



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ  
Τομέας Βοτανικής

Διπλωματική εργασία με θέμα :

«Συγκριτική μελέτη ανάπτυξης φυτών σε αστικό και  
περιαστικό περιβάλλον»

Κωνσταντόπουλος Ιωάννης

Υπεύθυνη :  
Λέκτορας Δρ. Μελετίου Μαρία - Σόνια

ΑΘΗΝΑ 2011

---

---

---

*Η φύση ακολουθεί πάντα ένα ολοκληρωμένο σχέδιο, που μάλλον εκτελεί σταδιακά κατά διαδοχικά βήματα και το αποκαλύπτει σιγά – σιγά.*

**Θεόφραστος**

*«Έθνος απολωλεκός βουλήν εστί, και ούκ εστί εν αυτοίς επιστήμη, ουκ εφρόνησαν συνιέναι»*

**από λόγους του π. Παϊσίου †,**

*«Πρέπει να περάσω από τις δικές μου συμπληγάδες,  
για να βγω στη θάλασσα των άλλων θαλασσοπόρος.  
Να κλείσω μάτια και αυτιά, Οδυσσέας, στις ανύπαρκτες σειρήνες  
Και όποια Ιθάκη βρίσκω να την αρνούμαι για να έχω την χαρά του ταξιδιού, που πνόησε ο ποιητής»*

**άγνωστος ποιητής**

---

---

## Πρόλογος - Ευχαριστίες

Μία διπλωματική εργασία, εκτός από μία υποχρεωτική διαδικασία μάθησης είναι και μία προσωπική αναζήτηση. Τουλάχιστον έτσι αντιλαμβάνομαι προσωπικά τη «διπλωματική εργασία». Ευτυχώς, αυτή την αντίληψη μπόρεσα να την ακολουθήσω χάρη στην κατανόηση και την βοήθεια της επιβλέπουσάς μου.

Προσωπικό ερώτημα μου, ήταν και είναι, πως μπορούμε να βελτιώσουμε την ποιότητα ζωής σε μία πόλη χρησιμοποιώντας τα φυτά ως εργαλεία και πως η ίδια η πόλη επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών.

Πως επηρεάζεται λοιπόν η ανάπτυξη της βλάστησης από τον περιβάλλοντα χώρο μέσα σε μία πόλη; Ποια είναι η επίδραση της βλάστησης στο μικροκλίμα μίας σύγχρονης μεγαλόπολης; Σε ποιο βαθμό επηρεάζει ένα αστικό κέντρο το μικροκλίμα μίας περιφερειακής περιοχής και αντίστροφα; Τι διαφορές μπορεί να εμφανίζει στην ανάπτυξη της η βλάστηση που αναπτύσσεται μέσα και έξω από τον αστικό ιστό; Ποιοι είναι εκείνοι οι ανθρωπογενείς παράγοντες που επιδρούν αρνητικά ή θετικά στην ανάπτυξη της βλάστησης μίας πόλης, πως και σε ποιο βαθμό;

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τίτλο «συγκριτική ανάπτυξη φυτών σε αστικό και περιφερειακό περιβάλλον». Πιθανών, να ήταν χρήσιμη η προσθήκη «μεταξύ αυτοφυών και μη αυτοφυών, επιλεγμένων φυτικών ειδών υπό την παρουσία όζοντος». Όμως, εκ των πραγμάτων, υπάρχουν πολλοί περιορισμοί που αυτό δεν το επιτρέπουν.

Έτσι, με οδηγό τον βασικό τίτλο, καταβλήθηκε μία πολύ μεγάλη προσπάθεια ώστε να γίνει ένας σχεδιασμός του πειραματικού μέρους που να οδηγεί σε ένα αποδεκτό και ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Η δειγματοληψίες απλώθηκαν σε μία χρονική περίοδο 10 μηνών, καλύπτοντας όλες τις εποχές ενός έτους, από τον Δεκέμβριο 2005 έως τον Σεπτέμβριο 2006.

Η διερεύνηση της σχετικής βιβλιογραφίας, απέκαλυψε αρκετές σχετικές ερευνητικές εργασίες που έχουν γίνει, ιδιαίτερα για την περιοχή της Μεσογείου. Ειδικά όσον αφορά τον παράγοντα όζον ( $O_3$ ), βρέθηκαν πολλές ερευνητικές εργασίες από την Ισπανία, την Πορτογαλία και την Ιταλία. Βρέθηκαν επίσης πολλές αναφορές για αείφυλλα σκληρόφυλλα είδη (και όχι μόνο) που σχετίζονται με την φυσιολογική τους απόκριση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους και την επίδραση των κλιματικών αλλαγών στην φυτική αύξηση. Πολλές αναφορές βρέθηκαν για την επίδραση του αερίου όζοντος στους φυτικούς ιστούς σκληρόφυλλων ειδών της μεσογειακής λεκάνης αλλά και άλλων περιοχών.

Χρήσιμα στοιχεία αντλήθηκαν από βιβλιογραφία βιοκλιματικής προσέγγισης καθώς και αναφορών σε πληθυσμιακές μελέτες σχετικά με την επίπτωση των αέριων ρύπων στη δημόσια υγεία. Πιστεύω ότι είναι χρήσιμη μία σφαιρική παρουσίαση, έστω και επιγραμματικών πληροφοριών, ώστε να φανεί η σημασία της βλάστησης στην ποιότητα ζωής και την υγεία των κατοίκων των πόλεων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα μου Λέκτορα Δρ. Μελετίου Μαρία -Σόνια, διότι χωρίς την καθοδήγηση, την υπομονή, την κατανόηση και την βοήθειά της, δεν θα μπορούσε να λάβει «σχήμα και μορφή» αυτή η προσπάθειά μου, ιδιαίτερα επειδή ξεκίνησε και συνεχίστηκε, σε μία πάρα πολύ δύσκολη περίοδο της προσωπικής μου ζωής.

Θέλω να ελπίζω ότι ο προσωπικός αγώνας, του κάθε ανθρώπου, είναι αυτό που εκτιμάται και αποτιμάται, μακριά από πρότυπα που δεν ταιριάζουν σε κοινωνίες ανθρώπων. Αυτός ο μεγάλος αγώνας αφιερώνεται πάντα σε αυτούς που χωρίς να το θέλουν, δεν βρίσκονται κοντά μας, αλλά πάντα τους θυμόμαστε με νοσταλγία και αγάπη, και σε αυτούς που πάντα είναι κοντά μας γιατί μας αγαπούν και τους αγαπάμε.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**- Περίληψη σελ. 5****1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.**

- 1.1. Γενικά σελ. 8
- 1.2. Γενικά ανατομικά στοιχεία σελ. 10
- 1.3. Η φωτοσύνθεση σελ. 12
- 1.4. Χλωροπλάστες - οργάνωση και λεπτή δομή σελ. 13
- 1.5. Φωτοσυνθετικές χρωστικές σελ. 14
- 1.6. Οργάνωση των φωτοσυστημάτων σελ. 16
- 1.7. Η φωτοσυνθετική διαδικασία σελ. 18
- 1.8. Ο κύκλος της αφομοίωσης του CO<sub>2</sub> (Calvin cycle) σελ. 19
- 1.9. Το φύλλο και η φωτοσυνθετική διαδικασία σελ. 21
- 1.10. Η προστασία της φωτοσυνθετικής συσκευής έναντι φωτός υψηλής έντασης σελ. 22
- 1.11. Ο φθορισμός της Chl-a σελ. 23

**2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ**

- 2.1. Γενικά σελ. 25
- 2.2. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας και τα φυτά σελ. 28
- 2.3. Η δημόσια υγεία και το δίκτυο παρακολούθησης των αέριων ρύπων σελ. 29
- 2.4. Οι σημαντικότεροι φυτοτοξικοί ρύποι σελ. 32
- 2.5. Πρωτογενείς ρύποι σελ. 32
  - 2.5.1. Διοξείδιο του Θείου (SO<sub>2</sub>) σελ. 33
  - 2.5.2. Το υδροφθόριο (HF) σελ. 33
  - 2.5.3. Το αιθυλένιο (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) σελ. 33
  - 2.5.4. Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ<sub>x</sub>) σελ. 34
  - 2.5.5. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) σελ. 34
  - 2.5.6. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) σελ. 35
- 2.6. Δευτερογενείς ρύποι σελ. 35
  - 2.6.1. Υπεροξειακετυλονιτρικό οξύ - νιτρικό περοξυακετύλιο [PAN, CH<sub>3</sub>C(O)OONO<sub>2</sub>] σελ. 36
  - 2.6.2. Οξείδια του αζώτου (NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>) σελ. 36
  - 2.6.3. Όζον (O<sub>3</sub>) σελ. 36
- 2.7. Συσχέτιση των συγκεντρώσεων όζοντος και διοξειδίου του άνθρακα σελ. 39

**3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΑΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΜΕ ΚΥΡΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΟΖΟΝ σελ. 41****4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΚΑΙ ΟΖΟΝ**

- 4.1. Γενικά σελ. 55
- 4.2. Αναφορές για την επίδραση του όζοντος σε συγκεκριμένα φυτικά είδη της μεσογειακής χλωρίδας
  - 4.2.1. *Arbutus unedo* σελ. 58
  - 4.2.2. *Laurus nobilis* σελ. 59
  - 4.2.3. *Pistacia lentiscus* σελ. 59
  - 4.2.4. *Betula pendula* σελ. 60
  - 4.2.5. *Ceratonia siliqua* σελ. 60
  - 4.2.6. *Olea europaea subsp. sylvestris* σελ. 62

---

4.2.7. <i>Quercus ilex</i>	σελ. 62
4.2.8. Γενικά συμπεράσματα	σελ. 64
4.3. Στοιχεία για το μικροκλίμα αστικών και περιαστικών περιοχών	σελ. 65
4.4. Τροποσφαιρικό όζον και ανθρώπινη υγεία	σελ. 70
<b>5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b>	
5.1 Φυτικό Υλικό	σελ. 72
5.2 Περιοχή μελέτης και Σχεδιασμός Δειγματοληψίας	σελ. 73
5.3. Περιγραφή των σημείων δειγματοληψίας	σελ. 75
5.4. Μέθοδος	σελ. 83
<b>6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	
6.1. Γενικά	σελ. 85
6.2. Χλωροφύλλες	σελ. 87
- Chl-a	
- Chl-b	
- Chl-total	
- Chla/b	
- Στατιστικός έλεγχος	
6.3. Συζήτηση	σελ. 106
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b>	σελ. 111





## Περίληψη

Ο τίτλος της παρούσης εργασίας είναι «Συγκριτική ανάπτυξη φυτών σε αστικό και περιαστικό περιβάλλον». Σκοπός της είναι: α) η διερεύνηση βιβλιογραφίας σχετιζόμενης με την επίδραση των αέριων ρύπων στην αύξηση φυτικών ειδών εντός αστικού και περιαστικού περιβάλλοντος, με επικέντρωση στην επίδραση του όζοντος στις χλωροφύλλες, β) η ανεύρεση πιθανών διαφορών στο χλωροφυλλικό περιεχόμενο δύο φυτικών ειδών που είναι εγκατεστημένα εντός και εκτός αστικού ιστού.

Τα φυτικά είδη που χρησιμοποιήθηκαν για το πειραματικό μέρος είναι το *Laurus nobilis* (κοιν. δάφνη, δάφνη Απόλλωνος, δάφνη η ευγενής), και το *Ceratonia siliqua* (κοιν. χαρουπιά, ξυλοκερατιά, Ιωαννίτικο δέντρο). Και τα δύο είδη είναι χαρακτηριστικά της Μεσογειακής χλωρίδας και ανήκουν στα αείφυλλα σκληρόφυλλα είδη.

Σε διάρκεια δέκα μηνών, από τον Δεκέμβριο του 2005 έως και τον Σεπτέμβριο του 2006, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές δειγματοληψιών. Σε κάθε δειγματοληψία ελήφθησαν πλήρως ανεπτυγμένα και αμιγή φύλλα, χωρίς ιστολογικές αλλοιώσεις και οποιοδήποτε είδους προσβολή και εμφανή σημάδια περιβαλλοντικών καταπονήσεων, μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και καταψύχθηκαν στους  $-18^{\circ}\text{C}$  μέχρι να αναλυθούν.

Η εργαστηριακή διαδικασία περιελάμβανε την λήψη ελάσματος από τα φύλλα, καθαρισμό με απορροφητικό χαρτί, ζύγιση ποσότητας βάρους 0,2 - 0,21 g, τεμαχισμό του δείγματος σε πολύ μικρά κομμάτια, πολτοποίηση και εκκύλιση των χλωροφυλλών με χρήση υδατικού διαλύματος ακετόνης 80%.

Στο εκχύλισμα, μετρήθηκε η απορρόφηση στα 440 nm και 660 nm που αντιστοιχεί στο φάσμα της P.A.R. .

Η διαδικασία έγινε για κάθε είδος ξεχωριστά. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 20 σημεία δειγματοληψίας και διενεργήθηκαν 160 εκχυλίσεις. Για κάθε εκκύλιση έγιναν τρεις διαδοχικές φωτομετρήσεις με φασματοφωτόμετρο Pharmacia Biotech Novaspec II ορατού φάσματος. Κάθε δείγμα μετρήθηκε τρεις φορές και λήφθηκε ο μέσος όρος των τιμών.

Τα αποτελέσματα των φωτομετρήσεων, μεταφράστηκαν σε  $\text{mg Chl}^*/\text{g}$  νωπού βάρους ιστού, σύμφωνα με την μέθοδο STEUBING (Steubing L., 1965).

Από τα φασματοφωτομετρικά αποτελέσματα και με την βοήθεια μαθηματικών τύπων υπολογίστηκαν οι ποσότητες  $\text{Chla}$ ,  $\text{Chlb}$ ,  $\text{Chl}_{\text{total}}$  και ο λόγος  $\text{Chla/b}$ .

Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία μέτρησης περιβαλλοντικών ρύπων που λαμβάνονται σε ημερήσια βάση από τους επιτόπιους σταθμούς του ΠΕΡΠΑ (υπηρεσία του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ), στοιχεία βροχόπτωσης και θερμοκρασίας που ελήφθησαν από το

Ινστιτούτο Περιβάλλοντος του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ - ΙΕΠΒΑ) και τον Μετεωρολογικό Σταθμό που διατηρεί το Εργαστήριο Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ειδικά από το ΙΕΠΒΑ, ελήφθησαν ωριαίες τιμές θερμοκρασίας και μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης.

Από το ΠΕΡΠΑ ελήφθησαν οι μετρήσεις των αερίων ρύπων για την περίοδο των δειγματοληψιών. Οι τιμές αρχικά δόθηκαν σε μορφή ωριαίων μετρήσεων (βάση 24ωρης λειτουργίας των επιτόπιων αυτόματων σταθμών δειγματοληψίας αέριων ατμοσφαιρικών ρύπων). Επειδή όμως οι τιμές θερμοκρασίας των αυτόματων σταθμών δεν θεωρούνται ασφαλείς από το ΠΕΡΠΑ, χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα οι θερμοκρασιακές τιμές που ελήφθησαν από το ΙΕΠΒΑ και προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΕΑΑ που βρίσκεται στο Θησείο. Οι συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές και ασφαλείς καθώς δεν είναι πολύ μεγάλη η απόσταση από την περιοχή των δειγματοληψιών, με την έννοια ότι και η υπό μελέτη περιοχή και το κέντρο της Αθήνας όπου βρίσκεται το ΕΑΑ είναι περιοχές πυκνοδομημένες, αλλά και η διαμόρφωση του αστικού τοπίου είναι παρόμοια (κτίρια, πλακόστρωτα, μακριά από χώρους πυκνού και ψηλού πρασίνου κ.λ.π.). Παρ' αυτά, επειδή σαφώς οι τιμές θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και αέριων ρύπων δεν αφορούν επιτόπιες μετρήσεις για κάθε σταθμό δειγματοληψίας, δεν μπορεί παρά να είναι μόνο ενδεικτικές και τα συμπεράσματα που προέκυψαν μπορούν να είναι μόνο γενικά και δεν μπορούν να εξειδικευθούν.

Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι υπάρχουν γενικά αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις στο χλωροφυλλικό περιεχόμενο μεταξύ των δύο ειδών, με το είδος *Laurus nobilis* να εμφανίζεται πιο ευαίσθητο στην αέρια ρύπανση έναντι του είδους *Ceratonia siliqua*. Βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ σημείων που βρίσκονταν εντός και εκτός των πιο επιβαρημένων με ρύπους περιοχών, που εμφανίζουν το είδος *Ceratonia siliqua* περισσότερο ανθεκτικό στην αέρια ρύπανση συγκριτικά με το *Laurus nobilis*. Επίσης, και για τα δύο είδη, εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων που προέρχονταν από τις περισσότερες και λιγότερες επιβαρημένες με αέρια ρύπανση περιοχές του Περιστερίου. Για το είδος *Laurus nobilis*, η μεγαλύτερη τιμή για την Chl-a μετρήθηκε στον σταθμό L8, την εαρινή περίοδο 2006 (τιμή 2,8926 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους φύλλου) στις 5/5/2006) και η μικρότερη μετρήθηκε στον L7 την χειμερινή περίοδο (τιμή 0,6244 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους φύλλου στις 9/12/2005), ενώ για το είδος *Ceratonia siliqua*, η μεγαλύτερη τιμή μετρήθηκε στον σταθμό C6 (τιμή 2,3711 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 5/5/2006) και η μικρότερη μετρήθηκε στο C9 (τιμή 1,0428 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 5/5/2006). Ο μέσος όρος των τιμών Chl-a για όλες τις μετρήσεις για το είδος *Laurus nobilis*, μετρήθηκε σε 1,6569 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους φύλλου, και για το είδος *Ceratonia siliqua* μετρήθηκε σε 1,6266 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους. Η μεγαλύτερη τιμή για την Chla συγκριτικά για τα δύο είδη, βρέθηκε για το είδος *Laurus nobilis* στο σημείο L8 (τιμή 2,8926 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους) και η μικρότερη τιμή, συγκριτικά για τα δύο είδη βρέθηκε για το είδος *Laurus nobilis*, στο σημείο L7 (τιμή 0,6244 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους). Στατιστικά σημαντικές διαφορές, μεταξύ άλλων, βρέθηκαν στο χλωροφυλλικό περιεχόμενο φύλλων, για τις θέσεις L10 - C2 ( p = 0,038), L10 - C6 (p = 0,013), L8 - C3 ( p = 0,025), αλλά και σε άλλα σημεία, που διευκολύνουν την διάκριση των σημείων σε δύο ομάδες με διαχωριστική νοητή γραμμή τον οδικό άξονα της οδού Θηβών, που αποτελεί και το φυσικό διαχωριστικό όρια μεταξύ του Ανατολικού (βιομηχανική ζώνη, σχεδόν σταθερού υψομέτρου) και Δυτικού τομέα (αυξανόμενου υψομέτρου από 55m έως τα 180 m) της πόλης του Περιστερίου. Το σημείο L10 ανήκει στην περιοχή των Θρακομακεδόνων και όπως φαίνεται πιο πάνω, βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με σημεία του Περιστερίου που βρίσκονται στην βιομηχανική ζώνη της Πόλης.



Παρά το γεγονός ότι αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν μία πιθανή την επίδραση της αέριας ρύπανσης και της περιβαλλοντικής καταπόνησης (υψηλές θερμοκρασίες) στην αύξηση και την φωτοσυνθετική λειτουργία των δύο αυτών ειδών, δεν μπορούν να ληφθούν ως οριστικά. Στην παρούσα εργασία πολύ χρήσιμη θα ήταν η λήψη ηλεκτρονιοφωτογραφιών από φυτά που βρίσκονται σε σημεία με αυξημένη κυκλοφορία οχημάτων και από φυτά που βρίσκονται σε πιο απομονωμένα σημεία, ώστε να υπάρξουν ιστολογικές συγκρίσεις. Όμως αυτό δεν κατέστη δυνατόν. Γι' αυτό αναζητήθηκε παρόμοιο υλικό από στην διεθνή βιβλιογραφία, το οποίο και παρατίθεται.

Σαφώς, αυτό το ερευνητικό πεδίο, εμφανίζει τεράστιο ενδιαφέρον γιατί σχετίζεται με την ποιότητας ζωής στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις. Επομένως, μία λεπτομερέστερη διερεύνηση του αρχικού ερωτήματος για τα δύο είδη που εξετάστηκαν, θα ήταν πολύ χρήσιμη.



# 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ -

### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.



#### 1.1. Γενικά.

Τα φυτά είναι αξιοθαύμαστοι ζωντανοί οργανισμοί που διαθέτουν μία πληθώρα μεταβολικών διεργασιών. Αυτές οι διεργασίες είναι γενετικά προγραμματισμένες και επηρεάζονται από εσωτερικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες στην τελική τους έκφραση. Η φαινοτυπική έκφραση αυτών των διεργασιών είναι συνολικά η «αύξηση» κυρίως με την μορφή σύνθεσης βιομάζας, με πρωταρχική διαδικασία τον φωτοσυνθετικό κύκλο.

Το περιβάλλον παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις αναπτυξιακές διαδικασίες των φυτών. Οι περιβαλλοντικές παράμετροι δύνανται να επιδρούν θετικά ή αρνητικά στις μεταβολικές διαδικασίες που εξελίσσονται μέσα στους φυτικούς ιστούς και να επηρεάζουν την απόδοση υποκυτταρικών οργανιδίων.

Επειδή τα φυτά είναι ακίνητα είναι υποχρεωμένα να αναπτύσσουν μηχανισμούς ή προσαρμογές έναντι των διαφόρων περιβαλλοντικών πιέσεων. Χωρίς αυτό να σημαίνει ότι πάντα επιτυγχάνουν να αντεπεξέλθουν στις πιέσεις που υφίστανται, καθώς, όπως ισχύει για κάθε ζωντανό οργανισμό, υπόκεινται στους νόμους της φυσικής επιλογής.

Οι φυτικοί οργανισμοί, υπό την έννοια της «βλάστησης», είναι απαραίτητα στοιχεία των ανθρώπινων πόλεων. Η τερατώδης ανάπτυξη των σύγχρονων πόλεων και η δημιουργία βιομηχανικών ζωνών εντός και γύρω από αυτές, δημιουργούν ιδιαίτερες περιβαλλοντικές και μικροκλιματικές συνθήκες, στις οποίες καλούνται τα φυτά να προσαρμοστούν και να αναπτυχθούν, είτε με τεχνητό τρόπο είτε αυτοφυώς. Και αντίστροφα, τα φυτά με την παρουσία τους επηρεάζουν ή και διαμορφώνουν το μακροκλίμα και το μικροκλίμα μίας αστικής περιοχής.

Είναι γεγονός αδιαμφισβήτητο ότι οι συνθήκες διαβίωσης και ανάπτυξης για τα φυτά είναι δυσμενέστερες μέσα σε ένα τσιμέντινο αστικό περιβάλλον που επιβαρύνεται θερμικά, είναι άνυδρο και γεμάτο από αέριους και μικροσωματιδιακούς ρύπους. Μέσα στην πόλη, κυρίαρχη «δύναμη επιλογής» είναι πρώτα ο ίδιος ο άνθρωπος και μετά οι φυσικές διαδικασίες, υπό την έννοια ότι ο άνθρωπος διαμορφώνει το περιβάλλον στο οποίο ζει και όχι οι φυσικές διαδικασίες. Μέσα σε μία σύγχρονη μεγαλούπολη ο ενδοειδικός και διαειδικός ανταγωνισμός σίγουρα δεν λειτουργούν στον ίδιο βαθμό όπως στο φυσικό περιβάλλον. Για παράδειγμα, σε μία σύγκριση μεταξύ ενός τεχνητού και συστηματικά συντηρούμενου αλσουλίου μέσα στην πόλη και ενός περιαστικού ή άγριου - αυτοφυούς φυσικού οικοσυστήματος, στο

πρώτο θα διαπιστώσουμε την «συγκατοίκηση» φυτικών ειδών πιθανών πολύ ξένων μεταξύ τους και με πολύ διαφορετικές προελεύσεις.

Στο αστικό περιβάλλον η ποιότητα ζωής των κατοίκων συνδέεται άμεσα με την ποσοτική και ποιοτική παρουσία της βλάστησης. Χαρακτηριστικό είναι ότι ένα πλήρως ανεπτυγμένο δέντρο αποδίδει σε έναν χρόνο τόσο οξυγόνο όσο χρειάζονται για αν ζήσουν δέκα άνθρωποι σε έναν χρόνο (πηγή <http://forestry.about.com>). Ταυτόχρονα το οξυγόνο είναι για το δέντρο ένα «περιττό φωτοσυνθετικό παραπροϊόν» υπό την έννοια ότι, εξελικτικά η αύξηση της παρουσίας του στην κατώτερη ατμόσφαιρα οδήγησε στην ανάπτυξη του αερόβιου μεταβολισμού. Βέβαια τα φυτά επίσης αναπνέουν αλλά όπως είναι γνωστό υπάρχουν ουσιώδεις διαφορές συγκριτικά με την αναπνοή των ζωικών οργανισμών.

Σε μία αστική περιοχή, το επί τοις εκατό ποσοστό της επιφάνειας που καλύπτεται από πράσινο είναι ένας έμμεσος δείκτης για τις μικροκλιματικές συνθήκες που διαμορφώνονται εποχιακά και επηρεάζουν σημαντικές περιβαλλοντικές παραμέτρους που συνδέονται με την ποιότητα ζωής των κατοίκων, όπως είναι η μέση θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι συνθήκες του περιβάλλοντος επηρεάζουν και την κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό και θέρμανση (Matzarakis et al, 2000). Άρα, η παρουσία της βλάστησης στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις, είναι μία σημαντική παράμετρος για την καθημερινότητα των κατοίκων που σχετίζεται και με την παραγωγή και χρήση της ενέργειας.

Συνυπολογίζοντας ότι οι συνθήκες εντός των αστικών περιοχών είναι διαφορετικές και προφανώς πιο δυσμενείς για την φυτική ανάπτυξη, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί πολύ η έρευνα για τον εντοπισμό εκείνων των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών (φυσιολογικών, μορφολογικών, ανατομικών, βιοχημικών κ.λ.π.) που πρέπει να έχουν τα φυτικά είδη ώστε να είναι κατάλληλα για να αναπτύσσονται μέσα στις πόλεις, προκειμένου να βελτιωθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αστικού μικροκλίματος και να αμβλυθούν ανθρωπογενείς επιδράσεις (υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες εξαιτίας χρήσης υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, παραγωγή και συγκέντρωση αέριων ρύπων από μηχανές εσωτερικής καύσης, επιφάνειες ανάκλασης φωτός κ.λπ.). Υπάρχει αρκετή ελληνική αλλά κυρίως διεθνής βιβλιογραφία, προερχόμενη από ερευνητικά κέντρα μεσογειακών και παραμεσογειακών χωρών (Ισπανία, Πορτογαλία, Ιταλία), που ασχολείται με την ανθεκτικότητα διαφόρων φυτικών ειδών σε ρύπους, πρωτογενείς ή δευτερογενείς. Αρκετές αναφορές αφορούν είδη που κατατάσσονται στα αείφυλλα σκληρόφυλλα - μακκί - πολλά από τα οποία είναι χαρακτηριστικά της μεσογειακής χλωρίδας και συνθέτουν την επικρατούσα χλωρίδα της Ελλάδας.

Είδη που έχουν μελετηθεί ως προς την ανθεκτικότητα τους έναντι περιβαλλοντικών πιέσεων, κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης, με έναυσμα την συχνή παρουσία τους σε μεγάλα αστικά κέντρα ή την οικονομική τους σημασία είναι τα *Quercus coccifera* (πουρνάρι), *Myrtus communis* (μυρτιά), *Nerium oleander* (πικροδάφνη, ολέανδρο), *Laurus nobilis* (δάφνη), *Ceratonia siliqua* (χαρουπιά), *Quercus ilex* (αριά), *Lantana camara* (λαντάνα), *Triticum aestivum* (σιτάρι), *Olea europaea* (ελιά) κ.λπ.

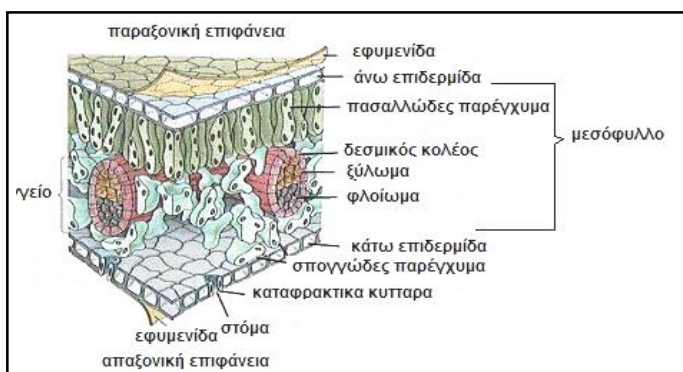
Υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία για την επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών αέριων ρύπων όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα [CO], το διοξείδιο του άνθρακα [CO<sub>2</sub>], τα οξειδία του αζώτου [NO<sub>x</sub>], το διοξείδιο του θείου [SO<sub>2</sub>], το όζον [O<sub>3</sub>], τα αιωρούμενα σωματίδια [SPMs], οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες [VOCs] κ.λπ και περιβαλλοντικών παραγόντων όπως το νερό, η ένταση και η ποιότητα του φωτός, τα θρεπτικά, η θερμοκρασία, καθώς και ποσοτικών και ποιοτικών συνδυασμών αυτών.

Διεθνώς, με την αναπτυσσόμενη και συνεχή παρακολούθηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα της κατώτερης ατμόσφαιρας και των δευτερογενών αέριων

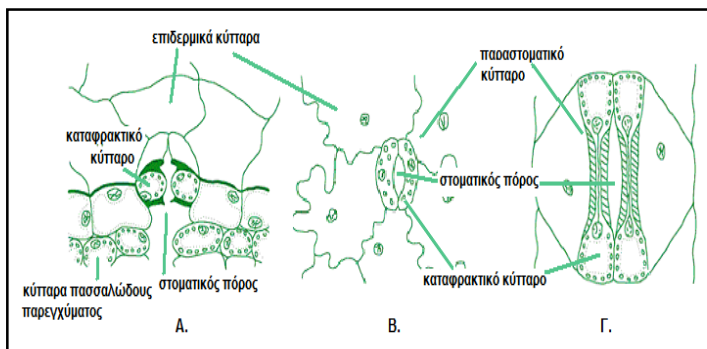
ρύπων, υπάρχουν πολλές αναφορές για την αυξανόμενη παρουσία του τροποσφαιρικού όζοντος ( $O_3$ ) εξ' αιτίας των επιδράσεων που ασκούν αυτά τα δύο αέρια στην φυσιολογία παραγωγικών φυτών, στην εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής-αέρια θερμοκηπίου - και την υγεία του ανθρώπου. Μεγάλος αριθμός ερευνητικών εργασιών ασχολούνται με το όζον, καθώς πέρα από την φυσική του παρουσία στην στρατόσφαιρα και τον ρόλο του ως ασπίδα έναντι της κοσμικής UV ακτινοβολίας, αποτελεί έναν ανθρωπογενή δευτερογενή φωτοχημικό ρύπο. Η επίδραση του όζοντος στα φυτά μελετάται συνεχώς από το 1970 και μετά περίπου.

Η αναλογία οξυγόνου/διοξειδίου του άνθρακα ( $O_2/CO_2$ ) που επικρατεί σήμερα στην ατμόσφαιρα, έχει μεγάλη σημασία για τα C3 και C4 φυτά, στα οποία ανήκουν πολλά είδη που αποτελούν βασικές πηγές διατροφής για τον άνθρωπο (κυρίως τα σιτηρά). Επίσης, η αναλογία οξυγόνου και όζοντος ( $O_2/O_3$ ) στην ατμόσφαιρα έχει βρεθεί ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών.

## 1.2. Γενικά ανατομικά στοιχεία



Εικόνα 1.1 : Σχηματική απεικόνιση του εσωτερικού του φύλλου ενός C4 φυτού.



Εικόνα 1.2. : Σχηματική αναπαράσταση των δύο κύριων τύπων στοματικών συμπλόκων.

φωτοσυνθετικά προϊόντα καθώς και άλλα χρήσιμα για την ανάπτυξη του φυτού συστατικά. Το ξύλωμα μεταφέρει κυρίως νερό και θρεπτικά που προσλαμβάνονται από το έδαφος.

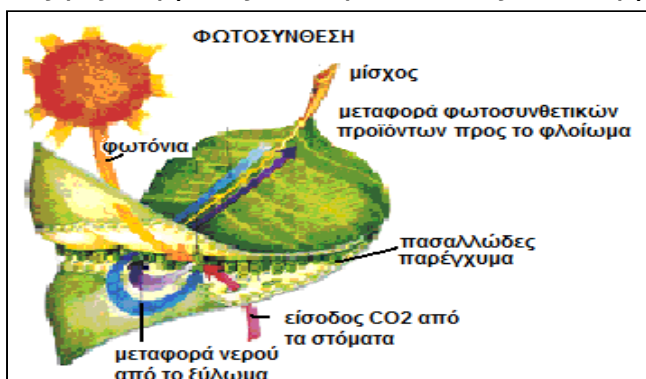
Ο βλαστός, εκτός από τα φύλλα, συγκρατεί τα αναπαραγωγικά όργανα του φυτού, τα άνθη, που εμφανίζονται εποχιακά από επίσης εποχιακά διαφοροποιούμενα μεριστώματα που αναπτύσσονται στους κεντρικούς και πλευρικούς οφθαλμούς (ανθικά μεριστώματα, μεριστώματα ταξιανθίας). Τα φύλλα προκύπτουν από διαφοροποιούμενες περιοχές των μεριστωμάτων (καταβολές φύλλων). Εξωτερικά ο βλαστός διατρέχεται από προστατευτικό ιστό, την επιδερμίδα και η ρίζα αντίστοιχα από την ριζοδερμίδα. Από την επιδερμίδα προς το εσωτερικό του βλαστού

Ακολουθεί μία γενική αναφορά στις βασικές δομές και λειτουργίες των ανώτερων φυτών προκειμένου να υπάρχει μία ολοκληρωμένη σύνδεση με τα επόμενα κεφάλαια που αναφέρονται στην επίδραση της ρύπανσης στην στις χλωροφύλλες.

Τα βασικά στοιχεία που διακρίνουμε σε ένα φυτό είναι ένα υπέργειο και ένα υπόγειο τμήμα. Το υπέργειο τμήμα είναι ο βλαστός και τα φύλλα.

Το υπόγειο τμήμα είναι η ρίζα. Όλο το σώμα του φυτού διατρέχεται από τον αγωγό ιστό που αποτελείται από το ξύλωμα (πρωτοξύλωμα - μεταξύλωμα) και το φλοίωμα (πρωτοφλοίωμα - μεταφλοίωμα). Η ρίζα, εκτός από τον στηρικτικό ρόλο που έχει, απορροφά από το έδαφος μέσω του ξυλώματος, νερό και θρεπτικά όπου και μεταφέρονται προς τα υπέργεια μέρη του φυτού (βλαστός, φύλλα). Το φλοίωμα μεταφέρει αμφίδρομα από τα φύλλα προς τους ιστούς και τη ρίζα τον χυμό και τα

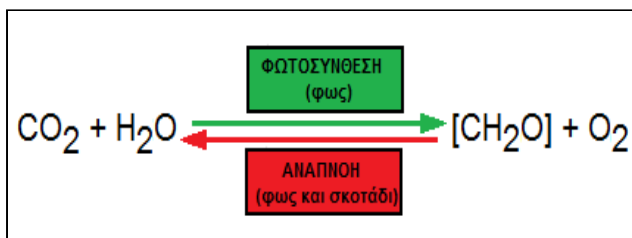
αναπτύσσονται διάφοροι τύποι παρεγχυματικού ιστού που συνιστούν τον φλοιό καθώς και μεριστωματικός ιστός (πρωτογενής ή και δευτερογενής ανάλογα εάν πρόκειται για μονοκότυλα ή δικότυλα φυτά) για την δημιουργία νέων κυττάρων και ιστών. Αντίστοιχα στη ρίζα, από έξω προς τα μέσα υπάρχουν οι ομόκεντροι δακτύλιοι της ριζοδερμίδας, του φλοιού, της ενδοδερμίδας, του περικυκλίου και του κεντρικού



Εικόνα 1.3 : Συνοπτική σχηματική παρουσίαση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας του φύλλου.

κύλινδρου (αγωγός ιστός). Οι βασικοί ιστοί που αποτελούν το φύλλο είναι η επιδερμίδα της παραξονικής (άνω) και απαξονικής (κάτω) επιφάνειάς, το πασσαλώδες παρέγχυμα (ή δρυφακτοειδές ή δρυφακτοειδές παρέγχυμα), το σπογγώδες παρέγχυμα (σύνολο κυττάρων και μεσοκυττάρων χώρων που εξυπηρετούν την κυκλοφορία του αέρα και ανταλλαγή αερίων εντός του φύλλου), τα νεύρα (αγωγός ιστός) και ο μίσχος που συνδέει το φύλλο με το υπόλοιπο φυτό και το στηρίζει. Στην επιδερμίδα και κυρίως στην απαξονική επιφάνεια, συναντάμε τα στοματικά σύμπλοκα, τα τριχώματα και την εφυμενίδα (σύνολο ουσιών που επικαλύπτουν την επιδερμίδα του φύλλου, λιπιδικής κυρίως σύστασης, π.χ. κηροί) που έχουν ρόλο κυρίως προστατευτικό έναντι παθογόνων μικροοργανισμών - παρασίτων, έντονης ηλιακής ακτινοβολίας, αφυδάτωσης κ.λπ. Τέλος στην επιφάνεια των φύλλων αναπτύσσονται τριχώματα και εκκριτικοί σχηματισμοί.

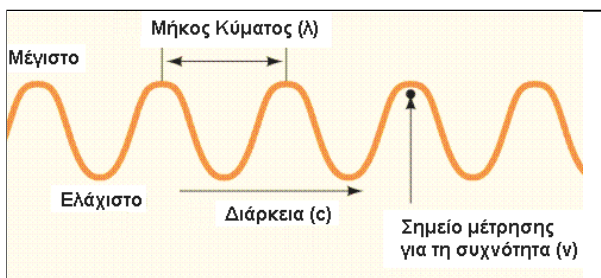
Το στοματικό σύμπλοκο είναι ένας σύνθετος σχηματισμός που αποτελείται από δύο καταφρακτικά κύτταρα νεφροειδούς σχήματος ή σχήματος αλτήρα (στα



Εικόνα 1.4 : Η γενική μορφή της φωτοσυνθετικής εξίσωσης

αγροστώδη), τα παραστοματικά κύτταρα και τον σχηματιζόμενο στοματικό πόρο. Τα στοματικά σύμπλοκα είναι βασικά λειτουργικά στοιχεία του φύλλου. Με τον έλεγχο της σπαργής των καταφρακτικών κυττάρων μπορούν να ανοίγουν και να κλείνουν ελέγχοντας την είσοδο του CO<sub>2</sub> και την έξοδο του νερού προς την ατμόσφαιρα (διαπνοή), που είναι απαραίτητα στοιχεία για την φωτοσύνθεση. Χαρακτηριστικό είναι ότι από τα επιδερμικά κύτταρα μόνο τα κύτταρα των στομάτων έχουν χλωροπλάστες. Επίσης τα καταφρακτικά κύτταρα δεν επικοινωνούν μέσω πλασμοδεσμών με τα γειτονικά επιδερμικά κύτταρα εξασφαλίζοντας την λειτουργική τους αυτοτέλεια. Τα υπόλοιπα επιδερμικά κύτταρα είναι ημιδιαφανή ώστε να επιτρέπεται η διόδος του φωτός (φωτόνια) προς το υποκείμενο κυτταρικό στρώμα ή στρώματα του δρυφακτοειδούς παρεγχύματος, που περιέχει τους χλωροπλάστες, που είναι τα κύρια φωτοσυνθετικά οργάνια.

Βασικό στοιχείο του φυτικού κυττάρου είναι το τοίχωμα που στα διαδοχικά αναπτυξιακά στάδια εξελίσσεται από πρωτογενές (με επικρατεί τοιχωματικά υλικά τις ημικυτταρίνες) σε δευτερογενές (με επικρατεί τοιχωματικά υλικά την κυτταρίνη και την λιγνίνη). Τα φυτά χρησιμοποιούν θρεπτικά στοιχεία που λαμβάνουν από το έδαφος (ιχνοστοιχεία και μακροστοιχεία), νερό (κυρίως από το έδαφος), άνθρακα (που λαμβάνουν από το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας) και ηλιακή ενέργεια (μπλε και κόκκινα φωτόνια), προκειμένου να κινητοποιήσουν τον μεταβολικό μηχανισμό της

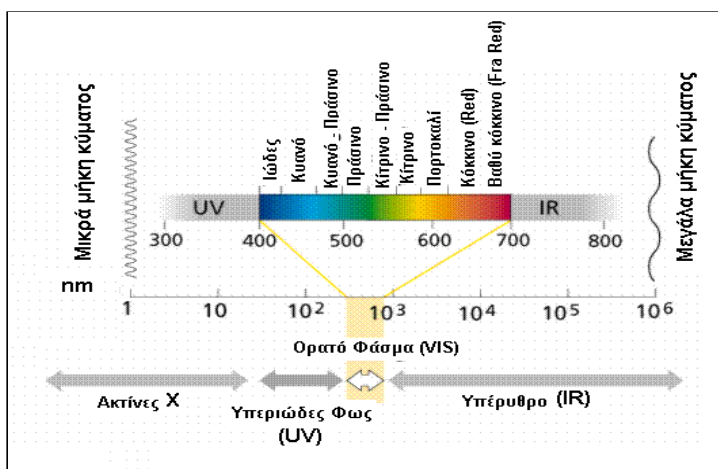


Εικόνα 1.5 : Τα στοιχεία που περιγράφουν την κυματική φύση του φωτός

παράγοντας επηρεάζει θετικά ή αρνητικά τις ανατομικές δομές και φυσιολογικές μεταβολικές λειτουργίες των φυτών και ιδιαίτερα των φύλλων που αποτελούν τους φυσικούς φωτοσυλλέκτες, επηρεάζει και την αποδοτικότητα της φωτοσύνθεσης, την πρωτογενή παραγωγή (ειδικά την καθαρή πρωτογενή παραγωγή - Net Production), την ανάπτυξη των φυτών και την τροφική αλυσίδα, καθώς τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης είναι η απαρχή της ροής της χημικής ενέργειας στον πλανήτη μας.

### 1.3. Η φωτοσύνθεση

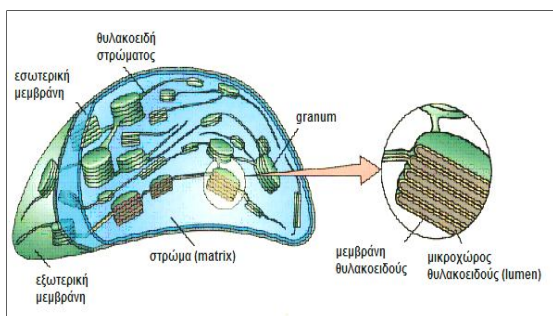
Το φως του ηλίου χρειάζεται οκτώ λεπτά της ώρας (8') για να φτάσει στην επιφάνεια της Γης, διανύοντας μία απόσταση  $10^6$  km περίπου. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της φωτονιακής ροής σκεδάζεται ή ανακλάται στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της Γης. Ελάχιστο ποσοστό της εισερχόμενης φωτονιακής ποσότητας στην



Εικόνα 1.6. : Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας

ατμόσφαιρα, της τάξης του 1% περίπου, συλλέγεται κυρίως από τους ιστούς των φύλλων μέσω των φωτοσυνθετικών χρωστικών (χλωροφύλλες, καροτενοειδή κ.λπ.) που βρίσκονται στους χλωροπλάστες. Αυτό το μικρό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αρκετό ώστε να αξιοποιηθεί από το ένζυμο με το συντετμημένο όνομα Rubisco (οξυγενάση - καρβοξυλάση της 1,5 διφωσφορικής ριβουλόζης) και το υπόστρωμα RuBP (1,5 - διφωσφορική ριβουλόζη) και να παραχθούν τα σάκχαρα που συνιστούν την μετατροπή της φωτεινής ακτινοβολίας σε χημική. Αυτή είναι και η αρχή της τροφικής αλυσίδας που τροφοδοτεί συνεχώς με ενέργεια τον πλανήτη και συντηρεί την ζωή.

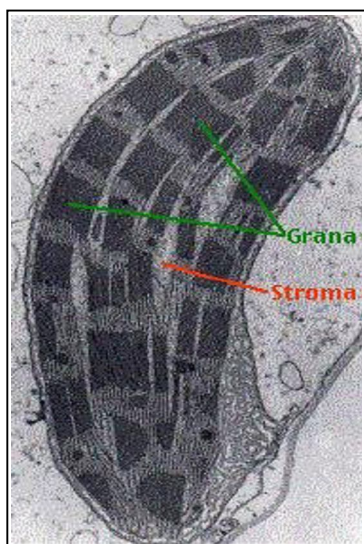
Τα φωτόνια που συλλαμβάνονται από τις φωτοσυνθετικές κεραίες των χλωροπλάστων (φωτοσυνθετικές αντένες) ανήκουν σε συγκεκριμένες φασματικές περιοχές του ορατού φωτός (VIS) και εντάσσονται στην περιοχή των 400 - 780 nm (Taiz και Zeinger, 1998). Αυτό το τμήμα της φωτονιακής ροής, συνιστά την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR : Photosynthetically Active Radiation). Καθώς η φωτοσυνθετική βιοχημική διαδικασία (βλ. παρακάτω) περιλαμβάνει τη μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού σε υδατάνθρακες, χρησιμοποιώντας ως κινητήρια δύναμη την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή τα φωτόνια, το επιπρόσθετο αποτέλεσμα είναι η παραγωγή μοριακού οξυγόνου ( $O_2$ ) κατά την διαδικασία της φωτόλυσης του νερού, που αποτελεί κατ'



Εικόνα 1.7.: Σχηματική απεικόνιση της δομής του οργανίδια, τους χλωροπλάστες. Παρακάτω γίνεται μία γενική περιγραφή αυτών των οργανιδίων.

#### 1.4. Χλωροπλάστες - οργάνωση και λεπτή δομή

Οι χλωροπλάστες είναι ημιαυτόνομα κυτταρικά οργανίδια με μέσο μήκος 3 μm έως 10 μm και μορφή δισκοειδή ή ελαφρά επιμήκη. Στα ανώτερα φυτά βρίσκονται στα κύτταρα του μεσόφυλλου (φωτοσυνθετικό παρέγχυμα - δρυφρακτοειδές παρέγχυμα).



Εικόνα 1.8:  
Ηλεκτρονιοφωτογραφία  
χλωροπλάστη

Σε κάθε κύτταρο του φωτοσυνθετικού παρεγχύματος βρίσκονται από 30-70 χλωροπλάστες, τοποθετημένοι στην περιφέρεια του πρωτοπλάστη, κάτω από το πλασμαλήμμα. Κάθε χλωροπλάστης εξωτερικά περιβάλλεται από μία διπλή λιποπρωτεϊνική μεμβράνη, τον φάκελο. Η εξωτερική χλωροπλαστική μεμβράνη είναι διαπερατή από τα περισσότερα μη πολικά μόρια χαμηλού μοριακού βάρους, ενώ η εσωτερική είναι επιλεκτικά διαπερατή. Η διαφορετική διαπερατότητα μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής μεμβράνης οφείλεται στην διαφορετική αναλογία πρωτεϊνών / λιπιδίων στην σύσταση της. Ανάμεσα στην εσωτερική και εξωτερική χλωροπλαστική μεμβράνη βρίσκεται ο διαμεμβρανικός χώρος που ονομάζεται μικροχώρος (lamella). Το διοξείδιο του άνθρακα, όπως ισχύει για τις περισσότερες μεμβράνες, ως μη πολικό και μικρό μόριο, μπορεί να διαπερνάει με χαρακτηριστική ευκολία τον φάκελο του χλωροπλάστη. Αυτό είναι θεμελιώδες για την φωτοσύνθεση καθώς το διοξείδιο του άνθρακα, που προέρχεται από την ατμόσφαιρα, εισερχόμενο στους χλωροπλάστες, ανάγεται με την παρέμβαση συγκεκριμένων ενζυμικών συστημάτων και υποστρωμάτων (βλ. παρακάτω, Κύκλος Calvin) και ο άνθρακας που περιέχει γίνεται η βάση για την σύνθεση των υδατανθρακικών αλυσίδων των παραγόμενων σακχάρων.

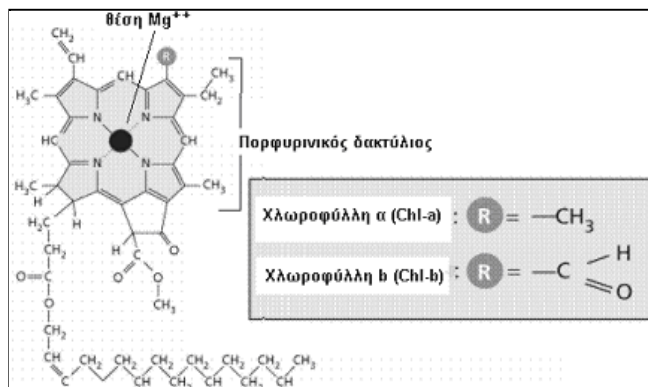
Στο εσωτερικό του χλωροπλάστη διακρίνονται δύο σημαντικά συστατικά στοιχεία. Το πρώτο είναι το θεμελιώδες υλικό (stroma) όπου συνίσταται από πρωτεΐνες, DNA, RNA, διάφορα μικρά πρωτεϊνικά και υδατανθρακικά μόρια, ιχνοστοιχεία, νερό, ένζυμα που καταλύουν τις αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης (βλ. παρακάτω) κ.λπ. Το δεύτερο είναι τα θυλακοειδή, χαρακτηριστικές δομές που μοιάζουν με πιεσμένους σάκους. Τα θυλακοειδή αποτελούν προέκταση του φακέλου του χλωροπλάστη και προέρχονται από αναδιπλώσεις αυτού. Ο εσωτερικός χώρος που περικλείει ένα θυλακοειδές περιγράφεται ως μικροχώρος (lumen). Τα θυλακοειδή εντοπίζονται με δύο είδους τοποθετήσεις. Αυτά που απαντώνται σε συστοιχίες (θυλακοειδή των

αρχήν ένα άχρηστο «παραπροϊόν» για το φυτό. Οι υδατάνθρακες που σχηματίζονται έχουν αποθηκευμένη χημική ενέργεια στους δεσμούς τους. Μέρος αυτής της ενέργειας χρησιμοποιείται από τα ίδια τα φυτά για την κάλυψη δικών τους μεταβολικών αναγκών είτε παρέχεται ως τροφή στους πρωτογενείς καταναλωτές (φυτοφάγα ζώα) με την μορφή της φυτικής βιομάζας.

Αναφέρθηκε ότι η φωτοσύνθεση λαμβάνει χώρα κυρίως σε εξειδικευμένα κυτταρικά

grana) και αυτά που απαντώνται μεμονωμένα μέσα στη θεμέλια ουσία (θυλακοειδή του στρώματος).

Μέσα στο μεμβρανικό σύστημα του φακέλου των θυλακοειδών, οργανώνονται τα φωτοσυστήματα, που είναι σύμπλοκα πρωτεϊνών και φωτοσυνθετικών χρωστικών (βλ. παρακάτω). Τα φωτοσυστήματα είναι δύο, το φωτοσύστημα I ή P1 ή P700, & το φωτοσύστημα II ή P2 ή P680.

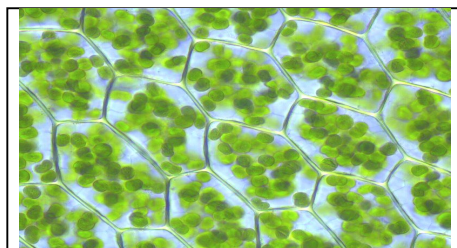


Εικόνα 1.9. : Η δομή των χλωροφυλλών α και β.

Πριν αναφερθούμε στην δομή και συνεργατική λειτουργία των δύο φωτοσυστημάτων, θα γίνει μία σύντομη αναφορά στις φωτοσυνθετικές χρωστικές, που αποτελούν και το κλειδί στην όλη διαδικασία, καθώς έχουν την ιδιότητα να συλλαμβάνουν το ηλιακό φως (φωτόνια), να το ανταλλάσσουν με ηλεκτρόνια που προέρχονται από το μαγνήσιο και αναπληρώνονται μέσω της φωτόλυσης του νερού και να επιτρέπουν την έναρξη της φωτοσυνθετικής ροής ηλεκτρονίων που είναι απαραίτητη για την σύνθεση αναγωγικής δύναμης (NADPH) και ATP.

### 1.5. Φωτοσυνθετικές χρωστικές

Τα φυτά, είναι οι πρωτογενείς παραγωγοί του πλανήτη. Μπορούν να συλλάβουν το ηλιακό φως (φωτόνια) και χρησιμοποιώντας την ενέργειά του, να συνθέσουν σάκχαρα και βιομάζα.



Εικόνα 1.10 : μικροφωτογραφία χλωροπλάστων σε φυτικό ιστό

Στους χημικούς δεσμούς των μορίων των σακχάρων αποθηκεύουν την ενέργεια που λαμβάνουν από το λευκό ηλιακό φως (ορατό φάσμα, βλ. παραπάνω). Με αυτή τους την ιδιότητα, αναδεικνύονται στην κύρια ομάδα οργανισμών που τροφοδοτούν συνεχώς με ενέργεια όλους τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς του πλανήτη και γίνονται η αρχή της τροφικής αλυσίδας. Το κλειδί για όλη την φωτοσυνθετική διαδικασία είναι οι

φωτοσυλλεκτικές κεραίες<sup>1</sup> (ή "αντένες" όπως περιγράφονται αυτές οι δομές από άλλους ερευνητές - συγγραφείς) που περιέχουν ειδικά χρωμοφόρα μόρια<sup>1</sup>, τις φωτοσυνθετικές χρωστικές, που μπορούν να παρεμβαίνουν ώστε να συλλαμβάνουν τα ηλιακά φωτόνια. Σε όλη την κλίμακα των οργανισμών που έχουν την ικανότητα να φωτοσυνθέτουν, από τους κατώτερους (κυανοβακτήρια, βακτήρια) μέχρι τους ανώτερους (ανώτερα φυτά<sup>2</sup>), απαντώνται διάφορα είδη φωτοσυνθετικών χρωστικών. Οι φωτοσυνθετικές χρωστικές στα ανώτερα φυτά, κατά σειρά σημαντικότητας είναι η χλωροφύλλη<sup>3</sup> - a (Chla), η χλωροφύλλη - b (Chlb) και τα καροτενοειδή.

Η κύρια φωτοσυνθετική χρωστική είναι η Chla ενώ συμπληρωματικό ρόλο έχουν η Chlb και τα καροτενοειδή. Αυτή η διάκριση γίνεται εξαιτίας του φάσματος του ορατού φωτός (400 - 780 nm) στο οποίο η κάθε χρωστική εμφανίζει την μέγιστη απορρόφηση.

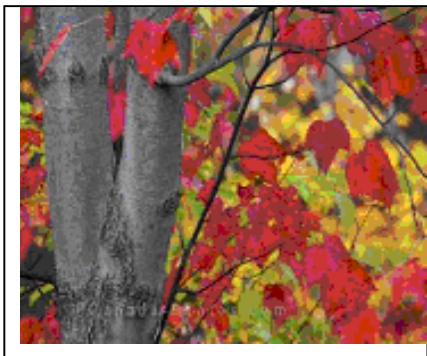
<sup>1</sup> Ο όρος "κεραία" ή "αντένα" υποδηλώνει την ιδιότητα αυτών των δομών να συλλαμβάνουν τα φωτόνια, όπως κατά παρόμοιο τρόπο γίνεται η σύλληψη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην λειτουργία του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης. Περιέχουν χρωμοφόρα μόρια.

<sup>2</sup> Ανθόφυτα : Γυμνόσπερμα και Αγγειόσπερμα

<sup>3</sup> Χλωροφύλλη : σύνθετη λέξη από τα ελληνικά συνθετικά "χλωρός" = πράσινος και "φύλλο". Σε ελεύθερη μετάφραση σημαίνει "το πράσινο τμήμα των φυτών".<sup>33</sup> Χρωμοφόρο μόριο : μόριο που έχει την ιδιότητα να διεγείρεται όταν απορροφά την ενέργεια ενός φωτονίου και να μεταβαίνει σε ανώτερο ενεργειακό επίπεδο. Το χρωμοφόρο αποδίδει την επιπλέον ενέργεια είτε με φωσφορισμό είτε με φθορισμό και επανέρχεται στο αρχικό ενεργειακό επίπεδο.



Η Chla απορροφά στο ορατό φάσμα με μέγιστο στα 670 nm (κόκκινο), η Chlb απορροφά στα 650 nm και τα καροτενοειδή απορροφούν στα 450 nm (κυανό). Οι χλωροφύλλες όμως γενικά απορροφούν και στο κόκκινο και στο μπλε φάσμα του ορατού φωτός. Η Chla βρίσκεται στο Κέντρο Αντίδρασης (Κ.Α., RC : reaction center) των δύο φωτοσυστημάτων και στις κεραίες φωτοσυλλογής, ενώ Chlb απαντάται αποκλειστικά στις κεραίες φωτοσυλλογής.

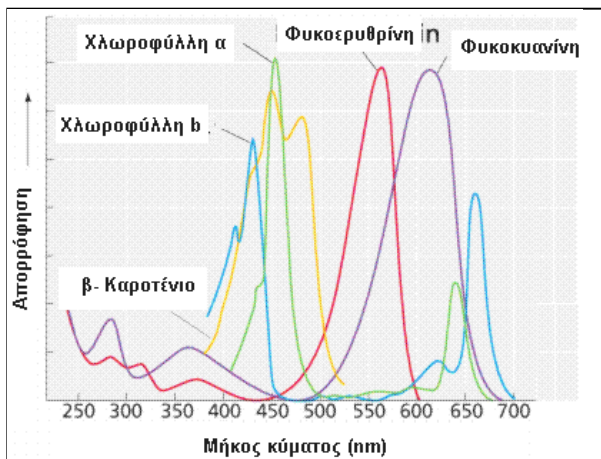


Εικόνα 1.11. : Η φθινοπωρινή εικόνα των φύλλων μετά την αποδόμηση των επιφανειακών χλωροφυλλών

Οι βοηθητικές χρωστικές και ιδιαίτερα τα καροτενοειδή, απορροφούν κυρίως τα φωτόνια υψηλής ενέργειας (μικρό μήκος κύματος λ), διευρύνοντας το φάσμα της εκμεταλλεύσιμης φωτοσυνθετικά Ενεργής Ηλιακής Ακτινοβολίας (PAR : photosynthetic active radiation). Οι φωτοσυνθετικές χρωστικές, οργανώνονται μαζί με πρωτεΐνες σε δύο φωτοσυλλεκτικά σύμπλοκα (LHCI & LHCI) τα οποία βρίσκονται σε άμεση συνεργασία με τα αντίστοιχα

φωτοσυστήματα P1 & PII. Αυτά τα σύμπλοκα συνιστούν τις δομές που συλλαμβάνουν το ηλιακό φως (φωτοσυλλεκτικές κεραίες).

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, οι φωτοσυνθετικές χρωστικές των ανώτερων φυτών κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις χλωροφύλλες<sup>4</sup> και τα καροτενοειδή. Στις χλωροφύλλες οφείλεται το πράσινο χρώμα των φύλλων ενώ στα καροτενοειδή οφείλεται το κίτρινο-πορτοκαλί χρώμα που αποκαλύπτεται το φθινόπωρο όταν αποδομούνται οι επιφανειακές χλωροφύλλες, πριν πέσουν τα φύλλα των φυλλοβόλων δέντρων.



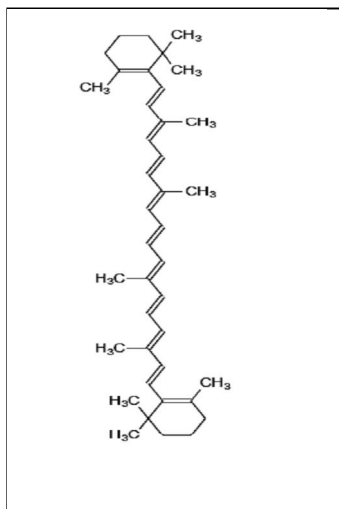
Εικόνα 1.12 : Φάσματα απορρόφησης φωτοσυνθετικών χρωστικών

σχηματίζεται ένας δακτύλιος κυκλοπεντανόνης μεταξύ των πυρολικών δακτυλίων III και IV. Το σημαντικό στοιχείο του μορίου της χλωροφύλλης είναι ένα άτομο μαγνησίου ( $Mg^{++}$ ) που συγκρατείται στο κέντρο του πορφυρινικού δακτυλίου μέσω ατόμων αζώτου. Το άτομο  $Mg^{++}$  βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο του πορφυρινικού δακτυλίου. Η πρόσδεση στην συγκεκριμένη θέση, με τον συγκεκριμένο προσανατολισμό, προσδίδει στο μόριο τη λειτουργικότητα που χρειάζεται ώστε να μπορεί εύκολα να εκτίθεται στο εισερχόμενο φωτόνιο και μετά την πρόσκρουση με ατομικό ηλεκτρόνιο, το διεγερμένο ηλεκτρόνιο να μεταβαίνει στον πλησιέστερο ευκίνητο φορέα ηλεκτρονίων (για το φωτοσύστημα I είναι η πλαστοκυανίνη και για

ως προς την δομή του το μόριο της χλωροφύλλης αποτελείται από έναν πορφυρινικό δακτύλιο που συνίσταται από τέσσερις πυρολικούς δακτυλίους που συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς άνθρακα-άνθρακα. Ο πορφυρινικός δακτύλιος είναι το τμήμα του μορίου που απορροφά τα φωτόνια (χρωμοφόρος ομάδα) και αποβάλλει κάθε φορά ένα διεγερμένο ηλεκτρόνιο. Στο μόριο

<sup>4</sup> Ο πορφυρινικός δακτύλιος μπορεί να έχει διαφορετικές πλευρικές αλυσίδες, συνήθως όμως υπάρχει αλυσίδα φυτόλης. Υπάρχουν μερικές διαφορετικές μορφές που εμφανίζονται φυσικά, αλλά η ευρύτερα διανεμημένη μορφή στη βιόσφαιρα είναι χλωροφύλλη-α. Η γενική δομή της χλωροφύλλης-α διευκρινίστηκε από τον Hans Fischer το 1940. Το 1960 διευκρινίστηκε το μεγαλύτερο μέρος της στερεοδομής της από τον Robert Burns Woodward, ο οποίος και δημοσίευσε μία συνολική εικόνα της σύνθεσης του μορίου, που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα. Το 1967 διευκρινίστηκε πλήρως η ανάλυση της δομής του μορίου από τον Ian Fleming και το 1990 ο Woodward και οι άλλοι ερευνητές δημοσίευσαν την πλήρη σύνθεση.

το φωτόςστημα-II η πλαστοκινόνη). Ο τέταρτος πυρολικός δακτύλιος (IV) συνδέεται με ένα μόριο φυτόλης που έχει λιπόφιλο χαρακτήρα. Μέσω αυτής της αλειφατικής αλυσίδας φυτόλης το μόριο της χλωροφύλλης προσδένεται στην μεμβράνη του θυλακοειδούς, γεγονός πολύ σημαντικό για την σταθερότητα της δομής και την επαναληψιμότητα της λειτουργίας όλου του μορίου. Τα καροτενοειδή είναι κίτρινου έως ερυθρού χρώματος<sup>5</sup> χρωστικές (δηλαδή δεν απορροφούν το αντίστοιχο φάσμα του φωτός) και βρίσκονται σε όλα τα φωτοσυνθετικά κύτταρα.



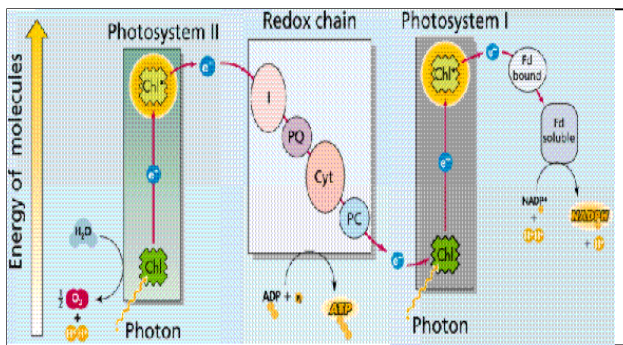
Εικόνα 1.13. :Συντακτικός τύπος καροτενοειδούς

Από χημική άποψη είναι τετρατερπένια με ευθεία αλυσίδα ατόμων άνθρακα (C40) και χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη συζυγιακών συστημάτων με κατ' εναλλαγή απλούς και διπλούς δεσμούς. Διακρίνονται σε υδρογονάνθρακες (καροτένια) και τα οξυγονωμένα παράγωγά τους (καροτενόλες ή ξανθοφύλλες). Τα καροτενοειδή βρίσκονται συνήθως σε στενή επαφή με τις χλωροφύλλες, και απορροφούν στο φάσμα από 380 - 550 nm, δηλαδή απορροφούν τα μήκη κύματος υψηλής ενέργειας, διευρύνοντας το φωτοσυνθετικά χρησιμοποιήσιμο φάσμα και παρέχοντας παράλληλα προστασία έναντι των συνθηκών έντονου φωτισμού. Όπως ισχύει και με τη φωτοσυστήματα, υπάρχει δυνατότητα ανακατανομής της φωτεινής ενέργειας μεταξύ χλωροφυλλών και καροτενοειδών, παρέχοντας προστασία στην φωτοσυλλεκτική συσκευή. Είναι χρήσιμο να γίνει ένας απλός παραλληλισμός της λειτουργίας των χλωροφυλλών με την λειτουργία της αιμοσφαιρίνης. Και τα δύο μόρια επιτελούν μεταφορικό σκοπό, δηλαδή, όπως η αιμοσφαιρίνη δεσμεύει το οξυγόνο του εισερχόμενου αέρα στους πνεύμονες εξαιτίας των διαμορφούμενων μερικών πιέσεων, για να το μεταφέρει στο υπόλοιπο σώμα του ζώου και έχει μεγαλύτερη συγγένεια με το διοξείδιο του άνθρακα, οι χλωροφύλλες και γενικά οι φωτοσυνθετικές χρωστικές, επιτελούν μία ανάλογη λειτουργία, δεσμεύοντας τα φωτόνια και παρεμβαίνοντας για την μεταφορά της ενέργειά τους στα φωτοσυστήματα I και II προκειμένου να παραχθεί αναγωγική δύναμη (NADPH), ATP και οξυγόνο ως προϊόν της φωτόλυσης του νερού.

