



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Από τη ρύπανση της ατμόσφαιρας στην  
κλιματική αλλαγή. Επιπτώσεις στην παραγωγή  
φρέσκων φρούτων και λαχανικών στην Κρήτη



Πτυχιακή Μελέτη της Καλλιόπης Θαλασσινάκη  
Εισηγήτρια: Δρ Ελένη Γουμενάκη

Ηράκλειο, Φεβρουάριος 2009

## Ευχαριστίες

Μου δίνεται η ευκαιρία με την ολοκλήρωση της παρούσης πτυχιακής εργασίας ,να ευχαριστήσω του ανθρώπους που με βοήθησαν για την ολοκλήρωση της μελέτης.

Για αυτό το λόγο ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου ,Δρ. Ελένη Γουμενάκη ,που με καθοδήγησε όλο το χρονικό διάστημα και μου αφιέρωσε πολύ από τον χρόνο της.

## Περιεχόμενα

|  |    |
|--|----|
| 1. Εισαγωγή  | 5  |
| 2. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι  | 6  |
| 2.1. Σύντομα ιστορικά στοιχεία   | 6  |
| 2.2. Βασικές έννοιες   | 8  |
| 2.3. Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων  | 14 |
| 2.4. Η όξινη βροχή   | 22 |
| 2.5. Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα                                  | 23 |
| 2.6 Μεταφορά ρύπων και μετατροπές στην ατμόσφαιρα                        | 26 |
| 3. Επιπτώσεις των αέριων ρύπων στου φυτικούς οργανισμούς                 | 29 |
| 3.1. Επιδράσεις του όζοντος  | 31 |
| 3.2. Επιδράσεις των ανώσεων του αζώτου                                   | 37 |
| 3.3. Επιδράσεις του διοξειδίου του θείου                                 | 46 |
| 3.4. Επιδράσεις του φθορίου  | 47 |
| 3.5. Επιδράσεις των πτητικών οργανικών συστατικών                        | 47 |
| 3.6 Επιδράσεις των μικροσωματιδίων                                       | 47 |
| 3.7 Επιδράσεις των βαρέων μετάλλων                                       | 48 |
| 4. Τροποποίηση της αντίδρασης των φυτών από τις περιβαλλοντικές συνθήκες | 49 |
| 5. Επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στο βιοτικό stress των φυτών       | 51 |
| 6. Επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στα καλλιεργούμενα είδη της Κρήτης | 57 |
| 6.1. Επιπτώσεις στην καλλιέργεια των εσπεριδοειδών                       | 57 |
| 6.2. Επιπτώσεις στην καλλιέργεια της αμπέλου                             | 58 |
| 6.3. Επιπτώσεις στην καλλιέργεια των λαχανοκομικών ειδών                 | 59 |
| 6.4. Δεδομένα από πειράματα <i>in situ</i>                               | 59 |
| 7. Η Κλιματική αλλαγή  | 60 |
| 7.1. Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου  | 63 |
| 7.2. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αγροτική δραστηριότητα       | 66 |
| 7.2.1. Οι επιδράσεις της αλλαγής της θερμοκρασίας                        | 66 |
| 7.2.2. Οι αλλαγές στη διαθεσιμότητα του νερού                            | 68 |

|  |    |
|--|----|
| 7.3. Μηχανισμός παρακολούθησης και σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο θερμοκηπίου | 72 |
| 7.4. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αγροτική δραστηριότητα.  | 73 |
| 8. Γεωργία χαμηλών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου   | 75 |
| 9. Η προοπτική της οικολογικής γεωργίας  | 78 |
| 10. Κλιματική αλλαγή και συστήματα τροφίμων: Η παγκόσμια προοπτική   | 79 |
| Βιβλιογραφία   | 82 |

## 1. Εισαγωγή

Η αλλαγή του κλίματος συμβαίνει ήδη και αντιπροσωπεύει μια από τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές απειλές που αντιμετωπίζει ο πλανήτης. Η κλιματική αλλαγή στη γη οδηγείται από την εκπομπή αέριων ρύπων ως αποτέλεσμα της καύσης λιθανθράκων για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της κοινωνίας για ενέργεια, μεταφορές και παραγωγή αγαθών. Άμεσα αποτελέσματα είναι μεταξύ άλλων η μείωση της ποσότητας και η υποβάθμιση της ποιότητας των τροφίμων στον πλανήτη μας.

Η ανθρωπογενής δραστηριότητα συνολικά οδήγησε τα τελευταία 60 χρόνια σε αλματώδη αύξηση των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Τα επίπεδα ρύπανσης στην Ευρώπη υπερβαίνουν συχνά, σε αστικές και αγροτικές περιοχές, τα όρια που έχουν τεθεί από την UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) για μη αντιστρεπτές μεταβολές σε οργανισμούς και υλικά. Τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Κρήτη, όπως έχουν καταγραφεί στο σταθμό της Φοινοκαλιάς (βρίσκεται στο βόρειο άξονα της Κρήτης ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου, 35°20'Β, 25°40'Α), από το εργαστήριο Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών του Χημικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Κρήτης, είναι αρκετά υψηλά για να προκαλέσουν μη αντιστρεπτές μεταβολές στους οργανισμούς αποδέκτες (Gerasopoulos *et al.*, 2006, Goumenaki *et al.*, 2007).

Η αλλαγή κλίματος στον πλανήτη, που προκαλείται από τις αυξανόμενες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και τα αποτελέσματα που προκαλεί όπως π.χ. οι αλλαγές στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών, εξαρτάται από τις συνδυασμένες επιδράσεις πολλών αλλαγών (π.χ. θερμοκρασία, κατακρημνίσματα, διοξείδιο του άνθρακα, όζον). Οι αλλαγές στην παραγωγικότητα των αγροτικών καλλιεργειών είναι αποτέλεσμα άμεσων επιδράσεων αυτών των παραγόντων ή έμμεσων επιδράσεων σε επίπεδο οικοσυστήματος μέσω αλλαγών του κύκλου των θρεπτικών στοιχείων ή των αλληλεπιδράσεων καλλιεργούμενων φυτών – ζιζανίων ή φυτών – φυτοπαρασίτων.

Η κλιματική αλλαγή και η ρύπανση της ατμόσφαιρας συνδέονται πολύ στενά. Μέχρι σήμερα η επιστημονική έρευνα αλλά και οι πολιτικές διαπραγματεύσεις είχαν διαχωριστεί κατά ένα μεγάλο μέρος. Σχετικά πρόσφατες επιστημονικές προσεγγίσεις

και καινοτόμα επιστημονική έρευνα έχουν συντελέσει στην αλλαγή αυτής της κατάστασης (Swart *et al.*, 2004). Διάφοροι τύποι δεσμών μπορούν να διακριθούν όπως: (α) πολλοί ατμοσφαιρικοί ρύποι και αέρια θερμοκηπίου έχουν κοινές πηγές, (β) υπάρχουν χημικές και φυσικές αλληλεπιδράσεις στην ατμόσφαιρα, και (γ) προκαλούν συνδυασμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε τοπική, περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα. Ο αναπροσανατολισμός της επιστημονικής έρευνας στις δύο περιοχές και η ενσωμάτωση των δεσμών μεταξύ ατμοσφαιρικής ποιότητας και αλλαγής κλίματος στη χάραξη πολιτικής εκτιμάται ότι θα οδηγήσει σε μείωση της έκθεσης σε κίνδυνο της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος.

## **2. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι**

### **2.1. Σύντομα ιστορικά στοιχεία**

Αναφορές για την περιβαλλοντική ρύπανση υπάρχουν από την εποχή της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Χαρακτηριστική είναι η αναφορά του Ρωμαίου φιλόσοφου Σενέκα το 61 μ.Χ. στην κακή ποιότητα του αέρα στη Ρώμη. Αναφορές από τον Μεσαίωνα περιγράφουν τα προβλήματα καπνού που δημιουργούσε η καύση του κάρβουνου με αποτέλεσμα ο Βασιλιάς Εδουάρδος ο 1<sup>ος</sup> να απαγορεύσει το 1307 τη χρήση του κάρβουνου στις ασβεστοκάμινους του Λονδίνου. Το 1661 στην Αγγλία καταγράφονται για πρώτη φορά καταστροφικές επιδράσεις στη βλάστηση. Το 1863 στην Αγγλία ιδρύθηκε η πρώτη υπηρεσία για τον έλεγχο της αέριας ρύπανσης (Alkali Inspectorate). Το 1872 ο Robert Angus Smith (ο πρώτος ελεγκτής) στο βιβλίο του *Air and Rain: The Beginnings of a Chemical Climatology*, ορίζει για πρώτη φορά την όξινη βροχή. Η βιομηχανική επανάσταση το 19<sup>ο</sup> αιώνα οδήγησε στην εντατική χρήση του κάρβουνου, και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου, για την παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την στάχτη.

Το 1945 έγιναν οι πρώτες παρατηρήσεις σε αγροτικές καλλιέργειες στην κοιλάδα του Los Angeles στην California και οι ζημιές αποδόθηκαν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Αργυρόχρωμες ή χάλκινου χρώματος κηλίδες μερικές φορές συνοδευμένες

από νεκρώσεις στην κάτω επιφάνεια των φύλλων εμφανίστηκαν σε αντίδια, μαρούλια, σπανάκι. Το 1955 στις ανατολικές ακτές των ΗΠΑ εμφανίστηκαν χλωρώσεις και ξηράνσεις σε φύλλα καπνού και αποδόθηκαν επίσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Το σημαντικότερο γεγονός στη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα ήταν η αστικοποίηση, με δραματική αύξηση των αστικών κέντρων που δημιούργησαν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα. Το 1900 ο αστικός πληθυσμός του πλανήτη ήταν περίπου το 14% του συνόλου, ενώ μετά το 2000 ο αστικός πληθυσμός είναι περίπου το 50% του συνόλου. Την ίδια περίοδο η κατανάλωση ενέργειας από 1.000 εκατομμύρια μετρικούς τόνους (ισοδύναμο σε κάρβουνο) έφθασε τους 25.000 εκατομμύρια μετρικούς τόνους. Τις τελευταίες δεκαετίες της εκατονταετίας η κατανάλωση ενέργειας αυξάνονταν κατά 17% για κάθε δεκαετία. Σήμερα η παραγωγή ενέργειας γίνεται κατά 80% από ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο 38%, στερεά καύσιμα 26%, φυσικό αέριο 20%), κατά 6,5% από πυρηνική ενέργεια ενώ οι ανανεώσιμες πηγές αντιπροσωπεύουν μόνο το 10% (Βαλαβανίδης, 2007). Τις τελευταίες δεκαετίες η βιομηχανική παραγωγή έχει επεκταθεί σε όλες τις ηπείρους. Χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία, η Βραζιλία, η Ν. Κορέα, το Μεξικό κ.α. έχουν αναπτύξει σημαντικούς βιομηχανικούς κλάδους και συναγωνίζονται τις αναπτυγμένες βιομηχανικές χώρες της Β. Αμερικής, της Ευρώπης και την Ιαπωνία. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των αυξημένων δραστηριοτήτων είναι η μεγέθυνση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ταυτόχρονα η εκτεταμένη ρύπανση υδάτινων πόρων, η έλλειψη πόσιμου καθαρού νερού, η διάβρωση των εδαφών, η μείωση της βιοποικιλότητας και η υποβάθμιση ευαίσθητων οικοσυστημάτων.

## **2.2. Βασικές έννοιες**

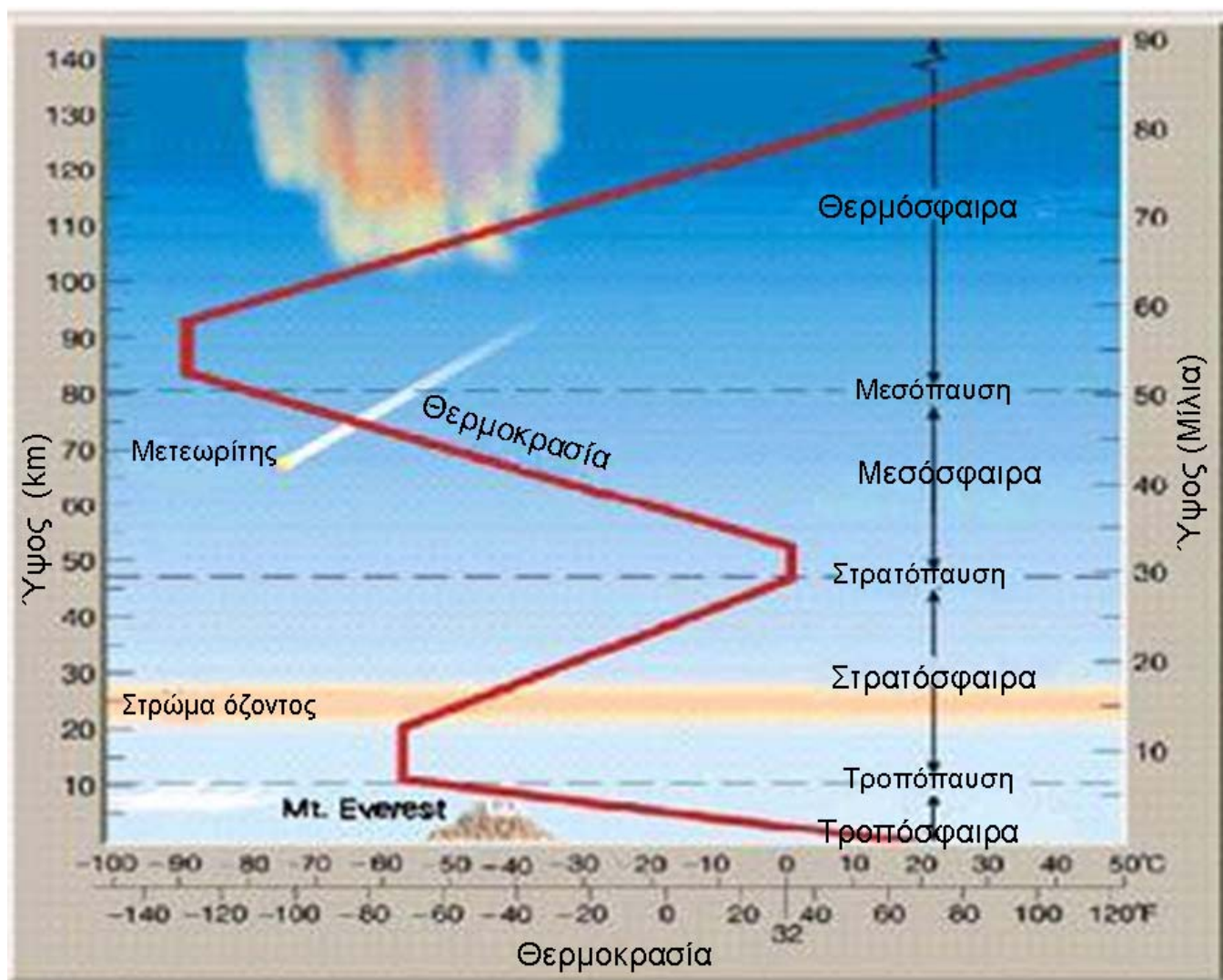
Ατμόσφαιρα ονομάζεται το αέριο τμήμα του πλανήτη, το οποίο τον περιβάλλει και τον ακολουθεί στο σύνολο των κινήσεών του. Στην ατμόσφαιρα της γης οφείλεται η ύπαρξη ζωής με τη σημερινή της μορφή, εφόσον σε αυτήν οφείλονται η απορρόφηση μεγάλου τμήματος της υπεριώδους ακτινοβολίας και η μείωση της διαφοράς των ακραίων διακυμάνσεων των θερμοκρασιών ημέρας - νύχτας. Η σύσταση και η θερμοκρασία του αέριου αυτού μίγματος δεν είναι σταθερές, αλλά μεταβάλλονται σημαντικά ανάλογα με το ύψος. Η πυκνότητα της ατμόσφαιρας ελαττώνεται καθώς

απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της γης έτσι ώστε το 99% σχεδόν του ατμοσφαιρικού αέρα να βρίσκεται στα πρώτα 40 Km (Μελάς, 2008).

Στην Εικόνα 1 φαίνονται τα στρώματα της ατμόσφαιρας. Το πρώτο στρώμα φτάνει έως το ύψος των 10 χιλιομέτρων και είναι η τροπόσφαιρα. Στην τροπόσφαιρα περιέχονται τα 3/4 όλης της μάζας του ατμοσφαιρικού αέρα και σχεδόν όλων των υδρατμών και των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων (aerosols). Τα περισσότερα μετεωρολογικά φαινόμενα όπως νέφη, ομίχλη, βροχή, χαλάζι, κεραυνοί κλπ. εκδηλώνονται σε αυτό το στρώμα. Η τροπόπαυση είναι μια διαχωριστική ζώνη μικρού πάχους και ενώνει την τροπόσφαιρα με το επόμενο στρώμα τη στρατόσφαιρα. Το στρώμα του όζοντος της στρατόσφαιρας προστατεύει τους ζωντανούς οργανισμούς του πλανήτη καθότι απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία στη στρατόσφαιρα έως το μισό του ύψους της (10-20km) παραμένει σταθερή, στη συνέχεια όμως αυξάνει μέχρι τα 48 km όπου και λαμβάνει τιμές μέχρι -90°C περίπου. Το επόμενο στρώμα είναι η στρατόπαυση, μια μικρή διαχωριστική ζώνη που ενώνει την στρατόσφαιρα με την μεσόσφαιρα. Η μεσόσφαιρα είναι το τρίτο στρώμα της ατμόσφαιρας από την επιφάνεια της Γης και εκτείνεται μεταξύ 48 και 82 km. Το ανώτερο όριο της μεσόσφαιρας είναι η μεσόπαυση (τρίτη διαχωριστική ζώνη) με θερμοκρασία από -92°C έως -150°C. Το επόμενο στρώμα είναι η θερμόσφαιρα και εκτείνεται μέχρι 140 km. Η θερμοκρασία στο στρώμα αυτό βρέθηκε να αυξάνει αλματωδώς, αρχίζοντας από -92°C φθάνει μέχρι τους 50°C. Η διαχωριστική ζώνη μεταξύ της θερμόσφαιρας και της εξώσφαιρας ονομάζεται θερμόπαυση, φτάνοντας το ύψος των 800 km. Η εξώσφαιρα είναι το ανώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας που βρίσκεται πάνω από τη θερμόσφαιρα. Αρχίζει από τη θερμόπαυση, δηλαδή από τα 800 km ύψος, και φθάνει στα 2.000 km.



Εικόνα 1. Τα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης και η μεταβολή της θερμοκρασίας.



Η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα δίδεται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Τα αέρια της ατμόσφαιρας. (Πηγή: Seinfeld and Pandis, 1998)

| <b>Αέριο</b>           | <b>Σύμβολο</b>   | <b>% κ.ο.</b> | <b>ppm</b>                         |
|------------------------|------------------|---------------|------------------------------------|
| Αζώτο                  | N <sub>2</sub>   | 78.09         |                                    |
| Οξυγόνο                | O <sub>2</sub>   | 20.94         |                                    |
| Αργό                   | Ar               | 0.93          |                                    |
| Διοξείδιο του άνθρακα  | CO <sub>2</sub>  | 0.037         |                                    |
| Μονοξείδιο του άνθρακα | CO               |               | 0,18                               |
| Νέο                    | Ne               |               | 18                                 |
| Ήλιο                   | He               |               | 5,2                                |
| Μεθάνιο                | CH <sub>4</sub>  |               | 1,72                               |
| Κρυπτό                 | Kr               |               | 1,1                                |
| Υποξείδιο του αζώτου   | N <sub>2</sub> O |               | 0,311                              |
| Μονοξείδιο του αζώτου  | NO               |               | 10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-2</sup> |
| Διοξείδιο του αζώτου   | NO <sub>2</sub>  |               | 10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-2</sup> |
| Αμμωνία                | NH <sub>3</sub>  |               | 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-3</sup> |
| Διοξείδιο του θείου    | SO <sub>2</sub>  |               | 10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-4</sup> |
| Υδρογόνο               | H <sub>2</sub>   |               | 0,58                               |
| Ξένο                   | Xe               |               | 0.09                               |
| Όζον                   | O <sub>3</sub>   |               | 10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-1</sup> |
| Νερό                   | H <sub>2</sub> O |               |                                    |

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα, ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς στα οικοσυστήματα και στα ανόργανα υλικά.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση τα τελευταία 30 χρόνια έχει αναπτύξει παραπάνω από 300 νομοθετικές πράξεις όπου συμπεριλαμβάνονται κυρίως οδηγίες αλλά και κανονισμοί,

αποφάσεις και συστάσεις (European Union Legislation about Air Pollution, 2008). Οι νομοθετικές αυτές πράξεις αποσκοπούν κύρια:

- να προστατευθούν το περιβάλλον ως σύνολο και η ανθρώπινη υγεία,
- να εξαλειφθούν, να προληφθούν ή να μειωθούν οι συγκεντρώσεις επιβλαβών ατμοσφαιρικών ρύπων,
- να καθοριστούν οριακές τιμές ή/και όρια συναγερμού για τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης,
- να είναι συγκρίσιμες οι εκτιμήσεις της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος οι οποίες βασίζονται σε μετρήσεις διενεργούμενες στα κράτη μέλη,
- να καθορισθούν μακροπρόθεσμοι στόχοι όσον αφορά στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως αυτοί καθορίστηκαν από την Οδηγία 96/62/ΕΚ του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 1996 για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος είναι οι εξής:

1. Διοξείδιο του άνθρακα
2. Διοξείδιο του θείου
3. Διοξείδιο του αζώτου
4. Λεπτά σωματίδια όπως οι αιθάλες (περιλαμβανομένου του P.M.10)
5. Αιωρούμενα σωματίδια
6. Μόλυβδος
7. Όζον
8. Βενζόλιο
9. Μονοξείδιο του άνθρακα
10. Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες
11. Κάδμιο
12. Αρσενικό
13. Νικέλιο
14. Υδράργυρος

Η πλέον πρόσφατη οδηγία 2008/50/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη αναθεωρεί προηγούμενες οδηγίες και θα τεθεί σε ισχύ στις 11 Ιουνίου 2010. Τα μέτρα που θεσπίζονται με την οδηγία αυτή έχουν ως στόχο:

1. Τον προσδιορισμό και καθορισμό των στόχων για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος.
2. Την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στα κράτη μέλη βάσει κοινών μεθόδων και κριτηρίων.
3. Τη συγκέντρωση πληροφοριών όσον αφορά στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, ώστε να διευκολυνθεί η καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των οχλήσεων καθώς και η παρακολούθηση των μακροπρόθεσμων τάσεων και βελτιώσεων που προκύπτουν από τα εθνικά και κοινοτικά μέτρα.
4. Την εξασφάλιση της διάθεσης αυτών των πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα του αέρα στο κοινό.
5. Τη διατήρηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, όταν είναι καλή, και τη βελτίωσή της στις άλλες περιπτώσεις.
6. Την προαγωγή μεγαλύτερης συνεργασίας μεταξύ των κρατών μελών σε ό,τι αφορά τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Πρωτογενείς ονομάζονται οι ρύποι που σχηματίζονται στις πηγές ρύπανσης. Οι πρωτογενείς ρύποι ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{Mb}$ , άκαυστοι υδρογονάνθρακες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες,  $\text{CO}$ , καπνός, στάχτη) είναι αποτέλεσμα των καύσεων, ή των χημικών επεξεργασιών, όπως η επεξεργασία αλουμινίου, ανοξειδωτών, γυαλιού, τούβλων, κεραμικών, λιπασμάτων, ή είναι αποτέλεσμα φυσικών εκπομπών. Οι δευτερογενείς ρύποι δημιουργούνται από τη μετατροπή των πρωτογενών ρύπων στην ατμόσφαιρα με την επίδραση του ηλιακού

φωτός. Δευτερογενείς ρύποι είναι το όζον, οξειδία του αζώτου, διάφορες αλδεΐδες και κετόνες, τα PAN (νιτρικά υπεροξυακετύλια) και τα προϊόντα οξείδωσης του θείου (τριοξείδιο του θείου, θειικό οξύ, θειικά άλατα) (Colville, 2002).

Κάθε αέριος ρύπος χαρακτηρίζεται από το χρόνο παραμονής του στην ατμόσφαιρα (Πίνακας 2) ή την ημιπερίοδο ζωής η οποία εξαρτάται από το ρυθμό παραγωγής ή καταστροφής του και από την συνολική κατά μέσο όρο μάζα στην ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα μετράται σε  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ppm, %, v / v .

**Πίνακας 2.** Τυπικοί χρόνοι παραμονής των αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

| Αέριος Ρύπος     | Διάρκεια παραμονής<br>στην ατμόσφαιρα |
|------------------|---------------------------------------|
| CO               | 0,3 μέρες                             |
| NO <sub>2</sub>  | 5 μέρες                               |
| O <sub>3</sub>   | 2 μέρες                               |
| SO <sub>2</sub>  | 5 μέρες                               |
| H <sub>2</sub> S | 4 μέρες                               |
| CH <sub>4</sub>  | 2 χρόνια                              |
| CO <sub>2</sub>  | 4 χρόνια                              |

Η διάρκεια παραμονής ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από το χημικό μετασχηματισμό που περιέχει και το πόσο δυσκολότερη είναι η ξηρή και υγρή απόθεση των ρύπων από τους οποίους προέρχεται.

Όταν επικρατούν υψηλά επίπεδα ρύπανσης έχει επικρατήσει στην καθομιλουμένη να λέγεται ότι έχουμε «Νέφος». Αντίστοιχα στην Αγγλική γλώσσα μιλάμε για SMOG (αιθαλομίχλη). Η λέξη είναι σύνθετη και προέρχεται από τις λέξεις SMOKE (αιθάλη) και FOG (ομίχλη). Η βιομηχανική αιθαλομίχλη προκαλείται σχεδόν αποκλειστικά από την κατανάλωση καυσίμων υλών, ειδικά κάρβουνου, σε στάσιμες πηγές όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας και τα χυτήρια. Τα βασικά συστατικά της βιομηχανικής αιθαλομίχλης είναι τα οξείδια του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Συνδυάζεται συνήθως με υψηλή σχετική υγρασία και συχνά ονομάζεται και νέφος αιθαλομίχλης.

Αντίθετα, η ατμοσφαιρική ρύπανση σε πολλές πόλεις προκαλείται από εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων τα οποία με την παρουσία του ηλιακού φωτός αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας τη φωτοχημική αιθαλομίχλη. Αν και υπάρχει συμβολή από στάσιμες πηγές, η φωτοχημική αιθαλομίχλη συνδέεται κυρίως με εκπομπές από τροχοφόρα. Το νέφος που εμφανίστηκε στις μεγάλες πόλεις ως αποτέλεσμα της αυξημένης κυκλοφορίας αυτοκινήτων προκαλούσε προβλήματα σε ανθρώπους αρχικά ερευνητέας αιτιολογίας. Το 1949 για πρώτη φορά μελετάται το όζον ( $O_3$ ) ως πιθανή αιτία πρόκλησης προβλημάτων σε ανθρώπους και φυτά. Το 1956 διαπιστώνεται η παρουσία των PAN (peroxyacyl nitrates). Σήμερα το  $O_3$  θεωρείται ο πλέον φυτοτοξικός ρύπος στα αναπτυγμένα & αναπτυσσόμενα κράτη.

Οι ανθρωπογενείς αέριοι ρύποι παράγονται κυρίως στα αστικά και βιομηχανικά κέντρα. Μεταφέρονται όμως από την κίνηση των αέριων μαζών όχι μόνο σε γειτνιαζουσες αγροτικές ή δασικές περιοχές αλλά και στις πλέον απομακρυσμένες.

### **2.3. Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων**

Οι αέριοι ρύποι προέρχονται από φυσικές πηγές και από την ανθρωπογενή δραστηριότητα. Θεωρείται ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα. Αυτό οφείλεται στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας και στη μεγάλη πυκνότητα των ανθρωπογενών εκπομπών σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα.

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

1. Τα ηφαίστεια (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).
2. Οι πυρκαγιές δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα).
3. Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).

4. Βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
5. Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια).
6. Τα φυτά και τα δέντρα (κυρίως υδρογονάνθρακες).

