιοχές αυτές. Έχει αποδειχθεί ότι η υπερβολική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με σωματιδιακή ύλη μπορεί να προκαλέσει επίσης ακριβώς τα αντίθετα αποτελέσματα. Φαινόμενα λειψυδρίας, πυκνές ομίχλες αλλά και βίαιες καταιγίδες καθώς και θύελλες είναι άμεσα συνδεδεμένες σε πολλές περιοχές με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Σε αστικές περιοχές μια παρατηρούμενη σημαντική αύξηση της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας (μέχρι και 5 βαθμούς!) έχει αποδοθεί στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Το νέφος των ρύπων δρα σαν "κουβέρτα" πάνω από μια πόλη. Παράλληλα έχουμε και μια σοβαρή μείωση της ηλιοφάνειας σε αυτές τις περιοχές. Όπως προαναφέρθηκε, ένα από τα πιο εκτεταμένα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε επίπεδο πλανήτη είναι και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# Τροποσφαιρικό όζον: Σχηματισμός και επιδράσεις στη βλάστηση

### Εισαγωγή

Το όζον είναι παρόν τόσο στην τροπόσφαιρα, όσο και στην στρατόσφαιρα. Το τροποσφαιρικό όζον παράγεται κυρίως από φωτοχημικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν πρόδρομες μορφές οι οποίες παράγονται από φυσικές διαδικασίες και σε μεγαλύτερο βαθμό από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Υπάρχουν ενδείξεις που φανερώνουν μια ροπή προς αύξηση της



συγκέντρωσης του Εικ.1 Τροποσφαιρικό και στρατοσφαιρικό όζον.

τροποσφαιρικού

όζοντος. Παρόλα αυτά το τροποσφαιρικό όζον είναι γνωστό πως φτάνει την τιμή των 10% της κάθετης στήλης  $O_3$  πάνω από την επιφάνεια της γης. Το στρατοσφαιρικό υπολογίζεται στο επιπλέον 90% της στήλης  $O_3$ .

Στο στρατοσφαιρικό όζον υπάρχουν απώλειες εξαιτίας της αύξησης των ρύπων που καταστρέφουν το όζον οι οποίοι παράγονται τόσο από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όσο και από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Απώλειες στο στρατοσφαιρικό όζον οδηγούν σε διαφοροποιήσεις της παρουσίας της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) στην επιφάνεια της γης.

Αντίθετα, το τροποσφαιρικό όζον θεωρείται υψηλά τοξικό για τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο. Ειδικότερα, συγκεκριμένες εκθέσεις των



φυτών στο τροποσφαιρικό  $O_3$  μπορεί να καταλήξουν τόσο σε οξείες (με ορατά συμπτώματα) όσο και σε χρόνιες (αλλαγές στην αύξηση, απόδοση ή παραγωγικότητα και ποιότητα) επιπτώσεις. Οι χρόνιες επιπτώσεις παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον σε ότι αφορά τόσο στις καλλιέργειες όσο και στα δάση.

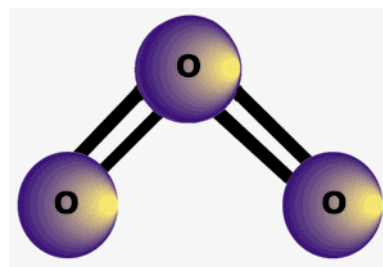
Ένας αριθμός πειραματικών τεχνικών είναι διαθέσιμος για την εκτίμηση των χρόνιων επιπτώσεων του τροποσφαιρικού  $O_3$  στα φυτά. Υπάρχουν περιορισμοί στη χρήση αυτών των τεχνικών. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα αυτών των τεχνικών είναι έγκυρα εφόσον τους δοθεί η σωστή ερμηνεία.

Ανάμεσα στις τεχνικές εκτίμησης στον αγρό, οι θάλαμοι με ανοικτή οροφή είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για εκτίμηση των χρόνιων επιδράσεων του  $O_3$  στις καλλιέργειες παρόλο που και αυτή η τεχνική έχει συγκεκριμένους περιορισμούς. Οξείες επιδράσεις μπορούν να εκτιμηθούν πιο εύκολα μέσω της χρήσης φυτών βιολογικών δεικτών. Τα αριθμητικά μοντέλα τέτοιων επιδράσεων είναι επίσης λιγότερο πολύπλοκα από την καθιέρωση αριθμητικών σχέσεων αιτιών και επιδράσεων για χρόνιες επιπτώσεις.

Μερικές φορές οι ταυτόχρονες επιπτώσεις των υπόλοιπων ρύπων και οι προσβολές από παθογόνα και έντομα συγχέονται με τις οξείες ή χρόνιες αντιδράσεις των φυτών στο  $O_3$ . Οι τελικές σύνθετες αλληλεπιδράσεις και οι συνδυασμένες επιδράσεις στα φυτά έχουν ελάχιστα κατανοηθεί. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να απευθύνεται σε αυτά τα θέματα. Τελικά, η υγεία των φυτών είναι το αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεών τους με το φυσικό και χημικό τους περιβάλλον, τα παθογόνα και τα έντομα.

## **Η δημιουργία του όζοντος στην τροπόσφαιρα**

Οι συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος σε όλη την επιφάνεια της γης επηρεάζονται από φυσικές διαδικασίες και από



Εικ.2 Μόριο όζοντος.

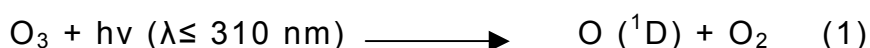
την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι συγκεντρώσεις του όζοντος που παρατηρούνται σ' ένα αριθμό τοποθεσιών σε όλο τον κόσμο φθάνουν κατά μέσο όρο ωριαίο ημερήσιο μέγιστο περίπου 20-60ppb (Singh *et al.* 1978). Ο ρύπος συχνά μεταφέρεται σε περιοχές αρκετά απομακρυσμένες από τον τόπο δημιουργίας του (Kouvarakis *et al.* 2000). Συχνά μακροπρόθεσμα δεδομένα σε τέτοια μέρη τυπικά δείχνουν έναν ετήσιο κύκλο με ένα μέγιστο αργά την άνοιξη ή νωρίς το



Εικ.3 Δημιουργία τροποσφαιρικού όζοντος

καλοκαίρι.

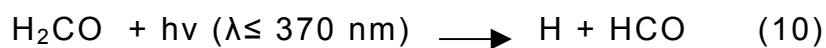
Σύμφωνα με τον Demerjian (1986) η φωτοχημεία της καθαρής τροπόσφαιρας αναπτύσσεται γύρω από μια αλυσιδωτή ακολουθία αντιδράσεων στην οποία εμπλέκονται τα  $NO_x$ ,  $CH_4$  (μεθάνιο),  $CO$  και  $O_3$ . Αυτή η ακολουθία αντιδράσεων αρχίζει με τον σχηματισμό ριζών υδροξυλίου ( $HO$ ) από την αλληλεπίδραση του οξυγόνου  $O(^1D)$ , το προϊόν της φωτόλυσης του όζοντος, στο μικρό μήκος τμήμα του ηλιακού φάσματος, με νερό



Το HO που παράγεται αντιδρά με το CH<sub>4</sub> και CO παρόντα στην καθαρή τροπόσφαιρα έχοντας ως αποτέλεσμα την παραγωγή ριζών υπεροξειδίου



Οι ρίζες υπεροξειδίου με την σειρά τους συμμετέχουν σε μια αλυσιδωτή – αναπαραγωγική συνέχεια, που μετατρέπει το NO σε NO<sub>2</sub> και κατά την διαδικασία αυτή παράγει επιπλέον είδη HO και H<sub>2</sub>O.



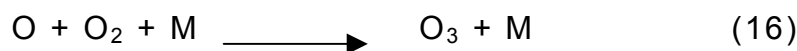
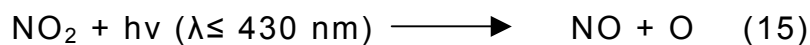
Τα τελικά βήματα της κύριας αλυσίδας περιλαμβάνουν :





Σύμφωνα με τον Demerjian (1986), ο ρόλος που παίζει η χημεία της καθαρής τροπόσφαιρας στον έλεγχο της διαθεσιμότητας του τροποσφαιρικού όζοντος υπήρξε αντικείμενο σοβαρής συζήτησης. Υπολογισμοί μοντέλων δείχνουν ότι οι φωτοχημικές διαδικασίες μπορούν να παράγουν και να καταστρέψουν το τροποσφαιρικό όζον με ρυθμούς αντίστοιχους του στρατοσφαιρικού.

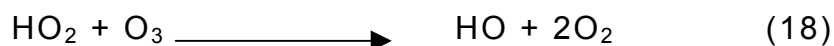
Εναλλακτικά,



Γενικά, οι αντιδράσεις από (15) μέχρι (17) καθορίζουν τις συγκεντρώσεις του όζοντος που είναι παρόν στην ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια του ηλιακού φωτός σε οποιαδήποτε στιγμή. Σε μια πρώτη προσέγγιση, η σχέση σταθερής κατάστασης σύμφωνα με τον Leighton (1961) είναι :

$$(\text{NO}_2)K_{15}/ (\text{NO})K_{47} = \text{O}_3$$

Το όζον της τροπόσφαιρας μπορεί να καταστραφεί ως εξής:



Για να εξηγήσει τη συμπεριφορά του όζοντος σε απομακρυσμένες περιοχές οι Singh *et al.* (1977, 1978) ανέπτυξαν μια σχηματική αναπαράσταση των μεταβολών στη συγκέντρωση του όζοντος ανά εποχή. Φυσικές επιδράσεις του όζοντος αναμένονται να βρεθούν σ' ένα μέγιστο νωρίς την άνοιξη. Οι διαδικασίες αλλαγής της συγκέντρωσης του όζοντος συμβαίνουν εξαιτίας τοπικής παραγωγής όζοντος και μεταφοράς του από τα αστικά κέντρα, ως αποτέλεσμα φωτοχημικών φαινομένων.

Οι μεταβολές που παρουσιάζονται σαν αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας στον φωτοχημικό κύκλο οξειδωσης μέσα στην ατμόσφαιρα είναι κυρίως εξαιτίας δύο ομάδων ενώσεων, του πτητικού οργανικού άνθρακα (VOC) και των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ). Η αντίδραση ελεύθερων ριζών στο αρχίζει από μια επίλεκτη ομάδα ενώσεων οι οποίες στο μεγαλύτερο μέρος τους ενεργοποιούνται από το ηλιακό φως. Η φορμαλδεΰδη ( $\text{HCHO}$ ) και το νιτρώδες οξύ ( $\text{HONO}$ ) συγκεκριμένα, πιθανά είναι οι αποδέκτες ελεύθερων ριζών για την έναρξη της αλυσίδας των χημικών αντιδράσεων κατά τη διάρκεια της πολύ πρωινής περιόδου ανατολής του ήλιου.

Μετά την αρχική επίθεση των ελεύθερων ριζών τα VOC αποσυντίθενται διαμέσου μονοπατιών που καταλήγουν στην παραγωγή ριζών υπεροξειδίου ( $\text{HO}_2$ ,  $\text{RO}_2$ ,  $\text{R}^1\text{O}_2$  κ.α) και εν μέρει οξειδωμένων προϊόντων τα οποία για τα ίδια μπορούν να είναι φωτοενεργές ρίζες παραγωγής ενώσεων.

Οι ρίζες υπεροξειδίου αντιδρούν με το  $\text{NO}$  μετατρέποντάς το σε  $\text{NO}_2$  και κατά τη διαδικασία παράγουν υδροξύ- και αλκοξύ- ρίζες ( $\text{OH}$ ,  $\text{RO}$ ,  $\text{R}^1\text{O}$  κ.ά.). Οι αλκοξύ- ρίζες μπορούν να οξειδωθούν περαιτέρω σχηματίζοντας επιπλέον ρίζες υπεροξειδίου και επιμέρους

οξειδωμένα προϊόντα ως εκ τούτου ολοκληρώνοντας την εσωτερική μαιανδρική αλυσίδα αντίδρασης ή μπορεί να επιτεθούν, καθώς θα είναι το κύριο μονοπάτι για τις ρίζες υδροξυλίου. Η παρουσία VOC στη μολυσμένη ατμόσφαιρα ως εκ τούτου ολοκληρώνει το εξωτερικό παρακλάδι της αλυσιδωτής αντίδρασης.

### **Οι επιδράσεις του όζοντος στη βλάστηση**

Το 1944, για πρώτη φορά, νεκρωτικές κηλίδες από άγνωστο αίτιο παρατηρήθηκαν στη βλάστηση στην περιοχή του Λος Άντζελες. Οι Middelton *et al.* (1950) ανέφεραν ότι αυτός ο τραυματισμός προκλήθηκε από νέφος ή μόλυνση του αέρα. Το 1952 στο Connecticut αναφέρθηκαν νεκρωτικές κηλίδες σε φύλλα καπνού (Rich *et al.* 1969). Αργότερα με πιθανή αιτία το όζον της τροπόσφαιρας οι Richards *et al.* (1958) ανέφεραν τη δημιουργία νεκρωτικών κηλίδων σε φύλλα αμπελιού και οι Heggstad & Middleton (1959) σε φύλλα καπνού. Για πρώτη φορά στο Λος Άντζελες χρησιμοποιήθηκαν ενεργοποιημένα φίλτρα από ξυλοκάρβουνο για να προστατέψουν τα φυτά (Darley & Middleton 1961) και να παρεμποδίσουν τις κηλίδες όζοντος και τα πρώιμα σημεία γήρανσης των φύλλων καπνού (Menser *et al.* 1966).

Ενώ ερευνούσαν τις νεκρωτικές κηλίδες σε φύλλα καπνού παρατηρήθηκε ότι υπήρχε σημαντική διαφοροποίηση στην αντίδραση της ποικιλίας του περιτυλίγματος του πούρου στο όζον. Μια συνηθισμένη καλλιεργούμενη ποικιλία ήταν τόσο ευαίσθητη στο όζον που αποσύρθηκε από την παραγωγή. Η ποικιλία Β παρόλα αυτά ήταν αρκετά ανθεκτική στο όζον. Ένα νέο υπερευαίσθητο στέλεχος (Bel -W<sub>3</sub>) επιλέχτηκε από μια ευαίσθητη ποικιλία CCC-W<sub>3</sub> (Heggstad & Menser 1962). Ο καπνός Bel-W<sub>3</sub> από τότε και μέχρι σχετικά πρόσφατα ο παγκοσμίως περισσότερο χρησιμοποιούμενος βιολογικός δείκτης για το περιβαλλοντικό όζον (Manning & Feder 1980). Από τις πρώτες έρευνες με την χρήση της ποικιλίας καπνού Bel-W<sub>3</sub> έγινε εμφανές ότι το όζον είναι ο περισσότερο σημαντικός φυτοτοξικός αέριος ρύπος στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Σε ένα μεγάλο αριθμό χωρών σε όλο τον κόσμο, όπως η Αυστραλία, ο Καναδάς, η Ιαπωνία, η Ινδία, η

Ολλανδία, η Μεγάλη Βρετανία, η Γερμανία με τη χρήση ευαίσθητων φυτών ή φυτών δεικτών έχει αποδειχτεί ότι το όζον είναι ο πλέον επικίνδυνος ατμοσφαιρικός ρύπος για την ανάπτυξη των φυτών και την παρακμή των δασών. (Kreuse *et al.* 1983, Ashmore *et al.* 1985, de Bauer *et al.* 1985, Prinz 1987, Kreuse 1988, Ashmore 2005).

Το όζον εισέρχεται στο εσωτερικό των φύλλων των φυτών διαμέσου των ανοιχτών στομάτων κατά την διάρκεια των φυσιολογικών διαδικασιών της ανταλλαγής αερίων μεταξύ του φύλλου και του περιβάλλοντος (Rich *et al.* 1970).

Παράγοντες όπως το μέγεθος των ενδοκυττάρων αέριων χώρων του φύλλου και η εκτιθέμενη επιφάνεια των κυττάρων του μεσόφυλλου δύνανται να παίξουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των ποικίλων αντιδράσεων στο όζον τόσο των διαφορετικών ειδών, όσο και των φύλλων που βρίσκονται σε διαφορετικό στάδιο ανάπτυξης. Υπάρχουν ενδείξεις που συνδέουν την ευαισθησία στο όζον με τις διαφορές στον ενδοκυττάριο χώρο αερίων του φύλλου. Επιπρόσθετα, τα λεπτότερα φύλλα γενικά βρίσκονται να είναι πιο ευαίσθητα στο όζον από ότι τα παχύτερα, πιθανώς εξαιτίας των διαφορών στο μήκος της διαδικασίας διάχυσης στην αέρια φάση.

Μόλις εισέλθει το όζον στα φύλλα, αλλάζει την ακεραιότητα των κυττάρων, πιθανότατα λόγω των αλλαγών στη διαπερατότητα της πρωτοπλασματικής μεμβράνης (Fungi & Lee 1985). Αν τα κύτταρα καταρρεύσουν και πεθάνουν, τότε εμφανίζονται στρώματα στις επιφάνειες του φύλλου. Για τα πλατύφυλλα φυτά με περιφρακτικά κύτταρα μεσόφυλλου, τα συμπτώματα θα εμφανιστούν πρώτα στην πάνω επιφάνεια των φύλλων. Τα κωνοφόρα φυτά με αδιαφοροποίητα κύτταρα μεσόφυλλου μπορεί να εμφανίσουν συμπτώματα σε οποιαδήποτε απ' τις δυο φυλλικές επιφάνειες, καθώς απ' το όζον προσβάλλονται μοναχικά κύτταρα κοντά στα στομάτια (Lacasse & Treshow 1976).

Σε πολλά φυτά, ο τραυματισμός από όζον περιορίζεται στις άκρες των νεότερων φύλλων, ενώ γίνεται περισσότερο εκτεταμένος και εξαπλώνεται καθώς το φύλλο ωριμάζει. Περισσότερο ευαίσθητα στο

όζον είναι τα φύλλα, που ακόμα μεγαλώνουν ή έχουν μόλις φτάσει στην πλήρη ανάπτυξη (Lacasse & Treshow 1976).

Τα συμπτώματα της επίδρασης του όζοντος στα φυτά διαφέρουν ανάλογα το είδος και την ποικιλία αφενός και την συγκέντρωση, τη διάρκεια έκθεσης στον ρύπο ή την παρουσία άλλων ρύπων σε τοξικές συγκεντρώσεις αφετέρου (Heggstad & Heck 1971, Hill *et al.* 1961, 1970, Lacasse & Treshow 1976, Manning & Fedder 1980, Taylor 1984).

Το όζον μπορεί να προκαλέσει οξεία τοξικότητα, χρόνια τοξικότητα ή μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη και την απόδοση με ή χωρίς ορατά συμπτώματα.

Η οξεία τοξικότητα στα φυτά συνοδεύεται από ορατά συμπτώματα και προέρχεται από έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις για σύντομο χρονικό διάστημα. Η χρόνια τοξικότητα είναι αποτέλεσμα χρόνιας έκθεσης των φυτών σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος. Στη φύση και οι δυο τύποι συμπτωμάτων μπορεί να συμβούν σε μερικά φυτά, αλλά κατά διαφορετικά χρονικά διαστήματα στον κύκλο ζωής τους, εξαιτίας της διακύμανσης της συγκέντρωσης του όζοντος.

Τα αναπτυσσόμενα φυτά είναι εκτεθειμένα σε πολλούς βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και επηρεάζουν την αντίδρασή τους στο όζον. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η αντίδραση διαφοροποιείται με το είδος και συχνά με την ποικιλία των φυτών. Η διαφοροποίηση αυτή έχει μελετηθεί για μια σειρά ειδών όπως ο αρακάς, βαμβάκι, πετούνια, πατάτα, σόγια, καπνό και τομάτα (Rich & Hawkins 1970, Heggstad 1973, Lacasse & Treshow 1976, de Vos *et al.* 1982).

Υψηλή θερμοκρασία, έντονη ηλιοφάνεια, υψηλή σχετική υγρασία, καλή θρέψη, επαρκής υγρασία εδάφους καθώς και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν την αντίδραση των φυτών σε δεδομένη έκθεση στο όζον (Heck 1968, Heggstad & Heck 1971, Heggstad *et al.* 1985, 1988, Lacasse & Treshow 1976, Tingey *et al.* 1982). Οι Runeckles & Palmer (1987) έχουν αναφέρει ότι η παρεμπόδιση της ανάπτυξης φυτών από το όζον αυξάνεται σημαντικά αν έχει προηγηθεί έκθεση του φυτού σε διοξείδιο του αζώτου. Οι Mehlhorn & Wellburn (1987) έδειξαν ότι



προηγούμενη έκθεση σε αιθυλένιο είχε σαν αποτέλεσμα αύξηση των ορατών συμπτωμάτων στα μπιζέλια. Επίσης όταν σε έρευνες προηγήθηκε έκθεση σε NO<sub>2</sub>, είχε σαν αποτέλεσμα αύξηση των ορατών συμπτωμάτων που προκλήθηκαν από πιθανή έκθεση στο όζον.

## **Οι επιδράσεις του όζοντος στην ανάπτυξη των φυτών και στις αποδόσεις τους**

Αφότου καθιερώθηκε ότι το όζον μπορούσε να προκαλέσει μια ευρεία ποικιλία συμπτωμάτων σε πολλά φυτά, η επόμενη λογική ερώτηση ήταν κατά πόσο το όζον είχε κάποια επίδραση στην ανάπτυξη και στις αποδόσεις των καλλιεργειών και των δασικών δέντρων. Αυτό προέτρεψε πολλές έρευνες και την ανάπτυξη πολλών διαφορετικών μεθόδων ώστε να καθοριστεί η επίδραση στην ανάπτυξη και στις αποδόσεις (Laurence & Weinstein 1981, Heck *et al.* 1982, 1984a,b, Jacobson 1982, Heggstad & Bennett 1984, Taylor 1984, Lee 1895, Prinz 1987, Krupa & Kickert 1987, Manning 1988).

Η απάντηση στο κύριο ερώτημα του εφόσον ή όχι το όζον επιδρά σημαντικά στην ανάπτυξη των φυτών και στην απόδοση έχει αποδειχθεί εξαιρετικά δύσκολο. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της φύσης του ρύπου και της κατανομής του στον αέρα . Μέχρι σήμερα δεν έχουν βρεθεί πειραματικοί μέθοδοι που να δίνουν τη δυνατότητα μελέτης των επιδράσεων διαφόρων επιπέδων όζοντος και ταυτόχρονα διατήρησης των υπόλοιπων συνθηκών ανάπτυξης των φυτών (π.χ. θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας αέρα, φωτισμού, κλπ.). Όλοι οι μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί έχουν κάποια σημαντικά μειονεκτήματα. Ο πλέον αξιόπιστος τρόπος πειραματισμού είναι, όπως προαναφέρθηκε το σύστημα με υπαίθριους θαλάμους ανοιχτής οροφής. Όμως, το περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών και σε αυτή την περίπτωση είναι διαφοροποιημένο. Ειδικότερα, η θερμοκρασία τις μεσημεριανές ώρες είναι υψηλότερη μέσα στους θαλάμους και η σχετική υγρασία χαμηλότερη με αποτέλεσμα το κλείσιμο των στοματίων και συνεπώς μείωση της απορρόφησης του όζοντος σε σχέση με ότι συμβαίνει στον "πραγματικό κόσμο". Αντίθετα, ο στροβιλισμός του αέρα θεωρείται ότι

οδηγεί σε μεγαλύτερη απορρόφηση και συνεπώς υπερεκτίμηση των αρνητικών επιδράσεων.

Τα φυτά, επίσης, αντιδρούν διαφορετικά στο όζον σε διαφορετικά στάδια του κύκλου της ζωής τους. Εφόσον οι περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις του όζοντος είναι κυμαινόμενες, καθώς κάνουν και άλλες συνθήκες του περιβάλλοντος, θα υπάρξουν περίοδοι όπου λιγότερα ευαίσθητα στάδια ανάπτυξης θα εκτεθούν σε πιθανώς επιζήμιες συγκεντρώσεις όζοντος, με λίγες δυσμενείς επιπτώσεις ή θα υπάρξουν περίοδοι όπου οι συγκεντρώσεις του όζοντος θα είναι πολύ χαμηλές για να αντιδράσουν τα φυτά ή πάλι περίοδοι όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες θα εμποδίζουν ή θα μειώνουν την πρόσληψη του όζοντος από τα φυτά. Κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων, επανορθωτική ανάπτυξη μπορεί να συμβεί η οποία μπορεί να μειώσει ή να εξαλείψει τις επιδράσεις του όζοντος στη σοδειά.

Μεγάλη προσοχή έχει δοθεί στον προσδιορισμό των επιδράσεων του όζοντος στην ποσότητα ή το μέγεθος της παραγωγής των φυτών. Λιγότερα είναι γνωστά για τις επιδράσεις του όζοντος στην ποιότητα της παραγωγής των φυτών. Οι περισσότερες πληροφορίες που είναι διαθέσιμες σχετίζονται με τις αλλαγές στην ποιότητα ή στο υδατικό περιεχόμενο στις πατάτες και στα ψυχανθή φυτά, (Blum *et al* 1981, Skarby 1984 & Tingey *et al.* 1986).

### **Δευτερογενείς επιδράσεις του όζοντος**

Πέραν από τις πρωτογενείς επιδράσεις του όζοντος που ήδη περιγράφηκαν το  $O_3$  μπορεί να προκαλέσει και άλλες δευτερογενείς επιδράσεις, οι οποίες είναι πολλές και περίπλοκες που αν δεν ληφθούν υπόψη, τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από σχετική μελέτη θα είναι παραπλανητικά.

Μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις  $O_3$  επηρεάζει την φωτοσύνθεση και καταλήγει σε μειωμένη μετακίνηση των προϊόντων της φωτοσύνθεσης από τους βλαστούς στις ρίζες (Cooley & Manning 1987). Αυτό μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς τις μυκόρριζες (Keana &

Manning 1987), και να προκαλέσει γηρασμό των ριζών (Manning *et al.* 1971), ο οποίος θα επηρεάσει τη σοδειά εξαιτίας της μειωμένης πρόσληψης νερού και μεταλλικών στοιχείων.

Επίσης, τα έντομα και τα παθογόνα που σχετίζονται με την ανάπτυξη των φυτών είναι γνωστό ότι επηρεάζονται από το O<sub>3</sub>. Μερικές φορές η επίδραση στα έντομα ή στα παθογόνα είναι άμεση και εμφανής, αλλά συνήθως είναι έμμεση και εκφράζεται μέσω μιας αλλαγής στη φυσιολογική ή χημική φύση του φυτού.

### **Σχέσεις δόσης – αντίδρασης**

Προκειμένου να καθοριστεί η επίδραση του όζοντος στα φυτά, έχουν γίνει προσπάθειες να ποσοτικοποιηθεί το μέγεθος της αντίδρασης των φυτών σε γνωστές συγκεντρώσεις όζοντος σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, κάτω από σαφείς περιβαλλοντικές συνθήκες. Η ποσότητα του όζοντος που είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια της περιόδου αντίδρασης συνήθως ορίζεται ως η " δόση ". Μπορεί να εκφραστεί είτε ως η χρονική διάρκεια της συγκέντρωσης του όζοντος, είτε ως η μέση συγκέντρωση όζοντος κατά τη χρονική διάρκεια έκθεσης.(Menser & Hodges 1968, Krupa & Kickert 1987).

Μια πιο χρήσιμη αντίληψη για τη διερεύνηση της επίδρασης της ρύπανσης φαίνεται να είναι η ιδέα της δόσης κατωφλιού. Αποτελεί τη χαμηλότερη δόση όζοντος που θα παράγει μια μετρήσιμη επίδραση. Ο Bel-W<sub>3</sub> καπνός, π.χ., θα εμφανίσει εμφανή τραυματισμό από όζον αν εκτεθεί σε 0,05ppm όζοντος για 3 ώρες. (Menser *et al.* 1982). Ευαίσθητοι κλώνοι πεύκου θα τραυματισθούν από συγκέντρωση όζοντος 0,07 ppm για 4 ώρες (Costonis & Sinclair 1969), ενώ *Ponderosa sp.* βελόνες μπορεί να τραυματισθούν από όζον στα 0,05-0,06ppm για 24 ώρες (Miller 1983).