## 1.6. Οργάνωση των φωτοσυστημάτων

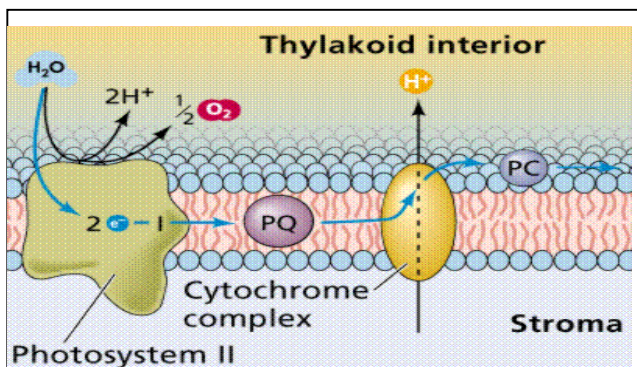
Στις μεμβράνες των θυλακοειδών του χλωροπλάστη οργανώνονται δύο υψηλής απόδοσης σύνθετα βιοχημικά συστήματα, το φωτόςστημα-I (PI) και το φωτόςστημα-II (PII). Κάθε φωτόςστημα εμπεριέχει σύμπλοκα πρωτεΐνης - χρωστικής (LHC). Το φωτόςστημα-I περιλαμβάνει ένα σύμπλοκο πρωτεΐνης-χρωστικής (LHCI) ενώ το φωτόςστημα-II, συνίσταται από δύο σύμπλοκα (LHCII). Τα δύο φωτοσυστήματα λειτουργούν για την σύλληψη και μετατροπή της φωτονιακής ενέργειας σε αναγωγική δύναμη (NADPH) και ATP.

<sup>5</sup> Το χρώμα ενός σώματος καθορίζεται με βάση το φάσμα του φωτός που αυτό δεν απορροφά, δηλαδή το φάσμα του φωτός που σκεδιάζει. Για παράδειγμα, το χρώμα του ουρανού εμφανίζεται μπλε την ημέρα, διότι τα μόρια του αέρα έχουν μέγεθος τέτοιο ώστε σκεδιάζουν το μπλε φάσμα του ορατού φωτός. Έτσι το μπλε φάσμα φτάνει στα μάτια μας και το αντιλαμβανόμαστε ως τον χρωματισμό του ουρανού. Αυτή η σκέδαση περιγράφεται ως σκέδαση Rayleigh ( $d > 0,1\lambda$ ).



Εικόνα 1.14 : Σχηματική αναπαράσταση της μη κυκλικής φωτοσύνθεσης

κυκλική φωτοφωσφορυλίωση (PII προς PI). Η μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση παράγει αναγωγική δύναμη (NADPH) και ATP. Το NADPH παράγεται από την δράση

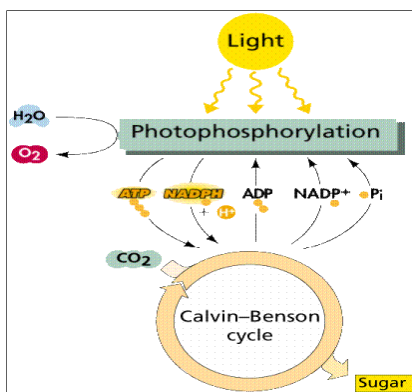


Εικόνα 1.15 : Μεταφορά του διεγερμένου ηλεκτρονίου από το φωτοχημικό κέντρο II στο κυτοχρωμικό σύμπλοκο  $b_6f$ .

της φερρεδοξίνης (Fd) και του ενζύμου NADP<sup>+</sup>-ρεδουκτάση (αναγωγή). Το PII εκτελεί κυκλική φωτοφωσφορυλίωση με την μεσολάβηση των ευκίνητων φορέων ηλεκτρονίων (πλαστοκινόνη και πλαστοκυανίνη, PQ & PC) και της φερρεδοξίνης, παράγοντας τελικά μόνο ATP. Η κυκλική φωτοφωσφορυλίωση είναι σημαντική για την παραγωγή τριφωσφορικής αδενοσίνης, όταν χρειάζεται σε μεγαλύτερες ποσότητες και όταν δεν απαιτείται αναγωγική δύναμη.

Κατά τη μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση, η απορρόφηση ενός φωτονίου διεγείρει το μόριο της χλωροφύλλης και συγκεκριμένα το περιεχόμενο άτομο  $Mg^{++}$ , απ' όπου αποβάλλεται ένα ηλεκτρόνιο. Αυτό το ηλεκτρόνιο ακολουθεί την πορεία προς το φωτοσύστημα I μέσω της πλαστοκινόνης (προς το σύμπλοκο κυτοχρωμάτων  $b_6f$ ) και της πλαστοκυανίνης, ενώ αντικαθίσταται από ένα ηλεκτρόνιο που προέρχεται από την οξειδωτική φωτόλυση του νερού που γίνεται στο εσωτερικό του θυλακοειδούς (lumen) από το προσδεδεμένο στη μεμβράνη σύμπλοκο οξειδωσης. Το παραπροϊόν αυτής της οξειδωσης είναι το οξυγόνο και πιστεύεται ότι αυτή είναι η αιτία αύξησης του ποσοστού του οξυγόνου της ατμόσφαιρας στα σημερινά ποσοστά (21%) σε σύγκριση με την αναγωγική ατμόσφαιρα που επικρατούσε στην προβιοτική περίοδο της Γης. Στη συνέχεια, στο φωτοσύστημα-I το διεγερμένο ηλεκτρόνιο που αποβάλλεται μετά την είσοδο ενός νέου φωτονίου, αντικαθίσταται από το ηλεκτρόνιο που προέρχεται από το φωτοσύστημα II κατά την μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση.

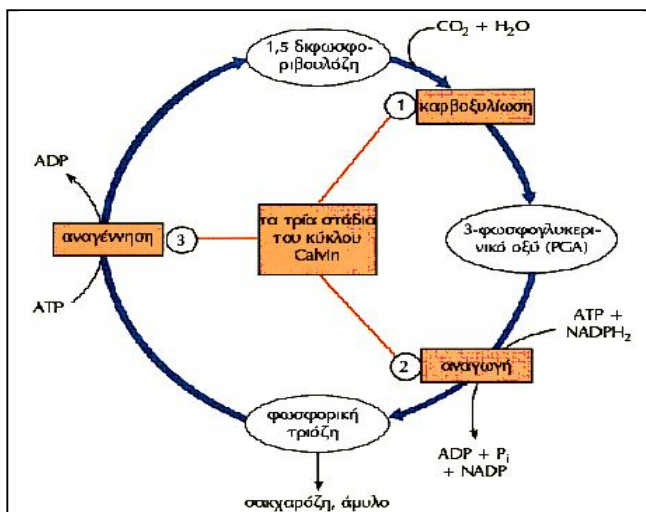
Η παραπάνω διαδικασία, μέσω της πλαστοκινόνης, καταλήγει σε αύξηση της κλίσης συγκέντρωσης του  $H^+$  (πρωτόνια) στο εσωτερικό του θυλακοειδούς. Τα πρωτόνια προέρχονται από το στρώμα του χλωροπλάστη. Η συσσώρευση πρωτονίων στο εσωτερικό του θυλακοειδούς δημιουργεί κλίση πρωτονίων που χρησιμοποιείται από την πρωτεϊνική αντλία πρωτονίων (ATP-άση ή ATP-συνθετάση) της μεμβράνης του θυλακοειδούς για την σύνθεση ATP και NADP προς NADPH.



Εικόνα 1.16 :  
Σχέση φωτοφωσφορύλιωσης και  
κύκλου Calvin

αρκετοί δέκτες ηλεκτρονίων. Έτσι, η εισερχόμενη ενέργεια, μπορεί να ανακατανέμεται από το φωτοσύστημα που έχει διεγερθεί περισσότερο προς αυτό που έχει διεγερθεί λιγότερο (Trissl και Wilhelm, 1993). Τέλος, ο σχετικός λόγος των δύο φωτοσυστημάτων μπορεί να μεταβάλλεται σε πολλά είδη σκιοφιλών φυτών, ως αποτέλεσμα εγκλιματισμού, γεγονός που δείχνει ότι διάφορα είδη φυτών διαθέτουν μία γενετική πλαστικότητα που ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες εκφράζεται στον φαινότυπο.

### 1.7. Η φωτοσυνθετική διαδικασία



Εικόνα 1.17. : Ο κύκλος του Calvin συνοπτικά

αντιδράσεις αυτής της φάσης αποτελούν το βιοσυνθετικό τμήμα της φωτοσυνθετικής διαδικασίας, και λαμβάνουν χώρα στο στρώμα των χλωροπλάστων. Στις "σκοτεινές" αντιδράσεις δεν χρησιμοποιείται φως. Οι αντιδράσεις αυτές περιλαμβάνουν την αναγωγή του  $\text{CO}_2$  και τη σύνθεση υδατανθράκων, χρησιμοποιώντας την αναγωγική δύναμη του NADPH καθώς και το ATP, που παράγονται κατά τις φωτεινές (αναγωγική δύναμη) αντιδράσεις.

Το διοξείδιο του άνθρακα φτάνει στην φωτοσυνθετική συσκευή εισερχόμενο από τα στόματα και διαχέεται μέσω της μεμβράνης του χλωροπλάστη. Ανάγεται στη συνέχεια σε σάκχαρο. Συγκεκριμένα, ένα μόριο γλυκόζης με έξι άτομα άνθρακα σχηματίζεται για κάθε δύο πλήρεις κύκλους του κύκλου C3 (βλ. παρακάτω).

Στις φάσεις της φωτοσύνθεσης εμπλέκονται ανισόποσα τα διάφορα μόρια που συνιστούν τα δύο φωτοσυστήματα P I και P II, τα οποία ομοίως κατανέμονται

Τα φωτοσυστήματα (I & II) δεν κατανέμονται το ίδιο στις μεμβράνες των θυλακοειδών των grana και του στρώματος. Το φωτοσύστημα I εντοπίζεται στις μεμβράνες των θυλακοειδών που έρχονται σε επικοινωνία άμεσα με το stroma, δηλαδή στις εξωτερικές μεμβράνες των θυλακοειδών των grana και στα θυλακοειδή του στρώματος. Το φωτοσύστημα-II, συγκεντρώνεται περισσότερο στις εσωτερικές μεμβράνες των θυλακοειδών. Παράλληλα, το σύμπλοκο b<sub>6</sub>f συναντάται το ίδιο στις εσωτερικές και εξωτερικές μεμβράνες των θυλακοειδών, ενώ η αντλία ATP-συνθετάση συναντάται μόνο στις εξωτερικές μεμβράνες.

Ο διαχωρισμός των φωτοσυστημάτων συντελεί στην προστασία της φωτοσυνθετικής συσκευής όταν η φωτονιακή ροή (PPDF) είναι υψηλή και δεν υπάρχουν

αρκετοί δέκτες ηλεκτρονίων. Έτσι, η εισερχόμενη ενέργεια, μπορεί να ανακατανέμεται από το φωτοσύστημα που έχει διεγερθεί περισσότερο προς αυτό που έχει διεγερθεί λιγότερο (Trissl και Wilhelm, 1993). Τέλος, ο σχετικός λόγος των δύο φωτοσυστημάτων μπορεί να μεταβάλλεται σε πολλά είδη σκιοφιλών φυτών, ως αποτέλεσμα εγκλιματισμού, γεγονός που δείχνει ότι διάφορα είδη φυτών διαθέτουν μία γενετική πλαστικότητα που ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες εκφράζεται στον φαινότυπο.

Η φωτοσύνθεση, χωρίζεται σε δύο επιμέρους φάσεις, που είναι όμως λειτουργικά συνεχείς. Η πρώτη κατά σειρά είναι η «φωτεινή φάση». Οι αντιδράσεις της φωτεινής φάσης της φωτοσύνθεσης πραγματοποιούνται στις μεμβράνες των θυλακοειδών. Οι φωτεινές αντιδράσεις περιλαμβάνουν την απορρόφηση του φωτός, τη μεταφορά της ενέργειας (διεγερμένα ηλεκτρόνια) στα κέντρα αντίδρασης και τις αντιδράσεις μεταφοράς ηλεκτρονίων και πρωτονίων οι οποίες οδηγούν στην παραγωγή NADPH και ATP. Η δεύτερη φάση είναι η «σκοτεινή φάση». Οι

ανισόποσα στην εσωτερική και εξωτερική μεμβράνη των θυλακοειδών των χλωροπλαστών (βλ. παραπάνω).

Στο σχήμα 1.4. ο εικονιζόμενος παράγοντας  $[CH_2O]$ , συμβολίζει την υδατανθρακική μονάδα, που αντιστοιχεί στα παραγόμενα σάκχαρα, όταν η αντίδραση κινείται προς τα δεξιά, δηλαδή κατά την βιοσυνθετική πορεία. Όταν η αντίδραση κινείται προς τα αριστερά, μέρος των σακχάρων διασπάται υδρολυτικά για να απελευθερωθεί από τους δεσμούς τους ενέργεια (φωτοαναπνοή), που χρησιμεύει στο φυτό για να καλύψει δικές του αναβολικές και καταβολικές ανάγκες. Αυτή είναι μία διαδικασία που μπορεί να παρομοιαστεί με αναπνοή αν και διαφέρει από την γνωστή αναπνοή των ζωικών και φυτικών οργανισμών γιατί δεν είναι αερόβια οξειδωτική διαδικασία που χρησιμοποιεί οξυγόνο για να διασπάσει χημικούς δεσμούς και δεν παράγεται ATP.

Όπως αδρά αναφέρθηκε πιο πάνω, οι φωτεινές αντιδράσεις εξελίσσονται στις μεμβράνες των θυλακοειδών. Εκεί πραγματοποιείται η συλλογή της φωτονιακής ενέργειας και η αποθήκευσή της υπό μορφή χημικής ενέργειας στους ομοιοπολικούς δεσμούς των σακχάρων (γλυκοζιτικοί δεσμοί). Η φωτονιακή ενέργεια που συλλέγεται από τα δύο φωτοσυστήματα χρησιμοποιείται για την εξέλιξη της ροής ηλεκτρονίων μέσω μιας σειράς οξειδοαναγωγικών ενζύμων. Τα ηλεκτρόνια που διεγείρονται χρησιμοποιούνται κυρίως για την αναγωγή του  $NADP^+$  σε NADPH κατά την μη κυκλική ροή ηλεκτρονίων (από PII προς PI). Ταυτόχρονα, μέσω των φωτοχημικών αντιδράσεων δημιουργείται μια διαφορά ηλεκτροχημικού δυναμικού πρωτονίων ( $H^+$ ) μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης των θυλακοειδών, η οποία εκτονώνεται παρέχοντας την απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή του ATP. Τα δύο προϊόντα (ATP και NADPH) που παράγονται από τις φωτεινές αντιδράσεις απελευθερώνονται στο στρώμα (stroma) ώστε να χρησιμοποιηθούν για τη σύνθεση υδατανθράκων κατά τη σκοτεινή φάση (Andersson και Barber, 1996).

Η παραγωγή σακχάρων με έξι άτομα άνθρακα (εξόζες) μέσω της χρήσης NADPH και το ATP, για την αναγωγή του  $CO_2$ , εκτός της ενέργειας που παρέχει στο ίδιο το φυτό, προσθέτει και βιομάζα, που είναι διαθέσιμη στο πρώτο επίπεδο καταναλωτών της τροφικής αλυσίδας, δηλαδή παρέχει τροφή στους πρωτογενείς καταναλωτές (φυτοφάγα ζώα).

### 1.8. Ο κύκλος της αφομοίωσης του $CO_2$ (Calvin cycle)

Η διαδικασία μέσω της οποίας πραγματοποιείται η τελική αφομοίωση και αναγωγή του  $CO_2$  και η μετατροπή του σε υδατάνθρακες, περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Melvin Calvin το 1946 (Nobel Χημείας το 1961), και εμφανίζεται σε όλους τους φωτοσυνθετικούς ευκαρυωτικούς οργανισμούς. Γι' αυτό και ονομάστηκε Κύκλος Calvin. Ο κύκλος περιγράφεται επίσης ως κύκλος των φωσφορικών πεντοζών (RPPC).

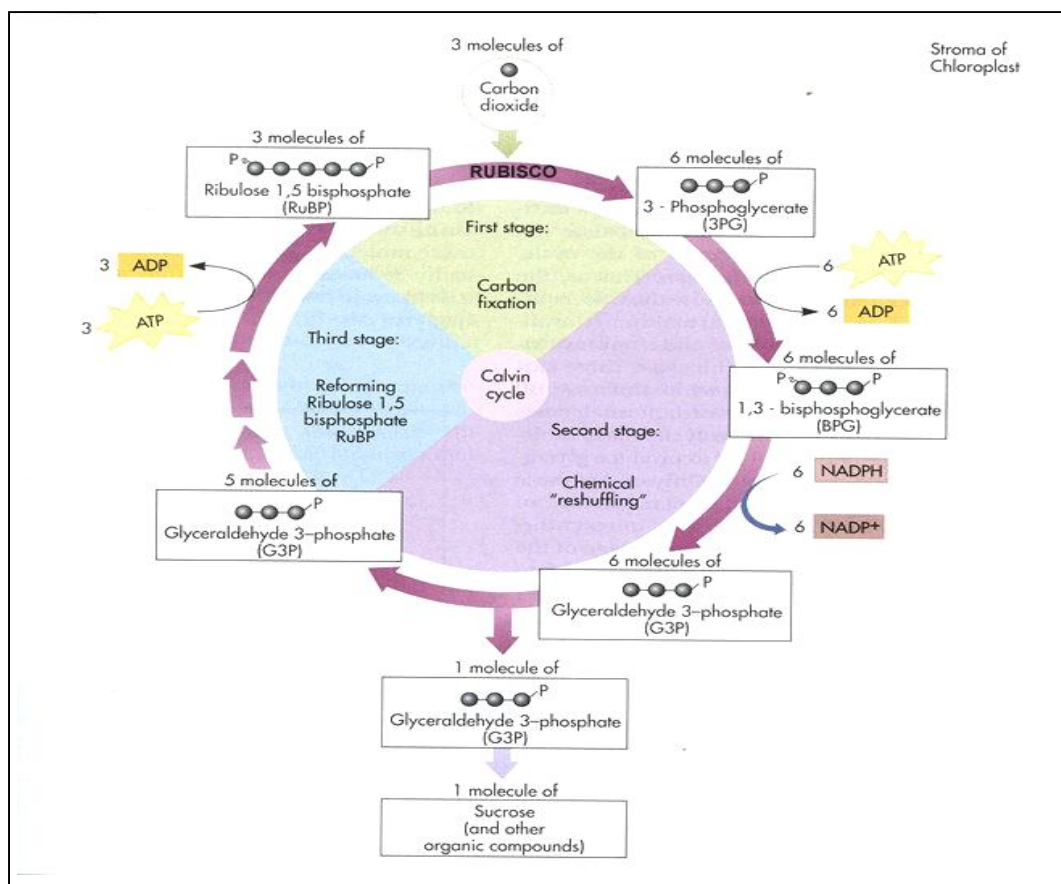
Οι κύριες βιοχημικές διαδικασίες του κύκλου πραγματοποιούνται στο στρώμα των χλωροπλαστών και εξαρτώνται από την διαθεσιμότητα του ATP και NADPH (αναγωγική δύναμη) και την μερική πίεση του  $CO_2$  γύρω από τον χλωροπλάστη. Ανάλογα, η διαθεσιμότητα των ATP και NADPH εξαρτάται από την ύπαρξη ικανού αριθμού δεκτών ηλεκτρονίων (κέντρα αντίδρασης, πλαστοκινίνη και πλαστοκυανίνη, φερρεδοξίνη κ.λπ.).

Επειδή το πρώτο προϊόν του κύκλου είναι μία οργανική ένωση με τρία άτομα άνθρακα (3-φωσφογλυκερινικό οξύ, 3-PGA), τα φυτά όπου επιτελούν τον κύκλο Calvin ονομάστηκαν C3 φυτά.

Τα C3 φυτά αποτελούν την πλειοψηφία των φυτικών οργανισμών. Υπάρχουν όμως και παραλλαγές του κύκλου σε κάποιες κατηγορίες φυτών, που προέκυψαν εξελικτικά αντισταθμίζοντας περιβαλλοντικές πιέσεις όπως είναι η υψηλή ένταση

ηλιακής ακτινοβολίας, η έλλειψη νερού, οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και οι συνθήκες σκιάς. Σε αυτή την κυκλική βιοχημική διαδικασία, το CO<sub>2</sub> δεσμεύεται με την παρέμβαση του ενζύμου οξυγενάση / καρβοξυλάση της διφωσφορικής ριβουλόζης (Rubisco) και ανάγεται έως το επίπεδο της εξόξης. Το ένζυμο αυτό, με την διπλή του ιδιότητα είναι ίσως το περισσότερο εκφραζόμενο ένζυμο σε όλον τον πλανήτη αλλά και το σημαντικότερο.

Ο κύκλος αποτελείται από τρία στάδια που είναι συνεχή και διαδοχικά. Αυτά είναι η καρβοξυλίωση τους υποστρώματος 1,5-διφωσφορική ριβουλόζη (RuBb), η αναγωγή του CO<sub>2</sub> σε φωσφορυλιωμένα (ενεργοποιημένα) σάκχαρα και τέλος η αναγέννηση της 1,5 διφωσφορικής ριβουλόζης. Για κάθε έξι περιστροφές του κύκλου το καθαρό



Εικόνα 1.18 : Στοιχειομετρία του κύκλου του Calvin

προϊόν είναι ένα μόριο εξόξης (Taiz and Zeiger, 1998).

Ο κύκλος του Calvin απαντάται στους περισσότερους φωτοσυνθετικούς ευκαρυωτικούς οργανισμούς καθώς και σε ορισμένους προκαρυωτικούς. Παραλλαγές του κύκλου που εντοπίζονται σε ορισμένα είδη φυτών αφορούν την αρχική δέσμευση του CO<sub>2</sub> και την σχέση του με την αντίδραση καρβοξυλίωσης της 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης RuBb (Hall and Rao, 1999). Αυτές είναι η C<sub>4</sub> φωτοσύνθεση στην οποία το πρώτο προϊόν είναι το οξαλοξικό οξύ (C<sub>4</sub> φυτά είναι π.χ. τα σιτηρά όπως το *Triticum vulgare* -σιτάρι ή το *Zea mays* -καλαμπόκι) και ο CAM μεταβολισμός (στα CAM φυτά ή φυτά με μεταβολισμό τύπου *Crassulaceae* ανήκει π.χ. το είδος *Agave americana*) που παρατηρήθηκε αρχικά σε παχύφυτα μέλη της οικογένειας *Crassulaceae*, όπου η PEP-καρβοξυλάση και η κινάση του πυροσταφυλικού-ορθοφωσφορικού περιορίζονται στα κύτταρα του μεσόφυλλου, ενώ οι αποκαρβοξυλάσες και τα ένζυμα του κύκλου του Calvin εντοπίζονται στα κύτταρα του δεσμικού κολεού (Taiz and Zeiger, 2002).

### 1.9. Το φύλλο και η φωτοσυνθετική διαδικασία

Η ποιότητα και η ποσότητα του εισερχόμενου φωτός, ποικίλλει στα διάφορα ενδιαιτήματα. Στα σημεία όπου το φως του ηλίου είναι άμεσο, όπως για παράδειγμα γίνεται στην κορυφή της κόμης ενός δέντρου, η φωτοσυνθετική φωτονιακή ροή (PPFD) μπορεί να φτάσει και τα 2000 μmole φωτονίων/m<sup>2</sup>/sec. Σε αυτά τα σημεία επικρατεί το φάσμα των φωτονίων υψηλής και μέσης ενέργειας, δηλαδή 400 - 600 nm. (φάσμα κυανό, πράσινο, κίτρινο). Κάτω από την κόμη ενός δέντρου, όπου το ενδιαίτημα είναι σκιερό, επικρατούν τα φάσματα χαμηλής ενέργειας, δηλαδή το πορτοκαλί, το κόκκινο και το βαθύ κόκκινο (650 - 780 nm).

Τα φύλλα των φυτών είναι οι συλλέκτες των φωτονίων που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης. Επειδή οι συνθήκες φωτισμού και η ποιότητα του φωτός δεν είναι ίδια στα διάφορα ενδιαιτήματα, τα φυτά ανάλογα με το γενετικό τους υπόβαθρο, έχουν αναπτύξει ανάλογες δομές στα φύλλα τους, ώστε με το μικρότερο ενεργειακό κόστος να επιτυγχάνουν το βέλτιστο αποτέλεσμα συλλογής φωτονίων.

Παρατηρώντας ένα φύλλο διακρίνουμε δύο επιφάνειες, την άνω επιφάνεια (παραξονική) και την κάτω επιφάνεια (απαξονική). Επίσης, δύο βασικά στοιχεία διακρίνονται, ο μίσχος και το έλασμα. Ο μίσχος στηρίζει το φύλλο και το συνδέει με το κυρίως σώμα του φυτού. Ο μίσχος αποτελεί την προέκταση του αγγειακού συστήματος και οι διακλαδώσεις του συνιστούν την νεύρωση του φύλλου. Η νεύρωση του φύλλου μεταφέρει τα φωτοσυνθετικά προϊόντα από τα φύλλα προς τα κατώτερα μέρη του φυτού, τον βλαστό και την ρίζα. Το έλασμα είναι το φωτοσυλλεκτικό μέρος του φύλλου. Σε εγκάρσια τομή διακρίνονται τρία σημαντικά ανατομικά στοιχεία. Το πασσαλώδες ή φωτοσυνθετικό ή δρυφακτοειδές παρέγχυμα, το σπογγώδες παρέγχυμα και τα στόματα. Το πασσαλώδες και το σπογγώδες παρέγχυμα συνιστούν το μεσόφυλλο που παρεμβάλλεται μεταξύ παραξονικής και απαξονικής επιφάνειας. Το πασσαλώδες παρέγχυμα αναπτύσσεται κάτω από την παραξονική επιφάνεια και εξυπηρετεί την σύλληψη του φωτός, ενώ το σπογγώδες παρέγχυμα αναπτύσσεται κάτω από την απαξονική επιφάνεια και εξυπηρετεί την ανταλλαγή των αερίων. Τα στόματα βρίσκονται στην απαξονική επιφάνεια. Καθώς τα επιδερμικά κύτταρα είναι διαφανή, τα κύτταρα του πασσαλώδους παρεγχύματος είναι πλούσια σε χλωροπλάστες και χλωροφύλλη. Τα μόνα κύτταρα της επιδερμίδας που έχουν χλωροφύλλη είναι τα καταφρακτικά κύτταρα που συνιστούν τον σχηματισμό των στομάτων.

Τα στόματα έχουν διττό ρόλο και αυτός είναι α) ο έλεγχος της εισόδου και εξόδου του νερού μέσω της διαπνοής και β) της ανταλλαγής των αερίων της φωτοσύνθεσης, δηλαδή του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου που προκύπτει ως παραπροϊόν κατά την φωτόλυση του νερού. Δηλαδή τα στόματα αποτελούν πόρους ελεγχόμενης διόδου για τα αέρια και τους υδρατμούς. Το άνοιγμα και κλείσιμο των στομάτων γίνεται μέσω του ελέγχου της σπαργής των καταφρακτικών κυττάρων και σε αυτή τη διαδικασία κύριο ρόλο διαδραματίζουν τα ιόντα καλίου.

Το σπογγώδες παρέγχυμα έχει πολύ μεγάλη σημασία εξαιτίας του δαιδαλώδους δικτύου μεσοκυτταρικών χώρων που διευκολύνουν την συσσώρευση του διοξειδίου του άνθρακα γύρω από τους χλωροπλάστες. Μέσω των χλωροπλαστικών μεμβρανών το διοξείδιο του άνθρακα διαχέεται στο εσωτερικό του οργανιδίου και διαχέεται στο στρώμα για να χρησιμοποιηθεί στην σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης. Το σημείο κλειδί στην διάχυση του CO<sub>2</sub> προς το εσωτερικό των χλωροπλαστών είναι η μερική πίεση (PCO<sub>2</sub>).

Τα φύλλα τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε το ηλιακό φως να προσπίπτει επάνω τους υπό γωνία ή κάθετα και τα φωτόνια να μην σκεδάζονται αλλά να απορροφώνται όσο το δυνατόν περισσότερο. Σε αυτό διευκολύνει και η τοποθέτηση

των κυττάρων του φωτοσυνθετικού παρεγχύματος κατά κάθετες συστοιχίες κυττάρων, όπου σε κάθε κύτταρο οι χλωροπλάστες τοποθετούνται παράλληλα με τα περικλινή τοιχώματα. Μόνο σε περιπτώσεις όπου προκύπτουν λόγοι προστασίας της φωτοσυνθετικής συσκευής τα φύλλα επαναδιευθετούνται με μηχανισμούς σπαργής, ώστε η επιφάνειά τους να τοποθετείται παράλληλα στην διεύθυνση του φωτός.

Επίσης, στα φύλλα ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες φωτισμού, διαμορφώνεται ένα επιδερμικό στρώμα λιπαρών ουσιών (εφυμενίδα) και τριχώματα (διαφοροποιημένα φύλλα) ώστε να ελέγχεται η κυκλοφορία του αέρα, να περιορίζεται η απώλεια του νερού και να ανακλάται η επιπλέον ηλιακή ακτινοβολία, που θα μπορούσε να προκαλέσει φωτοαναστολή ή και να καταστρέψει την φωτοσυνθετική συσκευή (φωτοοξειδωση).

Η επιφάνεια των φύλλων και συγκεκριμένα του ελάσματος, έχει πολύ μεγάλη σημασία για την συλλογή του φωτός. Συνήθως τα φύλλα που είναι φωτόφιλα, έχουν επίμηκες σχήμα, μικρή επιφάνεια και παχύ δρυφακτοειδές παρέγχυμα. Επίσης, συνήθως έχουν πλούσια εφυμενίδα που ανακλά το μεγαλύτερο μέρος της φωτεινής ακτινοβολίας. Τα σκιοφιλα φύλλα, έχουν πιο απλές δομές με πιο αραιό φωτοσυνθετικό παρέγχυμα. Αυτό δηλαδή που αναδιαμορφώνεται ανάμεσα στα σκιοφιλα και φωτόφιλα φύλλα είναι η σχέση όγκου / επιφάνειας (ειδική φυλλική επιφάνεια, επιφάνεια / μάζα, SLA,  $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ).

### 1.10. Η προστασία της φωτοσυνθετικής συσκευής έναντι φωτός υψηλής έντασης

Όταν η ένταση του εισερχόμενου φωτός είναι πάνω από ένα οριακό σημείο τότε μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία ή και να καταστρέψει την φωτοσυνθετική συσκευή (Hall and Rao, 1999). Το φαινόμενο ονομάζεται φωτοαναστολή και οδηγεί σε παροδική διακοπή της απόδοσης της φωτοσύνθεσης ενώ η τελική κατάσταση μόνιμης βλάβης ονομάζεται φωτοοξειδωση. Η φωτοαναστολή επέρχεται όταν η προσφορά φωτονίων και η επαγόμενη διέγερση ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη από τον αριθμό των δεκτών (ενεργά κέντρα και ευκίνητοι φορείς) που μπορούν να τα αξιοποιήσουν για την κυκλική και μη κυκλική ροή ηλεκτρονίων. Επομένως, είναι φανερό ότι η φωτοσυνθετική συσκευή, ανάλογα με το φυτικό είδος, είναι προσαρμοσμένη ώστε να εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά την φωτονιακή ροή έως ένα ανώτατο όριο, πέραν του οποίου επέρχεται κορεσμός και βλάβη, παροδική ή μόνιμη, σε καταστάσεις όπου οι μηχανισμοί άμυνας δεν καταφέρουν να αντεπεξέλθουν.

Όταν περιβαλλοντικές πιέσεις, όπως η επίδραση ρυπαντών, καταστρέφουν στοιχεία της φωτοσυνθετικής μηχανής ή τους μηχανισμούς άμυνας, επέρχεται μείωση της φωτοσυνθετικής απόδοσης. Σε συνθήκες όπου με τεχνητό τρόπο ανθρωπογενούς αιτιολογίας, αυξάνονται τοπικά οι εντάσεις της φωτεινής ακτινοβολίας, για παράδειγμα όταν υπάρχουν αντανάκλασεις από γυάλινες-επιφάνειες κτισμάτων ή επιφάνειες μεγάλης θερμοχωρητικότητας, όπως είναι το τσιμέντο και η άσφαλτος, επίσης επιβαρύνεται η απόδοση της φωτοσύνθεσης.

Υπερβολική ενέργεια από εισερχόμενα φωτόνια, μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση του φύλλου ή την δημιουργία ενεργών μορφών οξυγόνου (R.O.S.) (Cogdell and Frank, 1987). Αν οι αμυντικοί μηχανισμοί έναντι της φωτοαναστολής και φωτοοξειδωσης αποτύχουν (όπως είναι i. ο κύκλος ξανθοφυλλών με την αποεποξειδάση της βιολαξανθίνης, VDE, και την εποξειδάση της ζεαξανθίνης, ZE, ii. οι στρατηγικές αποφυγής φωτός με μεταβολή της γωνίας έκθεσης των φύλλων και τον κυλινδρισμό, iii. η μετακίνηση των χλωροπλάστων - από Kyprisiss and Manetas, 1993 -, iv. η ενεργοποίηση της υπεροξειδικής δισμουτάσης SOD για την απενεργοποίηση των R.O.S., v. η πρωτεΐνη D1, vi. η ανακατανομή ενέργειας μεταξύ PII και PI), τότε προκαλούνται οξειδωτικές βλάβες σε λιπίδια, πρωτεΐνες και νουκλεϊκά οξέα του χλωροπλάστη (Choudhury and Behera, 2001).



Ανατομικές δομές που προστατεύουν από την υπερβολική απορρόφηση φωτός είναι η ανάπτυξη τριχώματος, η εναπόθεση κηρών και η παρουσία χρωστικών στα επιδερμικά κύτταρα ή στα κύτταρα του μεσόφυλλου (Barker et al., 1997), κ.λ.π.. Επίσης, η παρουσία ανθοκυανινών στα νεαρά ή ανεπτυγμένα φύλλα έχει συσχετιστεί με την προστασία της φωτοσυνθετικής συσκευής από υπερβολικής εντάσης ακτινοβολία (Gould et al., 1995, Gould et al., 2002, Steyn et al., 2002, Hughes et al., 2005). Οι ίδιες ανατομικές δομές και πιθανών και μηχανισμοί άμυνας, προσδίδουν επίσης στα φυτά διαφορετική ικανότητα ανοχής και αντοχής έναντι αέριων ρύπων.

### 1.11. Ο φθορισμός της Chl-a

Οι χλωροφύλλες είναι οι μοναδικές φωτοσυνθετικές χρωστικές που έχουν την ιδιότητα να φθορίζουν<sup>6</sup>. Στις θερμοκρασίες όπου γίνονται οι περισσότερες μετρήσεις, ο φθορισμός που εκπέμπεται από ένα φύλλο προέρχεται αποκλειστικά από τα μόρια χλωροφύλλης-α του PSII. Η ένταση του φθορισμού που εκπέμπει ένα φύλλο παραμένει σταθερή εφόσον αυτό φωτίζεται με σταθερή ένταση φωτεινής ακτινοβολίας. Όταν όμως το φύλλο παραμείνει στο σκοτάδι για ικανό χρονικό διάστημα ώστε να "ηρεμήσει" η φωτοσυνθετική συσκευή, η επαγωγή του φθορισμού μετά από αιφνίδιο φωτισμό ακολουθεί χαρακτηριστική κινητική καμπύλη που ονομάζεται καμπύλη Kautsky. Από αυτή την καμπύλη μπορεί να υπολογιστούν παράμετροι μέσω των οποίων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για ενδεχόμενη καταπόνηση του PSII και ως εκ τούτου του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης.

Υπάρχουν αρκετές αναφορές για την χρήση του φθορισμού χλωροφυλλών κατά την μελέτη των επιπτώσεων περιβαλλοντικών παραγόντων σε μεταβολικά μονοπάτια της φωτοσύνθεσης. Το μόριο της χλωροφύλλης-α, έχει την ιδιότητα να φθορίζει αποβάλλοντας την πλεονάζουσα ενέργεια που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φωτοσυστήματα (Maxwell and Johnson, 2000). Η φωτεινή ακτινοβολία που απορροφάται από τις φωτοσυνθετικές χρωστικές μπορεί να διοχετευτεί στις φωτοχημικές αντιδράσεις που σχετίζονται με την φωτόλυση του νερού και τη ροή ηλεκτρονίων προς διάφορους αποδέκτες (φωτοχημική απόσβεση), μπορεί να αποσβεστεί υπό μορφή θερμότητας (μη φωτοχημική απόσβεση) και γίνει επανεκπομπή μέσω φθορισμού.

Επειδή η ενέργεια που απορροφάται πάντα υπό συγκεκριμένες συνθήκες είναι σταθερή, οι τρεις παραπάνω οδοί απόσβεσης είναι ποσοτικά εξαρτώμενες, ώστε αλλαγή σε μία από αυτές να επηρεάζει την συμβολή των υπολοίπων δύο.

Πιο συγκεκριμένα, οι αλλαγές στην φωτοχημική ή και στην μη φωτοχημική απόσβεση έχουν άμεσο αντίκτυπο στα επίπεδα του εκπεμπόμενου φθορισμού. Σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, το 90% περίπου του εκπεμπόμενου φθορισμού προέρχεται από το φωτοσύστημα-II και ιδιαίτερα από τα σύμπλοκα LHClI (Govindjee, 2004). Επιπλέον, μόνο το τμήμα του φθορισμού που προέρχεται από το φωτοσύστημα-II ανταποκρίνεται στις αλλαγές των φωτοχημικών αντιδράσεων των θυλακοειδών με συνέπεια οι όποιες αλλαγές στα επίπεδα του εκπεμπόμενου φθορισμού να προέρχονται από το φωτοσύστημα-II (Govindjee, 1995; Govindjee, 2004).

Επειδή η αύξηση της φωτοχημικής ή μη φωτοχημικής απόσβεσης της ενέργειας διέγερσης προκαλεί μείωση του εκπεμπόμενου φθορισμού, τα παραπάνω φαινόμενα περιγράφονται και υπό όρους απόσβεσης του φθορισμού, δηλαδή ως φωτοχημική και ως μη φωτοχημική απόσβεση του φθορισμού.

Η μελέτη του φθορισμού χλωροφύλλης παρέχει πλήθος παραμέτρων οι οποίες σχετίζονται με τη συμβολή των διαφόρων παραγόντων φωτοσυλλογής και μεταφοράς

<sup>6</sup> Ο φθορισμός είναι η ιδιότητα εκπομπής ακτινοβολίας στο φάσμα το ορατού φωτός, από μόριο που έχει διεγερθεί. Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ διέγερσης και εκπομπής είναι τουλάχιστον  $10^{-15}$  sec.

της ενέργειας προς τα φωτοχημικά κέντρα, τους τρόπους απόσβεσης της ενέργειας και το βαθμό αδρανοποίησης των φωτοσυστημάτων-II. Ταυτόχρονα αποτελεί έναν έμμεσο τρόπο μελέτης της φωτοσυνθετικής λειτουργίας ως σύνολο καθώς η λειτουργία του φωτοσυστήματος-II σχετίζεται άμεσα με την παροχή ενέργειας για την φωτοσυνθετική αφομοίωση του CO<sub>2</sub>. Επίσης, ο φθορισμός που προέρχεται από το PSII αποτελεί έναν ευαίσθητο δείκτη για το βαθμό καταπόνησης του φυτικού οργανισμού εξαιτίας ορισμένων δυσμενών παραγόντων του περιβάλλοντος όπως ακτινοβολίες, τροφopenίες, τοξικότητες, έλλειψη νερού, κ.ά.

Τα συνήθη πειράματα μελέτης του φθορισμού της χλωροφύλλης αποσκοπούν στον υπολογισμό δύο βασικών παραμέτρων: αυτού της φωτοχημικής απόδοσης της φωτοσυνθετικής συσκευής (yield) και αυτού της μη φωτοχημικής απόσβεσης της ενέργειας από τον φωτοσυλλεκτικό μηχανισμό (NPQ). Επειδή ο δεύτερος τρόπος απόσβεσης λειτουργεί μόνο κάτω από συνθήκες επαγωγής της φωτοσύνθεσης, δηλαδή μόνο κάτω από συνθήκες φωτός, η μέτρηση του εκπεμπόμενου φθορισμού σε ένα δείγμα εγκλιματισμένο στο σκοτάδι για ορισμένο χρονικό διάστημα παρέχει την μέγιστη δυνατή φωτοχημική απόδοση ή αλλιώς την θεμελιώδη φωτοχημική ικανότητα. Σε συνθήκες φωτισμού του δείγματος, ο συνδυασμός της παραμέτρου αυτής με την φωτονιακή ροή παρέχει τον φαινόμενο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων (ETR) κατά μήκος της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων μεταξύ των δύο φωτοσυστημάτων (Genty et al, 1989). Η παράμετρος αυτή είναι χρήσιμη καθώς, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, είναι ανάλογη του ρυθμού φωτοσυνθετικής αφομοίωσης του CO<sub>2</sub> (Logan et al., 2007).



# 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ -

## ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ



### 2.1. Γενικά

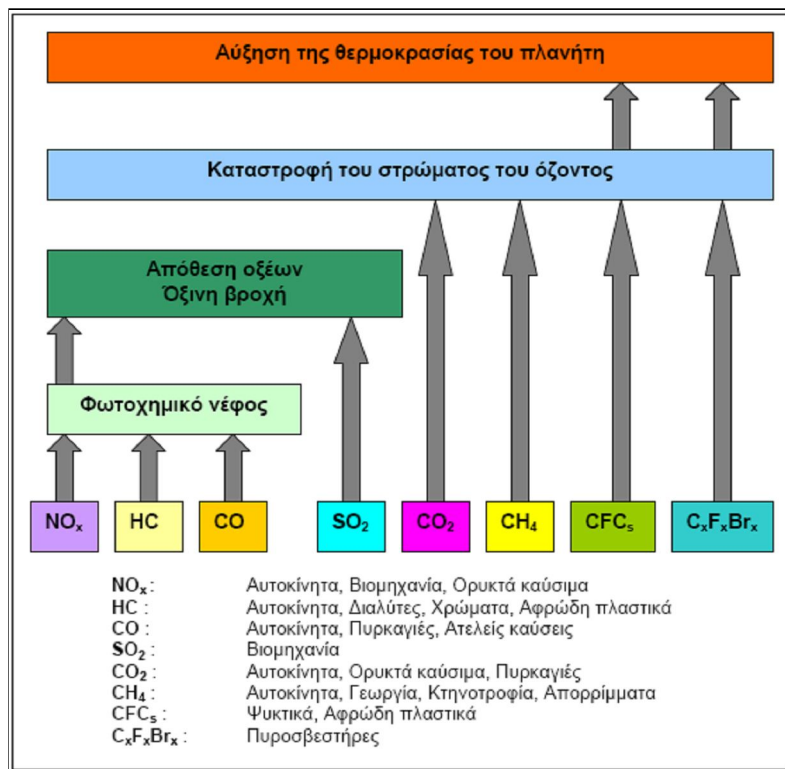
Ως τοξικότητα περιγράφεται η διαδικασία δράσης ενός παράγοντα που αναστέλλει ή διαφοροποιεί μία μεταβολική διαδικασία σε βάρος του οργανισμού. Ο τοξικός παράγοντας συνήθως αντικαθιστά έναν μεταβολίτη που φυσιολογικά παρεμβαίνει σε μία μεταβολική οδό, αλλοιώνοντας ή μεταβάλλοντας το τελικό αποτέλεσμα. Ως "ρυπαντές" μπορούν να χαρακτηριστούν ουσίες οι οποίες μπορεί να περιέχονται στην ατμόσφαιρα, στο νερό, στο έδαφος και έχουν δυσμενή επίδραση στους οργανισμούς.

Κατά ανάλογο τρόπο, οι αέριοι ρύποι και η τοξικότητα των αέριων ρύπων ως προς τα φυτά περιγράφεται ως φυτοτοξικότητα. Η αέρια ρύπανση μπορεί να επηρεάσει το φυτό απευθείας, με μηχανικό τρόπο ή βιοχημικά, προκαλώντας ορατές βλάβες σε ιστούς ή όργανα π.χ. στα φύλλα, ή προκαλώντας μείωση της πρόσληψης ιχνοστοιχείων από το έδαφος. Η αντίδραση των φυτών στους αέριους ρύπους εξαρτάται από την δραστικότητα των ρύπων, την συγκεντρωσή τους στην ατμόσφαιρα και τη χρονική διάρκεια της επίδρασής τους (χρόνος έκθεσης). Η επίδραση μπορεί να είναι οξεία ή χρόνια και να επιφέρει διαχρονικά την εμφάνιση βλαβών που συνδέονται κυρίως με την πρωτογενή παραγωγή.

Οι αέριοι ρύποι εισέρχονται στα φυτά μέσω των στομάτων ή της εφυμενίδας. Όμως η τελική τους επίδραση καθορίζεται και από πολλούς άλλους παράγοντες. Για να γίνει μία πρώτη διάκριση της "ρυπογόνου επίδρασης" μίας χημικής ένωσης, όταν αυτή αποτελεί ταυτόχρονα και θρεπτική πηγή για το φυτό, μπορούμε να αναφέρουμε ότι το συγκριτικό στοιχείο που θα διακρίνει την βλαπτική από την ωφέλιμη επίδραση είναι η συγκέντρωση της χημικής ένωσης και η χρονική διάρκεια έκθεσης σε αυτή σε συνδυασμό με άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες (βλ. παρακάτω, AOT<sub>x</sub>).

Οι αέριοι ρυπαντές, όπως γενικά αναφερόμαστε σε αυτούς, αποτελούν προϊόντα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων αλλά και διεργασιών που συμβαίνουν δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα, ενώ κάποιες από αυτές τις χημικές ουσίες υπάρχουν και μέσω φυσικών διαδικασιών στην ατμόσφαιρα. Η παρουσία ορισμένων "ρυπαντών" στη βιόσφαιρα είναι συνδεδεμένη με γεωφυσικά συμβάντα (εκρήξεις ηφαιστειών) και δεν αποτελούν σοβαρή πηγή κινδύνου για τους οργανισμούς σε πλανητικό επίπεδο. Ωστόσο, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες των τελευταίων ετών, σε συνδυασμό με την πληθυσμιακή έκρηξη, κατέδειξαν κάποιες φυσικές ουσίες ως "ρυπαντές" αναδεικνύοντας έναν σοβαρό παράγοντα καταπόνησης των φυτών.

Η παρουσία ουσιών όπως οι πτητικοί υδρογονάνθρακες (VOCs) στο περιβάλλον ήταν και παραμένει συνεχής και σχετίζεται με τη δραστηριότητα της κλωρίδας και πανίδας του πλανήτη. Τα φυτά π.χ. εκλύουν σημαντικές ποσότητες αιθυλενίου, αλκοολών, ισοπρενίου, τερπενίων και άλλων πτητικών οργανικών ουσιών στην



Εικόνα 2.1: Συνοπτική παρουσίαση των συνηθέστερων ατμοσφαιρικών ρύπων, της προέλευσής τους και των επιπτώσεων στην βίωση και την ισορροπία της ατμόσφαιρας.

ατμόσφαιρα, συνήθως σε συγκεντρώσεις που δεν επηρεάζουν τους οργανισμούς. Τα τελευταία χρόνια όμως, λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων η ατμόσφαιρα εμπλουτίζεται συνεχώς με μεγάλες ποσότητες VOCs, σε συγκεντρώσεις που πλέον επηρεάζουν σημαντικά τη δραστηριότητα και την επιβίωση των οργανισμών.

Εκτός αυτών η αέρια ρύπανση χαρακτηρίζεται σοβαρότερη επειδή πολλοί ρυπαντές είναι ξενοβιοτικά συστατικά, δηλαδή δεν υπάρχουν στην ατμόσφαιρα κατά φυσικό τρόπο και οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί δεν έχουν αναπτύξει μηχανισμούς αποτοξίνωσης στη διάρκεια της εξέλιξης.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος από ανθρωπογενείς δραστηριότητες επηρεάζει πλέον δάση και καλλιέργειες. Σε αρκετές περιπτώσεις η επίδραση ενός ρυπαντή σε φυτικούς οργανισμούς δεν εξαρτάται μόνο από την συγκέντρωσή τους αλλά και από την χρονική περίοδο εφαρμογής δηλαδή από την δόση (χρόνος έκθεσης, συγκέντρωση Χ χρόνος = AOTx, accumulation overload threshold).

Η οριακή ή κατωφλική συγκέντρωση (ουδός) αφορά στο όριο κάτω από το οποίο δεν εμφανίζονται βλάβες στο φυτό εξαιτίας της επίδρασης του ρυπαντή. Αυτό για πολλούς ρυπαντές μπορεί να ισχύει ακόμα και εάν επιδρούν στο φυτό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, για μερικούς ρυπαντές, η επίδραση υψηλών συγκεντρώσεων ακόμα και για σύντομη περίοδο έκθεσης μπορεί να προκαλεί βλάβες ποικίλου μεγέθους. Επίσης, ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο είναι ο χρόνος μέσα στο 24ωρο ή η εποχή όπου εμφανίζονται οι υψηλές συγκεντρώσεις του ρυπαντή.

Ανάλογα με την περιοχή, το μέγιστο των συγκεντρώσεων και της επίδρασης των αέριων ρυπαντών εμφανίζονται πριν από το μεσημέρι, χρονική στιγμή κατά την οποία τα στόματα είναι πλήρως ανοικτά και η αντίσταση διάχυσης είναι η μικρότερη. Επομένως, η είσοδος μεγαλύτερης ποσότητας ρυπαντή στο φύλλο είναι περισσότερο επιζήμια από ότι εάν η ίδια συγκέντρωση επιδρούσε στη διάρκεια της νύχτας. Ωστόσο, για τα φυτά οι νυχτερινές ώρες είναι η περίοδος όπου επιδιορθώνονται τυχόν βλάβες και αποκαθίστανται οι διάφορες λειτουργίες.

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις ορισμένων αέριων ρύπων (π.χ. CO<sub>2</sub>, CO και SO<sub>2</sub>), και διαφόρων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα, οφείλονται κυρίως στην χρήση των ορυκτών υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στις μηχανές

εσωτερικής καύσης. Επίσης, χημικές και κεραμικές βιομηχανίες, χυτήρια και άλλες βιομηχανικές μονάδες, εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , και  $\text{HF}$ . Η μέθοδος απομάκρυνσης των αερίων καύσης με την χρήση υψηλών καμινάδων, περιορίζει την ρύπανση τοπικά, καθώς οι ρυπαντές απελευθερώνονται σε μεγάλο ύψος από το έδαφος και παρασύρονται αμέσως από αέρια ρεύματα. Αυτή η μέθοδος αποτρέπει μεν την διασπορά της ρύπανσης σε τοπική κλίμακα αλλά σε ορισμένη απόσταση από την πηγή εκπομπής, μέρος των ρυπαντών καθιζάνουν στο έδαφος. Επιπλέον, υπό την επίδραση του ανέμου οι εκπεμπόμενοι ρυπαντές διαχέονται και διασκορπίζονται στην ατμόσφαιρα και μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις όπου και πάλι καθιζάνουν στην επιφάνεια του εδάφους ή στο νερό. Μεγάλο μέρος των ρυπαντών φθάνουν στο έδαφος υπό μορφή κατακρημνίσεων με την βροχή ή το χιόνι.

Η μίξη των αερίων ρυπαντών στην ατμόσφαιρα κάτω από ορισμένες συνθήκες προκαλεί την παραγωγή δευτερογενών ρύπων οι οποίοι επίσης μπορεί να είναι το ίδιο ή περισσότερο τοξικοί. Το φωτοχημικό νέφος είναι ένα ανάλογο προϊόν χημικών αντιδράσεων μεταξύ ρυπαντών που συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα, παρουσία υψηλών εντάσεων φωτεινής ακτινοβολίας (κυρίως UV) και οξυγόνου. Στις αντιδράσεις αυτές εμπλέκονται VOCs είτε βιογενούς είτε ανθρωπογενούς προέλευσης και οξειδία του αζώτου που είναι προϊόντα βιομηχανικής ή αστικής δραστηριότητας. Οι αντιδράσεις αυτές είναι εξαιρετικά σύνθετες και παράγουν ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα εκ των οποίων το όζον και το υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) που είναι επίσης πολύ τοξικό εξαιτίας της οξειδωτικής του δράσης.

Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους φυτικούς οργανισμούς εξαρτώνται από ένα πλήθος παραγόντων μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται το είδος του φυτού, οι δόσεις των επιμέρους ρυπαντών, η ταχύτητα και η διεύθυνση των ανέμων, οι βροχοπτώσεις, η ηλιοφάνεια, η ατμοσφαιρική υγρασία και η μορφολογία της περιοχής. Το λεκανοπέδιο της Αττικής π.χ. είναι επιρρεπές στην συσσώρευση αερίων ρύπων και στη δημιουργία φωτοχημικού νέφους, λόγω του ιδιαίτερου ανάγλυφου του εδάφους και των ιδιαίτερων μετεωρολογικών συνθηκών που μπορεί να διαμορφωθούν.

Η παρουσία ρυπαντών στην ατμόσφαιρα προκαλεί μεταβολικές δυσλειτουργίες τα συμπτώματα των οποίων κάνουν την εμφάνισή τους μόνο όταν τα επίπεδα των ρυπαντών ξεπεράσουν ορισμένα όρια. Για παράδειγμα η φωτοσυνθετική λειτουργία αναστέλλεται σε συγκεντρώσεις  $\text{NO}_x$  της τάξης των 0,1 ppm, ενώ τα συμπτώματα έκθεσης στο ρυπαντή αυτόν κάνουν την εμφάνισή τους σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις, της τάξης των 5 ppm. Η παρουσία των ρυπαντών στην ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια και την μείωση της παραγωγής ορισμένων τουλάχιστον ευαίσθητων καλλιεργούμενων φυτών. Για παράδειγμα η πτώση της παραγωγής χειμερινών σιτηρών έχει παρατηρηθεί παρουσία 0,01 - 0,02 ppm  $\text{SO}_2$ . Επίσης, μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις όζοντος της τάξης των 0,6 ppm επιφέρουν μείωση της παραγωγής της σόγιας, του καλαμποκιού και των χειμερινών σιτηρών κατά 15% περίπου.

Οι αέριοι ρυπαντές όπως το  $\text{SO}_2$ , τα  $\text{NO}_x$  και το  $\text{O}_3$ , εισέρχονται στα φύλλα δια μέσου των στομάτων ακολουθώντας την ίδια οδό διάχυσης όπως και το  $\text{CO}_2$ . Όταν βρεθούν στο εσωτερικό του φύλλου τα αέρια διαλύονται στην υδατική φάση των αποπλασματικών χώρων παράγοντας, το μεν  $\text{SO}_2$  θειώδη και όξινα θειώδη ιόντα ( $\text{SO}_2^-$ ,  $\text{HSO}_3^-$ ), τα δε  $\text{NO}_x$  νιτρώδη και νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Τα ιόντα αυτά ακόμη και τα νιτρικά, σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικά για τα κύτταρα. Τα νιτρώδη και τα νιτρικά ανιόντα μπορούν να αναχθούν μέσω της νιτρικής αναγωγής και της νιτρώδους αναγωγής. Τα θειώδη και όξινα θειώδη μπορούν να μετατραπούν στην

λιγότερο τοξική μορφή των θειικών ανιόντων. Επομένως τα  $\text{SO}_2^-$  και  $\text{NO}_x$  σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να τροφοδοτούν τα φυτά με τις απαραίτητες ποσότητες αζώτου και θείου. Αντίθετα, τη διάλυση του όζοντος στην υδατική φάση ακολουθεί η ταχεία διάσπασή του με αποτέλεσμα να παράγονται δραστικές μορφές οξυγόνου (R.O.S.).

## 2.2. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας και τα φυτά

Ήδη από την εποχή όπου εμφανίστηκαν οι πρώτες μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούσαν ως καύσιμο λιθάνθρακες (πετρέλαιο, λιγνίτη κ.λ.π.), άρχισαν να καταγράφονται τα πρώτα προβλήματα που προκαλούσε η έκλυση στην ατμόσφαιρα των παραπροϊόντων της καύσης. Το πιο εμφανές πρόβλημα ήταν από τότε η αιθάλη (αιωρούμενα σωματίδια  $\text{A}_{\Sigma x}$ ) που επικάθονταν στις επιφάνειες. Σταδιακά όμως, διευρύνθηκε η αντίληψη της παρουσίας αέριων ρύπων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξειδία του αζώτου, το διοξείδιο του θείου κ.λπ. Οι πρώτες βιομηχανικές κοινωνίες άρχισαν γρήγορα να υποφέρουν από την περιβαλλοντική ρύπανση που προσέβαλε αέρα, έδαφος και νερό.

Στα επόμενα χρόνια η επέκταση της βιομηχανοποίησης στην παραγωγή, διέυρυνε το πρόβλημα της ρύπανσης των μεγάλων αστικών κέντρων (Moustris et al., 2005, Mauromatis, 2008) που φιλοξενούσαν ή βρίσκονταν κοντά σε βιομηχανικές ζώνες (Shashua - Bar et al., 2007). Η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα είχε επίπτωση και στην υγεία των κατοίκων. Ασθένειες του αναπνευστικού άρχισαν να εμφανίζονται σε μεγαλύτερες συχνότητες απ' ό,τι τις προηγούμενες δεκαετίες και γρήγορα φάνηκε ότι μεγαλύτερη ευαισθησία στους αέριους ρύπους εμφάνιζαν τα παιδιά και οι έγκυες γυναίκες. Γρήγορα έγινε επίσης αντιληπτό, ότι η ρύπανση του αέρα δεν αποτελεί ένα στατικό ή τοπικό φαινόμενο, αλλά μπορεί να είναι μεταφερόμενη από περιοχή σε περιοχή ή από χώρα σε χώρα (διασυννοριακή ρύπανση) ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, τη ροή των ποταμών (όταν γίνονται αποδέκτες λυμάτων και διασχίζουν διαφορετικές περιοχές).

Τα τελευταία πενήντα χρόνια έχουν αναλυθεί μία σειρά χημικών ενώσεων που προέρχονται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης (βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες) των μέσων μεταφοράς, τους καυστήρες κεντρικής θέρμανσης, την καύση των φυσικών οικοσυστημάτων και τις βιοσυνθετικές καύσεις και ζυμώσεις (βιομάζα). Αυτοί οι αέριοι ρύποι ανάλογα με την προέλευσή τους χαρακτηρίζονται ως πρωτογενείς ή δευτερογενείς (Xiao et al., 2004).

Από την δεκαετία του 70' υπάρχουν αναφορές για την μεταβολή των επιπέδων σημαντικών αερίων της ατμόσφαιρας και κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα και του όζοντος. Αν και είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι σε γεωλογικό χρόνο υπάρχει μεταβολή των επιπέδων των συστατικών αερίων της ατμόσφαιρας, μέσα από φυσικές διαδικασίες, σήμερα είναι πλήρως αποδεκτό ότι οι σημερινές μεταβολές έχουν κυρίως ανθρωπογενή προέλευση (Sukopp h., 2002). Χωρίς βέβαια να λείπουν και οι αντίθετες απόψεις. Η αύξηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας, θεωρείται πλέον ότι είναι αποτέλεσμα της εκτεταμένης χρήσης των λιθανθράκων ως καύσιμης ύλης στην βιομηχανία και τα μέσα θέρμανσης και μετακίνησης. Δηλαδή η εξάρτηση από το πετρέλαιο τα τελευταία 200 χρόνια και η καύση μεγάλου μέρους της φυσικής βλάστησης του πλανήτη, έχει απελευθερώσει τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Η μείωση του πάχους της στοιβάδας του όζοντος στην στρατόσφαιρα, είναι αποτέλεσμα της έκλυσης χλωροφθορανθράκων (CFCs) που χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως προωθητικά αέρια σε προϊόντα αέριων διαλυμάτων (σπρέι) και ως ψυκτικά υγρά σε οικιακής και επαγγελματικής χρήσης ψυκτικές συσκευές (ψυγεία,

καταψύκτες) και κλιματιστικές συσκευές. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την είσοδο UV ακτινοβολίας στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και ιδιαίτερα στην τροπόσφαιρα, όπου με την συνέργια πρωτογενών ρύπων παράγεται δευτερογενώς το όζον (Kangasjarvi J et al., 2005). Αυτό το όζον, που προσδιορίζεται διεθνώς ως "τροποσφαιρικό όζον" εξαιτίας της αφύσικης συγκέντρωσής του στην τροπόσφαιρα, έχει κατηγορηθεί για φυτοτοξικότητα (Vandermeiren K. et al., 2005).

### 2.3. Η δημόσια υγεία και το δίκτυο παρακολούθησης των αέριων ρύπων

Τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει συσσωρευθεί πληθώρα αναφορών που δείχνουν ότι η μακροχρόνια έκθεση σε αέριους ρύπους επιβαρύνει την υγεία των κατοίκων των μεγαλουπόλεων.

Αναφορές διαφόρων ερευνητών (Lacoure S. Et al., 2003) συνδέουν τα αυξημένα κρούσματα συγκεκριμένης φύσης παθήσεων, όπως πνευμονικές (άσθμα) και καρδιαγγειακές (αρτηριακή πίεση) και αλλεργιών, με την αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων (μικροσωματιδιακοί ρυπαντές) και ρύπων που προέρχονται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων, τις πυρκαγιές των δασών, τις εκπομπές βιομηχανιών κ.λπ. (UNEP, 1997)

Αναφορές από τις ΗΠΑ λένε ότι αυξημένη έκθεση σε σωματίδια κυκλοφοριακής ρύπανσης σχετίζεται με υψηλότερα επίπεδα αρτηριακής πίεσης (αύξηση κατά 3.02 mmHg σε συστολική αρτηριακή πίεση, αύξηση 1,96 mmHg στη διαστολική πίεση και 2,30 mmHg αύξηση στη μέση αρτηριακή πίεση σύμφωνα με τον οργανισμό American Heart Association). Η σχέση μεταξύ μακροπρόθεσμης έκθεσης στα σωματίδια της κυκλοφοριακής κίνησης και των υψηλών αρτηριακών πιέσεων μπορεί να εξηγήσει τη σχέση μεταξύ ρύπανσης, εμφραγμάτων και καρδιακών θανάτων που έχουν αναφερθεί σε αναδρομικές ιατρικές μελέτες κατά το παρελθόν.

Φαίνεται λοιπόν πως η ποιότητα του αέρα συνδέεται με την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Οπότε η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα μεγάλα αστικά κέντρα είναι θεμελιώδους σημασίας για την λήψη μέτρων προστασίας της υγείας των κατοίκων. Σε αυτό το πλαίσιο εντάσσεται και η μελετημένη προσθήκη πρασίνου στις πόλεις και στις οδούς πυκνής κυκλοφορίας (Zahngr., et al, 2003, Nevo E, 2001).

**Πίνακας 2.1: Οι τεχνικές που ακολουθούνται για την μέτρηση επιλεγμένων αέριων ρύπων (πηγή : 2007 ΠΕΡΠΑ).**

Ρύπος	Χρονική Βάση Μετρήσεων	Μέθοδος Μέτρησης
Μονοξειδίο του Άνθρακα (CO)	1 ώρα	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
Οξειδία του αζώτου(NO, NO <sub>2</sub> )	1 ώρα	Χημειοφωταύγεια
Όζον (O <sub>3</sub> )	1 ώρα	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	1 ώρα	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ <sub>10</sub> ) <sup>7</sup>	1 ώρα	Απορρόφηση β ακτινοβολίας
Βενζόλιο - Τολουόλιο - Αιθυλοβενζόλιο, m-p-o Ξυλόλιο (BTEX)	1 ώρα	Αέρια χρωματογραφία (GC)

Για τους παραπάνω λόγους έχει αναπτυχθεί στην περιοχή της Αττικής από το ΠΕ.Ρ.Π.Α. που ανήκει στο πρώην Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (νυν Υ.Π.Ε.Κ.Α.) ένα εκτεταμένο δίκτυο αυτόματων μετρητών και αναλυτών των αέριων ρυπαντών. Οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται είναι πλήρως αυτοματοποιημένες, οι συσκευές που χρησιμοποιούνται ακολουθούν συγκεκριμένα πρωτόκολλα λειτουργίας και ελέγχου

<sup>7</sup> Η μέτρηση του μαύρου καπνού αντικαταστάθηκε με τη μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ<sub>10</sub>) σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία.

της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων και το σύστημα συλλογής των δεδομένων είναι επίσης αυτοματοποιημένο και ενοποιημένο με ένα αρκετά εκτεταμένο δίκτυο.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρέχει η συγκεκριμένη υπηρεσία, ο χρόνος απόκρισης των αυτόματων αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού, δηλαδή ο κάθε αναλυτής δίνει μία τιμή περίπου κάθε ένα λεπτό. Με τη χρήση ενός μικροεπεξεργαστή που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο τοπικό σταθμό μέτρησης, τα δεδομένα μεταφέρονται σε αυτόματους αναλυτές και υπολογίζονται οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης για κάθε μετρούμενο ρύπο. Οι τιμές μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της υπηρεσίας μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της εκάστοτε περιοχής όπου είναι εγκατεστημένος ο αναλυτής.

Η μέτρηση των ρύπων γίνεται επί 24ώρου βάσεως. Από το σύνολο των μετρούμενων παραμέτρων, μόνο οι μετρήσεις βροχόπτωσης δεν θεωρούνται απολύτως αξιόπιστες, αλλά τα σχετικά στοιχεία καλύπτονται πλήρως από την Ε.Μ.Υ. και Ι.Ε.Π.Β.Α. του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Στους δύο πίνακες που ακολουθούν (1.2.2. και 1.2.3.) παρουσιάζονται οι μετρούμενοι αέριοι ρύποι και οι περιοχές της Αττικής που είναι εγκατεστημένοι σταθμοί μέτρησης.