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι:

- Βιομηχανικές πηγές (καύσεις, επεξεργασία).
- Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας.
- Μεταφορές.
- Κεντρική θέρμανση.
- Γεωργία

Οι πιο σημαντικές εκπομπές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αφορούν στο **διοξείδιο του άνθρακα** (CO<sub>2</sub>) το οποίο παράγεται από τις καύσεις ορυκτών καυσίμων. Δεν είναι τοξικό αέριο στη συγκέντρωση που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, ούτε στην προβλεπόμενη για τα επόμενα χρόνια, αλλά συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε παγκόσμια κλίμακα οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από 14.520.000 τόνοι (1971) διπλασιάστηκαν σε περίπου, 30.000.000 τόνους το 2000 και υπάρχει αλματώδης αύξηση λόγω της μεγάλης ζήτησης στην παραγωγή ενέργειας από αναπτυσσόμενες χώρες όπως Κίνα, Ινδία, κλπ (Βαλαβανίδης, 2007).

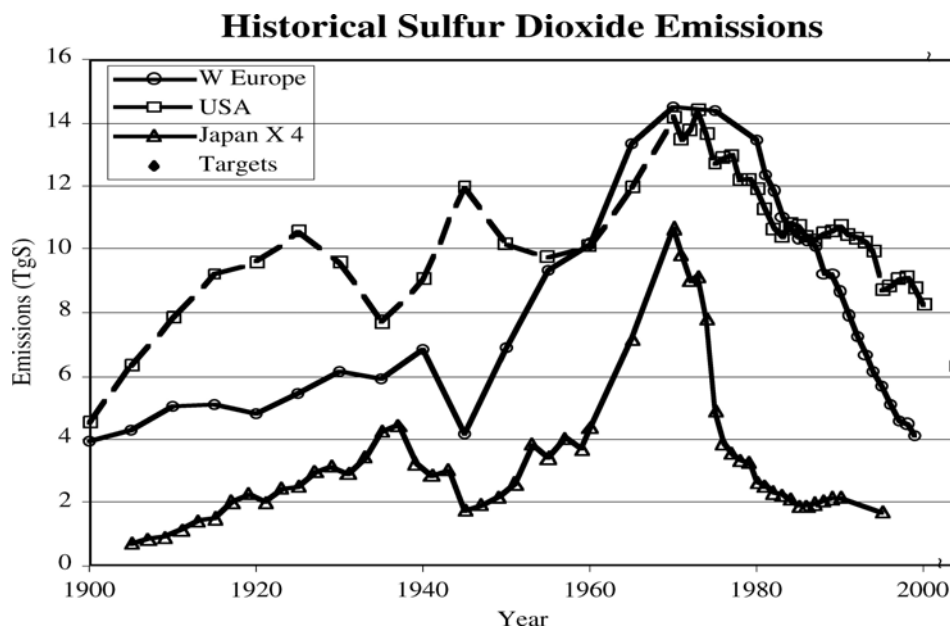
Το **μονοξείδιο του άνθρακα** (CO) είναι εξαιρετικά τοξικό αέριο που παράγεται κατά 70-80% από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Οι εκπομπές του CO από οχήματα και βιομηχανίες υπολογίζονται σε περίπου 200 εκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων το 70% αφορά τις χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, ΟΟΣΑ - οργανισμός των 24 πλέον αναπτυγμένων βιομηχανικών χωρών με έδρα το Παρίσι). Ανάλογες ποσότητες CO παράγονται σε παγκόσμια κλίμακα από τις φωτιές δασών και την καύση βιομάζας (Βαλαβανίδης, 2007).

Το **διοξείδιο του θείου** (SO<sub>2</sub>) είναι αρκετά τοξικός αέριος ρύπος για το φυσικό περιβάλλον και η συμμετοχή του στην κλιματική αλλαγή είναι πλέον αποδεδειγμένη (Smith *et al.*, 2005). Το SO<sub>2</sub> είναι αποτέλεσμα της χρήσης ορυκτών καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, καθώς και των εκπομπών ηφαιστειών. Υπολογίζεται ότι οι

εκπομπές SO<sub>2</sub> στη δεκαετία του '80 ήταν περίπου 100 εκατ. τόνοι, εκ των οποίων το 40% από τις χώρες του ΟΟΣΑ (Βαλαβανίδης, 2007). Με τη βελτίωση των καυσίμων - αποθείωση- οι εκπομπές SO<sub>2</sub> έχουν μειωθεί σημαντικά. Το SO<sub>2</sub> διαλυόμενο σε υδρατμούς δημιουργεί την όξινη βροχή (acid rain).

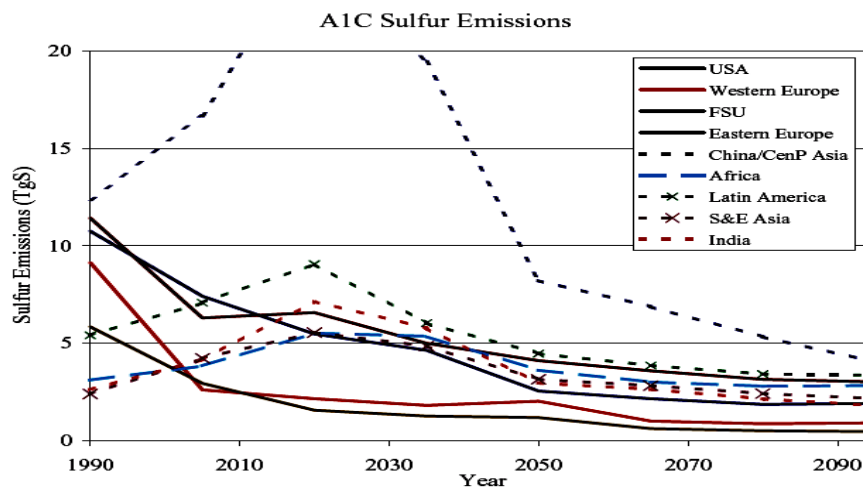
Στο γράφημα 1 που ακολουθηθεί παρουσιάζονται οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου τα έτη 1900-2000 για τις Ηνωμένες Πολιτείες (USEPA, 1996 και 2002), την Ευρώπη (Mylona, 1993 και 1996; European Environment Agency data) και την Ιαπωνία (FCCC, 1998). Για τα αναπτυγμένα κράτη οι ανθρωπογενείς εκπομπές του διοξειδίου του θείου ακολούθησαν στο παρελθόν την ίδια γενική εικόνα δηλ. αυξήθηκαν έως ένα μέγιστο καθώς η εκβιομηχάνιση προχωρούσε και μειώθηκαν στη συνέχεια. Η μείωση αυτή προέκυψε αφενός από τους περιορισμούς που επέβαλε η σχετική νομοθεσία και αφετέρου από την αλλαγή των καυσίμων συμπεριλαμβάνοντας τη μετακίνηση προς την κατανάλωση φυσικού αερίου που είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Ο χρόνος και ο ρυθμός μείωσης των εκπομπών είναι διαφορετικός για κάθε χώρα και περιοχή όπως φαίνεται στο Γράφημα 1. Η δραστικότερη μείωση εκπομπών διοξειδίου του θείου έγινε στην Ιαπωνία. Από ένα μέγιστο εκπομπών 2,7 TgS το 1970 μειώθηκε στο 15% αυτού του ποσού το 1995. Στη Δυτική Ευρώπη έγινε επίσης δραστική μεταβολή στις εκπομπές διοξειδίου του θείου από ένα μέγιστο 15 TgS το 1970 σε 4 TgS το 1999. Οι Ηνωμένες Πολιτείες μείωσαν τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου την ίδια περίοδο αλλά λιγότερο δραστικά και από την Ιαπωνία και από τη Δυτική Ευρώπη.





**Γράφημα 1.** Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου τα έτη 1900-2000 για τις Ηνωμένες Πολιτείες (USEPA, 1996 και 2002), την Ευρώπη (Mylona, 1993 και 1996; European Environment Agency data) και την Ιαπωνία (FCCC, 1998). Στην περίπτωση της Ιαπωνίας έχει χρησιμοποιηθεί διαφορετική κλίμακα (x.4). Στον άξονα της δεξιάς πλευράς σημειώνεται ο στόχος εκπομπών για το 2010 για της Ηνωμένες Πολιτείες (τετράγωνο) και την Ευρώπη (κύκλος).

Η πρόβλεψη για τον επόμενο αιώνα φαίνεται στο Γράφημα 2 (Smith *et al.*, 2005). Σύμφωνα με την ομάδα αυτή των ερευνητών οι εκπομπές του θείου θα μειωθούν τον επόμενο αιώνα. Αυτή η μείωση θα είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των ελέγχων, της υιοθέτησης καινούργιας ηλεκτρικής τεχνολογίας και της αλλαγής της χρήσης του λιθάνθρακα.



**Γράφημα 2.** Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου τον επόμενο αιώνα για διάφορες περιοχές του πλανήτη σύμφωνα με το σενάριο που έχει αναπτυχθεί από τον Smith και τους συνεργάτες του (2005). Η μείωση που προβλέπεται θα είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των ελέγχων, της υιοθέτησης καινούργιας ηλεκτρικής τεχνολογίας και της αλλαγής της χρήσης του λιθάνθρακα.

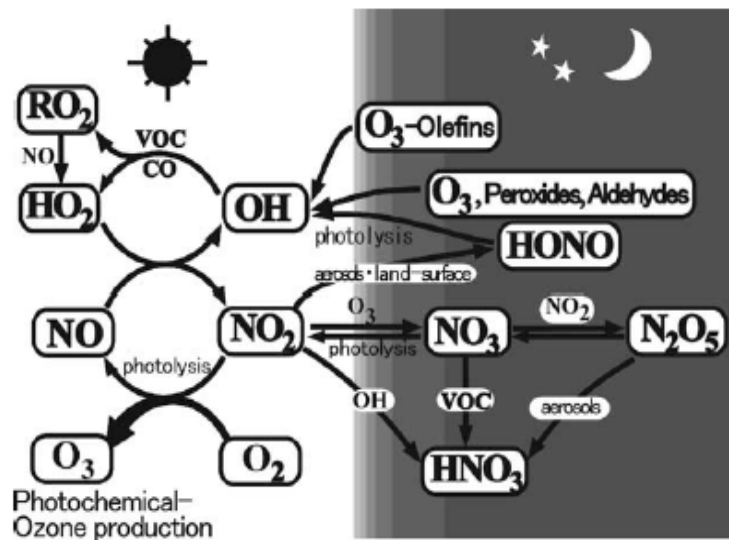
Τα *οξειδία του αζώτου* ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) είναι συνήθως αέριοι ρύποι των καυσαερίων των οχημάτων (40-50%), παράγεται όμως και κατά 50% από διάφορες καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι εκπομπές  $\text{NO}_x$  σε παγκόσμια κλίμακα υπολογίζονται σε 60 εκατ. τόνους (τέλος της δεκαετίας '80), εκ των οποίων το 54% προέρχονται από τις χώρες του ΟΟΣΑ (Βαλαβανίδης, 2007). Τα  $\text{NO}_x$  είναι ένας ακόμη παράγοντας για την παραγωγή όξινης βροχής, ενώ συμβάλλουν μαζί με το  $\text{CO}_2$  και το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) στην έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ειδικά για τα  $\text{NO}_x$  έχει συμφωνηθεί ειδική διεθνής συνθήκη για τον περιορισμό τους.

Τα *αιωρούμενα σωματίδια* (suspended particulates, particulate matter, PM) είναι ποικιλία μικρής διαμέτρου σωματιδίων (από 50 μέχρι 0,1  $\mu\text{m}$ ) από διάφορα υλικά και καύσεις (σκόνη χώματος, σκόνη ελαστικών, ανθρακούχα σωματίδια καύσεων, κλπ) που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα αστικών και βιομηχανικών περιοχών. Το σύνολο των εκπομπών σωματιδίων υπολογίζονται σε 60 εκατ. τόνους (1980) εκ των οποίων το 23% οφείλονται στις χώρες του ΟΟΣΑ (Βαλαβανίδης, 2007).

Ως *πτητικές οργανικές ουσίες* (Volatile Organic Compounds, VOCs) χαρακτηρίζονται κυρίως οι πτητικές αρωματικές ενώσεις (όπως το βενζόλιο, το τολουόλιο, ξυλόλια κλπ) που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Οι πηγές των VOCs είναι οι βιομηχανίες, τα καυσαέρια των οχημάτων, τα πρατήρια υγρών καυσίμων, χρώματα και οικοδομικά υλικά. Αν και το σύνολο των εκπομπών είναι δύσκολο να υπολογισθεί, οι ΗΠΑ εκπέμπουν περίπου 17.580.000 τόνους (1990), η Μ. Βρετανία 2.600.000 τόνους και η Γερμανία 2.545.000 τόνους (Βαλαβανίδης, 2007). Οι VOCs μπορούν να παραμείνουν για 1-2 ημέρες στην ατμόσφαιρα διασπώμενες σε μεγάλη ποικιλία υδρογονανθράκων. Παίζουν σημαντικό ρόλο σε φωτοχημικές αντιδράσεις.

Οι *πολυχλωριωμένες οργανικές ενώσεις* (διοξίνες, διβενζοφουράνια, πολυχλωριωμένα διφαινύλια, PCBs) είναι ατμοσφαιρικοί αέριοι ρύποι που παράγονται από διάφορες καύσεις (καυσαέρια αυτοκινήτων, πυρκαγιές δασών, εκπομπές από υλικά μονώσεων), ή από τη χρήση φυτοφαρμάκων (Βαλαβανίδης, 2007). Τα PCBs χρησιμοποιήθηκαν ως θερμομονωτικά και διηλεκτρικά υγρά σε μετασχηματιστές (πριν από την απαγόρευσή τους το 1985). Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες σε παγκόσμια κλίμακα για τον περιορισμό των πολυχλωριωμένων ουσιών που δεν βιοδιασπώνται στο περιβάλλον και βιοσυσσωρεύονται μέσω της τροφικής αλυσίδας (φυτοφάρμακα, κλπ). Η συνθήκη της Στοκχόλμης για τα POPs (Persistent Organic Pollutants) έχει ως σκοπό τον περιορισμό των χρήσεων και εκπομπών πολυχλωριωμένων ουσιών (έχει δοθεί προτεραιότητα για τον περιορισμό ή απαγόρευση ορισμένων ουσιών: Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane, Heptachlor, Hexachlorobenzene, Mirex, Toxaphene, Polychlorinated Biphenyls, Dioxins, Furans) (Eduijee, 1988, Stockholm Convention on POPs, 1997).

Το *όζον* ( $O_3$ ) της τροπόσφαιρας είναι δευτερογενής ατμοσφαιρικός ρύπος, που παράγεται ως αποτέλεσμα των φωτοχημικών αντιδράσεων μεταξύ υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα. όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.



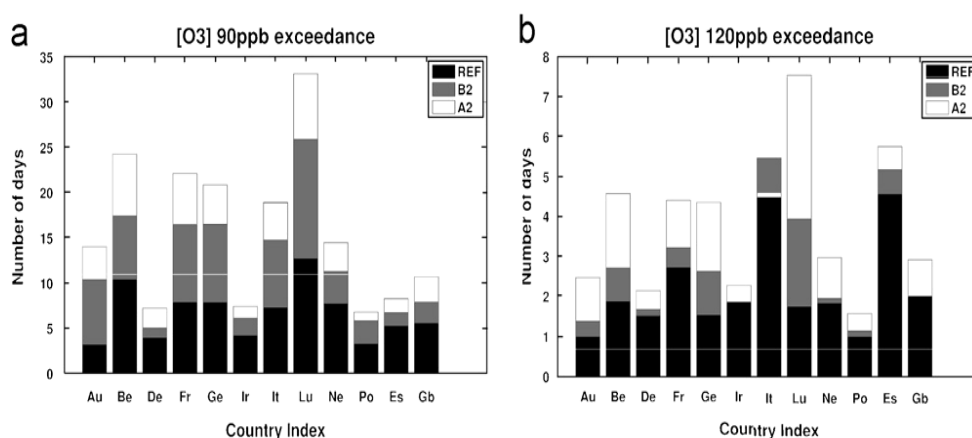
**Εικόνα 2.** Μηχανισμοί παραγωγής όζοντος στην τροπόσφαιρα (Sadanaga *et al.*, 2003).

Το όζον είναι ο κυριότερος ρύπος της φωτοχημικής ρύπανσης των πόλεων και γι' αυτό χρησιμοποιείται ως δείκτης αυτής. Είναι αέριο άχρωμο, με έντονη οσμή (εξού και το όνομα του –όζειν-) και οξειδωτική δράση. Η χρονική κατανομή του ρύπου παρουσιάζει μέγιστο κατά τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες. Το βράδυ, αντίθετα, παρουσιάζονται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις κυρίως λόγω της απουσίας φωτός, και συνεπώς λόγω αδυναμίας παραγωγής όζοντος.

Η συγκέντρωση του όζοντος σε μια περιοχή επηρεάζεται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες και από το επίπεδο των ρύπων που συμμετέχουν στο σχηματισμό του όζοντος. Ο Meleux και οι συνεργάτες του (2007) παρουσίασαν την πρόβλεψη της διαφοροποίησης της συγκέντρωσης του όζοντος στο διάστημα 2071–2100 σε σύγκριση με το διάστημα 1961–1990. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο σενάρια, το σενάριο A2 με προβλεπόμενη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> 850 ppm μέχρι το 2100, και το σενάριο B2 με χαμηλότερη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> περίπου 550 ppm μέχρι το 2100.

Στο Γράφημα 3, με βάση το μοντέλο που έχει υιοθετηθεί από την προαναφερόμενη ομάδα ερευνητών, φαίνεται ο μέσος αριθμός ημερών του καλοκαιριού στη διάρκεια μιας τριακονταετίας που η συγκέντρωση του όζοντος θα ξεπεράσει (a) τα 90 ppb και (b) τα 120 ppb. Το μαύρο χρώμα αναφέρεται στην περίοδο 1961-1990, το γκρι χρώμα και το άσπρο χρώμα αναφέρονται στην περίοδο 2071-2100 κάτω από τα

δύο σενάρια της IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change ) για τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.



**Γράφημα 3.** Ο μέσος αριθμός ημερών του καλοκαιριού στη διάρκεια μιας τριακονταετίας (number of days) που η συγκέντρωση του όζοντος ξεπερνά (a) τα 90 ppb και (b) τα 120 ppb. Το μαύρο χρώμα (REF) αναφέρεται στην περίοδο 1961-1990, το γκρι χρώμα και το άσπρο χρώμα αναφέρονται στην περίοδο 2071-2100 κάτω από δύο σενάρια της IPCC: B2, η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> θα φθάσει στα 550 ppm και A2, η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> θα φθάσει στα 850 ppm. Οι χώρες από αριστερά προς τα δεξιά είναι: Αυστρία (Au), Βέλγιο (Be), Δανία (De), Γαλλία (Fr), Γερμανία (Ge), Ιρλανδία (Ir), Ιταλία (It), Λουξεμβούργο (Lu), Ολλανδία (Ne), Πορτογαλία (Po), Ισπανία (Es) και Ηνωμένο Βασίλειο (Gb). (Meleux *et al.*, 2007)

Οι ερευνητές έδειξαν ότι το μέγιστο και το μέσον της ημερήσιας συγκέντρωσης θα αυξηθούν στη διάρκεια του καλοκαιριού στις 12 Ευρωπαϊκές χώρες που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη τους λόγω αύξησης της θερμοκρασίας και της ηλιοφάνειας. Τα προβλεπόμενα επίπεδα όζοντος της μελέτης είναι παρόμοια με τα επίπεδα που μετρήθηκαν το καλοκαίρι του 2003, ένα εξαιρετικά θερμό και ξηρό καλοκαίρι. Οι μελετητές συμπεραίνουν ότι στις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες το τροποσφαιρικό όζον θα συνιστά πολύ μεγαλύτερο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και τα αγροτικά και φυσικά οικοσυστήματα στην Ευρώπη.

## 2.4. Όξινη βροχή

Ο όρος όξινη βροχή υιοθετείται πρώτη φορά από τον Smith (1872) για να εκφράσει την αλλαγή της οξύτητας του αέρα και των κατακρημνισμάτων. Ένα μέρος από τα εκπεμπόμενα αέρια, όπως το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και τα οξείδια του αζώτου αποτίθενται στις περιοχές κοντά στις πηγές εκπομπής τους, όπου μετατρέπονται σε οξέα καθώς αντιδρούν με το νερό, ιδιαίτερα κατά το σχηματισμό της δρόσου και της πάχνης. Από τα εναπομείναντα αερομεταφερόμενα σωματίδια κάποια μετατρέπονται σε μικρά υδατοδιαλυτά σταγονίδια θειικού οξέος ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) και νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$ ) μέσω μιας πολυσύνθετης σειράς χημικών αντιδράσεων με τη συμμετοχή του ηλιακού φωτός, των υδρατμών και άλλων αερίων.

Τα όξινα αυτά σωματίδια μπορούν να πέσουν αργά στη γη ή να προσκολληθούν στα υδροσταγονίδια των νεφών ή της ομίχλης, δημιουργώντας όξινη ομίχλη. Μπορούν επίσης να αποτελέσουν τους πυρήνες πάνω στους οποίους θα αναπτυχθούν τα σταγονίδια των νεφών, έτσι ώστε με τη βροχή, το χιόνι ή το χαλάζι τα οξέα αυτά να φτάσουν στο έδαφος. Τελικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της οξύτητας της βροχής.

Η βροχή είναι ελαφρώς όξινη από φυσικά αίτια, λόγω της ύπαρξης διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα και σε μικρότερη έκταση λόγω της ύπαρξης χλωρίου (που προέρχεται από την θάλασσα). Το διοξείδιο του άνθρακα, που υπάρχει στον αέρα, διαλύεται στη βροχή κάνοντας τη ελαφρώς όξινη με pH μεταξύ 5,0 και 5,6. Έτσι όξινη θεωρείται η βροχή με pH μικρότερο από ~5,0. Σε κάποιες ακραίες περιπτώσεις έχουν μετρηθεί τιμές pH μικρότερες από 3,0 (ιδιαίτερα σε ομίχλη) αλλά συνήθως οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 4,0 και 4,5.

Υψηλές συγκεντρώσεις όξινης απόθεσης μπορούν να καταστρέψουν φυτά, δέντρα και ολόκληρα οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα ολόκληρα δάση να καταστρέφονται καθώς τα δένδρα δεν αντέχουν το όξινο pH. Ακόμα εξασθενεί το αμυντικό σύστημα πολλών χερσαίων φυτικών οργανισμών, τα υδάτινα οικοσυστήματα όπως τις λίμνες, και τα ποτάμια και προκαλεί διάβρωση του έδαφους και μειώνει τη γονιμότητά του (λόγω μείωσης της δραστηριότητας των εδαφικών μικροοργανισμών), (τα υδάτινα οικοσυστήματα δείχνουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές της οξύτητας). Επίσης η όξινη απόθεση διαβρώνει τα υλικά και καταστρέφει κτίρια και μνημεία σε πολλές πόλεις στον κόσμο.

## 2.5. Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα

Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) με τίτλο «Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικής Εκτίμησης για το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τη Βιομηχανία» (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2007), η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα οφείλεται κυρίως σε βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες, ενώ οι γεωργικές δραστηριότητες συμμετέχουν σε μικρότερο ποσοστό στη συνολική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας.

Σε ότι αφορά στη βιομηχανική ρύπανση, αυτή εντοπίζεται κατά κύριο λόγο σε περιοχές όπου λειτουργούν σταθμοί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή σε περιοχές όπου λειτουργούν μεγάλες βιομηχανικές μονάδες (μεμονωμένες ή συγκεντρωμένες). Κατά συνέπεια οι περιοχές Κοζάνης, Πτολεμαΐδας και Μεγαλόπολης (Εικόνα 3), ως περιοχές παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη, αντιμετωπίζουν πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε σχέση με άλλες ελληνικές περιοχές. Χαρακτηριστικά είναι τα αποτελέσματα πρόσφατης έκθεσης της διεθνούς περιβαλλοντικής οργάνωσης WWF, η οποία καταδεικνύει τα λιγότερο αποδοτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τις μεγαλύτερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στα 25 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σύμφωνα με την έκθεση αυτή, δύο μονάδες ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ, στον Άγιο Δημήτριο Πτολεμαΐδας και την Καρδιά Κοζάνης κατατάσσονται μεταξύ των 30 μεγαλύτερων μονάδων στην Ευρώπη όσον αφορά τις απόλυτες εκπομπές CO<sub>2</sub>. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι οι απόλυτες εκπομπές CO<sub>2</sub> για το 2006 για τις δυο αυτές μονάδες ανέρχονται σε 12,4 και σε 8,8 εκατομμύρια τόνους το έτος αντίστοιχα (με τη μεγαλύτερη σε απόλυτες εκπομπές CO<sub>2</sub> τη μονάδα στο Belchatow στην Πολωνία με 30,1 εκ. τόνους ετησίως). Οι δύο μονάδες αυτές μάλιστα, κατατάσσονται ως οι δύο πιο βρώμικες (από τις 30) της Ευρώπης όσον αφορά στις σχετικές εκπομπές CO<sub>2</sub> σε σχέση με την ισχύ ρεύματος που παράγουν, αφού σύμφωνα με την έρευνα αυτή της WWF εκπέμπουν 1.350 και 1.250 g CO<sub>2</sub>/kWh.



**Εικόνα 3.** Οι καμινάδες από το εργοστάσιο της ΔΕΗ στη Μεγαλόπολη Αρκαδίας μολύνουν πολύ πάνω από το επιτρεπόμενο όριο την ατμόσφαιρα (Πηγή: physics 4u, 2008).

Εκτός από την παραγωγή ενέργειας, πηγές βιομηχανικής ρύπανσης αποτελούν και οι βιομηχανικές μονάδες, οι οποίες κατά κύριο λόγο βρίσκονται συγκεντρωμένες κοντά στα μεγάλα αστικά κέντρα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, κ.ά.). Οι υψηλότερες εκπομπές αέριων ρύπων προκύπτουν από τα διυλιστήρια και την παραγωγή χημικών και φυτοφαρμάκων. Τέλος, ιδιαίτερα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντοπίζονται και σε ορισμένες βιομηχανικές περιοχές, όπως είναι οι περιοχές Οινοφύτων-Σχηματαρίου, Αγ. Θεοδώρων και Καβάλας.

Από την άλλη πλευρά, η αστική ρύπανση αφορά στις πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές όπου οι κύριες πηγές ρύπανσης εντοπίζονται στην κυκλοφορία των οχημάτων (μεγάλο πλήθος οχημάτων, κακές κυκλοφοριακές συνθήκες, ανεπάρκεια ή έλλειψη μέσων μαζικής μεταφοράς), τις περιοχές των μεγάλων λιμανιών και κατά δεύτερο λόγο στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης.

Τελικά, οι βασικοί αέριοι ρύποι που εντοπίζονται στην ατμόσφαιρα της Ελλάδας, ως αποτέλεσμα αστικής, βιομηχανικής και γεωργικής ρύπανσης, αλλά και των μεταφορών, παρουσιάζονται παρακάτω:

SO<sub>x</sub>: οι εκπομπές αυτών προέρχονται κατά το 70% περίπου από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, το 17% από τη βιομηχανία και το 9% από τις μεταφορές.



NO<sub>x</sub>: το 48% αυτών προέρχεται από τις μεταφορές, το 20% από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας και το 15% από τη βιομηχανία .

Μη Μεθανιούχες Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (NMVOCs): για το 59% των εκπομπών αυτών ευθύνονται οι μεταφορές, για το 13% η χρήση διαλυτών, για το 11% η γεωργία, ενώ για το 10% άλλες πηγές μεταξύ των οποίων και τα απόβλητα.

Μονοξείδιο του άνθρακα CO: Το 71% των εκπομπών οφείλεται στις μεταφορές, ενώ το 17% οφείλεται στον εμπορικό και οικιακό τομέα.

Διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>: η πλειοψηφία των εκπομπών αυτών προέρχεται από την χρήση ενέργειας (92%) και οι υπόλοιπες από βιομηχανικές διαδικασίες. Σε ότι αφορά στις εκπομπές από τη χρήση ενέργειας αυτές οφείλονται στην παραγωγή ενέργειας (55%), τις μεταφορές (21%), τη βιομηχανία (12%) και σε άλλες σταθερές πηγές (12%).