Επιπλέον, η ικανή συγκέντρωση του όζοντος για πρόκληση νεκρωτικών κηλίδων στα φύλλα των φυτών έχει βρεθεί σε πολλές περιπτώσεις να είναι διαφορετική από αυτή που μπορεί να προκαλέσει μείωση της ανάπτυξης ή/και της παραγωγής. Οι Jacobson (1982) &

Heagle *et al.* (1979) βρήκαν ότι οι συγκεντρώσεις του όζοντος που προκαλεί τραυματισμό των φύλλων σε υβρίδια καλαμποκιού στον αγρό ήταν διαφορετική από τα όρια που απαιτούνταν για καταστροφές στη σοδειά. Οι Reich & Amundson (1985) για πρώτη φορά κατέγραψαν μείωση στην παραγωγή και στην ανάπτυξη χωρίς την παρουσία ορατών συμπτωμάτων. Οι ίδιοι ερευνητές χρησιμοποιώντας δεδομένα από το θεώρημα δόσης-αντίδρασης, ανέπτυξε ένα μοντέλο για να εξηγήσει τις διαφορές σε διαφορετικούς τύπους αντίδρασης των φυτών στο ατμοσφαιρικό όζον. Χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο που συσχετίζει τις αντιδράσεις των φυτών με μια αντίστοιχη δόση όζοντος κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ανάπτυξης, κατέληξε ότι τα φυλλώδη φυτά είναι τα περισσότερο ευαίσθητα στο όζον. Τα φυλλοβόλα δέντρα είναι σε ενδιάμεση κατάσταση και τα κωνοφόρα δέντρα τα λιγότερο ευαίσθητα.



Εικ. 4 Βελόνες *Ponderosa sp.* προσβεβλημένες από όζον (αριστερά) και υγιείς (δεξιά).

## **Μέτρηση της αρνητικής επίδρασης του όζοντος στα φυτά**

Τα τελευταία είκοσι χρόνια έχει καταβληθεί πολύ μεγάλη προσπάθεια για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του όζοντος στα

φυτά και τον καθορισμό των συγκεντρώσεων που μπορούν να προκαλέσουν μείωση της ανάπτυξης των φυτών.

Για το σκοπό αυτό έχει χρησιμοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός δεικτών έκθεσης στο όζον (Heagle & Stefanski 2000). Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται κυρίως ο δείκτης AOT40. Ως AOT40 ορίζεται η τιμή που προκύπτει από την άθροιση των συγκεντρώσεων του όζοντος πάνω από το κατώφλι των 40ppbv και για το διάστημα της ημέρας που η παγκόσμια ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη από  $50\text{Wm}^{-2}$ . Όμως πολλοί ερευνητές μέχρι σήμερα έχουν δείξει ότι η αρνητική επίδραση του όζοντος εξαρτάται όχι μόνο από τη συγκέντρωση του ρύπου στο περιβάλλον, αλλά και από τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες (Grunhage *et al.* 1999, Emberson *et al.* 2000, Musselman & Minnick 2000). Η ποσότητα του όζοντος που εισέρχεται στο εσωτερικό των φύλλων και δυνητικά μπορεί να προκαλέσει ζημιά ρυθμίζεται από ατμοσφαιρικές και βιολογικές διαδικασίες (Fowler *et al.* 1999). Η στοματική αγωγιμότητα έχει ορισθεί ως η πλέον σημαντική βιολογική διαδικασία ρύθμισης της πρόσληψης όζοντος (Musselman & Massman 1999) μέσα στην κόμη των φυτών

### **Ροή του όζοντος στο εσωτερικό των φύλλων.**

Ως ροή όζοντος από το περιβάλλον προς το εσωτερικό του φυτού ορίζεται το πολλαπλάσιο της συγκέντρωσης του όζοντος στο περιβάλλον επί την αγωγιμότητα των στοματίων. Ένα κρίσιμο θέμα στον καθορισμό της αντίδρασης των φυτών στο  $\text{O}_3$  είναι η σχετική σημασία της αγωγιμότητας και τα συστατικά συγκέντρωσης της ροής του  $\text{O}_3$  (Ozone flux). Ο πειραματισμός στην έκθεση (συχνά λανθασμένα αποκαλούμενος δόση-αντίδραση έχει προ πολλού δείξει ότι η συγκέντρωση είναι πολύ σημαντική στην αντίδραση των φυτών στους ρύπους του αέρα) (Guderian 1977), σαν αποτέλεσμα των υψηλών δραστικών αθροιστικών φορτίων (CEL) καταβάλλοντας τους αμυντικούς μηχανισμούς (Musselman & Massman 1999). Η αγωγιμότητα είναι επίσης σημαντική στην πρόσληψη του  $\text{O}_3$  μέσα στον φυτικό ιστό και στην επακόλουθη αντίδραση του φυτού. Μερικοί ερευνητές έχουν

καταλήξει ότι η αγωγιμότητα κατά την διάρκεια της μέρας και συγκεκριμένα οι υψηλές τιμές της αγωγιμότητας των στοματίων πριν το μεσημέρι, είναι πολύ σημαντικές στην πρόσληψη του O<sub>3</sub> (Krupa *et al.* 1995, Grünhage *et al.* 1997). Προτείνουν ότι η στοματική αγωγιμότητα είναι χαμηλή αργά το απόγευμα όταν η συγκέντρωση του O<sub>3</sub> είναι συχνά υψηλότερη, μειώνοντας τη ροή του O<sub>3</sub> τόσο που οι υψηλότερες απογευματινές συγκεντρώσεις είναι πολύ λιγότερο σημαντικές στην αντίδραση του φυτού (Krupa *et al.* 1994,1998, Grünhage *et al.* 1997). Άλλη έρευνα έχει δείξει ότι μέγιστες συγκεντρώσεις είναι υψηλά συσχετιζόμενες με την αντίδραση του φυτού (Musselman *et al.* 1983, Hogsett *et al.* 1985, Musselman *et al.* 1994).

Για πολλά φυτικά είδη που αναπτύσσονται σε εύκρατες αγροτικές τοποθεσίες κοντά σε αστικές περιοχές, υπάρχει μια φάση καθυστέρησης μεταξύ της αγωγιμότητας που φτάνει στο μέγιστο κατά το μεσημέρι και της συγκέντρωσης του όζοντος που συχνά φτάνει στο μέγιστο από τα μέσα έως αργά του απογεύματος. Η ύφεση του απογεύματος σε αγωγιμότητα (Tenhunen *et al.* 1987) σχετίζεται με τα ελλείμματα της υψηλής πίεσης υδρατμών (VPD) προκαλώντας μερικό κλείσιμο στοματίων (Hall *et al.* 1976, Pathre *et al.* 1998). Παρόλα αυτά, αυτή η φάση καθυστέρησης μεταξύ της αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης του όζοντος δεν είναι τόσο διαδεδομένο σε απομακρυσμένες ή ορεινές τοποθεσίες ή σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Σε αυτές τις περιοχές η ημερήσια μεταβολή στη συγκέντρωση του όζοντος, είναι λιγότερο έντονη (Mueller 1994, Rennenberg *et al.* 1997, Wooldridge *et al.* 1997, Chenove *et al.* 1998) και η αγωγιμότητα μπορεί να φτάνει στο μέγιστο από τα μέσα έως αργά το απόγευμα (Foster&Smith 1991, Rennenberg *et al.* 1997). Αν και η στοματική αγωγιμότητα είναι σημαντική στην αντίδραση των φυτών, η στήριξη μόνο στην αγωγιμότητα οδηγεί πιθανά σε λάθος συμπεράσματα όσον αφορά το συσχετισμό των επιπέδων του όζοντος με την επίδραση στα φυτά (Tingey & Taylor 1982, Musselman & Massman 1999).

## **Επιδράσεις της έκθεσης στο όζον O<sub>3</sub> στην αγωγιμότητα των στοματίων.**

Υπάρχουν κάποιες απορίες σχετικά με τη σχέση μεταξύ της έκθεσης του O<sub>3</sub> και του κλείσιματος των στοματίων. Στις περισσότερες περιπτώσεις χαμηλές συγκεντρώσεις O<sub>3</sub> προκαλούν άνοιγμα των στοματίων, ενώ υψηλότερες συγκεντρώσεις καταλήγουν σε κλείσιμο των στοματίων (Darrall 1989). Στοματικά κύτταρα, ειδικά η πρωτοπλασματική τους μεμβράνη (Lange *et al.* 1989, Heath 1994, Mansfield & Pearson 1996) ή η λιγνίνη στα κυτταρικά τους τοιχώματα (Maier-Maercker 1998) που είναι τοποθετημένα κοντά στην υποστομάτια κοιλότητα όπου εισέρχονται οι ρύποι (Robinson *et al.* 1998) μπορεί να είναι περισσότερο εκτεθειμένοι και επομένως ειδικά ευαίσθητοι σε ρύπους ή τα προϊόντα αντίδρασής τους. Συνεπώς, η έκθεση στο O<sub>3</sub> μπορεί να καταστρέψει τη λειτουργία των στοματίων (Maier-Maercker 1997, Reich & Lassoie 1984). Παρόλα αυτά, οι περισσότερες γραπτές αναφορές υποδεικνύουν ότι η έκθεση στο O<sub>3</sub> προκαλεί κλείσιμο των στοματίων (MoCool & Riechers, 1993), δείχνοντας πλήρη λειτουργική δραστηριότητα των στοματικών κυττάρων στην αντίδραση της έκθεσης. Έρευνα σε φασόλια έδειξε μία άμεση και περίπου γραμμική σχέση της μείωσης στην αγωγιμότητα καθώς η έκθεση στο O<sub>3</sub> αυξάνονταν (MoCool & Riechers 1993). Συγκεντρώσεις O<sub>3</sub> ακόμη και των 70ppb μπορούν να προκαλέσουν μειωμένη αγωγιμότητα στο *Plantago major* (Reiling & Davison 1995). Οι επιδράσεις του O<sub>3</sub> στην αγωγιμότητα ενός υβριδίου της λεύκας ήταν υψηλά εξαρτώμενες από την ποικιλία στην οποία εκτίθονταν, έχοντας καμία επίδραση στην μια ποικιλία, αντιθέτως εμφανίζοντας μία μείωση κοντά στο μηδέν στην άλλη (Furukawa *et al.* 1990), προτείνοντας ότι η αντίδραση της αγωγιμότητας των φυτών στο O<sub>3</sub> ελέγχεται γενετικά. Η ηλικία του φυτού είναι επίσης σημαντική στην αντίδραση στο O<sub>3</sub> σε μακρόβια είδη όπως τα δέντρα. Αυτή η διαφορά στην ευαισθησία στο O<sub>3</sub> μπορεί να σχετίζεται με διαφορές στην αγωγιμότητα των νεαρών δέντρων σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα, με αυτές τις ηλικίες να

δείχνουν υψηλότερο τραυματισμό σε μεγαλύτερη αγωγιμότητα (Hanson *et al.* 1994, Kolb *et al.* 1997).

Οι διαδικασίες ανατροφοδότησης είναι σημαντικές στην έκθεση στο  $O_3$  και στην αντίδραση των φυτών. Οι προκαλούμενες μειώσεις  $O_3$  στην στοματική κοιλότητα όχι μόνο μειώνουν την πρόσληψη του  $O_3$ , αλλά επίσης καταλήγει σε μείωση της αναλογίας της πρόσληψης του  $CO_2$  και κατ' επέκταση στη μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης. Μειώσεις στη φωτοσύνθεση μπορεί να σχετίζονται άμεσα με τη ροή του  $O_3$  και συνοδεύονται μείωση στην αγωγιμότητα. Μείωση των στοματίων λόγω αύξησης του  $CO_2$  του μεσοφύλλου στα προϊόντα φωτοσύνθεσης μπορεί να συσχετίζεται άμεσα με τη ροή του  $O_3$  και συνοδεύεται από μία μείωση στην αγωγιμότητα (Grandjoan Grimm & Fuhrer 1992). Μείωση στα προϊόντα φωτοσύνθεσης θα καταλήξει σε μειωμένη ικανότητα των φυτών να διεξάγουν τις απαραίτητες βιοχημικές διαδικασίες για αποτοξίνωση. Παρόλα αυτά υπάρχουν στοιχεία που δείχνουν ότι η πρόσληψη του  $O_3$  προκαλεί μία απότομη μεταβολή στην αναπνοή τη νύχτα που μπορεί να συσχετίζεται με διαδικασίες αποτοξίνωσης (Skärby *et al.* 1987, Balaguer *et al.* 1995). Οι Kronfub *et al.* 1998 βρήκαν ότι συνεχόμενη έκθεση στο  $O_3$  αύξησε τις συγκεντρώσεις των αντιοξειδωτικών στο είδος *Picea abies*, αποτρέποντας περαιτέρω μειώσεις στη φωτοσύνθεση. Παρόλα αυτά, φαίνεται πως υπάρχει μία αποσύνδεση της αγωγιμότητας και της φωτοσύνθεσης καθώς αυξάνεται η έκθεση στο  $O_3$  (Tjoelker *et al.* 1995, Clark *et al.* 1996, Rebeck & Loats 1997, Reichenauer *et al.* 1998). Η αντίδραση μπορεί να εξαρτάται όχι μόνο από το είδος αλλά και από την ποικιλία (Soldatini *et al.* 1998). Διπλάσια περιβαλλοντική συγκέντρωση  $O_3$  δεν επέδρασε στην αγωγιμότητα του μονοετούς φυλλώματος του *Pinus ponderosa*, αλλά η επέμβαση μείωσε τη φωτοσύνθεση (Momen *et al.* 1997) προτείνοντας μία αποσύνδεση μεταξύ της αγωγιμότητας και της φωτοσύνθεσης στο συγκεκριμένο πείραμα. Η πρόσληψη του  $O_3$  μπορεί να μην είναι απαραίτητα συνδεδεμένη με την στοματική αγωγιμότητα γιατί το  $O_3$  μπορεί να μην είναι μηδενικό στις υποστομάτιες κοιλότητες (Wang *et al.* 1995). Η απόδειξη μίας μακροχρόνιας αντίδρασης των



στοματίων στα ερεθίσματα είναι επίσης σημαντική δείχνοντας ότι τα φύλλα που εκτίθενται στο O<sub>3</sub> θα μπορούσαν να έχουν υψηλά επίπεδα πρόσληψης πριν τα φυτά αντιδράσουν και ενεργοποιήσουν το κλείσιμο των στοματίων. Η μεταφορά των αντιοξειδωτικών στα φυτικά κύτταρα μπορεί να είναι τόσο μικρή όσο το 1/10 του βαθμού της ροής του O<sub>3</sub> μέσα στα φυτά διαμέσου των στοματίων (Luwe *et al.* 1993).

Η έκθεση στο O<sub>3</sub> έχει δείξει αύξηση της νυχτερινής αγωγιμότητας στα είδη *Picea abis* (Keller & Häslar 1984) και *Pinus sylvestris* (Skärby *et al.* 1987). Οι Reich και Lassoie (1984) προτείνουν ότι το O<sub>3</sub> μειώνει την ικανότητα της χρήσης νερού που αυξάνει την αγωγιμότητα. Αυτές οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα σημαντικές κάτω από συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Το δεδομένο ότι το O<sub>3</sub> ίσως προκαλεί αύξηση στην αγωγιμότητα των στοματίων τη νύχτα. Προτείνει ότι η νυχτερινή έκθεση μπορεί να είναι μία κρίσιμη παράμετρος για τον καθορισμό του τραυματισμού του φυτού από το O<sub>3</sub>.

### **Μηχανισμοί άμυνας των φυτών στην έκθεση στο όζον**

Η άμυνα ενάντια στο όζον είναι τόσο παθητική, όσο και ενεργητική. (Musselman & Massman 1999) και είναι γενετικά ελεγχόμενη (Riehl Koch *et al.* 1998). Η παθητική άμυνα περιλαμβάνει τα αντιοξειδωτικά που βρίσκονται φυσιολογικά στον ιστό των φυτών και απενεργοποιούν τα τοξικά παράγωγα του όζοντος στα κύτταρα. Το ασκορβικό οξύ που βρίσκεται στον αποπλάστη αντιδρά και εξουδετερώνει τα τοξικά προϊόντα του όζοντος πριν αυτό εισέλθει στο κύτταρο (Chameides 1989). Τα φυτικά είδη που έχουν λιγότερο ασκορβικό οξύ μπορεί να είναι περισσότερο ευαίσθητα στον τραυματισμό από O<sub>3</sub> (Lee *et al.* 1984). Οι ενεργές άμυνες είναι αυτές που προέρχονται από αλλαγές στις βιοχημικές διαδικασίες μετά την είσοδο του O<sub>3</sub> στον φυτικό ιστό. Μπορεί να περιλαμβάνουν την ενεργοποίηση της παραγωγής φυσικών αντιοξειδωτικών ή άλλων μηχανισμών. Επιπλέον, τα φυτά που εκτίθενται στο O<sub>3</sub> μπορούν να αναπτύξουν κάποιο εγκλιματισμό στον ρύπο (Matyssek *et al.* 1998).

Η δυνατότητα απενεργοποίησης των τοξικών υποπροϊόντων μπορεί να είναι μεγαλύτερη σε υψόμετρα (Wieser & Havranek 1995, Rennenberg *et al.* 1997). Η συγκέντρωση του ασκορβικού ήταν υψηλότερη σε έλατα που αναπτύσσονταν σε μεγαλύτερα υψόμετρα (Polle *et al.* 1995). Αυτό μπορεί να είναι ενδεικτικό των υψηλότερων επιπέδων καταπόνησης που θα πρέπει να αντιμετωπίσουν τα διάφορα φυτικά είδη σε μεγαλύτερα υψόμετρα.

Η ενεργή αποτοξίνωση περιλαμβάνει γρήγορη έναρξη πολλών βιοχημικών αντιδράσεων μέσα στον φυτικό ιστό (Ebel & Mithöfer 1998). Το ενδεχόμενο αποτοξίνωσης έχει αναφερθεί να είναι χαμηλότερο τη νύχτα (Matyssek *et al.* 1995, Wieser & Havranek 1995), προτείνοντας μειωμένη ενεργή αποτοξίνωση κάτω από νυχτερινές συνθήκες με χαμηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερα επίπεδα προϊόντων φωτοσύνθεσης. Οι συγκεντρώσεις των αντιοξειδωτικών ασκορβικό (Esterbauer *et al.* 1980) και γλουταθειονικό (Schupp & Rennenberg 1988) ήταν χαμηλότερες τη νύχτα. Παρόμοια, η παραγωγή των αντιοξειδωτικών είναι υψηλότερη στο φως (Menser 1964). Οι Matyssek *et al.* (1995) προτείνουν ότι η αποτοξίνωση είναι χαμηλότερη τη νύχτα γιατί αντιοξειδωτικά όπως το ασκορβικό και το γλουταθειονικό οξύ απαιτούν το NADPH από την φωτοσύνθεση για να παραμείνουν σε ανηγμένη μορφή αρα και ικανά να μειώσουν τις επιδράσεις του όζοντος. Εκπομπές του NO από τον φυτικό ιστό είναι επίσης χαμηλότερες τη νύχτα (Wildt *et al.* 1997). Το NO αντιδρά εύκολα με το O<sub>3</sub> στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Η ευαισθησία στους ρύπους έχει εμφανιστεί να είναι υψηλότερη στο τέλος απ' ότι στην αρχή ή στη μέση της σκοτεινής περιόδου (Goknur & Tibbitts 1984), προτείνοντας μείωση του ενδεχόμενου αποτοξίνωσης κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης, εικοσιτετράωρες και εποχιακές μεταβολές στην εκπομπή των τερπενών από τα φυτά έχουν αναφερθεί, και αυτή η μεταβολή είναι υψηλά συσχετιζόμενη με τη θερμοκρασία και τη φωτοσύνθεση (Llusia & Penuelas 1998). Αυτό μπορεί να είναι σημαντικό στην αποτοξίνωση του O<sub>3</sub> εφόσον οι χαμηλότερες θερμοκρασίες και η έλλειψη της φωτοσύνθεσης τη νύχτα

θα ανταποκρίνονταν με χαμηλότερες εκπομπές τερπενών. Το O<sub>3</sub> μπορεί να επιδράσει στις συγκεντρώσεις των φαινολών στον ιστό του φύλλου (Biolley *et al.* 1998).

Η εποχιακή αλλαγή είναι σημαντική για την αντίδραση των φυτών στο ενδεχόμενο αποτοξίνωσης από το O<sub>3</sub>. Συγκεντρώσεις αντιοξειδωτικών για αποτοξίνωση είναι συχνά χαμηλότερες στα τέλη της κάθε περιόδου (Schupp & Rennenberg 1998, Gillham & Dodgr 1987, Esterbauer *et al.* 1980) προτείνοντας ότι ακόμη και κάτω από χαμηλότερη αγωγιμότητα, η ζημιά από O<sub>3</sub> μπορεί να ενδυναμωθεί εξαιτίας του χαμηλότερου ενδεχομένου αποτοξίνωσης. Επιπρόσθετα, το γλουταθειονικό οξύ στις βελόνες του έλατου είναι σε χαμηλότερα επίπεδα το καλοκαίρι, όταν οι συγκεντρώσεις του O<sub>3</sub> είναι υψηλότερες, απ' ότι είναι το χειμώνα (Esterbauer & Grill 1987).

### **Επιδράσεις του όζοντος στις καλλιέργειες και στα δάση: Μια παγκόσμια επισκόπηση**

Το όζον μπορεί να μειώσει τις αγροτικές αποδόσεις μέσω μιας ποικιλίας μηχανισμών. Ο πρώτος απ' αυτούς είναι η πρόκληση νεκρωτικών κηλίδων στα φύλλα των φυτών. Σε κηπευτικά είδη όπως π.χ. το μαρούλι η εμφάνιση αυτών των συμπτωμάτων προκαλεί μείωση ή και μηδενισμό της οικονομικής αξίας. Ο τραυματισμός από όζον στις καλλιέργειες έχει συχνά αναφερθεί

στην Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη, όπου οι πιο σοβαρές ζημιές είναι σε αρδευόμενες καλλιέργειες στην περιοχή της Μεσογείου (Fumigalli *et al.* 2001). Στην Ελλάδα, ένα επεισόδιο τραυματισμού από όζον βόρεια της Αθήνας το 1998 προκάλεσε τόσο σοβαρό κοκκίνισμα και νέκρωση στα φύλλα μαρουλιού, ραδικιού και



Εικ.5 Επίδραση όζοντος σε φύλλο μαρουλιού.

αντιδιού (Velissariou 1999) με

σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις για τους τοπικούς παραγωγούς. Υπάρχουν διάφορες σοβαρές αναφορές για ορατούς τραυματισμούς σε φυτά προκαλούμενες από όζον σε περιοχές και εκτός της βόρειας Αμερικής και της δυτικής Ευρώπης (Emberson *et al.* 2001, 2003). Αυτές περιλαμβάνουνε τραυματισμούς σε καλλιέργειες φασολιού στο Μεξικό (de Bauer 2003), ραπανάκι και γογγύλι στην Αίγυπτο (Hassa, Ashmore & Bell 1995), πατάτας στην Ινδία (Bambawale 1986), και μια ποικιλία από καλλιέργειες κηπευτικών στην Ταϊβάν (Sheu & Liu 2003).

Υπάρχουν μεμονωμένες παρατηρήσεις, που προέρχονται από σημαντικές επιπτώσεις σε τοπικούς αγρότες και είναι σχεδόν βέβαιο, ότι με τις κατάλληλες συστηματικές έρευνες, τα χαρακτηριστικά του ορατού τραυματισμού από το όζον θα αποδεικνύονταν να είναι περισσότερο συνήθη από ότι αυτές οι αναφορές δείχνουν. Τόσο στη βόρεια Αμερική όσο και στην Ευρώπη, συστηματικές έρευνες ορατών τραυματισμών σε δάση που υποστηρίζονταν από μελέτες υποκαπνισμού για να αναπαράγουν τα συμπτώματα τραυματισμού (Orendovici *et al.* 2003) και λεπτομερής μικροσκοπική ανάλυση για να επιβεβαιώσει την ανάγνωση (Vollenweider, Ottiger & Gunthardt-Goerg 2003a), έχουν δείξει ευρεία εμφάνιση του τραυματισμού σε ευαίσθητα είδη (Chappelka *et al.* 1997, Scelly *et al.* 1999). Τέτοιου είδους μελέτες φανερώνουν επίσης τις επιδράσεις των αλλαγών στις τοπικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα των επιπέδων εδαφικής υγρασίας, όπου για παράδειγμα ο Vollenweider *et al.* 2003b βρήκε εντονότερα συμπτώματα στα δέντρα του είδους *Prunus serotina* σε τοποθεσίες μεγαλύτερων υψομέτρων με μεγαλύτερη διαθεσιμότητα υγρασίας και βαθύτερα εδάφη.

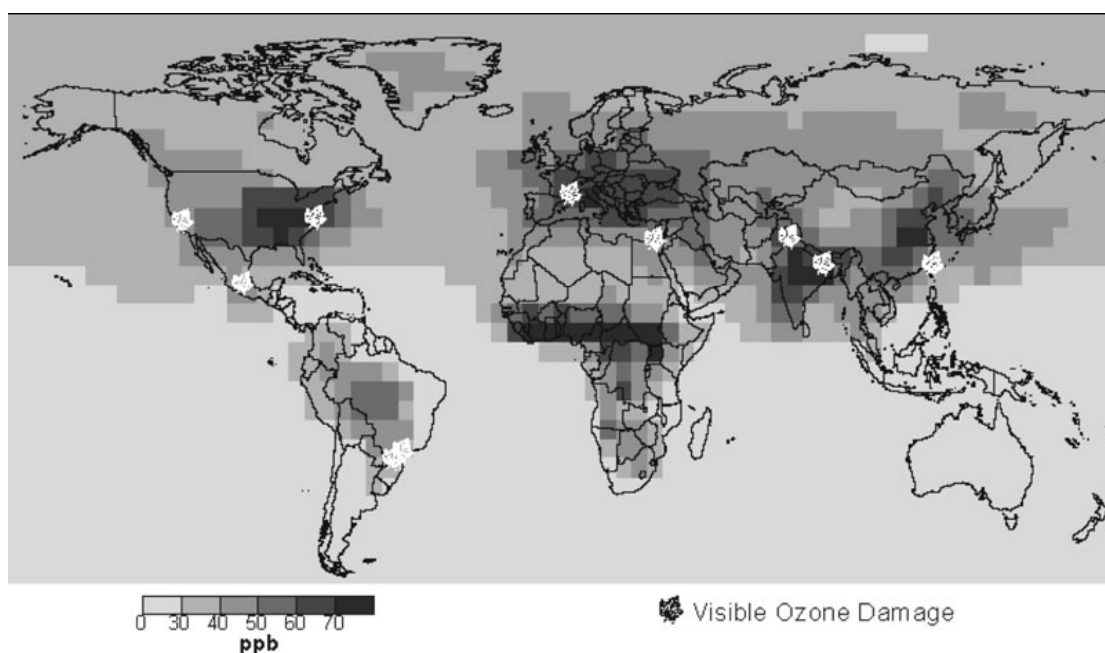
Οι ενδείξεις των επιδράσεων του όζοντος στα δάση έξω από την Ευρώπη και τις Η.Π.Α. είναι περιορισμένες. Η περισσότερο μελετημένη δασική περιοχή είναι στις ορεινές περιοχές έξω από το Μεξικό, όπου και καταγράφονται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Οι Miller *et al.* (1994) κατέγραψαν ότι οι εκθέσεις του

όζοντος σε αυτά τα δάση μπορούσαν να συγκριθούν με αυτές των βουνών της οροσειράς του San bernadino έξω από το Los Angeles, όπου είχε καταγραφεί εκτενής τραυματισμός από όζον. Ορατά διαφυλλικά συμπτώματα σε αυτές τις περιοχές εντοπίζονται (de Bauer 2003), σε είδη πεύκου όπως το *Pinus hartwegii* και *Pinus montezumae*, κουκουναριάς (*Abies religiosa*) και στο είδος *Prunus serotina*, ενώ δενδροχρονολογική ανάλυση έχει καθαρά φανερώσει ενδείξεις μιας μείωση της ανάπτυξης από την αρχή της δεκαετίας του 1970 (Alvarado, Bauer & Galindo 1993).