Πίνακας 2.2.:Εγκατεστημένοι σταθμοί μέτρησης αέριων ρύπων (πηγή ΠΕΡΠΙΑ 2007)

Σταθμός				Χαρακτηρισμός	Μετρούμενοι ρύποι					
Θέση										
ΟΝΟΜΑ	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο (m-asl)							
Αθήνας	23° 43' 30"	37° 58' 42"	100	Αστικός - Κυκλοφορίας	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	-	-
Αριστοτέλους	23°43' 39"	37° 59' 16"	95	Αστικός - Κυκλοφορίας	-	NO <sub>x</sub>	-	-	ΑΣ <sub>10</sub>	-
ΓΠΑ	23° 42' 25"	37° 59' 01"	50	Περισστικός - Βιομηχανικός	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	-	-
Λιόσια	23° 41' 52"	38° 04' 36"	165	Περισστικός - Υποβάθρου	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	-	O <sub>3</sub>	-	-
Λυκόβρυση	23° 46' 35"	38° 03' 11"	210	Περισστικός	-	NO <sub>x</sub>	-	O <sub>3</sub>	ΑΣ <sub>10</sub>	-
Μαρούσι	23° 47' 14"	38° 01' 51"	145	Αστικός - Κυκλοφορίας	-	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	ΑΣ <sub>10</sub>	-
Νέα Σμύρνη	23° 42' 54"	37° 55' 58"	50	Αστικός - Υποβάθρου	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	-	-
Πατησίων	23° 43' 59"	37° 59' 57"	105	Αστικός - Κυκλοφορίας	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	-	BTEX
Πειραιάς - ΠΕ-1	23° 38' 51"	37° 56' 36"	20	Αστικός - Κυκλοφορίας	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	ΑΣ <sub>10</sub>	-
Περιστέρη	23° 41' 46"	38° 00' 55"	80	Αστικός - Υποβάθρου	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	-	-
Αγ. Παρασκευή	23° 49' 10"	37° 59' 42"	290	Περισστικός - Υποβάθρου	-	NO <sub>x</sub>	-	O <sub>3</sub>	ΑΣ <sub>10</sub>	-
Γουδί	23° 46' 04"	37° 59' 04"	155	Αστικός - Κυκλοφορίας	-	NO <sub>x</sub>	-	-	ΑΣ <sub>10</sub>	-
Ελευσίνα	23° 32' 18"	38° 03' 05"	20	Περισστικός - Βιομηχανικός	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	-	O <sub>3</sub>	-	-
Ζωγράφου	23° 47' 13"	37° 58' 11"	245	Περισστικός - Υποβάθρου	-	NO <sub>x</sub>	-	O <sub>3</sub>	ΑΣ <sub>10</sub>	-
Θρακομακεδόνες	23° 45' 29"	38° 08' 37"	550	Περισστικός - Υποβάθρου	-	NO <sub>x</sub>	-	O <sub>3</sub>	ΑΣ <sub>10</sub>	-
Πανεπιστήμιο Πειραιά - ΠΕ-2	23° 39' 10"	37° 56' 32"	35	Αστικός - Υποβάθρου	-	NO <sub>x</sub>	-	O <sub>3</sub>	-	-
Αλιάρτος	23° 05' 24"	38° 22' 12"	110	Υποβάθρου	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	-	O <sub>3</sub>	-	-

## 2.4.Οι σημαντικότεροι φυτοτοξικοί ρύποι

Παραπάνω αναφέρθηκε ότι λόγω της χρήσης καύσιμων υδρογονανθράκων και λιθανθράκων, αλλά και άλλων αιτίων, συγκεντρώνονται στην ατμόσφαιρα αέρια που έχουν τοξική επίδραση στα φυτά. Το πρόβλημα αυτό συνδέεται με την ποιότητα και την ποσότητα της βλάστησης στα μεγάλα αστικά κέντρα και την απόδοση των καλλιεργούμενων φυτών.

Η αέριοι ρύποι μπορούν να έχουν άμεσες επιδράσεις στα φυτά, δημιουργώντας εμφανείς αλλοιώσεις στα φύλλα ή διευκολύνοντας προσβολές από παθογόνα. Εμμέσως μπορεί να δημιουργήσουν συνθήκες μειωμένης προσληψιμότητας απαραίτητων θρεπτικών από το εδαφικό διάλυμα (π.χ. η όξινη βροχή μπορεί να μειώσει το εδαφικό pH σε τέτοια επίπεδα ώστε να διαλυτοποιούνται και να εκπλένονται χρήσιμα ιχνοστοιχεία για τα φυτά).

Κάθε φυτικό είδος, μπορεί να αντιδράσει διαφορετικά στον ίδιο αέριο ρύπο. Παράγοντες που σχετίζονται με αυτό είναι το γενετικό υπόβαθρο και η γενετική πλαστικότητα του φυτού, το είδος του ρύπου, η διάρκεια έκθεσης, η ποσότητα του ρύπου, οι επικρατούσες κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία αέρα, άνεμος κ.λπ.), η ώρα της ημέρας, ανατομικά χαρακτηριστικά του φυτού κ.λπ.

**Πίνακας 2.3.: Αντιπροσωπευτική συγκέντρωση, χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα και μέγιστα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης σε σύντομα επεισόδια εκπομπής (για 30 - 60 λεπτά) των πιο σημαντικών ρυπαντών, (από Larcher, 1995)**

Ρυπαντής	Φυσική συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα (ppm)	Συγκέντρωση ρυπασμένης ατμόσφαιρας (ppm)	Μέσος χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα	Μέγιστα επιτρεπτά όρια (σε ppm)
CO <sub>2</sub>	360	400	2 - 6 έτη	?
CO	0,1	40 - 70	2 - 6 μήνες	?
SO <sub>2</sub>	0,0002	0,2	1 - 10 ημέρες	?
NH <sub>3</sub>	0,01	0,1	2 - 14 ημέρες	?
N <sub>2</sub> O	0,25	-	4 - 10 έτη	?
NO	< 0,002	1 - 2	3 - 6 ημέρες	?
NO <sub>2</sub>	< 0,004	0,2	5 - 10 ημέρες	0,1 - 0,3
O <sub>3</sub>	0,02	0,5	ημέρες ή μήνες	0,15 - 0,3
VOCs	< 0,02	0,3	περίπου δύο ημέρες	?
PAN	?	0,01 - 0,02	?	0,02

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί και η περιοδική παρουσία αέριων ρύπων, ιδιαίτερα τοξικών και επικίνδυνων σε ποσότητες της τάξης των pg, που προέρχονται από την καύση αποβλήτων σε χωματερές ή βιομηχανικές μονάδες ή προκύπτουν από την πλημμελή συντήρηση μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων βιομηχανικού ή υγειονομικού ενδιαφέροντος. Χαρακτηριστικότερα όλων είναι τα φαινορικά παράγωγα που περιέχουν βενζολικούς δακτυλίους και γενικά οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες και οι διοξίνες.

## 2.5. Πρωτογενείς ρύποι.

Οι πρωτογενείς ρύποι απαντώνται στην ατμόσφαιρα στην μορφή με την οποία εκλύονται από τις πηγές τους. Πρωτογενείς αέριοι ρύποι είναι το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του

άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το υδροφθόριο (HF), το αιθυλένιο (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), ο μόλυβδος (Pb), τα αλογόνα (Cl, Br, I, F) και οι ενώσεις τους και ο αμίαντος<sup>8</sup>.

### 2.5.1. Διοξείδιο του Θείου (SO<sub>2</sub>)

Το αέριο αυτό προκύπτει από την καύση γαιανθράκων (πετρέλαιο, λιγνίτης). Εκπέμπεται από τις χαρτοβιομηχανίες και χημικές βιομηχανίες, κεντρικές θερμάνσεις πολυκατοικιών, διυλιστήρια πετρελαίου και εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Είναι άχρωμο και άοσμο. Σε υψηλές συγκεντρώσεις αναδεικνύει έντονη ερεθιστική οσμή και δημιουργεί αιθαλομίχλη. Υψηλές συγκεντρώσεις ανιχνεύονται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας προκαλώντας βλάβες στη βλάστηση. Συνδυαστικά με την υγρασία της ατμόσφαιρας, αντιδρά και σχηματίζει το H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> που προκαλεί το φαινόμενο της όξινης βροχής<sup>9</sup>.

Το SO<sub>2</sub> εισέρχεται στα φύλλα μέσω των στομάτων και κατά ένα ποσοστό 15% μπορεί να εισέλθει απ' ευθείας στο έλασμα του φύλλου μέσω της εφυμενίδας. Μέσα στο φύλλο μετατρέπεται σε ιόντα HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> και SO<sub>3</sub><sup>-</sup> που είναι τοξικά για το φυτό. Τελικά μετατρέπεται σε SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> που δεν έχει τοξική δράση. Σημασία έχει ο ρυθμός συσσώρευσης τοξικών/μη τοξικών ιόντων στον ιστό.

Το SO<sub>2</sub> έχει σημαντική επίδραση στους χλωροπλάστες και την απόδοση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας. Σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλούνται βλάβες στις χλωροπλαστικές μεμβράνες και παρεμποδίζεται η λειτουργία της Rubisco και της PEP καρβοξυλάσης.

Εάν ευνοηθεί η συγκέντρωση των τοξικών ιόντων, τότε εμφανίζονται συμπτώματα φυτοτοξικότητας όπως αποχρωματισμός των φύλλων (χλώρωση και λεύκανση), νεκρώσεις στην περιφέρεια του ελάσματος του φύλλου και μεταξύ των νευρώσεων, μεσονεύρια χλώρωση. Το αέριο αυτό έχει συσσωρευτική επίδραση στα φυτά, δηλαδή η δράση του είναι αθροιστική και όπως ισχύει για πολλές άλλες χημικές ενώσεις, σημαντικό ρόλο για την τελική επίδραση παίζει ο βαθμός απορρόφησης του από το φυτό. Σε μερικές περιπτώσεις η αυξημένη παρουσία του SO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα προκαλεί κλείσιμο των στομάτων με επίπτωση στην απόδοση της φωτοσύνθεσης.

### 2.5.2. Το υδροφθόριο (HF)

Το φθόριο από μόνο του είναι ένα πάρα πολύ ισχυρό οξειδωτικό στοιχείο. Το φθόριο και τα άλατά του παράγονται κατά την επεξεργασία διαφόρων ορυκτών, όπως είναι ο βωξίτης. Επίσης παράγονται από εργοστάσια επεξεργασίας γυαλιού και χημικών λιπασμάτων. Τα φυτά έχουν μικρή ποσότητα φθορίου στα φύλλα τους (<10 ppm) καθώς στο έδαφος είναι περιορισμένη η ποσότητα του διαλελυμένου φθορίου.

Η συσσώρευσή του στο φύλλωμα μπορεί να προκαλέσει εμφανείς βλάβες όπως είναι η νέκρωση περιφερειακών περιοχών του ελάσματος των φύλλων σε δικοτυλήδονα και επάκρων περιοχών των φύλλων σε μονοκοτυλήδονα φυτά (καλλιεργούμενα και μη καλλιεργούμενα).

### 2.5.3. Το αιθυλένιο (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

<sup>8</sup> Ο αμίαντος, ήταν προϊόν εξόρυξης και χρησιμοποιήθηκε επί σειρά ετών στην κατασκευή οικοδομικών υλικών. Σήμερα η χρήση του έχει απαγορευθεί με νομοθετική ρύθμιση σε όλη την Ε.Ε. καθώς έχει αποδειχθεί η σχέση του με πνευμονικές νόσους π.χ. πνευμονοκονιώσεις και καρκινογενέσεις π.χ. μικροκυτταρικός καρκίνος του πνεύμονα.

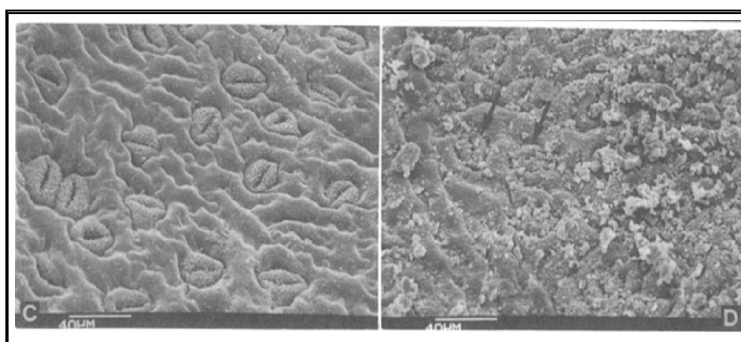
<sup>9</sup> Η όξινη βροχή, εκτός της μείωσης του pH που προκαλεί σε έδαφος και νερό με όλες τις επακόλουθες επιπτώσεις, είναι υπεύθυνη και για την αλλοίωση των αρχαιολογικών μνημείων, προκαλώντας γυνοποίηση του μαρμάρου που είναι ασβεστολιθικής φύσης.

Το αέριο αυτό ελευθερώνεται από τις εξατμίσεις αυτοκινήτων, την καύση γαιανθράκων (πετρέλαιο, λιγνίτης), την καύση του φυσικού αερίου και τις χημικές βιομηχανίες. Χαρακτηρίζεται ως ρύπος τοπικής και μικρής σημασίας.

Η φυτοτοξικότητα του αιθυλενίου εμφανίζεται στα φύλλα σε συγκεντρώσεις της τάξης του 0,1 ppm. Συμπτώματα που έχουν καταγραφεί είναι ανάσχεση της βλάστησης, η επιναστία, πρόωρη φυλλόπτωση, ανώμαλη άνθιση και σκουρόχρωμες νεκρωτικές κηλίδες σε καρπούς.

#### 2.5.4. Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ<sub>x</sub>)

Η ρύπανση του είδους αυτού έχει εντοπισμένο χαρακτήρα. Περιορίζεται σε



Εικόνα 2.2. Φωτογραφία από ΗΜ σάρωσης, όπου φαίνεται η απαξονική επιφάνεια φύλλου του είδους *Laurus nobilis*. Τα στόματα είναι καλυμμένα από μικροσωματίδια αέριων ρύπων (από Χριστοδουλάκης και Φασσέας, 1990).

περιοχές που υπάρχουν εργοστάσια τσιμέντου, αυτοκινητόδρομοι (από την τριβή των ελαστικών και το οδόστρωμα) και λατομικές ή άλλες δραστηριότητες. Τα φύλλα των φυτών βοηθούν στην γρήγορη απομάκρυνσή τους από την κατώτερη ατμόσφαιρα καθώς προσκολλώνται στην επιφάνειά του ελάσματος. Σε αρκετά είδη η επικάλυψη σκόνης στα φύλλα προκαλεί έμφραξη των στοματικών πόρων

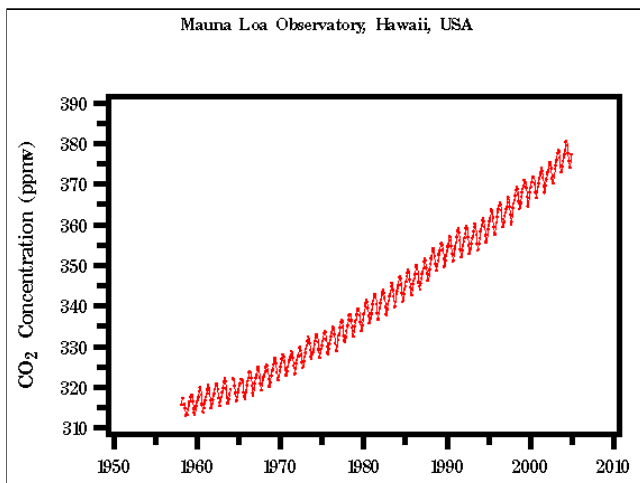
μειώνοντας την αγωγιμότητα τους ως προς το CO<sub>2</sub> και κατά συνέπεια επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα τη φωτοσυνθετική λειτουργία.

#### 2.5.5. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Αποτελεί φυσικό συστατικό της γήινης ατμόσφαιρας. Είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Ως ρύπος εκπέμπεται κυρίως από τις εξατμίσεις των μηχανών εσωτερικής καύσης (μέσα μεταφοράς, καυστήρες) και όταν γίνεται ατελής καύση υλικών (ξύλου κ.λπ.). Σε συνθήκες κυκλοφοριακής αιχμής αυξάνεται η συγκέντρωσή του. Επειδή λειτουργεί ανταγωνιστικά με την αιμοσφαιρίνη ως προς την δέσμευση του οξυγόνου, η αύξηση της μερικής πίεσης του μονοξειδίου του άνθρακα στο αίμα μειώνει την ικανότητα της αιμοσφαιρίνης να μεταφέρει οξυγόνο στους ιστούς. Σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι επικίνδυνο για την υγεία και την ζωή. Δεν έχουν καταγραφεί ιδιαίτερες επιπτώσεις του αερίου αυτού στα φυτά.

### 2.5.6. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Το αέριο αυτό είναι τοξικό για τον άνθρωπο σε μεγάλες συγκεντρώσεις και εκλύεται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης αλλά και από φυσικές διαδικασίες που επιτελούνται στα βιοσυστήματα. Το διοξείδιο του άνθρακα δεν μπορεί να θεωρηθεί ακριβώς ως ρύπος για τα φυτά, καθώς



Εικόνα 2.3. Η μεταβολή της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub>, της ατμόσφαιρας, όπως καταγράφηκε από τα μέσα της δεκαετίας του 50', στον ωκεανογραφικό σταθμό Mauna Loa της Χαβάης. Οι ταλαντώσεις της συγκέντρωσης οφείλονται στις αυξομειώσεις της βιομάζας της βλάστησης του Βορείου ημισφαιρίου (από Kent O. Burkey et al, 2009).

είναι απαραίτητο αέριο για την φωτοσύνθεση. Για τα φυτά έχει σημασία μόνο η σχετική του ποσότητα στην ατμόσφαιρα, γεγονός που συνδέεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και γύρω από τους χλωροπλάστες αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την απόδοση της φωτοσύνθεσης. Αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αναμένεται, σύμφωνα με υποθετικές εκτιμήσεις, να αυξήσει ανάλογα την απόδοση της φωτοσύνθεσης των C<sub>3</sub> φυτών. Όμως, ως αέριο του θερμοκηπίου, η αύξηση της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα συμβάλλει παράλληλα στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Όπως είναι φυσικό, ακόμα και σε φυσιολογικές συνθήκες, η παροχή του CO<sub>2</sub> προς τα φυτά, πρέπει να ακολουθεί έναν ορισμένο ρυθμό ώστε να προλαβαίνει να αφομοιωθεί. Σε συνθήκες αυξημένης παροχής διοξειδίου του άνθρακα και ανάλογα με το είδος του φυτού τα στόματα ανοίγουν περιορισμένα ώστε να περιορίζονται οι διαπνευστικές απώλειες. Η υπερβολική παροχή διοξειδίου του άνθρακα, μπορεί να προκαλέσει, υπερσυσσώρευση αμύλου στους χλωροπλάστες, υπερτροφικά φύλλα πιο μαλακά και με χαμηλότερο λόγο επιφάνειας/ξηρού βάρους, υπερεπάρκεια σε υδατάνθρακες με μεταβολή του λόγου υπέργειου/υπόγειου τμήματος, αύξηση της αναπνοής της ρίζας, απώλεια σκελετών άνθρακα και μείωση της παραγωγής ανθέων και καρπών. Επίσης, αναμένεται ότι η αύξηση του διοξειδίου της ατμόσφαιρας θα κάνει τα C<sub>4</sub> φυτά να χάσουν το πλεονέκτημα που έχουν έναντι των C<sub>3</sub> φυτών, εξαιτίας της αφομοίωσης του CO<sub>2</sub> από την καρβοξυλάση του PEP.

### 2.6. Δευτερογενείς ρύποι

Όπως αναφέρθηκε συνοπτικά και πιο πάνω, οι δευτερογενείς ρύποι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν μεταξύ των πρωτογενών ρύπων, ατμοσφαιρικών συστατικών και υδρατμών. Οι αντιδράσεις αυτές είναι πιο έντονες τις ημέρες όπου υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια (υψηλή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας), υψηλή θερμοκρασία, χαμηλή ένταση ανέμων και υψηλή συγκέντρωση διαχεόμενων ρύπων. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται και το φωτοχημικό νέφος, που είναι χαρακτηριστικό του αττικού ουρανού τους καλοκαιρινούς μήνες, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια ημερών με άπνοια. Το φωτοχημικό νέφος, χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, όζοντος και PAN, με επικρατούντα τα δύο τελευταία αέρια.

### 2.6.1. Υπεροξείακετυλονιτρικό οξύ - νιτρικό υπεροξείακετύλιο [PAN, CH<sub>3</sub>C(O)OONO<sub>2</sub>]

Το PAN εμφανίζεται στην ατμόσφαιρα δευτερογενώς με απευθείας ένωση του NO<sub>2</sub> με τις υπεροξείακετυλικές ρίζες που με τη σειρά τους παράγονται φωτοχημικά από τους άκαυστους υδρογονάνθρακες των καυσαερίων που εκλύονται κυρίως από τα αυτοκίνητα. Γι' αυτό και οι συγκεντρώσεις του είναι αυξημένες σε περιοχές όπου υπάρχουν αυτοκινητόδρομοι πυκνής κυκλοφορίας, αιθαλομίχλη και θερμοκρασιακές αναστροφές. Εμφανίζεται παράλληλα με το όζον τις ημέρες των φωτοχημικών επεισοδίων. Δεν διασπάται γρήγορα και παραμένει στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα, γεγονός που ευνοεί την μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις με την επίδραση των ανέμων. Ιδιαίτερα βλαπτική είναι η επίδρασή του σε καλλιέργειες, φυσική βλάστηση και βλάστηση αστικών και περιαστικών περιοχών.

Χαρακτηριστικά συμπτώματα τοξικότητας οφειλόμενης σε PAN είναι η εμφάνιση κηλίδων λευκού χρώματος, εικόνα γνωστή και ως αργύρωση. Επίσης, μπορεί να εμφανίζονται κηλίδες ορειχάλκινου χρώματος (μπρούτζινη απόχρωση) στην απαξονική (κάτω) φυλλική επιφάνεια. Ιδιαίτερα αυτό το σύμπτωμα οφείλεται στην αποκόλληση της εφυμενίδας της απαξονικής επιφάνειας και την εισρροή αέρα, που προκαλεί κατάρρευση των κυττάρων και σχηματισμό αέριων χώρων στο μεσόφυλλο. Επίσης το PAN συσσωρεύεται στους μεσοκυττάριους χώρους του δρυφρακτοειδούς παρεγχύματος της απαξονικής επιφάνειας. Τοξικές συγκεντρώσεις θεωρούνται οι άνω του 0,1 ppm.

Δεν έχει διαπιστωθεί ακριβώς η οδός της τοξικής δράσης PAN, όμως το φως είναι αναγκαίος παράγοντας για την εκδήλωσή της. Θεωρείται ότι περισσότερο ευαίσθητα στο PAN είναι πόες και καλλιεργούμενα λαχανικά παρά δέντρα και θάμνοι. Όμως και πάλι, το αναπτυξιακό στάδιο παίζει ρόλο στην εκδήλωση, το είδος και την έκταση των συμπτωμάτων.

### 2.6.2. Οξείδια του αζώτου (NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>)

Τα NO<sub>x</sub> συμμετέχουν στις φυσικοχημικές διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και προκαλούν την όξινη βροχή. Το NO<sub>2</sub> ελευθερώνεται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης και προκαλεί αποχρωματισμό των πράσινων οργάνων των φυτών, τα οποία λαμβάνουν μία μπρούτζινη απόχρωση. Άλλα συμπτώματα είναι η λεύκανση και η χλώρωση των φύλλων. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις η επίδραση του αφορά στη μείωση της ανάπτυξης των φυτών.

### 2.6.3. Όζον (O<sub>3</sub>)

Το όνομα OZON προέρχεται από το αρχαιοελληνικό ρήμα OZΩ που σημαίνει "μυρίζω άσχημα, αποπνέω δυσοσμία, βρομάω" και εκφράζει την χαρακτηριστική δυσοσμία αυτού του χημικού στοιχείου εξαιτίας της οποίας και ανακαλύφθηκε το 1785 από τον Βαν Μάρουμ ( Van Marum), κατά τη χρήση ηλεκτρικού σπινθήρα δια μέσου οξυγόνου. Έχει χρώμα ανοικτό κυανό.

Από χημική άποψη το όζον είναι μια αλλοτροπική μορφή οξυγόνου. Η διαφορά του με το οξυγόνο έγκειται στο γεγονός ότι ενώ κάθε μόριο οξυγόνου αποτελείται από δυο άτομα (O<sub>2</sub>) το μόριο του όζοντος συνίσταται από τρία άτομα οξυγόνου (O<sub>3</sub>), και είναι το μοναδικό τριατομικό στοιχείο. Το ένα επιπλέον άτομο, κάνει το όζον εξαιρετικά θανατηφόρο ακόμα και σε ελάχιστη ποσότητα.

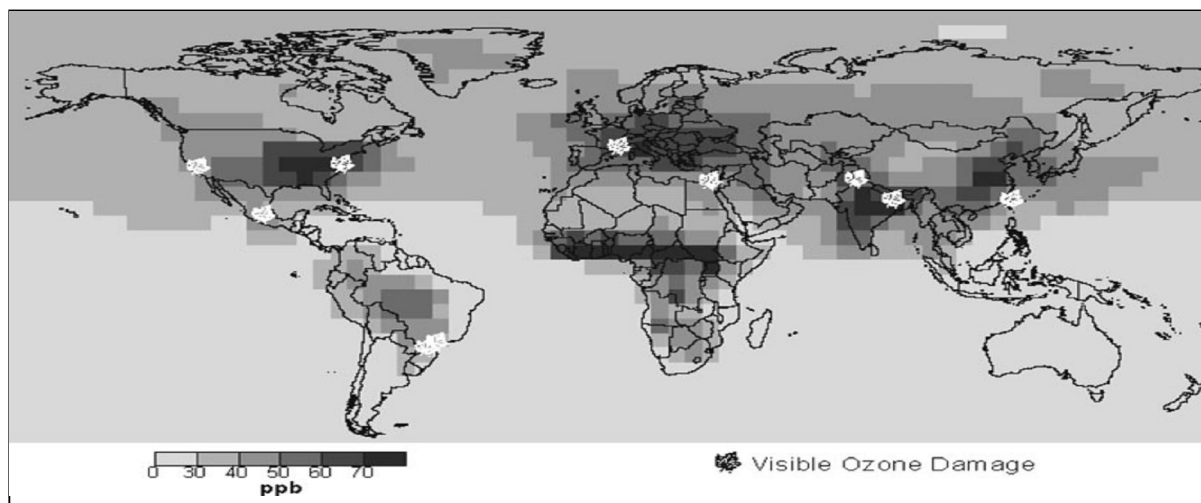
Εξαιτίας της ισχυρής του οξειδωτικής δράσης, χρησιμοποιείται για την αποστείρωση του νερού καθώς δεν αφήνει και υπολείμματα μετά την δράση του όπως συμβαίνει με το χλώριο.

Το όζον επιδρά καταστρεπτικά σε υλικά οργανικής προέλευσης, όπως ελαστικά οχημάτων, υφάσματα, ελαστικούς σωλήνες άρδευσης κ.λπ.

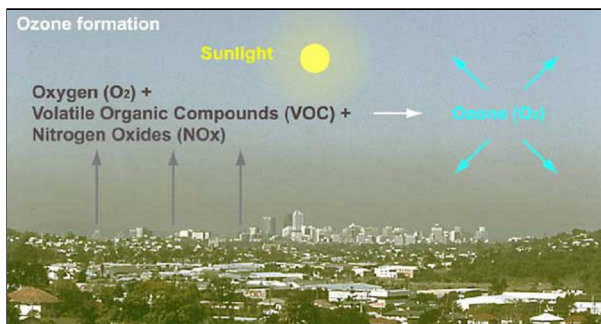
Θεωρείται ως ο πλέον φυτοτοξικός αέριος ρύπος. Παράγεται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης και μέσω φωτοχημικών διεργασιών που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και συγκεκριμένα στην τροπόσφαιρα. Επίσης παράγεται ηλεκτροχημικά από τις αστραπές και άλλα φυσικά φαινόμενα. Συνθήκες ιδανικές για τον σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος είναι θερμοκρασίες άνω των 32 °C, χαμηλής έντασης άνεμος, έντονη ηλιακή ακτινοβολία και μικρής διάρκειας βροχοπτώσεις. Η μικρή φυσιολογικά συγκέντρωση του όζοντος στην ατμόσφαιρα συχνά αυξάνεται περιστασιακά, π.χ. μετά από καταιγίδες, λόγω του ιονισμού που προκαλούν στον αέρα οι αστραπές και οι κεραυνοί.

Η δευτερογενής ανακλαστική ακτινοβολία-στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος- της θερμής επιφάνειας της γης πίσω προς τον διαστημικό χώρο απορροφάται κατά ένα μέρος από τα χαμηλότερα της τροπόσφαιρας, κοντά στη γήινη επιφάνεια, η οποία θερμαίνεται περισσότερο. Πάνω από την τροπόσφαιρα, ανάμεσα στα 15 και 50 κλμ. είναι η στρατόσφαιρα. Σ' αυτό το στρώμα της ατμόσφαιρας η θερμοκρασία αυξάνεται με το ύψος μέχρι το ανώτατο όριο της όπου αυτή (η στρατόσφαιρα) γίνεται το ίδιο ζεστή με την επιφάνεια της θάλασσας. Τα δύο αυτά στρώματα, τροπόσφαιρα και στρατόσφαιρα αντιπροσωπεύουν το 99% της συνολικής μάζας της ατμόσφαιρας. Το υπόλοιπο 1% μοιράζονται τα άλλα δύο ανώτερα στρώματα, η μεσόσφαιρα και η θερμόσφαιρα.

Εικόνα 2.4. Παγκόσμια κατανομή των μέσων και μέγιστων συγκεντρώσεων όζοντος, βασισμένος στις εκλύσεις του έτους 1990. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ατμοσφαιρικής χημείας του Collins et al, 2000. Οι περιοχές όπου εντοπίστηκαν βλάβες από την επίδραση αυξημένων συγκεντρώσεων όζοντος, κατά την βλαστητική – αυξητική περίοδο, προβάλλονται σύμφωνα με τον Emerson et al, 2003.



Το περισσότερο από το ατμοσφαιρικό όζον σχηματίζεται μέσα στα όρια της στρατόσφαιρας από τη επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στο οξυγόνο.

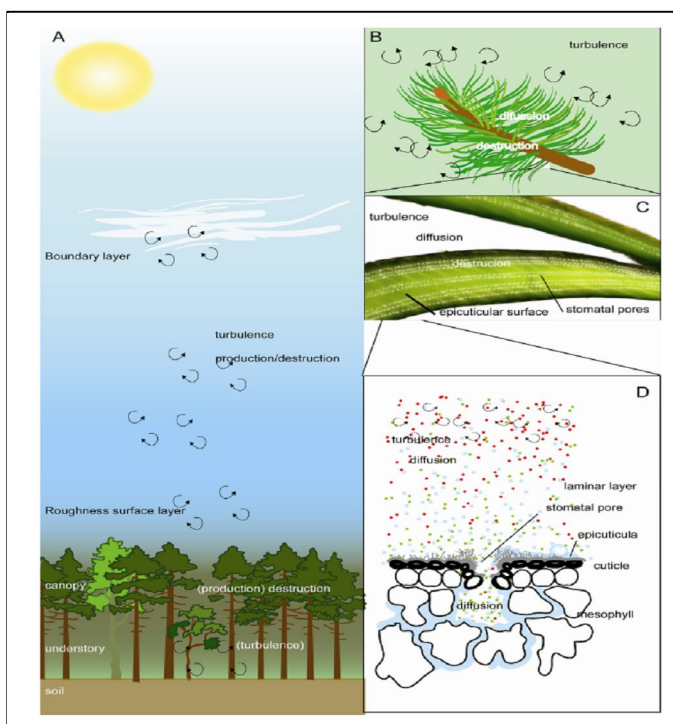


Εικόνα 2.5. Φωτοχημικός σχηματισμός του όζοντος στην κατώτερη ατμόσφαιρα, με την συνδιασμένη δράση ηλιακής ακτινοβολίας και αέριων ρύπων.

Αυτό το στρώμα είναι η οζονόσφαιρα και βρίσκεται σε ύψος περίπου 30 χλμ. από την επιφάνεια της γης. Το διατομικό οξυγόνο παραγόμενο στην τροπόσφαιρα - από ζωντανούς οργανισμούς- ανέρχεται προς την στρατόσφαιρα και απορροφά ηλιακή ενέργεια ( $h\nu$ ), οπότε διασπάται σε δύο άτομα οξυγόνου ( φωτοχημική - $h\nu$ -διάσπαση). Τα δύο άτομα οξυγόνου - παρουσία καταλύτη (αέριοι ρύποι ανθρωπογενούς προέλευσης ή ηλεκτρική εκκένωση ή φυσικό χημικό στοιχείο)

ενώνονται χημικά με δύο άλλα διατομικά μόρια οξυγόνου, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται δύο μόρια όζοντος ( $O_3$ ). Καταλύτης της παραπάνω αντίδρασης είναι συνήθως το άζωτο ( $N_2$ ), το οποίο βρίσκεται σε αφθονία στον ατμοσφαιρικό αέρα (75% v/v). Η αντίδραση παραγωγής του όζοντος εκλύει ενέργεια προς τα μόρια του αζώτου που αρχίζουν να κινούνται ταχύτερα λόγω θέρμανσης. Αυτό έχει ως συνέπεια

την πρόσθετη θέρμανση της στρατόσφαιρας σ' αυτή τη ζώνη (Ζώνη της Σιγής). Αυτή είναι και η αιτία της ανώμαλης διάδοσης του ήχου σε αυτό το ύψος. Η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας (23% v/v), ελεύθερου οξυγόνου στην ατμόσφαιρα εξηγεί τη διατήρηση του στρώματος του όζοντος



Εικόνα 2.6: Η κυκλοφορία των ρύπων μέσω της κυκλοφορίας του αέρα σε διαφορετικές κλίμακες. Α. Στον υποόροφο και στο όριο του στρώματος με τον υπερκείμενο ατμοσφαιρικό αέρα. Β. Σε τμήμα βλαστού. C. Στην επιφάνεια του φυλλώματος σε επαφή με την παραξονική επιφάνεια και τους στοματικούς πόρους. D Υπόδειξη τομής στοματικού πόρου. Οι κοκκίδες αντιστοιχούν σε ατμοσφαιρικούς ρύπους : κόκκινο =  $O_3$  μπλέ = υδρατμοί, πράσινες = BVOCs

Το όζον ( $O_3$ ) δεν παράγεται συνεχώς αυτόματα πάνω από την τροπόσφαιρα γιατί τα μόριά του αντιδρούν τόσο με το ηλιακό φως όσο και με άλλα χημικά στοιχεία, με αποτέλεσμα να επαναδιασπάται προς οξυγόνο. Επειδή το μόριο του όζοντος περιέχει μεγάλη ποσότητα ενέργειας, είναι ασταθές χημικά, οπότε εύκολα μεταπίπτει σε μοριακό οξυγόνο ( $O_2$ ). Η μετάπτωση αυτή ευνοείται από τις υψηλές θερμοκρασίες ή την παρουσία καταλυτικής δράσης άλλων στοιχείων ή χημικών ενώσεων.

Η διάσπαση του τριατομικού όζοντος ( $O_3$ ) σε μοριακό διατομικό οξυγόνο ( $O_2$ ) είναι μια φυσική διαδικασία αποσύνθεσης του όζοντος,

που οδηγεί σε μία ισορροπία που διατηρεί σταθερή τη συγκέντρωσή του στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Αυτή η φυσική ισορροπία, ανατρέπεται από χημικές ενώσεις ανθρωπογενούς προέλευσης που χαρακτηρίζονται ως "κυνηγοί του όζοντος". Τέτοιες



ενώσεις είναι το χλώριο (Cl) και οξείδια του αζώτου (NOx). Το χλώριο παράγεται, εκτός από τις φυσικές του πηγές, σε μεγαλύτερη ποσότητα, από το αέριο φρέον (Freon) που χρησιμοποιήθηκε εκτενώς ως αέριο σε κλειστά συστήματα ψύξης και κλιματισμού. Αυτά τα αέρια (χλωροφθοράνθρακες), όταν βρεθούν στην ατμόσφαιρα με την επίδραση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας διασπώνται και δίνουν το δραστικό χλώριο.

Οι τιμές του όζοντος στην κατώτερη ατμόσφαιρα καταγράφονται πιο υψηλές τους θερινούς μήνες και γενικά τις θερμές περιόδους.

Τα συμπτώματα του όζοντος εντοπίζονται κυρίως στην απαξονική επιφάνεια των φύλλων, αλλά μπορεί να επεκταθούν και στην παραξονική. Το είδος και η σοβαρότητα των βλαβών, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που συνδράμουν, όπως είναι η διάρκεια της επίδρασης, η συγκέντρωση, οι καιρικές συνθήκες, και το γενετικό υπόβαθρο του φυτικού είδους. Αν και μία γενική άποψη που επικρατεί αναφέρει ότι η βασική βλάβη που προκαλεί το όζον στα φυτικά κύτταρα είναι η καταστροφή των μεμβρανών, υπάρχουν περιπτώσεις, όπου η επίδραση ίδιων ποσοτήτων όζοντος, σε διάφορα φυτικά είδη, επιφέρει διαφορετικού είδους βλάβες. Ένας πιθανός παράγοντας που επαυξάνει την επίδραση του όζοντος, είναι το CO<sub>2</sub>.

Το όζον εισέρχεται στα φύλλα μέσω των στομάτων προκαλώντας βλάβες κυρίως σε επίπεδο κυττάρων του μεσόφυλλου. Με αυτόν τον τρόπο όμως παρεμποδίζει την φωτοσύνθεση και την αναπνοή. Μεγάλες συγκεντρώσεις όζοντος μπορεί να προκαλέσουν συμπτώματα που σχετίζονται με χημικές διαφοροποιήσεις στην εφυμενίδα του φύλλου, τη διάσπαση της χλωροφύλλης, την ρήξη κυττάρων μεσόφυλλου λόγω της αύξησης R.O.S., την καταστροφή ή υποβάθμιση του δρυφρακτοειδούς παρεγχύματος και την εμφάνιση λευκωπών κηλίδων στην επάνω επιφάνεια του φύλλου (βλ. παρακάτω).

## 2.7. Συσχέτιση των συγκεντρώσεων όζοντος και διοξειδίου του άνθρακα

Το όζον και το διοξείδιο του άνθρακα, είναι αέρια που αποτελούν φυσιολογικά συστατικά της γήινης ατμόσφαιρας. Το όζον είναι φυσικό συστατικό της στρατόσφαιρας κυρίως και λιγότερο της τροπόσφαιρας.

Τα δύο αυτά αέρια χαρακτηρίζονται ως «*αέρια του θερμοκηπίου*» (*greenhouse gases*) λόγω της ιδιότητας τους να απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία (UV-B, UV-A radiation). Επομένως, η παρουσία τους, έτσι και αλλιώς συμβάλλει στην λειτουργία της ατμόσφαιρας και την προστασία της ζωής πάνω στη Γη και η αύξηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα σημαίνει αυξημένη απορρόφηση και κατακράτηση θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Η ένταση του φαινομένου έχει δυσμενή αποτελέσματα στην κατώτερη ατμόσφαιρα, όπου ζουν οι ζωντανοί οργανισμοί. Τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα που διαμορφώθηκαν εξελικτικά, βοηθούν στην διατήρηση θερμοκρασιακών ορίων μέσα στα οποία έχει προσαρμοστεί η ζωή. Επομένως το «*φαινόμενο του θερμοκηπίου*» αποτελεί έναν φυσιολογικό μηχανισμό της ατμόσφαιρας, γι' αυτό και η αύξηση των σχετικών αερίων στην ατμόσφαιρα, που επιτείνει την κατακράτηση θερμότητας και οδηγεί στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας αέρα, έχει χαρακτηριστεί ως «*φαινόμενο του επαυξημένου θερμοκηπίου*». Το διοξείδιο του άνθρακα, όπως είναι γνωστό, έχει μεγάλη σημασία στην πρωτογενή παραγωγή βιομάζας, καθώς αποτελεί την πηγή ανόργανου άνθρακα (C<sub>i</sub>) για τις βιοσυνθετικές αντιδράσεις της σκοτεινής φάσης της φωτοσύνθεσης στα C<sub>3</sub> φυτά (κύκλος Calvin).

Το διοξείδιο του άνθρακα, προκειμένου να προσληφθεί και να αφομοιωθεί φωτοσυνθετικά, πρέπει να δράσει το ένζυμο Rubisco (1,5 οξυγονάση/ καρβοξυλάση της διφωσφορικής ριβουλόζης) στο υπόστρωμα RuBP (1,5 διφωσφορική ριβουλόζη).

Στα C3 φυτά, που είναι και τα επικρατέστερα στον πλανήτη (σε αυτή την κατηγορία ανήκουν όλα τα είδη δέντρων) η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας, πιθανόν επιδρά θετικά, καθώς ενισχύονται οι ενδοκυτταρικές συγκεντρώσεις του αερίου γύρω από τις θέσεις δράσεις της Rubisco. Έτσι ευνοείται η δράση καρβοξυλάσης του ενζύμου, που είναι απαραίτητη για την φωτοσυνθετική αφομοίωση του άνθρακα που προέρχεται από το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα (Bowes, 1992).

Η πρόσληψη του διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης, άμεσα σημαίνει καθαρό κέρδος σε άνθρακα (C3 φυτά). Αύξηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αναμένεται ότι θα επιφέρει αύξηση της απόδοσης της φωτοσύνθεσης στα C3, παρά το ότι σύμφωνα με τον Amthor, (1997), ο εγκλιματισμός μπορεί να λειτουργήσει αντίθετα, αποσβένοντας την αυξημένη επίδραση της παρουσίας του διοξειδίου του άνθρακα στην βελτίωση του φωτοσυνθετικού τάχους. Σε αυτό το σημείο, εντάσσεται η διερεύνηση της επίδρασης του όζοντος στην απόδοση της φωτοσυνθετικής συσκευής και ιδιαίτερα στην πιθανή αποδόμηση ή αρνητική επίδραση στο τάχος σύνθεσης επιμέρους σημαντικών συστατικών της όπως είναι οι χλωροφύλλες. Η παρουσία αυξανόμενων συγκεντρώσεων όζοντος, μπορεί να επιδράσει στην πρόσληψη του διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά και την απόδοση της φωτοσύνθεσης (καθαρό κέρδος σε άνθρακα, τάχος φωτοσύνθεσης). Αυτό εν μέρει, μεταφράζεται στην επίδραση του όζοντος στις φωτοσυνθετικές χρωστικές και ιδιαίτερα στις σημαντικότερες από αυτές (χλωροφύλλες, Chl-a, Chl-b).

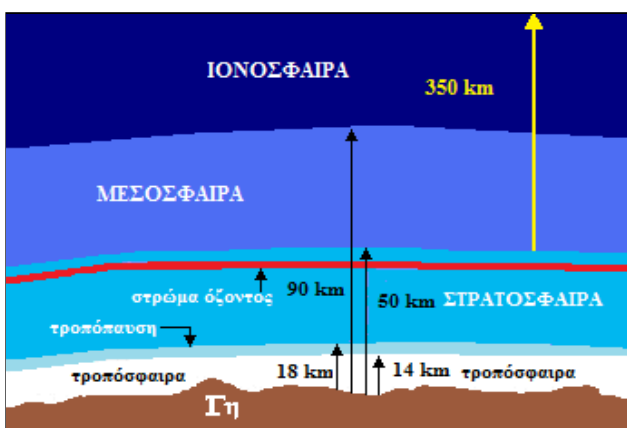
Μελέτες που διερευνούν την συνδυασμένη δράση όζοντος και διοξειδίου του άνθρακα στα φυτά, αναφέρουν ότι στο σιτάρι (*Triticum aestivum*) παρατηρείται αυξημένη ενεργότητα της Rubisco υπό αυξημένα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και όζοντος (McKee et al, 1997). Επίσης, επίδραση υψηλών επιπέδων όζοντος και χαμηλών επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα στο δέντρο *Populus tremuloides* (είδος λεύκας) επέφεραν μεγαλύτερη μείωση στο τάχος φωτοσύνθεσης απ' ότι καταγράφεται συνήθως. Η επίδραση του όζοντος παρατηρείται ότι είναι πιο έντονη πριν την περίοδο ανθοφορίας για τα φυτά. Σε αντιπαραβολή, ερευνητές αναφέρουν, ότι υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, αναστέλλουν τις αρνητικές συνέπειες της επίδρασης σχετικά υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος. Ομοίως η υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία εμποδίζει την βλαπτική δράση του όζοντος, προφανώς διότι δεν ευνοεί την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών, όπως γίνεται σε ξηροθερμικές συνθήκες.



## 3

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ -

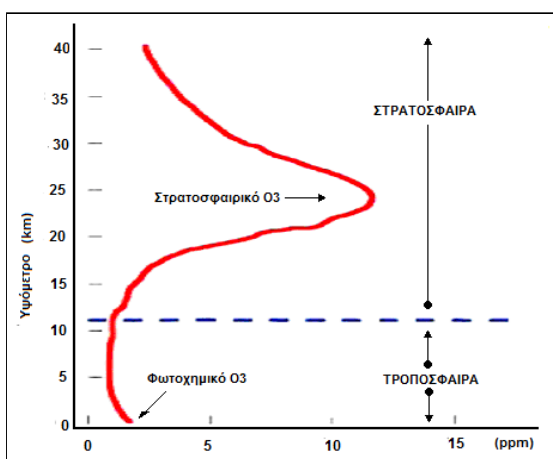
## Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΑΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΜΕ ΚΥΡΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΟΖΟΝ



Εικόνα 3.1 : Η διαστρωμάτωση της γήινης ατμόσφαιρας.

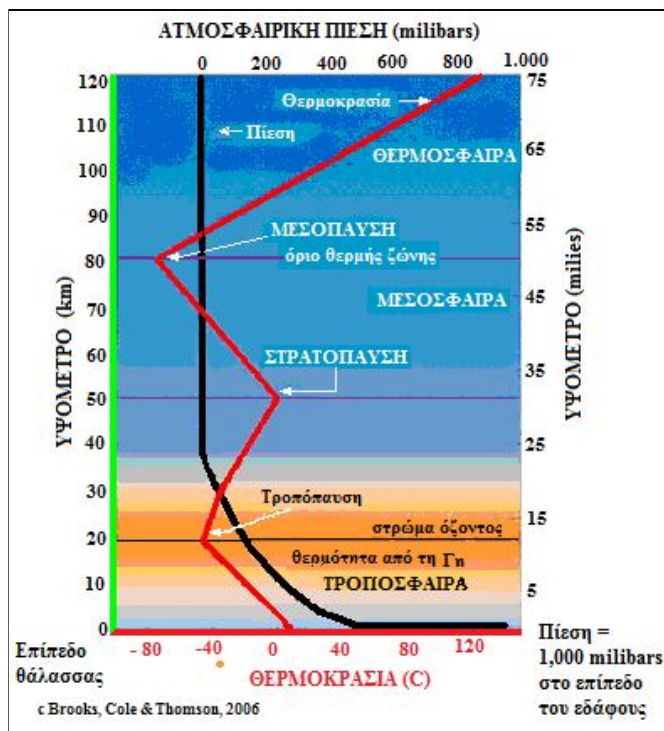
Η εποχή μας έχει σηματοδεχτεί από μία ποικιλία περιβαλλοντικών προβλημάτων που οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ήδη από την δεκαετία του 70' εξακριβώθηκαν οι υποψίες για μία αργή αλλά σταθερή πορεία μεταβολής των σχετικών συγκεντρώσεων ορισμένων αερίων της τροπόσφαιρας και ειδικά του όζοντος.

Η αρνητική επίδραση του όζοντος στην βλάστηση έχει καταδειχθεί από πολλούς ερευνητές (Sandermann et al., 1997, Felzer et al., 2004, Solberg et al., 2005 κ.λπ.) και υπάρχουν αναφορές για τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις στην περιοχή της Νότιας και Βόρειας Ευρώπης (Lorenzini et al., 1994, Nolle et al., 2002). Οι περισσότερες αναφορές εξ αυτών μιλούν για πρωτογενή αύξηση στον Βιομηχανικό Βορρά κυρίως του όζοντος, ενώ οι επιπτώσεις στον Ευρωπαϊκό Νότο είναι ιδιαίτερα σημαντικές λόγω και των κλιματικών συνθηκών. Παρά το γεγονός όμως ότι η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία είναι βλαπτική όταν το όζον υπολογίζεται ως "ρύπος", υπάρχουν αντικρουόμενες απόψεις ως προς το είδος και το εύρος των βλαβών που προκαλεί σε αστικό και περιαστικό πράσινο και καλλιέργειες.



Εικόνα 3.2 : .Φυσικές συγκεντρώσεις όζοντος (σε ppm) στην ατμόσφαιρα.

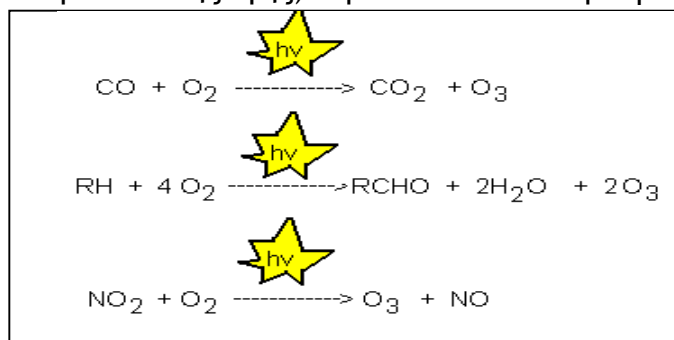
Δεδομένου λοιπόν ότι έχει γίνει κοινώς αποδεκτό ότι το όζον είναι ένας επικίνδυνος και δραστήριος φυτοτοξικός ρύπος, τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται ένας αυξανόμενος αριθμός εργασιών και προγραμμάτων παρακολούθησης (monitoring) των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων με στόχο να αποσαφηνισθούν αρκετά ερωτήματα ως προς την πραγματική και ειδική επίδραση του όζοντος και των άλλων αέριων ρύπων, στην βλάστηση περιοχών με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως είναι οι αστικές και οι περιαστικές περιοχές, τα δάση και περιοχές με έντονη γεωργική δραστηριότητα (Ferretti et al., 2003a, 2004, 2007; Gerosa et al., 2007; Paoletti, 2002, 2005, 2006). Πολλές αναφορές μιλάνε για συγκεντρώσεις που μετρώνται σε μικρή απόσταση από το έδαφος και είναι ικανές να επηρεάσουν τον μεταβολισμό ευαίσθητων φυτικών ειδών, αρκετά από τα οποία έχουν



Εικόνα 3.3 : Η καθ' ύψος μεταβολή θερμοκρασίας και πίεσης στην ατμόσφαιρα

μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον (Akram A. Ali et al. 2002).

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει η διάκριση μεταξύ του στρατοσφαιρικού όζοντος που αποτελεί φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας και δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τους οργανισμούς και του τροποσφαιρικού όζοντος, που επηρεάζει άμεσα τους ζωντανούς οργανισμούς. Στην στρατόσφαιρα (η ζώνη των 12 - 40 km από την επιφάνεια της γης) βρίσκεται συσσωρευμένο το 90% της συνολικής ποσότητας



Εικόνα 3.4. Συνοπτική παρουσίαση της φωτοχημικής διαδικασίας σχηματισμού του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Κάποιες από τις αντιδράσεις είναι αμφίδρομες και υπο κανονικές συνθήκες δημιουργείται κατάσταση ισορροπίας. Το τροποσφαιρικό όζον σχηματίζεται όταν αντιδρά φωτοχημικά το οξυγόνο με με το NO<sub>2</sub> και παράγεται NO. Επίσης σχηματίζεται όταν συνυπάρχουν το O<sub>2</sub> με VOCs, υδρογονάνθρακες, οξειδία του θείου, και CO, οπότε η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά. Η ενέργεια για την αντίδραση δίνεται από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία.

ζωντανούς οργανισμούς, καθώς απορροφά το 95% της εισερχόμενης από τον ήλιο UV ακτινοβολίας που είναι βλαπτική για τις περισσότερες μορφές ζωής. Αυτή η ακτινοβολία αποτελείται από σωματίδια υψηλής ενέργειας που μπορούν να προκαλέσουν μεταλλάξεις και ρήξη της συνέχειας του γενετικού υλικού. Στην τροπόσφαιρα (η ζώνη από 0 - 12 km από την επιφάνεια της γης) βρίσκεται μόλις το 10% του όζοντος με μέση ετήσια συγκέντρωση 2-4 ppm. Το πρόβλημα με το όζον, ξεκινάει από την στιγμή όπου λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων προκαλείται

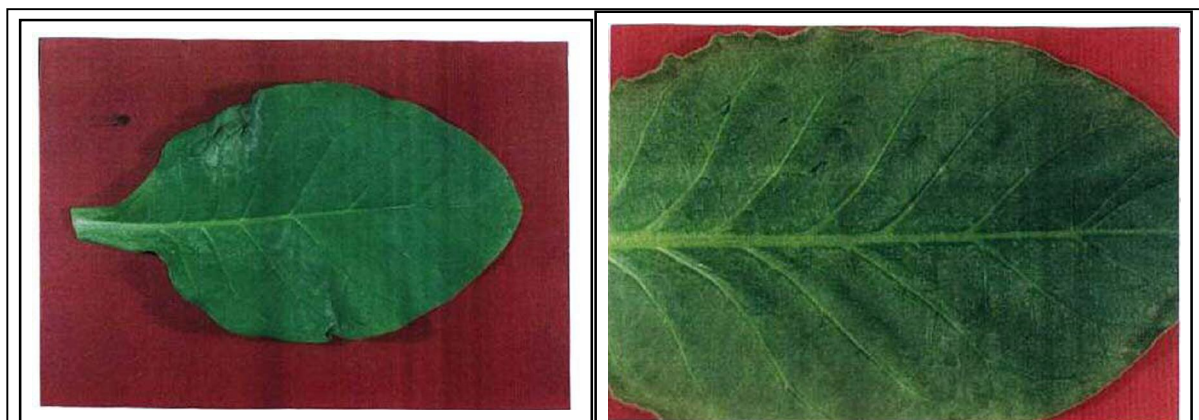
αύξηση της συγκέντρωσης του στην τροπόσφαιρα σε υψηλότερα του φυσιολογικού επίπεδα, που κατά κανόνα δεν είναι καλώς ανεκτά από τους οργανισμούς.

Πίνακας 3.1. Τυπικά συμπτώματα που προκαλούνται από την επίδραση όζοντος σε ορισμένα φυτικά είδη (τροποποιημένος από "Φυτοπαθολογία Ε. Τζάμου).

Φυτικό είδος	Συμπτώματα στο φύλλα
<i>Pinus spp.</i>	επάκρια ξήρανση των βελονών, χλωρωτικές κηλίδες στις παλαιότερες βελόνες
<i>Abies spp.</i>	χλωρωτικές κηλίδες στις παλαιότερες βελόνες
<i>Prunus cerasus</i>	ερυθρομελανά στίγματα, ερυθρίαση και χλώρωση των φύλλων, πρόωρη φυλλόπτωση
<i>Nicotiana tabacum</i>	ασημόλευκες κηλίδες
<i>Solanum tuberosum</i>	φαίες κηλίδες, χλώρωση, αργύρωση
<i>Ipomoea batatas</i>	χλώρωση
<i>Vitis vinifera</i>	λευκές κηλίδες, επάκρια ξήρανση των φύλλων
<i>Phaseolus vulgaris</i>	αργύρωση, μεμονωμένες νεκρωτικές κηλίδες

Η Το όζον ως προϊόν αντιδράσεων στην τροπόσφαιρα με πρωτογενές υπόστρωμα άλλα αέρια, είναι ένας δευτερογενής αέριος ρυπαντής που παράγεται φωτοχημικά κυρίως από τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και από πτητικά οργανικά συστατικά (VOCs: volatile organic compounds). Επίσης, προκύπτει από τα οξειδία του θείου και του μονοξειδίου του άνθρακα. Απαραίτητα συστατικά της φωτοχημικής σύνθεσης είναι το μοριακό οξυγόνο, το ηλιακό φως και ειδικότερα η υπεριώδης ακτινοβολία. Η συσσώρευση του όζοντος στην τροπόσφαιρα σχετίζεται και με την αδυναμία να μετατοπισθεί η ισορροπία της αντίδρασης σύνθεσης προς την κατεύθυνση της διάσπασης (από δεξιά προς αριστερά).

Η ποσότητα όζοντος που έρχεται άμεσα σε επαφή με τους ζωντανούς οργανισμούς της βιόσφαιρας είναι αποτέλεσμα περισσότερο ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (Voltz and Kley, 1988) και λιγότερο φυσικής δραστηριότητας (π.χ. κεραυνοί,

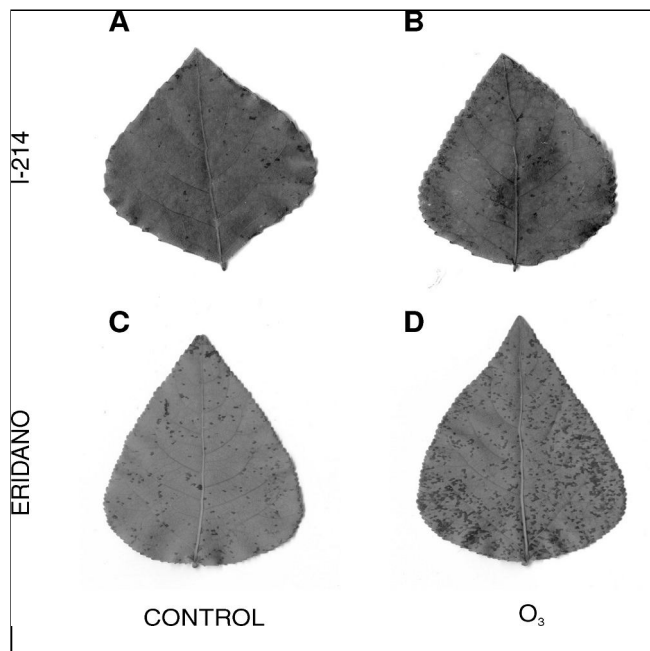


Εικόνες 3.5 & 3.6. ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Φύλλο από *Nicotiana tabacum* που εκτέθηκε επί 7 ώρες σε 26 ppb η συγκέντρωσης όζοντος (από Azadi et al, 2006). Διακρίνονται λευκές κηλίδες στην περιφέρεια του ελάσματος. ΔΕΞΙΑ: κοντινή άποψη της κεντρικής νεύρωσης

ηφαιστειακές εκρήξεις κ.λπ.) και προστίθεται στα υπάρχοντα ατμοσφαιρικά επίπεδα (στα κατώτερα) ανατρέποντας τις συνήθεις ισορροπίες. Η επίδραση τέτοιων δραστηριοτήτων στην συσσώρευση του όζοντος στα κατώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας εξαρτάται από το ανάγλυφο της περιοχής, τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, την ώρα τις ημέρας, το είδος και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων κ.λπ.

ευαισθησία των φυτών ως προς το όζον κυμαίνεται ανάλογα με το είδος. Η ανάπτυξη των φυτών και η διαμόρφωση χαρακτηριστικών τους, όπως είναι η επιφάνεια των φύλλων, ο ρυθμός αύξησης των βλαστών και το τελικό τους μήκος, συσχετίζεται με

την επίδραση εξωγενών παραγόντων. Σε πείραμα με το θαμνώδες μεσογειακό φυτό λαντάνα, (*Lantana camara* L. subsp. *Camara*, από Matsoukis et al, 2004) φαίνεται ότι υπό την επίδραση χημικών παραγόντων όπως η μπακλομπουτραζόλη που δρα ανασταλτικά ως προς την έκλυση γιββερελλινών (GA), επηρεάστηκαν μορφολογικά και αυξητικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η σκίαση, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η υγρασία του εδάφους και η



Εικόνα 3.9. Επίδραση όζοντος σε φύλλα υβριδίου λεύκας (υβρίδιο I – 214) Δεξιά φαίνεται το φύλλο ελέγχου Αριστερά η παραξονική επιφάνεια του φύλλου δοκιμής. (φωτο από Di Baccio, 2008)

Weigel, 1999).

Τέτοια είναι τα :

*Capsella bursa-pastoris* (L.), οικ. *Brassicaceae*, κοιν. καψέλλα, ποιμενόσακκος, ξεν. case weed,

*Chenopodium album* (L.), οικ. *Chenopodiaceae*, κοιν. λουβουδιά, ξεν. green pigweed,

*Cirsium arvense* (L.) Scop., οικ. *Asteraceae*, κοιν. κίρσιο, νεράγκαθο, ξεν. creeping thistle,

*Daucus carota* (L.), οικ. *Apiaceae*, κοιν. αγριοκαρότο, Βουτσί, ξεν. wild carrot,

*Galinsoga parviflora* (Cav), οικ. *Asteraceae*, κοιν. γκαλινσόγκα, άγριο χαμομήλι, ξεν. gallant soldier,

*Malva sylvestris* (L.), οικ. *Malvaceae*, κοιν. μολόχα, αμπελόχα, ξεν. common mallow,

*Marticaria chamomilla* (L.), οικ. *Asteraceae*, κοιν. χαμομήλι, μαρτικάρια, ξεν. wild chamomile,

*Papaver rhoeas* (L.), οικ. *Papaveraceae*, κοιν. παπαρούνα, κουτσουνάδα, ξεν. field poppy,

*Plantago major* (L.), οικ. *Plantaginaceae*, κοιν. πεντάνευρο, κορακοπόδι, ξεν. broadleaf plantain,

*Rumex crispus* (L.), οικ. *Polygonaceae*, κοιν. λάπαθο, ξεν. yellow dock)

*Seneci vulgaris* (L.), οικ. *Asteraceae*, κοιν. μαρτιάκος, γληγοράς, ξεν. common groundsel,

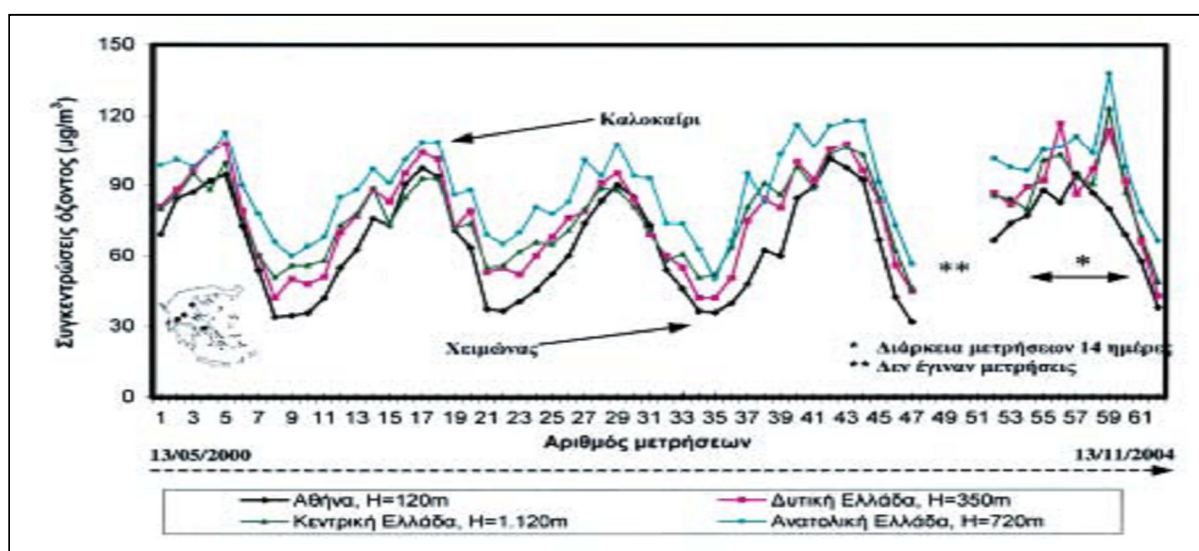
*Sinapis arvensis* (L.), οικ. *Brassicaceae*, κοιν. άγριο σινάπι, λαψάνα, ξεν. charlock,

*Solanum nigrum* (L.), οικ. *Solanaceae*, κοιν. στύφνος, αγριοτομάτα, ξεν. black nightshade,

*Sonchus asper* (L.) Hill, οικ. *Asteraceae*, κοιν. ζωχός τραχύς, ζωχός, ξεν. spiny sowthistle,



Εικόνα 3.8. Επίδραση όζοντος σε βαμβάκι (*Gossypium hirsutum*) (φωτο AS Heagle). ΑΡΙΣΤΕΡΑ: φυσιολογική εικόνα, ΔΕΞΙΑ: μετά την επίδραση όζοντος.



Εικόνα 3.9 : Εποχιακή μεταβολή συγκεντρώσεων όζοντος σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Γενικά, είναι γνωστό ότι η επίδραση αέριων ρυπαντών όπως είναι το όζον, σε μία βιοκοινότητα οργανισμών, είναι αποτέλεσμα της αθροιστικής δράσης τους σε κάθε ένα ξεχωριστό μέλος της κοινότητας, όπου τελικά εμφανίζεται ως επίδραση στο σύνολο της κοινότητας, προκαλώντας αλλαγές στην συμπεριφορά των ατόμων δια ου ανταγωνισμού (Sigal & Suter, 1987). Επίσης, η ευαισθησία ενός φυτικού είδους στο



Εικόνα 3.11 Επίδραση όζοντος σε φύλλα *Nicotiana tabacum* (φωτο από AS Heagle, 2002)

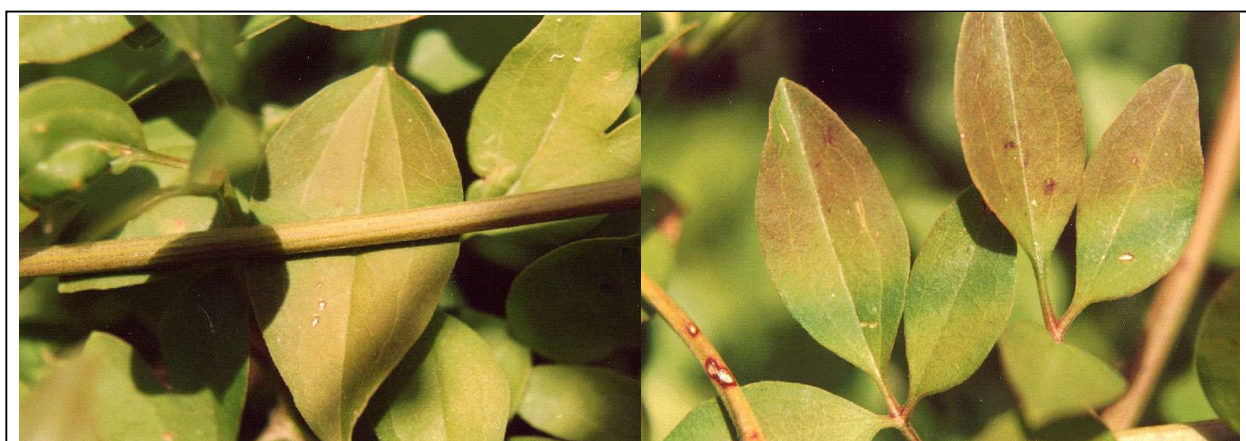
Εικόνα 3.12 Επίδραση όζοντος σε φύλλα καρπουζιάς (*Citrullus lanatus*).