Μια επιπλέον πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, μικρότερης όμως έντασης, αποτελεί και η γεωργία. Οι εκπομπές από τη γεωργία θεωρούνται κυρίως ως διάχυτες πηγές ρύπανσης, και προέρχονται κυρίως από τις εξής δραστηριότητες:

- καύσεις στη γεωργία ,αλιεία και δασοπονία
- διαχείριση της κοπριάς
- καλλιέργειες
- γεωργικά εδάφη
- καύση των αγροτικών αποβλήτων στους αγρούς.

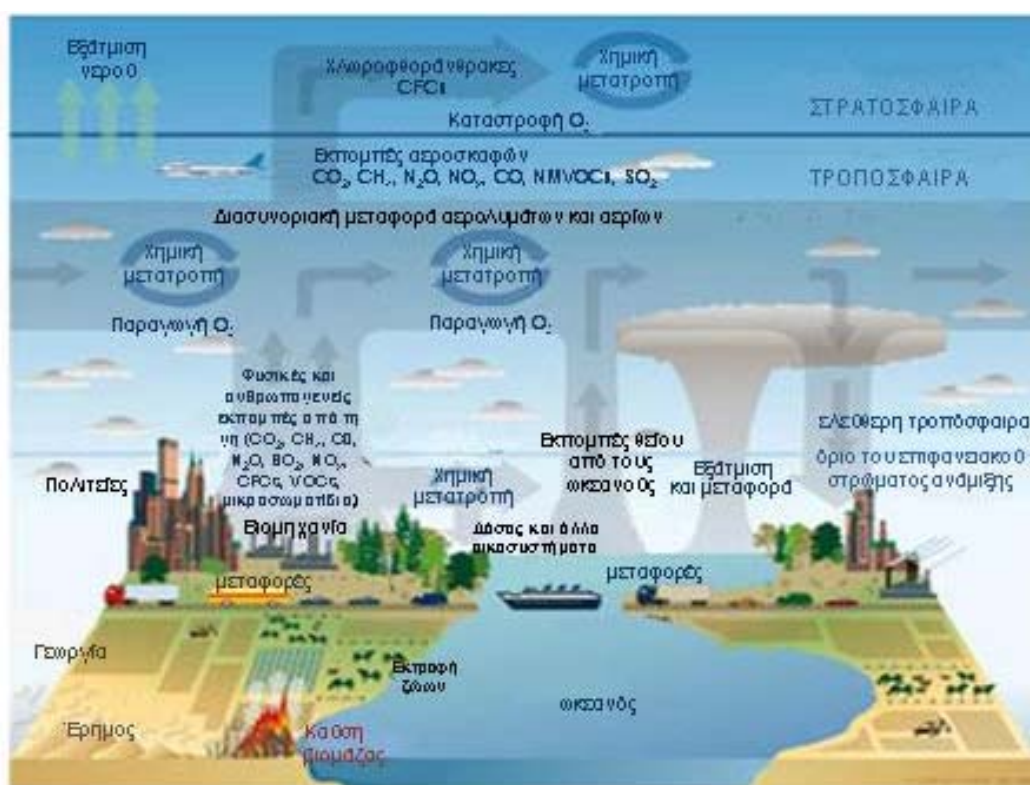
Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία από την Ευρωπαϊκή Ένωση η Ελλάδα κατά το 2003 μεταξύ άλλων είχε εκπομπές από τις γεωργικές δραστηριότητες περί τους 160.000 τόνους Μεθανίου (CH<sub>4</sub>) σε ένα σύνολο 9.460.000 τόνων όλης της Ευρωπαϊκής Ένωσης και 3.130.000 τόνους CO<sub>2</sub> σε ένα σύνολο 62.400.000 τόνων της ΕΕ (E-PRTR, 2008).

Επίσης προβλήματα ρύπανσης στην ατμόσφαιρα από τη γεωργική δραστηριότητα ενδέχεται να παρουσιαστούν στις περιοχές όπου παρατηρείται αυξημένη χρήση παρασιτοκτόνων, με την έκπλυση ή τη διάχυση του ψεκαστικού διαλύματος και τη μεταφορά από τον άνεμο σε απομακρυσμένες περιοχές. Για παράδειγμα, αυτό παρατηρείται στους χώρους εργασίας των καλλιεργητών (αποθήκες, θερμοκήπια, κλπ.), κατά τη διάρκεια των απεντομώσεων και τον έλεγχο των τρωκτικών, οπότε χρησιμοποιούνται ουσίες υπό μορφή αερίων ή ατμών.

## 2.6 Μεταφορά ρύπων και μετατροπές στην ατμόσφαιρα

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν περιορίζεται στην περιοχή όπου εκπέμπονται οι αέριοι ρύποι, αλλά έχει επιπτώσεις και στις γειτονικές χώρες με τη διασυνοριακή μεταφορά. Για τον περιορισμό και έλεγχο της διασυνοριακής ρύπανσης έχουν υπογραφεί διεθνείς συμβάσεις. Στην Ευρώπη από το 1979 έχει υπογραφεί η Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (LRTAP) και ελέγχεται με το πρόγραμμα EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollution in Europe).

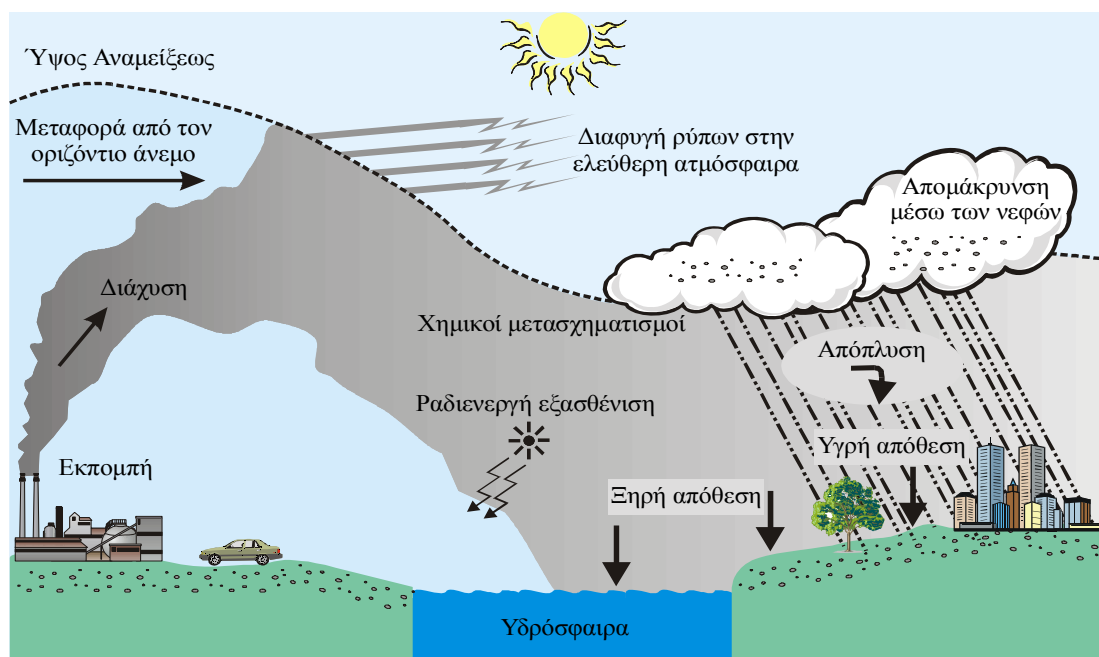
Μια ποικιλία ατμοσφαιρικών μηχανισμών είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά και



μετασχηματισμό των αέριων ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα (Εικόνα 2.6).

**Εικόνα 2.6.** Απεικόνιση των εκπομπών, της μεταφοράς και της χημικής μετατροπής των συστατικών της ατμόσφαιρας. Οι διαδικασίες που απεικονίζονται συνδέουν την ατμόσφαιρα με άλλα γήινα συστήματα όπως των ωκεανών και των χερσαίων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η αρχική ανύψωση του θύσανου έχει πολύ μεγάλη σημασία στην ποιότητα του αέρα της περιοχής γιατί μπορεί να αυξήσει το ενεργό ύψος της καμινάδας με ένα παράγοντα 2 έως 10 φορές το κατασκευαστικό ύψος της καμινάδας. Η μεταφορά και η διακύμανση των ρύπων διαφέρει από τις επικρατούσες συνθήκες.



**Εικόνα 2.7.** Εμφανίζονται σχηματικά οι διαδικασίες τις οποίες συντελούν για την διασπορά των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από μία καμινάδα

**α.** Οι αέριοι ρύποι όταν αφήνουν την καμινάδα είναι κατά κανόνα θερμότεροι από τον περιβάλλοντα αέρα Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο θύσανος να ανυψώνεται μέχρι ενός ορισμένου ύψους.. Το ύψος στο οποίο γίνεται η εκπομπή των καυσαερίων έχει μεγάλη επίπτωση στην ποιότητα του αέρα της περιοχής γιατί οι συγκεντρώσεις στο έδαφος μειώνονται σημαντικά όσο αυξάνεται το ύψος στο οποίο καταλήγουν οι ρύποι. Μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιείται για την μείωση της τοπικής ρύπανσης είναι η αύξηση του ύψους εκπομπής των καυσαερίων (π.χ. αυξάνοντας το κατασκευαστικό ύψος της καμινάδας.

β. Στις περιπτώσεις που η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ χαμηλή (άπνοια) οι συνθήκες διασποράς είναι άσχημες και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίου ρύπανσης σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα εκπομπών. Τέτοιες συνθήκες εμφανίζονται συνήθως κοντά στο κέντρο αντικυκλωνικών συστημάτων (Μελάς 2008).

γ. Οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα (τυρβώδεις στρόβιλοι) είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και την διακύμανση του θυσάνου, με τελικό αποτέλεσμα την αραίωση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διάχυση. Η κλίμακα και η ένταση της αραίωσης εξαρτώνται από τον βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας. Σε συνθήκες ευστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη διάχυση γίνεται αργά ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η διάχυση πολύ έντονη.

δ. Κατά τον χρόνο της παραμονής τους στην ατμόσφαιρα οι ρύποι υφίστανται διάφορους χημικούς μετασχηματισμούς που οφείλεται ότι οι περισσότεροι ρύποι είναι χημικώς ασταθείς, που παρουσιάζονται συνεχείς αντιδράσεων είτε μεταξύ τους είτε με τα συστατικά της καθαρής ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα παίρνει ένα αποτελεσματικό ρόλο των αντιδράσεων του εργαστηρίου, μέσα στο οποίο διοχετεύονται χημικά ενεργά συστατικά με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αριθμού καινούργιων ουσιών. ». Αποτέλεσμα τέτοιων χημικών αντιδράσεων μπορεί να είναι, ότι άλλοι ρύποι λιγοστεύουν ενώ άλλοι εξαφανίζονται, αυξάνονται ή δημιουργούνται. Κλασσικό παράδειγμα είναι ο χημικός μετασχηματισμός των οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub> (NO και NO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα, που μετά από λίγες ημέρες όλο το μονοξείδιο του αζώτου (NO) έχει μεταβληθεί σε διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>).

στ. Η μεταφορά των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος ονομάζεται απόθεση, ξεχωρίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους απόθεσης:

I. Βαρυτική καθίζηση ονομάζεται η πτώση λόγω βαρύτητας των σχετικά μεγάλων και βαρέων σωματιδίων.

II. Ξηρή απόθεση υφίστανται τα μικρά σωματίδια και οι αέριοι ρύποι τα οποία ακολουθούν αδρανώς τις κινήσεις του αέρα και κατακρατούνται, όταν έρθουν σε επαφή, από την υποκείμενη επιφάνεια

III. Υγρή απόθεση λαμβάνει χώρα σε περίπτωση υετού οπότε μπορούν να συμβεί κάποιο από τα παρακάτω ενδεχόμενα: Είτε σάρωση των ρύπων οι οποίοι

βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από την βροχή ή το χιόνι (απόπλυση) είτε πρόσληψη των ρύπων σε ένα προηγούμενο στάδιο από τα μικρά σταγονίδια του νέφους, τα οποία αργότερα ενώνονται μεταξύ τους φτιάχνοντας σταγόνες βροχής.

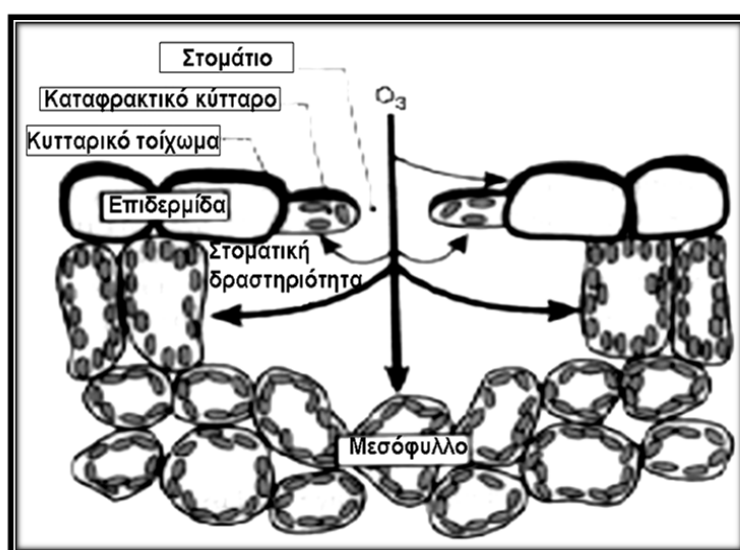
Σε κάθε περίπτωση είναι πολύ σημαντικό όταν μελετάμε τους αέριους ρύπους και τις επιπτώσεις τους να ξεχωρίσουμε από την μία την αέρια ρύπανση και τις επιπτώσεις της. Ο λόγος για τον οποίο είναι τόσο σημαντικός αυτός ο διαχωρισμός είναι ότι οι επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης είναι περισσότερο τοπικό πρόβλημα και οι επιδράσεις είναι συνήθως μεγαλύτερες στις περιοχές κοντά στην πηγή της ρύπανσης. Από την άλλη πλευρά, η επίδραση της απόθεσης εξαπλώνεται σε πολλές εκατοντάδες ή χιλιάδες χιλιόμετρα.

### **3. Επιπτώσεις των αέριων ρύπων στους φυτικούς οργανισμούς**

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα στοιχεία έρχονται να αποδείξουν ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών και τη βιοποικιλότητα. Στην Ευρώπη, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών στα πλαίσια της UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) ίδρυσε το 1983 τη Σύμβαση για την Διασυνοριακή Μεταφορά των Ρύπων της Ατμόσφαιρας (CLRTAP; Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) με σκοπό την εκτίμηση του κινδύνου σε πανευρωπαϊκό επίπεδο και τη θέσπιση σχετικής νομοθεσίας ή την αναθεώρηση της υπάρχουσας με τελικό στόχο να περιοριστούν οι εκπομπές ρύπων που συνιστούν σημαντικό πρόβλημα.

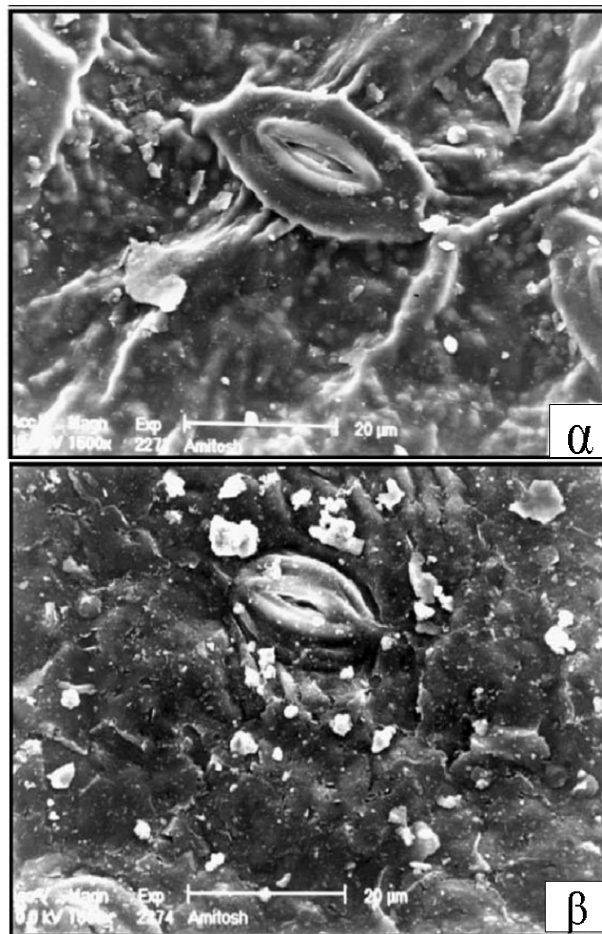
Η αρνητική επίδραση των ρύπων στα φυτά προκύπτει είτε από την εναπόθεση των ρύπων πάνω στα φυτά είτε κυρίως από την είσοδο των ρύπων στο εσωτερικό των φύλλων και την επίδραση στη λειτουργία των βιολογικών συστημάτων των φυτών. Αποτελέσματα αυτών των επιδράσεων μπορεί να είναι ορατά συμπτώματα (χλωρώσεις και ξηράνσεις στα φύλλα ή ανασχεση της ανάπτυξης και της παραγωγής, επιταχυνόμενη γήρανση ή ακόμη και θάνατος. Οι αέριοι ρύποι περνούν στο εσωτερικό του φύλλου από

τα στομάτια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4 στην περίπτωση του όζοντος. Η ευκολία της εισαγωγής εκφράζεται από την στοματική αγωγιμότητα (gs) και η ροή προς το εσωτερικό είναι ανάλογος της στοματικής αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης του ρύπου. Η αντίδραση των φυτών εξαρτάται από γενετικούς, κλιματικούς και εδαφικούς παράγοντες. Μερικά είδη φυτών έχουν αποδειχθεί περισσότερο ικανά από άλλα να ανέχονται υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης και αυτό αποδίδεται στους μηχανισμούς αποτοξίνωσης των φυτών.



**Εικόνα 4.** Εισαγωγή όζοντος στο εσωτερικό του φύλλου.

Μελέτες έχουν δείξει ότι το μέγεθος και η συχνότητα του ανοίγματος των στοματίων επηρεάζεται επιπλέον από τη μόλυνση της ατμόσφαιρας (Verma and Singh, 2006). Οι ερευνητές ανέπτυξαν φυτά των ειδών *Ficus religiosa* L. και *Thevetia nerifolia* L., σε περιοχές με υψηλότερα και σε περιοχές με χαμηλότερα επίπεδα ρύπανσης. Το μέγεθος των στοματίων στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε περιοχές με υψηλή μόλυνση μειώθηκε κατά 70% (Εικόνα 5) περίπου ενώ κατά 50% αυξήθηκε η πυκνότητα των στοματίων στην επιφάνεια των φύλλων. Εμφανίστηκαν επίσης αλλαγές στα καταφρακτικά κύτταρα, όπως π.χ. σχίσσιμο στην περιφέρεια, οι οποίες αποδόθηκαν στην υψηλότερη μόλυνση της περιοχής.



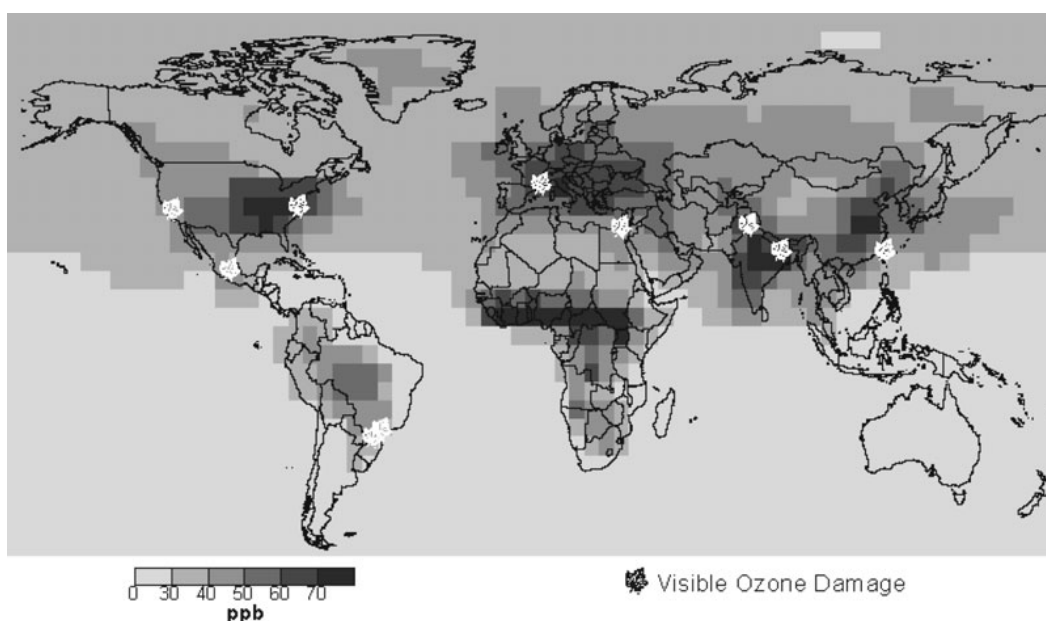
**Εικόνα 5.** Φωτογραφίες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του *Thevetia perifolia* (α) στομάτια φυτών ανεπτυγμένα σε περιοχές με χαμηλή μόλυνση και (β) στομάτια φυτών ανεπτυγμένα σε περιοχές με υψηλή μόλυνση (Verma and Singh, 2006)

### 3.1. Επιδράσεις του όζοντος

Το τροποσφαιρικό όζον είναι ο πλέον τοξικός ατμοσφαιρικός ρύπος για τα φυτά. Σύμφωνα με τον Ashmore και τους συνεργάτες του (2005), τα επίπεδα του όζοντος στην τροπόσφαιρα είναι αρκετά υψηλά ώστε να προκαλέσουν μείωση στην αγροτική παραγωγή και να οδηγήσουν αλλαγές στη βιοποικιλότητα.

Οι πρώτες ζημιές από το όζον στα φυτά καταγράφηκαν τη δεκαετία του 1950 στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Σήμερα ζημιές από όζον έχουν καταγραφεί στην Ευρώπη, στην Αμερική και στην Ασία. Στην Εικόνα 6 εμφανίζονται οι περιοχές που συγκεντρώνουν υψηλά ποσοστά όζοντος στον πλανήτη. Η συγκέντρωση του όζοντος

έχει υπολογιστεί με βάση τις εκπομπές του 1990 και τη χρήση του τρισδιάστατου μοντέλου ατμοσφαιρικής χημείας του Collins και των συνεργατών του (2000). Το φύλλο δείχνει τις περιοχές όπου έχουν καταγραφεί ορατά συμπτώματα και έχουν επαρκώς τεκμηριωθεί ζημιές από όζον σε φυτικούς οργανισμούς.



**Εικόνα 6.** Η μέση συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος στον πλανήτη στη διάρκεια της περιόδου της μέγιστης ανάπτυξης των καλλιεργειών. Η συγκέντρωση του όζοντος έχει υπολογιστεί με βάση τις εκπομπές του 1990 και τη χρήση του τρισδιάστατου μοντέλου ατμοσφαιρικής χημείας του Collins και των συνεργατών του (2000). Το φύλλο δείχνει τις περιοχές όπου έχουν καταγραφεί ορατά συμπτώματα και έχουν επαρκώς τεκμηριωθεί ζημιές από όζον σε φυτικούς οργανισμούς (Ashmore, 2005).

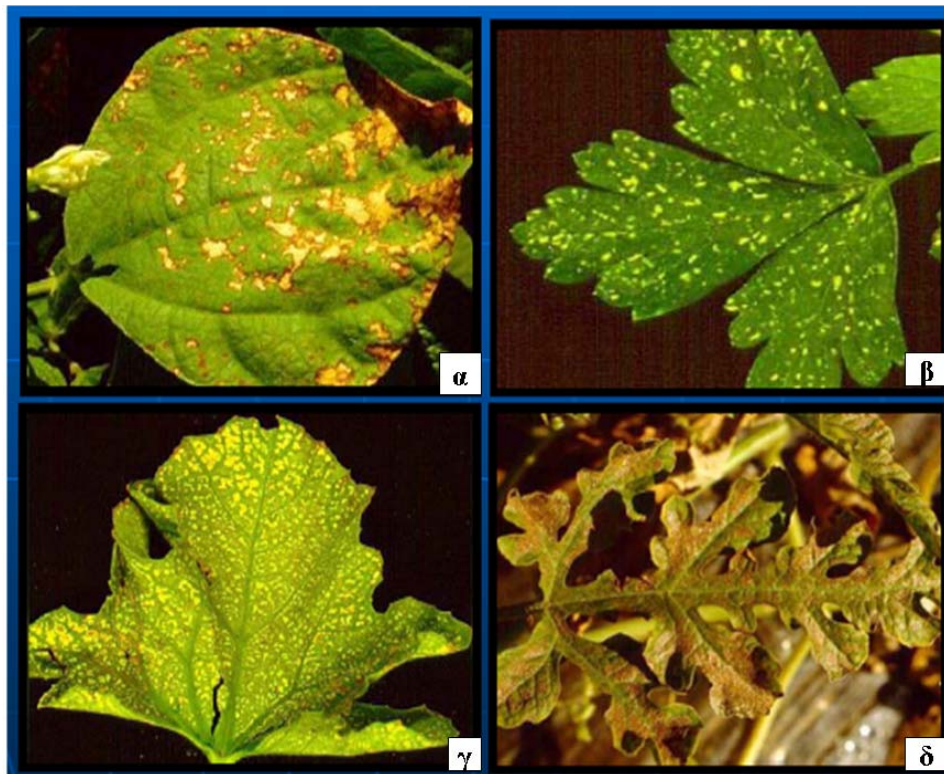
Η εκτίμηση της ζημιάς των καλλιεργούμενων φυτών από το όζον απαιτεί το συνδυασμό των συγκεντρώσεων του όζοντος με τις σχέσεις μεταξύ της έκθεσης στο όζον και τη μείωση της παραγωγής και στη συνέχεια υπολογισμό της οικονομικής ζημιάς. Στη Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη έχουν υπολογισθεί οι σχέσεις έκθεσης-παραγωγής από επιστημονικές μελέτες για μια σειρά ετήσιες καλλιέργειες. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών έχουν χρησιμοποιηθεί αφενός για την τεκμηρίωση κρίσιμων επιπέδων και σταθερών ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και αφετέρου για την εκτίμηση της οικονομικής ζημιάς που προκαλείται από την έκθεση στο ρύπο



(Goumenaki *et al.*, 2007). Η εκτίμηση της ζημιάς στις καλλιέργειες έχει δώσει για τις ΗΠΑ ζημιές του ύψους των 2-4 δισεκατομμυρίων δολαρίων ετησίως και 4 δισεκατομμύρια ευρώ στην Ευρώπη. Σε παγκόσμιο επίπεδο έχει υπολογισθεί ότι η ζημιά στην παραγωγή δημητριακών έφθασε από 9-35% το 1985 και ότι θα φθάσει το 30-75% το 2025 αν οι εκπομπές NOx συνεχισθούν με τους σημερινούς ρυθμούς. Η Ασία βρίσκεται σε κίνδυνο περισσότερο από κάθε άλλη περιοχή του κόσμου λόγω της δραματικής αύξησης των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων (Ashmore, 2005).

Οι επιδράσεις του όζοντος διακρίνονται σε οξεία, όταν η συγκέντρωση βρίσκεται μεταξύ 120 και 500 ppb και διαρκεί για λίγες ώρες, και σε χρόνια όταν η συγκέντρωση βρίσκεται μεταξύ 40 και 120 ppb και διαρκεί ίσως για λίγες ημέρες. Στην περίπτωση της οξείας επίδρασης στους ευαίσθητους δέκτες προκαλείται ανεξέλεγκτος θάνατος κυττάρων ή άλλες αλλαγές που κατά ένα μέρος μιμούνται τις αντιδράσεις στα παθογόνα. Στην περίπτωση της χρόνιας τοξικότητας προκαλείται προγραμματισμένος θάνατος κυττάρων, επιταχυνόμενη γήρανση, εισαγωγή βιοχημικών συστημάτων για την αντιμετώπιση των ενεργών ριζών οξυγόνου (δημιουργούνται με την εισαγωγή του όζοντος στον αποπλάστη των κυττάρων, ως προϊόντα αντίδρασης του O<sub>3</sub> με το H<sub>2</sub>O) και αλλαγές των κυτταρικών δομών.