Το όζον μπορεί να μειώσει την εμπορεύσιμη παραγωγή μιας ποικιλίας κηπευτικών ειδών, ακόμη και με την απουσία ορατών συμπτωμάτων, πρωτίστως δια μέσω των επιδράσεων του στη μείωση της φωτοσυνθετικής αναλογίας και του πρόωρου γηρασμού. Υπάρχουν πολλές ενδείξεις των επιδράσεων της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού όζοντος στη δυτική Ευρώπη και στην βόρεια Αμερική, αλλά σε άλλες περιοχές οι ενδείξεις των επιδράσεων του είναι περιορισμένες. Στο Πακιστάν, μελέτες από τους Wahid *et al.* (1995a,b) φανέρωσαν ότι φιλτράροντας την ατμοσφαιρική αέρια μόλυνση σε μια τοποθεσία στα περίχωρα της πόλης του Lahore κατέληξε σε αυξήσεις της παραγωγής σε τοπικές ποικιλίες σταριού (*Triticum aestivum*) και ρυζιού (*Oryza sativa*) κατά περίπου 40%, στην οποία οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου ήταν ασήμαντες, αλλά υπήρχαν σημαντικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου και όζοντος. Συνεπώς ελεγχόμενες μελέτες υποκαπνισμού με αυτές τις ποικιλίες φανέρωσαν ότι ενώ το διοξείδιο του αζώτου στις συγκεντρώσεις που βρέθηκαν στην τοποθεσία της Lahore δεν είχαν καμιά επίδραση στην ανάπτυξη ή την παραγωγή, το όζον σ' αυτές τις συγκεντρώσεις επέφερε πολύ σημαντικές επιδράσεις στις τοπικές ποικιλίες τόσο του σιταριού όσο και του ρυζιού (Maggs & Ashmore 1998.). Πειράματα με χημικά προστατευτικά του όζοντος είχαν επίσης υποδείξει ότι το όζον μπορεί να προκαλέσει σημαντικές επιδράσεις στην παραγωγή της τομάτας μέσα και γύρω από το Νέο Δελχί, στις σοδειές ραδικιού και

γογγυλιού σε μια αγροτική περιοχή στο Δέλτα του Νείλου (Hassan *et al.* 1995), στην παραγωγή του φασολιού στην κοιλάδα του Μεξικού (Ashmore & Marshall 1999, de Bauer 2003) και στη σόγια (*Glycine max*) στο Punjab του Πακιστάν (Wahid *et al.* 1999) και σε άλλες καλλιέργειες (Zheng *et al.* 1998).

Στην εικόνα 2 φαίνονται οι τοποθεσίες παγκοσμίως στις οποίες έχουν καταγραφεί ορατά συμπτώματα τραυματισμού από το όζον ή επιπτώσεις στην απόδοση των καλλιεργειών, συνδυασμένες με μοντελοποιημένες μέσες συγκεντρώσεις όζοντος για το 1990, που υπολογίστηκαν με την χρήση ενός τρισδιάστατου παγκόσμιου μοντέλου ατμοσφαιρικής χημείας (Collins *et al.* 2000). Πόσο μεγάλη είναι η επίδραση του όζοντος στις αποδόσεις των καλλιεργειών ως απόρροια αυτής της παγκόσμιας έκθεσης στο όζον;



Εικ. 6 Η παγκόσμια κατανομή των μέσων μέγιστων τιμών συγκέντρωσης όζοντος της καλλιεργητικής περιόδου, βασιζόμενη στις εκπομπές του 1990, χρησιμοποιώντας το παγκόσμιο τρισδιάστατο ατμοσφαιρικό χημικό μοντέλο των Collins *et al.* (2000). Το φύλλο είναι σύμβολο για τις περιοχές όπου έχουν καταγραφεί ορατά συμπτώματα τραυματισμού ή μείωση στην απόδοση των καλλιεργειών. Από Emberson *et al.* (2003)

Στην βόρεια Αμερική και Ευρώπη σχέσεις έκθεσης-απόδοσης για μονοετείς καλλιέργειες έχουν προέλθει από πειραματικές μελέτες και καθιέρωσαν τα κρίσιμα επίπεδα ή τα επίπεδα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, για σημαντικές επιδράσεις στην απόδοση των καλλιεργειών και την εκτίμηση των οικονομικών επιδράσεων (Fahrer, Skarby & Ashmore 1997, Mauzerall & Wang 2001). Εκτιμήσεις των εθνικών οικονομικών επιπτώσεων του όζοντος στις αποδόσεις των καλλιεργειών έχουν καταδείξει απώλειες της τάξεως των 2-4 δισεκατομμυρίων δολαρίων στις Η.Π.Α. (Adams *et al.* 1988, Merphy *et al.* 1999) και των 4 δισεκατομμυρίων ευρώ στην Ευρώπη (Holland *et al.* 2002). Σε παγκόσμια κλίμακα, οι Chameides *et al.* (1994) εκτιμούν ότι οι παγκόσμιες εκπομπές NO<sub>x</sub> θα αυξάνονταν από 110Kt d<sup>-1</sup> το 1985 στα 150 με 180Kt d<sup>-1</sup> το 2025. Το μοντέλο τους προέβλεπε ότι το ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής δημητριακών που εκτίθενται σε επίπεδα όζοντος υψηλότερα από ένα κατώφλι για σημαντικές επιδράσεις στην απόδοση (> 10%) θα αυξάνονταν από 9 σε 35% που ήταν το 1985 σε 30-75% το 2025. Μεγάλο μέρος της παραγωγής δημητριακών που εκτίθεται στον κίνδυνο εντοπίζεται στην Ασία. Οι Aunan, Bernsten & Seip (2000) εκτίμησαν ότι projected αυξήσεις των πρόδρομων ουσιών του όζοντος είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε σημαντικές κρατικές απώλειες στην σοδειά σιταριού, σόγιας και αραβόσιτου (*Zea mays*) μέχρι το 2020. Πιο πρόσφατα, οι Wang & Mauzerall (2004) ανέφεραν την πρόκληση μεγάλων αυξήσεων στις απώλειες των αποδόσεων στις καλλιέργειες ρυζιού, σιταριού, αραβοσίτου και σόγιας μέχρι το 2020 στην ανατολική Ασία, ενώ η Κίνα σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές βρίσκεται στο μεταίχμιο σημαντικών απωλειών στην παραγωγή δημητριακών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# Έλεγχος της επίδρασης του όζοντος στην σχετική ανάπτυξη ενός ευαίσθητου και ενός ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού (*Trifolium repens* cv Regal)

### Εισαγωγή

Το *Trifolium repens* cv Regal χρησιμοποιείται σαν βιολογικός δείκτης για την εκτίμηση της επίδρασης του όζοντος στα φυτά. Η καλλιέργεια του ευαίσθητου (NC-S) και του ανθεκτικού (NC-R) κλώνου και η μέτρηση, του σχετικού ξηρού τους βάρους είναι περισσότερο αξιόπιστο σύστημα σε σχέση με βιοδείκτες που έχουν χρησιμοποιηθεί νωρίτερα όπως π.χ. οι ποικιλίες καπνού BelW<sub>3</sub>, Bel B & Bel C όπου η εκτίμηση της γινόταν μόνο με τη μέτρηση των συμπτωμάτων προσβολής της φυλλικής επιφάνειας (Heagle *et al.* 1994, Heagle & Stefanski 2000).



Εικ.7 Φυτό ευαίσθητου βιότυπου τριφυλλιού (NC-S).



Εικ.8 Φυτό ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού (NC-R).

Το *Trifolium repens* cv Regal μπορεί να καλλιεργηθεί σ' ένα μεγάλο εύρος κλιματολογικών συνθηκών. Επιπλέον επειδή οι κλώνοι έχουν παραχθεί αγενώς η ποικιλότητα από φυτό σε φυτό είναι μικρότερη απ' ότι ανάμεσα σε φυτά που έχουν παραχθεί από σπόρο όπως συμβαίνει στην



περίπτωση των ευαίσθητων ποικιλιών καπνού που προαναφέρθηκαν. Συνεπώς η χρήση του *Trifolium repens* αποτελεί ένα φθηνό, εύκολο και αξιόπιστο σύστημα για την εκτίμηση της επίδρασης του όζοντος στα φυτά. Με αυτό τον τρόπο μετρούμε τις επιπτώσεις και όχι απλά τις τιμές του όζοντος σε μια περιοχή παίρνοντας έτσι υπόψη το ποσοστό του όζοντος που θα περάσει από τα στομάτια και δυνητικά θα επηρεάσει τα φυτά.

Αυτό το σύστημα μελετάει τη σχετική αντίδραση και των δυο βιοτύπων εφόσον το όζον καταστέλλει την αύξηση του NC-S περισσότερο από ότι του NC-R. Επομένως η αναλογία ξηρού βάρους του φυλλώματος (NC-S / NC-R) φανερώνει την ποσότητα της καταπόνησης από το περιβαλλοντικό όζον στα φυτά, σε κάθε περιοχή. Έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς, κάτω από μια ευρεία ποικιλία περιβαλλοντικών συνθηκών στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Heagle & Stefanski 2000) και υψηλοί συσχετισμοί ( $0,87 < r^2 < 0,94$ ) μεταξύ της έκθεσης του όζοντος και της αναλογίας βιομάζας NC-S / NC-R λήφθηκαν όταν συνδυάστηκαν τα δεδομένα από όλες τις περιοχές. Ως εκ τούτου, το σύστημα προφανώς δεν επηρεάστηκε από περιβαλλοντικές παραμέτρους άλλες από το όζον. Παρόλα αυτά όταν αυτό το σύστημα δοκιμάστηκε στην Ευρώπη (Ball *et al*, 2000), βρέθηκαν μικρότεροι συσχετισμοί ( $0,02 < r^2 < 0,298$ ) μεταξύ της έκθεσης στο όζον και της αναλογίας βιομάζας NC-S / NC-R. Αυτό πιθανώς οφειλόταν στις χαμηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος, οι οποίες καταγράφηκαν στις ευρωπαϊκές τοποθεσίες εν συγκρίσει με τις τοποθεσίες στις ΗΠΑ. Επιπρόσθετα έχει βρεθεί ότι η αναλογία της βιομάζας NC-S / NC-R επηρεάζεται και από άλλες μεταβλητές όπως η συγκέντρωση των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και η θερμοκρασία του αέρα.

Για τους λόγους αυτούς το σύστημα μέτρησης του λόγου NC-S / NC-R έχει γίνει αποδεκτό από την UNECE ICP Vegetation (United Nations Economic Commission for Europe International Cooperative Programme ) ως ο πλέον αξιόπιστος τρόπος παρακολούθησης της επίδρασης του όζοντος και έχει χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό

επιστημονικών δημοσιεύσεων. Από το 1996 τα κράτη μέλη της UNECE ICP Vegetation – το 2003 αριθμούσαν σε 28 κράτη – έχουν χρησιμοποιήσει τους κλώνους NC-S και NC-R για να χαρτογραφήσουν τις επιπτώσεις του όζοντος στη φυσική βλάστηση και στις καλλιέργειες (Buse *et al.* 2003).

Το όζον θεωρείται ο κύριος φυτοτοξικός παράγοντας στις εκβιομηχανοποιημένες χώρες προκαλώντας τη μεγαλύτερη ζημιά στις καλλιέργειες και τα δάση από όλους τους άλλους εναέριους ρύπους (Bowler *et al.* 1992). Τα περιβαλλοντικά επίπεδα όζοντος στις εκβιομηχανοποιημένες χώρες μπορεί να προκαλούν τραυματισμό των φύλλων που συσχετίζεται με μια μείωση στη φωτοσύνθεση, μείωση στην ανάπτυξη και την απόδοση, καθώς και πρόωμη ωρίμανση σε πολλούς καρπούς (Hill *et al.* 1961, Pauls & Thompson 1980, Ormrod *et al.* 1981, Reich & Amundson 1985, Enyedi *et al.* 1992, Ojanpera *et al.* 1992, Fangmeier *et al.* 1993, Meyer *et al.* 1997).

Το όζον αντιδρά πολύ γρήγορα με την υγρή φάση των κυτταρικών τοιχωμάτων και μετατρέπεται στα φυτοτοξικά ενεργά είδη οξυγόνου (AOS) σε εκτιθέμενους φυτικούς ιστούς. Στα ενεργά είδη οξυγόνου περιλαμβάνονται το υπεροξειδίο ( $O_2^-$ ), υπεροξειδίο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ), η ρίζα υδροξυλίου ( $OH^-$ ) και οξυγόνο ( $^1O_2$ ) (Mudd, 1982, Malhotra and Khan, 1984). Τα φυτά έχουν αναπτύξει προστατευτικά συστήματα άμυνας στην αντίδραση αυτών των AOS. Αντιοξειδωτικά ένζυμα, όπως το υπεροξειδίο της δισμουτάσης (SOD), η καταλάση (CAT), η περοξειδάση (POX) καθώς και τα ένζυμα του ασκορβικού – γλουταθειονικού κύκλου (κύκλος Halliwell – Asada) παρέχουν ενδογενή άμυνα ενάντια στη συσσώρευση των επιζήμιων συγκεντρώσεων των AOS. Παρόλα αυτά, έχει επανειλημμένα αποδειχθεί ότι επηρεάζονται από το όζον (Lee *et al.* 1984, Castillo & Greppin, 1988, Heath & Castillo, 1988, Bender *et al.* 1994, Brunschon-Harti *et al.* 1995, Ranieri *et al.* 1996, Lyons *et al.* 1999).

Τα δεδομένα που δημοσιεύονται για τον ρόλο των αντιοξειδωτικών ενζύμων στην προστασία των φυτών από τον τραυματισμό του όζοντος έρχονται σε διαφωνία μεταξύ τους. Οι Lee και

Bennett (1982) βρήκαν ότι η ανεκτικότητα που αναπτύχθηκε από την αιθυλενοδιουρία στα φασόλια στον τραυματισμό από το όζον ήταν πάντοτε σε συσχέτισμό με την αύξηση σε SOD, CAT και POX στα φύλλα. Τα επίπεδα των δραστηριοτήτων των APX και GS στον αρακά που εκτίθονταν στο όζον ήταν περίπου διπλάσια από αυτά που εντοπίζονταν σε φυτά μάρτυρες (Mehlhof *et al.* 1987). Στην ερυθρελάτη και σε είδη πεύκου, όλα τα ισοένζυμα SOD προκαλούνταν από το όζον (Tanty *et al.* 1989). Σε αντίθεση με αυτές τις αναφορές, άλλες εργασίες έχουν δείξει ότι τα SOD σε μπιζέλια, σόγια και νορβηγικό έλατο, επηρεάζονταν πάρα πολύ από το όζον. Η ευαισθησία του φασολιού που εξετάστηκε (Mckersie *et al.* 1982) δε συσχετιζόταν με τη δραστηριότητα του SOD και την ποσότητα λιποδιαλυτών αντιοξειδωτών. Στα φύλλα σπανακιού που εκτίθονταν στο όζον, τα επίπεδα SOD και CAT μειώνονταν (Sakaki *et al.* 1983). Επομένως, ο ρόλος αυτών των αντιοξειδωτικών ενζύμων, στην αποτοξίνωση του όζοντος στα φυτά, είναι ακόμη σε αναζήτηση.

Έχει προταθεί ότι το  $O_2$  και το  $H_2O_2$  παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στον μηχανισμό της μεσολάβησης του τραυματισμού από όζον (Wozny 1989, Scandalios 1990, Bowler *et al.* 1992). Τα περισσότερα από τα στοιχεία, για μια αιτιώδη σχέση των AOS στην φυτοτοξικότητα του όζοντος, είναι έμμεση και παράγεται από τις παρατηρούμενες διαφορές των ενζύμων που αποσυνθέτουν τα δυο κύρια AOS, όπως το SOD, POX, CAT, APX και GR. Στην πραγματικότητα, η αύξηση αυτών των ενζύμων προκαλούνταν από τη συσσώρευση του οξυγόνου και του  $H_2O_2$  στα φυτά που εκτίθονταν στο όζον (Whiteside & Hassan, 1987, Brunschon-Harti *et al.* 1995). Οι Mehlhorn *et al.* 1990, για πρώτη φορά εντόπισαν άμεσα αυξημένα επίπεδα ελεύθερων ριζών σε φυτά που εκτίθονταν στο όζον. Δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο πως η δυναμική ισορροπία μεταξύ των AOS και των επιπέδων των ενζύμων αποσύνθεσης είναι διαταραγμένη στα φυτά που εκτίθενται στο όζον.

Ένας αριθμός αγροχημικών, όπως τα μυκητοκτόνα (Reinert & Spurr, 1972, Hofstra *et al.* 1987, Mackay *et al.* 1987) έχουν εμφανίσει ότι κατέχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες από

αυτές τις έρευνες, έχουν επικεντρωθεί στην αποτελεσματικότητα των αγροχημικών στην προστασία των φυτών από τον τραυματισμό του όζοντος και σχετικά λίγη δουλειά έχει επικεντρωθεί στους φυσιολογικούς και βιοχημικούς τρόπους δράσης.

Οι Strobilurins είναι ένα σημαντικό νέο είδος των μυκητοκτόνων με ένα μοναδικό τρόπο δράσης που στοχεύει την μιτοχονδριακή αναπνοή των μυκήτων. Λίγες μελέτες στις φυσιολογικές επιδράσεις των Strobilurins πάνω και μέσα στα φυτά, έδειξαν ότι οι Strobilurins επαύξαναν την απόδοση των καρπών, την ξηρή μάζα, τα συστατικά της χλωροφύλλης και των πρωτεϊνών και καθυστέρουσαν το γηρασμό (Mercer & Ruddock 1996, Grossmann & Retzaff 1997, Mercer & Ruddock 1998).

Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει την αποτελεσματικότητα των Strobilurins μυκητοκτόνων στην καθυστέρηση του γηρασμού στα ανοιξιάτικα φυτά σιταριού και κριθαριού, εξ' αιτίας της ικανότητάς τους να αυξάνουν τις δραστηριότητες από διάφορα αντιοξειδωτικά ένζυμα και κατ' επέκταση να παρεμποδίζουν την συσσώρευση των ενεργών ριζών οξυγόνου. Οι Yue-xuan Wu & Andreas von Tiedemann μελέτησαν την αποτελεσματικότητα των strobilurin azoxystrobin και των triazole epxiconazole, στην προστασία του φθινοπωρινού κριθαριού από τον τραυματισμό του όζοντος και τη σχέση του με παράγοντες κλειδιά, του ενεργού μεταβολισμού οξυγόνου στο κριθάρι

Από δεδομένα που έχουν συλλεγεί στην πόλη του Ηρακλείου και στη Φοινοκαλιά διακρίνεται ένας εποχιακός κύκλος, με ελάχιστες τιμές γύρω στα 35ppbv κατά τη διάρκεια του χειμώνα και μέγιστες πάνω από 70ppbv κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Kouvarakis *et al.* 2000).

Καθορίστηκε μια γεωγραφική έκταση μέσα στην περιοχή του αγροκτήματος Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης, στις παρυφές της πόλης του Ηρακλείου, για να προσδιοριστεί αν το όζον στη συγκέντρωση της περιοχής αυτής, στο δεδομένο χρόνο, μπορεί να προκαλέσει ορατά συμπτώματα ή/και σχετική μεταβολή της ξηρής μάζας των δύο βιοτύπων. Παράλληλα με τη βοήθεια του συστήματος NC-S/NC-R εξετάστηκε αν μερικά από τα πλέον χρησιμοποιούμενα φυτοφάρμακα στις κηπευτικές καλλιέργειες

της περιοχής έχουν κάποια αλληλεπίδραση με τις δεδομένες συγκεντρώσεις όζοντος.

## Υλικά και μέθοδοι

### Φυτικό υλικό

Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν μοσχεύματα τριφυλλιού απαλλαγμένα από ιούς μήκους 7 έως 10 cm, με 3-4 κόμβους το καθένα τα οποία προμηθεύτηκαν από το Συντονιστικό Κέντρο του ICP Vegetation. Τα μοσχεύματα

φυτεύθηκαν αρχικά σε δοχεία φύτευσης όγκου ενός λίτρου και τοποθετήθηκαν πάνω σε πάγκους ριζοβολίας σε υαλόφρακτο θερμοκήπιο. Για την στρωμάτωση των μοσχευμάτων μαλακού ξύλου με φύλλο χρησιμοποιήθηκε ένα μίγμα κόμποστ (Klasmann Drilmann) και βερμικουλίτη σε αναλογία 4:1. Χρησιμοποιήθηκε ένα ραβδί (μολύβι) προκειμένου να γίνει μια οπή στο μέσο φύτευσης (δοχείο). Η ριζοβολία γίνεται καλύτερα όταν το μόσχευμα είναι σε μια σχεδόν οριζόντια γωνία και αυτή ήταν η αρχή που ακολουθήθηκε στην φύτευση των μοσχευμάτων. Το κάθε μόσχευμα τοποθετήθηκε στην οπή με τρόπο ώστε περίπου 6 mm του μοσχεύματος



Εικ.9 Μοσχεύματα μαλακού ξύλου σε δοχεία 1lt

Το κάθε μόσχευμα τοποθετήθηκε στην οπή με τρόπο ώστε περίπου 6 mm του μοσχεύματος



Εικ.10 Πότισμα φυτών μέσω του συστήματος υδρονέφωσης.

(συμπεριλαμβανομένου και του ακραίου μεριστώματος) να παραμείνουν επάνω από την επιφάνεια. Στη συνέχεια αφού σταθεροποιήθηκε καλά το εδαφικό μίγμα γύρω από το μόσχευμα, ποτίστηκε διεξοδικά μέσω συστήματος υδρονέφωσης και τέλος το κάθε δοχείο σημειώθηκε για να είναι δυνατός ο διαχωρισμός των δυο βιοτύπων.

Η ριζοβολία άρχισε αμέσως και μετά από 8 περίπου μέρες σημειώθηκε η έκπτυξη του πρώτου φύλλου. Τα φυτά ποτίζονταν ανάλογα με τις ανάγκες τους, χωρίς όμως το υπόστρωμα να παραμένει σε πολύ υγρές συνθήκες γιατί με τον τρόπο αυτό θα δημιουργούνταν κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη μυκήτων. Υπερβολική εδαφική υγρασία, κυρίως τις πρώτες 7-10 μέρες, μπορούσε να αποτρέψει τη ριζοβολία των μοσχευμάτων.

Δόθηκε προσοχή ώστε να μην εμφανιστούν αφίδες και άλλα έντομα έξω από το θερμοκήπιο για να αποφευχθεί η εξάπλωση των ιών και των ασθενειών.

Τα φυτά λιπαίνονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα μετά την έκπτυξη του δεύτερου φύλλου (21 ημέρες μετά από την στρωμάτωση) με διάλυμα 150ml Nutrileaf (4-10-40) περιεκτικότητας 1gr/lit (SUGAR EXPRESS-MILLER).

## **Πειραματικός χώρος**

Ανοιχτό κομμάτι αγρού (αγρόκτημα Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης) μακριά από κτίρια και κεντρικούς δρόμους. Περιφράχτηκε προκειμένου να αποτρέψει πουλιά και άλλα ζώα να καταστρέψουν τα φυτά.

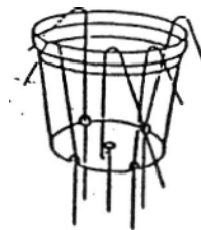
## **Καλλιεργητικές τεχνικές**

35 μέρες από τη στρωμάτωση, τα φυτά μεταφυτεύτηκαν σε δοχεία 19 λίτρων με μια διάμετρο επιφανείας περίπου 26cm. Αυτό το μέγεθος δοχείων απαιτείται επειδή το τριφύλλι αυξάνεται από τους “αναρριχώμενους μίσχους” (στόλωνες) που ριζοβολούν, επομένως απαιτείται πολύ εδαφική επιφάνεια. Επίσης, τα δοχεία όγκου 19 λίτρων επιτρέπουν αύξηση των φυτών 3 έως 5 μήνες χωρίς αδελφωμα μεταξύ των γλαστρών.

Το εδαφικό υπόστρωμα στο οποίο μεταφυτεύτηκαν τα φυτά αποτελούνταν από κόμποστ (Klasmann Drilmann), βερμικουλίτη και περλίτη σε αναλογία 18:3:1. Η θρέψη των φυτών στηρίχθηκε κυρίως στο λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης Osmocote Plus (15-10-12+2MgO/ 5-6 μήνες βραδείας αποδέσμευσης/ Scotts) που προστέθηκε κατά τη μεταφύτευση των φυτών. Επιπλέον, τα 144 φυτά που αρδεύονταν με στάγδην άρδευση λιπαίνονταν μια φορά την εβδομάδα κατ' εναλλαγή με Complisal Drip (20-20-20) και Polyleaf (30-10-10).

Για την άρδευση των τριάντα δοχείων 19 λίτρων που προορίζονταν για τον έλεγχο της επίδρασης του όζοντος χρησιμοποιήθηκε φυτίλι από υαλοβάμβακα το οποίο κόπηκε και μουλιάστηκε στο νερό όλη νύκτα. Κατόπιν, η διαδικασία πλήρωσης των δοχείων ήταν η εξής:

1. Σε κάθε δοχείο τοποθετήθηκαν 4 τεμάχια φυτιλιού των 60 εκ. και 1 των 120 εκ. Τα φυτίλια τοποθετήθηκαν μέσα στο δοχείο με τρόπο ώστε 20 εκ. να προεξέχουν από κάθε τρύπα απορροής στη βάση της γλάστρας. Τα φυτίλια 60εκ. τοποθετήθηκαν στις περιφερειακές τρύπες, ενώ το φυτίλι 120εκ. αντιστοιχούσε στη κεντρική της γλάστρας. Οι άκρες των φυτιλιών στο πάνω μέρος της γλάστρας αφήνονταν ελεύθερες πάνω από το χείλος της.



2. Τοποθετήθηκε υπόστρωμα ριζοβολίας από κόμποστ (Klasmann Drilmann), βερμικουλίτη και περλίτη σε αναλογία 18:3:1. περίπου 6-7 εκατ. βάθους στη γλάστρα και συμπιέστηκε (μέχρι περίπου τα 4-5 εκατ.). Προστέθηκαν 12g λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης Osmocote Plus (15-10-12+2MgO/ 5-6 μήνες βραδείας αποδέσμευσης/ Scotts) ομοιόμορφα στην επιφάνεια με την βοήθεια μιας μεζούρας 12g. Στη συνέχεια ένα από τα φυτίλια των 60cm τοποθετήθηκε δεξιόστροφα σε έναν μερικό κύκλο περίπου 2,5cm από την περίμετρο της γλάστρας πάνω στο εδαφικό μίγμα.

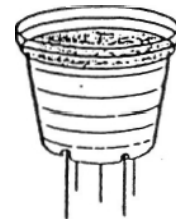
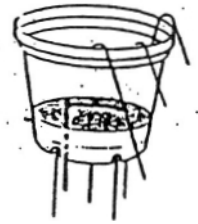


3. επαναλήφθηκε το βήμα 2 χρησιμοποιώντας το παρακείμενο φυτίλι (δεξιόστροφα) και προστέθηκαν και άλλα 12g λιπάσματος βραδείας απελευθέρωσης.