Εικόνα 3.13 Επίδραση όζοντος σε φυστικά (*Arachis hypogaea*) (φωτο AS Heagle, 2002).

όζον, υπό την έννοια της εμφάνισης ορατών βλαβών, δεν είναι γενικός κανόνας (Cornelius et al., 1985, Nebel & Fuhrer, 1994, Bungener et al., 1999). Από όσα είδη χουν μέχρι σήμερα μελετηθεί ως προς την ευαισθησία τους στο όζον (πάνω από 118) μόλις τα μισά εμφανίζουν ορατές βλάβες κυρίως στο φύλλωμα. Μετά από σύντομη έκθεση σε όζον μπορεί να παρατηρούνται σαφείς διαφορές ευαισθησίας ακόμα και μέσα σε κοντινές οικογένειες και γένη του ίδιου είδους (Bergmann et al, 1999).



Εικόνα 3.10. Επίδραση όζοντος σε φύλλα κολοκυθιάς (*Cucurbita* spp.) . Δεξιά φαίνεται κοντινή εικόνα της παραξονικής επιφάνειας φύλλου. (φωτο από M Mc Grath, 2002).



Εικόνα 3.14. Φύλλα του φυτού *vitalba* (*Climatis vitalba*) που αναπτύχθηκε σε περιοχή της Ιταλίας με αυξημένες εποχικές συγκεντρώσεις όζοντος. Η «μπρούντζινη» απόχρωση είναι χαρακτηριστική για διάφορα είδη (φωτο από Rocca).



Συνήθως, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι πόες είναι λιγότερο ευαίσθητες από τα ημιξυλώδη είδη, τα οποία εμφανίζουν μείωση της βιομάζας όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του όζοντος (Warwick & Taylor, 1995). Η πειραματική καταγραφή ορατών βλαβών από την επίδραση όζοντος, δείχνει ότι οι βλάβες δεν είναι απαραίτητα συνδεδεμένες με μείωση του ρυθμού αύξησης (Bergmann et al., 1996, Davinson & Barnes, 1998). Έχει επίσης ιδιαίτερη σημασία, η δυνατότητα σύγκρισης πειραματικών αποτελεσμάτων μετά από βραχεία ή μακρά έκθεση σε ελεγχόμενες σταθερές και μεταβαλλόμενες συγκεντρώσεις όζοντος. Γενικά χρησιμοποιούνται από 5 - 8 ppd όζοντος για χρονικά διαστήματα από 1 ώρα έως 24ώρο, με AOT<sub>40</sub> έως 2500



Εικόνα 3.16 Επίδραση όζοντος σε φύλλα φυτού πατάτας (*Solanum tuberosum*).

ppd.h (για την σημασία του δείκτη AOT βλ. παρακάτω). Ορατά συμπτώματα που έχουν παρατηρηθεί και μπορούν να αποδοθούν αποκλειστικά στην επίδραση του όζοντος αφορούν μικρά υπόλευκα στίγματα, μεγαλύτερες υπόλευκες κηλίδες, μικρές νεκρωτικές κηλίδες, μικρά στίγματα κυανού ή ελαφρά κόκκινου ή ιώδους χρώματος και ελαφρά χλώρωση, όλα στην άνω επιφάνεια των φύλλων (βλ. και τον πίνακα παραπάνω). Για αυτοφυείς πόες, όπως τα είδη που χρησιμοποίησαν οι Bergmann, Bender και Weigel (1999), δόσεις της τάξης των 400 ppd που εφαρμόστηκαν για 2 ώρες, ήταν αρκετές για να εμφανιστούν ορατές βλάβες σε μερικά από τα πειραματοφύτα. Σε κάθε περίπτωση, όλοι οι ερευνητές, συμφωνούν ότι η επίδραση του όζοντος δεν είναι στιγμιαία αλλά αθροιστική και γι'

αυτό στην περίπτωση της παρακολούθησης των συγκεντρώσεων και επιπτώσεων των αέριων ρυπαντών εντός και εκτός πόλης, μπορούν να διακριθούν είδη που θα χρησιμοποιηθούν ως βιοδείκτες. Για την Ελλάδα ένας πολύ καλός βιοδείκτης έναντι του όζοντος είναι το είδος *Trifolium alexandrinum* και ιδιαίτερα η ποικιλία "Λητώ" (από "Φυσιολογική καταπόνηση Φυτών", Καραμπουρνιώτης 2008). Γενικότερα επίσης,



Εικόνα 3.15 Επίδραση όζοντος σε φασολιά (*Phaseolus vulgaris* L., φωτο FL Booker, 2002)

αποτελέσματα των Bergmann, Bender και Weigel, (1999) έδειξαν ότι πιθανοί χρήσιμοι βιοδείκτες μπορούν να είναι τα είδη *Cirsium arvense* και *Sonchus asper* που εμφάνισαν ορατές βλάβες μετά από συσσωρευμένη επίδραση AOT<1000 ppd.h. Για τα περισσότερα είδη αυτή η τιμή είναι η διπλάσια (AOT <2000 ppd.h όζοντος). Βέβαια δεν πρέπει να διαφεύγει και το γεγονός ότι οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν τον βαθμό της επίδρασης των ρυπαντών (Bergmann et al, 1999).

Έχει γίνει προσπάθεια ώστε να προσδιοριστούν νέοι ποιοτικοί και ποσοτικοί δείκτες ( $CL_e$  : critical levels) για τους αέριους ρύπους, με εξειδικεύσεις ανάλογα με την περίπτωση και τα ερωτήματα που τίθενται ( $CL_{ec}$  : critical levels concentration - based,  $CL_{ef}$  : critical levels flux-based). Καθώς υπάρχει συμφωνία για το ότι οι αέριοι ρύποι επιδρούν μέσα από μία αθροιστική διαδικασία, γι' αυτό και έχει καθοριστεί η ποσοτική-αθροιστική παράμετρος που χρησιμοποιείται στην στατιστική επεξεργασία, η  $AOT_x$  (accumulate over a threshold x), η οποία προσδιορίζεται ως το άθροισμα των ωριαίων συγκεντρώσεων του ρύπου πάνω από μία τιμή δόσης "x" σε  $ppd$  για έκθεση χρονικού διαστήματος σε ώρες (h) ( $AOT_x - ppd \cdot h$ ). Οπότε σε πειραματικές διαδικασίες οι εκάστοτε εφαρμοζόμενες συγκεντρώσεις ενός αερίου μπορούν να καθορίζονται ανάλογα με τα ερωτήματα που θέτονται (π.χ.  $AOT_{10}$ ,  $AOT_{20}$ ,  $AOT_{60}$ ,  $AOT_{40}$ ,  $AOT_{80}$  κ.λπ.).



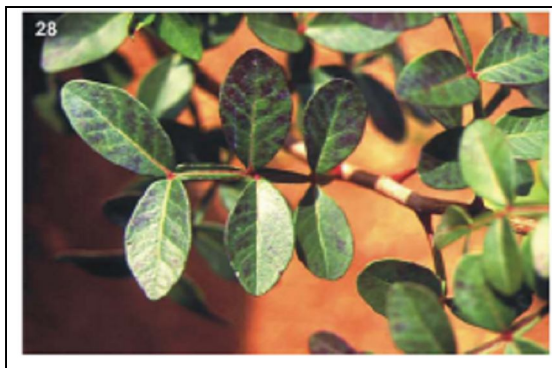
Εικόνα 3.17 Επίδραση όζοντος σε φύλλα ιπποκαστανιάς (Buckeye tree, *Aesculus hippocastanum* (φωτο AS Heagle, 2002).

Στη συνέχεια αυτής της προσπάθειας ο UN/ECE έθεσε το 2004 όρια ( $CL_e$ ) για τα εν δυνάμει αποδεκτά επίπεδα του όζοντος, σε αγροτικές καλλιεργούμενες περιοχές, ημιφυσικά οικοσυστήματα ( $3ppm \cdot h$ ), δασικές περιοχές ( $5 ppm \cdot h$ ) και χορτολιβαδικές εκτάσεις ( $6 ppm \cdot h$ ). Σε μελέτες που έγιναν στην Ιταλία, βρέθηκε ότι σε περιπτώσεις όπου όλα αυτά τα όρια είχαν ξεπεραστεί υπήρξε μείωση της βιομάζας σε αυτοφυή βλάστηση και καλλιέργειες (Ferretti et al., 2006). Ομοίως, για δασικές περιοχές της Ιταλίας, διαπιστώθηκε ότι η επίδραση του όζοντος εντοπίζεται σε βιοχημικό, υποκυτταρικό, μορφολογικό και ιστολογικό επίπεδο (Bernardi et al., 2007, Paoletti, 2002, 2003, 2004a,b, 2005). Αυτά τα συμπεράσματα συμφωνούσαν με παρατηρήσεις και αποτελέσματα παλαιότερων ερευνών (Manes et al., 1998, 2001, Biagioni et al., 1997). Επίσης, δημοσιεύσεις από το ελληνικό Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών

Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων δείχνουν ότι τα όρια του  $AOT_{40}$  έχουν ξεπεραστεί κατά πολύ στις δασικές περιοχές της Ελλάδας (Μπαλούτσος και άλλοι, ΕΘΙΑΓΕ, 2006).

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων από τα πειράματα που έγιναν στην Ιταλία (Ferretti et al., 2006) δείχνει ότι τα επίπεδα για έναν δείκτη  $CL_e$ , δεν μπορούν να γενικευθούν για όλες τις χώρες της Νοτίου Ευρώπης, εξαιτίας των διαφοροποιήσεων των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν. Στην Νότια Ευρώπη, πιθανών η επίδραση του όζοντος να είναι διαφορετική και μάλλον όχι τόσο έντονη, επειδή περιορίζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες που μπορεί να μειώσουν την πυκνότητα των στομάτων ( $g_{sto}$ , από UN/ECE, 2004). Η μειωμένη πυκνότητα στομάτων μεταφράζεται σε χαμηλό ρυθμό ανταλλαγής αερίων, οπότε και σε μικρότερο ρυθμό εισόδου ρυπαντών στο μεσόφυλλο. Ο Miller (1988) και ο Saxe (1991) επίσης υποστηρίζουν την σύνδεση των αυξημένων επιπέδων όζοντος με την μείωση της παραγωγικότητας σε καλλιέργειες και το τάχος της φωτοσύνθεσης.

Ενδείξεις για την επίδραση του όζοντος στον ρυθμό της φωτοσύνθεσης, έχουν προέλθει από την έκθεση πειραματικών καλλιεργειών σε διαφορετικά επίπεδα όζοντος για διαφορετικά χρονικά διαστήματα (15, 30, 70 και 100 nmole/mole αέρα για 8 ώρες/ημέρα, από Lehnerr et al, 1988).



Εικόνα 3,19: Επίδραση όζοντος στο φυτό *Pistacia lentiscus* (από Reig – Arminana et al., 2004)

Σε τέτοια πειράματα καταγράφηκαν διαφορετικού μεγέθους μειώσεις του τάχους φωτοσύνθεσης. Πιο συγκεκριμένα, οι Reich et al (1986) και Mulchi et al (1992), αναφέρουν ότι για το φυτό κύαμο (*soybeen*, είδος φασολιού στην ανατολή) έκθεση σε διαφορετικά επίπεδα όζοντος, οδήγησε σε αντίστοιχες μειώσεις του φωτοσυνθετικού τάχους που μεταφράστηκαν σε μείωση της

πρωτογενούς παραγωγικότητας. Η μείωση όμως δεν ήταν γραμμική, παρά την μεγάλη διαφορά των επιπέδων όζοντος που

εφαρμόστηκαν (από μικρές συγκεντρώσεις μέχρι πολύ υψηλές). Ανάλογα αποτελέσματα βρέθηκαν και σε πειράματα επίδρασης όζοντος σε καλλιεργούμενα



Εικόνα 3.18 Αποτέλεσμα της επίδρασης τροποσφαιρικού όζοντος σε βελονοειδή φύλλα λευκής πεύκης (white pine, *Pinus strobus*) (φωτό από AS Heagle, 2002)

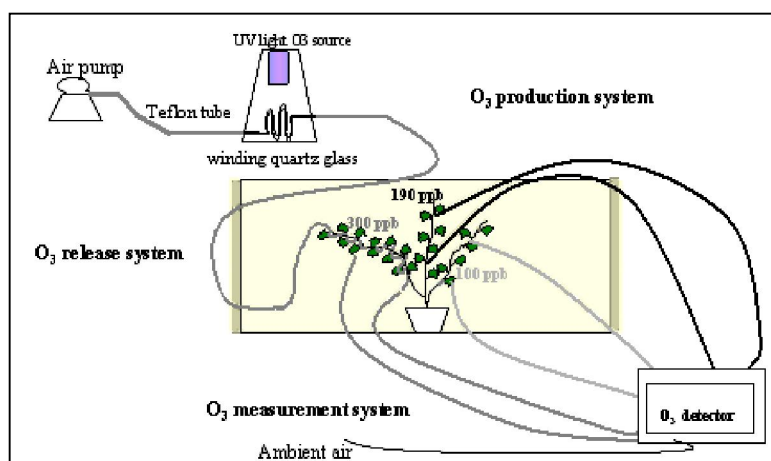
φυτά οικονομικού ενδιαφέροντος, με την χρήση κλειστών θαλάμων (OTCs, open top chambers, Sanders et al, 1992). Σε αυτές τις περιπτώσεις μάλιστα παρατηρήθηκαν και φαινόμενα εγκλιματισμού, αφού η μείωση της παραγωγικότητας και του τάχους φωτοσύνθεσης μετρήθηκε στα πρώτα στάδια των πειραμάτων, αλλά σε μεταγενέστερα αναπτυξιακά στάδια των πειραματοφύτων παρατηρήθηκε σταθεροποίηση της φωτοσυνθετικής απόδοσης παρά την επίδραση υψηλότερων επιπέδων όζοντος. Επίσης, καταγράφηκαν περιπτώσεις όπου μετά από μία ημερήσια μείωση, υπήρχε ανάκαμψη μετά την πάροδο των βραδινών ωρών και για ένα διάστημα 44 ημερών μετά την έναρξη των πειραμάτων. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί καθώς είναι γνωστό ότι κατά τις βραδινές ώρες επιδιορθώνονται οι βλάβες που έχει υποστεί η φωτοσυνθετική συσκευή. Αξιοσημείωτο είναι ότι 60 ημέρες μετά την έναρξη των πειραμάτων καταγράφηκε μείωση της λειτουργικότητας των στομάτων. . Ομοίως, πειραματική έκθεση σε ελεγχόμενες συγκεντρώσεις όζοντος (0,12  $\mu\text{l/l}$  και 0,01 - 0,02  $\mu\text{ml/l}$ ), στελεχών του φυτού *Raphanus sativus* (*radish*, κοιν. ραπανάκι), έδειξαν μείωση στον ρυθμό αύξησης της ολικής βιομάζας, γεγονός που ίσως υποδηλώνει μία προσαρμογή εγκλιματισμού (Held et al., 1990). Προφανώς λοιπόν το όζον επηρεάζει την φωτοσυνθετική λειτουργία και μέσω της αγωγιμότητας των στομάτων. Σε αυτό το σημείο έχει αναφερθεί ότι πιθανόν το όζον επηρεάζει την μεμβρανική αγωγιμότητα των ιόντων καλίου ( $\text{K}^+$ ), με αποτέλεσμα να διαταράσσεται ο έλεγχος της σπαργής των καταφρακτικών κυττάρων και της λειτουργίας των στομάτων (βλ. παρακάτω).

Τα φύλλα έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές φορές για να μελετηθεί η απόκρισή τους σε αέριους ρύπους (Heber et al., 1995) καθώς περιέχουν σημαντικά στοιχεία για την φωτοσυνθετική λειτουργία (χλωροφύλλες, στόματα). Οι διάφοροι αέριοι ρύπου, όπως και το όζον, μπορεί να προκαλέσουν ποικιλία ιστολογικών αλλοιώσεων ή

βλαβών που μπορεί να είναι ορατές και δια γυμνού οφθαλμού (Davis and Wilhour, 1976). Ο Winner (1981) αναφέρει ότι μπορεί να επηρεαστεί η πυκνότητα των στομάτων, ο Reich (1983) αναφέρει επίδραση στην ποσότητα των χλωροφυλλών και τέλος ο Darall (1989) αναφέρει μεταβολές στο τάχος της φωτοσύνθεσης. Παρατεταμένη επίδραση ρύπων και κυρίως του όζοντος, μπορεί να οδηγήσει σε σταδιακή μείωση της πρωτογενούς παραγωγής με ελάχιστη ζημιά στα φύλλα (Page et al., 1972, βλ. παραπάνω). Οι πιο πολλές σχετικές μελέτες αφορούν ετήσια είδη. Λίγες ασχολούνται με δενδρώδη είδη (C3 φυτά κυρίως) τα οποία αντίθετα με τα μονοετή φυτά, δέχονται την επίδραση των αέριων ρύπων για μεγάλο χρονικό διάστημα και συστηματικά. Επίσης, υπάρχουν αναφορές για την επίδραση του όζοντος στην μορφολογία των φύλλων.

Για την διασυννοριακή ρύπανση με μεγάλη ακτίνα διασποράς, καθορίστηκε ότι το κρίσιμο επίπεδο για την παρουσία του όζοντος είναι η 6μηνή A.O.T.<sub>40</sub> (έκθεση σε συσσωρευμένο όζον πάνω από 40 nl/l) με 10 ppm<sub>h</sub> (UNECE, 1988). Αυτό το όριο χρησιμοποιείται ως κατευθυντήρια γραμμή για την έκδοση οδηγιών προκειμένου για την προστασία της μεσογειακής βλάστησης από τις επιπτώσεις του όζοντος. Η επίδραση του όζοντος βασίζεται σε επιδράσεις υποκυτταρικού και μοριακού επιπέδου, με χαρακτηριστικότερη επίπτωση αυτή της μείωσης της βιομάζας. Παράλληλα, πληθώρα ερευνητών συμφωνούν ότι προκαλεί επιτάχυνση της γήρανσης των φύλλων, αποικοδόμηση των χλωροφυλλών και μεταβολές στο τάχος αφομοίωσης του διοξειδίου του άνθρακα (Zheng et al., 2002).

Υπάρχουν επίσης αναφορές για την σχέση της επίδρασης του όζοντος με τα διάφορα θρεπτικά στοιχεία και ιχνοστοιχεία. Για παράδειγμα η μείωση των επιπέδων αζώτου στα φύλλα έχει συσχετισθεί με την επίδραση του όζοντος. Οι διαδικασίες απώλειας του αζώτου (εξαέρωση, νιτροποίηση, απονιτροποίηση, απόπλυση) εμπλουτίζουν το σύστημα με το βαρύ ισότοπο <sup>15</sup>N (Penuelas & Estiarte 1997). Ομοίως με το άζωτο, η σχετική παρουσία των ισωτόπων <sup>12</sup>C και <sup>13</sup>C προκαλείται από την διάχυση του διοξειδίου του άνθρακα στο φύλλο δια των



Εικόνα 3.20 Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιεί έναν ανοικτό θάλαμο (OTC) για την μελέτη της επίδρασης του όζοντος στην ανάπτυξη των φυτών (από Pinelli P, Tricoli D).

στομάτων, της αποπλαστικής οδού και ενζυμικές αντιδράσεις που συνδέονται με την δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα και την χρήση του (Farquha et al., 1989). Γι' αυτό ίσως η διάκριση των επιπέδων των ισωτόπων του άνθρακα και του αζώτου στα φυτά, ίσως να παρέχουν ασφαλείς ενδείξεις για την επίδραση του όζοντος. Σε πειράματα που έχουν χρησιμοποιηθεί OTCs (open top chambers), παράλληλα με την διαρκή επίδραση όζοντος, παρακολουθήθηκαν ρύποι όπως το διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου σε συνδυασμό με παραμέτρους όπως η ταχύτητα και η διεύθυνση του αέρα, η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR), παράγοντες που στο πεδίο έχουν μεγάλη σημασία. Γενικότερα όμως, η φυτοτοξική επίδραση των αέριων ρύπων, στα φυτά, εξαρτάται και από την ροή και την διάχυσή τους εντός του φύλλου, η οποία εξαρτάται με τη σειρά της από το εύρος του στοματικού πόρου σε συνδυασμό με κλιματικές επιδράσεις. Άλλες παράμετροι

δεν έχουν γίνει ακόμα πλήρως κατανοητές ως προς τον μηχανισμό επίδρασής τους, όμως θεωρείται ότι σχετίζονται με δευτερεύοντα φυσιολογικά, βιοχημικά και ανατομικά χαρακτηριστικά (Alonso et al., 2001, Bussotti and Gerosa, 2002).

Όσον αφορά την γήρανση των φύλλων, έχει διατυπωθεί η θεωρία ότι είναι αποτέλεσμα διαδοχικών διαδικασιών που συστηματικά απομακρύνουν θρεπτικά συστατικά από τους ιστούς του ελάσματος και των νεύρων. Καθώς οι διαδικασίες γήρανσης είναι γενετικά καθορισμένες σε υψηλό βαθμό (PCD), αφορούν και την αποδόμηση των φωτοσυνθετικών χλωροφυλλών και πρωτεϊνών με αποτέλεσμα την σταδιακή μείωση του φωτοσυνθετικού τάχους και την οξειδωση των λιπιδίων (Pell et al., 1994 ; Bielenberg et al., 2002). Προφανώς σε μία διαδικασία γήρανσης, επαγόμενη από την επίδραση ενός αέριου ρυπαντή όπως είναι το όζον, επηρεάζονται οι χλωροφύλλες, οι πρωτεΐνες των φωτοσυστημάτων και οι μεμβράνες, και αυτό ισχύει για πολλά είδη φυτών (Pell et al., 1997). Υπάρχουν αναφορές για την εμφάνιση νεκρωτικών κηλίδων στα ελάσματα των φύλλων ή νεκρωμένων τμημάτων στο κορυφαίο τμήμα του ελάσματος ως αποτέλεσμα της επίδρασης του όζοντος. Σε αρκετές περιπτώσεις, τέτοια συμπτώματα έχουν επιβεβαιωθεί και πειραματικά. Στο δεντρώδες είδος αριά (*Quercus ilex*, είδος βελανιδιάς) και γενικά σε είδη βελανιδιάς, έχει διαπιστωθεί μία μεγαλύτερη ευαισθησία σε μέτριες συγκεντρώσεις όζοντος καθώς στο πείραμα των Ribas et al., (2004) καταγράφεται μείωση του χλωροφυλλικού περιεχομένου των φύλλων από τον πρώτο κιόλας χειμώνα.

Αν και η επαγόμενη από το όζον γήρανση, μπορεί να επιφέρει αλλαγές και στην συνολική αφομοίωση του άνθρακα, άρα και στην απόδοση της φωτοσύνθεσης, είναι δύσκολο να διακριθεί σε σχέση με την συνολική απόδοση της φωτοσύνθεσης που εμπλέκει την πυκνότητα των στομάτων και τα φωτοσυνθετικά συστήματα PSI και PSII, που μπορεί ακόμα και να έχουν διαφορετική απόκριση σε ίδιες συγκεντρώσεις του ρυπαντή (Heath & Taylor, 1997 ; Zheng et al., 2002), καθώς μεγάλη σημασία πάντα παίζει και η φαινοτυπική πλαστικότητα. Για παράδειγμα, η πυκνότητα των στομάτων, αν και καθορίζεται γενετικά, μπορεί να επηρεαστεί διαφορετικά από την απόκριση του γονότυπου σε διαφορετικές συγκεντρώσεις όζοντος και να υπάρξει θετικό (μεγαλύτερη πυκνότητα στομάτων) ή αρνητικό αποτέλεσμα (μικρότερη πυκνότητα στομάτων) ή και τα καταφρακτικά κύτταρα να είναι περισσότερο ή λιγότερο ευαίσθητα στις μεταβολές της συγκέντρωσης του διαχεόμενου ρύπου στον στοματικό πόρο (Robinson et al., 1998).

Όπως αναφέρεται πιο πάνω, η πρόωρη γήρανση που προκαλεί το όζον μπορεί να επιδράσει στην περιεκτικότητα N του φυλλώματος (Bielenberg et al, 2002, Elvira et al, 1995). Μερικοί ερευνητές αναφέρουν ότι η περιεκτικότητα σε άζωτο επανακάμπτει εν μέρη μετά την μείωση του ρυπαντικού ερεθίσματος, με μετατόπιση (translocation) αζώτου στα νέα φύλλα. Αυτό συμπεραίνεται από το γεγονός ότι η περιεκτικότητα σε άζωτο στα παλαιά φύλλα παραμένει στα ίδια επίπεδα προ της επίδρασης.

Γενικά, η γήρανση των φύλλων ως αποτέλεσμα της μείωσης του τάχους αφομοίωσης του άνθρακα και του μεταβολισμού του αζώτου καθώς και οι μορφολογικές αλλοιώσεις, είναι κοινά συμπτώματα για πολλά φυτικά είδη. Επίσης, επάγεται μία μετατόπιση του N των φύλλων με μείωση κατά 8 - 15% για όλα τα είδη φυτών που έχουν εξετασθεί, πλην της ελιάς (*Olea europea*). Στις περισσότερες περιπτώσεις η ενεργοποίηση των μηχανισμών γήρανσης μεταφράζεται σε μείωση του ρυθμού αύξησης φυτικής βιομάζας. Οι μορφολογικές αλλοιώσεις είναι αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών. Στοιχεία που προδιαθέτουν για ανθεκτικότητα στην επίδραση του όζοντος είναι το παχύτερο σπογγώδες παρέγχυμα, το μεγαλύτερο χλωροφυλλικό περιεχόμενο ανά μονάδα επιφάνειας των φύλλων και ο υψηλότερος φωτοσυνθετικός ρυθμός (A. Ribas et al., 2004).

Περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως είναι η σκίαση, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η υγρασία του εδάφους, η σχετική υγρασία, η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία και η θερμοκρασία αέρα, όταν συνδυαστούν με χημικές ουσίες ανάλογης συγκέντρωσης, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης, μπορούν ανάλογα να επηρεάσουν και την αύξηση των φυτών και τα διάφορα χαρακτηριστικά τους. Για παράδειγμα υπάρχουν σχετικές αναφορές για το είδος *Lantana camara* με χρήση μπακλομπουτραζόλης (Matsoukis & Kamoutsis, 2003). Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν βρεθεί και για το φυτό *Gardenia jasminoides ellis*. Σε αυτά τα πειράματα μάλιστα, φάνηκε ότι ο φυτορρυθμιστής (μπακλομπουτραζόλη) σε συνδυασμό με την ένταση και την περίοδο του φωτός, είχε επίδραση ακόμα και στην ποσοτική παρουσία των ανθέων του φυτού (Kamoutsis et al., 1997). Επίσης, φάνηκε ότι ακόμα και οι μικρομετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών, όταν επιδρούν σε συνδυασμό με φυτορρυθμιστές, το φως και την θερμοκρασία. Ιδιαίτερα δε η θερμοκρασία εμφανίζεται ως σημαντικότερος παράγοντας για την επίδραση των διαφόρων φυτορρυθμιστών, υπο διαφορετικές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας (Muzik 1976, Kamoutsis et al, 2004). Σε αυτή την τελευταία περίπτωση, ο χειρισμός των πειραματόφυτων γίνονταν με την ουσία triapenthenol.

## ΓΕΝΙΚΟΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 3.2. Στρωμάτωση και γενικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας

Τμήμα	Ιδιότητες – Χαρακτηριστικά
Τροπόσφαιρα 0 – 12 Km	Το 75 % της μάζας της ατμόσφαιρας βρίσκεται στην τροπόσφαιρα. Η πίεση του αέρα ελαττώνεται εκθετικά με την αύξηση του ύψους. Η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά ~ 6,5 °C / km από 20 °C στο έδαφος μέχρι -55 °C στο ανώτερο όριο. Η ποσότητα του οξυγόνου ελαττώνεται με το ύψος.
Τροπόπαυση (Ισημερινός 17 km, Πόλοι 7 km)	Είναι το λεπτό στρώμα που χωρίζει την τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα. Το ύψος της μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος. Μεγαλύτερη τιμή έχει στο τέλος του καλοκαιριού και μικρότερη στο τέλος του χειμώνα. Στους πόλους η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει και τους -85 °C.
Στρατόσφαιρα 12 – 50 Km	Η ονομασία προέρχεται από την κατά στρώματα διάταξη των αερίων που την αποτελούν (είναι διατεταγμένα ανάλογα με το ειδικό τους βάρος). Υπάρχουν υδρατμοί σε ελάχιστη ποσότητα και στα κατώτερα στρώματα επικρατεί το όζον (οζονόσφαιρα). Η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή για μερικά χιλιόμετρα πάνω από την τροπόπαυση και αρκετά κάτω από το μηδέν, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται βαθμιαία (-55 έως 0 °C). Η θερμική αυτή αναστροφή, η οποία οφείλεται στη θέρμανση της περιοχής από το όζον και στην ψύξη από το CO <sub>2</sub> , εμποδίζει την είσοδο μεγάλων μαζών τροποσφαιρικού αέρα μέσα στην στρατόσφαιρα.
Μεσόσφαιρα 50 – 80 km	Είναι η περιοχή που εκτείνεται πάνω από την στρατόσφαιρα, έως τα 80 χιλιόμετρα. Στην περιοχή αυτή η θερμοκρασία ελαττώνεται βαθμιαία με το ύψος (0 έως -100 °C). Κοντά στη μεσόπαυση δημιουργούνται συχνά αραιά νέφη, τα οποία πιστεύεται ότι αποτελούνται από παγοκρυστάλλους και είναι ορατά από επίγειο παρατηρητή.
Θερμόσφαιρα 80 – 500 km	Από θερμική άποψη αντιπροσωπεύει το εξώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Η θερμοκρασία της θερμόσφαιρας καθορίζεται από την ηλιακή δραστηριότητα και παρατηρείται βαθμιαία αύξησή της (-100 έως και πάνω από 1000 °C) μέχρι τα 300 περίπου χιλιόμετρα. Από την άποψη της απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) διακρίνεται μια περιοχή η οποία ονομάζεται ιονόσφαιρα και περιλαμβάνεται σε ύψος περίπου 60 – 400 χιλιόμετρα.
Εξώσφαιρα > 400 km	Πέρα από την ιονόσφαιρα εκτείνεται η εξώσφαιρα, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη διασπορά των αερίων και από πολύ υψηλές θερμοκρασίες (~1250 °C) και της οποίας δεν είναι γνωστό το ανώτερο υψομετρικό όριο.

Πίνακας 3.3. Σύσταση του αέρα του κατώτερου στρώματος της ατμόσφαιρας

Συστατικό ατμόσφαιρας	Συγκέντρωση	Συστατικό ατμόσφαιρας	Συγκέντρωση
Άζωτο (N <sub>2</sub> )	78,05 %	Κρυπτόν (Kr)	1,1 mg/l
Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	20,95 %	Υδρογόνο (H <sub>2</sub> )	0,5 mg/l
Αργόν (Ar)	0,93 %	Υποξείδιο του αζώτου (N <sub>2</sub> O)	0,3 mg/l
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	340 mg/l	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	0,1 mg/l
Νέον (Ne)	18,2 mg/l	Ξένον (Xe)	0,09 mg/l
Ήλιο (He)	5,2 mg/l	Όζον (O <sub>3</sub> )	0,03 mg/l
Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	1,5 mg/l	Αμμωνία (NH <sub>3</sub> )	0,001 mg/l

Πίνακας 3.4. Πρωτογενείς και Δευτερογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι

Πρωτογενείς ρύποι	Δευτερογενείς ρύποι
Εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα απ' ευθείας από διάφορες πηγές	Οι δευτερογενείς ρύποι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς με χημικές αντιδράσεις που γίνονται είτε μεταξύ τους είτε με τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας με συμμετοχή του ηλιακού φωτός, της θερμοκρασίας και της υγρασίας.
Αιωρούμενα σωματίδια (σκόνη, καπνός, σωματίδια βαρέων μετάλλων, όπως Pb, Ni κ.ά.)	
SO <sub>2</sub>	
CO	
Υδρογονάνθρακες	
Cl <sub>2</sub>	NO
F <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
	O <sub>3</sub>

Πίνακας 3.5. Ενώσεις του αζώτου και του θείου της ατμόσφαιρας

Ενώσεις του αζώτου	Ενώσεις του θείου	
Διάφορα οξείδια του αζώτου (NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Οξείδια του θείου (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> )	
Αμμωνία (NH <sub>3</sub> )	Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)	
Οργανικές αζωτούχες ενώσεις οργανικά (RNO <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> COO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> )	Διάφορες θειόλες (CH <sub>3</sub> SH, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S)	
Οξέα (HNO <sub>3</sub> , HNO <sub>2</sub> )	Διθειάνθρακας (CS <sub>2</sub> )	
Νιτρικά άλατα (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	Θειικό οξύ (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Θειώδες οξύ (H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )
Χλωριούχα άλατα (NH <sub>4</sub> Cl)	Διάφορα θειικά άλατα (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	

Πίνακας 3.6. Γενικά χαρακτηριστικά του όζοντος

Χημικός τύπος	O <sub>3</sub>
Ιδιότητες / Χαρακτηριστικά	Άχρωμο αέριο, πολύ οξειδωτικό.
Πυκνότητα	2,14 kg O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> στους 0°C 1013 mbar.
Διαλυτότητα στο νερό	3 ppm στους 20 °C.
Πως σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα	Σχηματίζεται στην κατώτερη ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων μεταξύ O <sub>2</sub> , πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και οξειδίων του αζώτου, με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας, κυρίως με καλό και ζεστό καιρό. Είναι το κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους κοντά στην επιφάνεια της γης.
Ο ρόλος του στην ατμόσφαιρα	Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα), έχει ευεργετικό ρόλο, προστατεύοντάς μας από τις βλαβερές ακτίνες του ήλιου.
Ανήκει	Στους δευτερογενείς ρύπους της ατμόσφαιρας.
Επιπτώσεις στην υγεία	Προκαλεί ερεθισμό της αναπνευστικής οδού (αίσθημα ξηρότητας, πόνο στο στήθος, βήχα, άσθμα, φλεγμονή στους πνεύμονες και πιθανή επιδεκτικότητα σε μολύνσεις του αναπνευστικού).
Επιπτώσεις στο περιβάλλον	Επιδρά στα φυτά, μειώνει την παραγωγή στις αγροτικές καλλιέργειες και προκαλεί ζημιές στη δασική βλάστηση.

Πίνακας 3.7. Χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων

Ιδιότητες / Χαρακτηριστικά	Είναι υλικά (διαμέτρου 2x10 <sup>-3</sup> – 200 μm) σε στερεή ή υγρή μορφή που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
Πηγές εκπομπής στην ατμόσφαιρα	Βιομηχανικές δραστηριότητες, παραγωγή τσιμέντου, γύψου, χυτήρια μεταλλεύματος, αυτοκίνητα, πυρκαγιές, σκόνη από απογυμνωμένο έδαφος, αγροτικές δραστηριότητες, κατασκευές κ.λ.π.
Επιπτώσεις στην υγεία	Επηρεάζουν την αναπνοή, προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό και στους πνεύμονες ακόμα και πρόωρο θάνατο. Ομάδα υψηλού κινδύνου αποτελούν οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά και τα άτομα που πάσχουν από άσθμα.
Επιπτώσεις στο περιβάλλον	Οι επιδράσεις τους εξαρτώνται τόσο από το μέγεθός τους (όσο μικρότερα είναι τόσο πιο επικίνδυνα) αλλά και από τη χημική τους σύσταση.





# 4

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ -

### ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΚΑΙ ΟΖΟΝ



#### 4.1. Γενικά

Η μεσογειακή λεκάνη θεωρείται μία από τις χαρακτηριστικότερες περιοχές για τον φωτοοξειδωτικό σχηματισμό όζοντος (Millan et al, 1992) καθώς λειτουργεί σαν ένας τεράστιος «φωτοχημικός αντιδραστήρας» που συνδυάζει την έντονη ηλιακή ακτινοβολία, την υψηλή θερμοκρασία και συνθήκες που προκαλούν συνεχή ανακύκλωση και επανακυκλοφορία αερίων μαζών. Αυτές μεταφέρουν αέριους ρύπους, ευνοούν τον σχηματισμό και την συγκέντρωση όζοντος και λειτουργούν με αθροιστικό τρόπο (Millan et al, 1996, 1997, 2002, Sanz and Millan, 1998), με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των ρύπων να φτάνουν σύντομα σε φυτοτοξικά επίπεδα (Busotti and Ferretti, 1998, Fumagalli et al., 2001, Reinert et al., 1992, Sanz and Millan, 1998, 2000, Velissariou et al, 1992).

Ερευνητικές εργασίες μετά το 2000, αναφέρουν ότι η επίδραση του όζοντος στα διάφορα μεσογειακά είδη δέντρων παρουσιάζει μία μεγάλη ποικιλία αποκλίσεων (Elvira et al., 2004). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι ακόμα εύκολο να καθορισθούν τα λεγόμενα "κρίσιμα επίπεδα παρουσίας του όζοντος". Ως τέτοια θεωρούνται αυτά όπου όταν ξεπεραστούν υπάρχουν αυξημένες πιθανότητες να εμφανιστούν αρνητικές επιπτώσεις στα φυτά (UNECE, 1988). Στον ορισμό του κρίσιμου επιπέδου λαμβάνεται υπ' όψιν και η διασπορά των ρύπων μακριά από την πηγή έκλυσης (διασυνοριακή ρύπανση). Ομοίως όπως συμβαίνει με τα θρεπτικά (βλ. παραπάνω), ο βαθμός επίδρασης του όζοντος σχετίζεται και με την διαθεσιμότητα του νερού. Σε εργασία των Ribas et al. (2004), αναφέρεται για παράδειγμα ότι η **χαρουπιά** και η **αριά** παρουσιάζουν μείωση της πυκνότητας των στομάτων και της συγκέντρωσης του αζώτου στο φύλλωμα, όταν μειωθεί η διαθεσιμότητα του νερού κατά 50%. Αυτό μπορεί να συσχετισθεί με την αυξημένη διασπορά που εμφανίζει μία ορισμένη ποσότητα ενός αέριου ρύπου σε μεγαλύτερο αριθμό στομάτων, οπότε τελικά η επιδρώσα ποσότητα του ρύπου είναι λιγότερη ανά μονάδα μάζας φυλλικού ιστού σε τοπική κλίμακα (βλ. παρακάτω Raakkonen et al., 1997).

Αναμένεται ότι τα φυτά της Μεσογείου πρέπει να εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή έναντι του όζοντος εξαιτίας της σκληροφυλλίας, κατάστασης που περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως είναι τα χαμηλά τάξη ανταλλαγής αερίων ειδικά στα σκιδόφιλα είδη, έντονη έκκριση πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), ενδογενή και επαγόμενη ικανότητα να αντιμετωπίζουν την οξειδωτική καταπόνηση μέσω μίας σειράς αντιοξειδωτικών ουσιών (Nali et al., 2004b, Paoletti, 2006). Η σκληροφυλλία επίσης,

χαρακτηρίζεται από την παρουσία υψηλής στοματικής πυκνότητας, μικρούς μεσοκυττάρους χώρους στα φύλλα, παχιά κυτταρικά τοιχώματα, αυξημένο πάχος εφυμενίδας και επιφανειακών στρώσεων κηρών, με στόχο τον καλύτερο έλεγχο της λειτουργίας των στομάτων και της ανταλλαγής των αερίων κ.λπ. Η αυξημένη πυκνότητα στομάτων, μπορεί να επιτρέψει την διασπορά της ίδιας ποσότητας όζοντος σε περισσότερους μεσοκυττάρους χώρους στο φύλλο, άρα μικρότερες ποσότητες αερίου ανά χωρικό όγκο, με πρακτικό αποτέλεσμα να μειώνεται η ποσότητα του βλαπτικού όζοντος που εισχωρεί και προκαλεί οξειδωτική καταπόνηση (Paakkonen et al., 1997).

Στο μεσογειακό περιβάλλον, οι ενδογενείς αντιοξειδωτικές ουσίες των σκληρόφυλλων, και κυρίως οι πτητικές (VOCs), εκκρίνονται ως αποτέλεσμα της επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών (Loreto et al., 2004). Τέτοιες χημικές ενώσεις είναι και τα ισοπρενοειδή (ισοπρένιο και μονοτερπένια) που προκύπτουν ως δευτερογενείς μεταβολίτες. Έχει διαπιστωθεί ότι τα **ισοπρενοειδή** προστατεύουν τις κυτταρικές μεμβράνες από την οξειδωτική καταπόνηση, την υδατική καταπόνηση, τις υψηλές θερμοκρασίες και το όζον (Loreto et al., 2004). Φυτά που έχουν προσαρμοστεί σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης και έντονης ηλιακής ακτινοβολίας, παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες πρωτογενών αντιοξειδωτικών ουσιών, όπως είναι οι **φαινόλες**. Οι ιδιαίτερες συνθήκες θερμοκρασίας και διαθεσιμότητας νερού που επικρατούν στη μεσογειακή λεκάνη, πιθανά επάγουν πιο αποτελεσματικούς μηχανισμούς αντιμετώπισης της οξειδωτικής καταπόνησης συγκριτικά με την υπόλοιπη βλάστηση της Νοτίου και Βορείου Ευρώπης και πιθανά, αυτές οι προσαρμογές να περιορίζουν τις όποιες αρνητικές επιδράσεις του όζοντος στην μεσογειακή βλάστηση.

Μακροπρόθεσμα, το μεταβολικό κόστος που πρέπει να καλύψει ένα μεσογειακό φυτό, πιθανόν να δρα αρνητικά για την χρονική διάρκεια επιβίωσής του, καθώς το φυτό βρίσκεται σχεδόν συνέχεια σε κατάσταση καταπόνησης. Σε κάθε περίπτωση, δεν αποκλείεται να υπάρχει σε έναν βαθμό υπερεκτίμηση της επίδρασης του όζοντος στην μεσογειακή βλάστηση συνολικά. Ίσως τελικά η πραγματική επίδραση να είναι πολύ μικρότερη απ' ό,τι αρχικά εκτιμήθηκε, συγκριτικά με τα επίπεδα παρουσίας του ρύπου (Ferretti et al., 2006). Όπως επίσης, είναι πιθανόν οι όποιες παρατηρήσεις που αφορούσαν ορισμένα είδη, να υπερεκτιμήθηκαν ως προς την γενίκευση τους και να αποτελούν ειδικές περιπτώσεις.

Για τα αείφυλλα σκληρόφυλλα που διατηρούν για μεγάλο χρονικό διάστημα τα φύλλα τους, φαίνεται ότι η κατάσταση που περιγράφεται ως "σκλήρυνση των φύλλων" αποτελεί το χρονικό σημείο όπου εμφανίζεται η επίδραση του όζοντος. Αυτή η χρονικά καθυστερημένη ορατή απόκριση, πιθανόν εμφανίζεται και εξαιτίας του μεγάλου χρονικού διαστήματος διατήρησης των φύλλων. Σε αυτό το χρονικό διάστημα ίσως οι ενδιάμεσες ευνοϊκές περιόδους δίνουν την ευκαιρία να διορθώνονται σε σημαντικό βαθμό οι βλάβες. Η επίδραση του όζοντος στο μεσόφυλλο φαίνεται ότι προκαλεί αργή αντιοξειδωτική αντίδραση καθώς σε μερικά είδη επάγεται αύξηση δευτερογενών μεταβολιτών όπως των φαινολών. Επομένως, γενικά η παρατηρούμενη ορισμένες φορές αύξηση της συγκέντρωσης των δευτερογενών μεταβολιτών πιθανόν να αποτελεί μία φυσιολογική αντίδραση σε περιβαλλοντικούς παράγοντες καταπόνησης όπως είναι το όζον (Reig-Arminana et al., 2004).

Για τα κωνοφόρα, φαίνεται ότι λειτουργεί ένα είδος «μνήμης» έναντι της δράσης του ρύπου, καθώς οι βλάβες αρχίζουν να γίνονται ορατές μερικούς μήνες μετά την έκθεση.

Σε αυτό το σημείο, όσον αφορά τις μεσογειακές περιοχές, θα πρέπει να διακρίνουμε την επίδραση του όζοντος στα φύλλα κατά την εαρινή και θερινή περίοδο. Νωρίς την άνοιξη όπου ξεκινάει η βλαστητική περίοδος με την δημιουργία

νέων ιστών, τα στόματα και η διαπνοή στα παλαιά φύλλα δεν έχουν επηρεαστεί ακόμα από την θερινή ξηρασία, οπότε η παρουσία αυξημένων επιπέδων όζοντος αναμένεται να έχει σημαντικότερη επίδραση στους νεαρούς ιστούς (Reig-Arminana et al., 2004).

Η ανάπτυξη της επιφάνειας του φύλλου, είναι βασική διαδικασία της αύξησης (Terrys et al., 1983). Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει την σχέση φυλλικής επιφάνειας/ξηρής βιομάζας (Gunn & Farrar, 1999). Το τάχος αύξησης της φυλλικής επιφάνειας επηρεάζεται από την θερμοκρασία στα φρυγανικά (Granier & Tardieu, 1998, Lafarge et al., 1998) και στα θαμνώδη είδη (Gratani, 1996). Ομοίως η θερμοκρασία επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού και την περιεκτικότητά του στους αναπτυσσόμενους ιστούς, καθώς η σπαργή είναι απαραίτητη για την αύξηση του κυττάρου σε μέγεθος (Frensch, 1997, Hsciao et al., 1998). Διαφοροποιήσεις στα τάχη αύξησης της επιφάνειας των φύλλων και της ξηρής μάζας, μπορεί να προκαλέσουν αλλαγές στην ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) (Kvet et al., 1996). Προφανώς οποιαδήποτε μεταβολή στην ειδική φυλλική επιφάνεια θα προκαλέσει μεταβολές και στο τάχος της φωτοσύνθεσης (Tardieu et al., 1999).

Τα μεσογειακά σκληρόφυλλα είδη, εμφανίζουν έντονη βλαστητική αύξηση την άνοιξη (Pereira et al., 1987, Gratani & Crescente, 1997) όταν γίνεται μέγιστη η φωτοσυνθετική δραστηριότητα και η πυκνότητα των στομάτων (Gratani, 1995). Επιπρόσθετα, έχει γίνει σαφές ότι η φωτοσυνθετική δραστηριότητα περιορίζεται από την υδατική καταπόνηση, την έντονη ηλιακή ακτινοβολία και την μικρή πυκνότητα στομάτων (Fleck et al., 1995, Gratani, 1995), όταν η σχετική υδατοπεριεκτικότητα (RWC, relative water content) είναι χαμηλή (Rhizoroulou et al., 1991) και η διαπνοή είναι αυξημένη (Castell et al., 1994). Η σκληροφυλλία είναι μία προσαρμογή των μεσογειακών φυτών, προκειμένου να επιβιώσουν στην έλλειψη νερού και τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες και χαρακτηρίζεται από φύλλα μεγάλης διάρκειας ζωής (Turner, 1994; Salleo & Nardini, 2000).

Οι Paoletti et al., (2003), προσπάθησαν να κατατάξουν τα διάφορα μεσογειακά φυτικά είδη ως προς την ανθεκτικότητα τους στο όζον, χρησιμοποιώντας ως βιοδείκτη ευαισθησίας την ποιοτική και ποσοτική παρουσία αντιοξειδωτικών μεταβολιτών στους ιστούς. Τα αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας έχουν χαρακτηριστεί από άλλους ερευνητές ως αντιφατικά και από άλλους ως μία λογική προσέγγιση. Σε γενικότερες γραμμές, είναι σίγουρο ότι τα φυτά αντιμετωπίζουν τα αυξημένα επίπεδα όζοντος μέσα από την ενεργοποίηση μίας ποικιλίας ανατομικών, βιοχημικών, φυσιολογικών και περιβαλλοντικών παραγόντων που αλληλεπιδρούν και στους οποίους εμπλέκεται και η παραγωγή αντιοξειδωτικών ουσιών, καθώς το όζον έχει εξαιρετική οξειδωτική δράση (Alonso et al., 2001).

Γενικά, οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην μεσογειακή λεκάνη, ευνοούν την δημιουργία υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος μέσω φωτοχημικής σύνθεσης, εξαιτίας των υψηλών εντάσεων ηλιακής ακτινοβολίας που αναπτύσσονται εποχιακά. Οι υψηλές θερμοκρασίες και η χαμηλή διαθεσιμότητα νερού που επικρατούν τις θερμές περιόδους του έτους, οδηγούν πολλά μεσογειακά είδη στο να ακολουθούν στρατηγικές ανοχής με μειωμένη αγωγιμότητα των στομάτων, οπότε μειώνονται οι εισερχόμενες ποσότητες αέριων ρύπων στο εσωτερικό των φύλλων τους άρα και του όζοντος. Μια και οι εμφάνιση αυτών των στρατηγικών γίνεται εντονότερη κατά τις θερμές εποχές του έτους όπου αυξάνονται φωτοχημικά οι τιμές όζοντος στην ατμόσφαιρα, οι τελικές επιδράσεις φαίνεται να είναι περιορισμένες. Κατά μία αντίστροφη λογική, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος επιδρούν στην αγωγιμότητα των στομάτων κατά τις περιόδους ξηρασίας, γεγονός που μπορεί με την σειρά του να οδηγεί στην επακόλουθη απόκριση των φυτών έναντι του O<sub>3</sub>.

Θεωρώντας ότι τα συμπεράσματα από την μελέτη αρκετών μεσογειακών ειδών όπως είναι η κουμαριά (*Arbutus unedo*), η μυρτιά (*Myrtus communis*), η χαρουπιά (*Ceratonia siliqua*) κ.λπ., μπορούν να γενικευθούν έστω και με επιφύλαξη, σε όλα τα σκληρόφυλλα, καταλαβαίνουμε ότι η αύξηση της ξηρής βιομάζας του φύλλου στο μέγιστο της αυξητικής περιόδου, αντανακλά την επένδυση που κάνει το φυτό σε δομή και υλικά (που μεταφράζεται σε αυξημένο πάχος φύλλου) ώστε να επιτύχει καλύτερη φωτοσυνθετική απόδοση και ανθεκτικότητα στις δύσκολες μεσογειακές συνθήκες (Witkowski & Lamont, 1991). Το χλωροφυλλικό περιεχόμενο, η πυκνότητα των στομάτων και το φωτοσυνθετικό τάχος, αυξάνονται μαζί με την αύξηση της φυλλικής επιφάνειας, για μεγάλο διάστημα μέσα στην περίοδο άνθισης ( $53 \pm 5$  ημέρες). Στα μεσογειακά οικοσυστήματα, η ξηρασία, οι υψηλές θερμοκρασίες και η ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας που εμφανίζονται εποχιακά, επηρεάζουν δραματικά την λειτουργία των φυτών θέτοντας όρια στην παραγωγικότητά τους (Filella et al., 1998). Γι' αυτό και όλα τα γνήσια μεσογειακά είδη, που μπορούν να χαρακτηριστούν "σκληρόφυλλα", εμφανίζουν δομική και λειτουργική σύγκλιση παρά τις όποιες διαφοροποιήσεις που μπορεί να υπάρχουν από είδος σε είδος (Mitrakos & Christodoulakis, 1981). Υψηλή πυκνότητα ιστών, μεγάλο πάχος φύλλου και μικρή φυλλική επιφάνεια, είναι στρατηγικές που αυξάνουν την αντίσταση των σκληρόφυλλων στην ξηρασία, τις υψηλές θερμοκρασίες και την ηλιακή ακτινοβολία, επιτρέποντας ακόμα και την εμφάνιση χαμηλότερου φωτοσυνθετικού τάχους (Castro - Diez et al., 1998, Gratani & Bombelli, 1999, Werner et al., 1999).

Ως προς την δομή, το καλά ανεπτυγμένο πασσαλώδες παρέγχυμα και η αναλογία πασσαλώδους/σπογγώδους παρεγχύματος (στο 1,06 περίπου) είναι χαρακτηριστική για τα φωτόφιλα (ηλιόφιλα) φύλλα (Dengler, 1980). Επίσης, η αναλογία πάχους πασσαλώδους παρεγχύματος και πάχους του μεσόφυλλου, της τάξης του 0,5, δείχνουν ξηρομορφικότητα (Mitrakos & Christodoulakis, 1987). Τέλος, για την επίδραση του όζοντος σε κυτταρικό επίπεδο, υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για κωνοφόρα και πλατύφυλλα φυλλοβόλα είδη (*Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus serotina*, *Sorbus aucuparia*) αλλά λίγες για αείφυλλα σκληρόφυλλα μεσογειακά είδη.

## 4.2. Αναφορές για την επίδραση του όζοντος σε συγκεκριμένα φυτικά είδη της μεσογειακής χλωρίδας

### 4.2.1. *Arbutus unedo*

Για το είδος *Arbutus unedo* (κοιν. κουμαριά) οι Gratani & Ghia, (2001) μελέτησαν το βαθμό της σκληροφυλλίας, χρησιμοποιώντας δείγματα από τα περίχωρα της Ρώμης. Στα αποτελέσματα, βρέθηκε ότι η χλωροφύλλη-α (Chl-a) και η χλωροφύλλη-β (Chl-b), αυξάνονται κατά την εαρινή περίοδο σχεδόν γραμμικά και παράλληλα ανά νωπή μάζα φύλλου.

Από το ίδιο πείραμα προκύπτει πάλι το συμπέρασμα ότι τα μορφολογικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται κατά την ανάπτυξή τους από περιβαλλοντικούς παράγοντες, η καθαρή φωτοσύνθεση ( $P_N$ ) επηρεάζεται από την ανταλλαγή αερίων ( $g_s$ ), την φυλλική επιφάνεια (LA, leaf area), την ξηρή μάζα των φύλλων (DM, leaf dry mass) και το περιεχόμενο σε χλωροφύλλες (κυρίως Chl-a και Chl-b). Για το φυτό αυτό η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης των φύλλων προσδιορίστηκε σε  $22 - 29$  °C.

Διάφορες φυσιολογικές παράμετροι που υπολογίστηκαν για την κουμαριά από τους Gratani & Ghia (2001), ισχύουν σε γενικές γραμμές για τα περισσότερα σκληρόφυλλα είδη (net photosynthesis -  $P_N - 10,5 \pm 0,2$   $\mu\text{mole CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $g_s 0,2 \pm$

$0,01 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , Chla+b  $0,44 \pm 0,001 \text{ mg g}^{-1}$ ) (Castellan & Terradas, 1995, Gratani, 1995, Bartak et al., 1999, Gratani & Bombelli, 2000, Garcia-Plazaola et al., 2000).

Οι Elvira et al., (2003) και Paoletti et al., (2003), αναφέρουν για την κουμαριά ότι η επίδραση όζοντος στα φύλλα επιφέρει μείωση στην απόδοση της φωτοσύνθεσης, αύξηση των αντιοξειδωτικών επιπέδων και μείωση στην ανάπτυξη των μίσχων. Ο Bussotti (2005) επίσης αναφέρει την εμφάνιση υπερδομικών αλλαγών σε πειράματα ελέγχου της αύξησης του πάχους της επιδερμίδας. Επίσης παρατηρήθηκε εκφυλισμός του κυτταροπλάσματος των επιδερμικών κυττάρων και απόθεση ταννίνης στα εξωτερικά πρωτογενή τους τοιχώματα.

#### 4.2.2. *Laurus nobilis*

Οι Elvira et al., (2003) και Paoletti et al., (2003), αναφέρουν ότι γενικά η επίδραση όζοντος στην δάφνη προκαλεί μείωση στην απόδοση της φωτοσύνθεσης, αύξηση των αντιοξειδωτικών επιπέδων και μείωση στην ανάπτυξη των μίσχων. Έχουν επίσης καταγραφεί υπόλευκα στίγματα στην παραξονική επιφάνεια ώριμων φύλλων (ηλικίας ενός έτους τουλάχιστον). Πιθανόν αυτά να αφορούν τοπική αποικοδόμηση χλωροφυλλών ως αποτέλεσμα αθροιστικής επίδρασης των αέριων ρύπων.

#### 4.2.3. *Pistacia lentiscus*

Για το είδος *Pistacia lentiscus* (κοιν. Σχίνος), οι Reig-Arminana et al., (2004), διενήργησαν πειράματα ελεγχόμενης επίδρασης μεταβαλλόμενων συγκεντρώσεων όζοντος για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, μέσα σε ειδικούς θαλάμους (OTCs). Στα αποτελέσματα φαίνεται ότι μετά την επίδραση χαμηλών συγκεντρώσεων όζοντος ( $>AOT_{10}$ ) υπάρχουν σαφείς διαφορές στην επίδραση μεταξύ νεαρών και ώριμων φύλλων.

Στα νεαρά φύλλα διατηρήθηκε το μονόστοιβο πασσαλώδες παρέγχυμα, μεταβατική ζώνη και σπογγώδες παρέγχυμα με μικρούς μεσοκυττάρους χώρους, τα πλαστίδια σε όλα τα παρεγχυματικά κύτταρα ήταν μικρά με ελάχιστους αμυλόκοκκους, τα κύτταρα εμφάνισαν πολύ λεπτά πρωτογενή τοιχώματα και οπτικά διαφανή χυμοτόπια. Η παραξονική και απαξονική επιφάνεια των φύλλων φάνηκε ότι καλύπτονταν από λεπτή αλλά καλά οργανωμένη επιδερμίδα ενώ τα υποεπιδερμικά κυτταρικά στρώματα και το σπογγώδες παρέγχυμα ήταν ελάχιστα λεπτότερα από τα υπερκείμενα. Τέλος, μικρές αλλοιώσεις εντοπίστηκαν στο μέγεθος και την μορφή των στομάτων.

Στα ώριμα φύλλα, το πασσαλώδες παρέγχυμα βρέθηκε δίστοιβο και τα κύτταρα είχαν πολλά χυμοτόπια που μετά από χρώση με σαφρανίνη εμφάνισαν οπτικά πυκνό περιεχόμενο, πιθανόν λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης των ταννινών. Τα κύτταρα είχαν λεπτά τοιχώματα και μεγάλα πλαστίδια, σφαιρικά με πολλούς αμυλοκκόκκους, ιδιαίτερα στα κύτταρα της μεταβατικής ζώνης. Η επιδερμίδα ήταν πιο λεπτή.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά παραπέμπουν σε γενικά χαρακτηριστικά γήρανσης των ιστών. Η περαιτέρω επίδραση αυξημένων συγκεντρώσεων όζοντος πιθανόν οδήγησε σε επιτάχυνση της γήρανσης. Η παρατεταμένη επίδραση αυξημένων συγκεντρώσεων προκάλεσε πιο έντονες αλλοιώσεις σε ιστούς και κύτταρα. Στα κύτταρα του πασσαλώδους παρεγχύματος, τα με την ταννίνη έλαβαν ραβδόμορφο σχήμα επιδρώντας και στο σχήμα του κυττάρου. Οι ταννίνες, αρχικά είχαν ακανόνιστη κατανομή στα χυμοτόπια και αργότερα πιο ομοιογενή. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος οδήγησαν σε εκφυλισμό και αποικοδόμηση των τονοπλαστών

των χυμοτοπιών και ανάμειξη του περιεχομένου τους με το κυτταρόπλασμα. Επίσης, οι χλωροπλάστες μειώθηκαν σε μέγεθος και σε αριθμό. Αυτό προφανώς σημαίνει και μείωση του χλωροφυλλικού περιεχομένου.

Μετά από έναν μήνα επίδρασης υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος, εκφυλίστηκαν σημαντικά τμήματα του πασσαλώδους παρεγχύματος. Στο σπογγώδες παρέγχυμα οι επιπτώσεις ήταν ανάλογες και εντάθηκαν υπό την επίδραση μεγαλύτερων συγκεντρώσεων και παρατεταμένης χρονικά επίδρασης όζοντος. Τα μεσοκυττάρια διαστήματα μεγάλωσαν και οι χλωροπλάστες επαναδιατάχθηκαν μέσα στο κύτταρο με τάση άθροισης προς το κέντρο του, πιθανόν λόγω της εξαφάνισης των χυμοτοπιών, ενώ τελικά μειώθηκαν κι άλλο σε μέγεθος και αριθμό ώσπου εκφυλίστηκαν. Αξιοσημείωτο είναι ότι πριν το τελικό στάδιο εκφυλισμού των χλωροπλάστων, παρατηρήθηκε στο στρώμα η εμφάνιση πλαστοσφαιρίνης. Επίσης, η μορφή των πλαστιδίων αλλοιώθηκε και εμφανίστηκαν κοκκοειδείς σχηματισμοί που βάφονταν έντονα με σαφρανίνη.

Όσον αφορά την επιδερμίδα της παραξονικής επιφάνειας, παρατηρήθηκε πάχυνση των παραξονικών τοιχωμάτων και της εφυμενίδας. Διαχρονικά, με την παρατεταμένη επίδραση αυξημένων συγκεντρώσεων όζοντος, αυξήθηκε και η συσσώρευση τοιχωματικών υλικών στα επιδερμικά κύτταρα, ενώ αργότερα εμφανίστηκαν σκουρόχρωμοι όζοι. Η επίσης πάχυνση των περικλινών τοιχωμάτων των καταφρακτικών κυττάρων των στομάτων τα κατέστησε και δυσλειτουργικά.

Στο φλοιώμα και το ξύλωμα, παρατηρήθηκε αύξηση του πάχους των δευτερογενών τοιχωμάτων και μείωση της διαμέτρου του αυλού. Στα συνοδά κύτταρα του φλοιώματος παρατηρήθηκε αύξηση της πυκνότητας του χυμού που μειώθηκε σε ποσότητα και έγινε διαφανής.

Εξωτερικές ιστολογικές βλάβες που καταγράφηκαν αφορούσαν φύλλα που εμφάνισαν ερυθρές κηλίδες, εντονότερες στα γηραιά φύλλα και περισσότερο εντοπισμένες στην απαξονική επιφάνεια. Τα συμπτώματα έγιναν πιο έντονα μετά από 141 ημέρες επίδρασης αυξημένων επιπέδων όζοντος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο, εάν αναλογιστούμε την αθροιστική επίδραση του όζοντος στα φυτά μέσα σε ένα αστικό περιβάλλον, ειδικά κατά τους εαρινούς και θερινούς μήνες, όπου αυξάνεται συνεχώς ο ρυθμός του φωτοχημικού σχηματισμού του ρύπου.

#### 4.2.4. *Betula pendula*

Για το είδος *Bettula (birch, κοιν. σημύδα)* έχει αναφερθεί ότι η έκθεση στο όζον μειώνει το μέγεθος των φύλλων, αυξάνει την πυκνότητα των στομάτων, των τριχών και των αγγείων, καθώς επίσης και προκαλεί διόγκωση του πασσαλώδους παρεγχύματος. Πολλές από αυτές τις αμυντικές αποκρίσεις βρέθηκαν και σε άλλα μεσογειακά είδη υπό την επίδραση αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας, ξηρασίας και χαμηλής εξατμισιοδιαπνοής.

#### 4.2.5. *Ceratonia siliqua*

Για την χαρουπιά (μαζί με τα είδη *Fraxinus ornus*, *F. angustifolia*, *Pistacia lentiscus*, *P. terebinthus* από συγκριτικές μελέτες), υπάρχουν αποτελέσματα από ελεγχόμενα πειράματα επίδρασης μεταβαλλόμενων συγκεντρώσεων όζοντος μέσα σε κλειστούς ειδικούς θαλάμους (OTCs) και αντιδραστήρες (CSTRs), στα οποία καταγράφηκε μεγάλη ποικιλία στην ευαισθησία τους έναντι του όζοντος (Skelly et al., 2001a,b). Σε αρκετές περιπτώσεις, οι ιστολογικές αλλοιώσεις που καταγράφηκαν στο εργαστήριο και το πεδίο είναι συγκρίσιμες και αντίστοιχες (Cozzi et al., 2000 ; Sanz et al., 2003).

Για την **χαρουπιά**, φαίνεται ότι οι επιδράσεις σε σχέση με την διαθεσιμότητα θρεπτικών και νερού, ήταν εντονότερες για τα πειραματόφυτα που αναπτύχθηκαν σε κανονικές συνθήκες άρδευσης, συγκριτικά με αυτά που αναπτύχθηκαν υπό συνθήκες μειωμένης διαθεσιμότητας νερού. Η πειραματική μεταχείριση με εργαλείο τη διαθεσιμότητα νερού έχει να παρουσιάσει ενδιαφέροντα στοιχεία.

Σε κανονικά ποτισμένα φυτά και υπό συνθήκες μειωμένου φωτισμού η επάρκεια του φωτοσυστήματος PSII μειώθηκε υπό αυξημένη συγκέντρωση όζοντος. Μειωμένη παροχή νερού οδήγησε σε μείωση της αγωγιμότητας των στομάτων και μειώθηκε το τάχος φωτοσύνθεσης. Επίσης, μειώθηκε το τάχος συσσώρευσης βιομάζας κατά 28% (βλ. πιο πάνω) σε σχέση με φυτά που αναπτύχθηκαν υπό την επίδραση χαμηλότερων συγκεντρώσεων όζοντος. Μετά από διετή διάρκεια των πειραμάτων, η συγκέντρωση του αζώτου στα φύλλα της χαρουπιάς δεν επηρεάστηκε από την επίδραση του όζοντος, ενώ αντίστοιχα στην αριά εμφανίστηκε μείωση κατά 17% (βλ. παραπάνω). Η επίδραση αυξημένων ποσοτήτων όζοντος οδήγησαν σε μείωση της επιφάνειας των φύλλων. Επίσης, όπως αναφέρεται και πιο πάνω για άλλα είδη, η επίδραση αυξημένων συγκεντρώσεων όζοντος μείωσε την ποσότητα των χλωροφυλλών των φύλλων.