Το όζον εισχωρεί στο εσωτερικό των κυττάρων από τα στομάτια. Η ευκολία εισαγωγής εκφράζεται από τη στοματική αγωγιμότητα. Η ροή προς το εσωτερικό είναι ανάλογος της στοματικής αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης του O<sub>3</sub>. Τα κύτταρα της επιδερμίδας αισθάνονται το όζον αλλά στις συνήθεις συγκεντρώσεις δεν υπάρχει ζημιά σε αυτά. Η επαφή του όζοντος με τα κύτταρα του μεσοφύλλου μπορεί να προκαλέσει το θάνατο των κυττάρων (φαίνεται ως χλωρωτικές και στη συνέχεια νεκρωτικές κηλίδες, (Εικόνα 7 και 8) ή οξειδωτική έκρηξη.



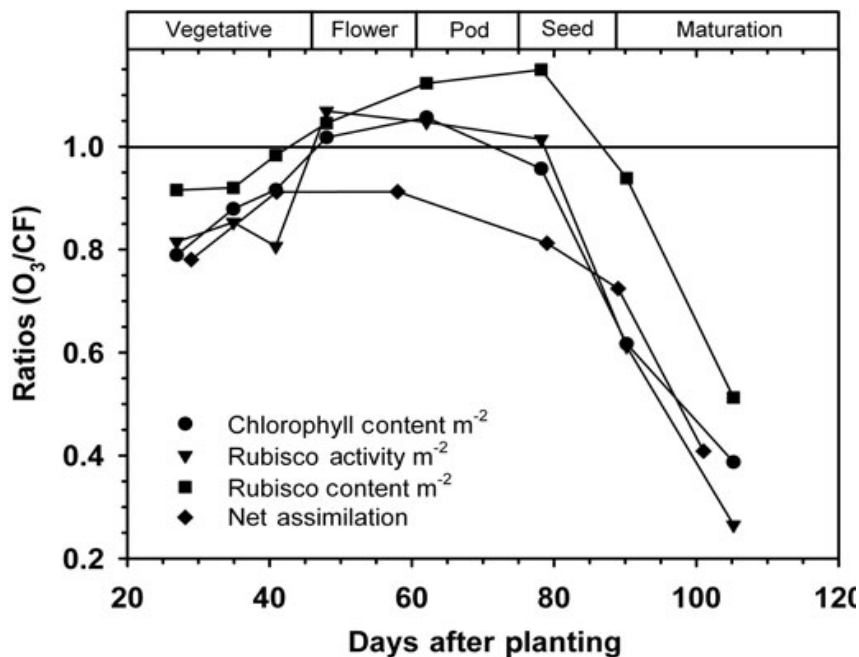
**Εικόνα 7.** Χλωρωτικές ή νεκρωτικές κηλίδες αποτέλεσμα οξείας ή χρόνιας τοξικότητας από τροποσφαιρικό όζον σε φύλλα, (α) φασολιάς, (β) σέλινου, (γ) πεπονιάς και (δ) καρπουζιάς



**Εικόνα 8.** Χλωρωτικές ή νεκρωτικές κηλίδες αποτέλεσμα χρόνιας τοξικότητας από τροποσφαιρικό όζον σε φύλλα μαρουλιού (Φωτογραφία Ε. Γουμενάκη).

Στον αποπλάστη των κυττάρων ο χρόνος ημιζωής του O<sub>3</sub> υπολογίζεται σε 1 ώρα (pH 5,0-6,5). Το O<sub>3</sub> αντιδρά στο υδάτινο περιβάλλον του αποπλάστη και τα προϊόντα της αντίδρασης είναι ενεργές ρίζες οξυγόνου (AOS, Active Oxygen Species). Στην απειλούμενη καταστροφή των βιολογικών συστημάτων το κύτταρο αμύνεται με τα αντιοξειδωτικά ένζυμα, τα αντιοξειδωτικά μικρού βάρους και τους δευτερογενείς μεταβολίτες που υπάρχουν σε αυτό το κυτταρικό διαμέρισμα, ανάγοντας τις οξειδωτικές ρίζες. Μέχρι σήμερα θεωρείται ότι ούτε το O<sub>3</sub> ούτε οι παραγόμενες οξειδωτικές ρίζες περνούν την πρωτοπλάσματική μεμβράνη. Όμως η αλλαγή του οξειδοαναγωγικού δυναμικού σηματοδοτεί οξειδωτική έκρηξη στο εσωτερικό του κυττάρου που καταλήγει σε αλλαγές της έκφρασης των γόνων ή/και οξείδωση των πρωτεϊνών ή ακόμη παραπέρα στην ενεργοποίηση των μηχανισμών άμυνας των κυττάρων (αντιδράσεις υπερευαισθησίας και συστηματική επίκτητη αντοχή) (Long and Naidu, 2002).

Τα φυτικά είδη και ακόμη οι ποικιλίες επιδεικνύουν μεγάλες διαφορές ευαισθησίας στην έκθεση τους στο όζον της τροπόσφαιρας. Οι διαφορές αυτές οφείλονται πιθανότατα σε διαφορές αντίδρασης βιοχημικών και μοριακών μηχανισμών. Σε αυτούς περιλαμβάνονται η μεταφορά ηλεκτρονίων και η ομοιόσταση των καταφρακτικών κυττάρων των στοματικών πόρων, η δέσμευση του ανόργανου άνθρακα μέσω της επίδρασης στην ενεργότητα του Rubisco (καρβοξυλάση-οξυγενάση της 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης) (Γράφημα 4) και η μεταφορά των προϊόντων της φωτοσύνθεσης (Fiscus *et al.*, 2005).



**Γράφημα 4.** Η ποσότητα (Rubisco content) και η ενεργότητα (Rubisco activity) του Rubisco, η καθαρή φωτοσύνθεση (net assimilation) και η ποσότητα της χλωροφύλλης (chlorophyll content) σε φύλλα φυτών σόγιας (ποικιλία Essex) που έχουν εκτεθεί σε φιλτραρισμένο αέρα (CF) και σε O<sub>3</sub> 75 nmol mol<sup>-1</sup>, για 12 ώρες την ημέρα, σε πείραμα υπαίθριων ανοικτών θαλάμων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως η αναλογία O<sub>3</sub>/CF των μεταβλητών (δεδομένα μετρήσεων από φυτά που αναπτύχθηκαν σε αέρα με όζον 75 nmol mol<sup>-1</sup> / δεδομένα μετρήσεων από φυτά που αναπτύχθηκαν σε φιλτραρισμένο αέρα). Στην πάνω πλευρά του γραφήματος εμφανίζονται τα διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών (βλαστική φάση (vegetative), άνθιση (flower), εμφάνιση λοβών (pod), σχηματισμός σπερμάτων (seed), ωρίμανση (maturation) (Fiscus *et al.*, 2005).

Σε πρόσφατες έρευνες αποδεικνύεται ότι πέραν από τις άμεσες ζημιές του όζοντος στα καλλιεργούμενα φυτά ο ρύπος επίσης μειώνει την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (Fagnano and Maggio, 2008). Επιπλέον αυτό θα μπορούσε να λειτουργήσει προσθετικά με άλλους παράγοντες που ήδη επηρεάζουν την αγροτική παραγωγή (π.χ. οικονομική αειφορία και επιδράσεις της αλλαγής του κλίματος που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του διαθέσιμου νερού, ιδιαίτερα σε ξηροθερμικές περιοχές). Συνεπώς το όζον θα μπορούσε να συμβάλει στην εγκατάλειψη της γεωργικής δραστηριότητας με οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες (αύξηση της εγκατάλειψης αγροτικών περιοχών και της αστικοποίησης) και υποβάθμιση της ποιότητας του τοπίου

με δεδομένο ότι στην Ευρώπη των 27 το 47% της καλυμμένης επιφάνειας αποτελούν οι καλλιέργειες και οι βοσκότοποι. Επιπλέον το όζον συμβάλλει στη μείωση των απωλειών άνθρακα και της επιστροφής του άνθρακα στο έδαφος. Η αύξηση της οξειδωτικής ικανότητας της ατμόσφαιρας μπορεί επίσης να αυξήσει την οξείδωση της οργανικής ουσίας του εδάφους και να αυξήσει τις εκπομπές του CO<sub>2</sub> από το έδαφος. Το όζον επίσης μπορεί να επηρεάσει τη μόλυνση των υπόγειων υδάτων με νιτρικά αφού μειώνει την αύξηση των καλλιεργούμενων φυτών και συνεπώς την πρόσληψη του N από το έδαφος. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι επίσης η μείωση της αναλογίας C/N στα φυτικά υπολείμματα και συνεπώς η μείωση του ρυθμού χουμοποίησης της οργανικής ουσίας στο έδαφος.

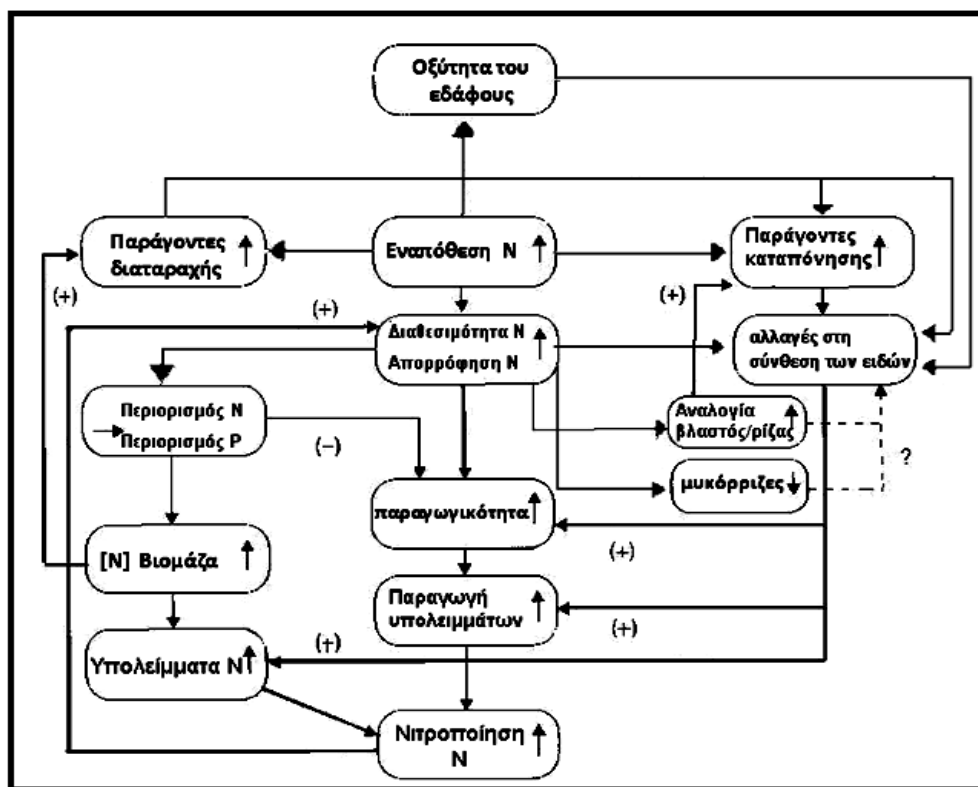
### **3.2. Επιδράσεις των ενώσεων αζώτου**

Οι εκπομπές αμμωνίας (NH<sub>3</sub>) και οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) έχει αυξηθεί δραματικά το δεύτερο μισό του περασμένου αιώνα. Τα οξείδια του αζώτου προέρχονται κύρια από την καύση των ορυκτών καυσίμων ενώ η αμμωνία εκπέμπεται κυρίως από εντατικά γεωργικά συστήματα και από εντατικές μονάδες εκτροφής ζώων. Επειδή τα αέρια αυτά μεταφέρονται σε μικρότερες ή μεγαλύτερες αποστάσεις η εναπόθεση των ενώσεων του αζώτου έχει αυξηθεί σε πολλά οικοσυστήματα. Η εναπόθεση αζώτου φθάνει τα 20-60 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> σε μη δασικές εκτάσεις σε Ευρώπη και ΗΠΑ ενώ στις αρχές του προηγούμενου αιώνα υπολογιζόταν σε 1-3 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> (Bobbink & Lamers, 2002).

Η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες που προσδιορίζουν τη σύνθεση ενός οικοσυστήματος. Το N είναι ένας από τους περιοριστικούς παράγοντες της ανάπτυξης των φυτών σε πολλά οικοσυστήματα. Τα περισσότερα φυτικά είδη σε αυτές τις συνθήκες έχουν προσαρμοσθεί στη χαμηλή διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων και μπορούν να επιβιώσουν ή να ανταγωνισθούν άλλα είδη με επιτυχία μόνο σε εδάφη με χαμηλή συγκέντρωση N. Επιπλέον, ο κύκλος του N στα οικοσυστήματα είναι πολυσύνθετος και επηρεάζεται από πολλές βιολογικές διαδικασίες και είναι συνεπώς πιθανόν να διαφοροποιηθεί η

ανάπτυξη των φυτών, οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων ειδών και οι εδαφικές διεργασίες με την εναπόθεση των αζωτούχων ρύπων.

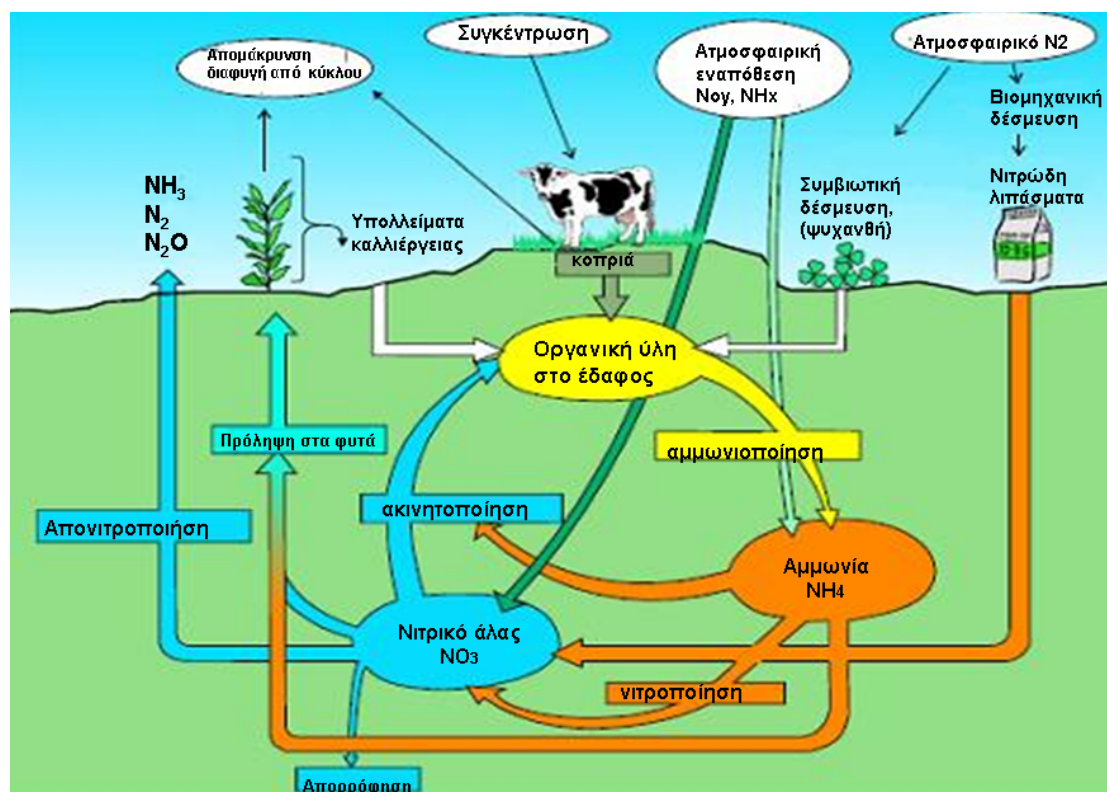
Η αλληλουχία των γεγονότων η οποία λαμβάνει χώρα όταν αυξάνεται η εναπόθεση N σε μια περιοχή είναι αρκετά σύνθετη (Γράφημα 5).



**Γράφημα 5.** Η αλληλουχία των γεγονότων που λαμβάνει χώρα με την αύξηση της εναπόθεσης του N. Το ↑ δείχνει την αύξηση και ↓ την μείωση. Το (+) συμβολίζει τις θετικές αντιδράσεις και το (-) τις αρνητικές αντιδράσεις (Bobbink & Lamers, 2002).

Η σοβαρότητα των επιδράσεων της αύξησης των αζωτούχων ρύπων εξαρτάται (1) από τη διάρκεια έκθεσης και τη συνολική ποσότητα εναπόθεσης, (2) από τη μορφή των ενώσεων του N, (3) την ευαισθησία των φυτικών ειδών, (4) τις επικρατούσες αβιοτικές συνθήκες στο οικοσύστημα. Τα δύο τελευταία σημεία επηρεάζονται από την χρήση γης (παρελθούσα και παρούσα) και από τη διαχείριση (Erisman *et al.* 2007). Σημαντική

συμμετοχή έχουν επίσης η δυνατότητα εξουδετέρωσης της οξύτητας (acid neutralizing capacity), η διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος και οι εδαφικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη νιτροποίηση και την κινητικότητα του N (Εικόνα 9).



(Erisman *et al.* 2007)

Εικόνα 9. Η κινητικότητα του κύκλου του N

Συνεπώς η ευαισθησία των οικοσυστημάτων στην εναπόθεση του N διαφέρει. Παρόλα αυτά οι συνέπειες θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν στις ακόλουθες σημαντικές συνέπειες:

- (1) Άμεση τοξικότητα των ενώσεων του N στα διάφορα φυτικά είδη.
- (2) Συγκέντρωση των ενώσεων του N που οδηγεί σε αλλαγές στη σύνθεση των ειδών.
- (3) Διαδικασίες οξύνισης στο έδαφος.
- (4) Αύξηση της ευαισθησίας σε άλλους παράγοντες καταπόνησης όπως ξηρασία, παγετός, φυτοπαράσιτα ή φυτοφάγα.

Τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>) είναι μίγματα NO και NO<sub>2</sub> που η αναλογία τους διαφέρει ανάμεσα σε διαφορετικές θέσεις και χρόνους. Αυτή η διαφοροποίηση δημιουργεί δυσκολίες στην εκτίμηση της φυτοτοξικότητας των ρύπων επειδή αυτές οι δύο ενώσεις έχουν συχνά αλληλοαναιρούμενες επιδράσεις σε κυτταρικό επίπεδο. Το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) σε μεγάλο βαθμό εκπέμπεται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών νιτροποίησης και διάσπασης νιτρικών οι οποίες πραγματοποιούνται στο χώμα.

Το NO εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα στις περισσότερες περιπτώσεις και στη συνέχεια μετατρέπεται σε NO<sub>2</sub> όταν δεν υπάρχει O<sub>3</sub>. Οι χημικές αντιδράσεις που συμμετέχουν τα NO<sub>x</sub> είναι το κλειδί για το σχηματισμό του O<sub>3</sub> και των άλλων φωτοχημικών ρύπων. Τα φυτά παίζουν ένα ρόλο κλειδί γιατί είναι οι δέκτες των NO<sub>x</sub> που ένα μέρος επανεκπέμπουν κατά τη διάρκεια των κυτταρικών διεργασιών. Επίσης NO<sub>x</sub> εκπέμπονται προς την ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα της μικροβιακής δραστηριότητας στο έδαφος. Τα NO<sub>x</sub> σε χαμηλές συγκεντρώσεις διεγείρουν την ανάπτυξη των φυτών. Όμως υψηλότερες συγκεντρώσεις είναι ισχυρά τοξικές και αυτό επηρεάζεται από τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες. Η διάκριση ανάμεσα στις δύο καταστάσεις είναι ιδιαίτερα δύσκολο να μελετηθεί και εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων που επηρεάζουν τις απαιτήσεις του φυλλώματος σε άζωτο και τη δυνατότητα μετατροπής των νιτρικών σε αμμωνιακά ιόντα και τη συμμετοχή στη σύνθεση των αμινοξέων. Η συσσώρευση των νιτρικών ιόντων στα κύτταρα των φυτών θεωρείται τοξικός παράγοντας και για τους ανθρώπους που καταναλώνουν τα παραγόμενα τρόφιμα ως ο πρόδρομος του σχηματισμού των νιτροζαμινών στον ανθρώπινο οργανισμό (Mansfield, 2002).

Οι κύριες πηγές των NO και NO<sub>2</sub> είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας και από τα αυτοκίνητα (Πίνακας 3). Η γεωργία αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών NO<sub>x</sub>. Παρότι οι μηχανές (εξαιρουμένων των αυτοκινήτων) που χρησιμοποιούνται στη γεωργία εκλύουν μικρό ποσοστό των συνολικών NO<sub>x</sub> (στις ΗΠΑ π.χ. έχει υπολογισθεί στο 4%) εντούτοις η συμμετοχή τους στις αρνητικές επιπτώσεις στα φυτά θεωρείται μεγάλη γιατί εκλύονται στο χώρο αύξησης των φυτών. Επιπλέον η χρήση λιπασμάτων αυξάνει τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου από το έδαφος. Η γεωργία λοιπόν συνολικά συμμετέχει σημαντικά στο



ισοζύγιο των NO<sub>x</sub> και επομένως και στο πρόβλημα του τροποσφαιρικού όζοντος (Davison and Cape, 2003).

**Πίνακας 3.** Οι πηγές των νιτρικών ρύπων, οι μέσες συγκεντρώσεις σε αγροτικές περιοχές και οι επιδράσεις τους στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς όπως εμφανίζονται στην επιστημονική βιβλιογραφία (Davison and Cape, 2003).

| Πηγές  | Ενώσεις, μέση συγκέντρωση σε αγροτικές περιοχές  | Επιδράσεις στο περιβάλλον   |
|--|--|---|
| αστραπές, καύση ορυκτών, εκπομπές από το έδαφος + φωτοχημεία | NO (<1 έως >20ppb)<br>(<1.2 έως 24 μg m <sup>-3</sup> )  | Το NO είναι φυσικό προϊόν με ρόλο στη σηματοδότηση των φυτών<br>Εκπομπές από το έδαφος και συμβολή στις εκπομπές των NO <sub>x</sub> στις αγροτικές περιοχές. Πιθανή επίδραση στα φυτά σε χαμηλές συγκεντρώσεις μέσω αλληλεπιδράσεων με το O <sub>3</sub> . |
|  | NO <sub>2</sub> (<5 έως 20 ppb)<br>(9 έως 38 μg m <sup>-3</sup> )  | Το NO <sub>2</sub> πιθανά επιδρά στην παραγωγή των καλλιεργειών (προάγει την βλάστηση σε χαμηλές συγκεντρώσεις). Πιθανόν συνεργισμός με SO <sub>2</sub> και το O <sub>3</sub> .   |
|  | NO <sub>x</sub>  | Τα NO <sub>x</sub> είναι πρόδρομοι ενώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος.<br>Το HNO <sub>2</sub> πρόδρομος ένωση για OH <sup>-</sup> στην ατμόσφαιρα.  |
|  | HNO <sub>2</sub> ( 0,01- 1,0 μg m <sup>-3</sup> σε αγροτικές περιοχές )  |   |
|  | HNO <sub>3</sub> (μέσος όρος 24ωρου <0,4-0,8 ppb:<br>Μέγιστο > 10 ppb,<br><1,0-20 μg m <sup>-3</sup><br>Μέγιστο >25 μg m <sup>-3</sup> ) | HNO <sub>3</sub> επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε κερί των επιδερμικών κυττάρων. Πιθανή επίδραση στην βλάστηση των πολυετών φυτών.  |
| Νιτρώδη  | Νιτρώδη=PM <sub>2,5</sub> επιδρούν στην ανθρώπινη υγεία.   |   |

Το άζωτο βέβαια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως θρεπτικό στοιχείο από τα φυτά, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις χαμηλής διαθεσιμότητας του στοιχείου. Παρόλα αυτά ελάχιστα πειράματα ανάπτυξης φυτών σε ελεγχόμενους θαλάμους ανάπτυξης έχουν δείξει ότι υψηλή συγκέντρωση NO<sub>2</sub> θα μπορούσε να συμβάλλει στην ανάπτυξη των φυτών. Τα περισσότερα δεν δίνουν κανένα αποτέλεσμα ή δίνουν τοξικότητες. Απλοί υπολογισμοί που βασίζονται στις σημερινές συγκεντρώσεις των NO<sub>2</sub> στις αγροτικές περιοχές προτείνουν ότι το NO<sub>2</sub> δεν είναι πιθανόν να είναι υπολογίσιμη πηγή αζώτου για τις ετήσιες καλλιέργειες. Η πιθανή αλληλεπίδραση των NO<sub>2</sub> με τα SO<sub>2</sub> και το O<sub>3</sub> χρήζει επιπλέον διερεύνησης.

Η συγκέντρωση του  $\text{HNO}_3$  στις αγροτικές περιοχές είναι γενικά χαμηλές και κυμαίνονται ως μέσοι όροι εικοσιτετραώρου από 0,4-0,8 ppb αλλά τα δεδομένα της βιβλιογραφίας είναι σχετικά λίγα και είναι απαραίτητο η καταγραφή των συγκεντρώσεων σε ένα μεγαλύτερο εύρος κλίματος και βλάστησης. Παρότι η συγκέντρωση είναι χαμηλή η ταχύτητα εναπόθεσης είναι αρκετά υψηλή. Επιπλέον, επειδή το  $\text{HNO}_3$  εναποτίθεται στα επιδερμικά κύτταρα τα οποία αποτελούν την άμυνα των φυτών απέναντι σε εχθρούς και ασθένειες το ζήτημα της επίδρασης του  $\text{HNO}_3$  στα φυτά χρειάζεται επιπλέον διερεύνηση (π.χ. πολυετή φυτά σε μακροχρόνια πειράματα) καθώς επίσης η προσθετική δράση με το όζον καθότι συνυπάρχουν σε φωτοχημικά επεισόδια.

Η αγροτική παραγωγή αποτελεί την κύρια πηγή εκπομπών αμμωνίας όπως φαίνεται στον Πίνακα 4. Σε μικρότερο βαθμό στις εκπομπές αμμωνίας συμβάλλουν η καύση της βιομάζας συμπεριλαμβανομένων των πυρκαγιών στα δάση. Οξεία τοξικότητα των εκπομπών σε φυτά έχει σημειωθεί στην Ολλανδία κοντά σε μεγάλη μονάδα εντατικής εκτροφής ζώων. Η  $\text{NH}_3$  επίσης μετατρέπεται σε μικροσωματίδια  $\text{NH}_4^+$  το οποίο συνιστά τοπικής κλίμακας πρόβλημα. Εξαιτίας της εξαιρετικά μεγάλης ταχύτητας εναπόθεσης της αέριας μορφής της αμμωνίας (σε ακτίνα 4-5 χιλιομέτρων) η απευθείας επίδραση του αερίου περιορίζεται σε πολύ κοντινές περιοχές στην πηγή εκπομπών και μπορεί να προκαλέσει χλωρωτικές ή νεκρωτικές κηλίδες στα φύλλα. Οι σημαντικότερες επιδράσεις που έχουν αναφερθεί είναι η αλλαγή της χλωρίδας γύρω από τις πηγές εκπομπών και η επικράτηση των αγροστωδών έναντι των βρυοφύτων και των περικοφύτων. Μη αντιστρεπτές επιδράσεις σε φυτά λαμβάνουν χώρα όταν ο ρυθμός της πρόσληψης από τα φύλλα ξεπερνά τη δυνατότητα αποτοξίνωσης από το φυτό. Τα περισσότερα προς λιγότερο ευαίσθητα είδη στην έκθεση σε  $\text{NH}_3$  είναι άγρια είδη >δασικά> καλλιεργούμενα (Krupa, 2003).