4. επαναλήφθηκε το βήμα 3

5. επαναλήφθηκε το βήμα 3

6. επαναλήφθηκε το βήμα 3 χρησιμοποιώντας το φυτίλι 120 εκατ. από την κεντρική τρύπα. Κατόπιν γεμίστηκε η γλάστρα μέχρι 4-5 εκατ. από την κορυφή της (μετά από τη συμπίεση του υποστρώματος).



Οι γλάστρες τοποθετήθηκαν τυχαία πάνω σε δοχεία με νερό 10 λίτρων (σχήμα 1). Το μέρος των φυτιλιών που προεξείχαν από το κάτω μέρος των δοχείων φύτευσης βρισκόταν συνεχώς βυθισμένο στο νερό των δοχείων άρδευσης. Η επαναπλήρωση με νερό ήταν αυτόματη.

Μία κεντρική δεξαμενή παρείχε νερό για όλα τα δοχεία. Η δεξαμενή είχε τοποθετηθεί μέσα στο έδαφος κατά τα τρία τέταρτα. Μέσα στη δεξαμενή υπήρχε φλοτέρ που επαναπλήρωνε από το κεντρικό δίκτυο. Αυτή η δεξαμενή παρείχε νερό σε 5 σειρές με 6 δοχεία η κάθε μια. Η απόσταση των σειρών μεταξύ τους ήταν 75.7, ενώ τα δοχεία απέιχαν 45cm επι της σειράς (σχ.1).

Τα δοχεία νερού είχαν καλυφθεί από φύλλα αλουμινίου για να μην αυξάνεται υπερβολικά η θερμοκρασία του νερού στο εσωτερικό τους. Όταν το νερό των δοχείων μειωνόταν λόγω της

Εικ.11 Δεξαμενή νερού αυτόματου συστήματος ποτίσματος.





απορρόφησης νερού μέσω των φυτιλιών, τότε η ποσότητα νερού αναπληρώνονταν αυτόματα από την κεντρική δεξαμενή (αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων).

Στο μέρος του πειράματος που αφορούσε στην εφαρμογή φυτοφαρμάκων στα φυτά τριφυλλιού χρησιμοποιήθηκαν 144 φυτά τριφυλλιού. Η μεταφύτευση έγινε όπως περιγράφηκε προηγουμένως αλλά χωρίς τη χρήση φυτιλιών υαλοβάμβακα. Η άρδευση σε αυτήν την περίπτωση γινόταν με σταλλάκτες τοποθετημένους στο επίπεδο κάθε γλάστρας, οι οποίες τοποθετήθηκαν ανα τριάδες τυχαία στον πειραματικό χώρο (σχήμα 2). Επιπλέον του λιπάσματος Osmocote που χρησιμοποιήθηκε κατά τη μεταφύτευση τα φυτά λιπαίνονταν άπαξ εβδομαδιαίως με Complisal Drip (20-20-20) και Polyleaf (30-10-10) κατ' εναλλαγήν, όπως ήδη έχει αναφερθεί.



Εικ.12 Διάταξη των φυτών στον πειραματικό χώρο.



**Σχήμα 2.** Διάταξη των 144 φυτών φυτών τριφυλλιού και οι ψεκασμοί που εφαρμόστηκαν. Το κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύει τον ευαίσθητο , ενώ το μπλέ τον ανθεκτικό βιότυπο.

### **Προετοιμασία πειραματικού χώρου**

Η σειρά εργασιών που ακολουθήθηκε για την προετοιμασία του πειραματικού χώρου ήταν η εξής:

- Βαθεία άρωση του εδάφους για την καταστροφή των ζιζανίων.
- Περίφραξη του χώρου για την προφύλαξη των φυτών από ζώα της περιοχής. Επιπλέον τοποθετήθηκε στο χώρο σαλιγκαροκτόνο και ποντικοφάρμακο.

- Κάλυψη του εδάφους με λωρίδες μαύρου πλαστικού στο χώρο που επρόκειτο να τοποθετηθούν οι 144 γλάστρες που θα ποτίζονται με το σύστημα της στάγδην άρδευσης.



Εικ.13 Κάλυψη του εδάφους με μαύρο πλαστικό και δημιουργία καναλιών απορροής.

- Εγκατάσταση αρδευτικού δικτύου.

- Κάλυψη όλων των μερών του αυτόματου συστήματος που ήταν άμεσα εκτεθειμένα στον ήλιο με λεπτά φύλλα αλουμινίου για να μην αυξάνεται υπερβολικά η θερμοκρασία του νερού.

- Δημιουργία καναλιών απορροής του νερού (της βροχής και της άρδευσης)



Εικ.14 Κάλυψη όλων των μερών του αυτόματου συστήματος ποτίσματος με λεπτά φύλλα αλουμινίου.

## Επεμβάσεις ψεκασμού



Μετά την πάροδο μιας εβδομάδας από το κλάδεμα των φυτών στο ύψος των 7εκ. πάνω από την επιφάνεια του υποστρώματος που, τα 144 φυτά τριφυλλίου που αρδεύονταν με το σύστημα της στάγδην άρδευσης (90 φυτά του ευαίσθητου και 54 του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου) ψεκάστηκαν με τη βοήθεια ψεκαστήρων χειρός του 1lt με τα εξής φυτοπροστατευτικά προϊόντα:



Εικ.15 Ψεκαστήρες χειρός 1lt.

- benomyl 50% β/β, (Benazol-Farma-Chem), 0.3ml προσκολλητικό+0.6g Be/lt ψεκαστικού διαλύματος.
- azoxystrobin 25% β/ο, (Quadris-Sygenta), 0.3ml προσκολλητικό+1ml Qu/lt ψεκαστικού διαλύματος.
- diethofencarb 25% β/β και arbandazim 25% β/β, (Sumico-Bayer), 0.3ml προσκολλητικό+1.25g Su/lt ψεκαστικού διαλύματος.
- fenhexamid 51% β/β, (Teldor-Bayer), 0.3ml προσκολλητικό+1.5g Te/lt ψεκαστικού διαλύματος.
- imidacloprid 20%, (Confidor-Bayer), 0.3ml προσκολλητικό+0.5ml Co/lt ψεκαστικού διαλύματος.



Εικ.16 Ψεκασμός φυτών.

Μια εβδομάδα μετά τον πρώτο αυτό ψεκασμό πραγματοποιήθηκε και δεύτερος που αφορούσε μόνο σε 36 επιλεγμένα φυτά του ευαίσθητου βιότυπου με κάθε ένα από τα παραπάνω φυτοπροστατευτικά προϊόντα, εξαιρουμένου του Confidor.

**μέτρηση βιομάζας**

**Συγκομιδή και**

Για τη συγκομιδή χρησιμοποιήθηκε ένα ξυλάκι δείκτης με δύο γραμμές, μία για να υποδεικνύει την εδαφική επιφάνεια και μία δεύτερη 7cm επάνω από την εδαφική επιφάνεια, ένα κλαδευτήρι και χάρτινες προσημειωμένες σακούλες. Η φυτική μάζα που βρισκόταν πάνω από το ύψος των 7cm συγκομιζόταν (βλαστοί, φύλλα, άνθη). Η διαδικασία συγκομιδής επαναλήφθηκε για 3 φορές στις γλάστρες με στάγδην άρδευση και 4 στις γλάστρες με τα φυτίλια. Η πρώτη συγκομιδή στις γλάστρες με στάγδην άρδευση δεν συμπεριλήφθηκε στις μετρήσεις. Τα παραπάνω δεδομένα παρουσιάζονται αναλυτικότερα στον πίνακα 1.

Αμέσως μετά τη συγκομιδή, η φυτική μάζα από κάθε φυτό τοποθετούνταν μέσα στην προσημειωμένη χάρτινη σακούλα και ξηραίνονταν μέχρι σταθερού βάρους σε φούρνους στους 70°C.



Εικ.17 Φυτά τριφυλλίου λίγες μέρες πριν (πάνω) και λίγες μέρες μετά (κάτω) τη συγκομιδή.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.** Χρονοδιάγραμμα διαδικασιών καλλιέργειας.

**Μετρήσεις στοματικής αγωγιμότητας (g<sub>s</sub>) στους**

<b>ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ</b>	<b>ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ</b>	<b>ΨΕΚΑΣΜΟΥ</b>
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	Αγρόκτημα Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης (Ηράκλειο)	
ΧΡΟΝΟΣ	9/2/04-9/7/04	9/2/04-10/7/04
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΦΥΤΕΥΣΗΣ	9/2/2004	9/2/2004
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΑΦΥΤΕΥΣΗΣ	16/3/2004	9/3/2004
1η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	15/4/04	13/5/04
2η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	12/5/04	13/6/04
3η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	12/6/04	10/7/04
4η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	9/7/04	–
1 <sup>ος</sup> ΨΕΚΑΣΜΟΣ (α' ΕΦΑΡΜΟΓΗ)	–	25/4/04
1 <sup>ος</sup> ΨΕΚΑΣΜΟΣ (β' ΕΦΑΡΜΟΓΗ)	–	2/5/04
2 <sup>ος</sup> ΨΕΚΑΣΜΟΣ (α' ΕΦΑΡΜΟΓΗ)	–	20/5/04
2 <sup>ος</sup> ΨΕΚΑΣΜΟΣ (β' ΕΦΑΡΜΟΓΗ)	–	26/5/04
3 <sup>ος</sup> ΨΕΚΑΣΜΟΣ (α' ΕΦΑΡΜΟΓΗ)	–	20/6/04
3 <sup>ος</sup> ΨΕΚΑΣΜΟΣ (β' ΕΦΑΡΜΟΓΗ)	–	27/6/04

## υδρατμούς

- Οι μετρήσεις gs πραγματοποιούνταν και σε ηλιόλουστες και σε συννεφιασμένες ημέρες.

- Η συσκευή μέτρησης (πορόμετρο) καλυμπραριζόταν κάθε φορά που χρησιμοποιούταν.

- Οι μετρήσεις γινόταν σε ιδανικές συνθήκες ανά τακτά χρονικά διαστήματα μεταξύ της περιόδου από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου. Επίσης γινόταν κάποιες μετρήσεις κατά τη διάρκεια της νύχτας χωρίς όμως πολύ σχετική υγρασία για να μην επηρεαστούν οι μετρήσεις αγωγιμότητας από την συμπύκνωση και τις πολύ πρωινές ώρες.

- Οι μετρήσεις γινόταν στα πλήρως αναπτυγμένα φύλλα και ο σένσορας του πορομέτρου τοποθετούνταν στη θέση σκιάς του ήλιου και το φύλλο μέτρησης ήταν πάντα το 4<sup>ο</sup> από την άκρη του στόλωνα.

- Παίρνονταν μετρήσεις με συχνότητα 5-20 σημείων (φύλλων) ανά ώρα.

- Λόγω του ότι το πορόμετρο μετρούσε μόνο την μία επιφάνεια του φύλλου έγιναν και κάποιες μετρήσεις για να πάρουμε τιμές και για την πάνω επιφάνεια του φύλλου για να καθιερώσουμε την αναλογία του gs για την άνω:κάτω επιφάνεια φύλλων.



Εικ.18 Σένσορας πορομέτρου

## Μετρήσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων



Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες μετρήσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων.

1. Θερμοκρασία και υγρασία αέρα. Η καταγραφή των τιμών των δεδομένων της θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα γινόταν από το αυτόματο όργανο καταγραφής Micro Lab. Οι τελικές τιμές ήταν οι μέσες ωριαίες τιμές των ανα πεντάλεπτο μετρήσεων του οργάνου.

2. Φωτισμός. Οι τιμές του άμεσου ηλιακού φωτός καταγράφονταν μέσω του φωτόμετρου που ήταν συνδεδεμένο σε Data logger.



3. Όζον. Οι τιμές του όζοντος σε ύψος 1m περίπου πάνω από το ύψος της κόμης των φυτών καταγράφονταν με την βοήθεια του Ozone Analyzer.

Εικ.19 Φωτόμετρο συνδεδεμένο σε αυτόματο καταγραφικό.

Μετρήσεις γινόταν ανα πεντάλεπτο και οι τελικές τιμές ήταν οι μέσες ωριαίες τιμές που αυτόματα υπολογίζονταν από τον αναλυτή.

4. Αγωγιμότητα στοματίων. Οι τιμές αυτές λαμβάνονταν με την βοήθεια του πορομέτρου LI-COR, (LI-1600 STEADY STATE POROMETER).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

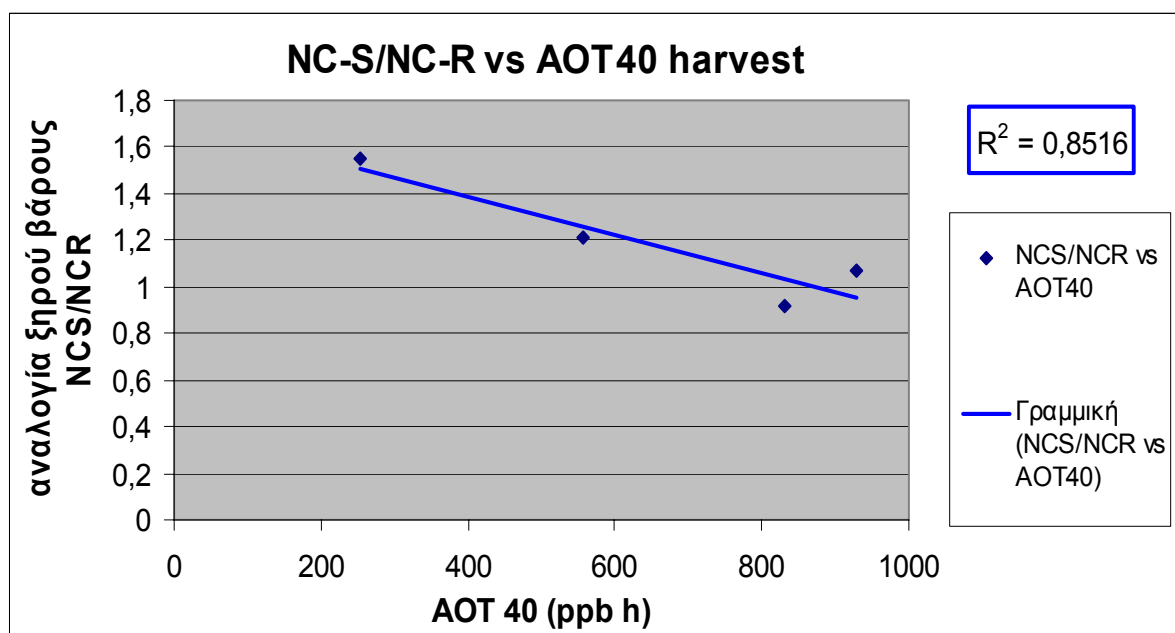
## Αποτελέσματα

Κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγράφηκαν με τη βοήθεια οργάνων οι εξής περιβαλλοντικές παράμετροι: θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία αέρα, συγκέντρωση όζοντος στην ατμόσφαιρα και φωτισμός. Από τις παραπάνω καταγραφές υπολογίστηκε ότι η μέση εικοσιτετράωρη θερμοκρασία που επικρατούσε στον πειραματικό χώρο κατά τη χρονική περίοδο που διήρκεσε το πείραμα ήταν μεταξύ των 18.868 και 26.02°C, η μέση εικοσιτετράωρη σχετική υγρασία μεταξύ 41.261 και 58.123%, η μέση ημερήσια τιμή φωτισμού μεταξύ 628.7 και 1023.546 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Αναλυτικότερα, τόσο τα παραπάνω όσο και διάφορα άλλα μετεωρολογικά δεδομένα, οι ποικίλοι δείκτες έκθεσης στο όζον και η αναλογία βιομάζας ευαίσθητου προς ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού (NC-S / NC-R) παραθέτονται στον πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μετεωρολογικά δεδομένα, δείκτες έκθεσης στο όζον και αναλογία βιομάζας ευαίσθητου προς ανθεκτικού κλώνου τριφυλλιού (NC-S / NC-R).

<b>ΣΥΓΚΟΜΙΔΕΣ</b> <b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<b>1η (17/3/04- 15/4/04)</b>	<b>2η (16/4/04- 12/5/04)</b>	<b>3η (13/5/04- 12/6/04)</b>	<b>4<sup>η</sup> (13/6/04- 9/7/04)</b>
ΜΕΣΗ 24h ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	20,29	18,868	20,487	26,02
ΜΕΣΗ 24h ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	41,26	58,123	57,53	54,5
ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΤΙΜΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ PAR(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	628,7	698,048	956,251	1023,546
ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ PAR(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	1408,966	1488,538	1750,198	1480,751
ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ PAR(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	46,174	86,286	86,849	96,685
ΜΕΣΗ 24h ΤΙΜΗ ΟΖΟΝΤΟΣ (ppb h)	29,239	30,33	30,536	31,58
ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΤΙΜΗ ΟΖΟΝΤΟΣ (ppb h)	33,792	36,642	40,253	40,836
ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΤΙΜΗ ΟΖΟΝΤΟΣ (ppb h)	40,86	43,634	46,113	45,733
ΑΟΤ40 (ppb h)	253,01	556,97	928,28	830,51
ΣΥΝΟΛΟ ΩΡΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ 40ppb h	55	120	205	192
ΑΟΤ30 (ppb h)	1456,53	2576,929	3642,5	3761,26
ΣΥΝΟΛΟ ΩΡΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ 30ppb h	177	268	335	318
ΑΟΤ60 (ppb h)	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ ΩΡΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ 60ppb h	0	0	0	0
ΑΝΑΛΟΓΙΑ NC-S/NC-R	1,55	1,21	1,073	0,916

## A) Επίδραση του όζοντος στη σχετική ανάπτυξη του ευαίσθητου (NC-S) και του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού (NC-R).



Γραφική παράσταση 1. Γραμμικό διάγραμμα της αναλογίας ξηρού βάρους NC-S/NC-R σε σχέση με την τιμή του AOT 40 (ppb h) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα καθόλη την καλλιεργητική περίοδο.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων του πειράματος της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα φανέρωσε ότι στην περιοχή διεξαγωγής του η αναλογία μέσου ξηρού βάρους του ευαίσθητου προς τον ανθεκτικό βιότυπο (NC-S/NC-R) και η τιμή του AOT 40 συνδέονται με υψηλό συσχετισμό ( $R^2=0.8516$ ).

Ο συνδυασμός των παραπάνω αποτελεσμάτων φανερώνει ότι οι δυο αυτές τιμές εμφανίζουν μια αντίστροφη αναλογία μεταξύ τους (Γραφική παράσταση 1). Αυτό σημαίνει ότι κατά την αύξηση της τιμής του AOT 40 σημειώνεται μείωση στην αναλογία της ξηρής μάζας του ευαίσθητου προς τον ανθεκτικό βιότυπο (NC-S/NC-R). Δηλαδή

υψηλότερες συγκεντρώσεις τροποσφαιρικού όζοντος παρεμποδίζουν την αύξηση της αναλογίας της φυτικής μάζας.

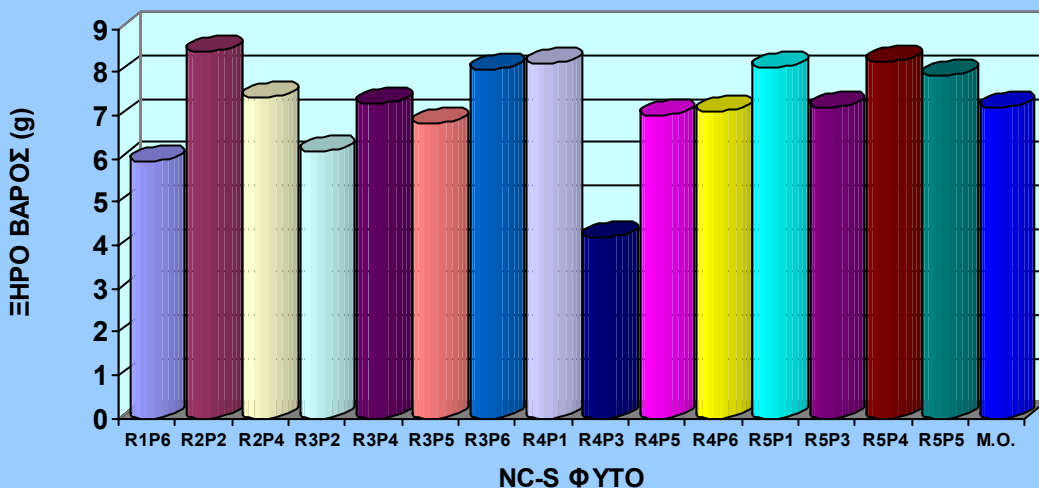
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης ξηρής μάζας του ευαίσθητου (NC-S) και του ανθεκτικού βιότυπου (NC-R) ανά συγκομιδή, η μεταξύ τους αναλογία καθώς και η τιμή ΑΟΤ40 της κάθε περιόδου.

### **A1) 1η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (17/3/04-15/4/04)**

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Οι τιμές της ξηρής μάζας του ευαίσθητου (NC-S) και του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου (NC-R) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα κατά την πρώτη συγκομιδή (17/03/04-15/04/04) και η μέση τιμή της ξηρής τους μάζας.

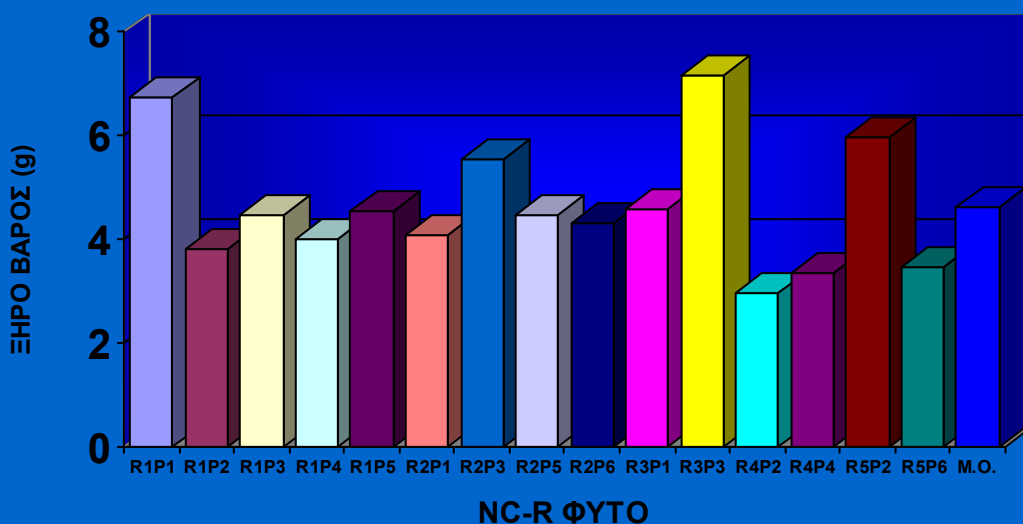
<b>ΟΝΟΜΑ NC-S ΦΥΤΟΥ</b>	<b>ΞΗΡΗ ΜΑΖΑ ΣΕ g</b>	<b>ΟΝΟΜΑ NC-R ΦΥΤΟΥ</b>	<b>ΞΗΡΗ ΜΑΖΑ ΣΕ g</b>
<b>R1P6</b>	5,94	<b>R1P1</b>	6,73
<b>R2P2</b>	8,48	<b>R1P2</b>	3,8
<b>R2P4</b>	7,39	<b>R1P3</b>	4,48
<b>R3P2</b>	6,16	<b>R1P4</b>	3,99
<b>R3P4</b>	7,26	<b>R1P5</b>	4,55
<b>R3P5</b>	6,81	<b>R2P1</b>	4,07
<b>R3P6</b>	8,05	<b>R2P3</b>	5,55
<b>R4P1</b>	8,17	<b>R2P5</b>	4,48
<b>R4P3</b>	4,18	<b>R2P6</b>	4,3
<b>R4P5</b>	6,99	<b>R3P1</b>	4,59
<b>R4P6</b>	7,08	<b>R3P3</b>	7,17
<b>R5P1</b>	8,11	<b>R4P2</b>	2,96
<b>R5P3</b>	7,18	<b>R4P4</b>	3,35
<b>R5P4</b>	8,23	<b>R5P2</b>	5,98
<b>R5P5</b>	7,9	<b>R5P6</b>	3,46
<b>M.O.NC-S</b>	<b>7,2</b>	<b>M.O. NC-R</b>	<b>4,63</b>

**ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΣΕ g ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΟΥ  
ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S) ΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ  
ΧΩΡΙΣ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (17/3/04-  
15/4/04) ΚΑΙ Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.**



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 2. Οι τιμές της ξηρής μάζας του ευαίσθητου βιότυπου τριφυλλιού (NC-S) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα κατά την πρώτη συγκομιδή (17/03/04-15/04/04) και ο μέσος όρος της ξηρής μάζας.

**ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΣΕ g ΤΟΥ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ  
ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-R) ΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ  
ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (17/3/04-15/4/04) ΚΑΙ Η ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ  
ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ.**

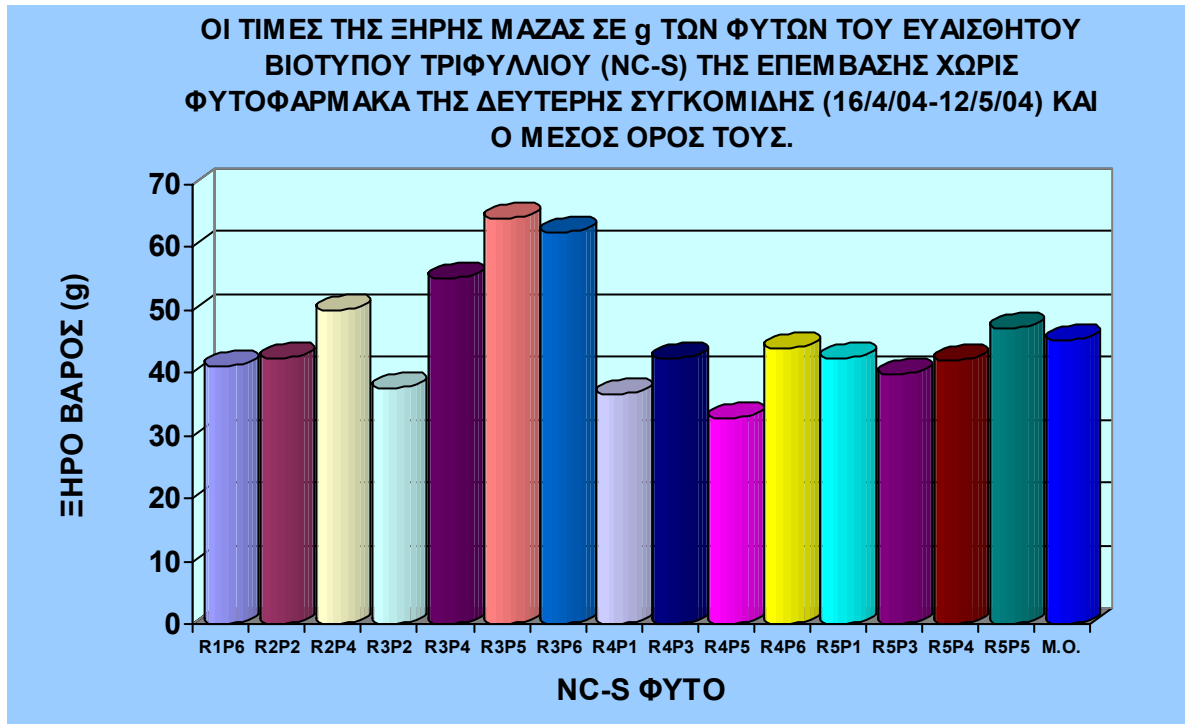


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 3. Οι τιμές της ξηρής μάζας σε g των φυτών του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού (NC-R) κατά την πρώτη περίοδο συγκομιδής (17/03/04-15/04/04) και η μέση τιμή αυτής.