Ορισμένοι ερευνητές αναφέρουν ότι η χαρουπιά εμφανίζει μεγαλύτερη ευαισθησία ως προς το όζον όταν βρίσκεται υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Πιο συγκεκριμένα, όταν η παροχή νερού είναι χαμηλότερη της αναγκαίας (αυτής που απαιτείται ώστε τα φύλλα να βρίσκονται σε κατάσταση σπαργής), προκαλείται μείωση της αγωγιμότητας των στομάτων. Ένα γενικό συμπέρασμα που προέκυψε από τις πειραματικές παρατηρήσεις είναι ότι η χαρουπιά εμφανίζεται ανθεκτική στην επίδραση του όζοντος όταν δεν υφίσταται υδατική καταπόνηση.

Επίσης, ο συνδυασμός της επίδρασης όζοντος με μείωση αζώτου κατά 50% επιταχύνει την γήρανση των φύλλων με ανάλογη μείωση της ποσότητας των χλωροφυλλών. Καταληκτικά, η χαρουπιά εμφανίζεται λιγότερο ευαίσθητη σε αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος, ακόμα και κάτω από περιστασιακά μειωμένη διαθεσιμότητα νερού αλλά όχι σε παρατεταμένη έλλειψη νερού. Όμως αυτό δεν έχει διευκρινιστεί επακριβώς. Σύμφωνα πάλι με τους Ribas et al., (2004) πειραματόφυτα χαρουπιάς δεν εμφάνισαν ιστολογικές αλλοιώσεις μετά από την διετή εντατική πειραματική επίδραση υψηλών επιπέδων όζοντος.

Αποτελέσματα πειραματικής μελέτης των Ribas et al., (2005), στα οποία χρησιμοποιήθηκε και η χαρουπιά, έδειξαν ότι η συστηματική επίδραση όζοντος, οδήγησε σε μείωση του αζώτου στα φύλλα μετά από δύο χρόνια έκθεσης αλλά δεν μειώθηκε ιδιαίτερα το περιεχόμενο σε χλωροφύλλη. Παράλληλα καταγράφηκε μία μικρή αύξηση της μάζας των φύλλων, η οποία όμως δεν κρίθηκε ότι ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με άλλα πειραματόφυτα. Αντίθετα, η επίδραση πολύ υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος, μείωσε κατά 29% την ολική βιομάζα της χαρουπιάς.

Η ευαισθησία της χαρουπιάς στο όζον φαίνεται να σχετίζεται με μεταβολές στον μεταβολισμό του άνθρακα. Αν και οι μέσες συγκεντρώσεις δεν φαίνεται να έχουν ιδιαίτερη επίδραση σε φυτά που εκτέθηκαν σε υπομέτριες συγκεντρώσεις όζοντος, μετά από έναν χρόνο έκθεσης και στην περίοδο του χειμώνα μετρήθηκε μείωση του χλωροφυλλικού περιεχομένου. Παρόμοια απόκριση καταγράφηκε και σε άλλα πειραματόφυτα (βλ. παρακάτω). Επιπλέον, βρέθηκε μείωση στον ρυθμό λειτουργίας του PSII και κατά τον δεύτερο χειμώνα διεξαγωγής πειράματος από τους Ribas et al., (2004). Αυτές οι μεταβολές διαπιστώθηκε ότι συνοδεύονταν και από αύξηση στην ενσωμάτωση του ισοτόπου  $^{13}\text{C}$ , ιδιαίτερα στην επακόλουθη θερινή περίοδο. Η αλλαγή στον μεταβολισμό του άνθρακα συνοδεύτηκε από μείωση στο φύλλωμα του N και αύξηση του ισοτόπου  $^{15}\text{N}$  κατά το τέλος του δεύτερου έτους του πειράματος (Ribas et al., 2004).

#### 4.2.6. *Olea europaea* subsp. *sylvestris*

Η ελιά είναι ένα κατ' εξοχήν μεσογειακό είδος δέντρου. Πολλά πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η αντοχή αυτού του είδους στο όζον είναι αξιοσημείωτη. Η χαμηλή ευαισθησία της ελιάς στο όζον προκύπτει από την μηδαμινή επίδραση που φαίνεται να έχει στο τάχος αύξησης βιομάζας. Αν και σε άλλα αείφυλλα σκληρόφυλλα μεσογειακά είδη, οποιαδήποτε ανάλογη μείωση μπορεί να ερμηνευθεί από μακράς κλίμακας μεταβολές στο μεταβολισμό του άνθρακα, για την ελιά δεν έχει παρατηρηθεί κάτι αντίστοιχο. Ακόμα και η επίδραση αυξημένων συγκεντρώσεων όζοντος φαίνεται ότι προκαλεί πολύ μικρή μείωση του χλωροφυλλικού περιεχομένου.

Πειραματόφυτα ελιάς, σε πειραματικές διαδικασίες με χρήση OTCs, εμφάνισαν διπλασιασμό στην ποσότητα των χλωροφυλλών, αντίθετα με άλλα είδη που χρησιμοποιήθηκαν παράλληλα (χαρουπιιά, αριά) και εμφάνισαν σχετική μείωση. Το πιο αξιοσημείωτο από τα πειραματικά αποτελέσματα που καταγράφηκαν για την ελιά, είναι μία περιορισμένη μείωση στο τάχος μεταβολισμού του αζώτου στο σπογγώδες παρέγχυμα, ενώ σε άλλα είδη καταγράφηκε αύξηση κατά 34%.

#### 4.2.7. *Quercus ilex*

Η αριά (ξεν.holm oak) είναι δενδρώδες είδος βελανιδιάς που χρησιμοποιείται πολύ στις αστικές περιοχές στη χώρα μας. Σε πειράματα ταυτόχρονης μεταχείρισης με πειραματόφυτα χαρουπιιάς, με χρήση OTCs, η αριά εμφανίστηκε πιο ευαίσθητη σε απώλεια βιομάζας συγκριτικά με την χαρουπιιά. Τα πρώτα συμπτώματα εμφανίστηκαν μετά από 6μηνη έκθεση σε τιμές όζοντος κάτω από τις κρίσιμες (10000 ppb, ή για 6 μήνες επίδραση). Σε αυτά τα πειράματα και μετά από διετή έκθεση σε λίγο πάνω από τις κρίσιμες τιμές όζοντος, η αριά εμφάνισε 29% αυξημένη μείωση βιομάζας σε σύγκριση με πειραματόφυτα χαρουπιιάς ενώ εμφανίστηκε ανθεκτικότερη από την χαλέπιο πεύκη (*Pinus halepensis*). Η χαλέπιος πεύκη σε ανάλογες πειραματικές δοκιμασίες εμφάνισε βλάβες σε πιο χαμηλές τιμές όζοντος (AOT<sub>40</sub>, μονάδες 60000 ppb ή για διάρκεια από Απρίλιο έως Σεπτέμβριο, Karlsson et al., 2004).

Επίσης, υπάρχουν αναφορές από τους Inclan et al., (1999) και Gratani et al., (1999) που υποστηρίζουν την ανθεκτικότητα του είδους έναντι των αέριων ρύπων. Ιδιαίτερα οι Gratani et al., (1999) αναφέρουν σε αποτελέσματα έρευνας που έγινε σε μεγάλο αστικό κέντρο της Ιταλίας (Ρώμη), ότι η αριά εμφανίζει αξιοσημείωτη και διαχρονική αντοχή στην επίδραση αέριων ρύπων. Το είδος αυτό χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να μελετηθούν οι φυσιολογικές και ανατομικές αποκρίσεις του σε διάφορους αέριους ρύπους παράλληλα με την ικανότητά του να συσσωρεύει ρύπους στα φύλλα του. Αν και το τελικό συμπέρασμα ήταν ότι η αριά είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στην συσσώρευση ρύπων και στην επίδρασή τους, μία σύντομη περιγραφή αυτού του πειράματος είναι πολύ ενδιαφέρουσα καθώς έχει σχέση με το πειραματικό μέρος της παρούσης εργασίας.

Συγκεκριμένα λοιπόν, επιλέχθηκαν περιοχές με υψηλή επιβάρυνση σε κυκλοφορία οχημάτων (3750/ώρα), μέση και χαμηλή. Ανάλογη ήταν και η επιβάρυνση των περιοχών σε αέριους ρύπους που προέρχονταν από τα οχήματα και από γειτονικές βιομηχανικές μονάδες. Σε μία από τις περιοχές (την χαμηλής κυκλοφορίας οχημάτων) δεν υπήρχε καθόλου βιομηχανική δραστηριότητα. Καταγράφηκε το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της περιοχής (614 mm), η μέση ελάχιστη θερμοκρασία αέρα για τον ψυχρότερο μήνα (Ιανουάριος 4,8 βαθμούς °C) και η μέση μέγιστη του θερμότερου μήνα (Ιούλιος 31,1 βαθμούς °C). Η κύρια περίοδος βροχοπτώσεων καταγράφηκε κατά τους φθινοπωρινούς μήνες ενώ η ξηρή περίοδος ήταν από Μάιο έως Αύγουστο.



Δηλαδή, επρόκειτο για περιοχή όπου επικρατεί το τυπικό μεσογειακό κλίμα. Για να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία πιθανής αλληλεπίδρασης, συγκεντρώθηκαν και τιμές ρύπων διαφορετικής προέλευσης από γειτονικές περιοχές, π.χ. του διοξειδίου του θείου. Όμως αυτές οι τιμές κρίθηκαν αρκετά χαμηλές (ήταν κάτω από  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  αέρα) πιθανών εξαιτίας της χρήσης καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Οι τιμές για την απόθεση ξηρών ρύπων (μικροσωματίδια) που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από τον Federico (1995) και ήταν  $100 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{ημέρα}$ .

Για το πειραματικό μέρος είχαν επιλεγεί ώριμα φύλλα αριάς, ηλικίας 1 - 2 ετών, στα οποία έγιναν αναλύσεις για βαρέα μέταλλα και άλλα στοιχεία (Na, Sr, Mn, Cu, Zn, Pb, K, Mg, Ca, Fe, B, Al). Εξετάστηκαν σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης, τομές φύλλων που έγιναν με την βοήθεια μικροτόμου, για την πιθανή εύρεση ανατομικών και μορφολογικών αλλοιώσεων, μελετήθηκε η αύξηση του βλαστού και των νεύρων των φύλλων, η ανταλλαγή αερίων και έγιναν και αναλύσεις του χλωροφυλλικού περιεχομένου και άλλων παραμέτρων. Η διαδικασία περιελάμβανε τη συλλογή των φύλλων, την διατήρηση σε χαμηλές θερμοκρασίες και την ανάλυση εντός τριών ωρών. Για κάθε δείγμα έγιναν τρεις φορές οι μετρήσεις. Η απομόνωση των χλωροφυλλών έγινε με την μέθοδο της εκκύλισης με ακετόνη (Maclachlan & Zalík, 1963). Για κάθε μία από τις τρεις περιοχές λήφθηκε ένα δείγμα, έγιναν αναλύσεις συσσώρευσης ρύπων σε πλυμένα και άπλυτα φύλλα και ακολούθησε στατιστική ανάλυση.

Από τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης που έχουν ενδιαφέρον είναι ότι η διαβάθμιση της συσσώρευσης των επιμέρους ρύπων, ήταν παρόμοια στις τρεις περιοχές και σαφώς μεγαλύτερη για την πιο επιβαρημένη περιοχή (αυξημένη κυκλοφορία οχημάτων και βιομηχανική δραστηριότητα) και μάλιστα οι διαφορές ήταν πολύ μεγάλες, π.χ. για τον μόλυβδο ήταν αντίστοιχα 247 ppm, 48 ppm και 15ppm. Σημαντική παρουσία σε όλες τις περιοχές είχαν τα ιόντα Ca, Na και K. Η παρουσία των μετρούμενων ρύπων στα φύλλα μετά το προσεκτικό πλύσιμο, μειώνονταν κατά πολύ. Στην περιοχή με την μεγαλύτερη επιβάρυνση σε κυκλοφορία οχημάτων, μετρήθηκε το παχύτερο στρώμα απόθεσης ρύπων στα φύλλα, πολύ παχύτερη εφυμενίδα στην απαξονική επιφάνεια, παχύτερο πασσαλώδες και σπογγώδες παρέγχυμα ( $5.5 \pm 0.2 \mu\text{m}$ ,  $109,4 \pm 1,1 \mu\text{m}$  και  $77,7 \pm 1,2 \mu\text{m}$  αντίστοιχα). Το πάχος των ανώτερων στρωμάτων της επιδερμίδας, ήταν μικρότερο στην επιβαρημένη περιοχή απ' ότι στις άλλες ενώ για την κατώτερη επιφάνεια των φύλλων δεν καταγράφηκαν διαφοροποιήσεις στα φυτά των τριών περιοχών. Στην πιο ρυπασμένη περιοχή επικρατούσαν τα φύλλα μεγάλης ηλικίας (2 - 3 ετών) ενώ στην περιοχή μέσης και χαμηλής επιβάρυνσης επικρατούσαν νεαρότερης ηλικίας φύλλα (1 - 2 ετών). Οι μετρήσεις χλωροφυλλικού περιεχομένου στα φύλλα έδειξαν τιμές από 1.08 - 1.57 mg/g στα ενός έτους φύλλα και 1.03 - 1.28 mg/g στα δύο ετών. Τα φύλλα των δέντρων από την πολύ ρυπασμένη περιοχή εμφάνισαν μικρότερη διάρκεια ζωής (1 έτος), υψηλότερο χλωροφυλλικό περιεχόμενο και υψηλότερο τάχος ανταλλαγής αερίων και φωτοσυνθετικό τάχος, πιθανών ως αντίδραση στις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούσαν. Το αυξημένο τάχος γήρανσης των φύλλων στις ρυπασμένες περιοχές, θα μπορούσε να συσχετισθεί με την μεγαλύτερη αύξηση των νεύρων και των μίσχων, ίσως λόγω μεγαλύτερης παρουσίας θρεπτικών ιχνοστοιχείων.

Η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Pn) ήταν υψηλότερη στα φύλλα ηλικίας ενός έτους της περιοχής με μέση και χαμηλή σε επιβάρυνση κυκλοφορία οχημάτων, απ' ότι καταγράφηκε για τα φύλλα ηλικίας δύο ετών που προέρχονταν από την πολύ ρυπασμένη περιοχή. Η υψηλότερη τιμή μετρήθηκε τους μήνες Οκτώβριο ( $12 \mu\text{mole}/\text{m}^2$ ) και Μάρτιο ( $9.7 \mu\text{mole}/\text{m}^2$ ). Στην ρυπασμένη περιοχή, το φωτοσυνθετικό τάχος μειώθηκε πολύ περισσότερο κατά τους ξηρούς μήνες του έτους. Αυτό ερμηνεύεται καθώς είναι γνωστό ότι εκτός από την ρύπανση, η δραστηριότητα των

φύλλων επηρεάζεται και από την θερμοκρασία του αέρα, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και το υδατικό στρες (διαθεσιμότητα νερού) (*Nerium*, Meletiou - Christou et al, αδημοσίευτα αποτελέσματα).

#### 4.2.8. Γενικά συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, αναλογιζόμενοι ότι τα παραπάνω αφορούν πειραματικά αποτελέσματα, αναμένεται ότι η επίδραση όζοντος σε φυτά στο πεδίο, πιθανόν να εμφανίζει σημαντικές διαφοροποιήσεις, καθώς παράγοντες όπως η κίνηση του αέρα στην επιφάνεια της επιδερμίδας και η πυκνότητα των στομάτων, μεταβάλλουν τις συγκεντρώσεις του ρύπου που εισέρχονται στο μεσόφυλλο.

Η αυξημένη πυκνότητα στομάτων ανά μονάδα επιφάνειας των φύλλων, διευκολύνει την μεγαλύτερη είσοδο όζοντος από τα στόματα. Η διαθεσιμότητα νερού και η εδαφική υγρασία, επηρεάζουν τον χρόνο έναρξης και εμφάνισης των αλλοιώσεων, καθώς η υδατική κατάσταση του φυτού επηρεάζει την πρόσληψη αερίων μέσω του ανοίγματος και κλεισίματος των στομάτων. Στη φύση όμως, και ειδικότερα στο μεσογειακό περιβάλλον, η παροχή νερού μεταβάλλεται μέσα σε ακραία όρια. Οπότε η ανάπτυξη των εξελικτικών προσαρμογών της σκληροφυλλίας και της ανοχής έναντι της υδατικής καταπόνησης, παίζουν σημαντικό ρόλο στην τελική απόκριση των φυτών έναντι του όζοντος αλλά και άλλων ρυπαντών.

Για φυτά που αντέχουν σε συνθήκες έλλειψης νερού, όπως είναι πολλά σκληρόφυλλα μεσογειακά είδη και ιδιαίτερα σκιοφιλά είδη, η επίδραση του όζοντος φαίνεται να είναι χαμηλότερη στο πεδίο πιθανόν εξαιτίας του χαμηλότερου τάχους διαπνοής.

Η διαθεσιμότητα θρεπτικών, η θερμοκρασία και τα επίπεδα του φωτός, επηρεάζουν αναλόγως την ανταλλαγή αερίων από τα στόματα. Όμως δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι, σε αρκετές περιπτώσεις το γενετικό υπόβαθρο ενός φυτού μπορεί να του επιτρέψει να εγκλιματιστεί σε μία περιβαλλοντική πίεση, οπότε και να αναπτύξει μία στρατηγική που θα το κάνει να συμπεριφερθεί πολύ διαφορετικά από ένα πειραματόφυτο.

Η επίδραση υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος για μεγάλα χρονικά διαστήματα μειώνει το τάχος φωτοσύνθεσης στα φύλλα και τις ποσότητες χλωροφυλλών που περιέχονται στους χλωροπλάστες (Heith, 1980, Dann & Pell, 1989). Αίτια που καθορίζουν την ευαισθησία των φυτών έναντι του όζοντος με επίδραση στο φωτοσυνθετικό τάχος και μείωση του χλωροφυλλικού περιεχομένου, είναι γενετικά (Reich & Amundson, 1985; Miller, 1987), περιβαλλοντικά, όπως η ένταση του φωτός, τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα στους ιστούς του μεσόφυλλου και ενδοκυτταρικά (Lehnherr et al, 1988) καθώς και η διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών (Darral, 1989, Runecles, 1992).

Όπως αναφέρεται παραπάνω, σε πειράματα, όπως για παράδειγμα με χρήση ως πειραματόφυτου του λευκού τριφυλλιού (*white glover*), η μείωση του φωτοσυνθετικού τάχους συσχετίζεται με την αύξηση της αγωγιμότητας των στομάτων που οδηγεί σε αυξημένη επίδραση του όζοντος και μείωση ή βλάβη σε συστατικά της φωτοσυνθετικής συσκευής. Τέτοια συστατικά είναι οι χλωροφύλλες και οι διαλυτές πρωτεΐνες. Επίσης, φαίνεται ότι επηρεάζεται το τάχος αναγέννησης της RuBP και η ενεργότητα της Rubisco (καρβοξυλάση/οξυγονάση της 1,5 -διφωσφορικής ριβουλόζης, Farage et al, 1991).

Ενώ η επίδραση υψηλών επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα εμφάνισε βελτίωση της ποιότητας των σπερμάτων με ποιοτική και ποσοτική περιεκτικότητα σε αποταμιευτικά υλικά του ενδοσπερμίου, η επίδραση αυξημένων επιπέδων όζοντος

έφερε τα αντίθετα αποτελέσματα. Η ταυτόχρονη επίδραση υψηλών επιπέδων CO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub> έδειξε μείωση της ποιότητας των σπερμάτων. Επομένως, φτάνουμε στο γενικό συμπέρασμα ότι η μείωση του φωτοσυνθετικού τάχους λόγω αυξημένων επιπέδων O<sub>3</sub>, αντικατοπτρίζεται σε μειωμένη αφομοίωση των φωτοσυνθετικών προϊόντων στα σπέρματα (Miller, 1987) και προφανώς κάτι τέτοιο προϋποθέτει και γενετική προδιάθεση.

Αποτελέσματα άλλων ερευνητικών εργασιών (Amundson et al, 1987), συνδέουν την καταπόνηση που προκαλούν τα αυξημένα επίπεδα O<sub>3</sub> στη συγκέντρωση της Rubisco, σε φύλλα που έχουν αλλοιωμένο έλασμα (παραμορφωμένο) και εμφανίζουν πρόωρη εξασθένηση (γήρανση) των μεταβολικών οδών.

Παρατηρήσεις με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) δείχνουν ότι η καταπόνηση από αυξημένα επίπεδα όζοντος, οδηγούν σε αλλοιώσεις ιστών καθώς ευνοείται η αποικοδόμηση των κυττάρων του μεσόφυλλου, ξεκινώντας από τον τονοπλάστη των χυμοτοπίων. Αυτό προφανώς μεταφράζεται σε διατάραξη της οσμωτικής ισορροπίας του κυτταρικού χυμού και του κυτοπλάσματος, με αποτέλεσμα την αρνητική δράση στην φωτοσυνθετική λειτουργία (Sanders et al., 1992).

Τα C3 φυτά δείχνουν σε μεγαλύτερο βαθμό ευαισθησία στην μεταβολή των σχετικών επιπέδων CO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub>. Φαίνεται όμως ότι γενικά τα αυξημένα επίπεδα CO<sub>2</sub> δρουν προστατευτικά έναντι των αυξημένων επιπέδων O<sub>3</sub>, όπως επίσης είναι πιθανόν ότι η επίδραση άλλων αερίων ρύπων ή ατμοσφαιρικών αερίων, μακροχρόνια να λειτουργεί αθροιστικά και οι επιδράσεις των επιπέδων CO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub>, τουλάχιστον μερικώς, να αλληλοαναιρούνται, (Ali, et al., 2002).

#### 4.3. Στοιχεία για το μικροκλίμα αστικών και περιαστικών περιοχών

Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό μετεωρολογίας (W.M.O.), στα επόμενα χρόνια αναμένεται ότι το 80% του πληθυσμού της γης θα κατοικεί σε μεγάλες πόλεις. Αυτή η πρόγνωση είναι ιδιαίτερα σημαντική για χώρες του Τρίτου Κόσμου που βρίσκονται σε τροπικές και υποτροπικές ζώνες και έχουν αναπτυσσόμενες μεγαλουπόλεις. Η θερμική και η αέρια ρύπανση επηρεάζει τα χαρακτηριστικά ενός αστικού κλίματος σε επίπεδο μικροκλίματος. Ιδιαίτερη σημασία για τους κατοίκους έχουν οι συνθήκες που διαμορφώνονται κατά την διάρκεια της νύχτας και δευτερευόντως κατά την ημέρα (Matzarakis et al., 1997).

Το κλίμα σε μία μεγαλούπολη, είναι αποτέλεσμα παραγόντων που ρυθμίζονται από τον άνθρωπο (διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου, ποιότητα της ατμόσφαιρας κ.λπ.), από τις γενικές μετεωρολογικές συνθήκες, την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής καθώς και από τη χρήση της γης που υφίσταται ως αποτέλεσμα της αστικοποίησης. Η τελευταία παράμετρος έχει άμεση σύνδεση και με την τελική επιβάρυνση που θα έχουν οι ρυπαντές στα χαρακτηριστικά του μικροκλίματος. Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί μαθηματικά μοντέλα που επιδιώκουν να συσχετίσουν την αλληλεπίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων με αέριους ρυπαντές (Matzarakis et al., 1997).

Επομένως, φαίνεται ότι όλες οι βιοτικές συνθήκες μίας πόλης αλληλοσχετίζονται σε μακροκλίμακα από το μακροκλίμα και αυτές με την σειρά τους τροποποιούνται από την τοπογραφία και τις αστικές και περιαστικές χρήσεις γης.

Όταν γίνεται αναφορά στο "αστικό κλίμα" πρέπει να καθορισθεί ότι αυτό είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης φυσικών και τεχνητών (ανθρωπογενών) παραγόντων, σε μέσο- και μικρο-κλίμακα.

Σύμφωνα με τον Mayer (1988) το ιδανικό αστικό κλίμα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- σαφή εποχικότητα των ατμοσφαιρικών συνθηκών εντός της πόλης,
- περιέχει την ελάχιστη δυνατή ποσότητα ατμοσφαιρικών ρύπων που παράγονται ανθρωπογενώς,
- υπάρχει μεγάλη ποικιλία μικροκλιματικών συνθηκών που δεν φτάνουν σε ακραίες καταστάσεις.

Επειδή όμως ιδανικό αστικό κλίμα δεν υπάρχει και δεν είναι δυνατόν να δημιουργηθεί, κάθε προσπάθεια τείνει προς την κατεύθυνση να προσεγγιστεί η ιδανική συνθήκη που θα επιβαρύνει στο ελάχιστο τον πληθυσμό από άποψη ρύπανσης και υψηλών θερμοκρασιών. Σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν το κλίμα μίας πόλης άρα και τους ζωντανούς οργανισμούς που ζουν σε αυτή είναι :

- **Θερμικές παράμετροι:** θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα, ταχύτητα ανέμου, μικρο- και μακρο-ακτινοβολία, που επιδρούν σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους και στην φυσιολογική λειτουργία των οργανισμών. Όλα τα παραπάνω εμπλέκονται με την ροή ενέργειας που προέρχεται από τον άνθρωπο και το περιβάλλον και επιδρά επίσης στα φυσιολογικά συστήματα των οργανισμών.
- **Παράγοντες ρύπανσης:** στερεοί, υγροί και αέριοι ρύποι, φυσικοί ή ανθρωπογενείς, που επιδρούν στην υγεία κάθε οργανισμού, σε κλειστούς και ανοικτούς χώρους. Η επίδρασή τους εξαρτάται από την πηγή προέλευσης και τον τρόπο μεταφοράς (διαφορά, διάλυση, χημικές μετατροπές, έκπλυση, βροχή, απόθεση). Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζονται από τον άνεμο (στροβιλισμοί, ταχύτητα, διεύθυνση, υγρασία), την επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας και τα κατακριμνήσματα).
- **Επιδράσεις ακτινοβολίας:** ορατής (VIS) και υπεριώδους (UV) που έχουν άμεση και έμμεση θερμική επίδραση στα βιολογικά συστήματα.
- **Βιοτροπισμός:** επίδραση του καιρού στα βιολογικά συστήματα, με τρεις δυνατές κατηγορίες επιπτώσεων : σωματικές, ήπιες μετεωροευαισθησίες<sup>10</sup> και έντονες μετεωροευαισθησίες.
- **Επιδράσεις σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους:** ο μέσος άνθρωπος περνά το 75% του χρόνου του σε κλειστούς χώρους. Μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, υπάρχουν επιδράσεις που καθορίζονται από το είδος των κτηρίων (διαμόρφωση, υλικά κατασκευής κ.λ.π.). Οι μικροκλιματικές συνθήκες επηρεάζουν τον ανθρώπινο οργανισμό ανάλογα με την ώρα της ημέρας (π.χ. κατά τη διάρκεια του ύπνου, των θερμικών κυμάτων κ.λ.π.).
- **Οσμές και θόρυβος:** συνθήκες που επηρεάζονται από την στρωμάτωση του αέρα και τις συνθήκες του ανέμου.
- **Χαρακτηριστικά του ανέμου:** επηρεάζονται πολύ από τα κτήρια, την διευθέτησή τους και την δομή τους (υλικά, σχήμα κ.λ.π.), (Matzarakis et al., 1997)

Αναδεικνύεται επομένως η σημασία της ανάπτυξης χώρων πρασίνου, για την διαμόρφωση του αστικού κλίματος και την υγεία και την ποιότητα ζωής των κατοίκων (Nowak David, 1995). Όπως και αντίστροφα, φαίνεται η σημασία που έχουν οι επικρατούσες αστικές συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών.

Είναι πλέον κοινά αποδεκτό ότι οι διάφορες εκλύσεις αέριων παραπροϊόντων από δραστηριότητες ανθρωπογενούς προέλευσης, προκαλούν μία ποικιλία επιδράσεων στην ανάπτυξη των φυτών, σε αστικές και περιαστικές περιοχές, καθώς δημιουργούνται κλειστές λεκάνες συνεχούς κυκλοφορίας του αέρα, όπου εγκλωβίζονται αέριους ρύπους. Για παράδειγμα, το διοξείδιο του θείου είναι γνωστό ότι προκαλεί μεγάλη μείωση της παραγωγικότητας (Heber et al, 1995) ενώ οι εκλύσεις NH<sub>3</sub> μπορεί να διεγείρουν την ανάπτυξη αυξάνοντας όμως τις ανάγκες σε

<sup>10</sup> Μετέωρα - ευαισθησίες : ευαισθησίες που εμφανίζονται εξαιτίας των καιρικών αλλαγών και φαινομένων. Π.χ. προβλήματα αναπνοής, σκελετικοί πόνοι κ.λ.π.

κατιόντα. Η παρουσία βιομηχανικών μονάδων στις παρυφές των πόλεων, αποτελούν πηγές έκλυσης πρωτογενών ρύπων όπως  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ . Μικρής κλίμακας και έντασης αέριες μάζες, μπορεί σποραδικά να μεταφέρουν τους ρύπους προς το εσωτερικό της αστικής ζώνης ή να τους απομακρύνουν. Οπότε ανάλογα μειώνεται ή αυξάνεται η παραμονή των ρύπων στην περιοχή.

Το τροποσφαιρικό όζον, ως αέριος ρύπος, αφορά τις αστικές περιοχές σε όλες τις ηπείρους, και ιδιαίτερα του ευρωπαϊκού νότου, όπου η παρουσία του σήμερα είναι έντονη. Πολλές αναφορές προσδιορίζουν ότι σημαντικότερο πρόβλημα με το όζον υπάρχει στο Βόρειο Ημισφαίριο και ως εκ τούτου το πρόβλημα του Νοτίου ημισφαιρίου είναι κατά κάποιον τρόπο παράγωγο αυτού και των κλιματικών συνθηκών που επιδρούν στο υπόβαθρο των αέριων ρύπων (βλ. παραπάνω). Έχει καταγραφεί η διασπορά όζοντος από την Βόρεια προς τις Νότιες περιοχές της Ευρώπης, που προέρχεται από ανθρωπογενείς και βιογενείς δραστηριότητες. Όμως, συγκριτικά σε παγκόσμιο επίπεδο, η αύξηση του όζοντος της κατώτερης ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα) είναι σημαντικότερη στο Βόρειο Ημισφαίριο.

Τιμές όζοντος αυξημένες κατά 10 ppb πάνω από το σταθερά αποδεκτό όριο των 40 ppb, μετρήθηκε σε καλλιέργειες στις ΗΠΑ και την Ευρώπη που βρίσκονταν κοντά σε αστικές περιοχές. Οι σχετικές εργαστηριακές αναλύσεις έδειξαν αρνητικές επιδράσεις σε φυσιολογικές παραμέτρους που αφορούν την αφομοίωση του άνθρακα, όπως π.χ. είναι η συγκέντρωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών στο φύλλωμα, η λειτουργία των στομάτων και το τάχος της φωτοσύνθεσης (Ribas et al., 2004). Τα πρώτα ορατά συμπτώματα τοξικότητας σε φυτά αστικών περιοχών λόγω έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος είναι ο σχηματισμός νεκρωτικών κηλίδων στο έλασμα των φύλλων (βλ. παραπάνω σχετικό πίνακα) και η εμφάνιση υπόλευκων στιγμάτων.

Το όζον όπως και όλοι οι αέριοι ρυπαντές, εισέρχεται στο μεσόφυλλο μέσω των στομάτων καθώς η περατότητα της εφυμενίδας στο όζον είναι πολύ μικρή. Όσο μεγαλύτερη είναι η τοπική συγκέντρωση του όζοντος τόσο μεγαλύτερη ποσότητα διαπερνάει τους φραγμούς του φύλλου και εισέρχεται στο σπογγώδες παρέγχυμα. Σε μία αστική περιοχή όπου υπάρχει ταυτόχρονα επιβάρυνση με πρωτογενείς ρυπαντές και υψηλή ένταση φωτός, η επίδραση του όζοντος είναι πιο έντονη και συνεχής. Μετά την είσοδο στο φύλλο το όζον διαλύεται στην υδατική φάση στην περιοχή του αποπλάστη. Η διάλυσή του στην υδατική φάση συνοδεύεται από την διάσπασή του και παράγονται R.O.S. Οι ρίζες αυτές προκαλούν οξειδωση στα ακόρεστα λιπίδια των μεμβρανών και ως εκ τούτου αλλοίωση της λεπτής δομής τους, με αποτέλεσμα να διαταράσσεται η διαπερατότητα των μεμβρανών. Στην περίπτωση αυτή η περατότητα των R.O.S. μέσω της μεμβράνης αυξάνεται, οπότε επέρχεται οξειδωτική καταπόνηση και στο εσωτερικό των κυττάρων (οξειδωση των σουλφυδρυλομάδων - HS-HS- των ενζύμων κ.α.). Σε συνθήκες αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οι αντιοξειδωτικοί μηχανισμοί, τουλάχιστον σε ορισμένα ευαίσθητα είδη, δεν επαρκούν ώστε να διατηρούνται υψηλοί ρυθμοί αποτοξίνωσης του όζοντος. Το όζον ενοχοποιείται για εκτεταμένες βλάβες σε βλάστηση πόλεων. Σχετικές καταγραφές αφορούν πόλεις της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης.

Φαίνεται ότι η δράση του  $\text{CO}_2$  επηρεάζεται όταν το όζον βρίσκεται στην κατώτερη ατμόσφαιρα σε υψηλότερες από τις φυσιολογικές συγκεντρώσεις, κάτι που ισχύει στα αστικά κέντρα. Το όζον, έχει θεωρηθεί ως ένας από τους σημαντικότερους αέριους ρύπους παγκοσμίως (Krupa et al, 2001) και ερευνητικές εργασίες όπως των Adames et al, (1990) και Stockle et al, (1992), μιλάνε για τα πιθανά σενάρια των θετικών επιδράσεων της ανθρωπογενούς αύξησης του ατμοσφαιρικού  $\text{CO}_2$  στην παραγωγικότητα των C3 φυτών αλλά και τα πιθανά αρνητικά αποτελέσματα των αυξημένων επιπέδων  $\text{O}_3$  στην ανάπτυξη των φυτών γενικότερα (βλ. παραπάνω).

Ειδικότερα, όσον αφορά το όζον, η συγκέντρωσή του στα κατώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας δεν είναι σταθερή στα αστικά κέντρα, η δε αύξηση των συγκεντρώσεων καταγράφεται σε μικρό ύψος από την επιφάνεια του πλανήτη, λόγω και των "στεγανών" που δημιουργούνται από την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Σε όλη την επιφάνεια του πλανήτη παρατηρείται μία ποικιλία συγκεντρώσεων εξ' αιτίας των μεταβαλλόμενων και ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών, της ποσότητας της UV ακτινοβολίας ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την παρουσία άμεσων εκλύσεων ρυπαντών από ανθρώπινες δραστηριότητες (πόλεις, εργοστάσια) και την απόσταση της εκάστοτε περιοχής από τις πηγές έκλυσης. Επίσης, η τοπική συγκέντρωση του ρύπου επηρεάζεται από την ανθρωπογενούς προέλευσης παρουσία πρόδρομων χημικών ενώσεων απαραίτητων για τον φωτοχημικό σχηματισμό του. Η μεταφορά του όζοντος από αέριες μάζες, συμβάλλει στην τοπική αύξηση των επιπέδων του στην κατώτερη ατμόσφαιρα, σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν πηγές έκλυσης (αερομεταφερόμενοι ρύποι). Για την Ελλάδα είναι χαρακτηριστικό το παράδειγμα της Αλιάρτου, όπου ενώ απέχει πολύ από τον αστικό ιστό της Αθήνας, εμφανίζει υψηλές τιμές ρύπων, εξαιτίας των επικρατούντων ανέμων και του ανάγλυφου.

Γενικά, συγκεκριμένοι ρυπαντές προκαλούν συγκεκριμένες αποκρίσεις στα φυτά, και οι περισσότερες επιδράσεις είναι κατά βάση έμμεσες και παρόμοιες, καθώς επιδρούν στις ίδιες λειτουργίες των φυτών (Weber et al., 1994). Παρ' όλ' αυτά η σχετική απόκριση των φυτών είναι αποτέλεσμα των επιμέρους συνιστωσών και των αλληλεπιδράσεων των διαφόρων παραγόντων που προκαλούν περιβαλλοντική καταπόνηση. Μία άποψη που έχει κατατεθεί αρκετά χρόνια πριν και ήδη εφαρμόζεται άτυπα, είναι ότι τα διάφορα είδη φυτών πρέπει να κατηγοριοποιηθούν σε μία κλίμακα από τα πιο ευαίσθητα έως τα πιο ανθεκτικά σε ρύπους, ώστε τα πρώτα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιοδείκτες ενώ τα δεύτερα ως εργαλεία συσσώρευσης των αέριων ρύπων σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές (Singh et al., 1991). Έτσι θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση των βιοκλιματικών συνθηκών και της ποιότητας του αέρα. Επιπλέον, προκειμένου να μπορεί να υπολογιστεί η εναπόθεση ρύπων, πρέπει να υπάρχει ένα κατάλληλο μοντέλο εκπομπών, ώστε να γίνεται και έμμεσος έλεγχος (Allegrini & Brocco, 1995). Οι επιδράσεις των ρύπων επηρεάζουν τις προσαρμογές και τις εξελικτικές διαδικασίες στα φυτά (Mahn, 1991). Αυτό είναι ένα υπολογίσιμο στοιχείο όταν εξετάζεται η φυσιολογία των φυτών μέσα στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Η φυτοτοξικότητα του όζοντος είναι ακόμα υπό διερεύνηση ως προς την κωδικοποίησή της, καθώς αποτελεί έναν σημαντικό ρύπο στα αστικά κέντρα, ιδιαίτερα κατά τους θερμούς και ξηρούς μήνες του έτους, αλλά και όταν αποτελεί αερομεταφερόμενο ρύπο σε περιαστικές και εγγύς αγροτικές περιοχές. Αποτελέσματα ερευνών για την φυτοτοξικότητα του όζοντος, μέχρι και το 1995, προέρχονταν κυρίως από μεσογειακές χώρες (Ισπανία, Ιταλία κ.λπ.) και αφορούσαν μικρής διάρκειας δοκιμασίες.

Από τα παραπάνω, εύκολα συμπεραίνουμε ότι η ανθρωπογενούς προέλευσης αέρια ρύπανση που επικρατεί στα μεγάλα αστικά κέντρα, και ιδιαίτερα όσον αφορά το όζον, προκαλεί μείωση της παραγωγικότητας και του τάχους αύξησης σε αυτοφυή, καλλωπιστικά και καλλιεργούμενα φυτά (Orgen & Lange, 1989, Lesser et al., 1990). Αυτό συνεπάγεται χλώρωση και επιτάχυνση της γήρανσης των φύλλων, μείωση του κυτταρικού και χλωροφυλλικού τους περιεχομένου, της συγκέντρωσης σε άζωτο και μείωση του τάχους φωτοσύνθεσης. Το όζον, όπως και άλλοι παράγοντες που προκαλούν οξειδωτική καταπόνηση (διοξειδίο του θείου, χαμηλές θερμοκρασίες κ.λπ.), δημιουργεί δραστικές ελεύθερες ρίζες οξυγόνου (R.O.S.) στο κυτόπλασμα και την επιφάνεια των κυτταρικών μεμβρανών (Held et al., 1990).

Για την μέτρηση των ατμοσφαιρικών επιπέδων όζοντος, εκτός από επίγειους σταθμούς μέτρησης (όπως αυτός της Αλιάρτου), έχουν χρησιμοποιηθεί και δοκιμασθεί για την αξιοπιστία τους και δεδομένα προερχόμενα από μεθόδους που χρησιμοποιούν δορυφόρους (Ladstatter-Weissenmayer et al., 2006).

Διάφοροι ερευνητές έχουν καταγράψει ιστολογικές αλλοιώσεις, οφειλόμενες στο επαυξημένο ατμοσφαιρικό όζον, υπό την έννοια του αέριου ρύπου, σε ιθαγενή φυτικά είδη σε περιαστικές και αστικές περιοχές της Κεντρικής και Νοτίου Ευρώπης (Cozzi et al. 2000, Gimeno et al. 1992, Innes et al. 2001, Novak et al. 2003, Sanz et al. 2001a, b, Skelly et al. 1999, VanderHeyden et al. 2001). Παρατηρήσεις που συγκεντρώθηκαν αφορούν αλλοιώσεις που προκαλεί το όζον στους ιστούς, στις χλωροφύλλες κ.λπ. και αφορούν κωνοφόρα και πλατύφυλλα φυλλοβόλα και σκληρόφυλλα μεσογειακά είδη *Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus serotina*, *Sorbus aucuparia*).

Επί παραδείγματι, όσον αφορά το μεσογειακό αείφυλλο σκληρόφυλλο είδος *Quercus ilex* (αριά) αποτελέσματα μελετών δείχνουν ότι είναι ανθεκτικό στις επικρατούσες συγκεντρώσεις όζοντος σε μία μεγαλούπολη, πιθανόν εξ' αιτίας της μορφολογίας των φύλλων, της ανατομικής δομής των ιστών του και των οικολογικών προσαρμογών που έχει αναπτύξει (Manes et al., 1998). Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν έχουν καταγραφεί και αντίθετες απόψεις ερευνητών (βλ παραπάνω). Οι Inclan et al. (1999), αναφέρουν ορατές ιστολογικές αλλοιώσεις (νεκρωτικές κηλίδες μαύρου χρώματος στην επιφάνεια των φύλλων) και μείωση της διαμέτρου του μίσχου του φύλλου στο υποείδος *Q. ilex sub.ballota*. Αντίστοιχα αποτελέσματα υπάρχουν για το είδος *Ceratonia siliqua*, ενώ μεγαλύτερη ευαισθησία αναφέρεται για το είδος *Laurus nobilis*.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η φυτοτοξικότητα, μπορεί ανάλογα με το είδος του φυτού και του ρύπου να εμφανίζει αυξομείωση, όπως επίσης και να σχετίζεται από την αλληλεπίδραση διαφόρων αέριων ρύπων μεταξύ τους (Koen and Nonona, 1994). Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε ένα αστικό και περιαστικό περιβάλλον όπου οι ρύποι εμφανίζονται σχεδόν πάντα υπό μορφή αέριου μίγματος και ποτέ μεμονωμένα (Dann and Pell, 1989).

Η σημασία των φυτών στην διαμόρφωση ενός ποιοτικού και φιλικού για τον άνθρωπο αστικού περιβάλλοντος φαίνεται και από τη σχέση μεταξύ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και θερμοκρασίας. Η σχέση αυτή δεν είναι γραμμική. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη εσωτερικών χώρων διαβίωσης, εξαρτάται σαφώς από την διαφορά με την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα (Giannakopoulos & Psiloglou, 2002). Ακόμα και εάν υπάρχει επαρκής θερμομόνωση, τα χαρακτηριστικά του αέρα που κυκλοφορεί σε μία αστική περιοχή (θερμοκρασία, υγρασία, ρυπαντές) επηρεάζουν την ανταπόκριση των κατοίκων στην χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την δημιουργία ανεκτού εσωτερικού μικροκλίματος. Καταλαβαίνουμε πόσο σημαντική είναι η παρουσία ποιοτικού αέρα με την ανάπτυξη χώρων πρασίνου. Αυτό σημαίνει, ιδιαίτερα για την θερινή περίοδο, ότι αρκετό πράσινο σε μία πόλη, μπορεί να συμβάλλει την εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για την χρήση κλιματιστικών.

Η σχέση ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας σε ένα αστικό περιβάλλον, και ιδιαίτερα κατά τους θερμούς μήνες του καλοκαιριού, σαφώς επηρεάζεται από την παρουσία ψηλών δέντρων και φυτών και ειδικότερα κάτω από την κόμη των δέντρων η μέση θερμοκρασία και η ακτινοβολία μειώνονται σημαντικά (Andreas Matzarakis, 2002).

Είναι γνωστό τέλος, ότι σε περιοχές όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, έχει πολύ μεγάλη σημασία η εξοικονόμηση του νερού. Γι' αυτό έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι (FAO Penman - Monteith) που βοηθούν στον υπολογισμό της εξατμισιοδιαπνοής με

χρήση επιλεγμένων μετεωρολογικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και η ταχύτητα του αέρα, η σχετική υγρασία και η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία (Γεωργίου & Παπαμιχαήλ, 2008). Προφανώς κάτι τέτοιο έχει μεγάλη σημασία για την εξοικονόμηση υδατικών πόρων και την μετρίαση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από συνθήκες που διαμορφώνουν έντονη κατανάλωση νερού και ενέργειας σε ένα αστικό περιβάλλον (ακατάλληλα φυτικά είδη, θερμικές νησίδες, υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, επιφάνειες ανάκλασης κ.λ.π.).

Σε προκαταρκτική μελέτη που έγινε στην Σλοβενία από τους Turk & Batič (2002), χρησιμοποιώντας ως πειραματόφυτο το λευκό τριφύλλι (white clover), φάνηκε ότι οι καιρικές συνθήκες (ηλιακή ακτινοβολία, υγρασία κ.λπ.) επηρεάζουν τον βαθμό και την ποικιλία των επιπτώσεων των αέριων ρυπαντών στα φυτά (φωτο-οξειδωτικές ουσίες, σύμπλοκα αζώτου και τα συν αυτώ βαρρέα μέταλλα). Σε αυτή τη μελέτη η συγκέντρωση  $AO\tau_{40}$  για το όζον συσχετίστηκε με τα αυξημένα επίπεδα αέριας ρύπανσης ως αποτέλεσμα της αύξησης της κυκλοφορίας οχημάτων και αερομεταφερόμενων ρύπων. Εκτός από τα φυτά, αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα των τροφών που παράγονται μέσα από τις καλλιέργειες καθώς και την ανθρώπινη υγεία.

Οπότε σε συνδυασμό με τους δυσμενείς περιβαλλοντικούς παράγοντες (ξηρές εποχές), οι αέριοι ρύποι δρουν συνεργατικά και αυξάνουν την περιβαλλοντική καταπόνηση. Γενικά, υπάρχει η άποψη ότι τα επόμενα χρόνια καθώς θα εντείνεται η κλιματική αλλαγή, θα αυξάνεται η περιβαλλοντική καταπόνηση, ώστε σε συνδυασμό με την επιδείνωση της αέριας ρύπανσης να λειτουργήσει και ως δύναμη επιλογής για τα φυτικά είδη (Fowler et al., 1989). Στην ίδια μελέτη αναφέρεται μεταξύ άλλων ότι «η εναπόθεση αέριων ρύπων είναι μεγαλύτερη στα ξυλώδη και ψηλά είδη παρά στη χαμηλή βλάστηση. Γι' αυτό η παρουσία ψηλών δέντρων στις πόλεις μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του αέρα, αφαιρώντας ρύπους από την ατμόσφαιρα (Freer-Smith et al., 1997). Η εντόπιση ορατών βλαβών στα όργανα των φυτών (φύλλα) είναι το τελικό αποτέλεσμα μιας σειράς αλληλοδιαδοχικών γεγονότων σε μοριακό και κυτταρικό επίπεδο που συνήθως αποτελεί μία μεγάλη σειρά αποκρίσεων των φυτών σε ειδικά ή γενικά επεισόδια στρες (Darrall, 1989). Καταλαβαίνουμε λοιπόν πόσο μεγάλη σημασία έχει η γνώση της αντίδρασης των φυτών στους διάφορους ρύπους, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση της ποιότητας ζωής μέσα στις πόλεις.

#### 4.4. Τροποσφαιρικό όζον και ανθρώπινη υγεία

Είναι γνωστό ότι το όζον συναντάται σε μία περιοχή από την επιφάνεια της Γης και μέχρι ένα μέσο ύψος 15 χλμ. περίπου, όπου εκτείνεται η τροπόσφαιρα. Είναι το στρώμα εκείνο της ατμόσφαιρας στο οποίο η θερμοκρασία μειώνεται, από την θερμή επιφάνεια της γης και προς τα πάνω, φθάνοντας τους  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Το όζον έχει ισχυρή οξειδωτική και αντιβακτηριακή δράση και συχνά χρησιμοποιείται για τη συνθετική παρασκευή οργανικών ουσιών, τη λεύκανση χαρτιού, την απολύμανση του αέρα σε εσωτερικούς χώρους, του πόσιμου νερού και του νερού που χρησιμοποιείται σε κολυμβητικές εγκαταστάσεις και την αποστείρωση εργαστηριακών εργαλείων. Μίγμα αέρα με περιεκτικότητα σε όζον μόλις 10% έχει αντιμικροβιακές ιδιότητες (Biddhendi et al., 2005).

Στη φύση το μεγαλύτερο ποσοστό του όζοντος βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα) όπου σχηματίζει μία λεπτή στιβάδα (στρώμα του όζοντος) που προστατεύει την ζωή πάνω στη Γη, απορροφώντας την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία (UV) του ήλιου.



Από τη δεκαετία του 1970 και μετά παρατηρήθηκε μια αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος κοντά στην επιφάνεια της Γης (τροπόσφαιρα, τροποσφαιρικό όζον), κυρίως σε αστικές περιοχές με μεγάλη κυκλοφοριακή πυκνότητα και όπου υπάρχουν θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας (Mayer H., 1999). Σ' αυτές τις περιπτώσεις το όζον αποτελεί δευτερογενή ρύπο, που προκύπτει μέσω της επίδρασης του ηλιακού φωτός (φωτοχημικά παραγόμενος) σε ρυπαντικές ουσίες των καυσαερίων. Οι ρυπαντικές αυτές ουσίες είναι κυρίως 1) οξειδία του αζώτου, που περιέχονται στα καυσαέρια των οχημάτων, 2) πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), που προκύπτουν α) κατά την επεξεργασία του πετρελαίου, β) κατά τη μεταφορά και διανομή καυσίμων και στη συνέχεια κατά την ατελή τους καύση και γ) κατά την εξάτμιση διαλυτικών ουσιών, και 3) διοξείδιο του θείου. Ο αέρας που εισπνέουν οι κάτοικοι των πόλεων περιέχει κατά μέσο όρο 30-60 μικρογραμμάρια όζοντος ανά κυβικό μέτρο ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1992), έχουν καθοριστεί τέσσερα όρια συγκέντρωσης του όζοντος στον αέρα:

- 1) Οριακές Τιμές για την προστασίας της υγείας (μέση τιμή 8 ωρών  $110 \mu\text{g/m}^3$ ).
- 2) Όρια προστασίας για την βλάστηση (μέση τιμή 1 ώρας  $200 \mu\text{g/m}^3$ , μέση τιμή 24 ωρών  $65 \mu\text{g/m}^3$ ).
- 3) Όρια για την ενημέρωση του αστικού πληθυσμού (μέση τιμή 1 ώρας  $180 \mu\text{g/m}^3$ ).
- 4) Όρια συναγερμού του αστικού πληθυσμού (μέση τιμή 1 ώρας  $360 \mu\text{g/m}^3$ ).

Όσοσο έχουν γίνει εισηγήσεις για μείωση των ορίων, διότι έχει αποσαφηνισθεί ότι ήδη από τη συγκέντρωση των  $100 \mu\text{g/m}^3$  παρατηρούνται δυσμενείς επιπτώσεις σε φυτά και ανθρώπους (Ashmore, 2006, Biswas et al., 2008, World Health Organization, 2005). Συγκεκριμένα, συγκεντρώσεις όζοντος έως  $100 \mu\text{g/m}^3$  προκαλούν αλλοιώσεις στο χρώμα των φυτών και ανοιχτόχρωμες κηλίδες στα φύλλα, ενώ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλούν ακόμη σοβαρότερες βλάβες, όπως νέκρωση φύλλων και ασφυξία, επιβράδυνση της ανάπτυξης, ευπάθεια σε ασθένειες και φυσικούς εχθρούς και πρόωρη γήρανση (βλ. παραπάνω). Αξιοσημείωτη θεωρείται η βλαπτική επίδραση του όζοντος σε μικρότερες συγκεντρώσεις, όταν συνδυάζεται με άλλους ρύπους, καθώς και η επίδρασή του στη βιολογική παρακμή των δασών. **Όσον αφορά τις επιπτώσεις του στην υγεία του ανθρώπου**, συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα  $100 \mu\text{g/m}^3$  μπορεί να επιφέρουν αναπνευστικά προβλήματα, βήχα, πονοκεφάλους, ερεθισμό στα μάτια και δακρύρροια, καθώς και γενική δυσφορία σε άτομα με ευαίσθητη υγεία (καρδιοπαθείς, ασθματικούς, αλλεργικούς, μικρά παιδιά). Ακόμη μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν σοβαρότερα προβλήματα, ενώ η μακροχρόνια έκθεση σε συγκεντρώσεις όζοντος μειώνει την αμυντική ικανότητα του οργανισμού απέναντι σε μικροοργανισμούς, βακτήρια κ.λπ. Στην αντιμετώπιση του προβλήματος του όζοντος ως ρύπου θεωρείται ότι συμβάλλουν ως ένα βαθμό τα αυτοκίνητα με καταλύτη καυσαερίων, καθώς εκπέμπουν κατά τουλάχιστον 90% μειωμένα οξειδία του αζώτου και άκαυστους υδρογονάνθρακες, σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα. Επίσης, είναι γνωστό ότι η μείωση του πάχους της στιβάδας του όζοντος της ατμόσφαιρας, επιτρέπει την διέλευση μεγαλύτερης έντασης UV ακτινοβολίας με αποτέλεσμα η έκθεση για πολύ ώρα στο φως του ηλίου να προκαλεί σοβαρά δερματολογικά προβλήματα (εγκαύματα έως και το θανατηφόρο μελάνωμα που συνιστά δερματολογικό καρκίνο).

# 5

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 5.1 Φυτικό Υλικό

Το πειραματικό μέρος αφορά την σύγκριση της ανάπτυξης δύο φυτικών ειδών, που διαβιούν σε αστικό και περιαστικό περιβάλλον, μέσω της ποιοτικής και ποσοτικής μέτρησης του φυλλικού περιεχομένου σε φωτοσυνθετικές χρωστικές.

Τα δείγματα φύλλων που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από τα είδη *Ceratonia siliqua* (κοινές ελληνικές ονομασίες: χαρουπιά, ξυλοκερατιά, ιωαννίτικο δέντρο, ξεν. carob tree) και *Laurus nobilis* (κοινές ελληνικές ονομασίες: δάφνη, δάφνη Απόλλωνος, Βάγια, δάφνη η ευγενής, ξεν. true laurel, sweet bay, laurel ree, grecian laurel, laurel, or bay tree).

Η χαρουπιά είναι δέντρο μεσαίου μεγέθους με ύψος που φτάνει τα 18 μέτρα. Η δάφνη διαμορφώνεται ως μικρός ή μεγάλος θάμνος με ύψος έως 3 μέτρα ή δέντρο μεσαίου μεγέθους με ύψος έως 7 μέτρα. Και τα δύο είναι χαρακτηριστικά της ελληνικής χλωρίδας, είναι αείφυλλα σκληρόφυλλα (evergreens, μακκί) και χρησιμοποιούνται πάρα πολύ σε κηποτεχνικές κατασκευές (φυτεύσεις) εντός και εκτός αστικού ιστού.

Τα βιβλιογραφικά δεδομένα που βρέθηκαν για τα δύο αυτά φυτά, ως προς την ανθεκτικότητά τους σε αέριους ρύπους, βοήθησαν ικανοποιητικά ώστε να αξιολογηθούν τα τελικά αποτελέσματα. Πολλές αναφορές αφορούν εργασία στο πεδίο με έλεγχο της επίδρασης του τροποσφαιρικού όζοντος στους ιστούς των φύλλων και το χλωροφυλλικό περιεχόμενο (ΝΑ ΒΑΛΩ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ). Επίσης, αναφορές από αποτελέσματα εργαστηριακών πειραμάτων σε ανοικτούς θαλάμου, παρέχουν πολλά χρήσιμα στοιχεία για τις επιδρώμενες συγκεντρώσεις αέριων ρύπων και τις βλάβες που προκαλούν στους φυτικούς ιστούς και μεταβολικές διεργασίες.

Η περιοχή μελέτης ήταν η πόλη του Περιστερίου. Η παράμετρος που μετρήθηκε είναι οι χλωροφύλλες. Σε κάθε δειγματοληψία μετρήθηκαν η Chl-a, Chl-b, Chltotal και ο λόγος Chla/Chlb.

Για την λήψη των αναγκαίων μετρήσεων επιλεγμένων αέριων ρύπων και βροχόπτωσης, απευθυνθήκαμε αρχικά στο ΠΕΡΠΑ. Ως γνωστόν, στο Περιστερί και σε άλλες περιοχές της Αττικής, έχουν εγκατασταθεί εδώ και αρκετά χρόνια, αυτόματοι σταθμοί μέτρησης για έναν μεγάλο αριθμό αέριων ρύπων. Το γεγονός αυτό είναι πολύτιμο καθώς τα στοιχεία των αέριων ρύπων που μας ενδιέφεραν (κυρίως όσον αφορά το όζον) ήταν εύκολο να βρεθούν. Το μόνο πρόβλημα στην προκειμένη περίπτωση ήταν ότι τελικά πληροφορηθήκαμε ότι οι συγκεκριμένοι αυτόματοι σταθμοί δειγματοληψίας αέριων ρύπων δεν παρέχουν αξιόπιστα θερμοκρασιακά δεδομένα, ενώ δεν παρέχουν καθόλου βροχομετρικά δεδομένα, τα οποία τελικά τα προμηθευτήκαμε από το ΙΕΠΒΑ του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Το ΠΕΡΠΑ μας προμήθευσε με τις ωριαίες τιμές των μετρούμενων αέριων ρύπων Παράλληλα, αντλήθηκαν πληροφορίες από την ιστοσελίδα του ΥΠΕΧΩΔΕ, και τις σχετικές ετήσιες εκθέσεις του ΠΕΡΠΑ για τα έτη 2004, 2005 και 2006.

Οι ενδεικτικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας, ελήφθησαν μέσω του ιστοτόπου του προγράμματος Google Earth και με χρήση φορητής συσκευής GPS. Ομοίως οι περιεχόμενοι χάρτες προέρχονται από μετατροπή εικόνων του Google

Earth και ψηφιακής επεξεργασίας χάρτη, προερχόμενο από την Πολεοδομία Περιστερίου.

## 5.2 Περιοχή μελέτης και Σχεδιασμός Δειγματοληψίας

Οι δειγματοληψίες διενεργήθηκαν στο διάστημα Δεκέμβριος 2005 έως και Σεπτέμβριος 2006 και τα δέντρα που επιλέχθηκαν ήταν σε σημεία του Δήμου Περιστερίου και στους πρόποδες της Πάρνηθας (Θρακομακεδόνες).

Το Περιστέρι είναι μία από τις μεγαλύτερες, πιο πυκνοδομημένες και πυκνοκατοικημένες περιοχές της Αττικής. Βρίσκεται στην βορειοδυτική άκρη του Λεκανοπεδίου Αττικής. Δυτικά έχει ως φυσικό όριο το Ποικίλο Όρος, ενώ οι υψομετρική διαβάθμιση της επιφάνειας της περιοχής ξεκινάει από τα 45 μέτρα (περιοχή κέντρου - Μπουρνάζι), έως τα 180 μ (περιοχή Κηπούπολης)

Στις άλλες διευθύνσεις συνορεύει με τους Δήμους Πετρούπολης (Βορειοδυτικά), Ιλίου και Αχαρνών (Βόρεια), Αιγάλεω, Χαϊδαρίου και Αγ. Βαρβάρας (Νότια) και Αθήνας (Ανατολικά).

Τα κύρια κλιματολογικά στοιχεία για την περιοχή αναφέρουν ότι η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται από 8,6 °C έως 28 °C με εύρος σχετικής υγρασίας αέρα 47 % έως 76,5% και ολική βροχόπτωση 6,2mm έως 70,4 mm. Οι επικρατούντες άνεμοι είναι βορειοανατολικοί με συχνότητα εμφάνισης 16,4%, βόρειοι και νότιοι με συχνότητα εμφάνισης 12,4% και νοτιοδυτικοί με συχνότητα εμφάνισης 9,2%. Τα στατιστικά στοιχεία προέρχονται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και αφορούν την περίοδο 1941 - 1987 και 1990 - 2002.

Ειδικά για τα έτη 2004 - 2007 λήφθηκαν στοιχεία από το ΙΕΠΒΑ, και αφορούν στοιχεία θερμοκρασίας αέρα, βροχόπτωσης και αέριων ρύπων (O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>).

Ως προς τα δημογραφικά δεδομένα της περιοχής, μετά την τελευταία απογραφή του 2001 οι κάτοικοι της ευρύτερης περιοχής του Περιστερίου υπολογίζονται συνολικά σε 350.000 ενώ η έκταση του Δήμου Περιστερίου είναι 11 km<sup>2</sup> (1100 Ha). Γενικά δεν υπάρχει πλήρως καθορισμένη ρυμοτομία, ενώ τα περισσότερα κτήρια είναι χαμηλά.

Στην νότια περιοχή της πόλης έχει αναπτυχθεί έντονη βιομηχανική και βιοτεχνική δραστηριότητα (βιομηχανική ζώνη). Η κάλυψη με φυσική ή τεχνητά τοποθετημένη βλάστηση (πάρκα, πλατείες) δεν ξεπερνάει το 4,5% της συνολικής έκτασης (καταγραφή 2003 από την Διεύθυνση Πρασίνου), ενώ οι μεγαλύτερες εκτάσεις πρασίνου της περιοχής είναι δύο μικρά σε έκταση Άλση. Το ένα βρίσκεται στο κέντρο του Περιστερίου (συνοικία Άσπρα Χώματα), έχει έκταση περίπου 27 στρέμματα με επικρατέστερο δεντρόδες είδος τον ευκάλυπτο (*Eucalyptous camaldoulensis*). Το δεύτερο βρίσκεται στη ίδια συνοικία αλλά τοποθετείται πιο ψηλά (κατεύθυνση Δ.ΒΔ.) και είναι ένα μικρό αλσύλλιο με χαλέπιο πεύκη (*Pinus halepensis*) με έκταση 18 στρέμματα, υπόλειμμα του πευκοδάσους που κάλυπτε παλαιότερα την δυτική πλευρά της πόλης και τώρα έχει περιοριστεί στα υψηλότερα σημεία του Ποικίλου Όρους λόγω εκτεταμένων καταπατήσεων και άναρχης δόμησης.

Το Περιστέρι επιλέχθηκε γιατί είναι μία περιοχή αρκετά επιβαρημένη με ατμοσφαιρική ρύπανση. Η πολύ μικρή απόσταση από το κέντρο της Αθήνας (μόλις 4,5 km) και την βιομηχανική ζώνη του Σκαρμαγκά, της Ελευσίνας και του Ασπροπύργου (<15 km), σε συνδυασμό με τους νότιους θαλάσσιους ανέμους, επιτρέπει την μεταφορά και διασπορά ρύπων. Ο φυσικός φραγμός του Ποικίλου όρους, βοηθάει στον εγκλωβισμό των ρύπων στην περιοχή και την διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών κατά την θερινή περίοδο. Οι φυσικές δίοδοι που

διαμορφώνονται από τους λόφους που βρίσκονται στην δυτική πλευρά του Λεκανοπεδίου (Όρος Αιγάλεω), επιτρέπουν την είσοδο και εγκλωβισμό αερίων μαζών που έρχονται από την βιομηχανική ζώνη του Ασπροπύργου.

Οι υψηλές θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια του εδάφους κατά την θερμή περίοδο του έτους, (Μάιος - Αύγουστος) υποβοηθούνται από την έντονη και πυκνή δόμηση, που επιτρέπει τον εγκλωβισμό και την επανακυκλοφορία του θερμού αέρα, και τις πολλές επιφάνειες με υψηλή θερμοχωρητικότητα (πλακοστρώσεις, ασφαλτος). Περιοχές που καλύπτονται μόνο με χώμα, είναι πλέον ελάχιστες. Στο κέντρο της πόλης του Περιστερίου κατά τις ώρες της ημέρας, επικρατεί υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος (Λεωφόρος Θηβών, Λ. Καβάλας και Εθνική Οδός Αθηνών Κορίνθου, Οδός Παναγή Τσαλδάρη, Οδός Σαρρανταπόρου, Λ. Κωνσταντινουπόλεως, Λ. Κηφισού) ενώ είναι χαρακτηριστικό ότι για μία ημέρα του καλοκαιριού (26 Ιουλίου 2006) μετρήθηκε διαφορά θερμοκρασίας 2 °C μεταξύ του κέντρου του Περιστερίου και της συνοικίας της Κηπούπολης. Δεν είναι τυχαίο λοιπόν ότι το ΥΠΕΧΩΔΕ έχει εγκαταστήσει και λειτουργεί αυτόματο σταθμό μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων στο Περιστερί και επιπλέον υπάρχει σταθμός μέτρησης στα Λιόσια και στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο (Ιερά οδός - Σταθμός Υποβάθρου) που σημαίνει ότι έχει ήδη αναγνωρισθεί η Δυτική Αττική ως μία περιοχή με επιβαρημένη ατμόσφαιρα.

Όπως αναφέρεται πιο πάνω, το Ποικίλο Όρος, ως ένα φυσικό φράγμα που διαχωρίζει το Περιστερί από την βιομηχανική ζώνη της Δυτικής Αττικής (Σκαραμαγκάς, Ασπρόπυργος, Ελευσίνα), υποβοηθά τον εγκλωβισμό των ρύπων, και φανερώνεται η σημασία του ανάγλυφου στην πρόκληση ή ανάπτυξη προβλημάτων αέριας ρύπανσης σε μία περιοχή, σε συνδυασμό με τους επικρατούντες ανέμους.

Η περιοχή των Θρακομακεδόνων επιλέχθηκε ως μία περιαστική περιοχή με ξεχωριστό ενδιαφέρον, που θα μπορούσε να παρέχει μετρήσεις συγκρίσιμες με αυτές που λαμβάνονται από την αστική περιοχή. Ένας λόγος που θεωρείται κατάλληλη περιοχή για αυτό το σκοπό, είναι ότι κατά τους θερινούς μήνες καταμετρούνται πολύ υψηλά επίπεδα τροποσφαιρικού όζοντος, ιδιαίτερα κατά τις ημέρες με έντονη ηλιοφάνεια. Είναι γνωστό ότι τα επίπεδα του όζοντος αυξάνονται δραματικά κατά τις ημέρες με έντονη ηλιοφάνεια λόγω φωτοχημικού σχηματισμού (βλ. παραπάνω).