**Πίνακας 4.** Οι πηγές, η συγκέντρωση και οι επιδράσεις των ανηγμένων ενώσεων αζώτου (Davison and Cape, 2003).

| Πηγές  | Ενώσεις, μέση συγκέντρωση σε αγροτικές περιοχές  | Περιβαλλοντικές επιδράσεις  |
|--|--|---|
| Κοπριά ζώων, εκπομπές από το έδαφος, διαρροές π.χ. από ψυκτικά συστήματα | NH <sub>3</sub> (0.1 έως >10 ppb, >56 ppb κοντά σε μονάδες εκτροφής ζώων)<br>(0,14 έως >14 μg m <sup>-3</sup> , >80 μg m <sup>-3</sup> κοντά σε μονάδες εκτροφής ζώων) | Δυσοσμία, επιδράσεις στα φυτά – αρνητικές και θετικές               |
|  |  | Αμμωνιακά άλατα = PM <sub>2,5</sub> επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία |

Οργανικές ενώσεις αζώτου βρίσκονται σε μερικές διαφορετικές μορφές στην ατμόσφαιρα. Οι κυριότερες από αυτές, οι πηγές τους, οι συγκεντρώσεις στις αγροτικές περιοχές και οι επιδράσεις στο περιβάλλον παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Η περισσότερο γνωστή και η πλέον τοξική από αυτές είναι το Peroxyacyl nitrate (PAN). Το PAN είναι θερμικά ασταθές με ταχεία χημική αποσύνθεση στις υψηλές θερμοκρασίες. Συνεπώς οι περισσότερες τοξικότητες έχουν αναφερθεί σε αστικές και περι-αστικές περιοχές. Παρόλα αυτά το PAN είναι περισσότερο σταθερό σε δροσερές περιόδους και υψηλότερα υψόμετρα. Σε αυτές τις συνθήκες το PAN έχει φθάσει σε υψηλές συγκεντρώσεις λόγω της μεταφοράς από μακρινές αποστάσεις και έχει δημιουργήσει προβλήματα τοξικότητας σε φυτικούς οργανισμούς.

**Πίνακας 5.** Οι πηγές, η συγκέντρωση και οι επιδράσεις των κυριότερων οργανικών ενώσεων αζώτου (Davison and Cape, 2003).

| Πηγές                                   | Ενώσεις, μέση συγκέντρωση σε αγροτικές περιοχές   | Περιβαλλοντικές επιδράσεις   |
|---|---|--|
| Καύση ορυκτών + φωτοχημικές αντιδράσεις | Νιτρικά υπεροξυακετύλια (PAN) ετήσιος μέσος όρος <0,2 ppb επεισόδια 2-5 ppbν μέγιστο έως 8 ppbν | Τα PAN συμμετέχουν στο σχηματισμό του τροποσφαιρικού O <sub>3</sub> . Οξεία έκθεση προκαλεί ορατά συμπτώματα στα φυτά. Πιθανή αλληλεπίδραση με το O <sub>3</sub> . Οι επιδράσεις συγκεντρώσεων <10 ppbν όχι πολύ κατανοητές. |
|   | Άλλες ενώσεις που συσχετίζονται με τα PAN   | Σε χαμηλές συγκεντρώσεις μερικά είναι περισσότερο τοξικά από τα PAN  |
|   | Οργανικά νιτρικά μικροσωματίδια (PON)   | Σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (ng m <sup>-3</sup> ) οι επιδράσεις είναι άγνωστες  |
|   | Αμίνες  | ?  |
|   | Νιτροφαινόλες   | ?  |
|   | ΝιτροPAHs (πολυκυκλικοί νιτρικοί υδρογονάνθρακες)   | ?  |

Η διακύμανση της εναπόθεσης των αζωτούχων ενώσεων στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ που έχει μετρηθεί τα περασμένα 20 χρόνια και οι αλλαγές που προκάλεσαν στα

οικοσυστήματα, όπως έχουν καταγραφεί από μια σειρά μελετών φαίνονται στον Πίνακα 6. Οι επιδράσεις περιλαμβάνουν οξύνιση, αλλαγές στη σύνθεση των κοινοτήτων και απώλεια βιοποικιλότητας.

**Πίνακας 6.** Η εναπόθεση των νιτρικών και αμμωνιακών ενώσεων, όπως έχουν μετρηθεί στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ, και οι πιθανές επιδράσεις στο περιβάλλον (Davison and Cape, 2003).

| <b>Εναπόθεση,<br/>υγρή + ξηρή</b>                                | <b>Επιδράσεις στο<br/>περιβάλλον</b>                              |
|--|---|
| Νιτρικά N 0,1 έως<br>>20 kg ha <sup>-1</sup> χρόνο <sup>-1</sup> | Οξύνιση<br>Ευτροφισμός στα<br>οικοσυστήματα με<br>περιορισμένο- N |
| Αμμωνιακά N<1 έως<br>>40 kg ha <sup>-1</sup> χρόνο <sup>-1</sup> | Ενθάρρυνση εκπομπών NO και<br>N <sub>2</sub> O από το έδαφος      |

Όταν στις ελλειμματικές σε άζωτο φυτοκοινότητες προστεθεί με κάποιο τρόπο άζωτο τα νιτρόφιλα είδη επικρατούν ή εισβάλλουν και ανταγωνίζονται τα είδη που δεν μπορούν να κάνουν χρήση του επιπλέον αζώτου. Αν και οι ελλειμματικές σε άζωτο φυτοκοινότητες δεν έχουν μεγάλη αξία για τη γεωργία, έχουν μεγάλη αξία για τη διατήρηση ειδών και επομένως η απώλεια ή η υποβάθμιση τους είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βιοποικιλότητα στον πλανήτη. Στην Ευρώπη οι επιδράσεις της εναπόθεσης του αζώτου θεωρείται τόσο σημαντική ώστε η CLRTAP έχει θέσει ανώτατα κρίσιμα φορτία για τις βιολογικές επιδράσεις και την απόθεση αζώτου σε συγκεκριμένα οικοσυστήματα. Στα πλέον ευαίσθητα οικοσυστήματα θεωρείται ότι εναπόθεση N της τάξης των 5 kg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> θα αλλάξει τη σύνθεση των ειδών. Σήμερα σε πολλές περιοχές της Ευρώπης και των ΗΠΑ η εναπόθεση είναι πάνω από αυτό το όριο.

### 3.3. Επιδράσεις του διοξειδίου του θείου

Το SO<sub>2</sub> μπορεί δυνητικά να συμβάλλει στη θρέψη των φυτών. Όμως, όπως και στην περίπτωση των NO<sub>x</sub>, ψηλότερες συγκεντρώσεις από τις απαιτήσεις των φυτών προς θρέψη προκαλούν μη αντιστρεπτές τοξικές επιδράσεις στα φυτά. Η τοξική επίδραση του SO<sub>2</sub> στα φυτά εμφανίζεται όταν οι καιρικές συνθήκες ευνοούν την αργή διάχυση του αερίου. Τέτοιες τοξικότητες εμφανίζονται όταν η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του SO<sub>2</sub> ξεπεράσει τα 0.5 ως 0.7 mg SO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup> αέρα. Οι επιδράσεις αυτές συνοψίζονται σε ορατά συμπτώματα (χλωρωτικές και νεκρωτικές κηλίδες) και σε μικρότερο βαθμό σε μείωση της παραγωγής. Οι πρώτες διαπιστώσεις για ζημιές στα φυτά έγιναν αργά το 18ο αιώνα ως επίδραση σε δάση στη Βόρεια Ευρώπη – γύρω από περιοχές βιομηχανιών επεξεργασίας μετάλλων. Το φαινόμενο ακολούθησε την ανάπτυξη της βιομηχανίας σε Ευρώπη και Β. Αμερική. Η επιστημονική έρευνα αφορούσε στον εντοπισμό της αιτίας και στην οικονομική εκτίμηση της ζημιάς. Το 1939 γίνονται οι πρώτες αναφορές για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις των ρύπων. Το 1961 υπολογίζεται ότι το 65% των εκπομπών του ρύπου προέρχεται από βιομηχανίες χαλκού, μολύβδου & ψευδαργύρου. Το υπόλοιπο από επεξεργασία πετρελαίου & ενεργειακούς σταθμούς. Στη Μεγάλη Βρετανία οι εκπομπές μειώθηκαν δραστικά με τη νομοθεσία του 1956 (UK Clean Air Act) που ακολούθησε το θάνατο περισσότερων από 4000 ανθρώπων το 1952. Σήμερα, το SO<sub>2</sub> αποτελεί κυρίως πρόβλημα στα αναπτυσσόμενα κράτη όπου η παραγωγή ενέργειας στηρίζεται ακόμη στην καύση του κάρβουνου και λιγότερο στα αναπτυγμένα κράτη όπου οι εκπομπές SO<sub>2</sub> ελέγχονται (Legge and Krupa, 2002).

### 3.4. Επιδράσεις του φθορίου

Το φθόριο είναι στοιχείο που αποτελεί συνήθως ατμοσφαιρικό ρύπο που περιορίζεται σε βιομηχανικές περιοχές. Οι βιομηχανικές εκπομπές περιέχουν πτητικές μορφές και μικροσωματίδια φθορίου. Οι πτητικές μορφές περνούν στο εσωτερικό των φυτικών κυττάρων από τα στομάτια ενώ τα μικροσωματίδια μένουν πάνω στην επιφάνεια των φύλλων και η είσοδος στο εσωτερικό είναι αργή και εξαρτάται από τη διαλυτότητα και το μέγεθος του σωματιδίου και τη σχετική υγρασία. Στο εσωτερικό των

κυττάρων έχει βρεθεί ότι επηρεάζεται αρνητικά η φωτοσυνθετική δραστηριότητα και παρεμποδίζονται πολλά ένζυμα. Επίσης έχει βρεθεί ότι υπάρχουν αλλαγές σε πολλούς μεταβολίτες. Επιπλέον επηρεάζει τη δομή και τον αριθμό των χλωροπλαστών, αλλάζει τη δομή των μιτοχονδρίων, προκαλεί υπερτροφία των επιθηλιακών κυττάρων και καταστροφή των κυττάρων του μεσοφύλλου και των επιδερμικών κυττάρων (McCune and Weinstein, 2002).

Οι πρώτες ζημιές εμφανίστηκαν το 1940 σε καλλιέργειες γύρω από εργοστάσια επεξεργασίας αλουμινίου. Αναφορές υπάρχουν για ζημιές στην Καλιφόρνια σε καλλιέργειες βερικοκιάς, στην Ιταλία σε καλλιέργειες δαμασκηνιάς και στην Ουάσιγκτον σε καλλιέργεια γλαδίου και σε πευκοδάση. Από το 1980 η εκτεταμένη έρευνα ως αποτέλεσμα των εκτεταμένων ζημιών και η επιβολή της νέας τεχνολογίας φαίνεται να έχει λύσει αυτό το πρόβλημα.

### **3.5. Επιδράσεις των πτητικών οργανικών συστατικών**

Η ατμόσφαιρα περιέχει ένα τεράστιο αριθμό πτητικών οργανικών συστατικών (VOCs, Volatile Organic Compounds) που προέρχονται είτε από την ανθρωπογενή δραστηριότητα είτε από τις φυσικές εκπομπές (από φυτά, ζώα και μικροοργανισμούς). Μέχρι σήμερα το ενδιαφέρον των ερευνητών έχει συγκεντρωθεί κυρίως στην δυνατότητα παραγωγής δευτερογενών ρύπων (π.χ.  $O_3$ ) από τα VOCs και λιγότερο στις φυτοτοξικές τους επιδράσεις. Υπάρχει μόνο ένα VOC, το αιθυλένιο ( $C_2H_4$ ) που υπάρχουν αδιαμφισβήτητες αποδείξεις ότι προκαλεί μη αντιστρεπτές επιβλαβείς επιδράσεις στα φυτά. Στις ημέρες μας η παραγωγή μερικών συνθετικών VOCs και το ενδεχόμενο να προκαλεί υποβάθμιση στα δάση απασχολεί την ερευνητική κοινότητα (Collins and Bell, 2002).

### **3.6. Επιδράσεις των μικροσωματιδίων**

Μικροσωματίδια υπάρχουν στην ατμόσφαιρα σε πολλές μορφές που κυμαίνονται από τα μικροαιωρήματα μέχρι τους ορατούς κόκκους σκόνης. Οι επιδράσεις στα φυτά μπορεί να είναι σε φυσιολογικό επίπεδο που προκαλείται από το

φράξιμο των στομάτων ή από την αύξηση της θερμοκρασίας των φύλλων που με τη σειρά τους επηρεάζουν τις μεταβολικές λειτουργίες. Η φωτοσύνθεση επηρεάζεται επιπλέον από τη σκίαση των φύλλων. Επίσης μια σειρά μελέτες έχουν δείξει την πρόκληση ορατών συμπτωμάτων. Ένας πιθανότερος τρόπος για είσοδο στον μεταβολισμό και επίδραση πάνω στα φυτά είναι μέσω της ριζόσφαιρας. Τα σωματίδια που εναποτίθενται απευθείας στο έδαφος μπορούν να επηρεάσουν τη διακίνηση των θρεπτικών στοιχείων, ιδιαίτερα για τις ενώσεις του N και έτσι έμμεσα τα βακτήρια και τους μύκητες της ριζόσφαιρας. Η διαθεσιμότητα των αλκαλικών κατιόντων και του αλουμινίου εξαρτώνται από το pH του εδάφους το οποίο μπορεί να αλλάξει δραματικά εξαιτίας της εναπόθεσης διαφόρων μεγεθών μικροσωματιδίων. Έμμεσες επιδράσεις έχουν επίσης αναφερθεί όπως π.χ. η αύξηση των προσβολών από φυτοπαθογόνους μύκητες του φυλλώματος του παντζαριού ή η αύξηση των προσβολών από αφίδες στη μηδική όταν στα φύλλα υπάρχει σκόνη τσιμέντου (Farmer, 2002). Η επίδραση των μικροσωματιδίων στα οικοσυστήματα σε τοπική κλίμακα συνδέεται με την κλιματική αλλαγή. Αύξηση των μικροσωματιδίων μπορεί να μειώσει την απορρόφηση ακτινοβολίας από την κόμη των φυτών και να μειώσει τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα μέσα από ένα πλήθος φυσικών επιδράσεων (Grantz *et al.*, 2003). Πάντως η προσθετική δράση και η αλληλεπίδραση της αύξησης των μικροσωματιδίων με άλλους ρύπους όπως επίσης με στοιχεία της αλλαγής του κλίματος παραμένει μια περιοχή που χρήζει παραπέρα διερεύνησης.

### **3.7. Επιδράσεις των βαρέων μετάλλων**

Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν ατμοσφαιρικούς ρύπους που προέρχονται από φυσικές και ανθρωπογενείς διαδικασίες. Με την εισπνοή ή την πτώση τους στο έδαφος, προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στους οργανισμούς. Υπάρχει ένας πλούτος επιστημονικών δημοσιεύσεων που συσχετίζουν τα βαρέα μέταλλα με πολύ σοβαρά νοσήματα όπως καρκίνος, καρδιακές-αναπαραγωγικές τοξικότητες, τερατογένεση και γενετοξικότητα (Dickey, 2000). Οι εκπομπές τριών βαρέων μετάλλων, μόλυβδος, υδράργυρος και κάδμιο, ρυθμίζονται στην Ευρώπη στο πλαίσιο της Συνθήκης CLRTAP. Το πρωτόκολλο για τα βαρέα μέταλλα του Aarhus (Ιούνιος 1998, Δανία) ορίζει ότι



ορισμένα βαρέα μέταλλα μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στα οικοσυστήματα περιβαλλοντικής και οικονομικής σπουδαιότητας και στην ανθρώπινη υγεία. Στόχος της Συνθήκης CLRTAP είναι να θέσει ένα διεθνές πλαίσιο για τη μείωση στις εκπομπές των τριών μετάλλων από τις βιομηχανικές πηγές αλλά και την αποτέφρωση αποβλήτων. Τα βαρέα μέταλλα που εκπέμπονται από τις βιομηχανίες επιστρέφουν στη φύση κυρίως μέσω των στερεών ή υγρών αποβλήτων ή μέσω της αέριας ρύπανσης. Οι ιδιότητες του εδάφους, το είδος των φυτών και το στάδιο ανάπτυξης επηρεάζουν την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων (Al Jassir *et al.*, 2005).

#### **4. Τροποποίηση της αντίδρασης των φυτών στους αέριους ρύπους από τις περιβαλλοντικές συνθήκες**

Η βλάστηση, η ανάπτυξη και η δυνατότητα αναπαραγωγής των φυτών σχετίζονται στενά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η περίσσεια ή η έλλειψη παραγόντων όπως το φως, το νερό και η θρέψη προκαλούν αντίδραση ‘stress’ στα φυτά (μεταχρωματισμούς των φύλλων, μειωμένη ανάπτυξη και καρπόπτωση). Οι συνθήκες που ένα φυτό ζει επηρεάζουν την απορρόφηση των αέριων ρύπων από τα στόματα και τη δυνατότητα του φυτού να αποτοξινωθεί και να αποκαταστήσει τις ζημιές που τυχόν έχουν προκληθεί.

Όσον αφορά στην κίνηση των ρύπων προς το εσωτερικό του φυτού είναι γνωστό ότι κάποιες περιβαλλοντικές συνθήκες προκαλούν κλείσιμο των στοματίων και συνεπώς προστασία του φυτού από αέριους ρύπους ενώ άλλες καταστρέφουν το μηχανισμό κλεισίματος και συνεπώς αυξάνουν την πρόσληψη των ρύπων. Οι συνθήκες που ευνοούν το άνοιγμα των στοματίων και συνεπώς τη μέγιστη ροή των ρύπων στο εσωτερικό των φυτών είναι:

- Υψηλή σχετική υγρασία
- Μη περιοριστική υγρασία εδάφους
- Κορεσμένα επίπεδα φωτός

- Θερμοκρασία 20-32°C
- Μέτρια ταχύτητα ανέμου

Οι εδαφικοί παράγοντες που επηρεάζουν το άνοιγμα και το κλείσιμο των στοματίων είναι:

- Περιεκτικότητα σε νερό
- Γονιμότητα
- Αλατότητα

Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν την αντίδραση των φυτών με έμμεσο τρόπο, επηρεάζοντας την ανάπτυξη και τη διαθέσιμη ενέργεια για την ενεργοποίηση των μηχανισμών αποκατάστασης της ζημιάς.

Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει το ρυθμό των μεταβολικών διαδικασιών στα φυτά όπως τη φωτοσύνθεση, την αναπνοή, τη βλάστηση και τη ροή των ρύπων προς το εσωτερικό των φυτών. Η επίδραση εξαρτάται από το φυτικό είδος και από τον ρύπο.

Η σχετική υγρασία έχει κυρίαρχο αποτέλεσμα στη στοματική αγωγιμότητα και συνεπώς στη ροή των ρύπων. Στο πρόγραμμα ICP-Vegetation έχει καταγραφεί η ίδια ζημιά από το 1/3 της ποσότητας του O<sub>3</sub> όταν η VPD ήταν χαμηλή (υψηλή σχετική υγρασία) (Mills, 2002).

Η ένταση και η διάρκεια του φωτός επηρεάζει την αντίδραση στους ρύπους μέσω παροδικών επιδράσεων στη στοματική αγωγιμότητα και στη φωτοσύνθεση ή μονιμότερων επιδράσεων στη βλάστηση και ανάπτυξη των φυτών. Σε μερικές περιπτώσεις π.χ. τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε σκιά ήταν περισσότερο ευαίσθητα στο O<sub>3</sub>.

Η πρωταρχική επίδραση της ταχύτητας του ανέμου οφείλεται στο ότι η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει τη διάχυση των ρύπων μεταξύ ατμόσφαιρας και επιφάνειας των φύλλων (boundary layer resistance).

Η χαμηλή εδαφική υγρασία επηρεάζει τους μηχανισμούς που μειώνουν την απώλεια του νερού και διαδοχικά την ανάπτυξη του φυτού. Είναι σήμερα γνωστό ότι το κλείσιμο των στοματίων (μερικό ή ολικό) και ο μειωμένος ρυθμός ανάπτυξης των νέων φύλλων ενεργοποιούνται στα φύλλα από την έλλειψη εδαφικής υγρασίας στα αρχικά στάδια ανάπτυξης ως αποτέλεσμα της σηματοδότησης ριζών-βλαστών από ορμόνες (κυρίαρχα ABA). Σε μελέτες που αναφέρονται στην αλληλεπίδραση της εδαφικής

υγρασίας και των ατμοσφαιρικών ρύπων έχει βρεθεί π.χ. ότι η ζημιά από O<sub>3</sub> μειώθηκε σε συνθήκες μειωμένης εδαφικής υγρασίας στη διάρκεια φωτοχημικών επεισοδίων. Επίσης στη διάρκεια ολόκληρης καλλιεργητικής περιόδου η έκθεση σε O<sub>3</sub> συντέλεσε στην απώλεια περισσότερου νερού και περισσότερης ενέργειας σε δένδρα που αναπτύχθηκαν σε ξηρικές συνθήκες σε σύγκριση με δένδρα που ποτιζόταν.

Όσον αφορά στη γονιμότητα του εδάφους, μελέτες έχουν δείξει ότι η ελλιπής διάθεση θρεπτικών στοιχείων προκαλεί περιορισμό της ανάπτυξης των φύλλων, αλλαγή της δομής της κόμης, της αναπαραγωγικής ανάπτυξης και του ρυθμού γηρασμού. Τα NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, που είναι αέριοι ρύποι, μπορούν να συμβάλλουν θετικά στη θρέψη των φυτών όταν αυτά αναπτύσσονται σε ελλειμματικές συνθήκες όσον αφορά στην αζωτούχα και θειούχα θρέψη. Αντίθετα, σε άλλες μελέτες φαίνεται ότι η βελτίωση της αζωτούχας θρέψης οδήγησε σε καλύτερη λειτουργία των στομάτων και τελικά σε μεγαλύτερη ζημιά από SO<sub>2</sub>.

Αντιφατικά συμπεράσματα έχουν δώσει οι μελέτες της επίδρασης της αλατότητας του εδάφους στη διαφοροποίηση της αντίδρασης των φυτών στους αέριους ρύπους όπως δείχνουν οι ακόλουθες τρεις περιπτώσεις: (1) Η επίδραση O<sub>3</sub> και αλατότητας βρέθηκε να είναι προσθετική στο ρύζι. (2) Πειράματα σε καλλιέργεια σιταριού και σόγιας έδειξαν ότι χαμηλά επίπεδα αλατότητας προστάτησαν τα φυτά από τις επιδράσεις του SO<sub>2</sub> με τη μείωση της στοματικής αγωγιμότητας. (3) Όμως, όταν τα φυτά προ-μεταχειρίστηκαν με υψηλά επίπεδα αλατότητας επιδεινώθηκαν οι ζημιές από SO<sub>2</sub>.

## **5. Επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στο βιοτικό stress των φυτών**

Άμεσες επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στα φυτοπαράσιτα προκύπτουν από τοξικότητα στο παράσιτο ή αλλαγή της συμπεριφοράς ή του μεταβολισμού. Έμμεσες επιδράσεις αποτελούν οι αλλαγές στη διαθεσιμότητα του φυτού-τροφής, αλλαγές στην επιφάνεια των φύλλων ή στην ποιότητα όπως επίσης οι μεταβολές σε αρπακτικά και παράσιτα των παθογόνων (Flückiger *et al.*, 2002).

Οι άμεσες και έμμεσες επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στους εντομολογικούς εχθρούς των φυτών έχουν καταγραφεί από παρατηρήσεις αγρού ή από σχεδιασμένα πειράματα. Στη συνέχεια αναφέρονται μερικά από τα μέχρι σήμερα γνωστά δεδομένα.

#### **Παρατηρήσεις αγρού**

- Αύξηση του πληθυσμού εντόμων σε περιοχές με υψηλή μόλυνση από ενώσεις φθορίου, SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> έχει παρατηρηθεί εδώ και 170 χρόνια.
- Μυζητικά έντομα παρουσιάζουν υψηλότερους ρυθμούς προσβολών σε περισσότερο ρυπασμένες περιοχές π.χ. οι πληθυσμοί των αφίδων έχουν συσχετισθεί θετικά με τη συγκέντρωση του SO<sub>2</sub>.
- Πληθυσμοί σε κάμπιες πεύκων έχουν συσχετισθεί θετικά με τη συγκέντρωση των SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>

#### **Πειραματικά δεδομένα**

- Άμεσες επιδράσεις στα έντομα.
  - Μόνο υπερβολικές συγκεντρώσεις ρύπων έδωσαν μείωση της πτητικότητας και της γονιμότητας.
- Έμμεσες επιδράσεις SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>
  - Πολλά πειράματα έχουν δείξει ότι αφίδες που προσβάλλουν καλλιεργούμενα και δασικά είδη αναπτύσσονται ταχύτερα και καλύτερα όταν τα φυτά πάνω στα οποία εκτρέφονται αναπτύσσονται σε θαλάμους υποκαπνισμού με αυξημένα επίπεδα ρύπων.

#### **Επιδράσεις της αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα**

- Η αύξηση του CO<sub>2</sub> μειώνει τη συγκέντρωση του αζώτου στα φύλλα που δυνητικά θα μπορούσε να οδηγήσει σε μεγαλύτερη κατανάλωση φυτικών ιστών για να διατηρήσουν τα φυτοπαράσιτα την πρόσληψη ίσης ποσότητας αζώτου.
- Μασητικά έντομα φαίνεται να ανταποκρίνονται σε αυτή την υπόθεση.
- Αυξημένα επίπεδα N στα φύλλα θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση της ευαισθησίας των φυτών στα έντομα.

- Γνωστή περίπτωση η αύξηση του πληθυσμού των αφίδων των σιτηρών ως αποτέλεσμα της υψηλής αζωτούχου λίπανσης.

#### **Επιδράσεις αύξησης των NO<sub>x</sub>**

- Αυξημένα επίπεδα N στα φύλλα θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση της ευαισθησίας των φυτών στα έντομα.
- Γνωστή περίπτωση η αύξηση του πληθυσμού των αφίδων των σιτηρών ως αποτέλεσμα της υψηλής αζωτούχου λίπανσης.

#### **Επιδράσεις στα αρπακτικά και παράσιτα των φυτοπαρασίτων**

- Αποτελούν σημαντικούς ρυθμιστικούς παράγοντες των κοινοτήτων των εντόμων.
- Ο παρασιτισμός της *Drosophila sabobscura* από το *Asobara talida* επηρεάστηκε σε πειράματα με αυξημένα επίπεδα O<sub>3</sub> αλλά όχι από SO<sub>2</sub> ή NO<sub>x</sub>
- Ο παρασιτισμός κάποιων λεπιδοπτέρων έμεινε ανεπηρέαστος σε πειράματα με βαρέα μέταλλα και SO<sub>2</sub>
- Ο αριθμός των αρπακτικών και παρασίτων μετρήθηκε μειωμένος κοντά σε αυτοκινητόδρομο στην *Aphis pomi* πάνω στο *Crataegus* sp. σε σχέση με πλέον απομακρυσμένα σημεία.

#### **Βιοχημικές ενδείξεις αλληλεπιδράσεων.**

- Ποιοτική και ποσοτική αλλαγή των μεταβολιτών των φυτών (π.χ. υδατάνθρακες, αμινοξέα) μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των εντόμων.
- Πάνω από όλα τα επίπεδα N.
- Έχουν παρατηρηθεί μεταβολές στις απωθητικές ή στις ελκυστικές χημικές ενώσεις που παράγουν τα φυτά.

#### **Επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων σε προσβολές από νηματώδεις**

- Η προσβολή από τον *Pratylenchus penetrans* αυξήθηκε σε φυτά σόγιας σε αυξημένη συγκέντρωση SO<sub>2</sub>

- Νεαρά φυτά τομάτας ήταν περισσότερο ευαίσθητα στον ίδιο νηματώδη όταν εκτέθηκαν σε μίγμα SO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub> και επίσης ο ρυθμός αναπαραγωγής του νηματώδη αυξήθηκε.
- Αντίθετα έκθεση σε O<sub>3</sub> μείωσε το ρυθμό αναπαραγωγής του *Heterodera glysinus* και *Paratrichodera minor* (σε σόγια) και τον *Aphelenchoides fragaria* (σε βεγκόνια).

Οι άμεσες και έμμεσες επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στα παθογόνα των φυτών έχουν καταγραφεί επίσης από παρατηρήσεις αγρού ή από σχεδιασμένα πειράματα. Στη συνέχεια αναφέρονται μερικά από τα μέχρι σήμερα γνωστά δεδομένα.

#### **Παρατηρήσεις στον αγρό.**

- Αλλαγές στις προσβολές παθογόνων σε βιομηχανικές περιοχές έχουν παρατηρηθεί από τη δεκαετία του 1920 (αυξημένη προσβολή δένδρων, μείωση προσβολών βελανιδιάς από οίδιο, μείωση των προσβολών σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση SO<sub>2</sub>, εξασθένηση δένδρων σε υψηλές συγκεντρώσεις O<sub>3</sub> και μεγαλύτερες προσβολές από μύκητες σε δασώδη περιοχές).