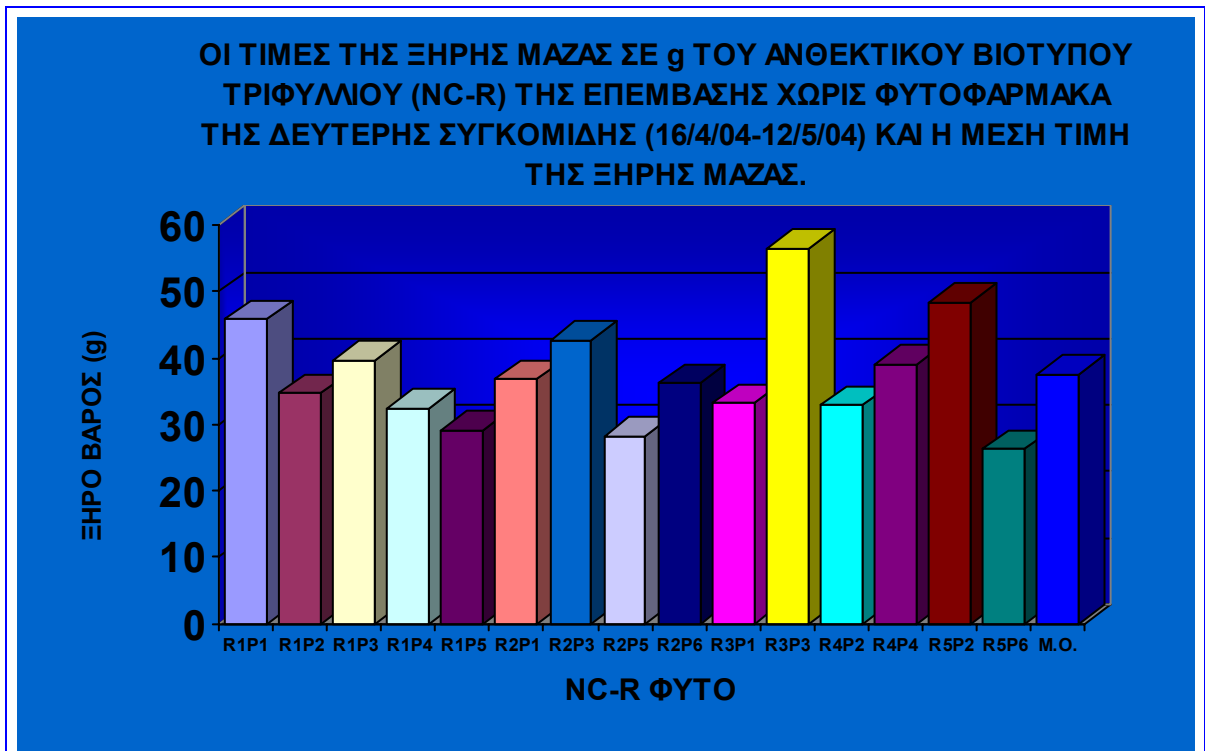
## **A2) 2<sup>η</sup> ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (16/4/04-12/5/04)**

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Οι τιμές της ξηρής μάζας του ευαίσθητου (NC-S) και του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου (NC-R) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα κατά την δεύτερη συγκομιδή (16/04/04-12/05/04) και η μέση τιμή της ξηρής τους μάζας.

<b>ΟΝΟΜΑ NC-S ΦΥΤΟΥ</b>	<b>ΞΗΡΗ ΜΑΖΑ ΣΕ g</b>	<b>ΟΝΟΜΑ NC-R ΦΥΤΟΥ</b>	<b>ΞΗΡΗ ΜΑΖΑ ΣΕ g</b>
R1P6	41,12	R1P1	45,78
R2P2	42,28	R1P2	34,64
R2P4	49,92	R1P3	39,66
R3P2	37,53	R1P4	32,39
R3P4	55,15	R1P5	29,05
R3P5	64,52	R2P1	36,76
R3P6	62,36	R2P3	42,71
R4P1	36,69	R2P5	28,16
R4P3	42,46	R2P6	36,14
R4P5	32,7	R3P1	33,13
R4P6	43,8	R3P3	56,51
R5P1	42,22	R4P2	32,83
R5P3	39,7	R4P4	39,05
R5P4	41,9	R5P2	48,39
R5P5	47,07	R5P6	26,25
M.O.NC-S	45,294	M.O. NC-R	37,43



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 4. Οι τιμές της ξηρής μάζας του ευαίσθητου βιότυπου τριφυλλίου (NC-S) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα κατά την δεύτερη συγκομιδή (16/04/04-12/05/04) και ο μέσος όρος της τιμής ξηρού βάρους.



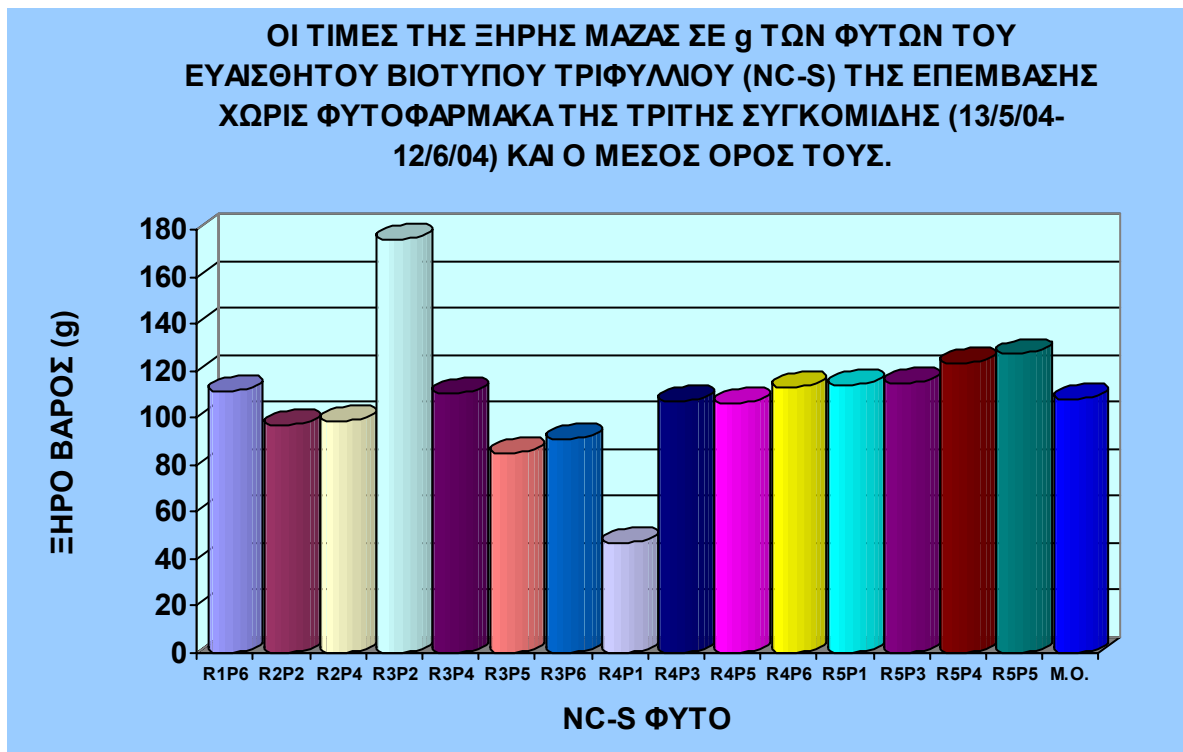
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 5. Οι τιμές της ξηρής μάζας σε g των φυτών του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου (NC-R) κατά την δεύτερη περίοδο συγκομιδής (16/04/04-12/05/04) και η μέση τιμή αυτής.



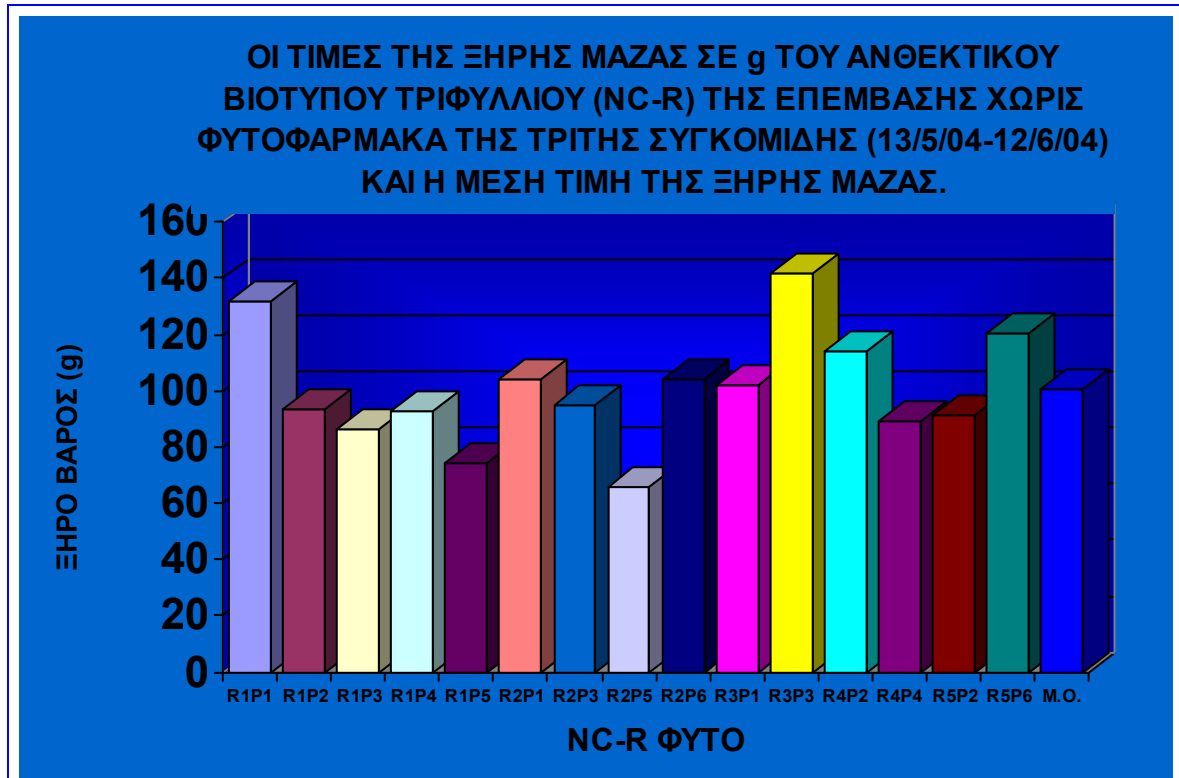
### A3) 3η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (13/5/04-12/6/04)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Οι τιμές της ξηρής μάζας του ευαίσθητου (NC-S) και του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου (NC-R) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα κατά την τρίτη συγκομιδή (13/05/04-12/06/04) και η μέση τιμή της ξηρής μάζας τους.

<b>ΟΝΟΜΑ NC-S ΦΥΤΟΥ</b>	<b>ΞΗΡΗ ΜΑΖΑ ΣΕ g</b>	<b>ΟΝΟΜΑ NC-R ΦΥΤΟΥ</b>	<b>ΞΗΡΗ ΜΑΖΑ ΣΕ g</b>
R1P6	110,89	R1P1	131,72
R2P2	96,41	R1P2	93,63
R2P4	98,88	R1P3	86,4
R3P2	175,37	R1P4	93
R3P4	110,2	R1P5	74,28
R3P5	85,02	R2P1	104,16
R3P6	91,13	R2P3	94,89
R4P1	46,64	R2P5	65,97
R4P3	106,78	R2P6	104,05
R4P5	105,75	R3P1	101,91
R4P6	112,75	R3P3	142
R5P1	113,94	R4P2	114,33
R5P3	114,42	R4P4	89,29
R5P4	123,1	R5P2	91,19
R5P5	126,94	R5P6	120,49
M.O.NC-S	107,8813	M.O. NC-R	100,487



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 6. Οι τιμές της ξηρής μάζας του ευαίσθητου βιότυπου τριφυλλίου (NC-S) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα κατά την τρίτη συγκομιδή (13/05/04-12/06/04) και ο μέσος όρος της ξηρής μάζας



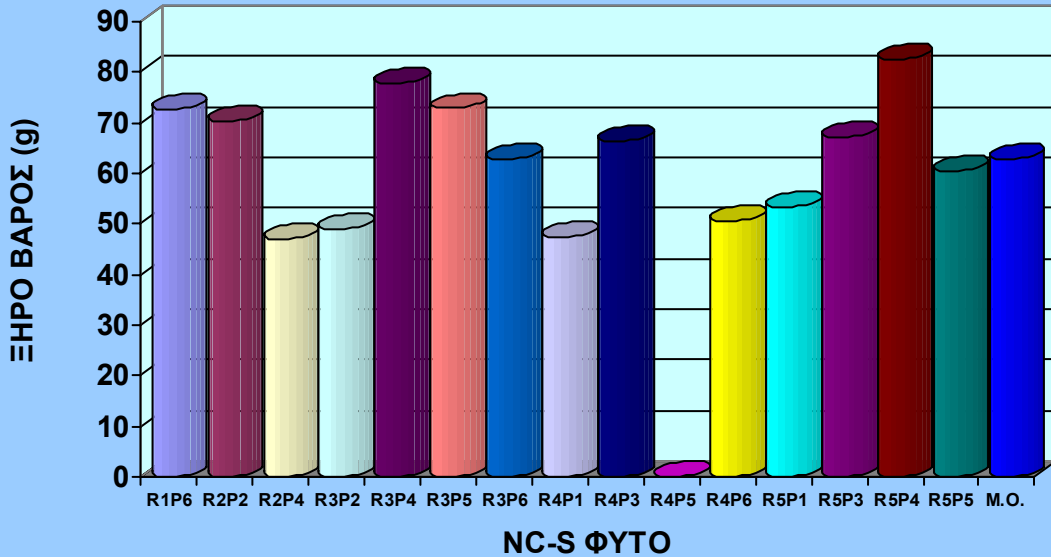
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 7. Οι τιμές της ξηρής μάζας σε g των φυτών του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου (NC-R) κατά την τρίτη συγκομιδή (13/05/04-12/06/04) και η μέση τιμή αυτής.

#### A4) 4η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (13/6/04-9/7/04)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Οι τιμές ξηρής μάζας του ευαίσθητου (NC-S) και του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου (NC-R) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα κατά την τέταρτη περίοδο συγκομιδής (13/06/04-9/07/04) και ο μέσος όρος κάθε βιοτύπου.

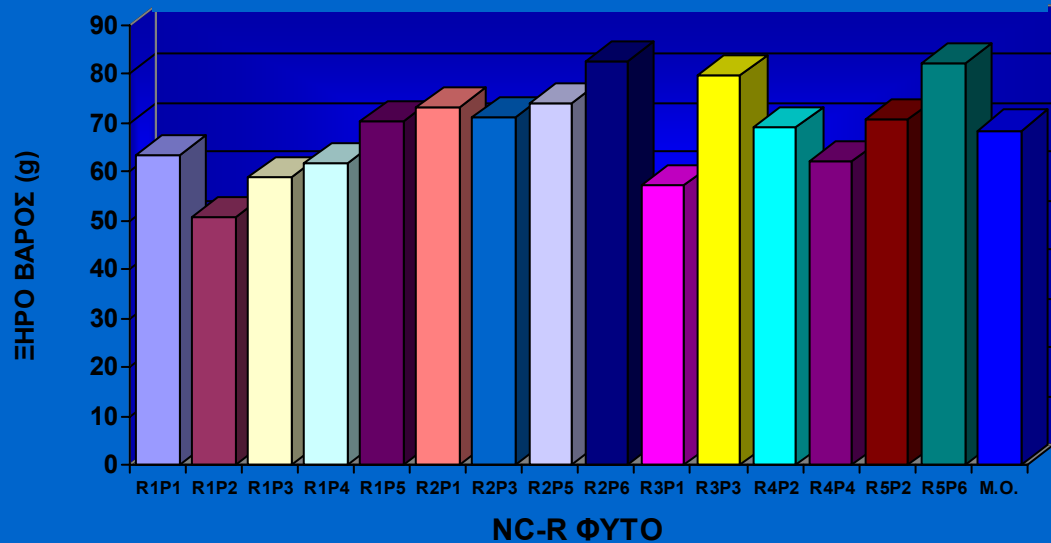
<b>ΟΝΟΜΑ NC-S ΦΥΤΟΥ</b>	<b>ΞΗΡΗ ΜΑΖΑ ΣΕ g</b>	<b>ΟΝΟΜΑ NC-R ΦΥΤΟΥ</b>	<b>ΞΗΡΗ ΜΑΖΑ ΣΕ g</b>
R1P6	72,5	R1P1	63,34
R2P2	70,31	R1P2	50,68
R2P4	46,87	R1P3	58,89
R3P2	49,05	R1P4	61,83
R3P4	77,58	R1P5	70,47
R3P5	72,81	R2P1	73,23
R3P6	62,66	R2P3	71,01
R4P1	47,32	R2P5	74,04
R4P3	66,24	R2P6	82,67
R4P5		R3P1	57,13
R4P6	50,6	R3P3	79,97
R5P1	53,23	R4P2	69,33
R5P3	67,2	R4P4	62,11
R5P4	82,37	R5P2	70,88
R5P5	60,43	R5P6	82,26
M.O.NC-S	62,797	M.O. NC-R	68,52267

**ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΣΕ g ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΟΥ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S) ΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ ΤΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (13/6/04-9/7/04) ΚΑΙ Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΟΥΣ.**



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 8. Οι τιμές της ξηρής μάζας του ευαίσθητου βιότυπου τριφυλλίου (NC-S) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα κατά την τέταρτη περίοδο συγκομιδής (13/06/04-9/07/04) και ο μέσος όρος της ξηρής μάζας.

**ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΣΕ g ΤΟΥ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-R) ΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ ΤΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (13/6/04-9/7/04) ΚΑΙ Η ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ.**



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 9. Οι τιμές της ξηρής μάζας σε g των φυτών του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου (NC-R) κατά την τέταρτη περίοδο συγκομιδής (13/06/04-9/07/04) και η μέση τιμή αυτής.

**A5) Η ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ NC-S / NC-R ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΑΟΤ40 ΑΝΑ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΦΥΤΙΛΙΩΝ ΑΠΟ ΥΑΛΟΒΑΜΒΑΚΑ.**

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Η αναλογία της ξηρής μάζας NC-S/NC-R των φυτών της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα ανα περίοδο συγκομιδής καθώς και η τιμή ΑΟΤ40 της περιόδου που σημειώθηκε.

<b>ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ</b>	<b>ΑΝΑΛΟΓΙΑ NC- S / NC- R</b>	<b>ΑΟΤ40 (ppb h)</b>
1η (17/03/04-15/04/04)	<b>1,55</b>	<b>253,01</b>
2η (16/04/04-12/05/04)	<b>1,21</b>	<b>556,97</b>
3η (13/05/04-12/06/04)	<b>1,073</b>	<b>928,28</b>
4η (13/06/04-9/07/04)	<b>0,916</b>	<b>830,51</b>



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 10. Η αναλογία της ξηρής μάζας NC-S/NC-R των φυτών τριφυλλιού της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα ανα περίοδο συγκομιδής σε σχέση και με την τιμή ΑΟΤ40 της περιόδου που σημειώθηκε.

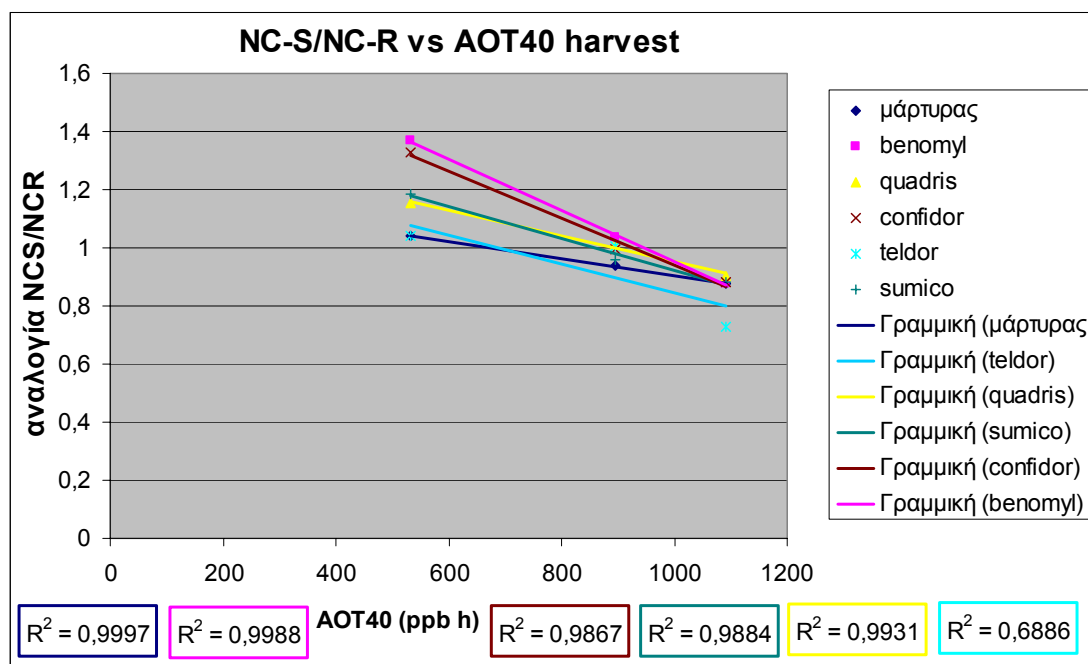
Παραπάνω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αναλογίας μέσης ξηρής μάζας του ευαίσθητου προς τον ανθεκτικό βιότυπο τριφυλλιού (NC-S/NC-R) της επέμβασης χωρίς φυτοφάρμακα στα οποία είχε χρησιμοποιηθεί αυτόματο σύστημα άρδευσης μέσω της χρήσης φυτιλιών από υαλοβάμβακα.

Κατά την πρώτη περίοδο συγκομιδής (17/03/04-15/04/04), η τιμή του ΑΟΤ40 έλαβε τιμή 253,01ppb h και η αναλογία NC-S/NC-R έλαβε τιμή 1,55.

Ανάλογα είναι και τα αποτελέσματα που λαμβάνονται και από τις δυο επόμενες περιόδους που ακολουθούν, κατά τις οποίες καταγράφηκε τιμή ΑΟΤ40 556,97 και 928,28ppb h αντίστοιχα, Συγκεκριμένα κατά την δεύτερη περίοδο συγκομιδής (16/4/04-12/5/04) η αναλογία NC-S/NC-R έδωσε τιμή 1,21 και κατά την τρίτη περίοδο συγκομιδής (13/5/04-12/6/04) 1,073.

Αντίθετα με τα παραπάνω στην τέταρτη περίοδο συγκομιδής κατά την οποία το ΑΟΤ40 έλαβε την τιμή των 830,51ppb h, η αναλογία μέσης ξηρής μάζας NC-S/NC-R έλαβε τιμή μικρότερη της μονάδας και συγκεκριμένα 0,916.

## B) Αλληλεπίδραση φυτοφαρμάκων και τροποσφαιρικού όζοντος – επιδράσεις στο φυτικό σύστημα NC-S/NC-R.



Γραφική παράσταση 11. Το γραμμικό διάγραμμα της αναλογίας ξηρού βάρους NC-S/NC-R σε σχέση με την τιμή του AOT 40 (ppb h) της επέμβασης με φυτοφάρμακα.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων του πειράματος της επέμβασης με φυτοπροστατευτικές ουσίες φανέρωσε ότι στην περιοχή διεξαγωγής του η αναλογία μέσου ξηρού βάρους του ευαίσθητου προς τον ανθεκτικό βιότυπο (NC-S/NC-R) και η τιμή του AOT 40 συνδέονται με υψηλό συσχετισμό σε όλες τις επεμβάσεις, εκτός της επέμβασης με fenhexamid 51% β/β στην οποία ο συσχετισμός ήταν μικρότερος.

Ο συνδυασμός των παραπάνω αποτελεσμάτων φανερώνει, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση ότι οι τιμές της ξηρής μάζας NC-S/NC-R και του AOT 40 εμφανίζουν μια αντίστροφη αναλογία μεταξύ τους (Γραφική παράσταση 11). Αυτό σημαίνει ότι κατά την αύξηση της τιμής του AOT 40 σημειώνεται μείωση στην αναλογία της ξηρής μάζας του

ευαίσθητου προς τον ανθεκτικό βιότυπο τριφυλλιού (NC-S/NC-R). Δηλαδή υψηλότερες συγκεντρώσεις τροποσφαιρικού όζοντος παρεμποδίζουν την αύξηση της φυτικής μάζας.

Αυτό όμως που κυρίως φανερώνεται μέσω της γραμμικής παράστασης της επέμβασης φυτοφαρμάκων είναι ότι τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα έχουν θετική δράση στα φυτά, μόνο σε χαμηλές τιμές AOT40. Καθώς αυξάνεται η τιμή του AOT40, η δράση τους μειώνεται σταδιακά σε σημείο που η αναλογία ξηρής μάζας NC-S/NC-R αγγίζει την αντίστοιχη του μάρτυρα, γεγονός που φανερώνει τη μηδενική προστασία της φυτικής μάζας σε μεγάλες συγκεντρώσεις όζοντος.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης ξηρής μάζας του ευαίσθητου (NC-S) και του ανθεκτικού βιότυπου (NC-R) ανά συγκομιδή, η μεταξύ τους αναλογία καθώς και η τιμή AOT40 της κάθε περιόδου.

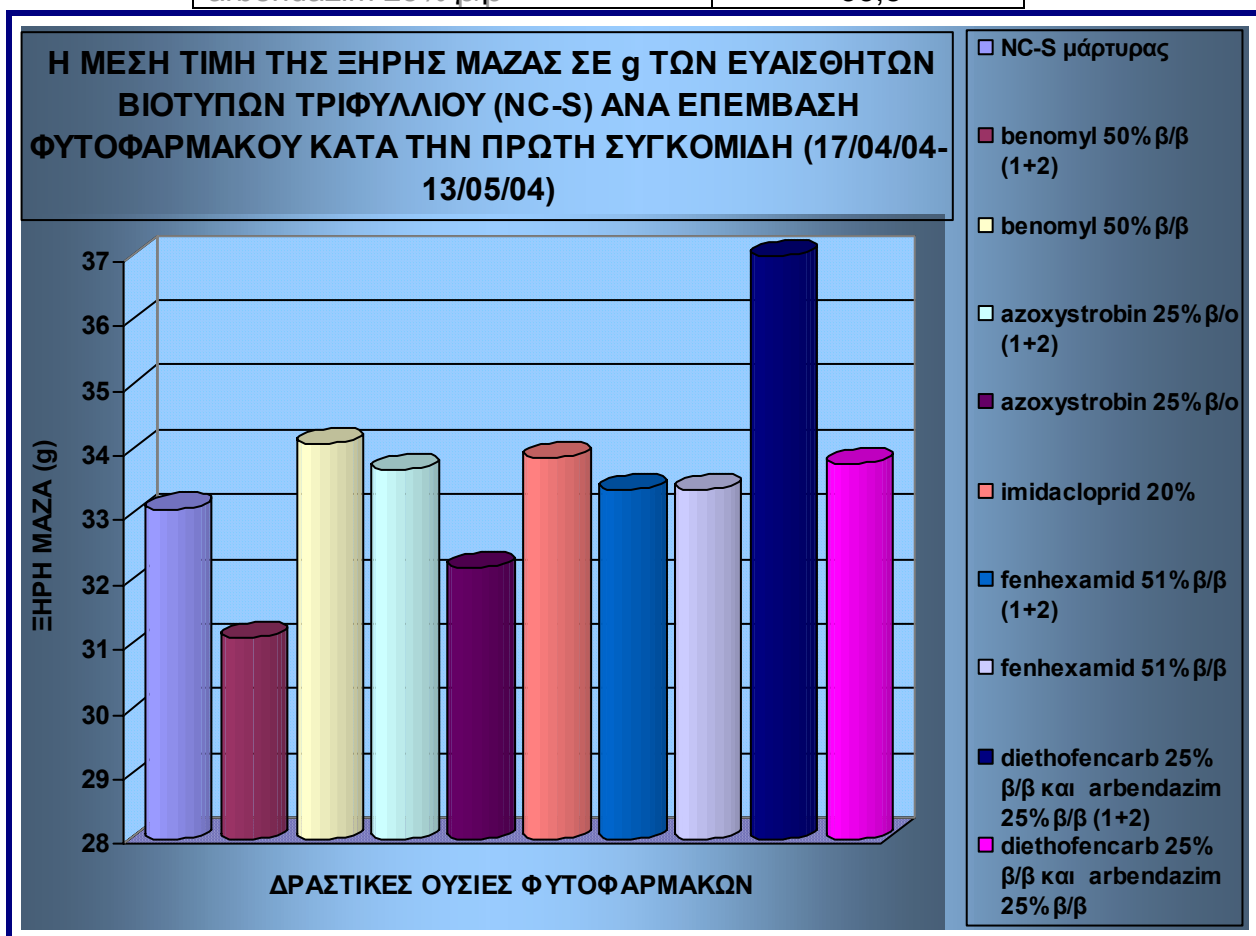


## B1) 1η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (17/4/04-13/5/04)

### B1i) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S)

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Η μέση τιμή ξηρής μάζας σε g των ευαίσθητων βιότυπων τριφυλλίου (NC-S) στις διάφορες επεμβάσεις με φυτοφάρμακα κατά την πρώτη συγκομιδή (17/4/04-13/5/04).