Τα σημεία δειγματοληψίας εντός του Περιστερίου, επιλέχθηκαν έτσι ώστε να κατανέμονται σε διαφορετικά υψόμετρα, σε περιοχές με διαφορετική πυκνότητα κίνησης οχημάτων, κοντά και μακριά από μεγάλες οδικές αρτηρίες (Παναγή Τσαλδάρη, Καβάλας, Κηφισού κ.λ.π. βλ. χάρτη), αλλά και εντός και εκτός της βιομηχανικής ζώνης του Περιστερίου (συνοικία Τσαλαβούτα). Σε πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των σημείων δειγματοληψίας (περιοχή, φυτικά είδη, χώρος, υψόμετρο, άρδευση, κοντά ή μακριά από οδό πυκνής κυκλοφορίας κ.λ.π. Από το είδος *Ceratonia siliqua* επιλέχθηκαν δέντρα σε σημεία εντός αστικού ιστού αλλά δεν βρέθηκε κάποιο στους Θρακομακεδόνες, τουλάχιστον στα σημεία που διερευνήθηκαν κατά την περίοδο αναζήτησης. Τα φυτά επιλέχθηκαν με κριτήρια ορθολογικής και όμοιας ποιοτικά συντήρησης (τακτική άρδευση, λίπανση και κλάδεμα) και βρίσκονταν σε πάρκα και μεγάλες πλατείες, σε σημεία παρακείμενα οδών (πεζοδρόμια) μεγάλης και μικρής κυκλοφορίας. Όλα ήταν παρόμοιας ηλικιακής τάξης (15 - 20 ετών) και διαμόρφωσης (δέντρα και μεγάλοι θάμνοι). Τα φυτά που επιλέχθηκαν σημαδεύτηκαν με ταινία σήμανσης και δόθηκε προσοχή ώστε να μην κλαδευτούν ή υποστούν διαφορετική μεταχείριση πριν ολοκληρωθούν οι δειγματοληψίες.

Συνολικά εντοπίστηκαν δέκα σημεία δειγματοληψίας για το είδος *Laurus nobilis* και οκτώ για το *Ceratonia siliqua*. Η χρονική διάρκεια εντοπισμού και επιλογής των σημείων ήταν αρκετά μεγάλη, καθώς έπρεπε να «σαρωθεί» κυριολεκτικά όλη η έκταση του Περιστερίου και οι Θρακομακεδόνες.

Η περίοδος λήψης κι εξέτασης των δειγμάτων διήρκησε από τον Δεκέμβριο 2005 έως και τον Σεπτέμβριο 2006. Σε αυτό το χρονικό διάστημα έγιναν τρεις δειγματοληψίες. Η πρώτη έγινε τον Δεκέμβριο 2005 και η δεύτερη και τρίτη έγινε τον Μάιο και Σεπτέμβριο αντίστοιχα του 2006, καλύπτοντας τις περιόδους Χειμώνα, Άνοιξης και Φθινοπώρου. Κατά τη θερινή περίοδο δεν έγινε δειγματοληψία γιατί ως γνωστό η φυτική αύξηση μειώνεται λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της έλλειψης νερού, αλλά και επειδή βρέθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα στα οποία εκφράζονται αμφιβολίες και ερωτηματικά ως προς την επίπτωση των αέριων ρύπων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης, ιδιαίτερα όσον αφορά τα μεσογειακά σκληρόφυλλα είδη, εξαιτίας της μείωσης της αγωγιμότητας των στομάτων. Αυτό το γεγονός έχει δημιουργήσει και το ερώτημα εάν μορφολογικές αλλοιώσεις, όπως νεκρωτικές κηλίδες, που εμφανίζονται σε κάποια φυτικά ήδη (*Laurus nobilis*) τους μήνες με έντονη ηλιοφάνεια, οφείλονται αποκλειστικά σε αέριους ρύπους (κυρίως το όζον, αποκλειστικά ή συνεργητικά με άλλους ρύπους) ή άλλες αιτίες, και εάν υπάρχει σχέση της συχνότητας των προσβολών π.χ. από έντομα (π.χ. *Tingis* spp., *Prylla trioza*, *Aonidia lauri*) με την παρουσία ατμοσφαιρικών ρύπων.

### 5.3. Περιγραφή των σημείων δειγματοληψίας

#### I. Συνοικία Τσαλαβούτα - Κρυστάλλη: Βιομηχανική ζώνη Περιστερίου

##### Σημείο: C1

- Είδος: *Ceratonia siliqua*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες : 38° 00' 01.79'' Β, 23° 41' 48.57'' Α
- Υψόμετρο: 41 μ
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 15 - 18 ετών
- Παρατηρήσεις: Η περιοχή βρίσκεται στην βιομηχανική ζώνη του Περιστερίου, στη συμβολή δύο μεγάλων αυτοκινητοδρόμων, της Λ. Κηφισού (ποτάμι) και της Λ. Καβάλας, ενώ υπάρχει τακτική κυκλοφορία βαρέων επαγγελματικών οχημάτων στους γύρω συνοικιακούς δρόμους. Το δέντρο χαρουπιάς που σημαδεύτηκε ήταν εγκατεστημένο σε δημοτικό πάρκο επί της οδού Κρυστάλλη 49. Ο χώρος αρδεύεται και συντηρείται τακτικά.

#### Συνοικία Τσαλαβούτα - Σφακίων: Βιομηχανική ζώνη Περιστερίου

##### Σημείο: L1

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 37° 59' 56.45'' Β, 23° 41' 35.72'' Α
- Υψόμετρο: 43 μ

- Περιγραφή: διαμορφωμένο δέντρο ηλικίας 15 - 18 ετών
- Παρατηρήσεις: Το σημείο βρίσκεται σε δημοτικό χώρο πρασίνου παρακείμενο σε συνοικιακό δρόμο, που κατασκευάστηκε επάνω από σκεπασμένο παραπόταμο του Κηφισού ποταμού. Ο χώρος πρασίνου αρδεύεται και συντηρείται τακτικά. Σε μικρή απόσταση (<100 μέτρα) βρίσκεται η συμβολή των Λεωφόρων Κηφισού και Καβάλας, που είναι δρόμοι πυκνής κυκλοφορίας.

## II. Πλατεία 28<sup>ης</sup> Οκτωβρίου (Νέα Κολοκυνθούς -Μπουρνάζι)

### Σημείο: C2

- Είδος: *Ceratonia siliqua*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38<sup>0</sup> 00' 44.07'' Β, 23<sup>0</sup> 42' 20.18'' Α
- Υψόμετρο: 54 μ
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 20 - 25 ετών
- Παρατηρήσεις: Η περιοχή βρίσκεται στη βιομηχανική ζώνη του Περιστερίου αλλά τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει έντονη οικιστική και εμπορική ανάπτυξη σε βάρος της βιοτεχνικής και βιομηχανικής δραστηριότητας. Στην περιοχή σημαδεύτηκαν μία χαρουπιά και μία δάφνη με μικρή απόσταση μεταξύ τους. Και τα δύο φυτά βρίσκονται στη συμβολή πολυσύχναστων συνοικιακών δρόμων (Οδοί, Κύπρου, Παρασκευοπούλου, Αγ. Παρασκευής και Κωνσταντινουπόλεως). Ο χώρος που είναι εγκατεστημένα είναι δημοτικό πάρκο πρασίνου με άρδευση και τακτική συντήρηση.

### Σημείο : L2

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές συντεταγμένες: 38<sup>0</sup> 00' 43.21'' Β, 23<sup>0</sup> 42' 23.35'' Α
- Υψόμετρο: 54 μ
- Περιγραφή: θάμνος ηλικίας 10 - 15 ετών
- Παρατηρήσεις: Το σημείο βρίσκεται σε δημοτικό χώρο πρασίνου, επί της οδού Κύπρου. Ο χώρος αρδεύεται και συντηρείται τακτικά. Ισχύουν τα ίδια με το σημείο Χ2, από το οποίο απέχει περίπου 50 μέτρα.

## III. Συμβολή Οδών Παναγή Τσαλδάρη και Ραβινέ (Κέντρο Περιστερίου)

Σημείο: C3

- Είδος: *Ceratonia ciliqua*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38<sup>0</sup> 00' 53.43'' Β, 23<sup>0</sup> 41' 38.43'' Α
- Υψόμετρο: 67 μ
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 15 - 20 ετών
- Παρατηρήσεις: Το σημείο βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο της πόλης του Περιστερίου, στη συμβολή οδών με μεγάλο κυκλοφοριακό φορτίο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Πρόκειται για δημοτικό πάρκο που αρδεύεται και συντηρείται τακτικά.

Συμβολή Οδών Παναγή Τσαλδάρη και Βεάκη (κέντρο Περιστερίου)

Σημείο: L3

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38<sup>0</sup> 00' 42.20'' Β, 23<sup>0</sup> 41' 47.98'' Α
- Υψόμετρο: 61 μ
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 15 - 20 ετών
- Παρατηρήσεις: Το σημείο βρίσκεται σε δημοτικό χώρο πρασίνου παρακείμενο στην οδό Παναγή Τσαλδάρη που είναι δρόμος πυκνής κυκλοφορίας. Ο χώρος αρδεύεται και συντηρείται τακτικά.

IV. Συμβολή Οδών Αγίου Βασιλείου και Δωδεκανήσου (συνοικία «Ασπρα Χώματα»)

Σημείο: C4

- Είδος: *Ceratonia siliqua*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38<sup>0</sup> 01' 00.22'' Β, 23 41' 17.82'' Α
- Υψόμετρο: 67
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 15 - 20 ετών
- Παρατηρήσεις : Το σημείο βρίσκεται δίπλα από το Άλσος Περιστερίου, ακριβώς στην συμβολή των οδών Αγ. Βασιλείου και Δωδεκανήσου που είναι δρόμοι με μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο κατά τις ώρες 6 π.μ. με 8 μ.μ. Το δέντρο βρίσκεται σε ιδιωτικό χώρο, αρδεύεται και συντηρείται τακτικά.

Συμβολή Οδών Αγίου Βασιλείου και Καϊάφα (συνοικία «Άσπρα Χώματα»)

Σημείο: L4

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: / 38° 01' 02.30'' Β, 23° 41' 13.44'' Α
- Υψόμετρο : 68 μ
- Περιγραφή : δέντρο ηλικίας 15 - 20 ετών
- Παρατηρήσεις : Το σημείο βρίσκεται εντός του Άλσους Περιστερίου, δίπλα στην οδό Αγίου Βασιλείου. Αρδεύεται και συντηρείται τακτικά.

V. Νησίδα στη συμβολή των Οδών Θηβών και Πελασγίας.

Σημείο: L5

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 00' 41.99'' Β, 23° 41' 17.44'' Α
- Υψόμετρο: 59 μ
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 15 - 20 ετών
- Παρατηρήσεις: Το σημείο βρίσκεται σε νησίδα πρασίνου, στη συμβολή των οδών Θηβών και Πελασγίας. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από πυκνή και συχνή κυκλοφορία οχημάτων καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Ο χώρος πρασίνου αρδεύεται και συντηρείται κανονικά. Τα κτήρια βρίσκονται σε μία ακτίνα τριάντα μέτρων περίπου γύρω από τη νησίδα.

VI. Συμβολή Οδών Αχαΐας και Αγίου Σώστη (συνοικία «Ανθούπολη»).

Σημείο: C6

- Είδος: *Ceratonia siliqua*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 01' 18.08'' Β, 23° 41' 23.25'' Α
- Υψόμετρο: 77 μ
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 15 - 20 ετών



- Παρατηρήσεις: Το δέντρο βρίσκεται σε σημείο εντός της πλατείας Κολοκοτρώνη, που περιβάλλεται από συνοικιακούς δρόμους χαμηλής κυκλοφορίας. Περιμετρικά της πλατείας και σε μικρή απόσταση, υπάρχουν κτήρια μέγιστου ύψους 15 μέτρων. Η μεγαλύτερη επιφάνεια της πλατείας είναι διαμορφωμένη σε χώρο πρασίνου που αρδεύεται και συντηρείται τακτικά. Σε ακτίνα τριακοσίων μέτρων περίπου βρίσκεται η οδός Θηβών, δρόμος με πυκνή κυκλοφορία.

Συμβολή Οδών Αγίου Κυρήκου και Αγίου Σώστη (συνοικία «Ανθούπολη»).

Σημείο: L6

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 01' 18.79'' Β, 23° 41' 21.72'' Α
- Υψόμετρο: 77 μ
- Περιγραφή: θάμνος ηλικίας 15 ετών
- Παρατηρήσεις: Ο θάμνος βρίσκεται σε σημείο εντός της πλατείας Κολοκοτρώνη σε χώρο που δεν σκιάζεται.

VII. Συμβολή Οδών Μιχαλακοπούλου και Αριστάρχου (συνοικία «Νέα Ζωή»).

Σημείο: C7

- Είδος: *Ceratonia siliqua*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 00' 57.04'' Β, 23° 40' 24.10'' Α
- Υψόμετρο: 97 μ
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 15 ετών
- Παρατηρήσεις: Το δέντρο βρίσκεται μέσα σε σχολικό κήπο, σε σημείο παρακείμενο της οδού Μιχαλακοπούλου. Ο συγκεκριμένος δρόμος είναι δρόμος χαμηλής μεν κυκλοφορίας όμως σε απόσταση διακοσίων μέτρων βρίσκεται η Λ. Καβάλας και μεγαλύτεροι συνοικιακοί δρόμοι συχνής κυκλοφορίας. Ο κήπος συντηρείται επαρκώς.

Σημείο: L7

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 00' 58.27'' Β, 23° 40' 25.02'' Α
- Υψόμετρο: 97 μ

- Περιγραφή: θάμνος ηλικίας 10 ετών
- Παρατηρήσεις: Ο θάμνος βρίσκεται σε πάρκο όμορο με το σχολικό συγκρότημα. Το πάρκο αρδεύεται και συντηρείται τακτικά.

#### VIII. Συμβολή Οδών Σαμπφούς και Μυστριώτη (συνοικία «Χρυσούπολη»).

##### Σημείο: C8

- Είδος: *Ceratonia siliqua*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 01' 30.77'' Β, 23° 40' 14.27'' Α
- Υψόμετρο: 140 μ.
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 15 - 20 ετών
- Παρατηρήσεις: Στο συγκεκριμένο σημείο είναι δημοτικός χώρος πρασίνου που αρδεύεται και συντηρείται τακτικά. Οι δρόμοι που περιβάλλουν τον χώρο πρασίνου είναι δρόμοι χαμηλής κυκλοφορίας.

##### Σημείο: L8

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 01' 30.77'' Β, 23° 40' 14.27'' Α
- Υψόμετρο: 140 μ.
- Περιγραφή: θάμνος ηλικίας 10 ετών
- Παρατηρήσεις: Το συγκεκριμένο σημείο είναι δημοτικός χώρος πρασίνου που αρδεύεται και συντηρείται τακτικά. Οι δρόμοι που περιβάλλουν τον χώρο πρασίνου είναι δρόμοι χαμηλής κυκλοφορίας.

#### IX. Συμβολή Οδών Πευκών και Ανεμώνης (συνοικία «Χωράφα - Κηπούπολη»).

##### Σημείο: C9

- Είδος: *Ceratonia siliqua*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 01' 43.13'' Β, 23° 40' 46.48'' Α
- Υψόμετρο: 110 μ.

- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 15 - 20 ετών
- Παρατηρήσεις: Το δέντρο βρίσκεται σε ανοικτό χώρο, εντός του συγκροτήματος των εγκαταστάσεων, σε δημοτικό χώρο πρασίνου που αρδεύεται και συντηρείται τακτικά. Οι δρόμοι που περιβάλλουν τον χώρο είναι δρόμοι χαμηλής κυκλοφορίας.

Συμβολή Οδών Πευκών και Κέδρων (συνοικία «Χωράφα - Κηπούπολη»).

**Σημείο: L9**

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 01' 50.28'' Β, 23° 40' 35.50'' Α
- Υψόμετρο: 127 μ.
- Περιγραφή: δέντρο ηλικίας 10 ετών
- Παρατηρήσεις: Το δέντρο βρίσκεται σε περίβολο κτιριακού συγκροτήματος. Αρδεύεται και συντηρείται τακτικά. Οι δρόμοι που περιβάλλουν τον χώρο είναι δρόμοι χαμηλής κυκλοφορίας.

Χ. Οδός Αγίας Τριάδος Θρακομακεδόνων (περίβολος Ναού Αγ. Τριάδος).

**Σημείο: L10**

- Είδος: *Laurus nobilis*
- Ενδεικτικές Συντεταγμένες: 38° 08' 06.13'' Β, 23° 45' 22.53'' Α
- Υψόμετρο: 409 μ
- Περιγραφή: θάμνος ηλικίας 15 ετών
- Παρατηρήσεις: Ο θάμνος βρίσκεται σε σημείο εντός της πλατείας Αγίας Τριάδος Θρακομακεδόνων σε σημείο που δεν σκιάζεται.

Ακολουθεί πίνακας με συνοπτική περιγραφή της δειγματοληπτικής περιόδου.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1: Συνοπτική παρουσίαση Σταθμών και χρονοδιαγράμματος δειγματοληψιών**

α/α	ΠΕΡΙΟΧΗ	Σημείο / ΦΥΤΙΚΟ ΕΙΔΟΣ / ΗΛΙΚΙΑ	ΟΔΟΣ / ΘΕΣΗ / ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ / ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ / ΩΡΑ 8 π.μ. - 2 μ.μ.		
				1η	2η	3η
1.	Τσαλαβούτα : Βιομηχανική ζώνη Περιστερίου, κοντά σε οδούς πυκνής κυκλοφορίας (Λ. Κηφισού και Λ. Καβάλας)	L1 : <i>Laurus nobilis</i>	Σφακίων 9 / πεζοδρόμιο / 37° 59' 56.45'' N, 23° 41' 35.72'' E / Υψόμετρο 43 μ	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		C1 : <i>Ceratonia siliqua</i>	Κρουστάλλη 49 / πράσινο / 38° 00' 01.79'' N, 23° 41' 48.57'' E / Υψόμετρο 41 μ	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
2.	Μπουρνάζι (περιοχή με πυκνή κυκλοφορία και πυκνοδομημένη)	L2 : <i>Laurus nobilis</i> /	Αγ. Παρασκευής κ Κύπρου / πεζοδρόμιο / 38° 00' 43.21'' N, 23° 42' 23.35'' E / Υψόμετρο 54 μ	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		C2 : <i>Ceratonia siliqua</i> /	Παρασκευοπούλου / πεζοδρόμιο / 38° 00' 44.07'' N, 23° 42' 20.18'' E / Υψόμετρο 54 μ	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
3.	Κέντρο Περιστερίου (περιοχή με πυκνή κυκλοφορία και πυκνοδομημένη)	L3 : <i>Laurus nobilis</i> /	Βεάκη κ Π. Τσαλδάρη / πεζοδρόμιο / 38° 00' 42.20'' N, 23° 41' 47.98'' E / Υψόμετρο 61 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		C3 : <i>Ceratonia siliqua</i> /	Π. Τσαλδάρη κ Ραβινέ / πεζοδρόμιο / 38° 00' 53.43'' N, 23° 41' 38.43'' E / Υψόμετρο 67 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
4.	Κοντά στο Άλσος Περιστερίου - συχνή κυκλοφορία οχημάτων	L4 : <i>Laurus nobilis</i> /	Αγίου Βασιλείου 62 / πεζοδρόμιο / 38° 01' 02.30'' N, 23° 41' 13.44'' E / Υψόμετρο 68 μ	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		C4 : <i>Ceratonia siliqua</i> /	Αγ. Βασιλείου κ Δωδεκανήσου / πεζοδρόμιο / 38° 01' 00.22'' N, 23° 41' 17.82'' E / Υψόμετρο 67μ	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
5.	Νησίδα επί της Λ. Θηβών (πυκνή κυκλοφορία οχημάτων)	L5 : <i>Laurus nobilis</i> /	Θηβών κ Πελασγίας / νησίδα / 38° 00' 41.99'' N, 23° 41' 17.44'' E / Υψόμετρο 59 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		*_	*_	*	*	*
6.	Ανθούπολη (συνοικιακή πλατεία με χαμηλή κυκλοφορία στους γύρω δρόμους, και πυκνή δόμηση)	L6 : <i>Laurus nobilis</i> /	Αγ. Κυρήκου κ Αγ. Σώστη / πράσινο / 38° 01' 18.08..N, 23° 41' 23.25'' E / Υψόμετρο 77 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		C6 : <i>Ceratonia siliqua</i> /	Αγ. Σώστη κ Αχαΐας / πράσινο / 38° 01' 18.08..N, 23° 41' 23.25'' E / Υψόμετρο 77 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
7.	Νέα Ζωή (κοντά σε Λ. Καβάλας, πυκνή δόμηση)	L7 : <i>Laurus nobilis</i> /	Μιχαλακοπούλου κ Αριστάρχου / πράσινο / 38° 00' 58.27'' B, 23° 40' 25.02'' A / Υψόμετρο 97 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		C7 : <i>Ceratonia siliqua</i> /	Αριστάρχου κ Μιχαλακοπούλου / 38° 00' 57.04'' B, 23° 40' 24.10'' A / Υψόμετρο 97 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
8.	Χρυσούπολη (αραιή δόμηση, δρόμοι χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου)	L8 : <i>Laurus nobilis</i> /	Σαπφούς κ Μυστριώτη / πράσινο / 38° 01' 30.77'' N, 23° 40' 14.27'' E / Υψόμετρο 140 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		C8 : <i>Ceratonia siliqua</i> /	Σαπφούς κ Μυστριώτη / πράσινο / 38° 01' 30.77'' N, 23° 40' 14.27'' E / Υψόμετρο 140 μ	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
9.	Κηπούπολη (πυκνή δόμηση, δρόμοι χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου)	L9 : <i>Laurus nobilis</i> /	Κέδρων κ Πευκών / πράσινο / 38° 01' 50.28'' N, 23° 40' 35.50'' E / Υψόμετρο 127 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		C9 : <i>Ceratonia siliqua</i> /	Πευκών κ Ανεμώνης / πράσινο / 38° 01' 43.13'' N, 23° 40' 46.48'' E / Υψόμετρο 110 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
10.	Θρακομακεδόνες (αραιή δόμηση, δρόμοι χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου)	L10 : <i>Laurus nobilis</i> /	Ναός Αγ. Τριάδας / πεζοδρόμιο / 38° 08' 06.13'' N, 23° 45' 22.53'' E / Υψόμετρο 409 μ.	9 Δεκ 2005	5 Μαΐου 2006	29 Σεπτ 2006
		*_	*_	*	*	*

## 5.4 Μέθοδος

Στην εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική μέθοδος Steubing (1965) που είναι κατάλληλη για τον εκχύλιση και φωτομετρικό προσδιορισμό χλωροφυλλών (Chla, Chlb & Chl<sub>total</sub>). Τα στάδια που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

1 - Δειγματοληψία φύλλων. Τα φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν στις εκχυλίσεις ήταν καλά ανεπτυγμένα, αμιγή χωρίς τραυματισμούς και ορατές προσβολές από έντομα ή μύκητες, και επιλέγονταν από σημείο του φυτού που ήταν εκτεθειμένο στο ηλιακό φως. Ειδικά για την χαρουπιά επιλέγονταν φυλλάρια που βρίσκονταν στο δεύτερο και τρίτο στέλεχος. Από κάθε φυτό λαμβάνονταν πέντε (5) φύλλα ή φυλλάρια. Τα δείγματα τοποθετούνταν σε πλαστικές σακούλες και μεταφέρονταν με ισοθερμικό σάκο στο εργαστήριο όπου τοποθετούνταν στην κατάψυξη (-4 °C) μέχρι να αναλυθούν.

2 - Κάθε επιμέρους δείγμα έβγαινε από την κατάψυξη ακριβώς πριν χρησιμοποιηθεί για ανάλυση. Για κάθε νωπό δείγμα φύλλων ετοιμάζονταν τρεις σειρές μετρήσεων. Για κάθε σειρά μέτρησης ενός δείγματος υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών απορρόφησης.

3 - Πριν την ζύγιση, κάθε φύλλο καθαρίζονταν με λίγο χαρτί ελαφρά βρεγμένο με απιονισμένο νερό, ώστε να απομακρυνθούν κατά το δυνατόν αποθέσεις ρύπων και σκόνης από την παραξονική και απαξονική επιφάνεια. Στη συνέχεια το έλασμα του φύλλου τεμαχίζονταν σε μικρά κομμάτια επιφάνειας 1- 3 mm<sup>2</sup> περίπου. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε να μην περιέχονται νεύρα στα κομμάτια.

4 - Ζυγίζονταν σε αναλυτικό ζυγό ακριβείας, κομμάτια ελάσματος του φύλλου βάρους 0,2 - 0,21 g.

5 - Τα κομμάτια μεταφέρονταν σε ένα μικρό δοχείο (χωνευτήρι - γουδί) για πολτοποίηση. Πριν την έναρξη της πολτοποίησης προσθέτονταν μικρή ποσότητα σκόνης ανθρακικού ασβεστίου (CaCO<sub>3</sub>) ώστε να αποφευχθεί η οξειδωση των χλωροφυλλών. Σταδιακά, και ενώ γινόταν η πολτοποίηση, προσθέτονταν διάλυμα ακετόνης 80 % ώστε να γίνεται προοδευτικά η εκχύλιση. Η ακετόνη είναι το μέσο της εκχύλισης των χλωροφυλλών από τον νωπό πολτοποιημένο φυλλικό ιστό.

6 - Μετά την πολτοποίηση του φυλλικού ιστού, ακολουθούσε διήθηση με χάρτινο ηθμό διαμέτρου πόρων 0,001 mm, ώστε να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα υπολείμματα ιστού.

7- Το καθαρό από υπολείμματα προϊόν εκχύλισης, που περιείχε τις χλωροφύλλες, μεταφέρονταν σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml και συμπληρωνόταν η φιάλη με ακετόνη έως τη χαραγή των 50 ml (σημειώνεται ότι τα στάδια 6 και 7 γίνονταν μαζί).

8 - Κάθε ογκομετρική φιάλη πωματίζονταν και αναδεύονταν καλά (20 - 30 φορές) ώστε να ομογενοποιηθεί το περιεχόμενο.

9 - Ορισμένη ποσότητα από κάθε φιάλη μεταφέρονταν σε δοκιμαστικό σωλήνα.

10 - Ακολουθούσε η μέτρηση κάθε σειράς δειγμάτων. Δηλαδή, για έκαστο δείγμα εποχής ενός φυτού, ετοιμάζονταν όπως περιγράφεται παραπάνω, τρία δείγματα, παρασκευάζονταν τα εκχυλίσματα και γίνονταν οι μετρήσεις της απορρόφησης

στο φασματοφωτόμετρο. Οι μετρήσεις απορρόφησης λαμβάνονταν στα 645 nm και στα 663 nm.

11 - Για την εξαγωγή των επιμέρους ποσοτήτων χλωροφύλλης ανά γραμμάριο φυτικού ιστού, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω μαθηματικοί τύποι και έγιναν οι υπολογισμοί :

π.χ. Για την Chla :

$12,7 X$  (απορρόφηση στα 663 nm) -  $2,7 X$  (απορρόφηση στα 645 nm) = A  $\mu\text{g} / \text{ml}$  εκχυλίσματος

Στη συνέχεια γίνεται η αναγωγή :

Στο 1 ml εκχυλίσματος περιέχονται A  $\mu\text{g}$  Chla

Στα 50 ml εκχυλίσματος περιέχονται B  $\mu\text{g}$  Chla

Η τιμή B αντιστοιχεί σε βάρος νωπού ιστού 0,2 - 0,21 g (ανάλογα με την ζύγιση) Επομένως, σε βάρος νωπού ιστού 1 g θα αντιστοιχούν  $5 X B \text{ mg Chla} / \text{g}$  νωπού ιστού φύλλου.

Για απλοποίηση και συντόμευση των παραπάνω υπολογισμών και για άμεση μετατροπή των ποσοτήτων σε mg χρωστικής  $\text{g}^{-1}$  νωπού ιστού, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο όγκος του εκχυλίσματος είναι 50 ml, γίνεται απλοποίηση και προκύπτει ο συντελεστής 0,25. Οπότε ο αρχικός τύπος για τον υπολογισμό της ποσότητας Chla στο δείγμα, διαμορφώνεται ως εξής :

**Chla :**

$$[12,7 * (\text{απορ. στα } 663 \text{ nm}) - 2,7 * (\text{απορ. στα } 645 \text{ nm})] X 0,25 = X \text{ mg g}^{-1}$$

Ομοίως,

**Chlb :**

$$[29,9 * (\text{απορ. στα } 645 \text{ nm}) - 4,7 * (\text{απορ. στα } 663 \text{ nm})] X 0,25 = Y \text{ mg g}^{-1}$$

**Chl<sub>total</sub>**

$$[20,2 * (\text{απορ. στα } 645 \text{ nm}) - 8,0 * (\text{απορ. στα } 663 \text{ nm})] X 0,25 = Z \text{ mg g}^{-1}$$

**Chla / Chlb = X / Y**

Οι τιμές περιεχόμενης χλωροφύλλης, που προκύπτουν από την εφαρμογή των τύπων, στους μέσους όρους των τιμών φωτομέτρησης, που προέκυψαν για κάθε φυτό, κάθε σημείου δειγματοληψίας, στις τρεις συνολικά δειγματοληψίες, αναφέρονται παρακάτω στους πίνακες των αποτελεσμάτων.

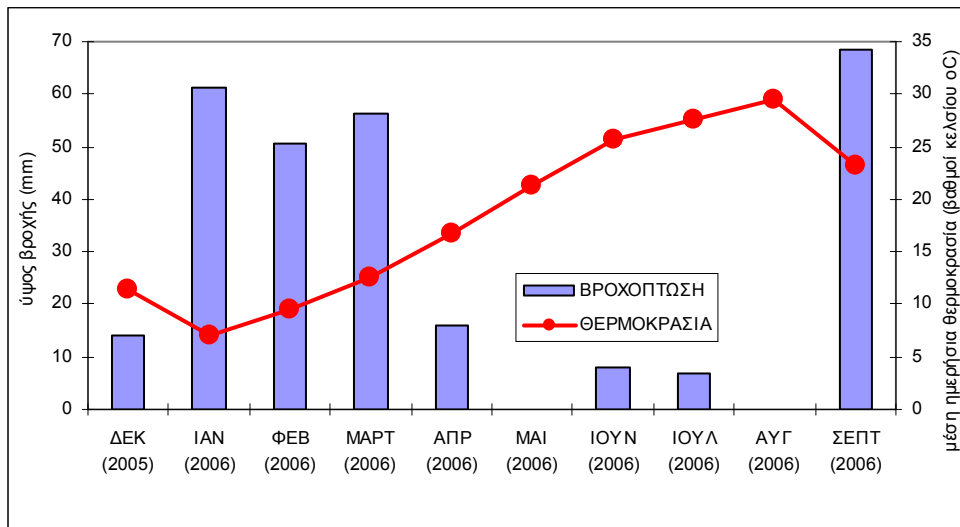
Επίσης, αναφέρονται οι τιμές όζοντος, θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, για την περίοδο δειγματοληψίας.



# 6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

## 6.1. Γενικά

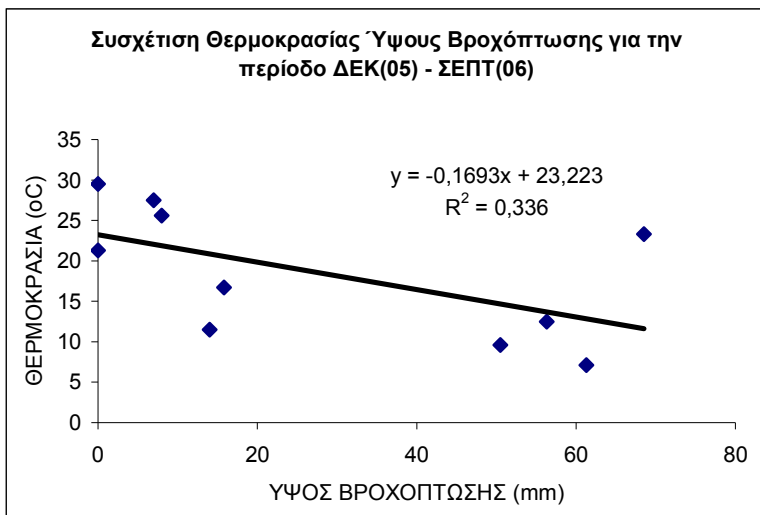
Στους Πίνακες 6.4. και 6.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων χλωροφύλλης, για τις τρεις περιόδους δειγματοληψίας, όλων των σημείων. Στην



Εικόνα 6.1: Ομβροθερμικό διάγραμμα για την περίοδο Δεκ 2005 - Σεπτ 2006

Εικ.6.1 φαίνεται το ομβροθερμικό διάγραμμα για την περίοδο δειγματοληψίας (Δεκ 2005 - Σεπτ 2006). Οι τιμές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και μηνιαίου ύψους βροχόπτωσης ακολουθούν ένα τυπικό πρότυπο μεσογειακού κλίματος. Οι τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για

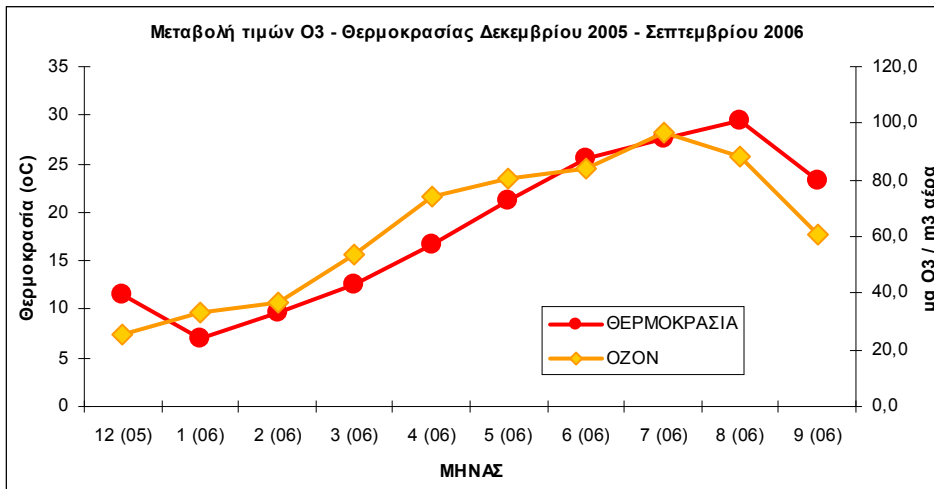
την περιοχή της Αττικής, προέρχονται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΙΕΠΒΑ) και το ΠΕΡΠΑ. Δυστυχώς, τιμές θερμοκρασίας για την περιοχή του Περιστερίου δεν έγινε δυνατόν να βρεθούν, παρά το γεγονός ότι στο Περιστερί υπάρχει σταθερός σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων, καθώς, σύμφωνα με το ΠΕΡΠΑ, οι τιμές θερμοκρασίας αέρα και ύψος βροχόπτωσης που λαμβάνονται δεν θεωρούνται αξιόπιστες. Οι τιμές βροχόπτωσης είναι πολύ χαμηλές έως μηδενικές για την θερινή περίοδο, που είναι η χαρακτηριστική ξηροθερμική περίοδος για το μεσογειακό κλίμα. Αντίστοιχα, οι τιμές θερμοκρασίας αέρα, σταδιακά αυξάνονται ξεκινώντας από τον μήνα Φεβρουάριο 2005 και λαμβάνουν την μέγιστη τιμή τον μήνα Αύγουστο. Ο συντελεστής συσχέτισης θερμοκρασίας αέρα -



Εικόνα 6.2 : Συσχέτιση ύψος βροχόπτωσης - μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας.

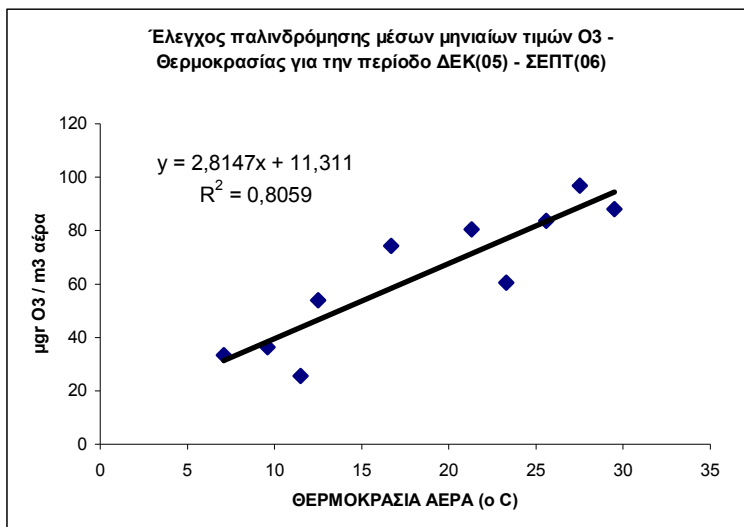
ύψους Βροχόπτωσης βρέθηκε 0,336, τιμή αναμενόμενη καθώς η θερμοκρασία αέρα έχει και εποχική διακύμανση (Εικ.6.2).

Από το διάγραμμα όζοντος - θερμοκρασίας (Εικ.6.3), επαληθεύεται ότι τα επίπεδα του όζοντος αυξάνονται παράλληλα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Και για τους δέκα μήνες της περιόδου δειγματοληψίας, οι τιμές όζοντος ακολουθούν την αυξομείωση της θερμοκρασίας.



Εικόνα 6.3 : Μεταβολή μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα - μέσης μηνιαίας τιμής όζοντος

Είναι αναμενόμενο ότι η συμπεριφορά της καμπύλης, θα ακολουθεί την ίδια μεταβολή και για την περιοχή των Θρακομακεδόνων, αφού ο παράγοντας που επιδρά στην αύξηση του όζοντος δευτερογενώς (φωτοχημικά) είναι η υψηλής έντασης ηλιακή ακτινοβολία, φαινόμενο



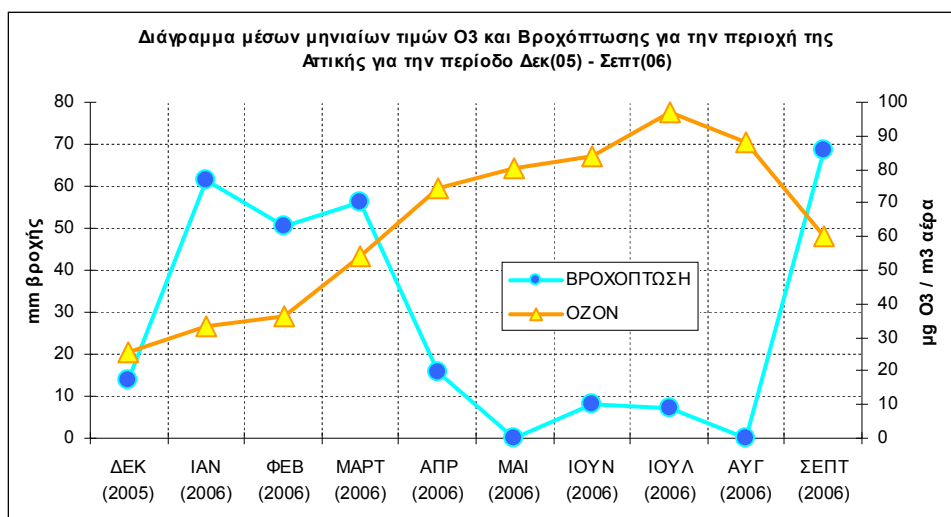
Εικόνα 6.4: Συσχέτιση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας - συγκέντρωσης όζοντος

συχνό για τους Θρακομακεδόνες κατά τους θερινούς μήνες. Στο διάγραμμα φαίνεται ότι κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκ - Φεβρ.) οι τιμές όζοντος είναι χαμηλές. Ο συντελεστής συσχέτισης της συνμεταβολής των τιμών όζοντος - θερμοκρασίας βρέθηκε 0,8059 (Εικ. 6.4). Οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας έχουν καταγραφεί στους θερινούς μήνες. Το ίδιο φαίνεται και από το διάγραμμα βροχόπτωσης - όζοντος (Εικ. 6.5), όπου οι χαμηλές έως μηδαμινές τιμές βροχόπτωσης αντιστοιχούν στους θερινούς μήνες, όπου και καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές όζοντος (βλ. παρακάτω).

Οι καμπύλες των τιμών όζοντος - μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα, εμφανίζουν σταδιακή αύξηση με την έλευση των εαρινών μηνών, ενώ η κλίση και για τις δύο καμπύλες γίνεται πιο απότομη τους θερινούς μήνες, φτάνοντας ένα μέγιστο τον μήνα Ιούλιο για το όζον και τον Αύγουστο για την μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα.

Στο διάγραμμα όζοντος - ύψους μηνιαίας βροχόπτωσης (Εικ 6.5), οι τιμές όζοντος μεταβάλλονται αντίστροφα ως προς το ύψος βροχόπτωσης. Οι τιμές είναι πολύ χαμηλές κατά τους χειμερινούς μήνες αλλά αυξάνονται έως και πέντε φορές κατά τους θερινούς μήνες. Χαρακτηριστικό είναι ότι τον μήνα Σεπτέμβριο οι τιμές όζοντος μειώνονται ακολουθώντας αντίστροφα σχεδόν την αύξηση των τιμών της μηνιαίας βροχόπτωσης που αυξάνεται απότομα. Αυτό θα μπορούσε να ερμηνευθεί από το





Εικόνα 6.5: Διάγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών συγκέντρωσης όζοντος και μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο Δεκ 2005 - Σεπτ 2006 για την Αττική.

γεγονός ότι το όζον αυξάνεται ιδιαίτερα κατά τις ημέρες με έντονη ηλιοφάνεια όπου ως γνωστόν, παράγεται ως δευτερογενής ρύπος μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων. Οπότε είναι αναμενόμενο το όζον να μειώνεται κατά τις ημέρες με συννεφιά και βροχή.

Στους Πίνακες 6.4 και 6.5 και τα ιστογράμματα παρακάτω φαίνονται οι τιμές Chla, Chlb, Chltotal και Chla/b που προέκυψαν. Για διευκόλυνση της παρακολούθησης του αναγνώστη, σημειώνεται ότι με το γράμμα «C» συμβολίζονται τα σημεία δειγματοληψίας για το είδος *Ceratonia siliqua* και με το γράμμα «L» συμβολίζονται σημεία δειγματοληψίας για το είδος *Laurus nobilis* (βλ. πίνακα για περιγραφή του σημείου όπου βρίσκεται εγκατεστημένο κάθε φυτό).

## 6.2. Χλωροφύλλες

### - Chl-a

Για το είδος *Laurus nobilis*, η μεγαλύτερη τιμή για την Chl-a μετρήθηκε στον σταθμό L8, την εαρινή περίοδο 2006 (τιμή 2,8926 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους) στις 5/5/2006) και η μικρότερη μετρήθηκε στον L7 την χειμερινή περίοδο (τιμή 0,6244 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 9/12/2005).

Για το είδος *Ceratonia siliqua*, η μεγαλύτερη τιμή μετρήθηκε στον σταθμό C6 (τιμή 2,3711 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 5/5/2006) και η μικρότερη μετρήθηκε στο C9 (τιμή 1,0428 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 5/5/2006).

Ο μέσος όρος των τιμών Chl-a για όλες τις μετρήσεις για το είδος *Laurus nobilis*, μετρήθηκε σε 1,6569 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους, και για το είδος *Ceratonia siliqua* μετρήθηκε σε 1,6266 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους.

Η μεγαλύτερη τιμή για την Chla συγκριτικά για τα δύο είδη, βρέθηκε για το είδος *Laurus nobilis* στο σημείο L8 (τιμή 2,8926 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους) και η μικρότερη τιμή, συγκριτικά για τα δύο είδη βρέθηκε για το είδος *Laurus nobilis*, στο σημείο L7 (τιμή 0,6244 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους). Σημειώνεται ότι η μέτρηση της 9/12/2005 για το είδος *Laurus nobilis* για το σημείο L2 για Chla είναι αμφισβητούμενη.

### - Chl-b

Για το είδος *Laurus nobilis* η μεγαλύτερη τιμή Chl-b μετρήθηκε στον σταθμό L2 την χειμερινή περίοδο (τιμή 2,9122 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 9/12/2005) και η μικρότερη στον L7 επίσης την χειμερινή περίοδο (τιμή 0,6865 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 9/12/2005).

Για το είδος *Ceratonia siliqua*, η μεγαλύτερη τιμή Chl-b μετρήθηκε στο σταθμό C6 την εαρινή περίοδο (τιμή 2,7086 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 5/5/2006) και η

μικρότερη μετρήθηκε πάλι την εαρινή περίοδο στον σταθμό C9 (τιμή 0,6857 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 5/5/2006).

Μέσος όρος των τιμών Chlb για όλες τις μετρήσεις για το είδος *Laurus nobilis*, μετρήθηκε σε 1,3239 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους εκχυλίσματος και για το είδος *Ceratoniasiliqua* μετρήθηκε 1,3147 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους εκχυλίσματος.

Για την Chlb, η μεγαλύτερη τιμή συγκριτικά για τα δύο είδη βρέθηκε για το είδος *Laurus nobilis* (τιμή mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στο σημείο L2. Η μικρότερη τιμή συγκριτικά για τα δύο είδη βρέθηκε για το είδος *Ceratoniasiliqua* (τιμή 0.6857 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους) στο σημείο C9.

#### - Chl-total

Για το είδος *Laurus nobilis*, η μεγαλύτερη τιμή Chltotal μετρήθηκε στον σταθμό L2 την χειμερινή περίοδο (τιμή 5,861 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 9/12/2005, η τιμή όμως αμφισβητείται γιατί υπήρξε μεγάλη απόκλιση από τις άλλες τιμές τις ίδιες ημερομηνίας, οπότε υιοθετείται η τιμή 4,6363 από το σημείο L8 για τις 5/5/2006) και η μικρότερη τιμή μετρήθηκε στον σταθμό L7 επίσης την χειμερινή περίοδο (τιμή 1,0866 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους στις 9/12/2005).

Για το είδος *Ceratoniasiliqua* η μεγαλύτερη τιμή Chltotal μετρήθηκε στον σταθμό C6 την χειμερινή περίοδο (τιμή 4,211 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους εκχυλίσματος στις 5/5/2006) και η μικρότερη μετρήθηκε στον σταθμό C1 την χειμερινή περίοδο (τιμή 1,3912 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους εκχυλίσματος στις 9/12/2005).

Μέσος όρος των τιμών Chltotal για όλες τις μετρήσεις για το είδος *Laurus nobilis*, μετρήθηκε σε 2,5759 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους εκχυλίσματος, και για το είδος *Ceratoniasiliqua* μετρήθηκε 2,4601 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους εκχυλίσματος.

Για την Chltotal, η μεγαλύτερη τιμή συγκριτικά για τα δύο είδη, βρέθηκε για το είδος *Laurus nobilis* (τιμή 5,861 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους) στο σημείο L2, και η μικρότερη βρέθηκε για το είδος *Laurus nobilis* (τιμή 1,0866 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους), στο σημείο L7.

#### - Chla/b

Ο λόγος των χλωροφυλλών Chl-a/b ουσιαστικά παρέχει μία εκτίμηση της σχετικής ποσότητας μεταξύ της κύριας φωτοσυνθετικής χρωστικής Chl-a και της βασικότερης δευτερεύουσας φωτοσυνθετικής χρωστικής Chl-b.

Ο λόγος αυξάνεται όταν η Chl-a επικρατεί ποσοτικά (μειώνεται ο παρανομαστής), και μειώνεται όταν επικρατεί η Chlb (αυξάνεται ο παρανομαστής).

Για το είδος *Laurus nobilis*, η μεγαλύτερη τιμή Chl-a/b μετρήθηκε στο σταθμό L9 στις 9/12/2005, με τιμή 1,9185. Η μικρότερη τιμή μετρήθηκε στο σταθμό L7 στις 9/12/2005 με τιμή 0,9118.

Για το είδος *Ceratoniasiliqua*, η μεγαλύτερη τιμή μετρήθηκε στον σταθμό C7 στις 9/12/2005, με τιμή 1,8456. Η μικρότερη μετρήθηκε στον σταθμό C6 στις 5/5/2006, με τιμή 0,8757.

Για τον λόγο Chlta/b, η μεγαλύτερη τιμή συγκριτικά για τα δύο είδη, βρέθηκε για το είδος *Laurus nobilis* (τιμή 1,9185) στο σημείο L9, και η μικρότερη βρέθηκε για το είδος *Ceratoniasiliqua* (τιμή 0,8757), στο σημείο C6.

#### - Στατιστικός έλεγχος

Για τον στατιστικό έλεγχο των πειραματικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSSvs 16.0. Κάθε εποχική σειρά μετρήσεων για όλα τα σημεία, αποτελείται από τον μέσο όρο των τριών επαναλήψεων της μέτρησης που έγινε για κάθε φυτό κάθε σημείου. Για κάθε φυτικό είδος, κάθε σημείου, μετρήθηκε η Chla, Chlb, Chla/b, Chltotal).

Για κάθε σειρά δεδομένων υπολογίσθηκε ο μέσος όρος (MEAN), το τυπικό σφάλμα (S.E.) και η τυπική απόκλιση (Std. Deviation).

Έλεγχος κανονικότητας πραγματοποιήθηκε με το one sample Kolmogorov - Smirnov Test. Όλες οι σειρές εποχικών μετρήσεων ( $n = 3$  για κάθε σταθμό και για κάθε φυτό, κάθε είδους) ακολουθούν την κανονική κατανομή.

**Πίνακας 6.1:** Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ σταθμών για το είδος *Laurus nobilis*

L1 - L8 t(2) = 7,468, $p = 0,017 < 0,05$ ,
L2 - L1 t(2) = - 8,080, $p = 0,015 < 0,05$
L2 - L5 t(2) = - 11,063, $p = 0,008 < 0,05$
L2 - L6 t(2) = - 7,213, $p = 0,019 < 0,05$
L2 - L7 t(2) = - 9,258, $p = 0,011 < 0,05$
L2 - L9 t(2) = - 10,874, $p = 0,008 < 0,05$
L2 - L10 t(2) = - 12,155, $p = 0,007 < 0,05$
L3 - L7 t(2) = - 5,536, $p = 0,031 < 0,05$ ,
L3 - L8 t(2) = 5,194, $p = 0,035 < 0,05$ ,
L3 - L10 t(2) = -6,054, $p = 0,026 < 0,05$ .
L4 - L7 t(2) = - 5,988, $p = 0,027 < 0,05$
L4 - L8 t(2) = 4,701, $p = 0,042 < 0,05$
L4 - L9 t(2) = - 4,581, $p = 0,045 < 0,05$
L4 - L10 t(2) = - 6,795, $p = 0,021 < 0,05$
L7 - L1 t(2) = 4,800, $p = 0,041 < 0,05$
L7 - L5 t(2) = 8,785, $p = 0,013 < 0,05$
L7 - L8 t(2) = 11,230, $p = 0,008 < 0,05$
L7 - L9 t(2) = 6,944, $p = 0,020 < 0,05$
L8 - L5 t(2) = - 13,296, $p = 0,006 < 0,05$
L8 - L6 t(2) = - 8,409, $p = 0,014 < 0,05$
L8 - L7 t(2) = - 10,299, $p = 0,009 < 0,05$
L8 - L9 t(2) = -12,879, $p = 0,006 < 0,05$
L8 - L10 t(2) = - 13,862, $p = 0,005 < 0,05$
L9 - L5 t(2) = 5,346, $p = 0,033 < 0,05$ ,
L10 - L5 t(2) = 4,835, $p = 0,040 < 0,05$ ,

Τα αποτελέσματα των μέσων όρων των σειρών εποχικών μετρήσεων, μεταξύ όλων των σταθμών του κάθε είδους, και μεταξύ των δύο ειδών, συγκρίθηκαν με την εφαρμογή του t-test (One sample t-test, significance 2-tailed) του στατιστικού πακέτου. Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 6.1, φαίνονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών για το είδος *Laurus nobilis*, για την χλωροφύλλη.

Όσον αφορά το είδος *Laurus nobilis*, οι σταθμοί L1, L2, L3, L4, L5, μπορούν να ομαδοποιηθούν στο πρώτο μισό (προς Νότο) της περιοχής μελέτης, με την μεγαλύτερη έκθεση σε δρόμους πυκνής κυκλοφορίας, άρα αέριας ρύπανσης. Για την ομάδα αυτή, βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές συγκριτικά με τους σταθμούς L6, L7, L8, L9, που ανήκουν στο δεύτερο μισό της περιοχής μελέτης, με μεγαλύτερο μέσο υψόμετρο και μεγαλύτερη απόσταση από δρόμους πυκνής κυκλοφορίας και πηγές αέριας ρύπανσης. Ιδιαίτερα όσον αφορά την σύγκριση μεταξύ των σημείων με την

μεγαλύτερη και την μικρότερη απόσταση από δρόμους πυκνής κυκλοφορίας και γενικά πηγές αέριας ρύπανσης, L8 - L9 και L1 - L2 αντίστοιχα, βλέπουμε ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά για τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α που μετρήθηκαν, για το σύνολο των τριών μετρήσεων. Επιπλέον, σημαντική στατιστική διαφορά βρέθηκε μεταξύ των μετρήσεων των σημείων L10 και L8. Αξιοσημείωτο είναι ότι ακόμα και μεταξύ των σημείων L8 και L9, που βρίσκονται και τα δύο ΒΒΔ και σε υψόμετρο άνω των 120 m,

**Πίνακας 6.2:** Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ σταθμών για το είδος *Ceratonia siliqua*.

C1 - C2 t(2) = 7,620, $p = 0,17 < 0,05$
C1 - C6 t(2) = 6,077, $p = 0,20 < 0,05$
C2 - C3 t(2) = 4,699, $p = 0,042 < 0,05$
C2 - C9 t(2) = - 6,201, $p = 0,025 < 0,05$
C3 - C6 t(2) = 4,933, $p = 0,039 < 0,05$
C4 - C9 t(2) = - 4,814, $p = 0,041 < 0,05$
C6 - C2 t(2) = - 7,900, $p = 0,016 < 0,05$
C6 - C7 t(2) = - 11,886, $p = 0,007 < 0,05$
C6 - C9 t(2) = - 10,851, $p = 0,008 < 0,05$
C8 - C9 t(2) = - 5,033, $p = 0,037 < 0,05$

των σημείων L10 (Θρακομακεδόνες) και L5 (κέντρο Περιστερίου). Επίσης, ακόμα και μεταξύ σημείων της ίδιας ομάδας μετρήσεων (L1 - L5 και L6 - L9) βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για την ποσότητα χλωροφύλλης που μετρήθηκε. Η μεγαλύτερη διαφορά βρέθηκε μεταξύ των σημείων L8 - L10 ( $p = 0,005$ ). Στις Εικόνες 5 - 18 φαίνονται τα διαγράμματα από τις μετρήσεις χλωροφυλλών για το είδος *Laurus nobilis*.

Για την χαρουπιά (*Ceratonia siliqua*), οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών, για την χλωροφύλλη-α φαίνονται στον Πίνακα 6.2. Από τον στατιστικό έλεγχο των μετρήσεων των σημείων, φαίνεται ότι κατ' αρχήν δεν μπορεί να γίνει ομαδοποίηση των σημείων μέτρησης όπως έγινε για το είδος *Laurus nobilis*. Χαρακτηριστικό επίσης είναι ότι είναι πολύ μικρότερος ο αριθμός των στατιστικά

Πίνακας 6.3: Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών και μεταξύ των δύο ειδών

L3 - C3 t(2) = 4,309, p = 0,050
L4 - C1 t(2) = 4,218, p = 0,052
L4 - C3 t(2) = 4,532, p = 0,045
L4 - C4 t(2) = 10,124, p = 0,010
L5 - C1 t(2) = 12,369, p = 0,006
L5 - C6 t(2) = - 6,378, p = 0,024
L7 - C2 t(2) = - 4,432, p = 0,047
L7 - C6 t(2) = - 4,635, p = 0,044
L7 - C7 t(2) = - 5,349, p = 0,033
L7 - C8 t(2) = - 23,903, p = 0,002
L8 - C1 t(2) = 11,325, p = 0,008
L8 - C2 t(2) = 4,581, p = 0,044
L8 - C3 t(2) = 6,179, p = 0,025
L8 - C4 t(2) = 4,341, p = 0,049
L8 - C8 t(2) = 11,562, p = 0,007
L8 - C9 t(2) = 6,800, p = 0,021
L9 - C9 t(2) = 4,220, p = 0,052
L10 - C2 t(2) = - 4,956, p = 0,038
L10 - C6 t(2) = - 8,726, p = 0,013

σημαντικών διαφορών που καταγράφηκαν καθώς και οι ακραίες περιπτώσεις. Αξιοσημείωτη διαφορά βρέθηκε μεταξύ των σημείων C6 - C7 ( $p = 0,007 < 0,05$ ). Το σημείο C6 βρίσκεται στο βόρειο μισό της περιοχής μελέτης και το C7 στο νότιο μισό της περιοχής μελέτης. Οι αντίστοιχοι ολικοί μέσοι όροι που βρέθηκαν για την συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α είναι για το σημείο C6  $2,201986 \text{ mg.g}^{-1}$  νωπού βάρους και για το σημείο C7  $1,584939 \text{ mg.g}^{-1}$  νωπού βάρους. Πρέπει να σημειωθεί ότι το σημείο C7 βρίσκεται πολύ κοντά στην εθνική οδό Αθηνών Κορίνθου, ενώ το C6 βρίσκεται σε απομονωμένη θέση της συνοικίας της Ανθούπολης, ανάμεσα σε κτήρια, περικλειόμενο από συνοικιακούς δρόμους ήπιας κυκλοφορίας και μακριά από κεντρικούς οδικούς άξονες (Οδός Θηβών, Παναγή Τσαλδάρη και Αθηνών - Κορίνθου). Ανάλογα σημαντικά στατιστικές διαφορές βρέθηκαν μεταξύ των σημείων C6 - C9

( $p = 0,008 < 0,05$ )

και C8 - C9 ( $p = 0,037 < 0,05$ ). Μεταξύ των σημείων C1 - C6 (περιοχή Βιομηχανικής ζώνης και Ανθούπολη αντίστοιχα) το p value βρέθηκε 0,20 (όχι στατιστικά σημαντικό) και για τα C2 - C9 (βιομηχανική ζώνη - Κηπούπολη) βρέθηκε  $p = 0,025 < 0,05$ . Στις Εικόνες 19 - 30, παρουσιάζονται τα διαγράμματα από τις μετρήσεις χλωροφυλλών για το είδος *Ceratonia siliqua*.

Στατιστικές διαφορές μεταξύ των σημείων για τα είδη *Laurus nobilis* και *Ceratonia siliqua*, για την χλωροφύλλη-α φαίνονται στο Πίνακα 6.3.

Ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας μεταξύ σημείων μέτρησης και για τα δύο είδη *Ceratonia siliqua* και *Laurus nobilis* έδειξε ότι υπάρχουν διαφορές στην περιεχόμενη χλωροφύλλη-α μεταξύ των σημείων L10 - C6, L10 - C2, L7 - C3, L7 - C2, L8 - C1 και L8 - C2. Επίσης, ακόμα και για φυτά που βρίσκονται στην ίδια θέση (L3 - C3, L4 - C4, L7 - C7, L8 - C8 και L9 - C9) βρέθηκαν στατιστικές διαφορές στην περιεχόμενη χλωροφύλλη -α. Από αυτά τα σημεία, η μικρότερη στατιστική διαφορά βρέθηκε για το ζεύγος L3 - C3 ( $p = 0,050$ ), ενώ για το ζεύγος L9 - C9 βρέθηκε  $p = 0,052$ , που είναι οριακά πάνω από το όριο εμπιστοσύνης 0,050. Οι μεγαλύτερη διαφορά βρέθηκε για το ζεύγος σημείων L7 - C7 ( $p = 0,033$ ). Τέλος, είναι σημαντικό ότι η σειρά μετρήσεων από την περιοχή των Θρακομακεδόνων (L10) εμφανίζει διαφορές στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη -α με τα σημεία C2 και C6, τα οποία βρίσκονται στην βιομηχανική ζώνη και στην ζώνη κύριας οικιστικής ανάπτυξης της περιοχής μελέτης.