#### **Πειραματικά δεδομένα.**

- SO<sub>2</sub>:
  - Μειωμένη βλαστικότητα σπορίων, διείσδυση, μικρότερη προσβολή από σκωριάσεις σε καλλιέργεια φασολιού, σιταριού και καλαμποκιού.
  - Αυξημένη προσβολή από οίδιο (*Sphaerotheca fuliginea*) σε αγγουριά.
- O<sub>3</sub>:
  - Μειωμένη προσβολή από σκωρίαση (*Puccinia recondita*) σε σιτάρι.
  - Αυξημένη προσβολή από *Septoria nodorum* και *S. tritici* σε σιτάρι και *Gerlancha nivalis* σε σιτάρι και κριθάρι
  - Μειωμένη προσβολή από *Melampsora medusae* σε βαμβάκι.
  - Επίδραση στη συμβιωτική σχέση φυτών – μυκοριζών.

### **Πειράματα με αυξημένη συγκέντρωση CO<sub>2</sub>.**

- Μειωμένη προσβολή από *Erysiphe graminis* σε σιτάρι αποδόθηκε στη μειωμένη συγκέντρωση N στο φύλλωμα όταν τα φυτά αναπτύχθηκαν σε αυξημένη συγκέντρωση CO<sub>2</sub>.
- Η συνδυασμένη έκθεση σε αυξημένο O<sub>3</sub> και CO<sub>2</sub> έδειξε ότι η αρχικά προκαλούμενη μείωση της ανάπτυξης της σκωρίασης σε σιτάρι από το O<sub>3</sub> ήρθη μερικώς από την ταυτόχρονη αύξηση του CO<sub>2</sub>.

### **Εναπόθεση αζώτου και αύξηση της οξύτητας.**

- Η αύξηση του λόγου N/P και N/K έχει συσχετισθεί με τη δριμύτερη προσβολή φυτών από μύκητες όπως *Phomopsis sp.* και *Botrytis cinerea*.
- Η διατάραξη των συμβιωτικών σχέσεων φυτών – μυκοριζών έχει οδηγήσει σε αύξηση των προσβολών από *Phytophthora parasitica* σε εσπεριδοειδή και του μύκητα *P. cactorum* σε μηλιές.
- Μερικοί παθογόνοι μύκητες επηρεάζονται αρνητικά από την αύξηση της οξύτητας. Επίδραση βροχής pH 3,2 π.χ. έδωσε μείωση των προσβολών από σκωρίαση σε φυτά φασολιάς. Όμως, έχει σημειωθεί και μείωση σε ανταγωνιστές παθογόνων.

### **Βακτηριακές και ιολογικές ασθένειες.**

- Η ανάπτυξη του *Xanthomonas phaseoli* μειώθηκε σε αυξημένα επίπεδα SO<sub>2</sub> σε καλλιέργεια σόγιας.
- Ο αριθμός των κηλίδων από *Pseudomonas glycine* σε σόγια μειώθηκε σε αυξημένα επίπεδα O<sub>3</sub>.
- Φυτά καπνού προσβεβλημένα από TMV ήταν λιγότερο ευαίσθητα στο O<sub>3</sub>. Παρόμοιες παρατηρήσεις έχουν γίνει στο φασόλι σε μια σειράλώσεις.

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην αλλαγή των σχέσεων φυτού –παθογόνου είναι οι ακόλουθοι:

### **Φυλλόσφαιρα**

- Η διάβρωση και αποσύνθεση που προκαλείται από τους αέριους ρύπους διευκολύνει την είσοδο των παθογόνων.
- Η μικροβιακή κοινότητα των φύλλων επηρεάζεται με συνέπεια την αλλαγή της ισορροπίας παθογόνων-σαπροφύτων ανταγωνιστών και την ανάπτυξη ασθένειας.

### **Σχέσεις νερού**

- Αλλαγή της στοματικής αγωγιμότητας επηρεάζει την ανάπτυξη ασθενειών που εισέρχονται από τα στόματα.
- Αλλαγές στην ανάπτυξη των ριζών από το O<sub>3</sub> (μειώνει την κατανομή του άνθρακα) πιθανά αυξάνει την ευαισθησία των φυτών στην ξηρασία.
- Αλλαγές του ωσμωτικού δυναμικού επηρεάζει την ανάπτυξη των μυκήτων .

### **Βιοχημικές ενδείξεις αλληλοεπιδράσεων**

- Αλλαγές σε πρωτογενείς (σάκχαρα, αμινοξέα) και δευτερογενείς μεταβολίτες (φαινόλες, τερπενοειδή, αλκαλοειδή) προκαλούνται από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους.
- Οι ουσίες αυτές λειτουργούν ενθαρρυντικά ή απωθητικά στην ανάπτυξη των μυκήτων.
- Αυξημένα επίπεδα αζώτου ενθαρρύνουν την αύξηση των παθογόνων και ταυτόχρονα αποδομούν τα φαινολικά συστατικά που χρησιμοποιούνται από τα φυτά ως παρεμποδιστές.
- Η αύξηση της συγκέντρωσης της αιθανόλης διεγείρει την ανάπτυξη μυκήτων. Επιπρόσθετα, ως διεγερτικό αύξησης παθογόνων μυκήτων λειτουργεί και η αυξημένη απελευθέρωση σακχάρων, αμινοξέων και αιθανόλης από τις ρίζες (προάγουν τη βλάστηση των σπορίων και είναι ελκυστικά).



## **6. Επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στα καλλιεργούμενα είδη της Κρήτης**

### **6.1. Επιπτώσεις στην καλλιέργεια των εσπεριδοειδών**

Η καλλιέργεια των εσπεριδοειδών αποτελεί μια από τις κύριες καλλιέργειες στην περιοχή της Μεσογείου όπου τα καταγεγραμμένα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ιδιαίτερα των φωτοχημικών ρύπων, είναι ιδιαίτερα ψηλά. Παρόλα αυτά οι μελέτες που αναφέρονται στην επίδραση των ρύπων στην ανάπτυξη και παραγωγή των εσπεριδοειδών είναι λίγες (Thompson *et al.*, 1971, Crescimanno *et al.*, 2000, Calatayud *et al.*, 2006, Iglesias *et al.*, 2006). Ο Thompson και οι συνεργάτες του (1971) αναφέρουν πιθανή αρνητική επίδραση στην παραγωγή και πρόωρη πτώση φύλλων σε καλλιέργεια πορτοκαλιάς που αποδίδεται σε υψηλά επίπεδα NO<sub>x</sub>. Ο Calatayud και οι συνεργάτες του (2006) αναφέρουν επιπτώσεις στη φωτοσυνθετική ικανότητα φυτών μανταρινιάς (*Citrus unshiu* [Mak.] Marc. Cv Okitsu) μετά από 12 μήνες έκθεση σε όζον. Πειράματα των Iglesias *et al.*, 2006 σε φυτά κλημεντίνης (*Citrus clementina* [Hort. Ex Tan.] cv Marisol) έδειξαν μείωση της χλωροφύλλης, των καροτενοειδών και αύξηση των υδατανθράκων (που πιθανά δείχνει την αλλαγή στην κατανομή του άνθρακα στο φυτό) μετά από 6 μήνες έκθεση σε όζον. Επιπλέον αναφέρουν αλλαγές των αντιοξειδωτικών συστατικών και των ορμονών (αιθυλένιο) που συνδέονται με την πρόωρη γήρανση. Όσον αφορά στην επίδραση των βαρέων μετάλλων στα αποτελέσματα της μελέτης που διεξήχθη από τον Crescimanno και τους συνεργάτες του (2000) καταγράφεται η συσσώρευση μολύβδου, μαγγανίου και χαλκού στα φύλλα και στους καρπούς σε φυτά πορτοκαλιάς και grapefruit που αναπτύχθηκαν κοντά σε αυτοκινητόδρομο υψηλής κυκλοφορίας.

### **6.2. Επιπτώσεις στην καλλιέργεια της αμπέλου**

Το αμπέλι (*Vitis vinifera* L.) θεωρείται ευαίσθητο είδος όσον αφορά στις επιπτώσεις από την έκθεση στο όζον της τροπόσφαιρας (Fumagalli *et al.*, 2001). Ο Soja και οι συνεργάτες του (2004) σε ένα πείραμα που διήρκησε 4 χρόνια μελέτησαν τις επιπτώσεις του όζοντος στην παραγωγή φρούτων και στη συγκέντρωση σακχάρων στο χυμό του

σταφυλιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν αρνητικές επιδράσεις τόσο στο χυμό όσο και στην παραγωγή σταφυλιού. Παρατηρήθηκαν επιδράσεις στη φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων που τελικά περιόρισαν τη φωτοσυνθετική αφομοιωσιμότητα στο στάδιο του μούρου. Τα δύο πρώτα χρόνια του πειράματος η μείωση της παραγωγής ανήλθε σε 15-20% σε σχέση με φυτά που αναπτύχθηκαν σε φιλτραρισμένο αέρα. Τον τρίτο χρόνο αν και τα επίπεδα όζοντος ήταν μικρότερα η μείωση της παραγωγής ήταν 90% και αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι βασικά στο αμπέλι η δυνατότητα των οφθαλμών να εξελιχθούν σε παραγωγικές κληματίδες καθορίζεται από την προηγηθείσα βλαστική περίοδο. Υπάρχουν πολύ λίγες επιστημονικές δημοσιεύσεις σχετικά με την επίδραση των βαρέων μετάλλων στην ανάπτυξη και παραγωγή στο αμπέλι. Σχετικά πρόσφατα ο Marisa και οι συνεργάτες του (2003) σε πειράματα που έγιναν στην Πορτογαλία αναφέρουν σαν πιθανή πηγή του μόλυβδου, που μπορεί να υπάρχει σε άσπρο και κόκκινο κρασί, την ατμοσφαιρική ρύπανση.

### **6.3. Επιπτώσεις στην καλλιέργεια των λαχανοκομικών ειδών**

Στα φυτά της πατάτας (*Solanum tuberosum* L.) παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση του τροποσφαιρικού O<sub>3</sub> προκαλούνται αρνητικές επιδράσεις στη φωτοσύνθεση, στην ανάπτυξη και στην παραγωγικότητα, και στην ποιότητα της παραγωγής (Vandermeiren *et al.*, 2005). Η έκθεση σε υψηλή συγκέντρωση O<sub>3</sub> για λίγες ώρες προκαλεί καφεκόκκινες κηλίδες στα φύλλα που στη συνέχεια γίνονται νεκρωτικές (Heggstad 1973). Η παρατεταμένη έκθεση θα μπορούσε να οδηγήσει σε αποφύλλωση ή/και θάνατο του φυτού (Ormrod, 1978, Foster *et al.*, 1983). Αναφέρεται ότι τα φυτά είναι ευαίσθητα σε φαινολογικές και φυσιολογικές αλλαγές την περίοδο της έναρξης του σχηματισμού των κονδύλων και του καθορισμού του ξηρού τους βάρους. (Hack *et al.* 1993). Της εμφάνισης των φαινολογικών συμπτωμάτων είχε προηγηθεί, βδομάδες πριν, η μείωση της ενεργότητας του ενζύμου Rubisco (το ένζυμο που ενσωματώνει το CO<sub>2</sub> στον 1,5-διφωσφορικό εστέρα της ριβουλόζης και έτσι ξεκινούν οι αντιδράσεις του κύκλου του Calvin) (Pell *et al.*, 1992). Συνέπεια της μείωσης της ενεργότητας του Rubisco είναι η μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας και της αφομοιωσιμότητας των φύλλων. Επιπλέον, αναλύσεις έδειξαν ότι η υψηλή συγκέντρωση O<sub>3</sub> επιδρά αρνητικά στην

ποιότητα του βολβού ως αποτέλεσμα της μεταβολής των υδατανθράκων που απαιτούνται για τη λειτουργία των φυτών.

Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης και η θρεπτική σύσταση φυτών σπανάκι (*Spinacia oleracea* L.) επηρεάστηκαν σε διάφορες συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> (Jain *et al.*, 2007). Τα φυτά που εκτέθηκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> (600±50 μmol mol<sup>-1</sup>) παρουσίασαν μεγαλύτερη φωτοσυνθετική δραστηριότητα αυξάνοντας την ανάπτυξή τους, μείωση της στοματικής αγωγιμότητας όπως επίσης μείωση της περιεκτικότητας σε N, Mg, και Fe και αύξηση σε C και Ca.

Η τομάτα θεωρείται ευαίσθητο είδος όσον αφορά στις επιπτώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος στην ανάπτυξη των φυτών και στην παραγωγή και η ζημιά μπορεί να κυμανθεί από 30-49% (Mills *et al.*, 2003), με μερικές ποικιλίες περισσότερο ευαίσθητες από άλλες (Calvo *et al.*, 2007). Αυξημένα επίπεδα όζοντος μπορεί να προκαλέσουν επίσης ορατά συμπτώματα που εμφανίζονται σε υπαίθριες καλοκαιρινές καλλιέργειες (Fumagalli *et al.*, 2001). Έχει παρατηρηθεί μείωση της πρώιμης παραγωγής σε συνεχούς ανάπτυξης ποικιλίες τομάτας (Calvo *et al.*, 2007) όπως επίσης σε καρπούζι (Gimeno *et al.*, 1999), σε φασόλια (Ribas and Peñuelas, 2000) και σε αγγούρι (Khan and Khan, 1999). Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η μελέτη της ταυτόχρονης επίδρασης όζοντος και νηματωδών (Khan and Khan, 1997) ή ιώσεων. Τα συμπεράσματα της πρώτης μελέτης είναι ότι η επίδραση του όζοντος και των νηματωδών (*Meloidogyne incognita* race 1) στα φυτά είναι συνεργιστική και προκαλεί αρνητικότερες επιδράσεις από κάθε παράγοντα χωριστά. Επιπλέον η μελέτη έδειξε ότι επηρεάστηκε η αναπαραγωγή των νηματωδών αφού η παραγωγή αυγών ήταν μεγαλύτερη κατά 10,6% στα 50 ppb σε σύγκριση με αυτή σε φιλτραρισμένο αέρα αλλά η γονιμότητα μειώθηκε κατά 6,6%.

#### **6.4. Δεδομένα από πειράματα *in situ***

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που έγινε στα πλαίσια της διεξαγωγής της παρούσας μελέτης έδωσε μόνο δύο αναφορές από πειράματα που έγιναν στην Κρήτη (στο αγρόκτημα του ΤΕΙ Κρήτης, στο Ηράκλειο) και που αφορούν στις επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στις αγροτικές καλλιέργειες της περιοχής. Η πρώτη μελέτη

(Goumenaki *et al.*, 2007) αφορά στις επιδράσεις όζοντος σε καλλιέργειες μαρουλιού. Το μαρούλι αποτελεί μια σημαντική καλλιέργεια για τη Νότια Ευρώπη αφού στην περιοχή παράγεται το 65% της συνολικής παραγωγής της Ευρώπης, που ανέρχεται σε 3,2 10<sup>6</sup> τόνους ετήσια (FAOSTAT, 2005). Η μελέτη αναφέρει εμφάνιση νεκρωτικών κηλίδων σε φύλλα μαρουλιού όπως επίσης μείωση της ξηρής μάζας μέχρι 30%. Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι σε φυλλώδεις καλλιέργειες η εμφάνιση ορατών συμπτωμάτων μηδενίζει την εμπορική αξία της παραγωγής. Η δεύτερη μελέτη (Γουμενάκη και Barnes, 2007) χρησιμοποίησε το βιοσύστημα ενός ευαίσθητου (NC-S) και ενός ανθεκτικού (NC-R) κλώνου του άσπρου τριφυλλιού (*Trifolium repens* L. cv. Regal) για την εκτίμηση της επικινδυνότητας του τροποσφαιρικού όζοντος στις αγροτικές καλλιέργειες της Κρήτης. Ένας μεγάλος αριθμός επιστημονικών μελετών έχει δείξει ότι το προαναφερθέν βιοσύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αξιόπιστα για την εκτίμηση του κινδύνου του ρύπου σε φυτικούς οργανισμούς. Τα συμπεράσματα αναφέρουν ότι μετρήθηκε μείωση της βιομάζας του ευαίσθητου κλώνου σε σχέση με τη βιομάζα του ανθεκτικού (χρησιμοποιήθηκε ο λόγος NC-S: NC-R) έως 60% όπως οι συγκομιδές εξελισσόταν από την περίοδο με χαμηλότερη συγκέντρωση όζοντος (Απρίλιος) στην περίοδο με υψηλότερη συγκέντρωση (Ιούλιος). Επίσης η μελέτη έδειξε ότι η αρνητική επίδραση του όζοντος φαίνεται να είναι προσθετική στην ανάπτυξη των φυτών, δηλαδή μεταφέρθηκε από μια συγκομιδή στις επόμενες (carry over effect). Τα δεδομένα αυτής της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν προσθετικά για τη βελτίωση των διαδικασιών εκτίμησης του κινδύνου των επιπτώσεων του όζοντος στις αγροτικές καλλιέργειες στην Ευρώπη που επιχειρείται από τη UNECE.

## **7. Η κλιματική αλλαγή**

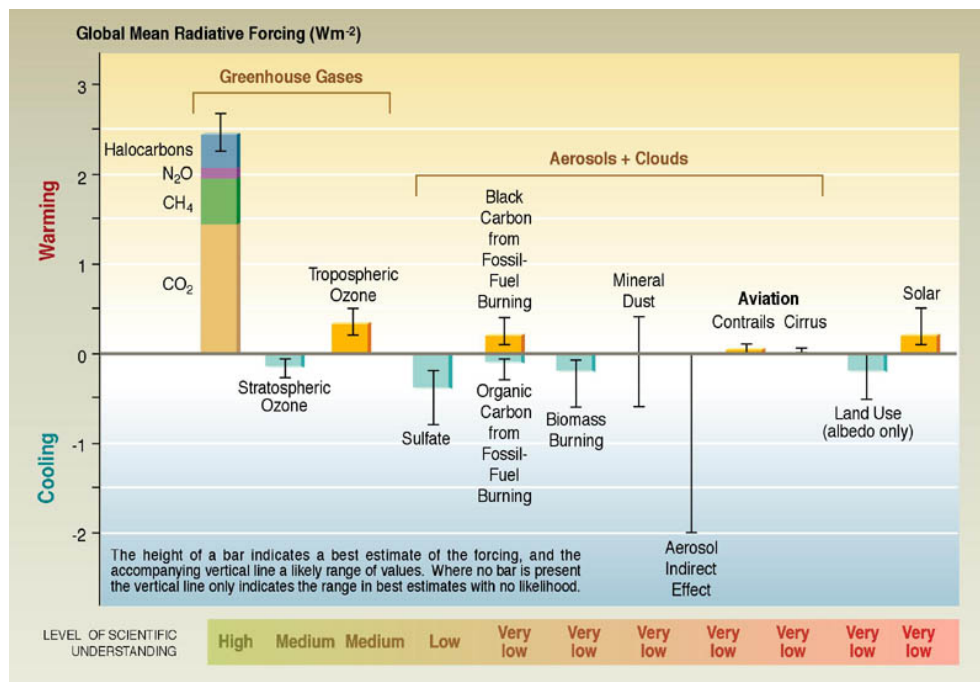
Η εξέλιξη και η ιστορία του πλανήτη γη καθορίζεται από τις αλλαγές του κλίματος. Οι αλλαγές που έχουν συμβεί από την εποχή των παγετώνων μέχρι σήμερα δεν είναι πλήρως κατανοητές (Runeckles, 2002). Παρόλα αυτά πλήθος μελετών αποδεικνύουν ότι η κλιματική αλλαγή που επιτελείται στις μέρες μας είναι αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς δραστηριότητας όπως κατηγορηματικά δηλώνει το 1996 η

Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (World Meteorological Office/United Nations Environment Program's Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) (IPCC, 1996 δεν υπάρχει στη βιβλιογραφία, 2001).

Οι τέσσερις κύριοι δείκτες της εξελισσόμενης κλιματικής αλλαγής είναι:

1. οι αυξανόμενες συγκεντρώσεις των «αερίων του θερμοκηπίου» στην ατμόσφαιρα και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), του μεθανίου (CH<sub>4</sub>), των οξειδίων του αζώτου (N<sub>2</sub>O), των χλωροφθορανθράκων (CFCs) και του τροποσφαιρικού όζοντος (O<sub>3</sub>) που οδηγούν σε:
2. αυξανόμενη μέση θερμοκρασία του πλανήτη εξαιτίας της συγκράτησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας που ανακλάται από την επιφάνεια της γης,
3. αυξανόμενη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων και
4. μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος που προκαλείται από την εκπομπή αερίων (Ozone-Depleting Substances – ODSs) συμπεριλαμβανομένων των CFCs)

Το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας είναι απαραίτητο στοιχείο για τη ζωή στη γη γιατί αποτελεί πηγή του ανόργανου άνθρακα που δεσμεύεται από το μηχανισμό φωτοσύνθεσης των φυτών και μετατρέπεται σε οργανικό άνθρακα για να τροφοδοτήσει έτσι τον κύκλο της ζωής στον πλανήτη. Είναι ειρωνικό λοιπόν ότι οι μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub> που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα σήμερα αποτελεί την κύρια συμμετοχή του ανθρώπου στην κλιματική αλλαγή όπως καταγράφει η IPCC (Γράφημα 6).



**Γράφημα 6.** Συγκριτική παρουσίαση των παραγόντων που συμμετέχουν στην κλιματική αλλαγή. Το ύψος των στηλών αποτελεί ένδειξη της έντασης της συμβολής και η κάθετη γραμμή τη διακύμανση των τιμών. Εμφανίζεται επίσης το μέγεθος της επιστημονικής κατανόησης σε κάθε περίπτωση (IPCC, 2001 b,c).

Η αυξανόμενη ανησυχία για τις συνέπειες της ανθρώπινης δραστηριότητας έχει οδηγήσει σε διεθνείς συμφωνίες όπως το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και του Κιότο για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Το Πρωτόκολλο του Κιότο (1997) για περιορισμό των εκπομπών (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και NO<sub>x</sub>) έχει υπογραφεί από αρκετές χώρες (84 από τις 160) που αποδέχθηκαν μείωση των εκπομπών στα επίπεδα του 1990. Παρόλα αυτά, χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Ινδία, η Αυστραλία και άλλες χώρες, δεν επικυρώνουν το πρωτόκολλο ή δεν δέχονται τα ποσοστά και τα μέτρα μείωσης των εκπομπών. Τελικά, μετά από πολλές αμφιταλαντεύσεις η Ρωσία υπέγραψε στο τέλος του 2005 το πρωτόκολλο του Κιότο και η συμφωνία επισημοποιήθηκε. Οι επιπτώσεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου είναι προφανείς, ιδιαίτερα στην ενεργειακή πολιτική των χωρών και στην οικονομική δραστηριότητα. Οι ΗΠΑ (η χώρα αυτή παράγει περίπου το 25% των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε παγκόσμια κλίμακα) είναι σίγουρα η χώρα με το μεγαλύτερο οικονομικό και ενεργειακό πρόβλημα από τη συμφωνία για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Σε αντίθεση

με χώρες όπως η Μ. Βρετανία και η Γερμανία που πέτυχαν τις υψηλότερες μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τα τελευταία χρόνια.

### **7.1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου**

Πηγή ενέργειας για τη Γη και το κλίμα της είναι ο Ήλιος, ο οποίος παρέχει ακτινοβολία στην ορατή και υπεριώδη περιοχή του φάσματος. Περίπου το ένα τρίτο της ακτινοβολίας που φτάνει στην άκρη της ατμόσφαιρας ανακλάται κατευθείαν πίσω στο διάστημα. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα απορροφώνται, κυρίως από τη Γη αλλά και από την ατμόσφαιρα. Προκειμένου να εξισορροπηθεί το ποσό της ενέργειας που απορροφάται, η Γη πρέπει να εκπέμπει το ίδιο ποσό ενέργειας στο διάστημα.

Ένα μεγάλο μέρος αυτής της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το έδαφος και τον ωκεανό απορροφάται από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα και ακτινοβολείται πίσω στη γη. Αυτό καλείται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι τοίχοι γυαλιού σε ένα θερμοκήπιο μειώνουν τη ροή του αέρα και αυξάνουν τη θερμοκρασία του εσωτερικού του. Ανάλογα, αλλά μέσω μιας διαφορετικής φυσικής διαδικασίας, το φαινόμενο του γήινου θερμοκηπίου θερμαίνει την επιφάνεια του πλανήτη.

Αν δεν υπήρχε το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης θα ήταν κάτω από το σημείο πήξης του νερού. Με άλλα λόγια, αν δεν υπήρχε το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ζωή στη Γη, τουλάχιστον με τη σημερινή της μορφή, δεν θα υπήρχε. Το πρόβλημα είναι ότι οι δραστηριότητες του ανθρώπου, κυρίως η καύση ορυκτών καυσίμων και η καταστροφή των δασών, εντείνουν κατά πολύ το φαινόμενο του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του πλανήτη.

Τα αέρια της ατμόσφαιρας, που βρίσκονται σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και οξείδια του αζώτου), δεσμεύουν την ενέργεια αυτή δημιουργώντας το φαινόμενο της θέρμανσης της ατμόσφαιρας όπως σε ένα τεχνητό θερμοκήπιο. Οι υδρατμοί είναι το σημαντικότερο αέριο θερμοκηπίου και το διοξείδιο του άνθρακα το δεύτερο πιο σημαντικό, ενώ συμβάλλουν κι άλλα αέρια, όπως το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου και το όζον, τα οποία υπάρχουν σε μικρότερα ποσοστά.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι ο ρυθμός απομάκρυνσης των αερίων θερμοκηπίου από την ατμόσφαιρα (πχ απομάκρυνση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά, μέσω της φωτοσύνθεσης). Αυτός είναι και ο λόγος που η καταστροφή των δασών επηρεάζει την εκδήλωση του ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου σε μεγάλο βαθμό.

Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 10) απεικονίζεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου



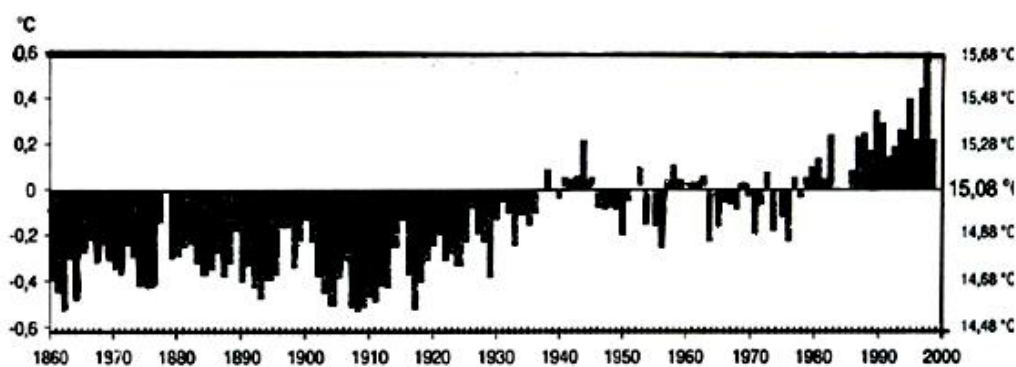
**Εικόνα 10.** Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου (Πηγή: <http://www.eere.energy.gov>)

Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, πριν 250 χρόνια, η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε από 300 ppm το 1900 σε 360 ppm το 2000. Αν και οι συγκεντρώσεις αυτές είναι εξαιρετικά μικρές, η σημασία τους είναι πολύ μεγάλη για τα ευαίσθητα οικοσυστήματα και τη λεπτή ισορροπία που επικρατεί στην ατμόσφαιρα του πλανήτη μας. Επίσης, η συγκέντρωση των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκε. Του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) π.χ. σχεδόν διπλασιάστηκε (σε 1,8 ppm σε σχέση με παλαιότερες εποχές) και των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) αυξήθηκε κατά 15% (σε 310



ppb από 300 ppb στις αρχές του αιώνα). Σημασία όμως έχει ότι η ικανότητα υπερθέρμανσης των NOx είναι 300 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του CO<sub>2</sub>. Επίσης, πολυφθοριωμένες ενώσεις (συγκεντρώσεις 0.5-0.3 ppb), (όπως των CFC-12, HCFC-22, CF<sub>4</sub> SF<sub>6</sub>), συνεισφέρουν στο συνολικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι αυξήσεις αυτές μεγιστοποίησαν την ικανότητα δέσμευσης της θερμότητας από την γήινη ατμόσφαιρα. Αντίθετα, τα θεϊκά αερολύματα, αν και αέριοι ρύποι, με την ικανότητα που έχουν να αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο διάστημα μείωσαν μερικώς τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας (Γράφημα 6).

Οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια της γης, όπως μετρούνται συστηματικά εδώ και πολλές δεκαετίες, δείχνουν αύξηση της τάξης των 0,5-0,7°C από το τέλος του 19ου αιώνα (Γράφημα 7). Στον 20<sup>ο</sup> αιώνα τα δέκα θερμότερα έτη ήταν μεταξύ των 15 τελευταίων ετών (1985-2000, θερμότερο το έτος 1998).



**Γράφημα 7.** Μέση θερμοκρασία σε παγκόσμια κλίμακα στην περίοδο 1860-2000. Οι μετρήσεις έχουν καταγραφεί από το Hadley Center, UK Meteorological Office, and Climate research Unit, University of East Anglia. (Βαλαβανίδης, 2007).

Η ανθρώπινη δραστηριότητα θα συνεχίσει να αλλάζει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας στον 21<sup>ο</sup> αιώνα σύμφωνα με όλα τα σενάρια της IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της γης υπολογίζεται ότι θα αυξηθεί κατά 1,8 – 4,0°C την περίοδο 1990-2100. Ο μέσος όρος της πυκνότητας των υδρατμών και κατακρημνισμάτων υπολογίζεται επίσης να αυξηθεί στη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Επιπλέον υπάρχουν αυξανόμενες ενδείξεις για ξηρασία στα μέσα υψίπεδα

μακροπρόθεσμα. Πιθανά θα υπάρξουν περισσότερα και συχνότερα ακραία φαινόμενα όπως πλημμύρες και κυκλώνες. Υπάρχει γενική συμφωνία ότι αυτά τα ακραία καιρικά φαινόμενα θα επηρεάσουν την ανθρώπινη κοινότητα και το φυσικό περιβάλλον (IPCC, 2007).

Αν και το πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί μία από τις μακροχρόνιες λύσεις του προβλήματος, έχουν προταθεί και άλλες τεχνολογικές και οικολογικές λύσεις. Την τελευταία δεκαετία έχει ξεκινήσει και η συστηματική καταγραφή των αερίων εκπομπών αλλά και μειώσεων που επιτυγχάνουν οι διάφορες χώρες. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ήδη ένα δραστήριο πρόγραμμα έρευνας και μετρήσεων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### **7.2.1. Οι επιδράσεις της αλλαγής της θερμοκρασίας**

Οι σημαντικότερες αλλαγές στη θερμοκρασία είναι όχι μόνο η αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας αλλά και η αύξηση στη συχνότητα των μέγιστων και ελάχιστων τιμών, επηρεάζοντας καθοριστικά το βιολογικό κύκλο του φυτού. Η μεταβολή αυτών των τιμών επηρεάζει άμεσα την εδαφική υγρασία, το ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> και το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>). Επιπλέον πιθανά οι μεταβολές αυτές της θερμοκρασίας να οδηγήσουν σε αύξηση του πληθυσμού των εντομολογικών εχθρών των καλλιεργειών και να ευνοήσει τα C4 ζιζάνια που αναπτύσσονται σε C3 καλλιεργούμενα είδη (Fuhrer, 2003).

Μελέτες έχουν δείξει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά στα φαινολογικά χαρακτηριστικά των καλλιεργούμενων φυτών, όπως στο χρόνο άνθισης και ωρίμανσης των φρούτων. Ειδικότερα ο Schröder και οι συνεργάτες του (2006) συσχέτισαν την επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας την περίοδο 1991-1999 σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 σε ένα αριθμό φαινολογικών χαρακτηριστικών στα είδη *Corylus avellana* (Φουντουκιά), *Galanthus nivalis* (Γάλανθος, καλλωπιστικό), *Forsythia suspensa* (Φορσύθια.), *Malus domestica* (Μηλιά), *Quercus sp.* (Βελανιδιά), *Sambucus nigra* (Σαμπούκος), *Tilia sp.* (Φλαμουριά), *Sorbus aucuparia*, (Σορβιά), *Sambucus nigra* (Μελανός Σαμπούκος), *Aesculus hippocastanum* (Άσπρη Αγριοκαστανιά.), *Triticum aestivum* (Μαλακό σιτάρι). Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 640 θέσεις στη Γερμανία. Στα είδη αυτά διερευνήθηκε η επίδραση στην έναρξη των εξής

φαινολογικών σταδίων: άνθιση, καρπός, έκπτυξη φύλλων, αλλαγή χρώματος φύλλων και νεαρής βλάστησης, τα οποία αποτελούν ενδείξεις για την επίδραση της αλλαγής του κλίματος σε τοπικό επίπεδο. Η επιστημονική ομάδα συμπεραίνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας την περίοδο 1991-1999 σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 συσχετίζεται (μέσος συντελεστής συσχέτισης 0,84) με την πρωίμηση των προαναφερόμενων φαινολογικών σταδίων την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

Όσον αφορά στις αγροτικές καλλιέργειες το ενδιαφέρον, και δικαιολογημένα, συγκεντρώνεται στην παγκόσμια παραγωγή σιταριού. Το 21% περίπου της τροφής παγκόσμια στηρίζεται στην καλλιέργεια σιταριού (*Triticum aestivum*) που καλύπτει 200 εκατομμύρια εκτάρια (FAOSTAT, 2009). Αν και τα αναπτυσσόμενα κράτη είναι οι κύριοι εισαγωγείς στο παγκόσμιο εμπόριο σιταριού η πραγματικότητα είναι ότι το 81% της παγκόσμιας κατανάλωσης παράγεται και χρησιμοποιείται από το ίδιο κράτος (Ortiz *et al.*, 2008). Σε αυτές τις συνθήκες πολλά φτωχά νοικοκυριά εξαρτώνται από την αυξημένη παραγωγή σιταριού από τις καλλιέργειες του για να βελτιώσουν την εξασφάλιση τροφίμων. Μέχρι το 2020 η ζήτηση σιταριού για ανθρώπινη κατανάλωση αναμένεται να είναι αυξημένη κατά 1,6% ανά έτος και για τροφή ζώων κατά 2,6% ανά έτος. Η παγκόσμια παραγωγή λοιπόν ανά στρέμμα θα πρέπει να αυξηθεί για να ικανοποιηθούν αυτές οι ανάγκες τα επόμενα 25 χρόνια από 2,6 σε 3,5 τόνους ανά εκτάριο. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος θα πρέπει να βελτιωθεί το γενετικό υλικό και να διαφοροποιηθούν οι αγρονομικές πρακτικές. Από την άλλη μεριά αναμένεται η άνοδος της θερμοκρασίας που συνοδεύει την κλιματική αλλαγή να συμβάλλει στη μείωση της στρεμματικής απόδοσης. Δυνητικά αυτό θα αυξήσει την ανασφάλεια στη διάθεση τροφίμων και την πείνα στον πλανήτη. Οι προβλέψιμες επιδράσεις στην καλλιέργεια σιταριού αφορούν στο γέμισμα του κόκκου. Η δράση της συνθετάσης του αμύλου, είναι γνωστό ότι περιορίζεται στους 20°C. Επιπλέον το γέμισμα περιορίζεται λόγω της αρνητικής επίδρασης του θερμοκρασιακού stress στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Σε μελέτη που εκπονήθηκε από τον Anwar και τους συνεργάτες του (2007) όσον αφορά στην επίδραση της κλιματικής αλλαγής, με βάση τα σενάρια της IPCC, στην παραγωγή μη αρδευόμενων καλλιεργειών σιταριού στην νοτιο-ανατολική Αυστραλία, δείχθηκε ότι τα επόμενα χρόνια θα υπάρξει μείωση 25%. Ειδικότερα βρέθηκε ότι η

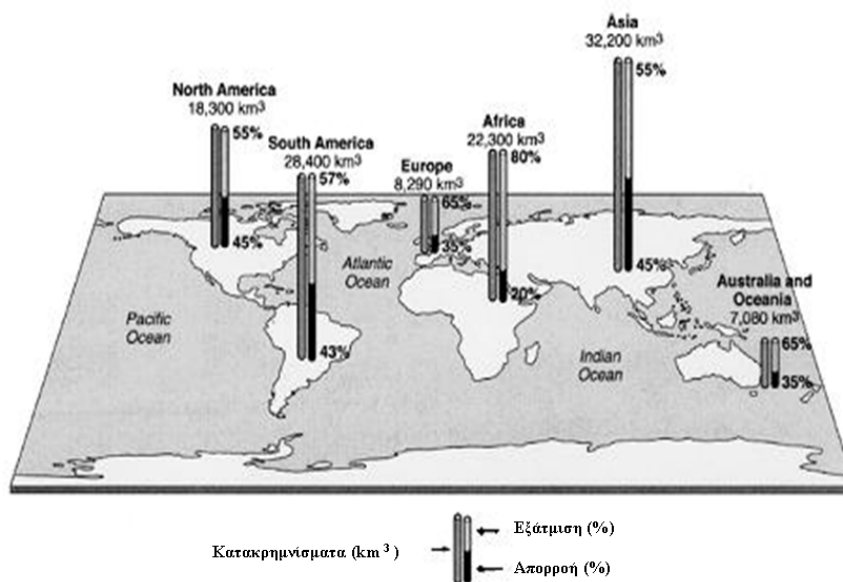
μείωση που θα προκύψει ως αποτέλεσμα από την αύξηση της θερμοκρασίας ως μέσος όρος θα είναι 29%. Η αύξηση του CO<sub>2</sub> υπολογίστηκε ότι θα μετριάσει αυτή την απώλεια παραγωγής κατά 4%. Οι ερευνητές καταλήγουν ότι προκειμένου η παραγωγή να κρατηθεί στα σημερινά επίπεδα η βελτίωση του γενετικού υλικού και των αγρονομικών πρακτικών θα πρέπει να συντελέσουν στην αύξηση της παραγωγής κατά 25% τις επόμενες δεκαετίες.

Ο Qaderi και οι συνεργάτες του (2006) διερεύνησαν την επίδραση των τριών δεικτών της κλιματικής αλλαγής δηλαδή, την αύξηση της θερμοκρασίας, του CO<sub>2</sub> και της ξηρασίας στην ανάπτυξη της ελαιοκράμβης. Οι ερευνητές ανέπτυξαν τα φυτά σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών σε συνθήκες χαμηλότερης θερμοκρασίας (22/18°C) και υψηλότερης (28/24°C) σε συγκέντρωση CO<sub>2</sub> ίση με τη σημερινή στον αέρα (370 μmol mol<sup>-1</sup>) και σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση (740 μmol mol<sup>-1</sup>). Τα μισά φυτά ποτίζονταν σύμφωνα με την κοινή αγρονομική πρακτική και στα υπόλοιπα μισά δίδονταν τόσο νερό ώστε τα φυτά να συγκρατηθούν λίγο πριν τη μάρανση. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες ξηρασίας σε υψηλή θερμοκρασία και στα σημερινά επίπεδα CO<sub>2</sub> είχαν μειωμένο ύψος και διάμετρο στελεχών, μειωμένο αριθμό φύλλων και φυλλική επιφάνεια, ξηρή μάζα, μειωμένη αναλογία ξηρού βάρους βλαστών/ρίζες, μειωμένη καθαρή φωτοσύνθεση και ενεργό χλωροφύλλη. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στα υψηλά επίπεδα CO<sub>2</sub> έδειξαν μερική αναστροφή της αρνητικής επίδρασης της υψηλής θερμοκρασίας και της ξηρασίας. Επιπλέον, η ξηρασία προκάλεσε αύξηση του αμπισσικού οξέος (ABA) αλλά η υψηλή θερμοκρασία εμπόδιζε την ικανότητα των φυτών να παράγουν ABA ως ανταπόκριση στην ξηρασία!

### **7.2.2. Οι αλλαγές στη διαθεσιμότητα του νερού**

Ο συνολικός όγκος του νερού στη γη είναι τεράστιος~ 1,4 δισ. Km<sup>3</sup>. Όμως το ποσοστό που είναι καθαρό και προσβάσιμο είναι μόνο το 1% αυτής της ποσότητας περίπου 11 εκατ. Km<sup>3</sup> (Batchelor, 1999). Το πρόβλημα λοιπόν με τη διαθεσιμότητα του νερού στον πλανήτη είναι μάλλον η αδυναμία πρόσβασης σε καθαρό νερό σε μερικά μέρη σε κάποιες περιόδους. Η Εικόνα 10 δείχνει τα ποσοστά του νερού των κατακρημνισμάτων που χάνονται από την εξάτμιση και την απορροή στις διάφορες

περιοχές του πλανήτη. Η αγροτική παραγωγή είναι ο μεγαλύτερος χρήστης φρέσκου νερού και χρησιμοποιεί περίπου τα  $\frac{3}{4}$  της παγκόσμιας κατανάλωσης.

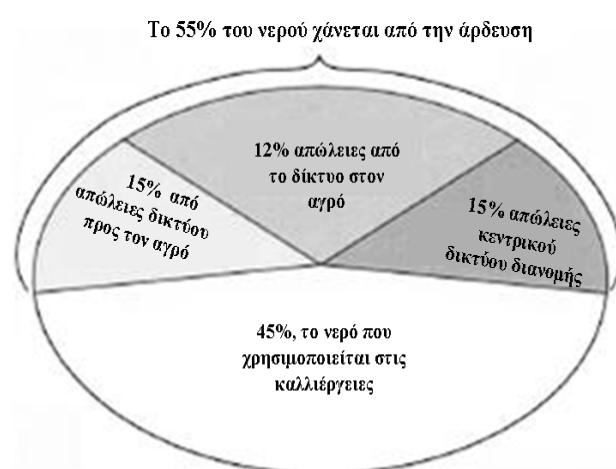


**Εικόνα 10.** Οι απώλειες του επιφανειακού νερού στον πλανήτη. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, εξάτμιση και απορροή του νερού (Πηγή: UNEP, 2008).

Η αγροτική παραγωγή βέβαια δεν καταναλώνει νερό με τη συμβατική έννοια της κατανάλωσης, δεδομένου ότι ασήμαντες ποσότητες νερού δεσμεύονται στα προϊόντα που παράγονται. Το μεγαλύτερο μέρος του νερού που χρησιμοποιείται στην αγροτική παραγωγή εξατμίζεται και πρακτικά επιστρέφει στην επιφάνεια της γης με τις βροχοπτώσεις (Πίνακας 7, Γράφημα 8). Η χρήση ανακυκλωμένου νερού για την αγροτική παραγωγή είναι περιορισμένη γιατί η υποβάθμιση του χρησιμοποιημένου νερού καθιστά την επαναχρησιμοποίηση του δύσκολη λόγω του υψηλού κόστους της διαδικασίας καθαρισμού των υγρών λυμάτων.

**Πίνακας 7.** Αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού στην περίπτωση της αρδευόμενης και της μη-αρδευόμενης γεωργίας (Wallace, 2000).

|                         | Αρδευόμενη<br>Γεωργία (διαθέσιμο<br>νερό, %) | Μη-αρδευόμενη<br>Γεωργία (ποσότητα<br>βροχής, %) |
|-------------------------|--|--|
| Αποθήκευση και μεταφορά | 30   | 0  |
| Απορροή                 | 44   | 40-50  |
| Εξάτμιση                | 8-13   | 30-35  |
| Εξατμισοδιαπνοή         | 13-18  | 15-30  |



**Γράφημα 8.** Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού για άρδευση καλλιεργειών (Πηγή: Sophocleous, 2004).

Έχει υπολογιστεί ότι η παγκόσμια ζήτηση για τρόφιμα, καύσιμα και ίνες τα οποία προσφέρει η αγροτική παραγωγή θα αυξηθεί δύο – έξη φορές στις επόμενες δύο γενεές. Σήμερα, το 1/6 του ανθρώπινου πληθυσμού της γης πεινά και 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό. Διακόσια τριάντα εκατομμύρια άνθρωποι που ζουν σε 26 κράτη υπολογίζεται ότι ζουν σε συνθήκες έλλειψης νερού, ζώντας σε περιοχές που η διαθεσιμότητα του νερού που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές είναι λιγότερο από 1000m<sup>3</sup> ανά άτομο το χρόνο. Το 2020 ο αριθμός των χωρών που θα έχουν πρόβλημα έλλειψης νερού υπολογίζεται ότι θα φθάσουν τις 35.

Όταν το διαθέσιμο νερό είναι περιορισμένο τότε η διαθεσιμότητα για την αγροτική παραγωγή περιορίζεται έναντι της οικιακής ή της βιομηχανικής χρήσης.

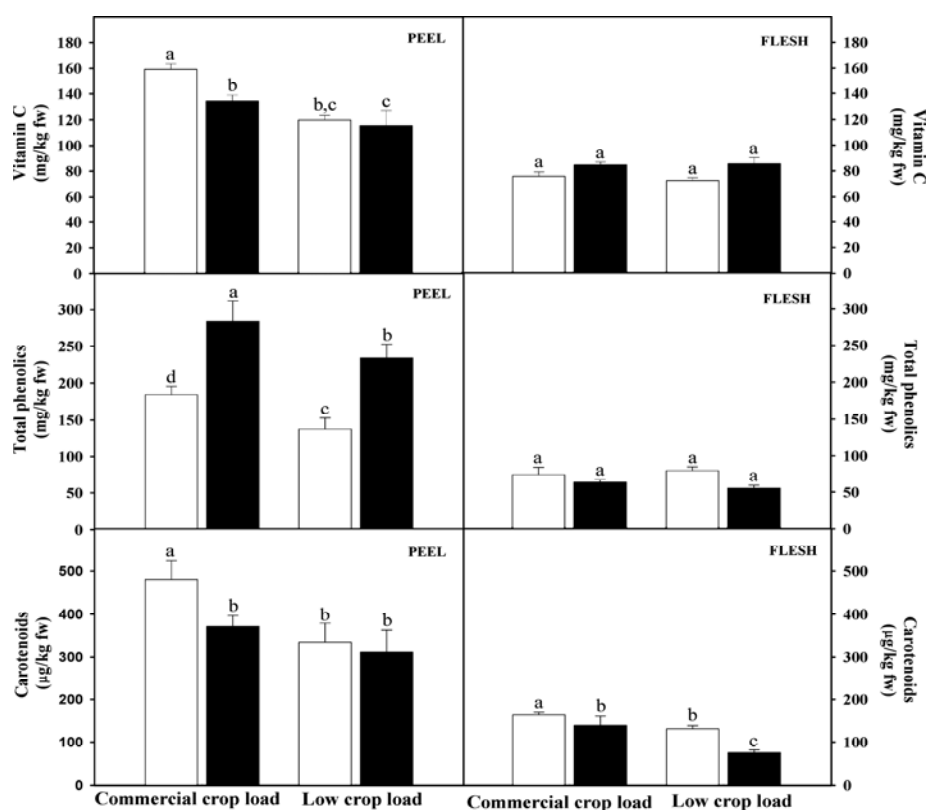
Αναμένεται λοιπόν ότι τα επόμενα χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής οι χώρες που απειλούνται από ξηρασία θα διαθέτουν για αγροτική παραγωγή πολύ περιορισμένες ποσότητες νερού (Wallace, 2000). Υπάρχει λοιπόν πολύ μεγάλη ανάγκη για βελτίωση της αποτελεσματικής χρήσης του νερού για αγροτική χρήση, ιδιαίτερα στις περιοχές όπου η διάθεση είναι περιορισμένη. Σήμερα, η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα αναζητεί λύσεις σε αυτό το πεδίο κατάλληλες και οικονομικά προσιτές για κάθε περίπτωση. Τελευταία οι ερευνητές ασχολούνται με τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας με την οποία ο άνθρακας δεσμεύεται ανά μονάδα νερού που χρησιμοποιείται στην εξατμισοδιαπνοή. Εδώ φυσικά απαιτείται η συνεργασία φυσιολόγων, γενετιστών και βελτιωτών.

Σήμερα η αναζήτηση στρατηγικών σε πλανητικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο για ορθολογική διαχείριση του νερού συνοψίζονται ως εξής (Qadir *et al.*, 2003):

- (1) Κατανόηση της έννοιας του «πραγματικού νερού» (virtual water) και την πιθανή χρήση του νερού σαν πλανητική λύση σε τοπικό επίπεδο δηλαδή, οι χώρες που αντιμετωπίζουν πρόβλημα έλλειψης νερού θα μπορούσαν να εισάγουν μέρος των τροφίμων ή άλλων αγαθών που απαιτούν για την παραγωγή τους περισσότερο νερό και να εξάγουν αυτά που απαιτούν λιγότερο νερό
- (2) Βελτίωση της αποτελεσματικής χρήσης του νερού και στις αρδευόμενες καλλιέργειες αλλά και σε αυτές που οι ανάγκες για παραγωγή ικανοποιούνται από τις βροχοπτώσεις.
- (3) Χρήση αποτελεσματικών, οικονομικών και περιβαλλοντικά αποδεκτών μεθόδων για τη βελτίωση του μολυσμένου νερού και των υποβαθμισμένων εδαφών.
- (4) Αφαλάτωση του νερού όπου αυτό είναι δυνατό και πραγματοποιήσιμο.

Η αλλαγή στη διαθεσιμότητα του νερού αναμένεται να επηρεάσει εκτός από την ποσότητα και τη διατροφική αξία των παραγόμενων προϊόντων. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε με φρούτα ροδακινιάς (*Prunus persica* L.) από την Buendía και την ομάδα της (2008), η μείωση του νερού άρδευσης είχε ως αποτέλεσμα όχι μόνο τη

μείωση στο βάρος αλλά και την υποβάθμιση των θρεπτικών συστατικών του φρούτου. Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν δύο στρατηγικές άρδευσης, η πλήρης άρδευση (fully irrigated, FI) και η μειωμένη άρδευση (regulated deficit irrigation RDI), που συγκρίθηκαν σε δύο επίπεδα φορτίου, στο εμπορικό (commercial crop load) και στο μισό του εμπορικού φορτίου (low crop load) των καλλιεργειών (Γράφημα 9). Η μειωμένη άρδευση μείωσε στη συγκεκριμένη μελέτη την περιεκτικότητα σε βιταμίνη C και σε καροτενοειδή στο φλοιό των φρούτων και τα καροτενοειδή στη σάρκα των φρούτων. Αντίθετα η περιεκτικότητα σε φαινόλες αυξήθηκε με τη μειωμένη άρδευση στο φλοιό των φρούτων.



**Γράφημα 9.** Περιεκτικότητα σε βιταμίνη C, φαινόλες και καροτενοειδή στο φλοιό (PEEL) και τη σάρκα (FLESH) σε πλήρως αρδευόμενες καλλιεργείες (λευκές στήλες) και σε καλλιεργείες με περιορισμένη άρδευση (μαύρες στήλες) σε εμπορική παραγωγή (commercial crop load) και σε μικρή παραγωγή (low crop load). Οι τιμές του γραφήματος είναι ο μέσος όρος των τιμών δέκα φρούτων από τρεις επαναλήψεις. Φαίνεται επίσης η τυπική απόκλιση. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο  $P < 0,001$  σημειώνονται με διαφορετικά γράμματα (Buendía *et al.*, 2008).



### **7.3. Μηχανισμός παρακολούθησης και σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο θερμοκηπίου**

Το 2002 η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύτηκε συλλογικά στα πλαίσια των υποχρεώσεων της που απορρέουν από το Πρωτόκολλο του Κιότο να μειώσει τις εκπομπές της κατά 8% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους βάσης. Πρωτοπορώντας παγκόσμια, με την Οδηγία 2003/87 η Ευρωπαϊκή Ένωση καθιερώνει ένα σύστημα για την εμπορία δικαιωμάτων αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας. Με αυτή την απόφαση επιδίωξαν να καταστεί δυνατή η ακριβέστερη και τακτική αξιολόγηση της προόδου όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών, με σκοπό την τήρηση των υποχρεώσεων που ανελήφθησαν από την Κοινότητα δυνάμει της συμβάσεως-πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές (CCNUCC) και του πρωτοκόλλου του Κιότο.

Στηριζόμενη στο Πρωτόκολλο του Κιότο, η Οδηγία 2003/87/ΕΚ καθιερώνει ένα σύστημα που προβλέπει την αγοραπωλησία δικαιωμάτων εκπομπών μεταξύ των βιομηχανικών επιχειρήσεων και επιτρέπει στις επιχειρήσεις αυτές να κατανέμουν δικαιώματα εκπομπών και να χρησιμοποιούν τα δικαιώματα αυτά για συμμόρφωση με τις υποχρεώσεις τους σε θέματα εκπομπών. Το σύστημα τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου του 2005 στα 25 Κράτη μέλη της ΕΕ.

### **7.4. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αγροτική δραστηριότητα.**

Η παραγωγικότητα στη γεωργία και η ανάπτυξη των φυτών (συμπεριλαμβανομένων των ζιζανίων) εξαρτάται κατά πολύ από τις καιρικές συνθήκες παρόλα τα τεχνολογικά επιτεύγματα όπως οι βελτιωμένες ποικιλίες καλλιεργούμενων φυτών και τα συστήματα άρδευσης. Η εποχική διακύμανση που σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει σίγουρα την ανάπτυξη των καλλιεργειών και των βοσκοτόπων και τις τοπικές κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες με την αλλαγή της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, των δύο μεγαλύτερων περιοριστικών παραγόντων για την αγροτική παραγωγή. Αυτά θα πρέπει να εξεταστούν συνυπολογίζοντας την επίδραση της αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα στην

ανάπτυξη των φυτών δηλαδή την αύξηση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης και της αποτελεσματικότερης χρήσης του νερού από τα φυτά. Επομένως η αλλαγή του κλίματος θα επηρεάσει την παραγωγή τροφίμων στις αγροτικές κοινότητες και την άσκηση της γεωργίας μέσα από τις μακροπρόθεσμες αλλαγές στα οικοσυστήματα και από την αυξημένη συχνότητα και ένταση των ακραίων φαινομένων όπως καύσωνες, ξηρασίες, πλημμύρες, κυκλώνες, κατολισθήσεις και εξάρσεις ασθενειών.

Όλα αυτά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε περιορισμό των καλλιεργούμενων εκτάσεων και του νερού για άρδευση, σε διάβρωση εδαφών, περιορισμό της ανταπόκρισης των φυτών στη λίπανση, σε προβλήματα που σχετίζονται με τα γνωστά μέχρι σήμερα φυτοπαράσιτα αλλά και την εμφάνιση άγνωστων φυτοπαρασίτων, περιορισμό της γενετικής ποικιλότητας των καλλιεργειών, απώλεια παραγωγής και καταστροφές από την άνοδο της θερμοκρασίας (Bi and Parton, 2008). Αυτές οι αλλαγές θα μετατοπιστούν στην οικονομική ανάπτυξη και επομένως στην κοινωνία. Όσον αφορά στη γενετική ποικιλότητα η κλιματική αλλαγή θα μπορούσε να απειλήσει άγρια συγγενικά είδη που αποτελούν σημαντική πηγή της γενετικής ποικιλότητας για τη βελτίωση των καλλιεργειών. Σύμφωνα με κλιματικά μοντέλα π.χ. το 2055 καλλιέργειες φυτών όπως της αραχίδα (*Arachis sp.*), των μαυρομάτικων φασολιών (*Vigna sp.*) και της πατάτα (*Solanum sp.*) θα παρουσιάσουν πιθανή μείωση 24-31%, 50% και 7-13% αντίστοιχα (Jarvis *et al.* 2008)

Η αλλαγή του κλίματος επηρεάζει όλο και περισσότερο αρνητικά την ένταση των βροχοπτώσεων. Με την αλλαγή της διακύμανσης των βροχοπτώσεων η γεωργία τείνει να αντιμετωπίσει μεγάλα εμπόδια έως ότου μπορέσουν να προσαρμοστούν στην αλλαγή του κλίματος και στην προβλεπόμενη μελλοντική αύξηση της κλιματικής μεταβλητότητας (Cooper *et al.*, 2008). Ωστόσο, η ελάττωση της συχνότητας και της έντασης, τις τελευταίες δεκαετίες, φαίνεται να είναι όλο και πιο εμφανείς όπως παρουσιάζεται από μια πρόσφατη μελέτη (Pelfini και Santilli, 2008), που δείχνει παρόμοια μείωση στη νότια Ιταλία και στις Ελβετικές Άλπεις.