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ (g)
NCS μάρτυρας	33,1
NCS benomyl 50% β/β (1+2)	31,1
NCS benomyl 50% β/β	34,1
NCS azoxystrobin 25% β/ο (1+2)	33,7
NCS azoxystrobin 25% β/ο	32,2
NCS imidacloprid 20%	33,9
NCS fenhexamid 51% β/β (1+2)	33,4
NCS fenhexamid 51% β/β	33,4
NCS diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β (1+2)	37
NCS diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β	33,8



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 12. Οι μέσες τιμές της ξηρής μάζας σε g στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων για τον ευαίσθητο βιότυπο τριφυλλίου (NC-S) κατά την πρώτη συγκομιδή (17/4/04-13/5/04).

Η μέση τιμή του ξηρού βάρους του μάρτυρα (μάρτυρα) του ευαίσθητου κλώνου τριφυλλίου (NC-S) της πρώτης συγκομιδής (17/4/04-13/5/04) σημείωσε την τιμή των 33,1g.

Τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε ένας μόνο ψεκασμός την πρώτη εβδομάδα αυτής της περιόδου και συγκεκριμένα στις 25/4/04 έδωσαν τα εξής αποτελέσματα: benomyl 50% β/β: 34,1g, imidacloprid 20%: 33,9g, diethofencarb 25% β/β-  
arbendazim 25% β/β :33,8g, fenhexamid 51% β/β: 33,4g και τέλος azoxystrobin 25% β/ο:32,2g. Από τα παραπάνω φανερώνεται ότι την μεγαλύτερη τιμή μέσου ξηρού βάρους εμφάνισαν τα φυτά τριφυλλίου που είχαν ψεκαστεί με benomyl 50% β/β (34,1g), ενώ την μικρότερη αυτά που είχαν ψεκαστεί με azoxystrobin 25% β/ο (32,2g).

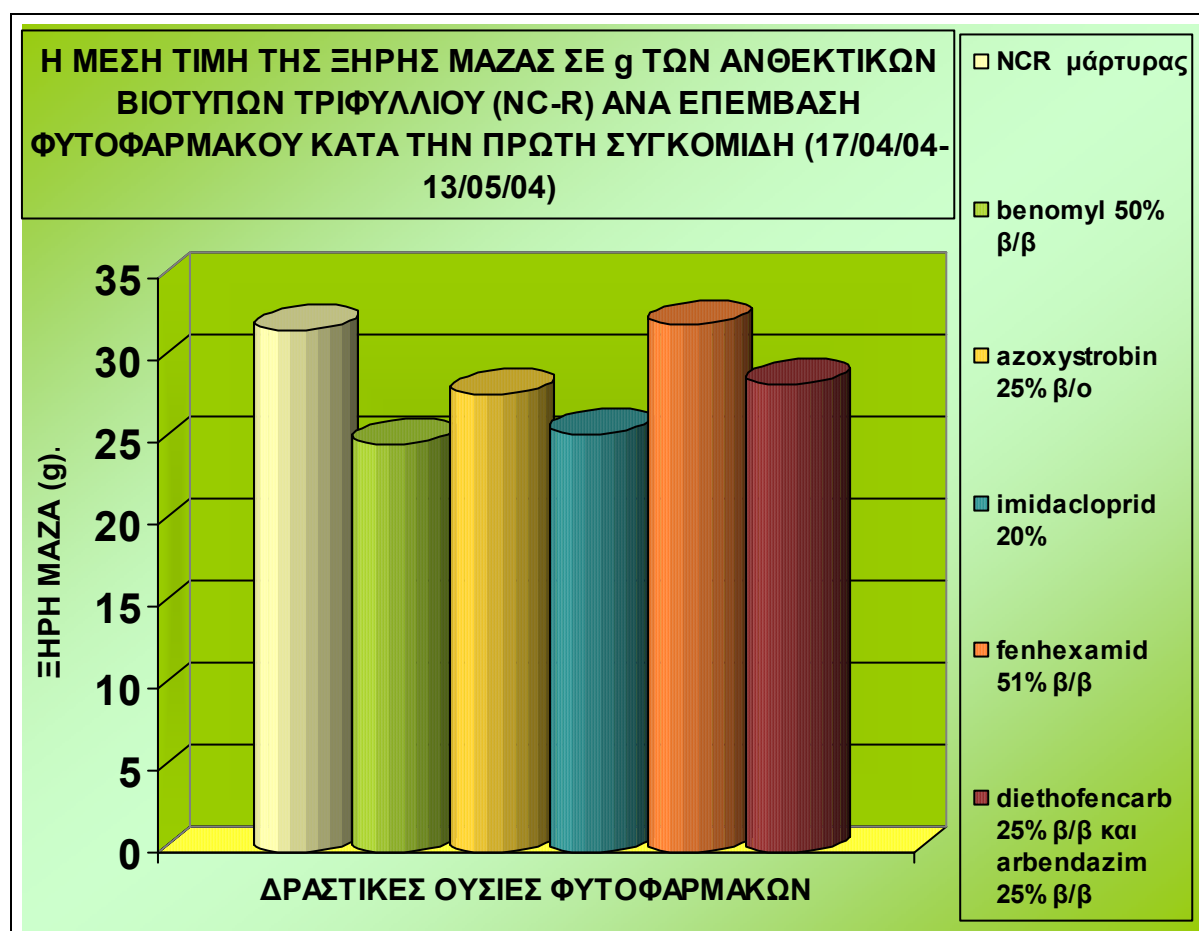
Τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε και δεύτερος συμπληρωματικός ψεκασμός σε διάστημα μιας εβδομάδας από τον πρώτο (2/5/04) έδωσαν τα εξής αποτελέσματα όσον αφορά την μέση τιμή ξηρού βάρους: benomyl 50% β/β: 31,1g, azoxystrobin 25% β/ο: 33,7g, fenhexamid 51% β/β: 33,4g, diethofencarb 25% β/β-  
arbendazim 25% β/β :33,8g. Ανάμεσα σε αυτά την μέγιστη τιμή εμφάνισαν τα φυτά της επέμβασης με diethofencarb 25% β/β-  
arbendazim 25% β/β , ενώ την ελάχιστη τα αντίστοιχα της επέμβασης με benomyl 50% β/β.

Ανάμεσα σε όλους τους ψεκασμούς την μεγαλύτερη τιμή μέσου ξηρού βάρους σημείωσε ο διπλός ψεκασμός με diethofencarb 25% β/β-  
arbendazim 25% β/β (37g), ενώ την ελάχιστη ο διπλός ψεκασμός με benomyl 50% β/β (31,1g).

## B1ii) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-R)

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Η μέση τιμή της ξηρής μάζας σε g των ανθεκτικών βιότυπων τριφυλλιού (NC-R) στις διάφορες επεμβάσεις με φυτοφάρμακα κατά την πρώτη συγκομιδή (17/4/04-13/5/04).

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ (g)
NCR μάρτυρας	31,8
NCR benomyl 50% β/β	24,9
NCR azoxystrobin 25% β/ο	27,9
NCR imidacloprid 20%	25,5
NCR fenhexamid 51% β/β	32,1
NCR diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β	28,5



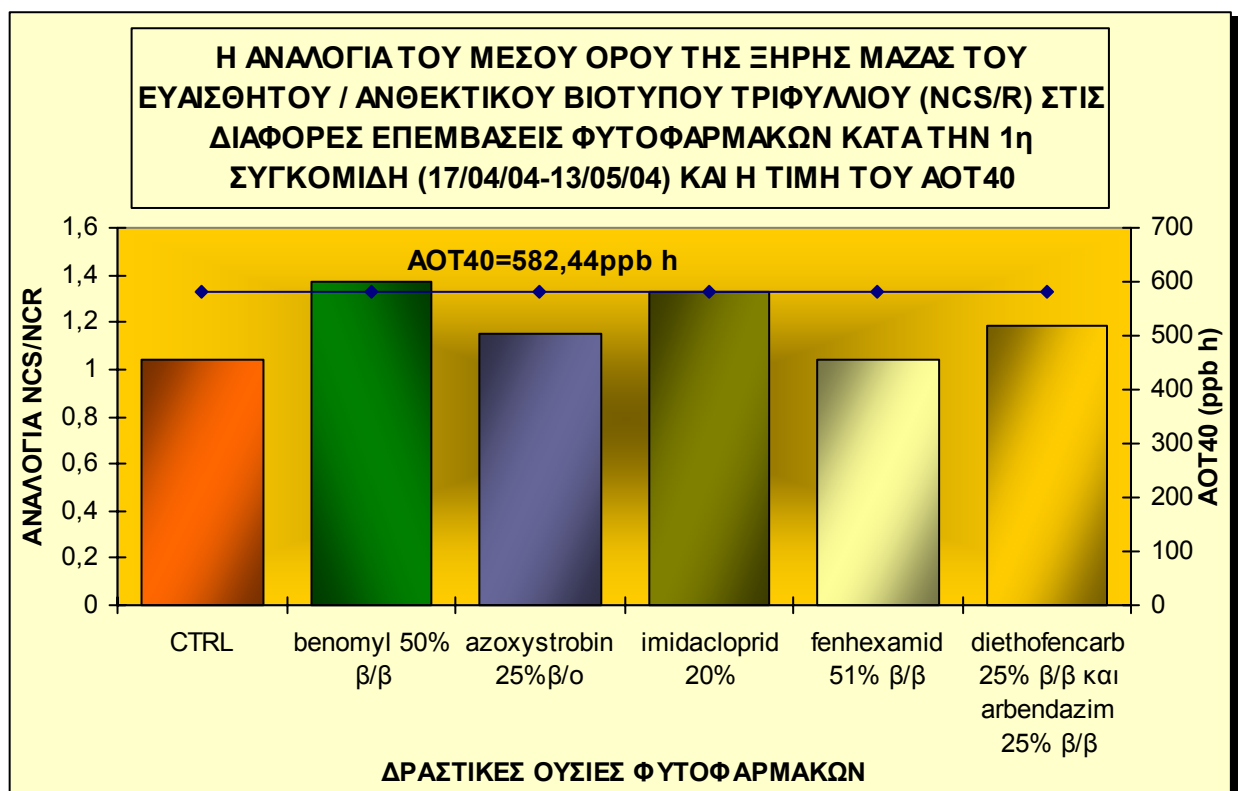
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 13. Οι μέσες τιμές της ξηρής μάζας σε g στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων για τον ανθεκτικό κλώνο τριφυλλιού (NC-R) κατά την πρώτη συγκομιδή (17/4/04-13/5/04).

Οι μέσες τιμές του ξηρού βάρους του ανθεκτικού βιοτύπου τριφυλλίου κατά την πρώτη συγκομιδή (17/4/04-13/5/04) κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 24,9 και 32,1g. Ο ψεκασμός των φυτών πραγματοποιήθηκε στις 25/4/04. Η μέγιστη τιμή ξηρού βάρους σημειώθηκε από την ομάδα φυτών της επέμβασης με fenhexamid 51% β/β (32,1g), ενώ η ελάχιστη από την ομάδα φυτών της επέμβασης με benomyl 50% (24,9g). Ο μάρτυρας (μάρτυρα) σημείωσε την τιμή των 31,8g. Την τιμή αυτή ξεπέρασαν μόνο τα φυτά που είχαν ψεκαστεί με fenhexamid 51% β/β (32,1g). Όλες οι υπόλοιπες επεμβάσεις εμφάνισαν τιμή μικρότερη από την μέση τιμή της ξηρής μάζας του μάρτυρα. Συγκεκριμένα, η επέμβαση με diethofencarb 25% β/β-  
arbendazim 25% β/β έδωσε την τιμή των 28,5g, με azoxystrobin 25% β/ο 27,9g, με imidacloprid 20% 25,5g και τέλος όπως έχει ήδη αναφερθεί με benomyl 50% 24,9g.

**B1iii) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ/ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S / NC- R) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (17/4/04-13/5/04) ΚΑΙ Η ΤΙΜΗ ΑΟΤ40 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ.**

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Η αναλογία του μέσου όρου ξηρής μάζας του ευαίσθητου / ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού της πρώτης συγκομιδής στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων.

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ NC-R / NC-S	ΑΟΤ40 (ppb h)
NCS/R μάρτυρας	1.04	582,44
NCS/R benomyl 50% β/β	1.369	
NCS/R azoxystrobin 25% β/ο	1.154	
NCS/R imidacloprid 20%	1.329	
NCS/R fenhexamid 51% β/β	1.04	
NCS/R diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β	1.185	



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 14. Οι αναλογίες των μέσων τιμών της ξηρής μάζας των ευαίσθητων προς των ανθεκτικών βιοτύπων στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων της πρώτης συγκομιδής (17/4/04-13/5/04) και η τιμή του ΑΟΤ40 της περιόδου.

Τα αποτελέσματα της αναλογίας του ξηρού βάρους του ευαίσθητου προς τον ανθεκτικό βιότυπο κατά την πρώτη συγκομιδή (17/4/04-13/5/04) εμφανίζονται όλα μεγαλύτερα της μονάδας.

Την μεγαλύτερη αναλογία εμφάνισε η επέμβαση με benomyl 50% (1.369), ακολούθως με imidacloprid 20% (1.329), στην συνέχεια με diethofencarb 25% β/β- arbutendazim 25% β/β (1.185), κατόπιν με azoxystrobin 25% β/ο (1.154) και τέλος η επέμβαση με fenhexamid 51% β/β η οποία έλαβε την ίδια τιμή με αυτήν του μάρτυρα (1.04).

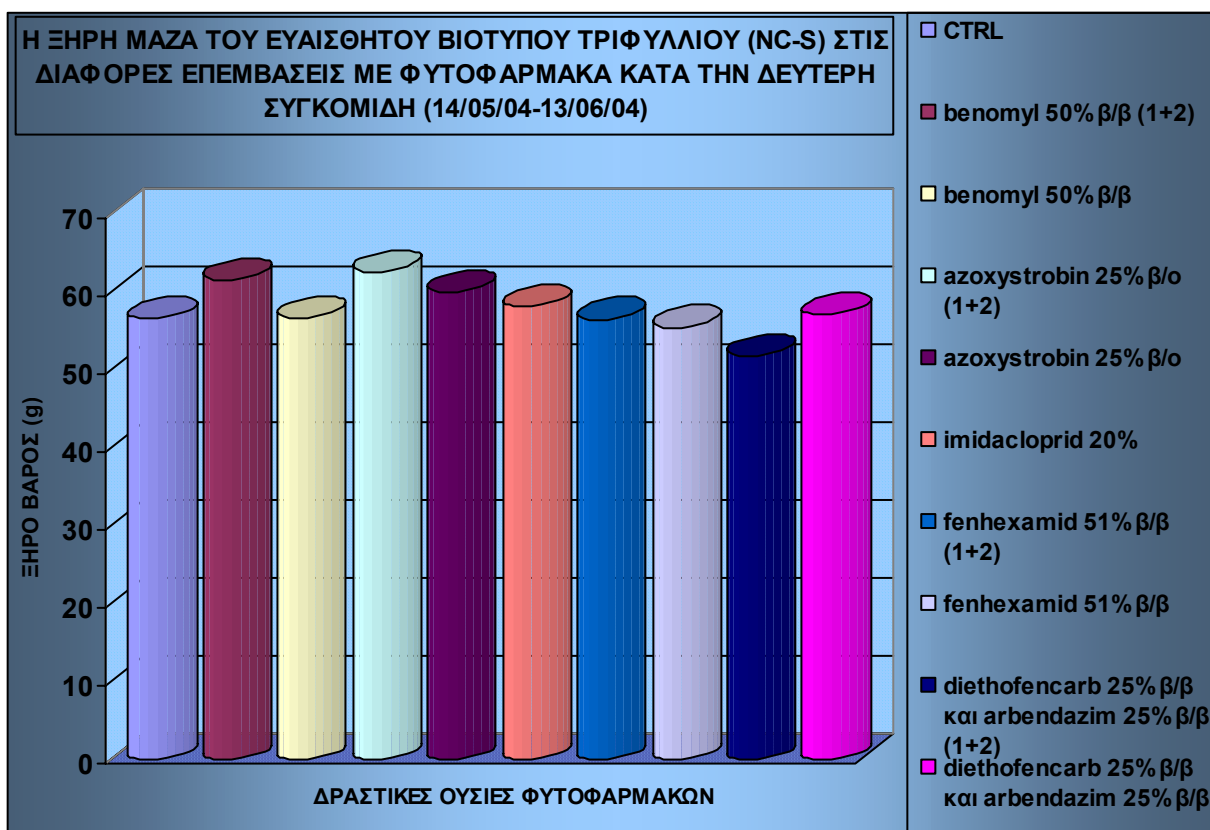
Η τιμή του ΑΟΤ40 αυτής της περιόδου υπολογίστηκε στα 582.44ppb h.

## B2) 2η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (14/5/04-13/6/04)

### B2i) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S)

ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Η μέση τιμή της ξηρής μάζας σε g των ευαίσθητων βιότυπων τριφυλλιού (NC-S) στις διάφορες επεμβάσεις με φυτοφάρμακα κατά τη δεύτερη συγκομιδή (14/5/04-13/6/04).

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ (g)
NCS μάρτυρας	56,6
NCS benomyl 50% β/β (1+2)	61,5
NCS benomyl 50% β/β	56,7
NCS azoxystrobin 25% β/ο (1+2)	62,6
NCS azoxystrobin 25% β/ο	60
NCS imidacloprid 20%	58,1
NCS fenhexamid 51% β/β (1+2)	56,5
NCS fenhexamid 51% β/β	55,5
NCS diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β (1+2)	51,8
NCS diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β	57,1



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 15. Οι μέσες τιμές της ξηρής μάζας σε g στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων για τον ευαίσθητο βιότυπο τριφυλλιού (NC-S) στη δεύτερη συγκομιδή (14/5/04-13/6/04).

Η μέση τιμή της ξηρής μάζας του μάρτυρα όσον αφορά τον ευαίσθητο βιότυπο τριφυλλίου κατά την δεύτερη περίοδο συγκομιδής ήταν στα 56,6 gr.

Ο πρώτος ψεκασμός στα φυτά του ευαίσθητου κλώνου τριφυλλίου της δεύτερης περιόδου πραγματοποιήθηκε στις 20/5/04. Ανάμεσα στα φυτά που ψεκάστηκαν μόνο μία φορά τα αποτελέσματα ήταν τα εξής: azoxystrobin 25% β/ο: 60g, imidacloprid 20%: 58,1g, diethofencarb 25% β/β και arbandazim 25% β/β: 57,1g, benomyl 50% β/β: 56,7g και τέλος fenhexamid 51% β/β: 55,5g. Το μέγιστο ξηρό βάρος ανάμεσα στα φυτά μονού ψεκασμού σημείωσε η επέμβαση με azoxystrobin 25% β/ο (60g), ενώ την ελάχιστη η επέμβαση με fenhexamid 51% β/β (55,5g). Την τιμή του μάρτυρα (56.6g) ξεπέρασαν οι επεμβάσεις με azoxystrobin 25% β/ο, imidacloprid 20%, diethofencarb 25% β/β-arbandazim 25% β/β και benomyl 50% β/β, ενώ η επέμβαση με fenhexamid 51% β/β υπήρξε η μόνη που εμφάνισε μικρότερη τιμή μέσου ξηρού βάρους.

Ο δεύτερος ψεκασμός πραγματοποιήθηκε στις 26/5/04. Τα φυτά που ψεκάστηκαν και δεύτερη φορά έδωσαν τα εξής αποτελέσματα: azoxystrobin 25% β/ο: 62,6g, benomyl 50% β/β: 61,5g fenhexamid 51% β/β: 56,5g, και τέλος diethofencarb 25% β/β και arbandazim 25% β/β: 51,8g. Η επέμβαση με azoxystrobin 25% β/ο εμφάνισε την μέγιστη τιμή ξηρού βάρους ανάμεσα στις επεμβάσεις διπλού ψεκασμού (62,6g), ενώ την ελάχιστη σημείωσε η επέμβαση με diethofencarb 25% β/β-arbandazim 25% β/β (51,8g). Την τιμή του μάρτυρα (56.6g) ξεπέρασαν οι επεμβάσεις με azoxystrobin 25% β/ο και benomyl 50% β/β, ενώ οι επεμβάσεις με fenhexamid 51% β/β και diethofencarb 25% β/β-arbandazim 25% β/β εμφάνισαν μικρότερη τιμή από του μάρτυρα.

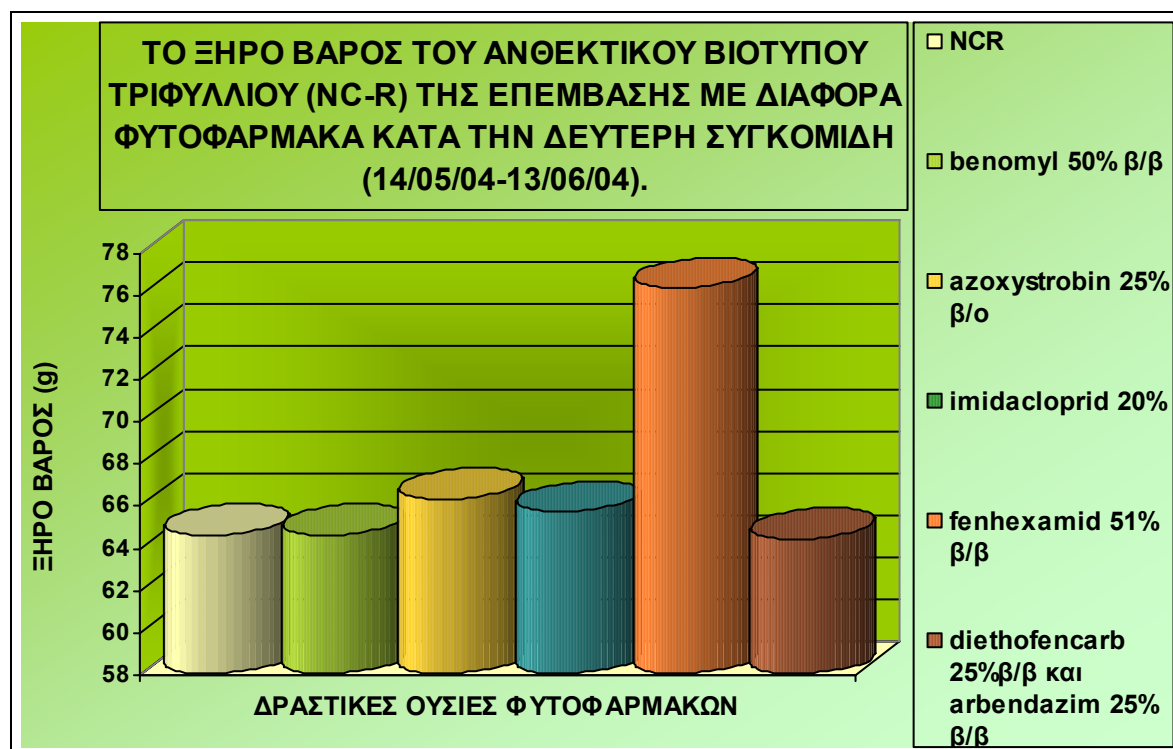
Συγκριτικά σε όλες τις επεμβάσεις ψεκασμού που πραγματοποιήθηκαν στον ευαίσθητο βιότυπο τριφυλλίου κατά την δεύτερη περίοδο συγκομιδής την μέγιστη τιμή σημείωσε ο διπλός ψεκασμός με azoxystrobin 25% β/ο (62,6g), ενώ την ελάχιστη ο διπλός ψεκασμός με diethofencarb 25% β/β-arbandazim 25% β/β (51,8g). Ο μονός ψεκασμός με benomyl 50%, έδωσε μικρότερη τιμή μέσου ξηρού βάρους. Το ίδιο αποτέλεσμα εμφάνισαν και οι μονοί ψεκασμοί με azoxystrobin 25% β/ο και fenhexamid 51% β/β. Αντίθετα, ο μονός ψεκασμός με diethofencarb 25% β/β-arbandazim 25% β/β ήταν ο μοναδικός που εμφάνισε μεγαλύτερη τιμή μέσου ξηρού βάρους από τον αντίστοιχο διπλό του.



## B2ii) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-R)

ΠΙΝΑΚΑΣ 11. Η μέση τιμή ξηρής μάζας σε g των ανθεκτικών βιότυπων τριφυλλίου (NC-R) στις διάφορες επεμβάσεις με φυτοφάρμακα κατά τη δεύτερη συγκομιδή (14/5/04-13/6/04).

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ (g)
NCR μάρτυρας	64,6
NCR benomyl 50% β/β	64,6
NCR azoxystrobin 25% β/ο	66,3
NCR imidacloprid 20%	65,7
NCR fenhexamid 51% β/β	76,3
NCR diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β	64,4



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 16. Οι μέσες τιμές της ξηρής μάζας σε g στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων για τον ανθεκτικό βιότυπο τριφυλλίου (NC-R) κατά την δεύτερη συγκομιδή (14/5/04-13/6/04).

Στον ανθεκτικό κλώνο τριφυλλιού της δεύτερης περιόδου συγκομιδής ο μάρτυρας εμφάνισε τιμή μέσης ξηρής μάζας 64,6g.