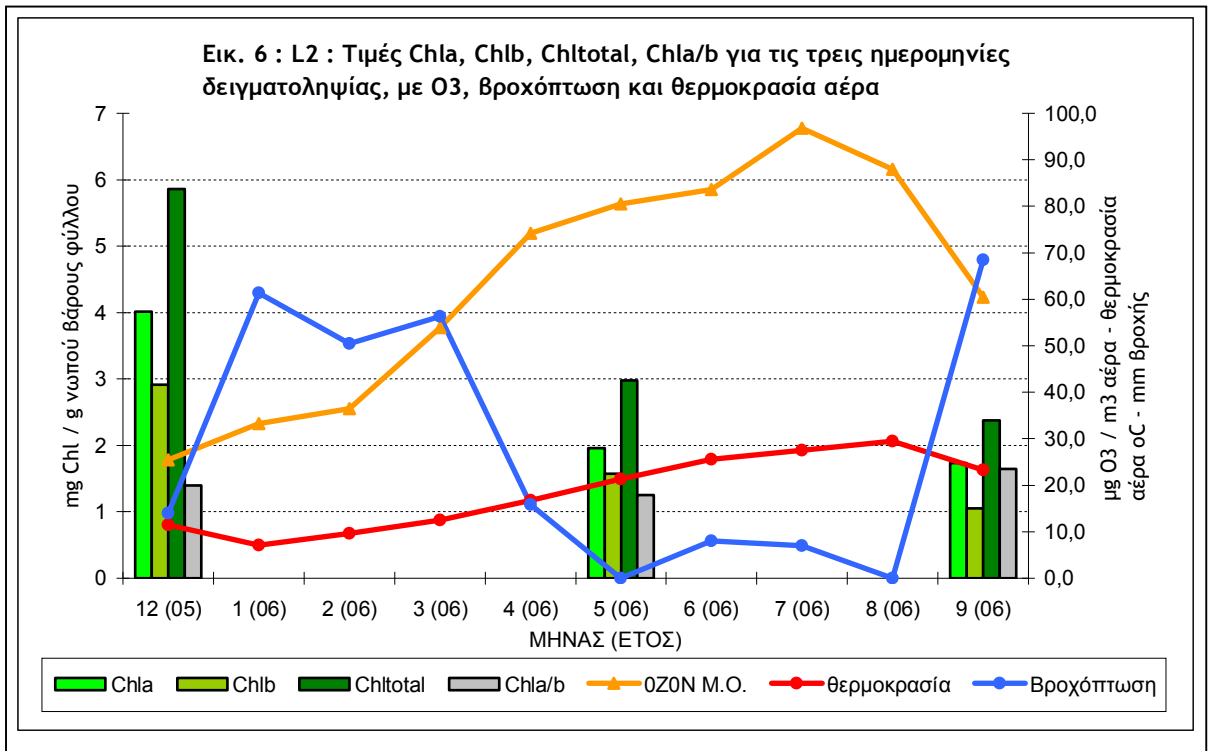
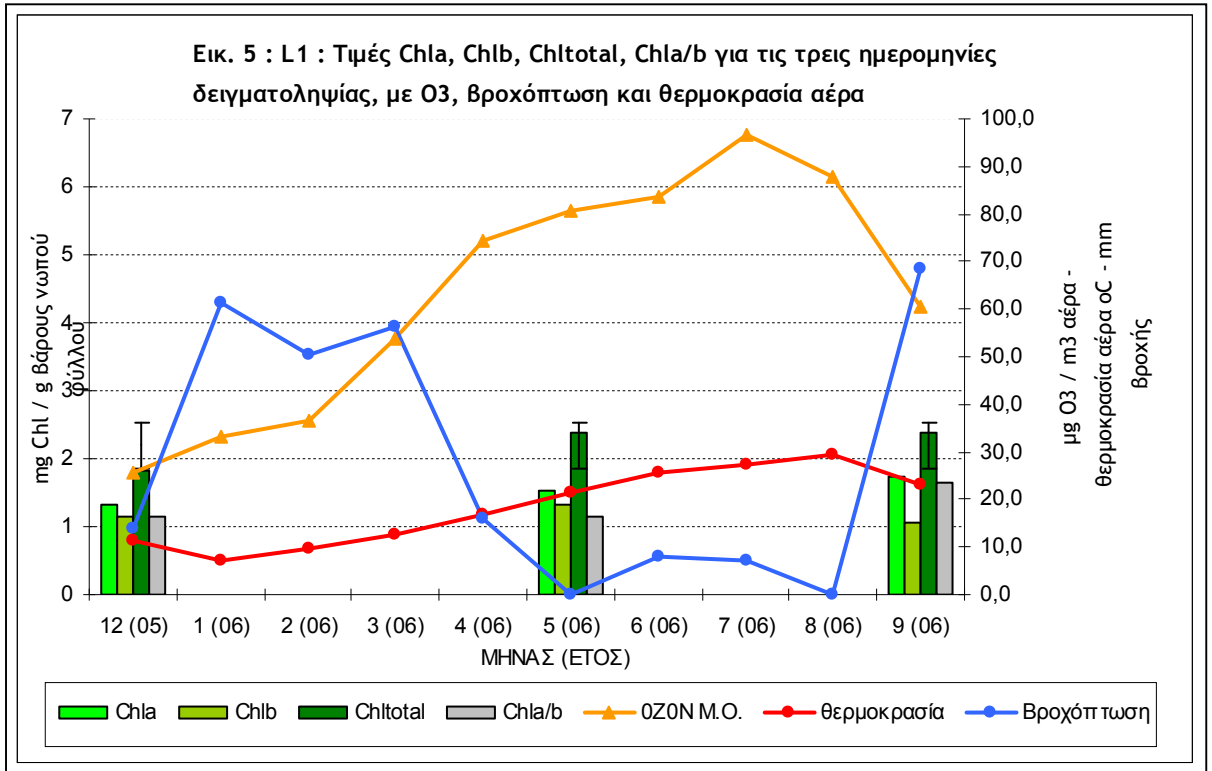
Πίνακας 6.4 . : Περιεκτικότητα κλωροφυλλών στα φύλλα για το είδος *Laurus nobilis* (mg χρωστικής g<sup>-1</sup> νωπού βάρους) \*

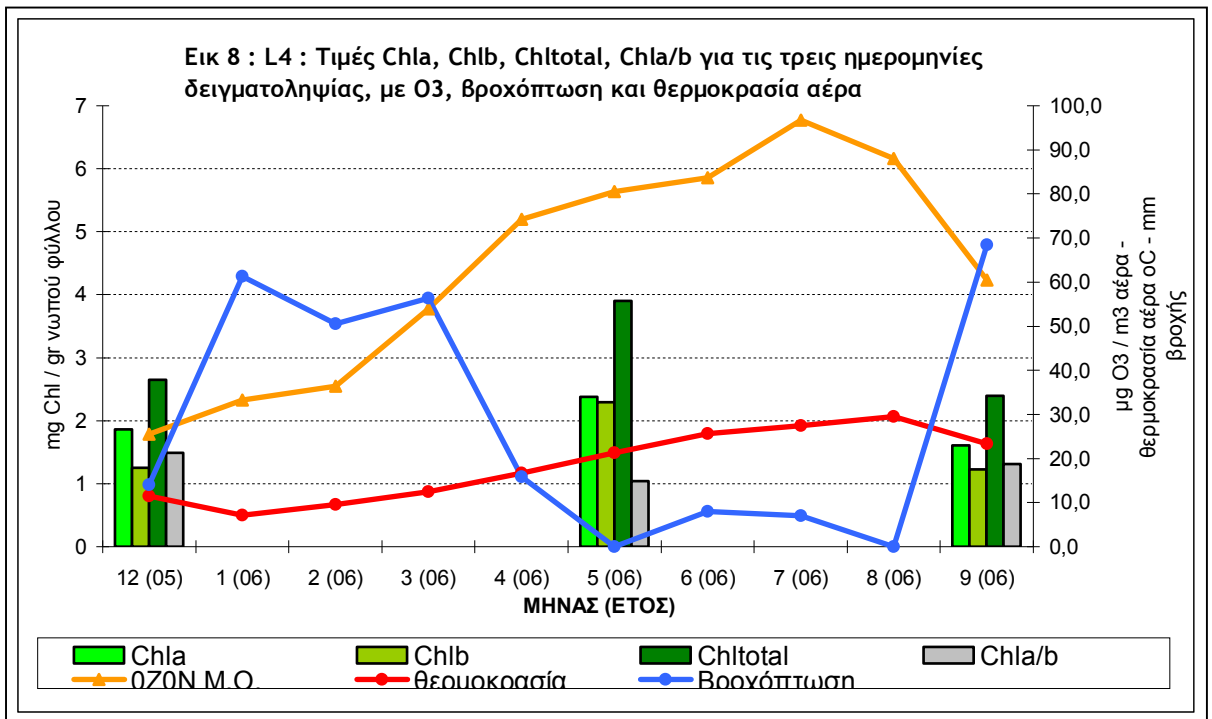
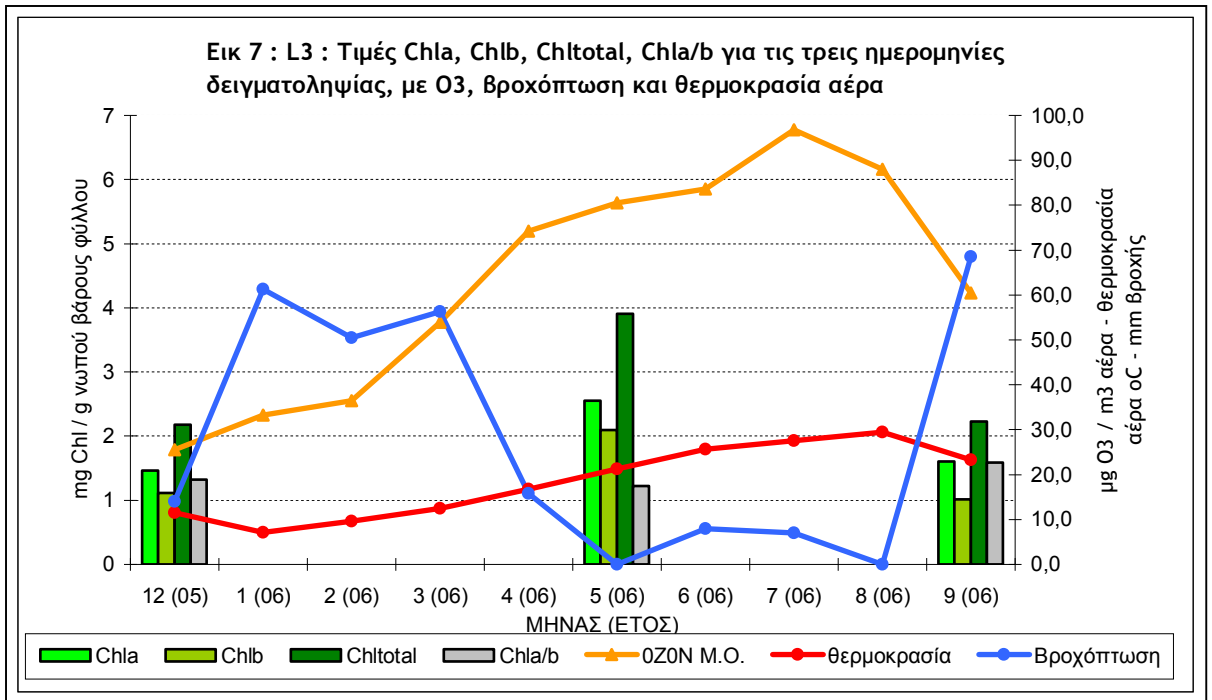
ΣΤΑΘΜΟΣ (Όνομα περιοχής)	Συμβολισμός	9/12/2005				5/5/2006				29/9/2006			
		Chla	Chlb	Chl total	Chl a/b	Chla	Chlb	Chl total	Chl a/b	Chla	Chlb	Chl total	Chl a/b
Τσαλαβούτα	L1	1,3189	1,1399	1,816	1,1564	1,523	1,3269	2,392	1,1474	1,7351	1,0538	2,376	<u>1,6468</u>
Μπουρνάζι	L2	<b>4,014</b>	<u>2,9122</u>	5,8611	1,3958	1,9623	1,5713	2,9772	1,2484	1,5133	1,3208	2,3786	<b>1,1456</b>
Παναγή Τσαλδάρη	L3	1,4667	1,1117	2,1777	1,323	2,5486	2,0914	3,905	1,2187	1,6078	1,0113	2,2301	1,5913
Αγ.Βασιλείου(πεζοδρόμιο)	L4	1,862	1,2544	2,6457	1,4862	2,378	2,2917	3,9016	1,0377	1,6097	1,2274	2,3956	1,3118
<b>Θηβών</b>	<b>L5</b>	<b>1,5902</b>	<b>1,249</b>	<b>2,396</b>	<b>1,2735</b>	<b>1,7855</b>	<b>1,6151</b>	<b>2,8494</b>	<b>1,1063</b>	<b>1,5262</b>	<b>1,0524</b>	<b>2,1878</b>	<b>1,453</b>
Ανθούπολη	L6	1,1595	0,7413	1,6174	1,5633	1,6329	1,515	2,6346	1,0793	1,5469	1,1302	2,2647	1,3794
Νέα Ζωή	L7	<u>0,6244</u>	<u>0,6865</u>	<u>1,0886</u>	<u>0,9118</u>	<u>1,042</u>	<u>0,9895</u>	<u>1,6985</u>	<u>1,0575</u>	1,1806	0,7576	1,6489	1,5586
Αγ. Βασίλειος	L8	<u>2,3764</u>	1,6637	<u>3,4242</u>	1,4382	<u>2,8926</u>	<u>2,6432</u>	<u>4,6363</u>	1,096	<u>2,743</u>	<u>1,7038</u>	<u>3,7884</u>	1,634
Κηπούπολη	L9	1,442	0,774	1,8993	<u>1,9185</u>	1,4908	1,0835	2,1783	<u>1,3844</u>	1,7235	1,0552	2,3687	1,6335
Θρακομακεδόνες	L10	1,4523	0,9064	2,0354	1,601	1,2101	1,1103	1,9431	1,0898	<u>1,1085</u>	<u>0,7289</u>	<u>1,5615</u>	1,5208

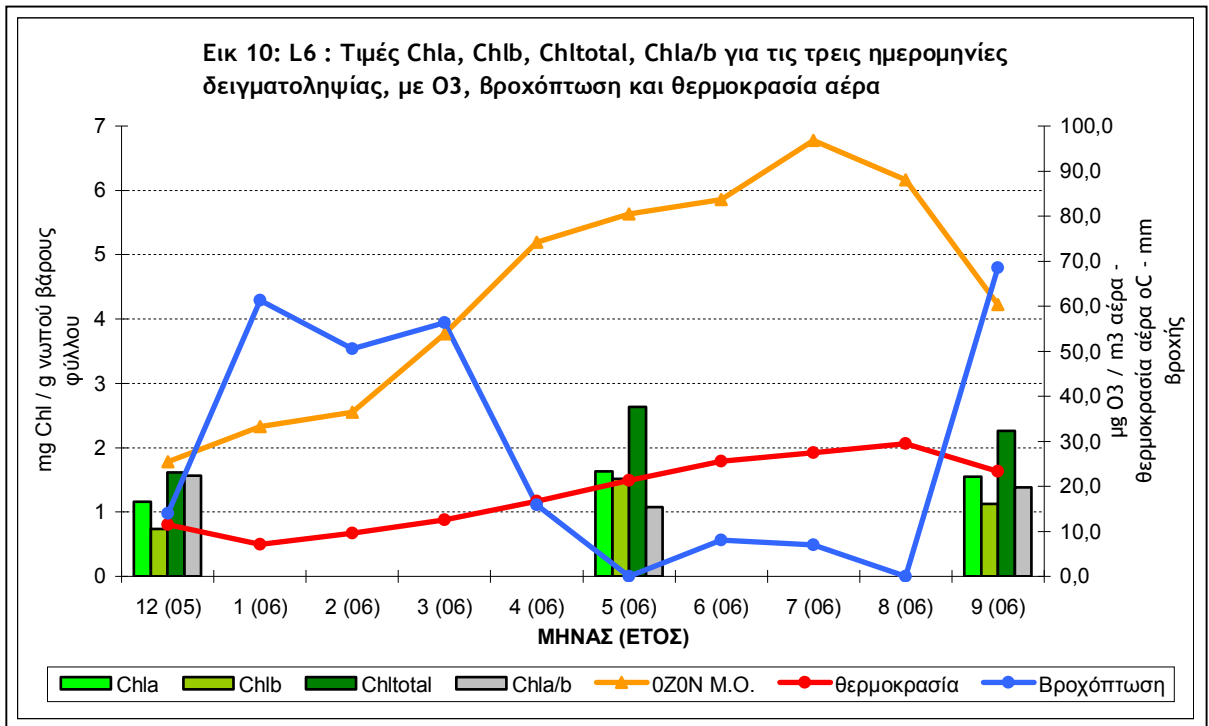
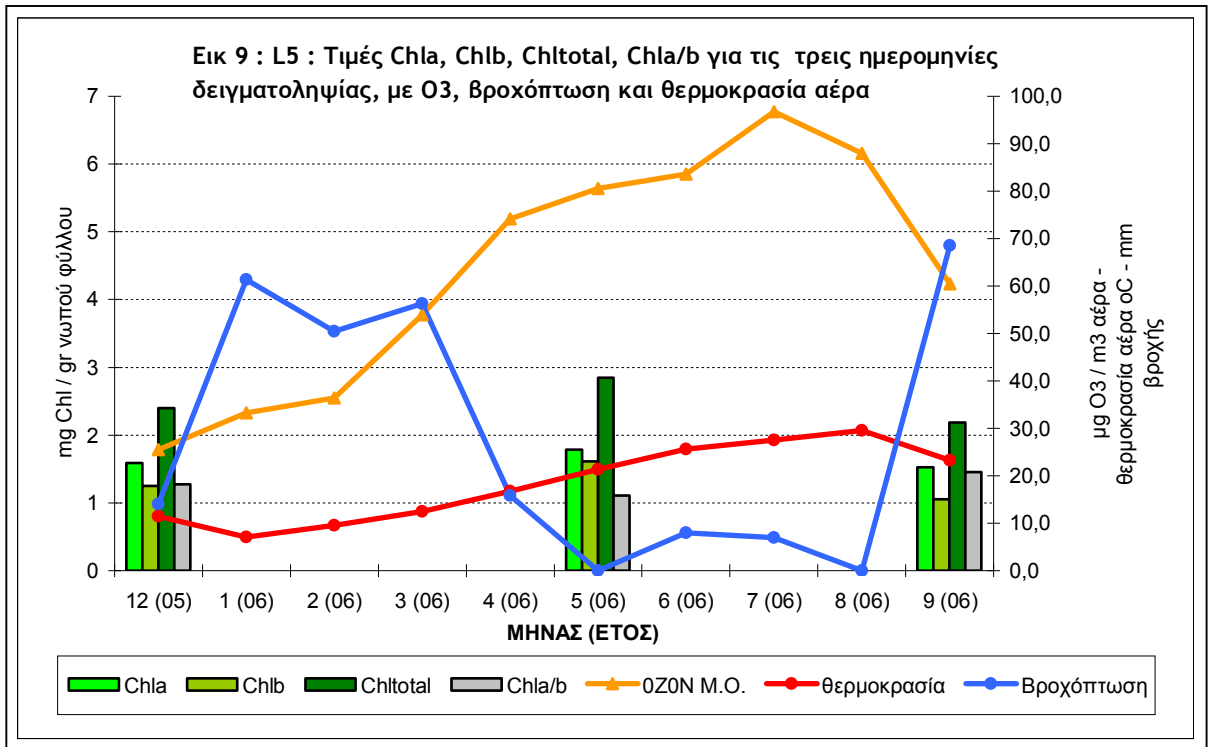
Πίνακας 6.5. Περιεκτικότητα κλωροφυλλών στα φύλλα για το είδος *Ceratonia siliqua* (mg χρωστικής .g<sup>-1</sup> νωπού βάρους)

ΣΤΑΘΜΟΣ (Όνομα περιοχής)	Συμβολισμός	9/12/2005				5/5/2006				29/9/2006			
		Chla	Chlb	Chl total	Chl a/b	Chla	Chlb	Chl total	Chl a/b	Chla	Chlb	Chl total	Chl a/b
Τσαλαβούτα	C1	1,2919	0,8272	1,803	1,5984	1,5604	1,525	2,5762	1,023	1,2659	<u>0,9115</u>	<u>1,3912</u>	<u>1,8432</u>
Μπουρνάζι	C2	1,8299	1,7456	2,9887	<u>1,049</u>	1,6731	1,1943	2,4282	1,405	1,8366	1,2301	2,5907	1,4975
Παναγή Τσαλδάρη	C3	<u>1,2554</u>	0,9707	1,8786	1,3016	2,0599	1,7255	3,1828	1,1962	1,2711	0,9216	1,8556	1,3797
Αγ.Βασιλείου(πεζοδρόμιο)	C4	1,5782	1,3498	2,4597	1,1696	2,1256	2,0287	3,4724	1,0478	<u>1,2583</u>	1,1889	2,0464	1,068
<b>Θηβών</b>	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ανθούπολη	C6	<u>2,3028</u>	<u>2,0257</u>	<u>3,6315</u>	1,1414	<u>2,3711</u>	<u>2,7086</u>	<u>4,2111</u>	<u>0,8757</u>	<u>1,9319</u>	<u>1,9872</u>	<u>3,2647</u>	<u>0,9752</u>
Νέα Ζωή	C7	1,4813	<u>0,8028</u>	1,957	<u>1,8456</u>	1,6432	1,1403	2,3596	1,4392	1,6302	1,1259	2,3373	1,4492
Αγ. Βασίλειος	C8	1,4098	1,1761	2,1744	1,1998	1,7336	1,1695	2,4645	1,483	1,8781	1,3459	2,81	1,3931
Κηπούπολη	C9	1,2601	0,851	<u>1,7921</u>	1,4795	<u>1,0428</u>	<u>0,6857</u>	<u>1,4446</u>	1,5445	1,3483	0,9171	1,9224	1,4724
Θρακομακεδόνες	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

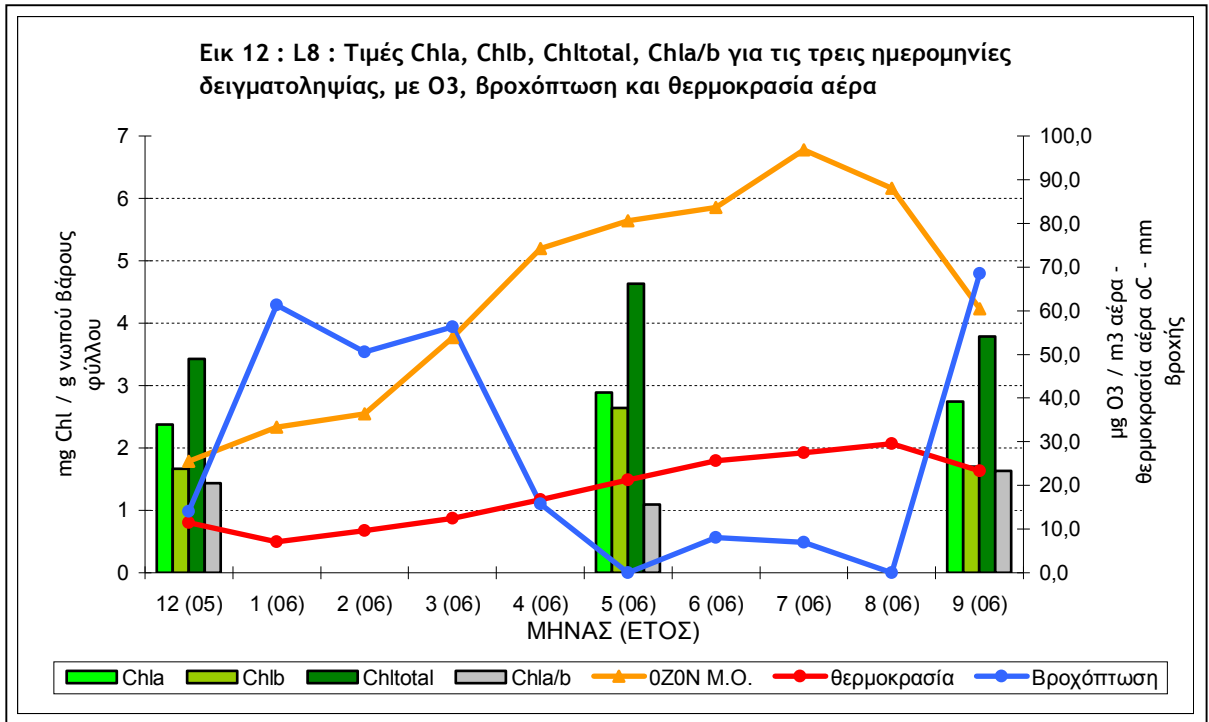
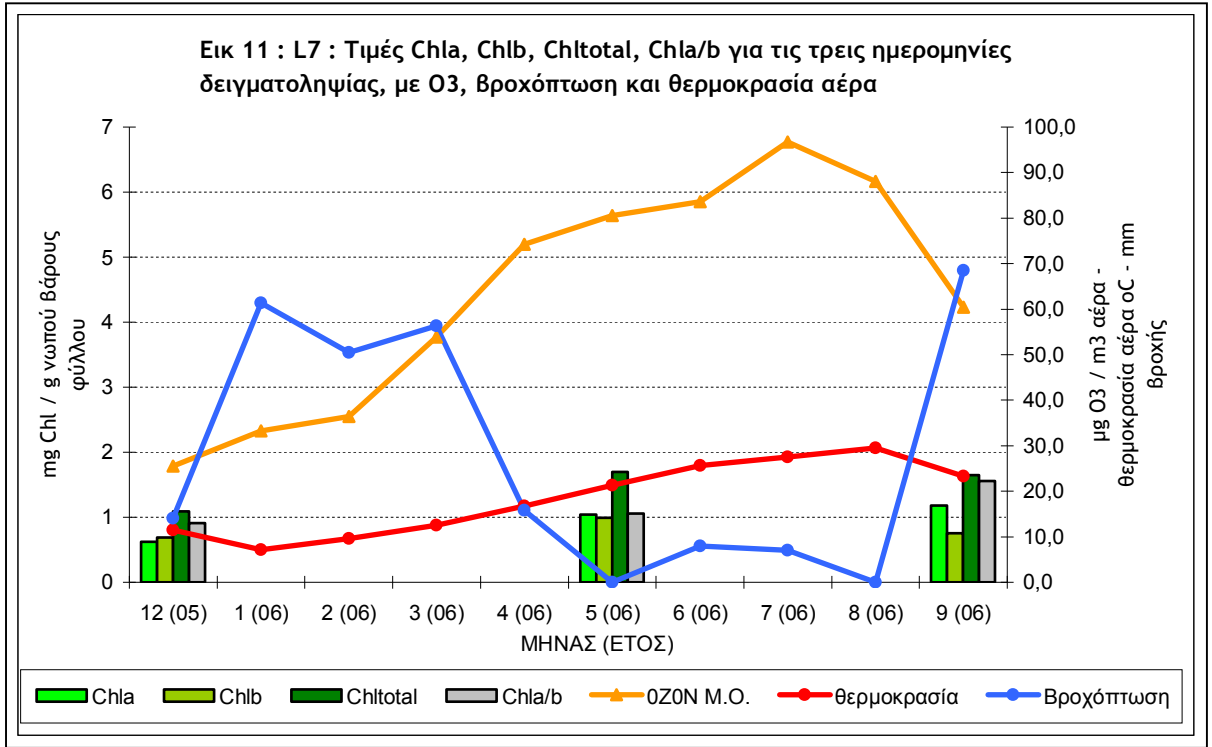
\* Με πράσινο χρώμα σημαίνονται οι μεγαλύτερες τιμές και με πορτοκαλί οι μικρότερες. Με κόκκινο χρώμα σημαίνονται οι αμφισβητούμενες τιμές

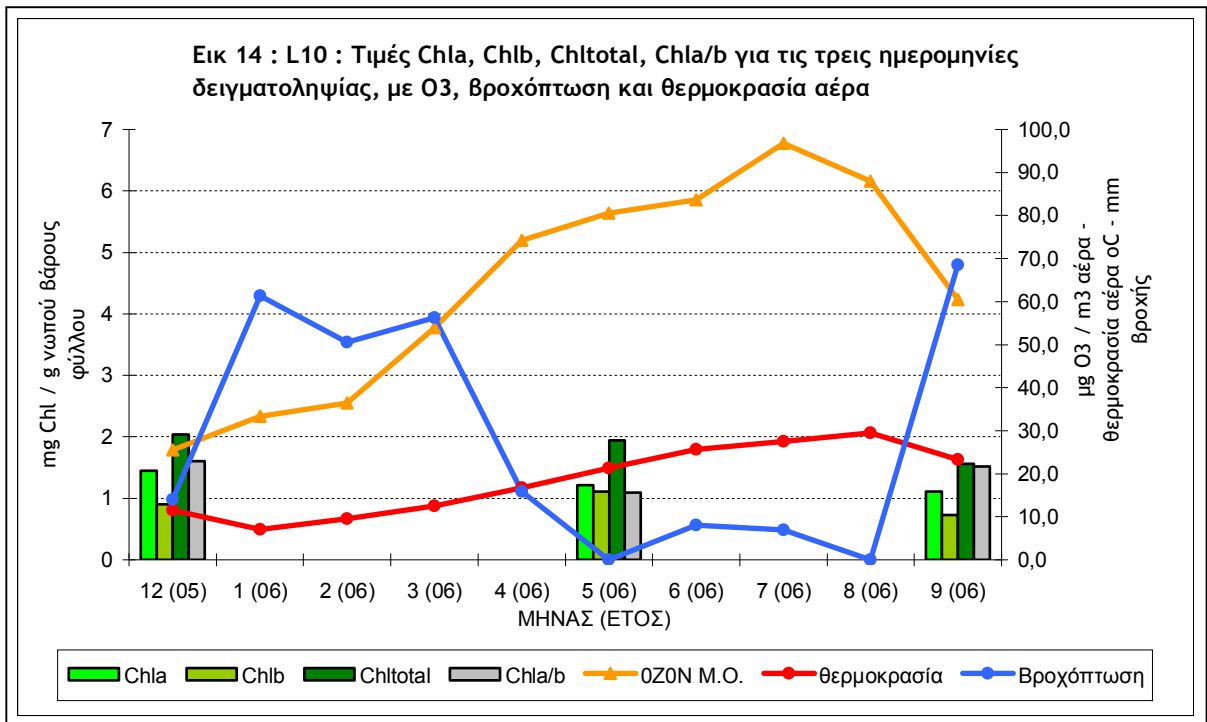
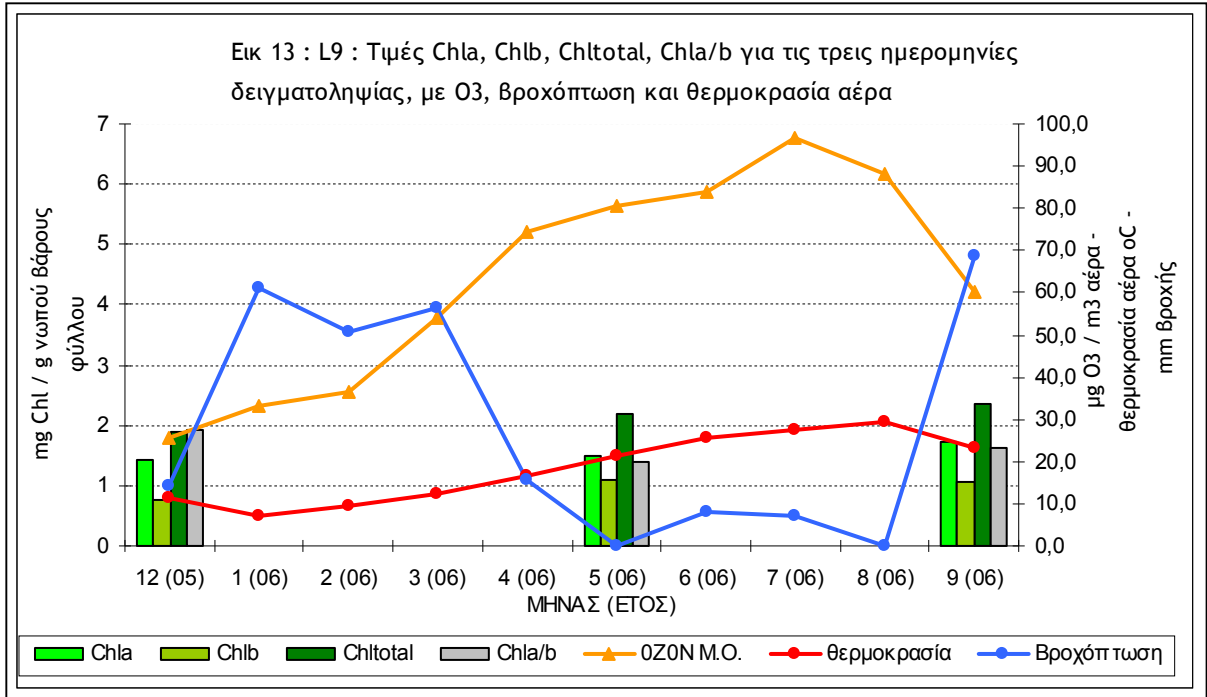


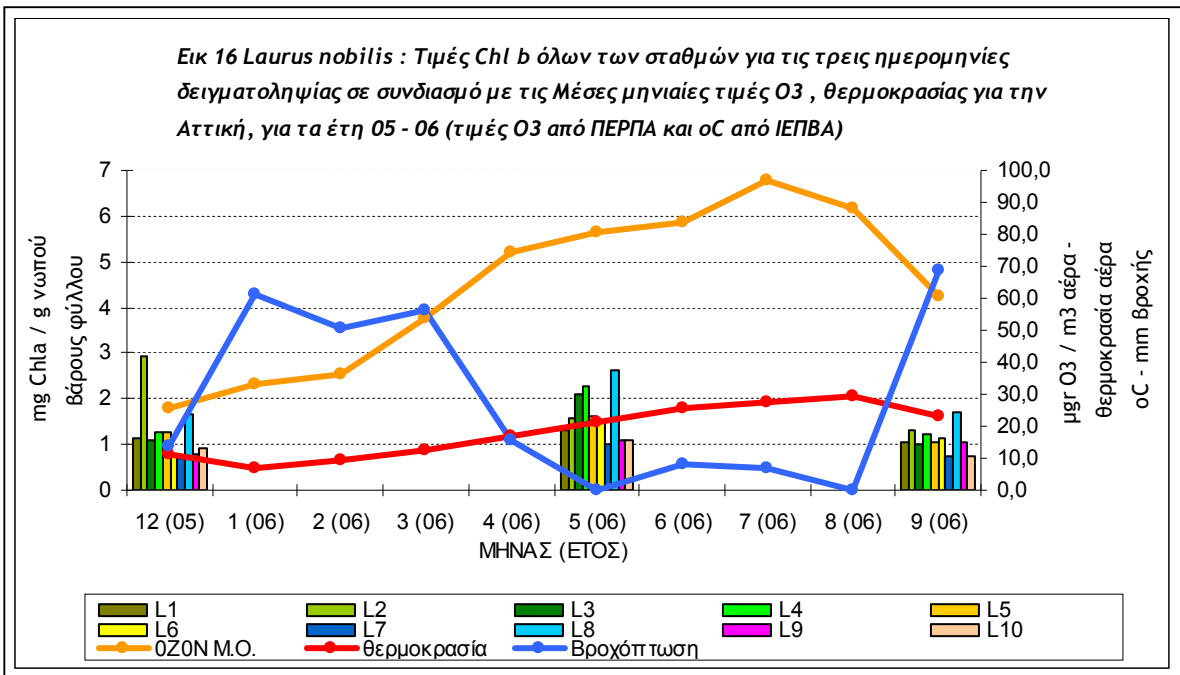
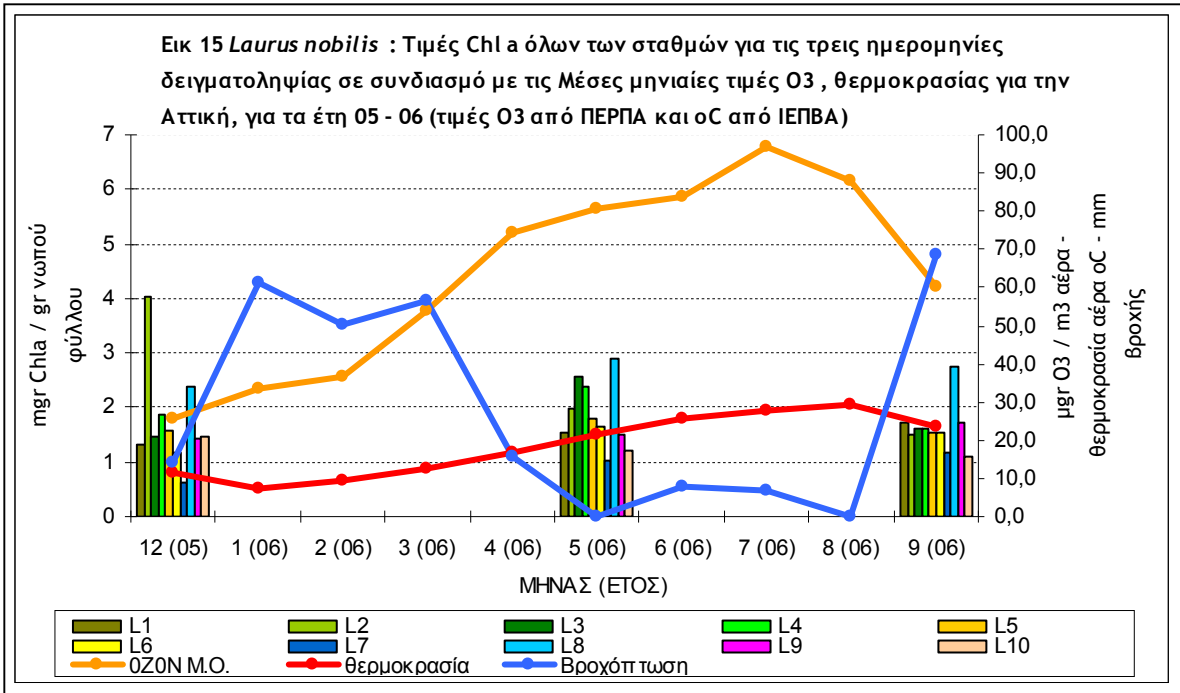


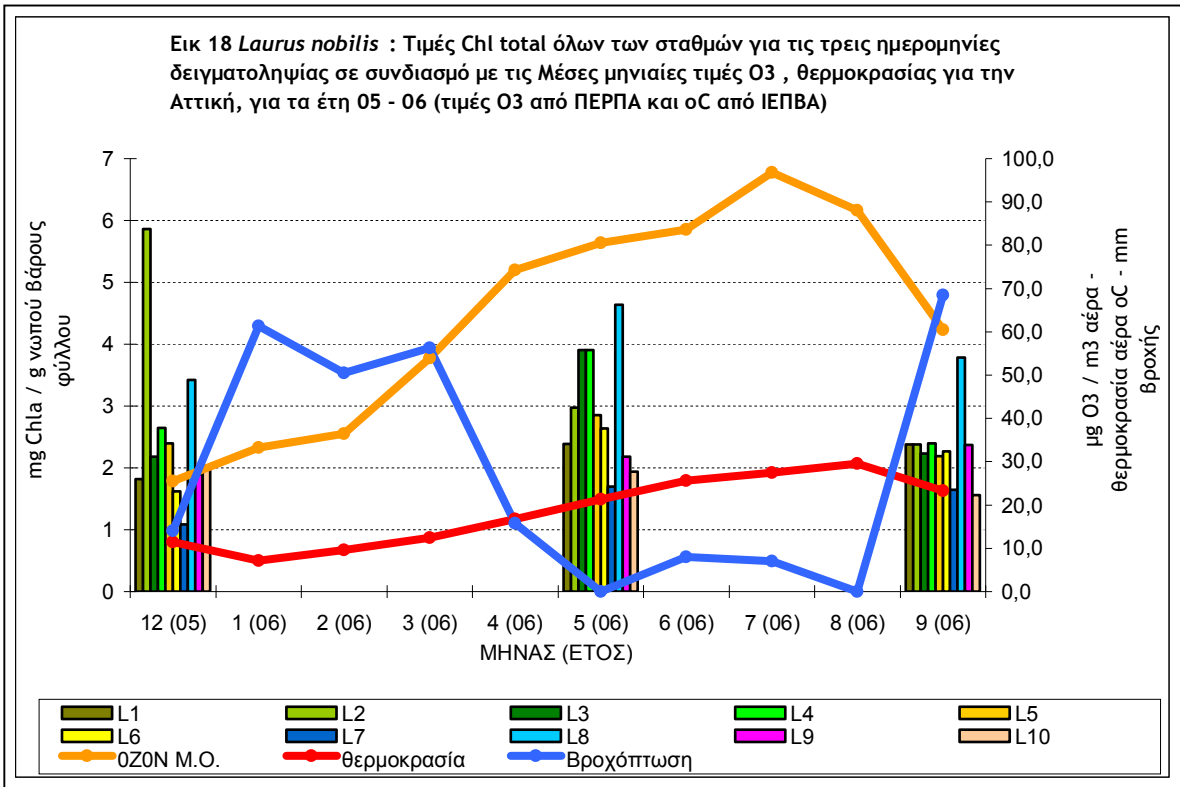
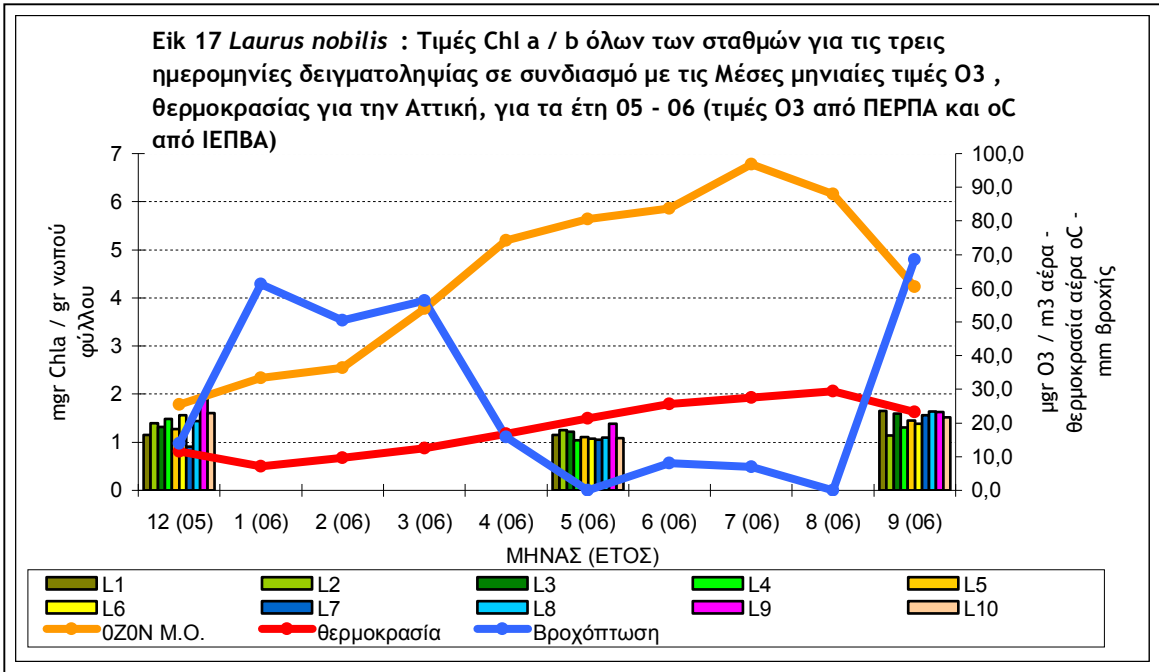


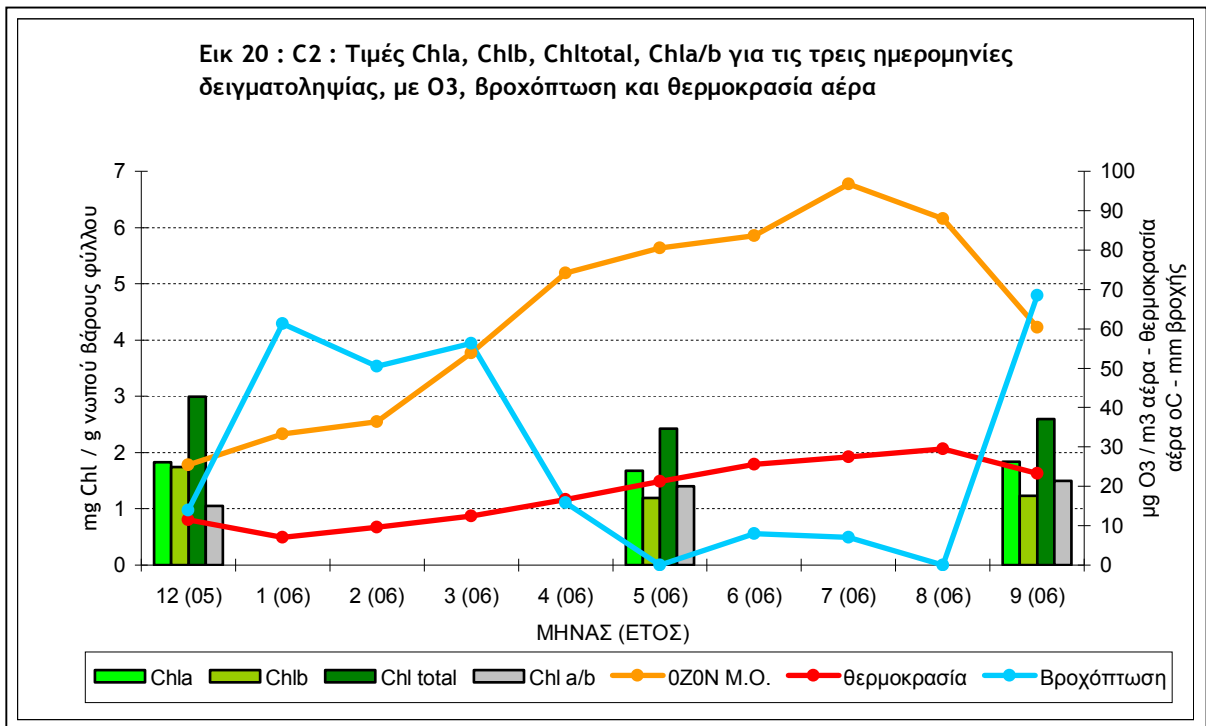
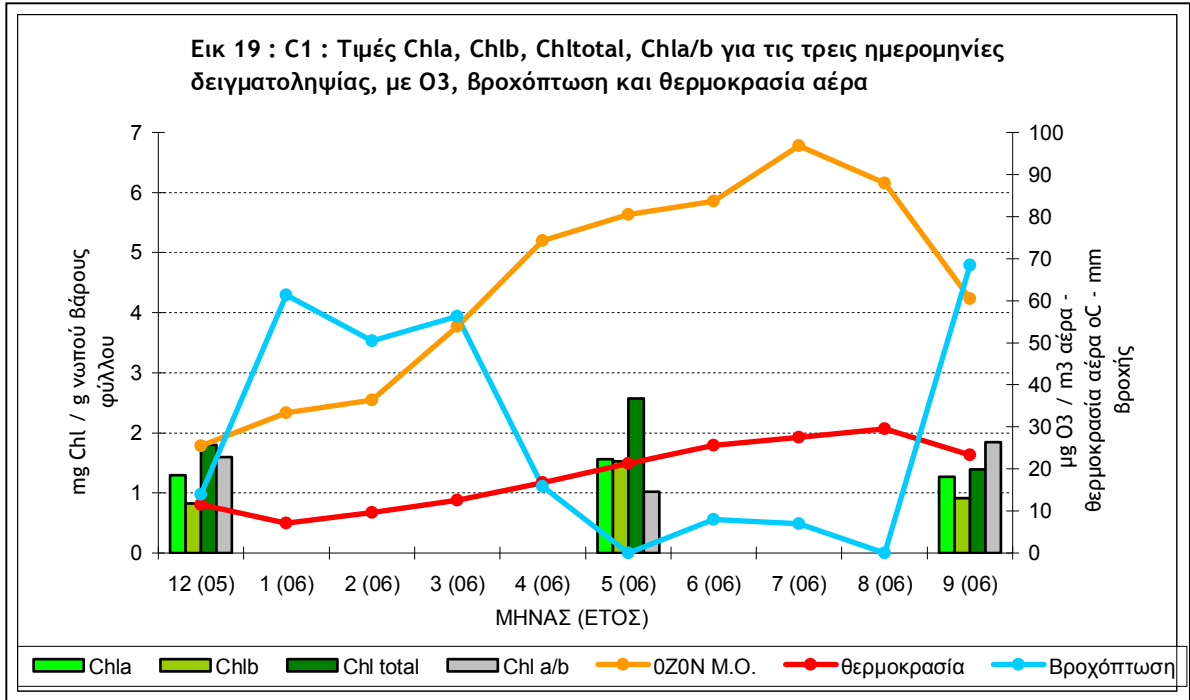


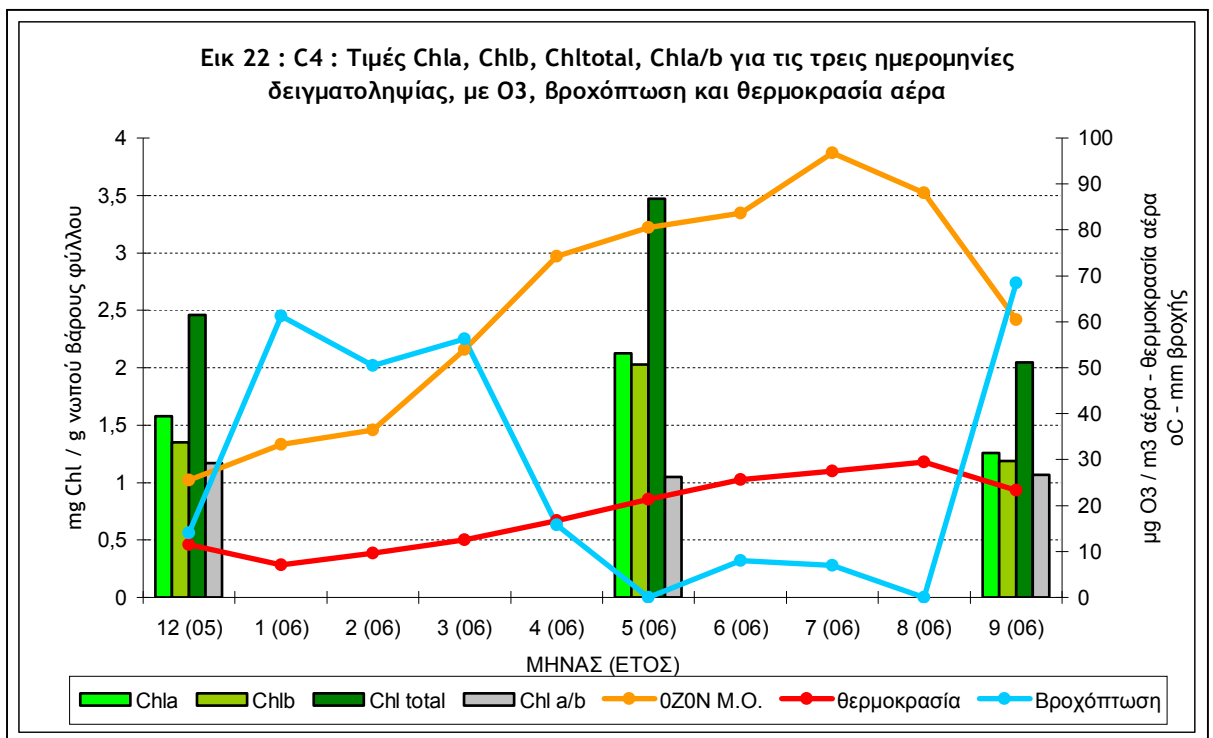
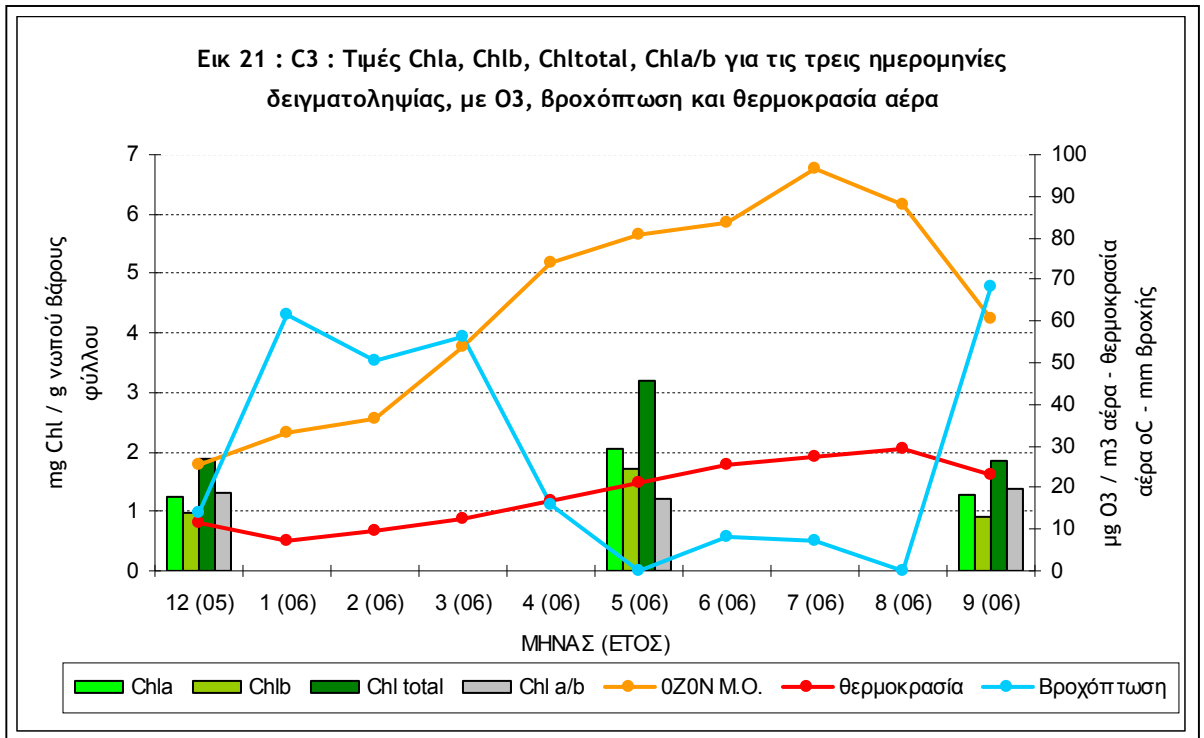


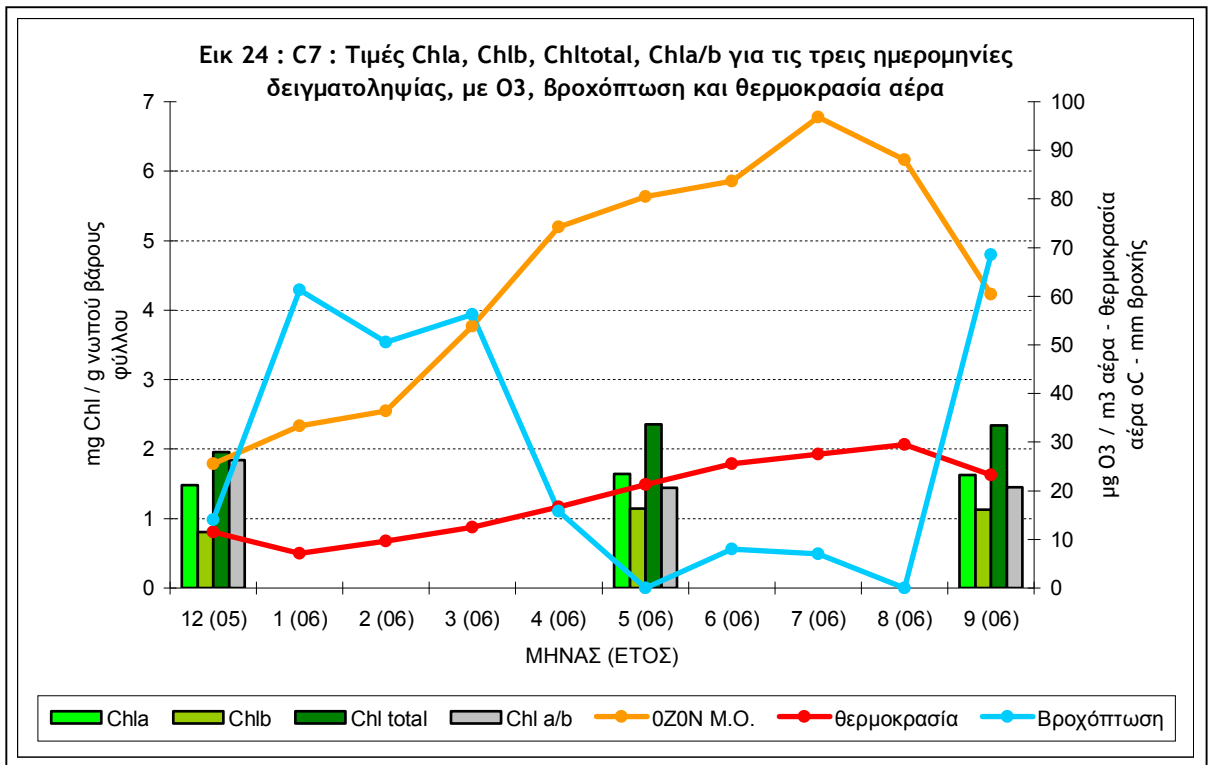
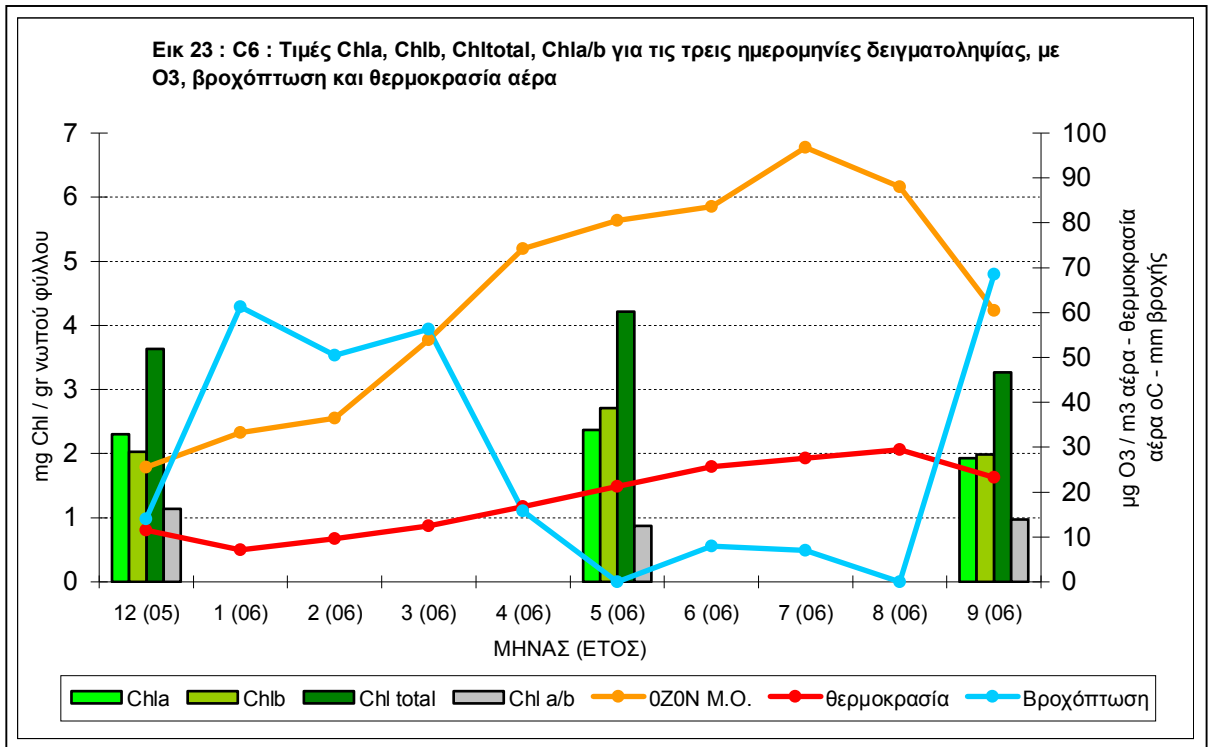


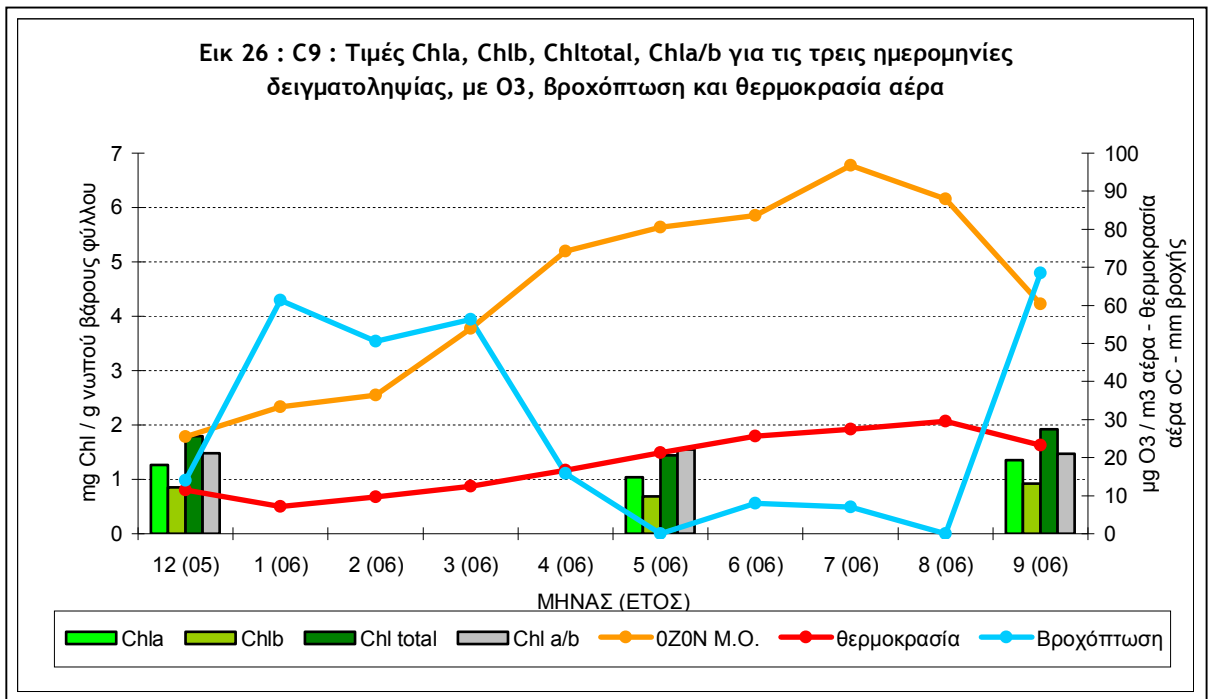
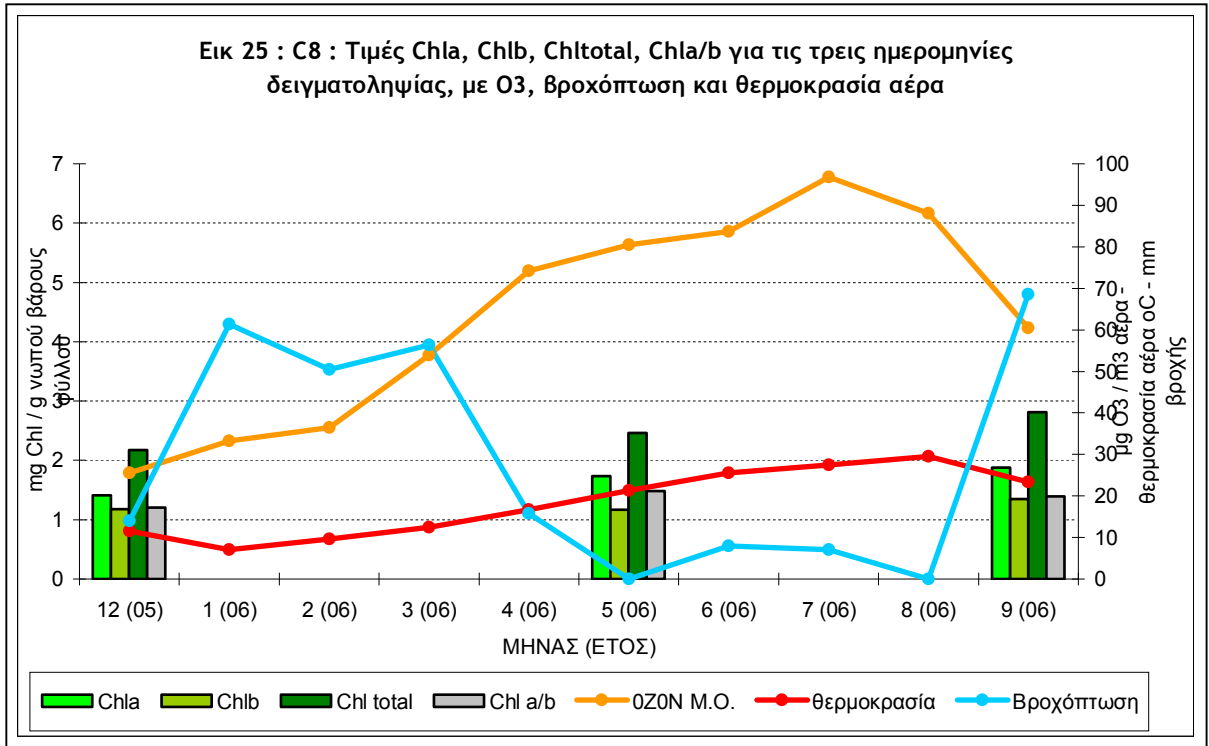




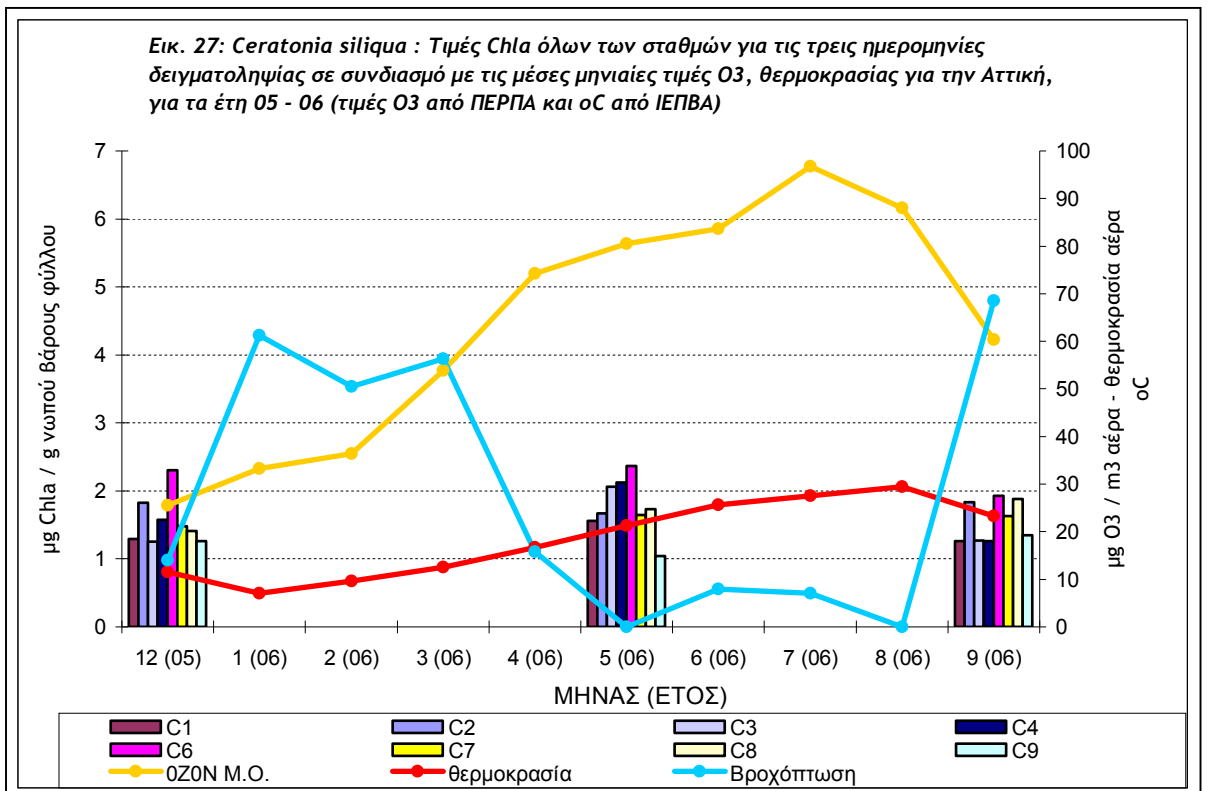
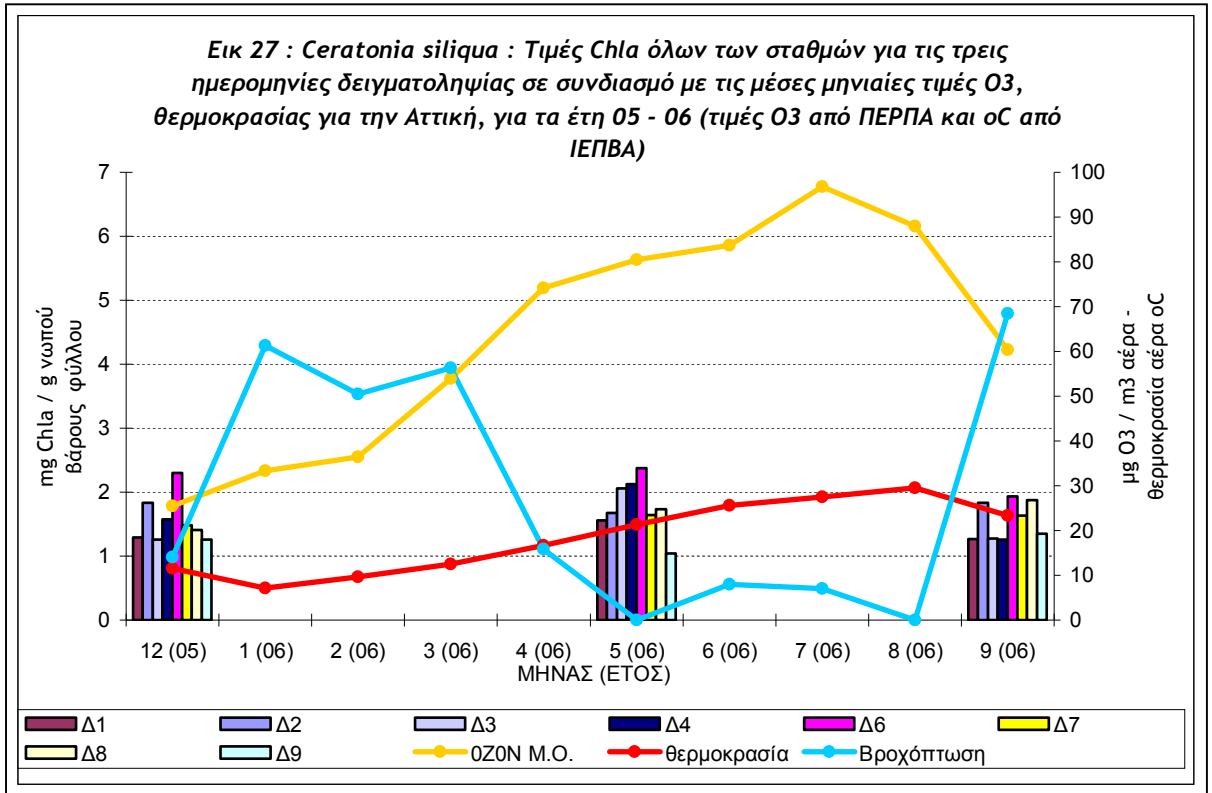


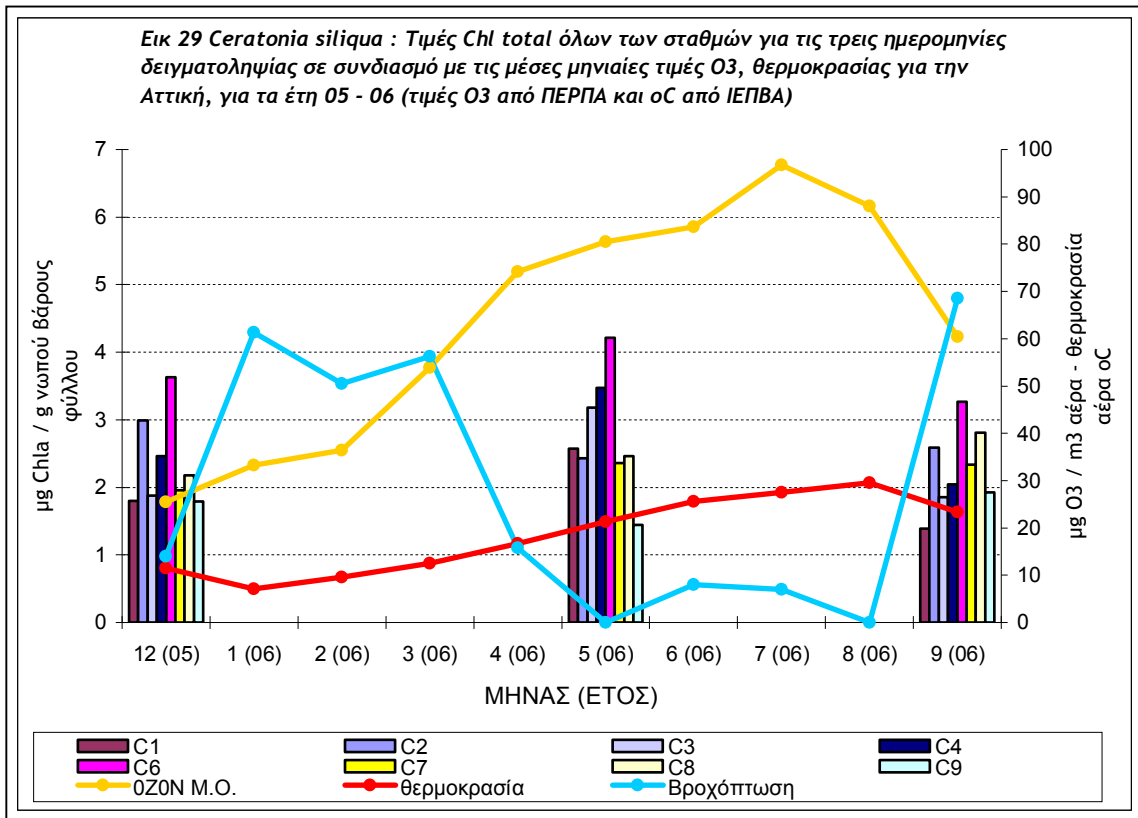
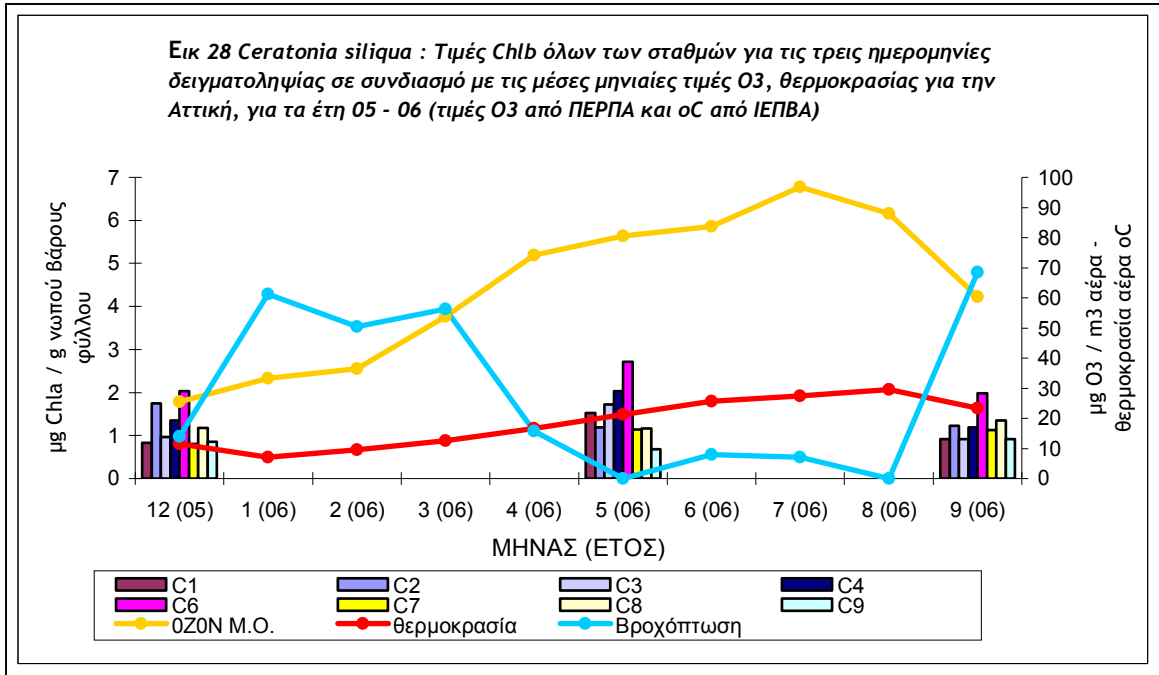


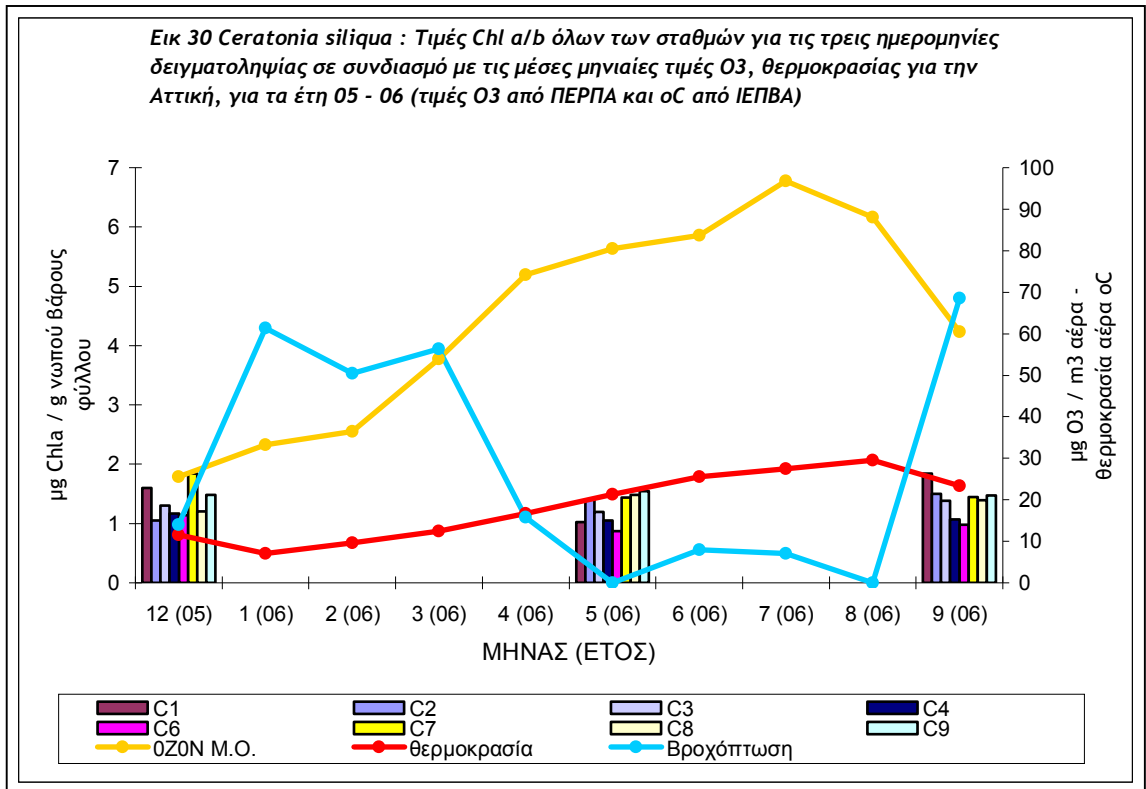












### 6.3. Συζήτηση

Η σταδιακή αύξηση των επιπέδων του τροποσφαιρικού όζοντος εξαιτίας ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Steinbrecht et al., 2003, Paoletti, 2005, Zahngr., et al, 2003, Nevo E, 2001), έχει επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και τη βλάστηση (WHO, 2005, Katavoutas et al., 2008, Gratani et al., 1999, Ribas et al., 2004, Torsethaugen et al., 1999, Munster, 1998.).