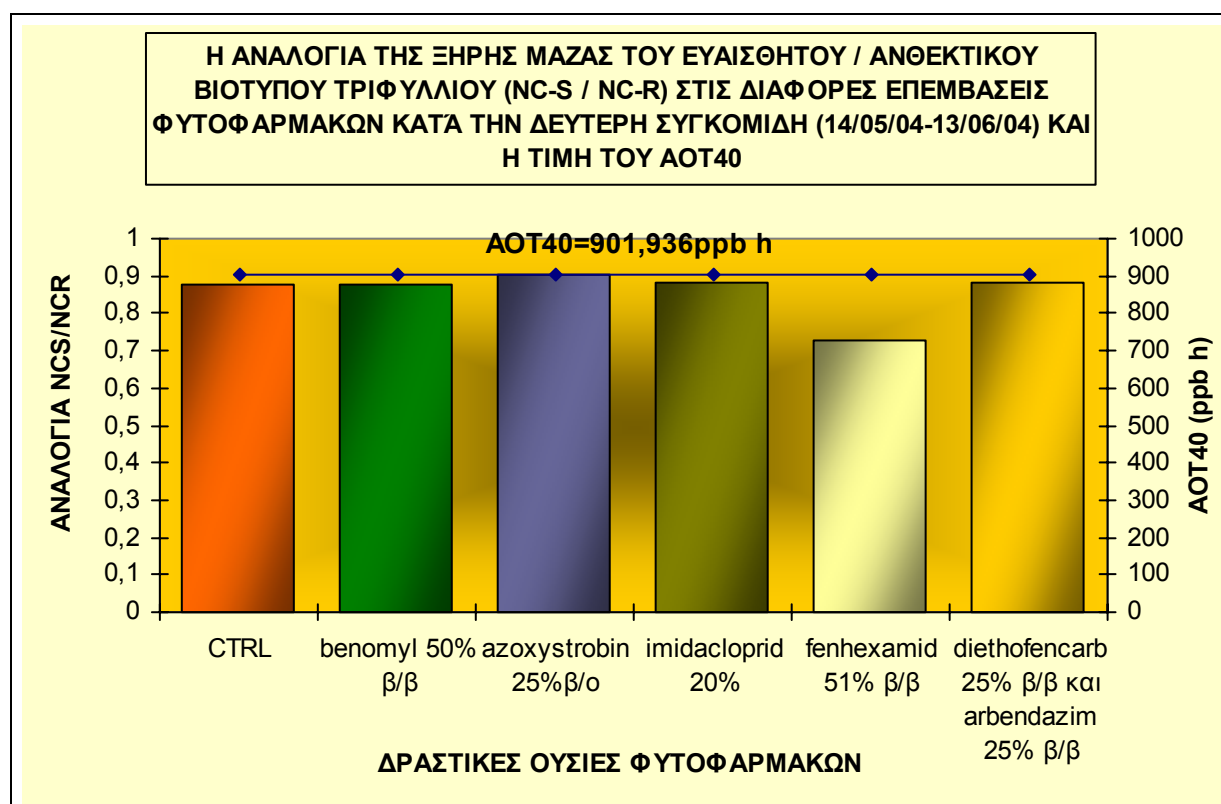
Οι υπόλοιπες επεμβάσεις έλαβαν τις εξής τιμές: fenhexamid 51% β/β: 76,3g, azoxystrobin 25% β/ο: 66,3g, imidacloprid 20%: 65,7g, benomyl 50% β/β: 64,6g και τέλος diethofencarb 25% β/β-arbendazim 25% β/β: 64,4g. Όπως γίνεται αντιληπτό η επέμβαση με fenhexamid 51% β/β έδωσε την μέγιστη τιμή (76,3g), ενώ την ελάχιστη τιμή έδωσε η επέμβαση με diethofencarb 25% β/β-arbendazim 25% β/β (64,4g).

Η επέμβαση με benomyl 50% β/β εμφάνισε ίδια τιμή μέσου ξηρού βάρους με την επέμβαση του μάρτυρα. Τιμές μεγαλύτερες από αυτήν σημείωσαν οι επεμβάσεις με fenhexamid 51% β/β, azoxystrobin 25% β/ο και imidacloprid 20%. Τέλος, η μόνη τιμή μέσου ξηρού βάρους μικρότερη του μάρτυρα αντιστοιχεί στην επέμβαση με diethofencarb 25% β/β-arbendazim 25% β/β.

**B2iii) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ / ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S / NC-R) ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (14/5/04-13/6/04).**

ΠΙΝΑΚΑΣ 12. Η αναλογία των μέσων τιμών της ξηρής μάζας του ευαίσθητου / ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλίου (NC-S / NC-R) της δεύτερης συγκομιδής στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων (14/5/04-13/6/04).

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ NC-S / NC-R	ΑΟΤ40 (ppb h)
NCS/R μάρτυρας	0,876	901,936
NCS/R benornyl 50% β/β	0,877	
NCS/R azoxystrobin 25% β/ο	0,904	
NCS/R imidacloprid 20%	0,884	
NCS/R fenhexamid 51% β/β	0,727	
NCS/R diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β	0,884	



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 17. Οι αναλογίες των μέσων τιμών της ξηρής μάζας των ευαίσθητων προς των ανθεκτικών βιότυπων (NC-S / NC-R) στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων

στη δεύτερη συγκομιδή (14/5/04-13/6/04) και η τιμή του AOT40 που σημειώθηκε την περίοδο αυτή.

Κατά την δεύτερη συγκομιδή η αναλογίες του ευαίσθητου προς του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού εμφανίζονται όλες μικρότερες της μονάδας. Η τιμή του AOT40 υπολογίζεται στην τιμή των 901,936ppb h.

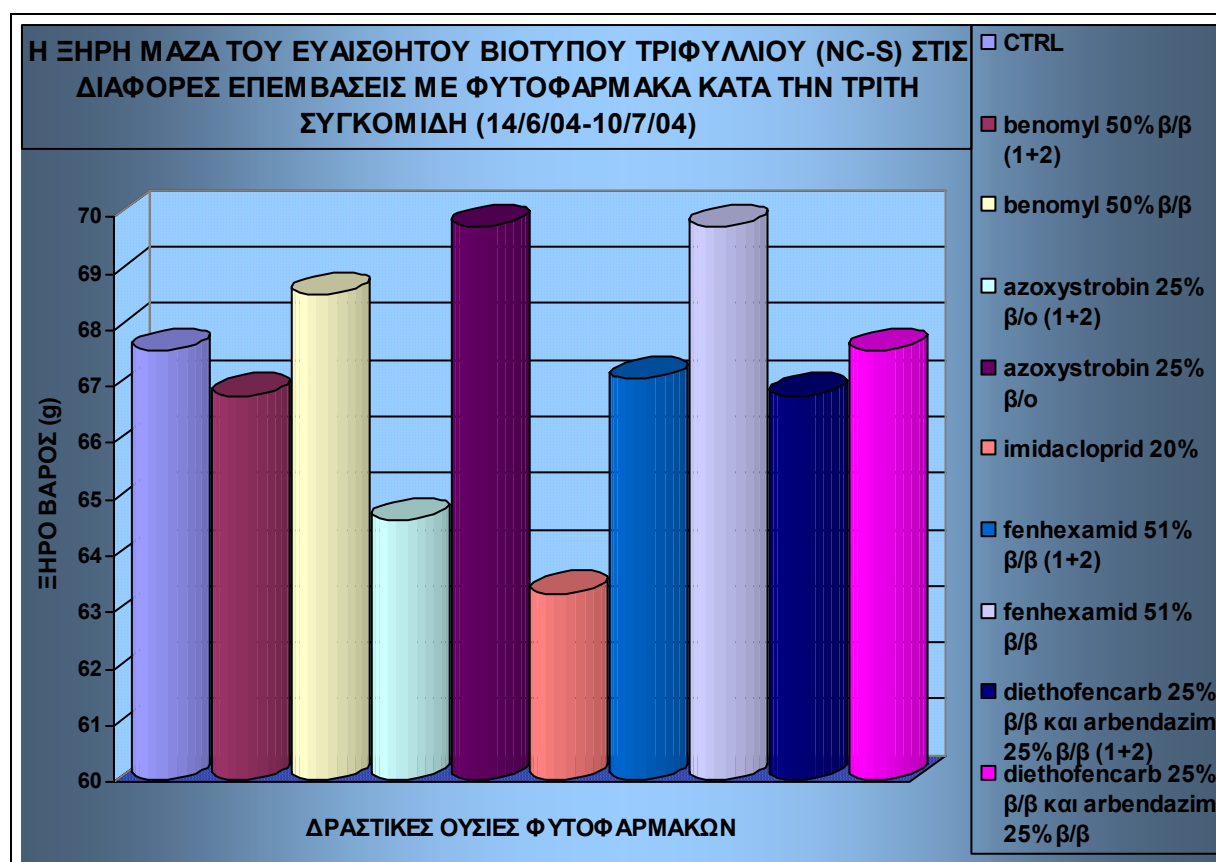
Η αναλογία του μάρτυρα του ευαίσθητου προς του ανθεκτικού κλώνου έδωσε την τιμή 0.876. Σε σχέση με αυτήν την τιμή, μονάχα η επέμβαση με fenhexamid 51% β/β εμφάνισε μικρότερη αναλογία (0.727). Όλες οι υπόλοιπες επεμβάσεις εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές αναλογίας. Συγκεκριμένα, η επέμβαση με azoxystrobin 25% β/ο έδωσε τιμή αναλογίας 0.904, οι επεμβάσεις με imidacloprid 20% και με diethofencarb 25% β/β-arbendazim 25% β/β έδωσαν την ίδια τιμή αναλογίας 0.884, και τέλος η επέμβαση με benomyl 50% β/β την τιμή αναλογίας 0.877.

### B3) 3η ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (14/6/04-10/7/04)

#### B3i) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-S)

ΠΙΝΑΚΑΣ 13. Η συνολική ξηρή μάζα σε g των ευαίσθητων βιότυπων τριφυλλίου (NC-S) στις διάφορες επεμβάσεις με φυτοφάρμακα κατά την τρίτη συγκομιδή (14/6/04-10/7/04).

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ (g)
NCS μάρτυρας	67,6
NCS benomyl 50% β/β (1+2)	66,8
NCS benomyl 50% β/β	68,6
NCS azoxystrobin 25% β/ο (1+2)	64,6
NCS azoxystrobin 25% β/ο	69,8
NCS imidacloprid 20%	63,3
NCS fenhexamid 51% β/β (1+2)	67,1
NCS fenhexamid 51% β/β	69,8
NCS diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β (1+2)	66,8
NCS diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β	67,6



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 18. Οι μέσες τιμές της ξηρής μάζας σε g στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων για τον ευαίσθητο βιότυπο τριφυλλίου (NC-S) στην τρίτη συγκομιδή (14/6/04-10/7/04).

Κατά την τρίτη περίοδο συγκομιδής (14/6/04-10/7/04) ο μάρτυρας του ευαίσθητου κλώνου τριφυλλίου έδωσε τιμή μέσου ξηρού βάρους 67,6g.

Η πρώτη εφαρμογή του ψεκασμού με τις φυτοπροστατευτικές ουσίες που πραγματοποιήθηκε στις 20/6/04 έδωσε τα εξής αποτελέσματα μέσου ξηρού βάρους: fenhexamid 51% β/β: 69.8g, azoxystrobin 25% β/ο: 69.8 g, benomyl 50% β/β: 68.6g, diethofencarb 25% β/β-arbendazim 25% β/β: 67.6g, και τέλος imidacloprid 20%: 63.3g. Οι επεμβάσεις με fenhexamid 51% β/β και azoxystrobin 25% β/ο έδωσαν ίδια τιμή μέσου ξηρού βάρους μεγαλύτερη του μάρτυρα. Εκτός από αυτές και η επέμβαση με benomyl 50% β/β σημείωσε τιμή μέσου ξηρού βάρους υψηλότερη του μάρτυρα. Η εφαρμογή με diethofencarb 25% β/β-arbendazim 25% β/β εμφάνισε ίδια τιμή με αυτήν του μάρτυρα, ενώ η μοναδική τιμή χαμηλότερη του μάρτυρα σημειώθηκε από την εφαρμογή με imidacloprid 20%.

Στον συμπληρωματικό ψεκασμό ο οποίος εφαρμόστηκε στις 27/6/04, όλες οι μέσες τιμές ξηρού βάρους μετρήθηκαν μικρότερες του μάρτυρα. Αναλυτικότερα, fenhexamid 51% β/β: 67.1g, benomyl 50% β/β: 66.8g, diethofencarb 25% β/β-arbendazim 25% β/β: 66.8g και τέλος azoxystrobin 25% β/ο: 64.6g.

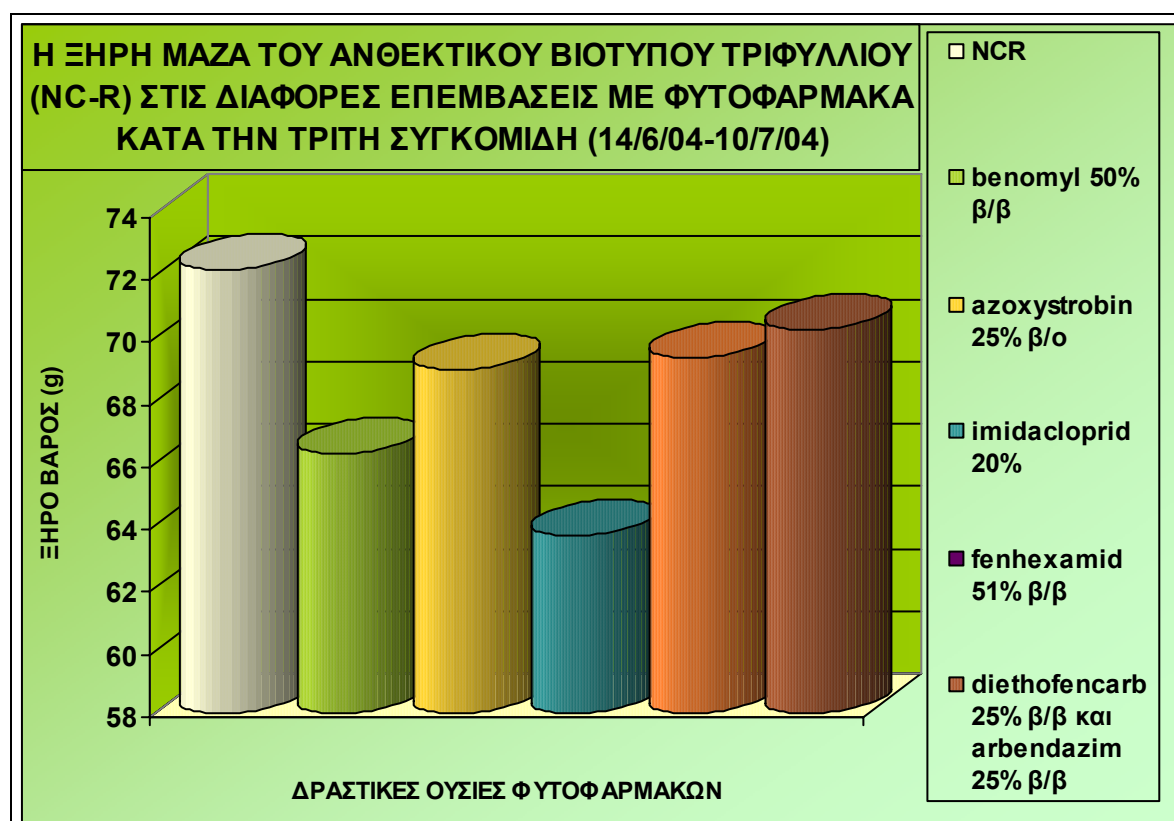
Ανάμεσα σε όλες τις εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν την μεγαλύτερη τιμή μέσου ξηρού βάρους εμφάνισε ο μονός ψεκασμός τόσο με fenhexamid 51% β/β, όσο και με azoxystrobin 25% β/ο (69.8g), ενώ την ελάχιστη ο μονός ψεκασμός με imidacloprid 20% (63.3g).

Τέλος ανάμεσα στους μονούς και στους διπλούς ψεκασμούς που πραγματοποιήθηκαν υψηλότερη τιμή μέσου ξηρού βάρους εμφάνισαν οι μονοί ψεκασμοί με benomyl 50% β/β, azoxystrobin 25% β/ο, fenhexamid 51% β/β και diethofencarb 25% β/β και arbendazim 25% β/β.

## Β3ii) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC-R)

ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Η συνολική ξηρή μάζα σε g των ανθεκτικών βιότυπων τριφυλλιού (NC-R) στις διάφορες επεμβάσεις με φυτοφάρμακα κατά την τρίτη συγκομιδή (14/6/04-10/7/04)

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ (g)
NCR μάρτυρας	72,2
NCR benomyl 50% β/β	66,3
NCR azoxystrobin 25% β/ο	69,0
NCR imidacloprid 20%	63,7
NCR fenhexamid 51% β/β	69,4
NCR diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β	70,3



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 19. Οι μέσες τιμές της ξηρής μάζας σε g στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων για τον ανθεκτικό βιότυπο τριφυλλιού (NC-R) κατά την τρίτη συγκομιδή (14/6/04-10/7/04)

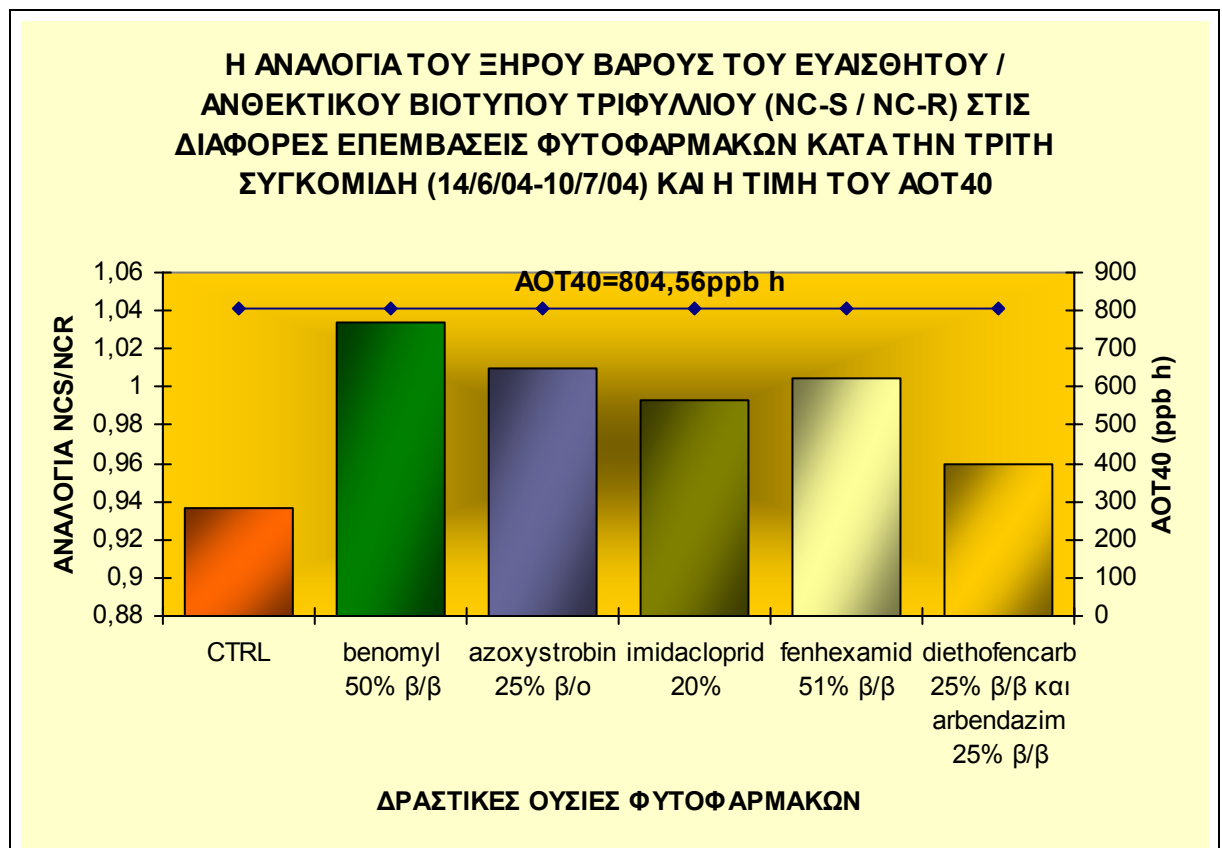
Κατά την τρίτη συγκομιδή του ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού ο μάρτυρας έλαβε την τιμή των 72.2g μέσου ξηρού βάρους. Οι υπόλοιπες επεμβάσεις εμφάνισαν όλες αντίστοιχη τιμή μικρότερη του μάρτυρα. Πιο συγκεκριμένα, η επέμβαση με diethofencarb 25% β/β-*arbendazim* 25% β/β: 70.3g, με *fenhexamid* 51% β/β: 69.4g, με *azoxystrobin* 25% β/ο: 69g, με *benomyl* 50% β/β: 66.3g και τέλος με *Imidacloprid* 20%: 63.7g.



**Β3iii) ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ / ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NC- S / NC- R) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΡΙΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ (14/6/04-10/7/04).**

ΠΙΝΑΚΑΣ 15. Η αναλογία των μέσων τιμών της ξηρής μάζας ευαίσθητου / ανθεκτικού βιότυπου τριφυλλιού της τρίτης συγκομιδής στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων (14/6/04-10/7/04).

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ NC- S / NC- R	ΑΟΤ40 (ppb h)
NCS/R μάρτυρας	0,936	804,56
NCS/R benomyl 50% β/β	1,034	
NCS/R azoxystrobin 25% β/ο	1,01	
NCS/R imidacloprid 20%	0,993	
NCS/R fenhexamid 51% β/β	1,005	
NCS/R diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β	0,96	



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 20. Οι αναλογίες της μέσης ξηρής μάζας των ευαίσθητων προς των ανθεκτικών βιότυπων στις διάφορες επεμβάσεις φυτοφαρμάκων στην τρίτη συγκομιδή (14/6/04-10/7/04) και η τιμή του ΑΟΤ40 της περιόδου.

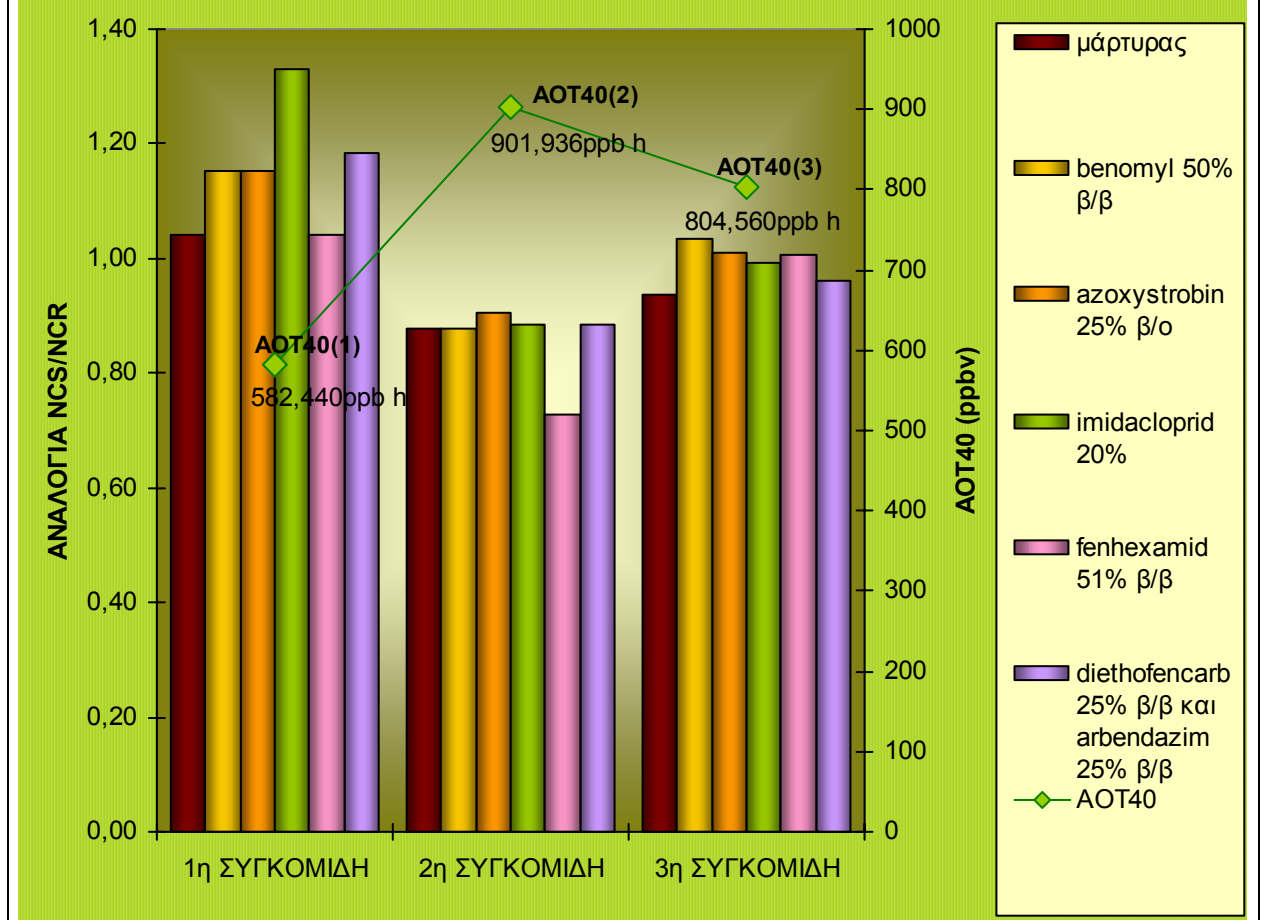
Όσον αφορά την αναλογία ξηρής μάζας του ευαίσθητου προς του ανθεκτικού βιότυπου των φυτών της επέμβασης του μάρτυρα η τιμή της υπολογίζεται στα 0.936, η οποία αντιστοιχεί και στην μικρότερη τιμή αναλογίας ανάμεσα στις πραγματοποιηθείσες επεμβάσεις. Η υψηλότερη τιμή αναλογίας αντιστοιχεί στην επέμβαση με benomyl 50% β/β (1.034). Όσον αφορά τις υπόλοιπες επεμβάσεις οι διάφορες τιμές αναλογίας που υπολογίστηκαν είναι: azoxystrobin 25% β/ο: 1.01, fenhexamid 51% β/β: 1.005, imidacloprid 20%: 0.993 και τέλος diethofencarb 25% β/β-arbendazim 25% β/β: 0.96. Η τιμή του ΑΟΤ40 αυτής της περιόδου υπολογίζεται στα 804,56ppb h.

**Β4) Η ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ NC- S / NC- R ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΑΟΤ40 ΑΝΑ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΚΑΙ ΑΝΑ ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΟΥ.**

ΠΙΝΑΚΑΣ 16. Η αναλογία της ξηρής μάζας του ευαίσθητου προς τον ανθεκτικό βιότυπο τριφυλλιού ανα επέμβαση στις τρεις συγκομιδές που πραγματοποιήθηκαν και η τιμή του ΑΟΤ40 της αντίστοιχης περιόδου που σημειώθηκε.

<b>ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ</b>	<b>ΕΠΕΜΒΑΣΗ</b>	<b>ΑΝΑΛΟΓΙΑ NC- S / NC- R</b>	<b>ΑΟΤ40 (ppb h)</b>
<b>1η (17/04/04- 13/05/04)</b>	<b>Μάρτυρας (1)</b>	<b>1.04</b>	<b>582,44</b>
	<b>benomyl 50% β/β (1)</b>	<b>1.369</b>	
	<b>azoxystrobin 25% β/ο (1)</b>	<b>1.154</b>	
	<b>imidacloprid 20% (1)</b>	<b>1.329</b>	
	<b>fenhexamid 51% β/β (1)</b>	<b>1.04</b>	
	<b>diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β (1)</b>	<b>1.185</b>	
<b>2η (14/05/04- 13/06/04)</b>	<b>Μάρτυρας (2)</b>	<b>0,876</b>	<b>901,936</b>
	<b>benomyl 50% β/β (2)</b>	<b>0,877</b>	
	<b>azoxystrobin 25% β/ο (2)</b>	<b>0,904</b>	
	<b>imidacloprid 20% (2)</b>	<b>0,884</b>	
	<b>fenhexamid 51% β/β (2)</b>	<b>0,727</b>	
	<b>diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β (2)</b>	<b>0,884</b>	
<b>3η (14/06/04- 10/07/04)</b>	<b>Μάρτυρας (3)</b>	<b>0,936</b>	<b>804,56</b>
	<b>benomyl 50% β/β (3)</b>	<b>1,034</b>	
	<b>azoxystrobin 25% β/ο (3)</b>	<b>1,01</b>	
	<b>imidacloprid 20% (3)</b>	<b>0,993</b>	
	<b>fenhexamid 51% β/β (3)</b>	<b>1,005</b>	
	<b>diethofencarb 25% β/β- arbendazim 25% β/β (3)</b>	<b>0,96</b>	

**Η ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΥ /  
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΤΥΠΟΥ ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ (NCS / NCR) ΑΝΑ  
ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΑΟΤ40 ΤΗΣ ΚΑΘΕ  
ΠΕΡΙΟΔΟΥ**



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 21. Η αναλογία της ξηρής μάζας του ευαίσθητου προς τον ανθεκτικό βιότυπο τριφυλλιού (NC-S / NC-R) ανά συγκομιδή και η τιμή του ΑΟΤ40 (ppb h) της αντίστοιχης περιόδου που σημειώθηκε.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Συζήτηση-συμπεράσματα

Όσον αφορά την επέμβαση χωρίς φυτοφάρμακα όπου τα φυτά αρδεύονταν μέσω ενός αυτόματου συστήματος άρδευσης με την χρήση φυτιλιών από υαλοβάμβακα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις συγκομιδές οι οποίες αναφέρονται στις εξής περιόδους:

1<sup>η</sup> περίοδος 17/3/04-15/4/04

2<sup>η</sup> περίοδος 16/4/04-12/5/04

3<sup>η</sup> περίοδος 13/5/04-12/6/04

4<sup>η</sup> περίοδος 13/6/04-9/7/04

Η αναλογία μέσης ξηρής μάζας του ευαίσθητου προς τον ανθεκτικό βιότυπο τριφυλλιού κατά την πρώτη συγκομιδή έδωσε την τιμή των 1,55. Η τιμή αυτή αποτελεί την μέγιστη όλων των περιόδων συγκομιδής. Η τιμή του AOT40 που καταγράφηκε ήταν της τάξεως των 253,01ppb h και ήταν η μικρότερη ανάμεσα σε όλες τις περιόδους συγκομιδής. Δηλαδή θα μπορούσαμε να πούμε ότι στην χαμηλότερη συγκριτικά τιμή AOT40 η βιομάζα του ευαίσθητου βιότυπου αναπτύχθηκε συγκριτικά περισσότερο από την αντίστοιχη του ανθεκτικού.

Στην επόμενη συγκομιδή που πραγματοποιήθηκε, η αναλογία βιομάζας NC-S/NC-R παρέμεινε μεγαλύτερη της μονάδας, ωστόσο έλαβε μικρότερη τιμή από την αντίστοιχη της πρώτης περιόδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την δεύτερη περίοδο σημειώθηκε αύξηση του AOT40 το οποίο έλαβε την τιμή των 556,97ppb h. Η μείωση στην τιμή της αναλογίας μέσης ξηρής μάζας NC-S/NC-R φαίνεται να σχετίζεται με την άνοδο της τιμής του AOT40.

Στην τρίτη περίοδο συγκομιδής αν και η τιμή του AOT40 έλαβε περαιτέρω αύξηση και έφτασε στα 928,28ppb h ωστόσο και πάλι η αναλογία μέσης ξηρής μάζας NC-S/NC-R έλαβε τιμή μεγαλύτερη της μονάδας, μικρότερη των δυο προηγούμενων συγκομιδών. Αυτό μας

οδηγεί και πάλι στο συμπέρασμα ότι η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού όζοντος επηρεάζει άμεσα τον σχηματισμό βιομάζας του ευαίσθητου βιότυπου τριφυλλιού. Συγκεκριμένα, σε υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης ατμοσφαιρικού όζοντος η βιομάζα του ευαίσθητου βιότυπου τριφυλλιού σημειώνει ελάττωση.

Η τέταρτη περίοδος συγκομιδής αποτέλεσε την μοναδική περίοδο που η αναλογία ξηρής βιομάζας NC-S/NC-R έλαβε τιμή μικρότερη της μονάδας. Η τιμή του AOT40 που σημειώθηκε την περίοδο αυτή ήταν της τάξεως των 830,51ppb h. Σύμφωνα με όσα έχουμε προαναφέρει θα έπρεπε αυτήν την περίοδο η αναλογία της ξηρής μάζας να είχε λάβει τιμή μεγαλύτερη από της προηγούμενης περιόδου. Ωστόσο και άλλοι παράγοντες συντέλεσαν σε αυτό το αποτέλεσμα, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούσαν την αντίστοιχη περίοδο, το μακρύ χρονικό διάστημα που είχε περάσει, οι προηγούμενες συγκομιδές που είχαν πραγματοποιηθεί, και άλλοι λόγοι οδήγησαν στην γενική καταπόνηση των φυτών αυτής της περιόδου.

Η άμυνα ενάντια στο όζον, όπως ήδη έχει αναφερθεί, είναι τόσο παθητική, όσο και ενεργητική. (Musselman & Massman 1999) και είναι γενετικά ελεγχόμενη (Riehl Koch *et al.* 1998).

Εκτός όμως από αυτές τις μορφές γενετικά ελεγχόμενης άμυνας, μελέτες έχουν δείξει ότι και ορισμένες ουσίες όπως η αιθυλενοδιουρία (A.Ribas & J.Penuelas 2000, G.Astorino *et al.* 1995), αλλά και φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στην γεωργική πράξη δύναται να προστατεύσουν σε κάποιο βαθμό τα φυτά από τις αρνητικές επιδράσεις του όζοντος. Αναφορικά με αυτό το αντικείμενο έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες.

Οι επιδράσεις του διαφυλλικού ψεκασμού με zineb σε δυο ποικιλίες υπαίθριας τομάτας σε μια τοποθεσία με υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος μελετήθηκαν από τους A.Calatayud & E.Barreno (2000).

Το zineb απέτρεψε την υπεροξειδωση των λιπιδίων της μεμβράνης και μείωσε την δραστηριότητα των ενζύμων που προκαλούν γηρασμό, γεγονός που φανερώνει ότι τα φυτά που ψεκάστηκαν με zineb υποβλήθηκαν σε χαμηλότερο οξειδωτικό στρες σε σχέση με τους

μάρτυρες. Οι ευεργετικές επιδράσεις της προστασίας του zineb είναι η χρησιμοποίηση ενός μεγαλύτερου φάσματος απορροφούμενης ενέργειας ακτινοβολίας στην φωτοσύνθεση και η μεγαλύτερη απόδοση καρπών στα φυτά και των δυο ποικιλιών.

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι σε συσχέτισμό με προηγούμενες μελέτες των Kendrick et al.(1954,1962) στις οποίες αναφέρεται ότι η αποτελεσματικότητα του zineb προλάμβανε την προκαλούμενη από το όζον ζημιά στα φυτά.

Εκτός από το zineb, είναι γνωστή εδώ και χρόνια η ευεργετική δράση του benomyl στην άμυνα των φυτών εναντίον των επιβλαβών επιδράσεων του όζοντος. Η προστατευτική επίδραση του benomyl ενάντια στον τραυματισμό από το όζον έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές (Taylor 1970, Reinert & Spurr 1972, Manning & Vardaro 1973, Moyer et al., 1974, Manning et al., 1974)

Μια από τις πολλές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω σε αυτό το αντικείμενο είναι και η μελέτη των A.Calatayud, E.Barreno (2001), σύμφωνα με την οποία, το όζον είναι ένας ευρέως διανεμημένος φυτοτοξικός εναέριος ρύπος, που είναι γνωστό ότι μειώνει την απόδοση πολλών σημαντικών γεωργικών καλλιεργειών στην Ισπανία. Παρόλα αυτά, το benomyl έχει βρεθεί να μειώνει τις αρνητικές επιδράσεις του όζοντος στα φυτά. Μελετήθηκαν οι επιδράσεις του όζοντος και του benomyl στην χλωροφύλλη, σε αντιοξειδωτικά ένζυμα και στην υπεροξειδωση των λιπιδίων στην τομάτα (*Lycopersicum esculentum* Mill. Cv. Tiny Tim) που αναπτύσσονταν σε θαλάμους ανοιχτής κορυφής στον αγρό. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι το benomyl παρεμπόδισε την υπεροξειδωση των λιπιδίων της μεμβράνης και αύξησε την προστασία των φυτών από το όζον. Υπήρχε επίσης μια σημαντική μείωση της δραστηριότητας του αντιοξειδωτικού ενζύμου υπεροξειδάση της δισμουτάσης σε φυτά που εκτίθονταν στο όζον που δεν έχουν ψεκαστεί με benomyl.

Τέλος, μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και σε μυκητοκτόνα. Μια από αυτές είναι και των Yue-xuan Wu & Andreas von Tiedemann

(2002). Δυο μοντέρνα μυκητοκτόνα, azoxystrobin (AZO) και epoxiconazole (EPO), εφαρμόστηκαν σαν διαφυλλικός ψεκασμός σε φυτά κριθαριού (*Hordeum vulgare* L.cv.Scarlett) 3 μέρες πριν υποβληθούν σε υποκαπνισμό με επιβλαβείς δόσεις όζοντος (150-250ppb για 5 μέρες ανά 7ώρες/ μέρα) επέφεραν προστασία ενάντια στον τραυματισμό από όζον των φύλλων της τάξεως του 50-60%. Οι επεμβάσεις με μυκητοκτόνα σε φυτά κριθαριού στο στάδιο ανάπτυξης 32 (GS) αύξησαν σημαντικά το συνολικό πρωτεϊνικό διάλυμα των φύλλων. Επιπλέον, η δραστηριότητα των αντιοξειδωτικών ενζύμων υπεροξειδάση της δισμουτάσης (SOD), καταλάση (CAT), υπεροξειδάση του ασκορβικού (APX) και γλουταθειονική ριδοκτάση (GR) εντάθηκε και από τα δυο μυκητοκτόνα σε μέγιστες αναλογίες κατά 16, 75, 51 και 144% αντίστοιχα. Η δραστηριότητα της guiacol-peroxidase (POX) ανήλθε κατά 50-100% μόνο στην επέμβαση με AZO, στην επέμβαση με EPO δεν σημειώθηκε παρόμοια επίδραση. Το παραπάνω συνέπεσε με αυξανόμενα επίπεδα υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) μόνο στην επέμβαση με EPO και όχι σε αυτήν με AZO. Η ενδυνάμωση του αντιοξειδωτικού συστήματος του φυτού από τα δυο μυκητοκτόνα μείωσε σε σημαντικό βαθμό το επίπεδο των υπεροξειδίων μέσα στα φύλλα. Υποκαπνισμός των φυτών κριθαριού για 4 μέρες με μη ζημιογόνες δόσεις όζοντος (120-150ppb, 7ώρες/ημέρα) άμεσα και φανερά διέγειρε την συσσώρευση  $O_2^-$  στα φύλλα, ενώ το  $H_2O_2$  αυξήθηκε μόνο μετά την πάροδο της τρίτης ημέρας υποκαπνισμού. Επομένως, το  $O_2^-$  καθαυτού ή σαν πρόδρομη μορφή ακόμη πιο τοξικών ριζών φαίνεται να είναι περισσότερο ενδεικτικό για τον προκαλούμενο τραυματισμό από όζον στα φύλλα από ότι το  $H_2O_2$ . Το όζον προκάλεσε επίσης σημαντικές αυξήσεις στην δραστηριότητα των αντιοξειδωτικών ενζύμων (SOD, POX & CAT) μετά την πάροδο δυο ημερών σε φυτά υποκαπνισμού στα οποία δεν εφαρμόστηκε ψεκασμός με μυκητοκτόνο, ενώ κατόπιν 4 ημερών υποκαπνισμού το επίπεδο των παραπάνω ενζύμων έπεσε και ήταν πιο χαμηλό από το αντίστοιχο των φυτών στα οποία δεν εφαρμόστηκε υποκαπνισμός, εξαιτίας της οξειδωτικής αποσύνθεσης των πρωτεϊνών του φύλλου. Αυτή αποτελεί την πρώτη αναφορά που



παρουσιάζει την καταφανή αύξηση των φυτικών αντιοξειδωτικών ενζύμων και την αυξανόμενη διάσπαση των πιθανών επιζήμιων  $O_2^-$  από τα μυκητοκτόνα σαν έναν μηχανισμό προστασίας των φυτών ενάντια στο επιβλαβές οξειδωτικό στρες από το περιβάλλον. Η αντιοξειδωτική επίδραση των μοντέρνων μυκητοκτόνων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην παραγωγή δημητριακών σε πολλές χώρες αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα εκτίμησης της πιθανής επίδρασης της εναέριας ρύπανσης στην γεωργία.

Στο δικό μας πείραμα, όπως ήδη έχει αναφερθεί, πραγματοποιήθηκαν στην επέμβαση δοκιμής φυτοφαρμάκων τρεις συγκομιδές και τρεις μετρήσεις αναλογίας μέσου ξηρού βάρους του ευαίσθητου βιότυπου τριφυλλιού (NC-S) προς τον ανθεκτικό βιότυπο τριφυλλιού (NC-R) στις εξής χρονικές περιόδους: 1<sup>η</sup> περίοδος (17/4/04-13/5/04), 2<sup>η</sup> περίοδος (14/5/04-13/6/04) και 3<sup>η</sup> περίοδος (14/6/04-10/7/04). Η τιμή του AOT40 που καταγράφηκε ανά περίοδο συγκομιδής ήταν 582.44, 901.936 και 804.56rpm και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στον βαθμό προστασίας της βιομάζας του ευαίσθητου βιότυπου τριφυλλιού. Οι αναλογίες της μέσης ξηρής μάζας που καταγράφηκαν ήταν αντιστρόφως ανάλογες με την τιμή του AOT40 που επικρατούσε στην κάθε περίοδο συγκομιδής. Κατά αυτόν τον τρόπο την πρώτη περίοδο συγκομιδής όπου η τιμή του AOT40 ήταν η μικρότερη που σημειώθηκε στις τρεις περιόδους, η αναλογία NC-S/NC-R σε όλες τις επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν έλαβε την μεγαλύτερη τιμή. Αντιθέτως, στην δεύτερη περίοδο συγκομιδής, η τιμή του AOT40 έλαβε την μέγιστη τιμή και επομένως οι τιμές αναλογίας NC-S/NC-R έλαβαν με την σειρά τους τις μικρότερες τιμές. Τέλος, στην τελευταία περίοδο συγκομιδής, όπου η τιμή του AOT40 ήταν μια ενδιάμεση στις δυο προηγούμενες, κατ' αντιστοιχία και η αναλογία ξηρής βιομάζας NC-S/NC-R εμφάνισε τιμές ανάμεσα σε αυτές των αναλογιών των δυο προηγούμενων συγκομιδών.

Οι αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί φανέρωσαν ότι τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα έχουν θετική δράση στα φυτά, μόνο σε χαμηλές τιμές AOT40. Καθώς η τιμή του AOT40 αυξάνεται, η δράση

τους μειώνεται σταδιακά σε σημείο που η αναλογία ξηρής μάζας NC-S/ NC-R αγγίζει την αντίστοιχη του μάρτυρα, γεγονός που φανερώνει τη μηδενική προστασία της φυτικής μάζας σε μεγάλες συγκεντρώσεις όζοντος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Εκτίμηση των μελλοντικών επιδράσεων του όζοντος στην βλάστηση

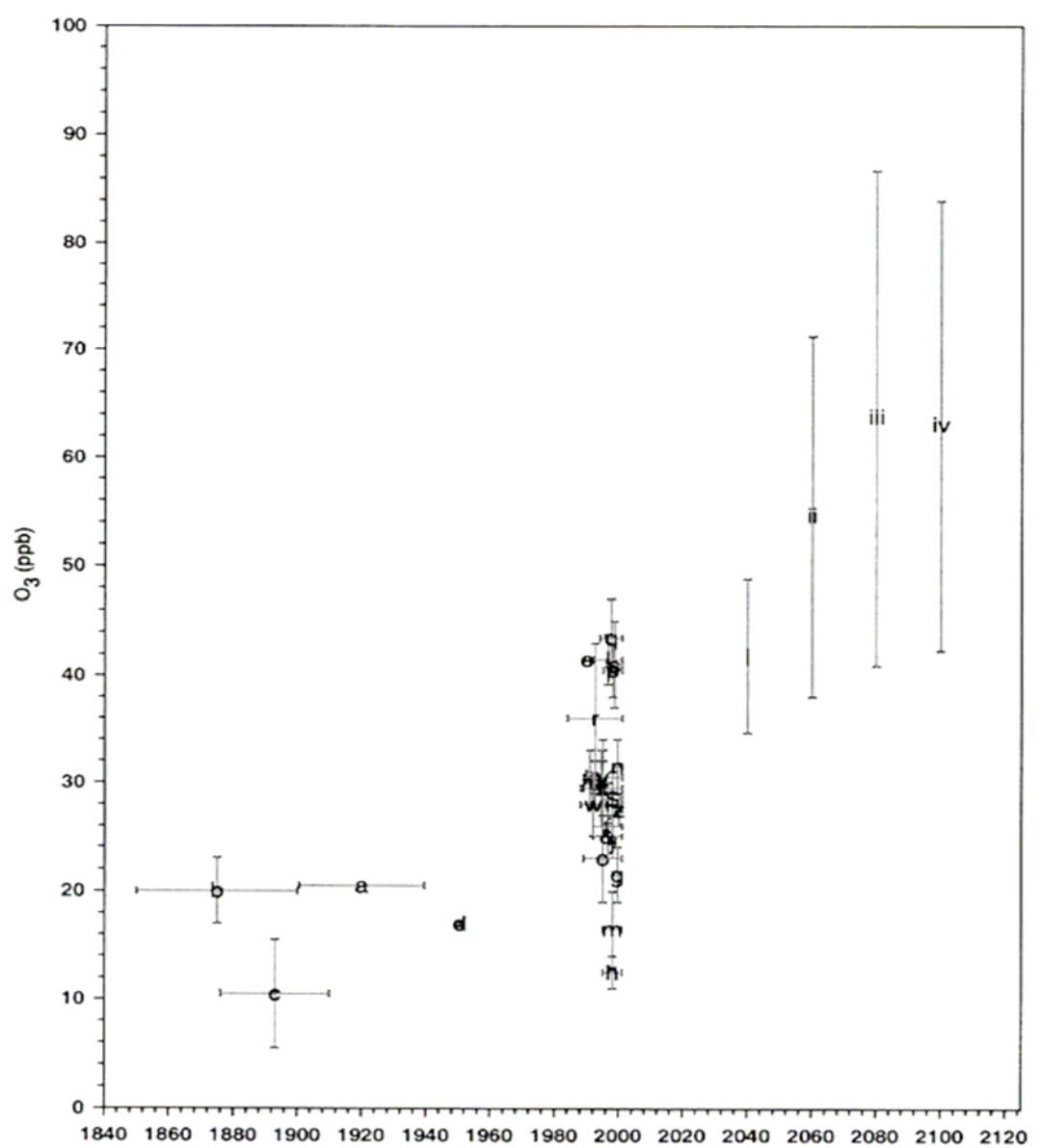
Τα παγκόσμια πρότυπα της έκθεσης της βλάστησης στο όζον αλλάζουν. Ελεγχόμενες μετρήσεις της έκκρισης των NOx και VOCs που εφαρμόστηκαν στην Βόρεια Αμερική και στην Δυτική Ευρώπη, όπου οι επιπτώσεις του όζοντος στη φυτική και δασική παραγωγή έχουν αναγνωρισθεί, αναμένονται να οδηγήσουν σε μειώσεις των μέγιστων συγκεντρώσεων του όζοντος. Την ίδια στιγμή, παγκόσμιες παλαιότερες τροποσφαιρικές συγκεντρώσεις μπορεί να σημειώσουν αύξηση εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας και συγκεκριμένα της παγκοσμίως αυξανόμενης έκκρισης των οξειδίων του αζώτου. Πράγματι, υπάρχουν ενδείξεις αυτής της ροπής από μακροχρόνιες καταγραφές. Στη Μεγάλη Βρετανία, για παράδειγμα, ο NEG-TAP (2001) (National Expert Group on Transboundary Air Pollution.) εντόπισε μια μείωση της τάξης του 30% στις μέγιστες συγκεντρώσεις της προηγούμενης δεκαετίας, πιθανόν εξαιτίας της μειωμένης τοπικής έκκρισης των πρόδρομων ουσιών, αλλά και μια αύξηση της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης της τάξης του 0.1 ppb ανά έτος. Οι προβλεπόμενες αυξήσεις στις παλαιότερες παγκόσμιες συγκεντρώσεις όζοντος δύνανται να μειώσουν ή ακόμη και να εξαλείψουν τις επιδράσεις των περιφερειακών πολιτικών ελέγχου της έκκρισης για να μειώσουν τις συγκεντρώσεις του όζοντος. Συνακόλουθα, σε μέρη της Ασίας, Λατινικής Αμερικής και Αφρικής, προβλεπόμενες αυξήσεις των παγκόσμιων συγκεντρώσεων συνδυάζονται με ροπές αυξανόμενων εκκρίσεων των πρόδρομων ουσιών του όζοντος, δείχνοντας ότι τωρινές και μελλοντικές επιδράσεις του όζοντος στις καλλιέργειες και τα δάση σε αυτές τις περιοχές μπορεί να είναι πολύ σημαντικές (Emberson *et al.* 2001, Emberson, Ashmore & Murray 2003). Οι οικονομικές και κοινωνικές επιπλοκές της μαζικής μείωσης της παραγωγής των βασικών καλλιεργειών, σε περιοχές όπου υπάρχουν προβλήματα

στην διατήρηση των αποθεμάτων τροφής στα πλαίσια της ραγδαίας πληθυσμιακής αύξησης και της μείωσης της παραγωγικής γης, μπορεί να είναι πολύ σοβαρές (Ashmore & Marshall 1999).

Διάφορες μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει παγκόσμια μοντέλα για να μελετήσουν τις επιδράσεις των συνεχιζόμενων αυξήσεων των εκκρίσεων των οξειδίων του αζώτου σε μελλοντικές συγκεντρώσεις όζοντος (Collins *et al.* 2000). Μελέτες προηγούμενων συγκεντρώσεων του όζοντος στο βόρειο ημισφαίριο του Ισημερινού δείχνουν μια αύξηση των 0,5 με 2% ανά έτος (Vingarzan 2004), το οποίο μελέτες μοντέλων δείχνουν ότι είναι πρωταρχικό εξαιτίας των αυξανόμενων εκκρίσεων ΝΟ<sub>x</sub>, αυξανόμενο από διηπειρωτικές μεταφορές. Ως εκ τούτου εκτιμήσεις των επιδράσεων στη βλάστηση και οι επιδράσεις των των πολιτικών ελέγχου, όσον αφορά στο όζον πρέπει να θεωρηθεί τόσο παγκόσμιο όσο και τοπικό θέμα (Coyle, Fowler & Ashmore 2003). Η εικόνα 1 (από Vingarzan 2004) συνδυάζει ιστορικά, πρόσφατες και προβλεπόμενες μέσες συγκεντρώσεις επιφανειακού όζοντος δείχνοντας την αύξηση κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα και την προβλεπόμενη αύξηση κατά την διάρκεια του επόμενου αιώνα. Βασίζονται σε διαφορετικά σενάρια και προβλέπουν είτε μια αύξηση στα 70ppb (πολύ παραπάνω από το κατώφλι για την αρνητική επίδραση του ρύπου σε μια ποικιλία τύπων βλάστησης) μέχρι το 2050. Άλλα σενάρια προβλέπουν σταθεροποίηση στα 40ppb περίπου.

Η σπουδαιότητα αυτών των αλλαγών πρέπει να θεωρηθεί μέσα στο γενικό πλαίσιο και άλλων προβλεπόμενων αλλαγών στον σχηματισμό της παγκόσμιας ατμόσφαιρας και του κλίματος. Υπάρχουν σημαντικές αλληλεπιδράσεις με αυξανόμενες συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> που μπορούν να μετατρέψουν τις μελλοντικές επιδράσεις του όζοντος. Αλλαγές στη διαθεσιμότητα του νερού, θερμοκρασία και τον κύκλο των θρεπτικών συστατικών μπορούν επίσης να αλληλεπιδράσουν ώστε να αλλάξουν τις εκθέσεις του όζοντος. Δευτερεύουσες αλληλεπιδράσεις, για παράδειγμα η

πιθανότητα μιας σοβαρής προσβολής από έντομα πρέπει επίσης να τεθούν υπόψη. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με τους Ashmore & Bell (1991), η αλλαγή των συγκεντρώσεων του όζοντος είναι ο κυριότερος σύμμαχος για την παγκόσμια αλλαγή.



Εικ. 20 Παλαιότερες, πρόσφατες και προβλεπόμενες παγκόσμιες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις επιφανειακού όζοντος. Η ποικιλία των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων αντικατοπτρίζει την ποικιλία των διαφορετικών σεναρίων IPCC . Από Vingarzan (2004).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαβίζος Γιώργος, Μερτζάνης Αριστείδης (2002) Περιβάλλον – Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. εκδ. Παπασωτηρίου.

Γεντεκάκης Β. Ιωάννης (1999) Ατμοσφαιρική Ρύπανση Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές τεχνολογίες. εκδ. Τζιόλα.

Δερμιτζάκης Μπάμπης (1988) Περιβάλλον Διατροφή & ποιότητα ζωής. εκδ. Θυμάρι.

Agrawal SB, Agrawal M (2000) Environmental pollution and plant responses. Lewis Publishers, 184-185.

Ashmore M (2005) Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. Plant, Cell and Environment 28: 949-964.

Astorino G, Margani I, Tripodo P and Manes F (1995) The response of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Lit. to different dosages of anti-ozonant ethylenediurea (EDU) in relation to chronic treatment with ozone. Plant Science 111: 237-248.

BELL JNB (2002) Air Pollution and Plant Life. WILEY.

Bermejo V, Gimeno BS, Granados I, Santamaria J, Irigoyen JJ, Bermejo R, Porcuna JL and Mills G (2002) Investigating indices to explain the impacts of ozone on the biomass of white clove (*Trifolium repens* L. cv. Regal) at inland and coastal sites in Spain. New Phytologist 156: 43-55.

Calatayud A, Barreno E (2001) Chlorophyll a fluorescence, antioxidant enzymes and lipid peroxidation in tomato in

response to ozone and benomyl. *Environmental Pollution* 115: 283-289.

Calatayud A, Barreno E (2000) Foliar spraying with zineb increases fruit productivity and alleviates oxidative stress in two tomato cultivars. *Photosynthetica* 38 (1): 149-154.

Heagle AS, Miller JE and Sherill DE (1994) A white clover system to estimate effects of tropospheric ozone on plants. *Journal of Environmental Quality* 23: 613-621.

Heagle AS, Stefanski LA (2000) Relationships between ambient ozone regimes and white clover forage production using different ozone exposure indexes. *Atmospheric Environment* 34: 735-744.

Heath RL (1994) Possible mechanisms for the inhibition of photosynthesis by ozone. *Photosynthesis Research* 39: 439-451.

ICP Vegetation, Experimental Protocol for the 2003 Season, International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops, Working Group on Effects, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, United Nations Economic Commission for Europe.

Grünhage Ludger, Jäger Hans-Jürgen (2003) From critical levels to critical loads for ozone: a discussion of a new experimental and modeling approach for establishing flux-response relationship for agricultural crops and native plant species. *Environmental Pollution* 125: 99-110.

Kouvarakis G, Tsigaridis K, Kanakidou M and Mihalopoulos N (2000) Temporal variations of surface regional background ozone over Crete Island in the southeast Mediterranean. *Journal of geophysical research* 105: 4399-4407.

Krupa SV, Manning WJ (1988) Atmospheric Ozone: Formation and Effects on Vegetation. *Environmental Pollution* 50: 101-137.

Manninen Anne-Marja, Laatikainen Tarja (1998) Condition of Scots pine fine roots and mycorrhiza after fungicide application and low-level ozone exposure in a 2-year field experiment. *Trees* 12: 347-355.

Manning W., Godzik B., Bioindicator plants for ambient ozone in Central and Eastern Europe, *Environmental Pollution*, 130, p. 33–39, 2004.

Musselman R, Minnick T (2000) Nocturnal stomatal conductance and ambient air quality standards for ozone. *Atmospheric Environment* 34: 719-733.

Ribas A, Penuelas J (2000) Effects of ethylene diurea as a protective antiozonant on beans (*Phaseolus vulgaris* cv. Lit.) exposed to different tropospheric ozone doses in Catalonia (NE Spain). *Water, Air, and Soil Pollution* 117: 263-271.

Yue-xuan Wu, Andreas von Tiedemann (2002) Impact of fungicides on active oxygen species and antioxidant enzymes in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) exposed to ozone. *Environmental Pollution* 116: 37-47.

Zeiger Eduardo (2002) *The Effect of Air Pollution on Plants*, University of California, Los Angeles.