Πληθώρα αναφορών ασχολούνται με τις μεταβολικές και τις ιστολογικές βλάβες που μπορεί να προκαλέσει η παρατεταμένη επίδραση όζοντος σε φυτά (Endo & Omasa, 2006, Velicova et al., 2005, Leinrner et al., 2001, κ.λπ). Για την περιοχή της Μεσογείου και την Ελλάδα, υπάρχουν πολλές αναφορές που ασχολούνται με την επίδραση του όζοντος στην βλάστηση, αλλά και άλλων αέριων ρύπων που προέρχονται από αυτοκίνητα, βιομηχανίες και γενικότερα εκλύονται από ανθρώπινες δραστηριότητες σε αστικές περιοχές (Gratani & Ghia, 2002, Ferretti et al., 2006, Reig - Arminana et al., 2004, Contran et Paoletti, 2006, Christodoulakis & Koutsogeorgopoulou, 1991, Loreto et al., 2004, Christodoulakis & Fasseas, 1990, Matyssek et al., 2006, Correia et al., 2000, Meletiou-Christou Maria-Sonia et al., 2007, κ.λπ).

Το όζον εισχωρεί στα στόματα και προκαλεί οξειδωτική καταπόνηση (Paakkonen et al., 1997). Ως αποτέλεσμα της επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών στο μεσογειακό κλίμα, τα φυτά εκκρίνουν ισοπρενεοειδή και φαινόλες που πιθανών προστατεύουν τις μεμβράνες και τα κυτταρικά οργανίδια από το όζον (Loreto et al., 2004). Οι συνθήκες όμως γίνονται πιο δυσμενείς σε κατάσταση υδατικής καταπόνησης (Loreto et al., 2004). Γενικά η παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών σε συνθήκες καταπόνησης είναι μία αντίδραση αντιμετώπισης που βοηθάει στην αντιμετώπιση και της οξειδωτικής δράσης του όζοντος (Reig-Arminana et al., 2004).

Τα φυτά αντιμετωπίζουν την ισχυρή οξειδωτική δράση του όζοντος με μίας ποικιλία ανατομικών, βιοχημικών και φυσιολογικών προσαρμογών και την παραγωγή αντιοξειδωτικών ουσιών (Alonso et al., 2001).

Η παρούσα εργασία βασίστηκε στην μέθοδο Steubing (1965) κατά την οποία έγινε εκχύλιση χλωροφυλλών των φύλλων και προσδιορισμός της ποσότητας σε  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$  νωπού βάρους φύλλου. Έγινε σύγκριση της ανάπτυξης των ειδών *Ceratonia siliqua* και *Laurus nobilis* μέσα σε αστικό και περιαστικό περιβάλλον. Η ανθεκτικότητα του είδους *Laurus nobilis* στους ατμοσφαιρικούς ρύπους, αναφέρεται σε προγενέστερες εργασίες (Christodoulakis & Fasseas, 1990, Ribas et al., 2004). Επίσης, για το είδος *Ceratonia siliqua*, βιβλιογραφικές αναφορές (Souheila et al., 2007, Nunes et al., 1992, κ.λπ) περιγράφουν την αντοχή του είδους στην επίδραση του όζοντος και περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Και τα δύο αυτά είδη χρησιμοποιούνται πάρα πολύ συχνά για την ανάπτυξη βλάστησης σε μεγάλα αστικά κέντρα επιβαρημένα με αέριους ρύπους.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι και τα δύο είδη είναι αρκετά ανθεκτικά στην επίδραση των αέριων, με το είδος *Ceratonia siliqua* να εμφανίζεται ανθεκτικότερο έναντι του είδους *Laurus nobilis*. Από την γενική θεώρηση των αποτελεσμάτων, φαίνεται ότι καταγράφονται στατιστικά σημαντικές διαφορές στο χλωροφυλλικό περιεχόμενο μεταξύ των σημείων που βρίσκονται κοντά σε οδικούς άξονες πυκνής κυκλοφορίας και γενικά σε σημεία με αρκετό φόρτο αέριας ρύπανσης και των σημείων που βρίσκονται σε συνοικίες και γενικά χώρους απομονωμένους από άξονες με πυκνή κυκλοφορία οχημάτων. Όσον αφορά την περιοχή της βιομηχανικής ζώνης του Περιστερίου (περιοχή Τσαλαβούτα) το γεγονός ότι δεν υπάρχουν βαριές

βιομηχανίες και υπάρχει αραιή δόμηση, δημιουργεί τις συνθήκες ώστε η κυρίαρχη πηγή αέριων ρύπων να είναι τα αυτοκίνητα. Για τον ίδιο λόγο στα συνοικιακά σημεία, φαίνεται ότι η επίδραση της αέριας ρύπανσης στο χλωροφυλλικό περιεχόμενο είναι μικρότερη. Γι' αυτό προφανώς και εντοπίζονται αρκετές στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σημείων που βρίσκονται κοντά σε δρόμους πυκνής κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, το σημείο L5 (οδός Θηβών και Πελασγίας) εμφανίζεται να έχει στατιστική διαφορά με τα σημεία της δυτικής πλευράς της περιοχής μελέτης που βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο και πιο μακριά από κεντρικούς οδικούς άξονες (L7, L8, L9), όπως και με σημεία που βρίσκονται στην βιομηχανική ζώνη του Περιστερίου (L1, L2). Επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι όσον αφορά το είδος *Laurus nobilis*, τα περισσότερα σημεία που βρίσκονται στην δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης, πάνω από τον κεντρικό άξονα της οδού Θηβών (δρόμος με πολύ πυκνή κυκλοφορία οχημάτων και ουσιαστικά κεντρικό σημείο μεταξύ των περιοχών χαμηλού και μεγάλου υψομέτρου της πόλης) εμφανίζουν διαφορές στο χλωροφυλλικό περιεχόμενο (μεγαλύτερο) συγκριτικά με τα σημεία που βρίσκονται στον ανατολικό τομέα της πόλης, κάτω από την Θηβών και μέσα στην βιομηχανική ζώνη κυρίως, αλλά και ανάμεσα στους κεντρικούς άξονες που συνδέουν την πόλη με την υπόλοιπη Αττική (οδοί Παναγή Τσαλδάρη, Λένορμαν, Αθηνών Λαμίας, Αθηνών Κορίνθου). Επίσης, όσον αφορά το είδος *Laurus nobilis*, οι περισσότερες ελάχιστες τιμές εμφανίζονται στα σημεία που βρίσκονται πάνω από την Θηβών με υψομετρικό εύρος 50 - 140 μέτρα.

Για το είδος *Ceratonia siliqua*, παρατηρούμε ότι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές χλωροφυλλικού περιεχομένου, κατανέμονται πιο ομοιόμορφα στις περιοχές πάνω και κάτω από την οδό Θηβών. Προφανώς, αυτό το γεγονός, συγκριτικά με την σχεδόν μονομερή κατανομή των τιμών για το είδος *Laurus nobilis* δείχνει ότι υπάρχει σαφώς μεγαλύτερη ευαισθησία για το είδος. Ενώ το είδος *Ceratonia siliqua* εμφανίζεται πιο ανθεκτικό. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το είδος *L. nobilis* εμφανίζεται πιο ευαίσθητο σε παθογόνες προσβολές μυκήτων και εντόμων απ' ότι το *C. siliqua*, καθώς κατά την αναζήτηση των σημείων μελέτης, τα φυτά του είδους *L. nobilis* που εξετάστηκαν, και βρίσκονταν στην πιο επιβαρημένη περιοχή (ανατολικός τομέας) εμφάνιζαν σε μεγαλύτερο ποσοστό εντομολογικές και μυκητολογικές προσβολές.

Το εύρος τιμών για την χλωροφύλλη -α για το είδος *L. nobilis*, (max 4,6363 (L8) - min 0,6244 (L7) = 4,0152 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους ) σε σύγκριση με του είδους *C. siliqua* (max 4,2111(C6) - min 0,6857(C9) = 0,5254 mg.g<sup>-1</sup> νωπού βάρους ), εμφανίζεται μικρότερο. Όμως και για τα δύο είδη, οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές, συσσωρεύονται στην δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης (μακριά από κεντρικούς οδικούς άξονες).

Τέλος, για το είδος *L. nobilis*, είναι εμφανής η διαφορά των τιμών μεταξύ των Θρακομακεδόνων και των σημείων που βρίσκονται ακόμα και μακριά από πηγές αέριων ρύπων. Για το είδος *C. siliqua*, αντίστοιχα, το φυτό του σημείου C2 που βρίσκεται πιο κοντά σε πηγές αέριων ρύπων, εμφανίζει υπολογίσιμες διαφορές με τα υπόλοιπα, ειδικά αυτά που είναι πάνω από την οδό Θηβών (δυτική πλευρά).

Η σύγκριση του φωτογραφικού υλικού (βλ. παρακάτω), που συλλέχθηκε κατά την περίοδο των δειγματοληψιών, με αυτό που βρέθηκε στην βιβλιογραφία, έδειξε αρκετές ομοιότητες (νεκρωτικές κηλίδες, λευκές περιοχές, χλωρώσεις κ.λπ). Καθώς δεν υπάρχει λεπτομερής διερεύνηση ώστε να υπάρχει βεβαιότητα για το αίτιο πρόκλησης των παρατηρούμενων ιστολογικών αλλοιώσεων, δεν μπορούν να προκύψουν συγκεκριμένα συμπεράσματα. Ενισχυτικό είναι το γεγονός ότι το φωτογραφικό υλικό αφορά αποκλειστικά τα φυτά χαρουπιάς και δάφνης που βρίσκονται εγκατεστημένα στην βιομηχανική ζώνη του Περιστερίου (περιοχή Τσαλαβούτα, που περικλείεται από δρόμους πυκνής κυκλοφορίας οχημάτων).

Χαρακτηριστικές ενδείξεις, που πιθανών παραπέμπουν σε αλλοιώσεις εξαιτίας περιβαλλοντικής καταπόνησης με άμεση επίδραση των ατμοσφαιρικών ρύπων, είναι νεκρωτικές κηλίδες στην περιφέρεια και το εσωτερικό του ελάσματος, λευκωπές και σκουρόχρωμες κηλίδες στο έλασμα των φύλλων, αλλοιώσεις του σχήματος του ελάσματος κυρίως στην κορυφαία περιοχή, του ελάσματος, σκουρόχρωμες κηλίδες, χλωρωτικές περιοχές.

Σε γενικές γραμμές, μπορεί να ειπωθεί, ότι δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στο χλωροφυλλικό περιεχόμενο μεταξύ των δύο φυτικών ειδών που βρίσκονται στην εντός και πλησίον της πιο επιβαρημένης περιοχής του Περιστερίου και στις περιοχές που βρίσκονται πιο μακριά και τους Θρακομακεδόνες. Όμως όσον αφορά τα σημεία που είναι κοντά σε κεντρικούς οδικούς άξονες, εντοπίζονται αξιοσημείωτες στατιστικές διαφορές οι οποίες θα μπορούσαν να είναι το έναυσμα για λεπτομερέστερη διερεύνηση. Η περιοχή των Θρακομακεδόνων και της Κηπούπολης, εμφανίζουν συνολικά διαφοροποίηση σε σχέση με τις υπόλοιπες, αντίστοιχα για τα είδη *Laurus nobilis* και *Ceratonia siliqua*. Είναι προφανές ότι τα φυτά της ανατολικής περιοχής υπόκεινται σε μεγαλύτερη περιβαλλοντική καταπόνηση (ρύποι από τα αυτοκίνητα, υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω της ανάπτυξής τους σε ανοικτούς χώρους, με άσφαλο και τσιμέντο, έλλειψη σκιάς).

Πίνακας 6.6 Φωτογραφικό υλικό. Οι φωτογραφίες προέρχονται από την βιομηχανική ζώνη του Περιστερίου που περικλείεται από οδούς συχνής και πυκνής κυκλοφορίας οχημάτων (Λ. Κηφισού, Λ. Καβάλας, Λ. Θηβών) και τους Θρακομακεδόνες. Στις άλλες περιοχές όπου υπήρξαν σημεία δειγματοληψίας, δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτα ευρήματα.

#### A. *Ceratonia siliqua*





**B. *Laurus nobilis***





Ενδεικτική Φωτογραφία της ευαισθησίας του *Laurus nobilis*. Δεξιά : φωτογραφία δέντρου που βρίσκεται στην Κηπούπολη (140 m υψόμετρο) μακριά από τη βιομηχανική ζώνη. Αριστερά: φωτογραφία από δέντρο *Laurus nobilis* που βρίσκεται στην βιομηχανική ζώνη (45 m υψόμετρο) και παρακείμενη σε μεγάλους οδικούς άξονες. Τα δέντρα που βρίσκονταν στο κέντρο του Περιστερίου και ειδικά στην βιομηχανική ζώνη, είχαν τις περισσότερες παθογόνες προσβολές. Αντίστοιχα, τα δέντρα χαρουπιάς δεν εμφάνισαν τέτοια εικόνα.

3)



## BIBΛIOΓPAΦIKES ANAΦOPEΣ

- Adams Richard, Hurd Brian, Lenhart Stephanie, Leary Neil (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. Oregon State University, Hagler Bailly Inc. Boulder, 3U.S. Environmental Protection Agency. Clim Res. 11: 19-30, 1998 Vol. 11: 19 - 30.
- Affek P Hagit, Yakir Dan (2002). Protection by Isoprene against Singlet Oxygen in Leaves. Department of Environmental Sciences and Energy Research, Weizmann Institute of Science. Plant Physiology, May 2002, Vol. 129, pp. 269-277.
- Aghedo A. M., Schultz M. G., Rast S. (2006). The influence of African air pollution on regional and global tropospheric ozone. Max Planck Institute for Meteorology, ICG-II, Research Centre. Atmos. Chem. Phys., 7, 1193-1212, 2007.
- Ali A.A., Mulchi C.L., Hassan I. A., El - Zawahry Y.A.(2002). Reversibility of photosynthetic inhibition after long - term exposure of Wheat Plants (Triticum aestivum L. Cvs. Sesquehanna and Gore) to elevate levels of ozone. University of Zagazig, University of Maryland, University of Alexandria. Pakistan Journal of Biological Sciences 5 (7) : 798 - 801, 2002.
- Ali Akram A., Hassan Ibrahim A., Fahmi Hanaa S. (2002). Uncertainties in estimating ecological effects of ozone under Egyptian climatic changes. University of Zagazig, University of Alexandria. Journal of Biological Sciences 2 (9) : 560 - 564, 2002.
- Altimir Nuria (2006). The ozone transfer between atmosphere and vegetation. A study on Scots pine in the field. Department of Forest Ecology Faculty of Agriculture and Forestry University of Helsinki.
- Ashmore R (2005). Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. University of York. Plant, Cell and Environment (2005) 28 , pp. 949-964.
- Ashmore R M (2005). Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. Environment Department, University of York. Plant, Cell and Environment (2005) 28 , 949 - 964.
- Azadi M (2004). Assessment of ozone effects on five varieties of tobacco via fumigation method. Department of Environmental Science, University of Queensland. International Journal of Environmental Science & Technology Vol. 1, No. 2, pp. 81- 88, Summer 2004.
- Baertsch-Ritter N., Keller J., Dommen J., Prevot S. A. H. (2002 - 2004). Effects of various meteorological conditions and spatial emission resolutions on the ozone concentration and ROG/NOx limitation in the Milan area (I). Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry. Atmos. Chem. Phys., 4, 423-438.
- Balls G. R., Palmer-Brown D., Sanders E G (1995). Investigating microclimatic influences on ozone injury in clover (Trifolium subterraneum) using artificial neural networks. The Nottingham Trent Universit. New Phytol., 132, p. 271-280.
- Barbo D, Chappelka A, Somers G, Miller-Goodman and K. Stolte (1997). Diversity of an early successional plant community as influenced by ozone. Auburn University.
- Barnes J. D., Eamus D, Brown A. K. (1989). The influence of ozone, acid mist and soil nutrient status on Norway spruce {Picea abies (L.) Karst.}. I. Plant-water

- relations. The University of Newcastle upon Tyne, Institute of Terrestrial Ecology, Penicuik, Midlothian, Technology and Environmental Centre. New Phytol. (1990), 114, 713-720.
- Bergmann E, Bender J, Weigel H, (1999). Ozone threshold doses and exposure - response relationships for the development of ozone injury symptoms in wild plant species. Institute of Agroecology, Federal Agricultural Research Centre (FAL). New Phytol. (1999), 144, p. 423 - 435.
- Biswas D, Xu H, Li Y, Sun J, Wang X, Han X, Jiang G (2006). Genotypic differences in leaf biochemical, physiological and growth responses to ozone in 20 winter wheat cultivars released over the past 60 years. The Chinese Academy of Sciences, Indiana University-Purdue University of Indianapolis, Shandong Agricultural University. Global Change Biology (2008) 14, pp. 46-59.
- Bornman Chris H. (1984). Regeneration in vitro of economically important crop plants in the Nordic countries. Cell and Tissue Culture, Hilleberg Research AB. Hereditas Suppl. Vol. 3 : pp. 7 - 13 (1985).
- Breznik B., Gaberščik A., Germ M., Kreft I., Tadin N. Limnos ( ). UV-B radiation and drought effects on photosynthetic apparatus and biomass production of two Fagopyrum species. University of Ljubljana, National Institute of Biology.
- Broadmeadow Mark (1996). Ozone and forest trees. Environmental Research Branch, Forest Research. New Phytol. (1998), 139, p. 123 - 125.
- Brodribb Tim, Holbrook Michele (2003). Stomatal Closure during Leaf Dehydration, Correlation with Other Leaf Physiological Traits. Department of Organismic and Evolutionary Biology, Harvard University. Plant Physiology, August 2003, Vol. 132, pp. 2166-2173.
- Busscotti Filipo, Agati Giovanni, Desotgiu Rosanna, Matteini Paolo and Tani Corrado (2003). Ozone foliar symptoms in woody plant species assessed with ultrastructural and fluorescence analysis. University of Florence.
- Christodoulakis S. N. & Fasseas C. : Air pollution effects on the leaf structure of Laurus nobilis, an injury resistant species. Institute of general botany, University of Athens, 1990
- Christodoulakis S. N. & Koutsogergopouloy L.. : Air pollution effects on the leaf structure of two injury resistant species: Eucalyptus camaldulensis and Olea europaea L. Institute of general botany, University of Athens, 1990
- Christodoulakis S. N. : Air pollution effects on the guard cells of the injury resistant leaf of Laurus nobilis L., Institute of general botany, University of Athens, 1993.
- Contran Nicla, Paoletti Elena (2006). Visible Foliar Injury and Physiological Responses to Ozone in Italian Provenances of Fraxinus excelsior and F. ornus. University of Milano -Bicocca. The Scientific World JOURNAL (2007) 7(S1), pp. 90-97.
- De Lucia Evan, Casteel L Clare, Nabity D Paul and O' Neill F Bridget (2007). Insects take a bigger bite out of plants in a warmer, higher carbon dioxide world. University of Illinois. PNAS February 12, 2008 vol. 105 no. 6 p. 1781-1782.
- De Melo-Abreu Paulo, Ahmed Daldoum Mohamed, Patricia L. Andrews, Xavier Bastos Therezinha, De Groot William J., Fleming Richard, Fleming Robert, Fujioka Francis, Goldammer Johann G., Govind Ajit, Harrison John, Keenan Tom, Price David, Statheropoulos Milt, Stigter Kees and Wain Alan, (2000). Applications of Meteorology to Forestry and Non-forest Trees.

- Deckmyn G, Op De Beeck M, Ceulemans R (2003). Ozone effects on forests: the discrepancy between the limited effects on growth and the significant effects at the leaf level.
- Derco J, Mitaová L (2006). Ozonation of synthetic wastewater containig 2-mercaptobenzothiazole. Slovak University of Technology. Petroleum & Coal 48 (1), 34-39, 2006.
- Dobson M. C., Taylor Gail, Freer-Smith P. H. ( 1990). The control of ozone uptake by Picea abies. (L.) Karst. and P. sitchensis (Bong.) Carr. during drought and interacting effects on shoot water relations. Forestry Commission Research Station. New Phytol. (1990), 116, pp. 465-474.
- Enami Shinichi , Hoffmann M, Colussi J, Finlayson-Pitts Barbara (2007). Acidity enhances the formation of a persistent ozonide at aqueous carbonate/ozone gas interfaces. Kalifornia Institute of Technology, University of California. PNAS May 27, 2008 vol. 105 no. 21, pp. 7365 - 7369.
- Ezzel - Arab Laila, Nasser Abdel (2002). Effect of ozone and simulated acid rain on growth, nitrogen fixation and peroxidase activity in Faba Bean (Vicia faba L.) plant. Alexandria University. Asian Journal of Plant Sciences, Vol. 1 Number 4 : 456 - 461.
- Ferretti M., Fagnano M., Amoriello T., Badiani M., Ballarin-Denti A., Buffoni A., Bussotti F., Castagna A., Cieslik S., Costantini A., De Marco A., Gerosa G., Lorenzini G., Manes F., Merola G., Nali C., Paoletti E., Petriccione B., Racalbutto S., Rana G., Ranieri A., Tagliaferri A., Vialetto G., Vitale M. (2005). Measuring, modelling and testing ozone exposure, flux and effects on vegetation in southern European conditionsWhat does not work? A review from Italy. Università di Firenze, Università di Napoli "Federico II", Naples, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Università Cattolica di rescia, Università di Pisa, Università di Pisa, Università di Roma "La Sapienza". Elsevier, Environmental Pollution 146, p. 648 - 658.
- Fiscus L Edwin, Booker L Fitzgerald, Burkey O Kent (2005). Crop responses to ozone: uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning. North Carolina State University. Plant, Cell and Environment 28 , pp. 997-1011.
- Freer - Smith P. H., Holloway Sophy and Goodman H. (1996). The uptake of particulates by an urban woodland : site description and particulate composition. Forestry Commission Research Division, National Urban Forestry Unit. Elsevier, Environmental Pollution, Vol. 95. No 1, pp. 27 - 35, 1997.
- Garty J., Tamir O., Hassid I, Eshel A., Cohen Y., Karnieli A., Orlovsky L. (2001). Photosynthesis, Chlorophyll Integrity, and Spectral Reflectance in Lichens Exposed to Air Pollution. Tel Aviv University, Ben Gurion University. J. Environ. Qual. 30 : pp. 884-893 (2001).
- Ghorbanli M., Bakand Z., Bakhshi khaniki G., Bakand S, Azad Islamic, Branch Gorgan (2007). Air pollution effects on the activity of antioxidant enzymes in Nerium oleander and Robinia pseudoacacia plants in Tehran. University of Iran, Payam-e-Nour University, Tehran, Iran School of Public Health, Iran University of Medical Sciences. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., Vol. 4, No. 3, pp. 157-162.
- Giannakopoulos G.,Psiloglou B. (2002). Air temperature and electricity demand in Athens, Greece. National Observatory of Athens. 9<sup>o</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη. ΔΙΑΒΑΣΤΗΚΕ.

- Gielen Birgit, Low Markus, Deckmyn Gaby, Metzger Ursula, Franck Fabrice, Heerd Christian, Matyssek Rainer, Valcke Roland, Ceulemans Reinhart (2006). Chronic ozone exposure affects leaf senescence of adult beech trees: a chlorophyll fluorescence approach. University of Antwerpen, Technische Universitat Munchen, Universite de Liege, Hasselt University. Journal of Experimental Botany, Vol. 58, No. 4, pp. 785-795.
- Gilman F Edward, Watson G Dennis (2005). Nerium oleander: Oleander. UF, University of Florida IFAS Extension.
- Gongnian Xiao, Min Zhang, Guoxiang Luo, Jian Peng, Vilas M. Salokhe, Jie Guo (2004). Effect of modified atmosphere packaging on the preservation of strawberry and the extension of its shelf-life. Southern Yangzte University, Zhejiang Haitong Food Group Co. LTD, Asian Institute of Technology. Int. Agrophysics, 2004, 18.
- Goward Samuel (1988). Satellite Bioclimatology. Department of Geograpy, Remote Sensing Systems Laboratory, University of Maryland. American Meteorological Society.
- Grams Thorsten, Anegg Sabine, Haberle Karl, Langebartels Christian, Matyssek Rainer(1999). Interactions of chronic exposure to elevated CO2 and O3 levels in the photosyntheticlight and dark reactions of European beech (Fagus sylvatica). GSF-National Research Center for Environment and Health, Institute of Soil Ecology, Ludwig Maximilians University of Munich. New Phytol. (1999), 144, p. 95 - 107.
- Grant R, Zhang Y, Yua F, Wang S, Hanson P, Gaumont-Guay D, Chen J, Black T, Barr A, Baldocchi D, Arain A (2006). Intercomparison of techniques to model water stress effects on CO2 and energy exchange in temperate and boreal deciduous forests. University of Alberta, Canada c School of Geography and Geology, McMaster University, University of British Columbia, University of Toronto, , University of California-Berkeley. Elsevier, Ecological Modelling, p. 289-312.
- Gratani L., Crescente M. F., Petruzzi M. (1999). Relationship between leaf life-span and photosynthetic activity of Quercus ilex in polluted urban areas (Rome). University of Rome "La Sapienza", Ministry of Environment. Elsevier, Environmental Pollution, 110 (2000), pp. 19 - 28.
- Gratani L., Pesoli P. and Crescente F. M.(1997). Relationship between photosynthetic activity and chlorophyll content in an isolated Quercus ilex L. tree during the year. University of Rome "La Sapienza". Photosynthetica 35 (3) : 445 - 451, 1998.
- Gratani Loretta, Chia Emanuela (2002). Changes in morphological and physiological traits during leaf expansion of Arbutus unedo. University of Rome "La Sapienza". Elsevier, Environmental and experimental Botany 48 (2002), pp. 51 - 60.
- Gravano Elisabetta, Busscoti Filippo, Strasser J Reto, Schaub Marcus, Kristopher Novak, Skelly John, Tani Corrado (2003). Ozone symptoms in leaves of woody plants in open - top champers : ultrastructural and physiological characteristics. University of Florence, University of Geneva, Swiss Federal Research Institute WSL, The Pennsylvania State University. Physiologia Plantarum 121 : 620 - 633, 2004.
- Hansen James, Sato Makiko, Ruedy Reto, Lo Ken, Lea David W., and Medina-Elizade Martin (2006). Global temperature change. National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies, Columbia, University of California. 14288-14293 PNAS September 26 2006 vol. 103 no. 39.

- Hanson Paul J., Wullschleger Stan D., Norby Richard J., Tschaplinski Timothy J., Gunderson Carla A., (2005). Importance of changing CO<sub>2</sub>, temperature, precipitation, and ozone on carbon and water cycles of an upland-oak forest: incorporating experimental results into model simulations. Oak Ridge National Laboratory. *Global Change Biology* (2005) 11, pp. 1402-1423.
- Hassan A I and Anttonen S (1999). Changes in Nitrogen Metabolism in leaves of Bean (Phaseolus vulgaris L. Cv Giza 6) in response to ozone. Alexandria University. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2 (2) : pp. 327 - 331.
- Held A., Mooney A.H, Gorham N. James (1990). Acclimation to ozone stress in radish: leaf demography and photosynthesis. Stanford University. *New Phytol.* (1991). 118. pp. 417 - 423.
- Hladnik J, Vodnik D (2006). Exploring dynamics of stomatal response to changes of CO<sub>2</sub> concentration. University of Ljubljana.
- Hymus Graham, Ellsworth Davis, Baker Neil and Long Stephen (1999). Does Free-Air Carbon Dioxide Enrichment Affect Photochemical Energy Use by Evergreen Trees in Different Seasons? A Chlorophyll Fluorescence Study of Mature Loblolly Pine. University of Essex, University of Illinois. *Plant Physiology*, August 1999, Vol. 120, pp. 1183-1191.
- Inclan R, Ribas A, Penuelas J, Gimeno B (1998). The relative sensitivity of different mediterranean plant species to ozone exposure. Depto. Impacto Ambiental de la Energia CIEMAT, CREA Universitat Autònoma de Barcelona. *Water, air and soil pollution* 116 : 273 - 277.
- IUFRO 23rd Conference for Specialists in Air Pollution and Climate Change Effects on Forest Ecosystems (2008). Air Pollution and Climate Change at Contrasting Altitude and Latitude. Murten, Switzerland September 7-12, 2008, Abstracts.
- Journal of Plant Pathology* (2004).
- Kalabokas P. D., Repapis C C (2003). A climatological study of rural surface ozone in central Greece. Academy of Athens, Research Center for Atmospheric Physics and Climatology. *Atmos. Chem. Phys.*, 4, pp. 1139-1147.
- Kaligarič L. M., Janžekovič F., Frešer M., Raschi A. (2000). Leaf fluctuating asymmetry as indicator of developmental instability: evidence from naturally increased CO<sub>2</sub> concentration on Myrtus communis. University of Maribor.
- Kamoutsis P. A., Tsiros I., Dimopoulos D. Y, (2004). The role of micrometeorological parameters and paclobutrazole in vegetative growth of Gardenia jasminoides ellis under greenhouse conditions. Agricultural University of Athens. *Agr. Med.* Vol. 134, pp. 25 - 32.
- Kamoutsis P., Chronopoulou - Serelli A., Paspatis E. (1997). Paclobutrazol affects growth and flower bud production in gardenia under different light regimes. Agricultural University of Athens, Benaki Phytopathological Institute. *HortScience*, Vol. 34 (4), July 1999.
- Kangasjarvi Jaakko, Jaspers Pinia & Kollist Hannes (2005). Signalling and cell death in ozone-exposed plants. Department of Biological and Environmental Sciences, University of Helsinki. *Plant, Cell and Environment* (2005) 28 , 1021-1036.
- Katavoutas G., Theoharatos G., Flocas H., Gong H. : Investigation of ozone effect in the terms of heat balance equation in human body. University of Athens,

Faculty of Physics, Department of Medicine, Ranho Los Amigos Center, Downey, California, 2008.

- Khadre M. A., Yousef A. E., Kim J.-G., (2001). Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. Institute of Food Technologists. Journal of Food Science - Vol. 66, No. 9, 2001.
- Kinnunen Heli, Huttunen Satu (2004). Impacts of air pollution on forest ecosystems. Proceedings of the Meeting Forests under changing climate, enhanced UV and air pollution. Thule Institute University of Oulu, IUFRO 7 Division Forest Health Project 7.04.00, August 25 - 30.
- Kleinman T Michael (2000). The health effects of air pollution on children. University of California.
- Kolb T, Matyssek R (2000). Limitations and perspectives about scaling ozone impacts in trees. Northern Arizona University, Technische Universität München. Environmental Pollution 115 (2001) 373-393.
- Lacour Sandrine, De Monde Michèle, Diot Patrice, Brocca Jérôme, Veron Nadège, Colin Patrice, Leblond Valérie (2006). Relationship between ozone and temperature during the 2003 heat wave in France: consequences for health data analysis. Univ François Rabelais.
- Ladstätter-Weißmayer A., Altmeyer H., Bruns M., Richter A., Rozanov A., Rozanov V., Wittrock F., Burrows J.P. (2006). Measurements of O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and BrO during the INDOEX campaign using ground based DOAS and GOME satellite data. University of Bremen. Atmos. Chem. Phys., 7, pp. 283-291, 2007.
- Lea Peter (1997). Oxides of nitrogen and ozone: can our plants survive? Lancaster University. New Phytol. (1998), 139, p. 25 - 26
- Leski T, Rudawska M (2002). Vertical distribution of Scots pine ectomycorrhizas under long term pollution stress from copper industrial region in Poland. Polish Academy of Sciences.
- Loreto Francesco, Fares Silvano (2007). Is ozone flux inside leaves only a damage indicator? Clues from volatile isoprenoid studies. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale. Plant Physiology, March 2007, vol. 143, pp. 1096 - 1100.
- Loreto Francesco, Velicova Violeta (2001). Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against Ozone Damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. Institute of Plant Physiology, Bulgarian Academy of Sciences. Plant Physiology, Vol. 127, pp. 1781-1787.
- Low M., Herbinger K., Nunn A. J., K. - H. Haberle, Leuchner M., Heerdt C, Werner H., Wipfler P, Pretzsch H, Tausz M, Matyssek R (2005). Extraordinary drought of 2003 overrules ozone impact on adult beech trees (Fagus sylvatica). Technische Universität München, Universität Graz, University of Melbourne, Trees (2006)
- Markovij M Dragan, Markovij A Dragan (2004). The relationship between some meteorological parameters and the tropospheric concentrations of ozone in the urban area of Belgrade. University of Belgrad,. J. Serb. Chem. Soc. 70 (12) 1487-1495 (2005).
- Matsoukis A., Kamoutsis A., (2003). Studies on the growth of Lantana camara L. subsp. Camara in relation to greenhouse environment and paclobutrazole. Agricultural University of Athens. Adv. Hort Sci., 2003 17 (3) : 153 - 158.

- Matsoukis S. A., Tsiros I. and Kamoutsis A. (2004). Leaf area response of *Lantana camara* L. subsp. *camara* to plant growth regulators under different photosynthetic flux conditions. Agricultural University of Athens. Hort Science Vol. 39 (5), August 2004.
- Matyssek R, Bytnerowicz A, Karlsson P, Paoletti E, Sanz M, Schaub M, Wieser G (2005). Promoting the O<sub>3</sub> flux concept for European forest trees. Technische Universität München, Pacific Southwest Research Station, Swedish Environmental Research Institute (IVL), IPP-CNR, Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), Parque Tecnológico de Paterna, Swiss Federal Research Institute, Federal Research and Trainings Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape, Department of Alpine Timberline Ecophysiology. Elsevier, Environmental Pollution 146 (2007) 587 - 607.
- Matzarakis (2002) A. Validation of modelled mean radiant temperature within urban structures. University of Freiburg.
- Matzarakis A., Beckroge W., Mayer H. (1997). Future perspective in applied urban climatology. University of Freiburg.
- Mayer Helmut (1999). Air pollution in cities. University of Freiburg. Atmospheric Environment 33 (1999) 4029 - 4037.
- Mc Kee F, Long S P (2001). Plant growth regulators control ozone damage to wheat yield. University of Essex, University of Illinois. New Phytologist (2001), 152 : p. 41-51.
- McKee I.F., Mulholland J. B., Craigan J, Black C. R. and Long S. P. (1999). Elevated concentrations of atmospheric CO<sub>2</sub> protect against and compensate for O<sub>3</sub> damage to photosynthetic tissues of field-grown wheat. University of Essex, University of Nottingham, UK University of Illinois. New Phytol. (2000), 146, p. 427 - 435.
- Meletiou-Christou Maria-Sonia, Nassios Kostas, Rhizopoulou Sophia (2007). A study on the growth rate of Mediterranean plants exposed to the air pollution of the city of Athens. NKUA.
- Mendes M. M., Grazani L. C, Rodrigues C. L. (2000). Acclimation of *Myrtus communis* to contrasting Mediterranean light environments - effects on structure and chemical composition of foliage and plant water relations. Universidade Técnica de Lisboa, Universidade de Évora. Elsevier, Environmental and Experimental Botany 45 (2001) pp. 165 - 178.
- Meroni Michele, Rossini Micol, Picchi Valentina, Panigada, Cinzia Sergio Cogliati, Nali Cristina, Colombo Roberto (2008). Assessing Steady-state Fluorescence and PRI from Hyperspectral Proximal Sensing as Early Indicators of Plant Stress: The Case of Ozone Exposure. University of Milan-Bicocca, CNR, Plant Virology Institute, Milan Unit, University of Pisa. Sensors 2008, 8, pp. 1740-1754.
- Miller Jennifer D., Arteca Richard N, Pell Eva J. (1999). Senescence-Associated Gene Expression during Ozone-Induced Leaf Senescence in *Arabidopsis*. The Pennsylvania State University. Plant Physiology, August 1999, Vol. 120, pp. 1015-1023.
- Mulichak A., Theisen J. M., Essigmann B., Benning C., Garavito R. M. (1999). Crystal structure of SQD1, an enzyme involved in the biosynthesis of the plant sulfolipid headgroup donor UDP-sulfoquinovose. Michigan State University, University of Grenoble.

- Munster J M (1998). Effects of Ozone Air Pollution on Plants. NC State University. Agricultural research service.
- Nabi Bidhendi, Hoveidi H, Jafari H, Karbassi A, Nasrabadi T (2005). Application of ozonation in drinking water disinfection based on an environmental management strategy approach using swot method. University of Tehran. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2006, Vol. 3, No. 1, pp. 23-30.
- Naghmouchi Souheila, Larbi Khouja Mohamed, Nejjib Rejeb Mohamed, Boussaid Mohamed (2007). Effect of growth regulators and explant origin on in vitro propagation of Ceratonia siliqua L. via cuttings. Institute of Research in Rural Engineering, Water and Forestry (INRGREF), University of Sciences, Institute National of Sciences applied to Technology (INSAT). Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2008 12(3), 251-258.
- Nevo Eviatar (2001). Evolution of genome-phenome diversity under environmental stress. University of Haifa. PNAS, May 22, 2001, vol. 98, no. 11, 6233-6240.
- Newchurch M. J., Sun D., Kim J. H., Liu X. (2003). Tropical tropospheric ozone derived using Clear-Cloudy Pairs (CCP) of TOMS measurements. University of Alabama in Huntsville, Pusan National University, Korea Now at Harvard Smithsonian Astrophysical Observatory. Atmos. Chem. Phys., 3, 683-695, 2003.
- Nie G - Y, M. Tomasevic & Baker R N (1993). Effects of ozone on the photosynthetic apparatus and leaf proteins during leaf development in wheat. University of Essex. Plant, Cell and Environment 16, p. 643-651.
- Nogues Salvador and Baker Neil (1997). Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV - B radiation. University of Essex, 2000.
- Novak Kristopher , Skelly John M., Schaub Marcus, Krauchi Norbert, Hug Christian, Landolt Werner, Bleuler Peter (2002). Ozone air pollution and foliar injury development on native plants of Switzerland. The Pennsylvania State University, Swiss Federal Research Institute WSL. Environmental Pollution 125 (2003) p. 41-52.
- Novak Kristopher, Cherubini Paolo, Ssurer Matthias, Fuhrer Jurg, Skelly John M., Krauchi Norbert, Schaub Marcus (2006). Ozone air pollution effects on tree-ring growth,  $^{13}C$ , visible foliar injury and leaf gas exchange in three ozone-sensitive woody plant species. Swiss Federal Institute for Forest, Swiss Federal Research Station for Agroecology and Agriculture, Paul Scherrer Institute PSI, The Pennsylvania State University. Tree Physiology 27, pp. 941-949.
- Nowak David (1995). The effects of urban trees on air quality. USDA Forest Service, Northeastern Research Station, Syracuse, NY.
- Nunes Maria Antinieta, Domingos Cochicho Ramalho Jose and Rijo Paula da Silva (1992). Seasonal changes in some photosynthetic properties of Ceratonia siliqua (carob tree) leaves under natural conditions. Centro de Estudos de Producao e Tecnologia Agrícolas, IICT. Physiologia Plantarum 86 : pp. 381 - 387.
- Orendovici T, Skelly T, Sanz M, Smith G, Savage G, Ferdinand J (2001). Screening native plants of northeastern United States and southern Spain for sensitivity to ozone. The Pennsylvania State University.
- Osborne Colin, Beerling David (2003). The Penalty of a Long, Hot Summer. Photosynthetic Acclimation to High CO<sub>2</sub> and Continuous Light in "Living Fossil"



- Conifers. Department of Animal and Plant Sciences, University of Sheffield. Plant Physiology, October 2003, Vol. 133, pp. 803-812.
- Oven P (2000). How trees respond and survive after mechanical wounding . University of Ljubljana.
- Paakkonen E, Metsarinne S, Holopainen T, Karenlampi L (1995). The ozone sensitivity of birch (Betula pendula) in relation to the developmental stage of leaves. Department of Ecology and Environmental Science, University of Kuopio. NewPhytol. (1995), 132, 145-154
- Paoletti E (2005). Impact of ozone on Mediterranean forests: A review (Why Mediterranean forests are more ozone tolerant than mesophilic vegetation is explored). Istituto Protezione Piante, Consiglio Nazionale delle Ricerche. 2006 Elsevier Ltd.
- Paoletti E, Ballarin Denti A, Cieslik S, De Marco A, Licini F, Manes F, Penna M, Tagliaferro F. (2008). Scienza e politica devono collaborare per affrontare l'impatto dell'ozono sulla vegetazione. Università Cattolica del Sacro Cuore, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università "La Sapienza", Ministero dell' Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente. Italian Society of Silviculture and Forest Ecology.
- Paoletti E. (2007). L'ozono ed i suoi effetti sulle foreste mediterranee. IPP-CNR. Forest, 4 (4): pp. 478-487.
- Paoletti E., Petriccione B., Racalbutto S., (2004). Elevate concentrazioni di ozono nell'Italia mediterranea: una sfida alle foreste? Istituto per la Protezione delle Piante, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Corpo Forestale dello Stato, Ispettorato Generale, Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Unitù Inquinamento Atmosferico. Forest, 2 (1): p. 130-140.
- Pinelli P, Tricoli D (2008). A new approach to ozone plant fumigation: The Web-O3 Fumigation. Isoprene response to a gradient of ozone stress in leaves of Quercus pubescens. Forest (2008) 1: p. 22-26.
- Proceedings of Symposium on Effects of Air Pollutants Mediterranean and Temperate Forest Ecosystems, June 22-27, 1980, Riverside, California.
- Puskas J., Nowiszky J., Barczikay G., Tar K., Makra L (2007). Speciment number changes of harmful moths caught by pheromone trap in connection with the Puskas - Sort weather types. Berzsényi College, Plant Protection Station of Borsod County, University of Debrecen, University of Szeged. 9<sup>o</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Ranford Jonathan, Reiling Kevin (2004). Ozone induced leaf loss and decreased leaf production of European Holli (Ilex aquifolium L.) over multiple seasons. Stafford University.
- Rastigejev Y., Brenner M., Jakob Δ., (2007). Spatial reduction algorithm for atmospheric chemical transport models. Harvard University. PNAS, August 28, 2007, vol. 104, no. 35, pp. 13875 - 13880.
- Reig-Arminana J., Calatayud V., Cervero J., Garcia-Breijo J. F., Ibars A., Sanz J. M., (2004). Effects of ozone on the foliar histology of the mastic plant (Pistacia lentiscus L.). Universitat de Valencia, Spain Fundacion C.E.A.M., Spain Departamento de Biología Vegetal, Universidad Politecnica de Valencia. Elsevier, Environmental Pollution 132 (2004), p. 321 - 331.

- Reiling K and Davinson W A (1993). Effects of exposure to ozone at different stages in the development of *Plantago major* L. on chlorophyll fluorescence and gas exchange. University of Newcastle.
- Ribas A, Penuelas J, Elvira S., Gimeno S B.(2004). Ozone exposure induces the activation of leaf senescence-related processes and morphological and growth changes in seedlings of Mediterranean tree species. CSIC-CEAB-CREAF Ecophysiology Unit, CREAM (Center for Ecological Research and Forestry Applications), Universitat Autònoma de Barcelona. Elsevier, Environmental Pollution 134, (2005), p. 291-300.
- Ribas A., Penuelas J., Elvira S., Gimeno S. B. (2004). Contrasting effects of ozone under different water supplies in two Mediterranean tree species. Universitat Autònoma de Barcelona, Ecotoxicologia de la contaminación Atmosférica, CIEMA. Elsevier, Atmospheric Environment, 39, pp. 685-693.
- Rousseaux M. Cecilia, Ballare Carlos L., Giordano Carla V., Scope Ana L., Zima Ana M, Szwarcberg - Bracchita Mariela, Searles Peter S., Caldwell Martyn M., Diaz Susana B. (1999). Ozone depletion and UVB radiation : impact on plant DNA damage in southern South America. University of Buenos Aires, Utah State University. PNAS, Desember 21, 1999, vol. 96, no. 26, pp. 15310 - 15315.
- Searle Stephanie, Marin Cesar, Griffin Kevin (2007). Proposed Causes and Mechanisms for Variation in Photosynthesis of *Quercus rubra* Along an Urban to Rural Gradient. Columbia University, The City University of New York. Columbia Undergraduate Science Journal.
- Seemann Jeffrey, Sharkey Thomas D., Wang Jinland, Osmond C. Barry (1987). Environmental Effects on Photosynthesis, Nitrogen - Use Efficiency, and Metabolite Pools in Leaves of Sun and Shade Plants. Biological Sciences Center, Desert Research Institute, University of Nevada. Plant Physiol. (1987) 84, 796-802.
- Serafinavičiūtė B, Stakėnas V. (2008). Ozone fumigation effects on the morphology and biomass of Norway spruce (*Picea abies* L.) saplings. Lithuanian Forest Research Institute. iForest 2: pp. 15-18.
- Sharma Yogesh, Leon Jose, Raski Ilya and Keith R. Davis (1995). Ozone - induced responses in *Arabidopsis thaliana* : The role of salicylic acid in the accumulation of defense - related transcripts and induced resistance. Ohio State University Columbus.
- Shashua - Bar L., Hoffman M., Chronopoulos K., Sebba R., Tzamir Y., Tsiros I.(2007). Sensitivity tests of an urban canopy layer microclimate model for the evaluation of the three thermal effects in urban streets in Athens. Ben - Gurion University of the Negev, Technion - Israel Institute of Technology, Agricultural University of Athens. 9<sup>o</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Society for Experimental Biology Annual Main Meeting 11th-15th July 2005, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain P7-DEVELOPMENTS IN PLANT BIOLOGY Organised by Gail Taylor (University of Southampton), Jane Taylor (University of Lancaster), Nick Smirnoff (University of Exeter), Philip J. White (Warwick HRI), Keith Lindsey (University of Durham), Richard Napier (Warwick HRI).
- Steinbrecht W., Hassler B., Claude H., Winkler P., and Stolarski S (2003). Global distribution of total ozone and lower stratospheric temperature variations. German Weather Service, NASA, Goddard Space Flight Center. Atmos. Chem. Phys., 3, pp. 1421-1438, 2003.
- Stephanou M and Manetas Y (1997). The effects of seasons, exposure, enhanced UV - B radiation, and water stress on leaf epicuticular and internal UV - B absorbing

capacity of Cistus creticus : a Mediterranean field study. University of Patra.

Steubing L. (1965) : Pflanzenökologisches Practicum, Verlag Paul Parey, Berlin.

Sudhakar N., Nagendra-Prasad D., Mohan N. and Murugesan K. (2008). A preliminary study on the effects of ozone exposure on growth of the tomato seedlings. Centre for Advanced studies in Botany, University of Madras. Australian Journal of Crop Science, 2(1): pp. 33-39.

Sukopp Herbert (2002). On the early history of urban ecology in Europe. Technical University Berlin. Preslia, Praha, (2003) 74: p. 373-393.

Tholl Dorothea, Boland Wilhelm, Hansel Armin, Loreto Francesco, Ursula Rose and Jorg-Peter Schnitzler (2005). Practical approaches to plant volatile analysis. Virginia Polytechnic and State University, Max-Planck Institut für Chemische Ökologie, Leopold-Franzens Universität Innsbruck, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale (IBAF), Institut Phytosphäre (ICG-III), Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU). The Plant Journal (2006) 45, p. 540-560.

Timonen Ulla, Huttunen Satu, Manninen Sirkku(2002). Ozone sensitivity of wild field layer plant species of northern Europe. University of Oulu, University of Helsinki. Plant Ecology 172: p. 27-39.

Torsethaugen Gro, Pell J Eva, Assmann M Sarah (1998). Ozone inhibits guard cell K1 channels implicated in stomatal opening. Pennsylvania State University, University Park, PA 16802 Communicated by Harold Alfred Mooney, Stanford University. PNAS, November 9, 1999, vol. 96 no. 23, p. 13577-13582.

Tuba Z ( ). Bryophyte ecophysiology under elevated air CO2 concentration. Plant Ecology Research Group of Hung. Academy., Szent István University.

Turk B., Batič F., (2002). Biomonitoring of tropospheric ozone in Slovenia with selected plant species. University of Ljubljana. ΔΙΑΒΑΣΤΗΚΕ.

Tutin T. G., Heywood H.V., Burges A. N., Vlentine D.H., Walters M.S., Webb D.A. and Ball W.P. and Chater O.A., FLORA EUROPAEA, Volume 2, Rosaceae to Umbelliferae. Cambridge at the University Press, 1964, pp. 83, 84, 246.

Unger Nadine, Shindell Drew T., Koch Dorothy M., and Streets David G. (2004 ). Cross influences of ozone and sulfate precursor emissions changes on air quality and climate. NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University, Argonne National Laboratory, University of Chicago. PNAS March 21, 2006 vol. 103 no. 12 p. 4377-4380.

United Nation Environmental Programme (UNEP) : Environmental effects of ozone depletion. Interim Summary, September, 1997.

United Nations Environmental Programme (UNEP) : Environmental effects of ozone depletion: 1998. Assessment November 1998.

Vandermeiren K., Black C., Pleijel H. & De Temmerman L. (2005). Impact of rising tropospheric ozone on potato: effects on photosynthesis, growth, productivity and yield quality. University of Nottingham, Göteborg Universit. Plant, Cell and Environment (2005) 28 , p. 982-996.

Vlad Mariana, Vlad I (2008). Stimulation of Striking Roots at the Cuttings of Laurel Tree (Laurus nobilis) with the Aid of Bioactive Substances of the Radistim Type. University of Oradea, Faculty of Environmental Protection. Not. Bot. Hort.

Agrobot. Cluj 36 (2) 2008, 32-34.

Whitfield C.P., Davinson A. W., T.W. (1997). The effects of nutrient limitation on the response of *Plantago major* to ozone. University of Newcastle, University of Wales. *New Phytol.* (1998), 140, 219 - 230.

Winner William, Lefohn Allen, Cotter Irene, Greitner Carol, Nelessen James, Lawrence R. McEvoy, Jr, Richard L. Olson, Christopher J. Atkinson, Lauence D. Moore (1988). Plant responses to elevational gradients of O<sub>3</sub> exposures in Virginia. Oregon State University, Virginia Polytechnic Institute and State University, Colorado State University, Agriculture Research Service Crops Research Laboratory, Colorado State University, University of Lancaster.

Wolfram Kurschner, Zlatko Kvacek, David Dilcher (2007). The impact of Miocene atmospheric carbon dioxide fluctuations on climate and the evolution of terrestrial ecosystems. Utrecht University, Charles University, Yale University. *PNAS* January 15, 2008 vol. 105 no. 2 pp. 449 - 453.

World Health Organization (2005). Effects of air pollution on children's health and development. A review of the evidence. Special programme on health and environment. European Centre for Environment and health. Bonn Office.

XVI Congress of the Federation of European Societies of Plant Biology (2008). FESPB 2008, Tampere, Finland 17 - 22 August 2008.

XXII IUFRO World Congress, 8-13 August 2005, Brisbane, Australia, Forests in the Balance: Linking Tradition and Technology

Yao Xiaoqin, Qing Liu<sup>1</sup> and Chao Han (2007). Growth and photosynthetic responses of *Picea asperata* seedlings to enhanced ultraviolet-B and to nitrogen supply. Chinese Academy of Sciences, Hebei University. *Braz. J. Plant Physiol.*, 20 (1) : 11-18.

Zahnen Barbara (2004). The human dimension of doing urban climatology : some hermeneutical aspects. Humboldt - University of Berlin. ΔΙΑΒΑΣΤΗΚΕ.

Zanis P., Ganser A., Zellweger C., Henne S., Steinbacher M., Staehelin J. (2007). Seasonal variability of measured ozone production efficiencies in the lower free troposphere of Central Europe. Academy of Athens, Aristotle University of Thessaloniki, Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zurich, Swiss Federal Institute for Materials Science and Technology (Empa), Laboratory for Air Pollution/Environmental Technology. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 223-236, 2007.

Zeleznik P., Hrenko M., Jansa J., Stupar B., Grebenc T., Kraigher H. (2007). The influence of different light regimes and ozone concentrations on roots of young beech (*Fagus sylvatica* L. ) plants. Slovenian forestry institute.

Zhang Renyi, Lei Wenfang, Tie Xuexi and Hess Peter (2004). Industrial emissions cause extreme urban ozone diurnal variability. Texas A&M University, National Center for Atmospheric Research, Massachusetts Institute of Technology. p. 6346-6350 *PNAS* April 27, 2004 vol. 101 no. 17.

Ziska H Lewis (2003). Climate, change, plant biology and public health. Alternate Crop and Systems Laboratory U.S. Department of Agriculture . *World Resource Review* Vol. 15 No. J.

Zohary Mischael, FLORA PALAESTINA, Part One - Text, Equisetaceae to Moringaceae. Jerusalem 1966, The Israel Academy of Sciences and Humanities, pp. 189 - 190.

- Zohary Mischael, FLORA PALAESTINA, Part Two - Text, Platanaceae to Umbelliferae. Jerusalem 1972, The Israel Academy of Sciences and Humanities, pp. 32.
- Ανασοντζής Ε., Σαμαράς Π., Πεταλά Μ., Σακελλαρόπουλος Π., Λαζαρίδου - Δημητριάδου Μ., (2002). Επίδραση της απολύμανσης με όζον σε δευτεροβάθμιες εκκροές. Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 24<sup>ο</sup> Επιστημονικό Συνέδριο ΕΕΒΕ, Ερέτρια 2002.
- Αντωννάκη Ε., Χρυσάνθης Γ., Καλιάφας Α. (2002). Βελτίωση της διαδικασίας παραγωγής αιθανόλης από χαρουπιά (Ceratonia siliqua) με τη χρήση οργανικών επιταχυτών της αλκοολικής ζύμωσης. Πανεπιστήμιο Πατρών. 24<sup>ο</sup> Επιστημονικό Συνέδριο ΕΕΒΕ, Ερέτρια 2002.
- Γεωργίου Π., Παπαμιχαήλ Δ., (2008). Συγκριτική αξιολόγηση των εκτιμήσεων της εξατμισιοδιαπνοής αναφοράς με τη βοήθεια μετρημένων και εκτιμημένων μετεωρολογικών παραμέτρων. Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Γκούβας Μ., Παπαδόπουλος Α., Ηλιόπουλος Ν. (2008). Ένας εύχρηστος μετεωρολογικός δείκτης κινδύνου δασικών πυρκαγιών. Πυροσβεστικό Σώμα, Συντονιστικό Επιχειρησιακό κέντρο. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Γκούμα Β., Μπαλούτσος Γ., Μπουλέτσικας Α., Καούκης Κ. (2005). Σύγκριση χρονικών μεταβολών της θερμοκρασίας αέρος σε ενδοδασογενές και εξωδασογενές περιβάλλον αείφυλλου σκληρόφυλλου δάσους της Ν.Δ. Ελλάδας. ΕΘΙΑΓΕ. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Διακουλάκη Δ., Γλυκογιάννη Α., Δεληγιάννης Α. (2003). Περιβαλλοντικά Σήματα Σχέδιο Έκθεσης Δεικτών Αειφορίας. Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος & Αειφόρου Ανάπτυξης, ΕΜΠ, ΕΚΠΑΑ.
- Διαμαντοπούλου Ι., Γεωργίου Π., Παπαμιχαήλ Δ. (2008). Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα στην εκτίμηση της ημερήσιας εξατμισιοδιαπνοής αναφοράς. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ (2002) : 24ο Ετήσιο Συνέδριο, Ερέτρια, Μάιος 2002 .
- Θωμά Ε., Τσίρος Ι, Χρονοπούλου Α., Λυκούδης Σ., Γαροφαλάκης Ι. (2006). Εκτίμηση και πρόγνωση θερμοκρασιών εδάφους : σύγκριση αποτελεσμάτων νέων ημι - εμπειρικών σχέσεων και αριθμητικού μοντέλου με δεδομένα πεδίου. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Καζάκης Ν., Μαυρομμάτης Θ., Βουδούρης Κ. (2008). Μεταβολές στις συχνότητες των ακραίων υδρολογικών επεισοδίων στην Ελλάδα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Καμούτσης Α., Ματσούκης Α., Χρονοπούλου - Σερελή Α., Καταφυγιώτης Λ. (2008). Επίδραση της θερμοκρασίας αέρος στις ημερομηνίες έναρξης φαινοφάσεων του μαλακού σίτου (Triticum aestivum) σε περιοχές του ελληνικού χώρου. Γενικό Τμήμα Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. 9<sup>ο</sup> COMECAP, Πρακτικά Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη 2009.
- Καταβούτας Γ., Θεοχαράτος Γ., Φλόκα Ε., Gong H. (2004). Διερεύνηση επίδρασης του όζοντος σε όρους του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Department of Medicine - Rancho Los Amigos Medical Center. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008,

## Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.

- Μαυρομάτης Τ. (2007). Αξιολόγηση ηλιακής ακτινοβολίας από δορυφόρους και προγνωστικά μοντέλα σε αγρομετεωρολογικές εφαρμογές στην Ελλάδα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Μούστρης Κ., Ζιώμας Κ., Παλιατσός Α. (2006). Χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων για την πρόβλεψη της θερμικής άνεσης - δυσφορίας στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών τη θερμή περίοδο του έτους για τρεις διαδοχικές ημέρες. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Ναστός Π., Ματζαράκης Α. (2008). Βιοκλιματικές συνθήκες, τάσεις και μεταβλητότητα στην πανεπιστημιούπολη της Αθήνας. Πανεπιστήμιο Αθηνών. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Παπαδόπουλος Α. (2007). Δεντροκλιματολογική διερεύνηση της Κεφαλληνιακής ελάτης στην περιοχή Καρπενησίου Ευρυτανίας. Τ.Ε.Ι. Λαμίας, Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος. 9<sup>ο</sup> COMECAP, Πρακτικά Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη 2009.
- Προύτσος Ν., Τσαγκάρη Κ., Καρέτσος Γ., Λιακατάς Α., Αλεξανδρής Σ., Κρητικός Θ. (2008). Διαχρονική και υψομετρική μεταβολή της διαθεσιμότητας νερού για την ανάπτυξη βλάστησης στον ελληνικό χώρο. ΕΘΙΑΓΕ, Γ.Π.Α. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Τσίρος Ε., Μπαμιτζέλης Δ. Δομένικος Χ., Δαλέζιος Ν., (2008). Το χρονικό του καύσωνα και της δασικής πυρκαγιάς Θεσσαλίας Ιουνίου 2007. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. 9<sup>ο</sup> COMECAP 2008, Πρακτικά Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (2005) : Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα. Έκθεση 2004. Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Μάιος 2005.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (2006) : Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα. Έκθεση 2005. Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Απρίλιος 2006.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (2007) : Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα. Έκθεση 2006. Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Μάρτιος 2007.



---

---