Ειδικότερα για την Ελλάδα αναφέρεται πως το 2080 η μείωση των βροχοπτώσεων μπορεί να φτάσει το 33%. Στη λεκάνη του Αλιάκμονα π.χ. η μέση ετήσια απορροή θα μειωθεί κατά 30% μέχρι το 2080 (κυρίως τη θερινή περίοδο) και η υγρή περίοδος θα μετατοπιστεί προς το Δεκέμβριο με αποτέλεσμα τη σημαντική

επιμήκυνση της ξηρής περιόδου και τη μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης (Mimikou *et al.*, 1999).

## **8. Γεωργία χαμηλών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου**

Η άσκηση της αγροτικής δραστηριότητας συμβάλλει κατά 10-12% στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που υπολογίζονται σε ισοδύναμο προς 5,1-6,1 Gt CO<sub>2</sub> ετήσια. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρατεθούν προτάσεις που αποσκοπούν αφενός στη μείωση των εκπομπών από την αγροτική δραστηριότητα και αφετέρου στη μείωση των εισροών στην παραγωγή τροφίμων.

Οι αγρονομικές πρακτικές που προτείνονται στην τέταρτη έκθεση της IPCC (Smith *et al.*, 2007) και που σχετίζονται με τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου αναφέρονται στα ακόλουθα:

### **Σχεδιασμός συστημάτων καλλιέργειας.**

- Βελτίωση ποικιλιών
- Χρησιμοποίηση πολυετών φυτών στην αμειψισπορά
- Κάλυψη με φυτά μεταξύ διαδοχικών καλλιεργειών ή μεταξύ των γραμμών καλλιέργειας
- Υιοθέτηση αγροτικών συστημάτων με μειωμένες εισροές.
- Βελτίωση παραγωγικότητας και αποτελεσματικότητας φυτών και ζώων.

Η εντατική άσκηση της γεωργίας, η οποία βασίζεται σε μονοκαλλιέργειες με υψηλή στρεμματική απόδοση, εξαρτάται από μεγάλες εξωτερικές εισροές όπως τα συνθετικά λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα. Πρακτικές της αειφόρου γεωργίας που συντελούν στη μείωση των εισροών είναι:

- Χουμοποίηση των υπολειμμάτων και η χρήση φυτών που δεσμεύουν άζωτο.
- Αποφυγή της χρήσης συνθετικών παρασιτοκτόνων και η εφαρμογή ολοκληρωμένης αντιμετώπισης.

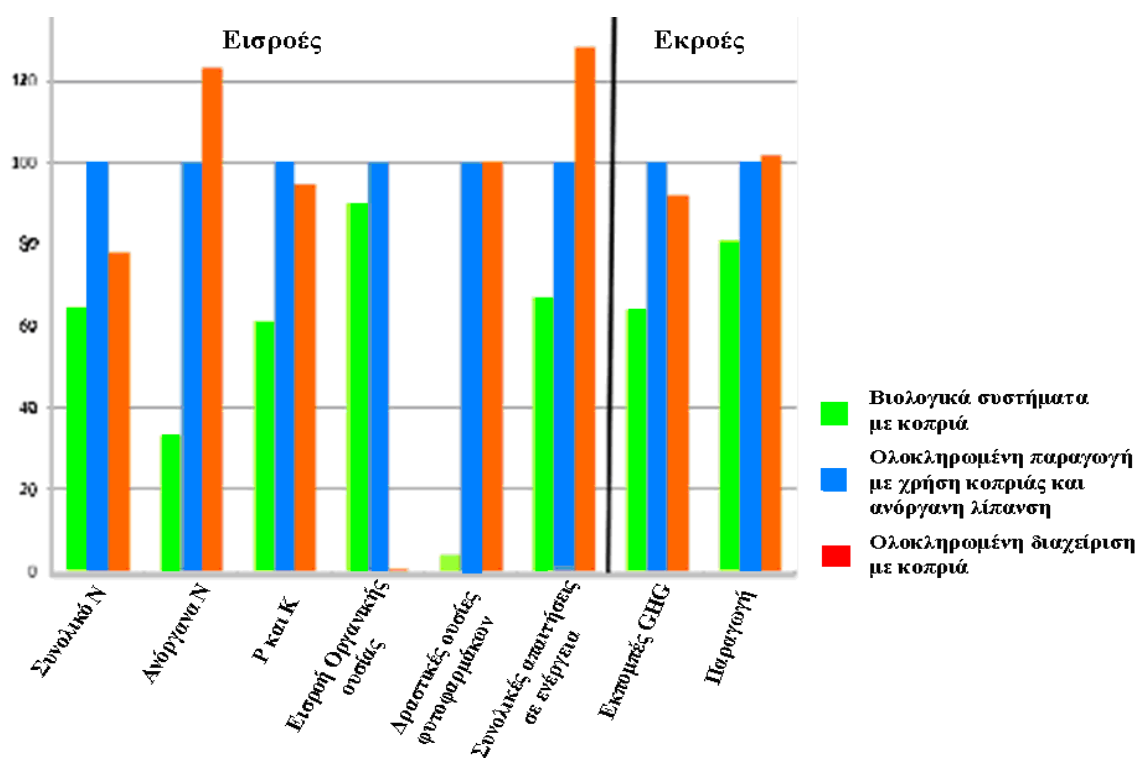
- Εκτροφή ζώων ως μέρος της αγροτικής δραστηριότητας και η καλλιέργεια κτηνοτροφικών φυτών και ταυτόχρονα η αποφυγή συνθετικών συμπυκνωμένων ζωοτροφών.

Η παραγωγικότητα στην οικολογική γεωργία μπορεί να ενθαρρυνθεί με πολλά έμμεσα μέτρα που βασίζονται στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους με υποκίνηση του ρόλου των φυτών και των μικροοργανισμών στις φυσικές διαδικασίες των εδαφικών οικοσυστημάτων. Αυτό βασίζεται κύρια στην αζωτοδέσμευση και αποτελεσματικότερη χρήση του φωσφόρου και του νερού από τη συμβίωση μυκοριζών. Ο ρόλος του εδαφικού άνθρακα είναι σημαντικός όχι μόνον για την εδαφική υγρασία αλλά συνεισφέρει στην αντιμετώπιση των αερίων του θερμοκηπίου. Η χρήση των ψυχανθών και η εναλλαγή των βαθύριζων με τα επιπολαιόριζα φυτά είναι μια διαφορετική προσέγγιση για την αύξηση της παραγωγικότητας και αξιοποίησης των θρεπτικών στοιχείων. Η εκτροφή ζώων ως μέρος της γεωργικής μονάδας ή της ομάδας παραγωγών προσθέτει ακόμη μεγαλύτερες δυνατότητες κάλυψης του εδάφους με χορτοδοτικές ή σανοδοτικές καλλιέργειες και αύξηση της στρεμματικής απόδοσης.

Η παγκόσμια δυνατότητα για διάθεση αζώτου μέσα από τη χουμοποίηση ή την αζωτοδέσμευση είναι μεγαλύτερη της σημερινής παραγωγής συνθετικού αζώτου (Badgley, *et al.*, 2007; Niggli, *et al.*, 2007). Η πρακτική της χρήσης νωπής ζωικής κοπριάς εκτρεφόμενων ζώων ίσως χρειάζεται αναθεώρηση με τα νέα δεδομένα της κλιματικής αλλαγής. Ο διασκορπισμός νωπής κοπριάς συντελεί στην απόπλυση θρεπτικών στοιχείων και στη μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα και επιπλέον συντελεί σε υψηλές εκπομπές CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub>. Η χουμοποιημένη οργανική ουσία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εξασφάλιση της απαραίτητης οργανικής ουσίας και ταυτόχρονα μειώνει την έκπλυση θρεπτικών στοιχείων σε σύγκριση είτε με τη χρήση φρέσκιας κοπριάς είτε συνθετικών λιπασμάτων.

Μια σειρά συγκριτικών μελετών έχουν δημοσιευθεί μέχρι σήμερα όσον αφορά στο μέγεθος των εισροών σε σχέση με τις αποδόσεις των καλλιεργειών σε διάφορα συστήματα καλλιέργειας. Ο Mäder και οι συνεργάτες του (2002) αναφέρουν συμπερασματικά ότι η βιολογική παραγωγή αροτριάων καλλιεργειών ήταν μειωμένη μόνον 20% ενώ η εισροή λιπασμάτων μειώθηκε 50-60% (Γράφημα 10). Ο Pimentel και οι συνεργάτες του (2005) αναφέρουν ότι η παραγωγή σε βιολογικό καλαμπόκι και

σόγια είναι συγκρίσιμη με αυτή συμβατικών καλλιεργειών. Ο Nemecek και οι συνεργάτες του (2005) έδειξαν ότι η εκπομπή αερίων θερμοκηπίου ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης σε βιολογικά συστήματα μπορεί να είναι 36% μικρότερη από ότι στη συμβατική γεωργία. Ανά μονάδα βάρους προϊόντων, η εκπομπή αερίων θερμοκηπίου ήταν 18% λιγότερο εξαιτίας του 22% λιγότερης ξηρής μάζας. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της διαφοράς ήταν εξαιτίας των εκπομπών CO<sub>2</sub> και N<sub>2</sub>O που και τα δύο σχετίζονται με τα ανόργανα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν στη συμβατική γεωργία. Επιπλέον σε βιολογική καλλιέργεια πατάτας, τομάτας και άλλων λαχανικών (Öko-Institut, 2007) υπολογίστηκαν μικρότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου συγκριτικά με συμβατικές καλλιέργειες.



**Γράφημα 10.** Οι σχετικές εισροές και εκροές τριών καλλιεργητικών συστημάτων: βιολογικής γεωργίας, ολοκληρωμένης διαχείρισης με κοπριά και ολοκληρωμένη παραγωγή χωρίς εκτροφή ζώων. Οι εισροές λιπασμάτων, οργανικής ουσίας, φυτοφαρμάκων και ενέργειας, όπως επίσης η παραγωγή υπολογίστηκε για 28 χρόνια. Οι καλλιέργειες ήταν πατάτες, χειμερινό σιτάρι που διαδεχόταν σανοδοτικά φυτά ως ενδιάμεσες καλλιέργειες, λαχανικά (ή σόγια), χειμερινό σιτάρι (ή καλαμπόκι), χειμερινό κριθάρι (ή ψυχανθή για σανό). Οι καλλιέργειες στην παρένθεση είναι εναλλακτικές προτάσεις σε μία από τις τέσσερις προτάσεις για τα σχέδια αμειψισποράς (Mäder, *et al.*, 2002).

Αντίθετα ο Vos και συνεργάτες του (2007) βρήκαν υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε οργανική καλλιέργεια λαχανικών (π.χ. πατάτες και πράσα). Επίσης σε μελέτη που έγινε στη Βαυαρία της Γερμανίας υπολογίστηκαν μεγαλύτερες εκπομπές από βιολογικές καλλιέργειες σε σχέση με συμβατικές (Küstermann, *et al.*, 2007). Οι ίδιοι μελετητές υπολόγισαν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από 28 αγροκτήματα της ίδιας περιοχής, βιολογικά και συμβατικά, και βρήκαν ίσες ή σε κάποιες περιπτώσεις ελαφρά υψηλότερες εκπομπές για τις βιολογικές καλλιέργειες.

## **9. Η προοπτική της οικολογικής γεωργίας**

Η αγροτική δραστηριότητα στα περισσότερα σημεία του πλανήτη θα αντιμετωπίσει στο μέλλον λιγότερο προβλέψιμες καιρικές αλλαγές από ότι στη διάρκεια του περασμένου αιώνα. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα θα κυριαρχήσουν. Η δυνατότητα προσαρμογής στα νέα δεδομένα είναι υψίστης σημασίας. Η γεωργία δεν είναι επαρκώς προετοιμασμένη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Η εκπαίδευση των αγροτών είναι κλειδί για την προσαρμοστικότητα. Συνεχής ενημέρωση, δεξιότητες στην εκτέλεση εργασιών, παρατηρητικότητα, γνώση για τη διαχείριση πολύπλοκων αγρο-οικοσυστημάτων και πιθανά για την παρασκευή φυσικών παρασιτοκτόνων είναι μερικές από τις απαιτήσεις για την άσκηση γεωργίας με περιβαλλοντικά κριτήρια.

Η διαχείριση της γονιμότητας των εδαφών είναι επίσης βασικής σημασίας για την προσαρμογή της γεωργίας στις νέες συνθήκες. Οι αγρονομικές πρακτικές που διατηρούν την γονιμότητα του εδάφους ή την αυξάνουν θα πρέπει επείγοντως να υιοθετηθούν. Αυτές οι πρακτικές θα αμβλύνουν τις αρνητικές επιπτώσεις της έλλειψης νερού ή ακόμη των διαβρωτικών δυνατών βροχοπτώσεων ή της πλημμύρας.

Η βιοποικιλότητα είναι επίσης στυλοβάτης των οικολογικών συστημάτων τροφίμων και παραγωγής ινών. Πολλές τεχνικές της ολοκληρωμένης διαχείρισης και της βιολογικής γεωργίας μπορούν να υιοθετηθούν ακόμη και από τη συμβατική γεωργία.

Η μετακίνηση από τη γεωργία υψηλής έντασης που στηρίζεται σε υψηλές εισροές συνθετικών χημικών στην αειφόρο γεωργία που θα συντελέσει στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και στην αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης του πλανήτη, στον περιορισμό της μόλυνσης περιβάλλοντος και της απειλής της ανθρώπινης υγείας αποτελεί μονόδρομο. Η ολοκληρωμένη διαχείριση και η βιολογική γεωργία προσφέρουν πολλαπλές δυνατότητες προς αυτή την κατεύθυνση και μπορούν να αποτελέσουν τον πυρήνα της μελλοντικής οικολογικής γεωργίας.

## **10. Κλιματική αλλαγή και συστήματα τροφίμων: Η παγκόσμια προοπτική.**

Η αλλαγή του κλίματος θα επηρεάσει και τις τέσσερις διαστάσεις της ασφάλειας των τροφίμων δηλ. τη διαθεσιμότητα (παραγωγή και εμπορία), την προσβασιμότητα στα τρόφιμα, τη σταθερότητα της διάθεσης και τη χρήση. Η σημαντικότητα των τεσσάρων διαφορετικών παραμέτρων και η συνολική επίδραση της αλλαγής του κλίματος στην ασφάλεια των τροφίμων θα διαφέρει μεταξύ των περιοχών και της χρονικής στιγμής και επιπλέον θα εξαρτάται από τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες που έχουν διαμορφωθεί σε κάθε χώρα σαν αποτέλεσμα της συνολικής επίδρασης της κλιματικής αλλαγής.

Βασικά, όλες οι ποσοτικές εκτιμήσεις δείχνουν ότι η αλλαγή του κλίματος θα επηρεάσει καθοριστικά την ασφάλεια τροφίμων. Η αλλαγή του κλίματος θα αυξήσει την εξάρτηση των αναπτυσσόμενων χωρών από τις εισαγωγές και αυτό κυρίως στις χώρες της Αφρικής και σε μικρότερο βαθμό στη Νότια Ασία. Μέσα στις αναπτυσσόμενες χώρες οι μη αντιστρεπτές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής θα επιβαρύνουν δυσανάλογα τις φτωχότερες τάξεις. Πολλές ποσοτικές εκτιμήσεις επίσης δείχνουν ότι το κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον στο οποίο η αλλαγή του κλίματος θα εμπλακεί είναι

περισσότερο σημαντικό από τις επιδράσεις που αναμένονται από τις βιοφυσικές αλλαγές της κλιματικής αλλαγής.

Λιγότερα είναι γνωστά για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη σταθερότητα και χρήση τουλάχιστον σε ποσοτικούς δείκτες. Παρόλα αυτά όλες οι ποσοτικές εκτιμήσεις δείχνουν ότι οι πρώτες δεκαετίες του 21<sup>ου</sup> αιώνα αναμένεται να έχουν μικρή επίδραση από την κλιματική αλλαγή. Στη διάρκεια αυτών των πρώτων δεκαετιών οι βιοφυσικές αλλαγές θα είναι λιγότερο έντονες αλλά η αλλαγή του κλίματος θα επηρεάσει κυρίως αυτούς που εξαρτώνται περισσότερο από την αγροτική παραγωγή (Schmidhuber & Tubiello, 2007). Σε αντίθεση το δεύτερο μισό του αιώνα αναμένεται να φέρει περισσότερο σοβαρές βιοφυσικές επιδράσεις αλλά επίσης καλύτερη δυνατότητα αντιμετώπισης. Πόσο σοβαρές θα είναι οι επιπτώσεις θα εξαρτηθεί καθοριστικά από την πολιτική που θα ακολουθηθεί για την φτώχεια.

Μέχρι σήμερα οι περισσότερες μελέτες για τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής αφορούν μόνον πάνω σε ένα μεμονωμένο παράγοντα σε μια περιοχή όπως π.χ. την παραγωγή μιας καλλιέργειας. Θα ήταν χρήσιμη η εκτίμηση των επιδράσεων σε αντιπροσωπευτικές αγροτικές περιοχές μιας σειράς δεικτών συμπεριλαμβανομένων της παραγωγής τροφίμων, της υγείας του πληθυσμού και της κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης. Κρίσιμο επίσης είναι ο προσδιορισμός και η εξερεύνηση της σχετιζόμενης στρατηγικής προσαρμογής (εγκλιματισμού) και μετριασμού των αρνητικών επιπτώσεων. Με αυτό τον τρόπο θα έχουμε μια σαφέστερη εικόνα των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής. Από την εξέταση των επιδράσεων ακραίων καιρικών φαινομένων στο παρελθόν μπορούμε να εντοπίσουμε περισσότερο ευαίσθητες περιοχές στην οικονομία που συνοδεύουν τις αλλαγές στη γεωργία και στην παραγωγή τροφίμων, στην υγεία του ανθρώπινου πληθυσμού και τις κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις. Τα διδάγματα που αποκομίστηκαν από την παρελθούσα εμπειρία μπορούν να ληφθούν υπόψη στα σενάρια των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών με σκοπό τον προσδιορισμό των επιβεβλημένων μέτρων για τη μείωση της έκθεσης στους κινδύνους που ελοχεύουν.

Σε αυτά τα μέτρα θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν έργα υποδομών, αλλαγή στη λειτουργία των υπαρχόντων, ένα πακέτο κοινωνικοοικονομικών δράσεων και εκπαίδευσης σε ζητήματα ανθρώπινης υγείας (Fuhreg, 2003). Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας ολοκληρωμένης μελέτης θα επεκτείνουν την υπάρχουσα γνώση και θα



προσθέσουν πολύτιμες πληροφορίες στις κυβερνήσεις και στις τοπικές κοινωνίες για τη χάραξη πολιτικής, το σχεδιασμό αειφόρου ανάπτυξης, την εκτίμηση του κινδύνου για το περιβάλλον και τη διαχείριση σε τοπικό επίπεδο και την εκπαίδευση που θα αποσκοπεί στην άμβλυνση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.

## Βιβλιογραφία

- Al Jassir, M. S., Shaker, A., Khaliq.M.A., 2005. Deposition of Heavy Metals on Green Leafy Vegetables Sold on Roadsides of Riyadh City, Saudi Arabia. *Bulletin of Environmental. Contamination and Toxicology* 75, 1020-1027.
- Anwar, M.R., O’Leary, G., McNeil, D., Hossain H., Nelson, R., 2007. Climate change impact on rainfed wheat in south-eastern Australia. *Field Crops Research* 104, 139–147.
- Ashmore, M. R., 2005. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant, Cell and Environment* 28, 942-964.
- Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M.J., Avilés-Vázquez, K., Samulon, A., Perfecto, I., 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22, 86-108.
- Batchelor, C., 1999. Improving water use efficiency as part of integrated catchment management. *Agricultural Water Management* 40, 249-263.
- Bi, P., Parton, K.A. 2008. Effect of climate change on Australian rural and remote regions: What do we know and what do we need to know? *Australian Journal of Rural Health* 16 (1), 2-4.
- Bobbink, R. and Lamers L.P.M., 2002. Effects of increased nitrogen deposition. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds) *Air Pollution and Plant Life*, Wiley, West Sussex, pp. 201-203.
- Bos, J.F.F.P.; de Haan, J.J.; Sukkel, W. and Schils, R.L.M., 2007. Comparing energy use and greenhouse gas emissions in organic and conventional farming systems in the Netherlands. Paper presented at the 3<sup>rd</sup> QLIF Congress: Improving Sustainability in Organic and Low Input Food Production Systems, University of Hohenheim, Germany, March 20-23, 2007.
- Buendía, B., Allende,A., Nicolás, E., Alanrcón, J.J., Gil, M.I., 2008. Effect of Regulated Deficit Irrigation and Crop Load on the Antioxidant Compounds of Peaches *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 3601–3608.

- Calatayud, A., Iglesias, D.J., Talón, M., Barreno, E., 2006. Effects of long-term ozone exposure on citrus: Chlorophyll *a* fluorescence and gas exchange. *Photosynthetica* 44 (4), 548-554.
- Calvo, E., Martin C., Sanz, M.J., 2007. Ozone Sensitivity Differences in Five Tomato Cultivars: Visible Injury and Effects on Biomass and Fruits. *Water, Air and Soil Pollution* 186, 176-181.
- Collins, C.D., Bell, J.N.B., 2002. Effects of volatile organic compounds. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds). *Air Pollution and Plant Life*, Wiley, West Sussex, pp. 173-186.
- Collins, W.J., Derwent, R.G., Johnson, C.E., Stevenson, D.S., 2000. The European regional ozone distribution and its links with the global scale for the years 1992 and 2015. *Atmospheric Environment* 34, 225-267.
- Colville R. N., 2002. Emission, dispersion and atmospheric transformation. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds), *Air Pollution and Plants Life*, Wiley, West Sussex, pp. 23-40.
- Cooper, P.J.M., Dimes, J., Rao K. P. C., Shapiro B., Shiferaw, B., Twomlow, S. 2008. Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-Saharan Africa: An essential first step in adapting to future climate change? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126, 24–35.
- Crescimanno, F. G., Germana, M. A., Meleti, M. R., Orecchio, S. and Vitale, M.C., 2000. Secondary stress in several edible citrus cultivars caused by heavy metal air pollution. *Aerobiologia* 16, 137–142.
- Davison, A.W., and Cape, N.J., 2003. Atmospheric nitrogen compounds—issues related to agricultural systems. *Environment International* 29, 181– 187.
- Dickey, J.H., 2000. Part VII. Air pollution: Overview of sources and health effects. *Disease-a-Month* 46, 566-589.
- Eduijee, G.H., 1988. Dioxins in the environment. *Chemistry in Britain* 24, 1223-1226.
- E-PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register, 2008. Available at <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28149.htm>, τελευταία πρόσβαση Δεκέμβριος 2008.

- Erisman, J.W., Bleeker, A., Galloway, J., Sutton, M.S., 2007. Reduced nitrogen in ecology and the environment. *Environmental Pollution* 150, 140-149.
- European Union Legislation about Air Pollution., 2008.  
[http://ec.europa.eu/environment/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm), τελευταία ανανέωση 4/12/08, τελευταία πρόσβαση Δεκέμβριος 2008.
- Fagnano, M., Maggio, A., 2008. Ozone Risk Assessment for European Vegetation. *Italian Journal of Agronomy* 1, 3-5
- FAOSTAT Data, 2005. <http://faostat.fao.org/faostat/>, last updated July 2005, accessed November 2005.
- FAOSTAT Data, 2009. <http://faostat.fao.org/faostat/>, last updated July 2008, accessed January 2009.
- Farmer, A., 2002. Effects of particulates. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds) *Air Pollution and Plant Life*, Wiley, West Sussex, pp. 187-200.
- Fiscus, E. L., Fitzgerald, L., Burkey, B., Burkey K., 2005. Crop responses to ozone: uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning. *Plant, Cell and Environment* 28, 997–1011.
- Flückiger, W., Braun, S., Hiltbrunner, E., 2002. Effects of air pollution on biotic stress. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds), *Air Pollution and Plant Life*, Wiley, West Sussex, pp. 379-406.
- Foster, K.W., Timm, H., Labanauskas, C.K., Oshima, R.J. 1983. Effects of ozone and sulfur dioxide on tuber yield and quality of potatoes. *Journal of Environmental Quality* 12 (1), 75-80.
- Framework Convention on Climate Change (FCCC): 1998. ‘Review of the implementation of commitments and of other provisions of the convention. Second compilation and synthesis of second national communications. Addendum. Tables of inventories of anthropogenic emissions and removals of greenhouse gases for 1990–1995 and projections up to 2020’, FCCC/CP/1998/11/Add.2.
- Fuhrer, J., 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO<sub>2</sub>, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97, 1–20.

- Fumagalli, I., Gimeno, B.S., Velissariou, D., De Temmerman L., Mills G., 2001. Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in the Mediterranean region. *Atmospheric Environment* 35, 2583-2587.
- Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Vrekousis, M., Donoussis, C., Mihalopoulos N., and Kanakidou, M., 2006. Photochemical ozone production in the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* 40, 3057-3069.
- Gimeno, B. S., Bermejo, V., Reinert, R.A., Zheng, Y. B., and Barnes, J.D., 1999. Adverse effects of ambient ozone on watermelon yield and physiology at a rural site in Eastern Spain. *New Phytologist* 144, 245–260.
- Goumenaki, E., Fernandez I.G., Papanikolaou A., Papadopoulou D., Askianakis C., Kouvarakis G., Barnes J., 2007. Derivation of ozone flux-yield relationships for lettuce: A key horticultural crop. *Environmental Pollution* 146, 699-706.
- Grantz, D.A., Garnerb, J.H.B, Johnson, D.W., 2003. Ecological effects of particulate matter. *Environment International* 29, 213– 239.
- Hack, H., Gall, H., Klemke, T., Klose, R., Meier, U., Staub, R. and Witzemberger, A., 1993. Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). Coolierung und Beschreibung der erweiterten BBCH-Skala mit Abbildungen. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutz* 45, 11–19.
- Heggstad, H.E., 1973. Photochemical air pollution injury to potatoes in the Atlantic coastal states. *American Potato Journal* 50, 315–328.
- Iglesias, D.J., Calatayud, A., Barreno, E., Primo-Milo, E., Talon, M., 2006. Responses of citrus plants to ozone: leaf biochemistry, antioxidant mechanisms and lipids peroxidation. *Plant Physiology and Biochemistry* 44, 125-131.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1996. *The science of Climate Change*. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Gallander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K., eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC, 2001a. *Climate change 2001: The Scientific Basis. Third Assessment Report, Shanghai Draft 21-01-2001*. United Nations Environment Programme (UNEP), GRIP, Arendal, Norway.

- IPCC, 2001b. Climate Change 2001: The Scientific Basis. A Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 p.
- IPCC, 2001c. Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson R. T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 397 p.
- IPCC, 2007. Climate Change, Synthesis Report. Contributing to Working, Groups I, II, Cambridge: Cambridge University Press.
- Jain, V., Pal, M., Raj A., and Khetarpal, S., 2007. Photosynthesis and nutrient composition of spinach and fenugreek grown under elevated carbon dioxide concentration. *Biologia plantarum* 51 (3), 559-562.
- Jarvis, A., Lane, A., Hijmans R.J., 2008. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126, 13–23.
- Khan, M.R., and Khan, M.W., 1999. Effects of intermittent ozone exposures on powdery mildew of cucumber. *Environmental and Experimental Botany* 42, 163–171.
- Khan, M. R., Khan, M. W., 1997. Interactive effects of ozone and root-knot nematode on tomato. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 70, 97-107.
- Krupa, S.V., 2003. Effects of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: a review. *Environmental Pollution* 124, 179–221.
- Küstermann, B., Wenske, K., and Hülsbergen, K.-J., 2007. Modellierung betrieblicher C- und N-Flüsse als Grundlage einer Emissionsinventur [Modelling carbon and nitrogen fluxes for a farm based emissions inventory ]. Paper presented at Zwischen Tradition und Globalisierung - 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart, Deutschland, 20-23.03.2007. Archived at <http://orgprints.org/9654/>

- Legge A.H., and Krupa S.V., 2002. Effects of sulphur dioxide. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds) , Air Pollution and Plant Life, Wiley, West Sussex, pp. 135-162.
- Long, S.P., Naidu, S.L., 2002. Effects of oxidants at the biochemical, cell and physiological levels, with particular reference to ozone. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds). Air Pollution and Plant Life, Wiley, West Sussex, pp. 69-88.
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U. 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296, 1694-1697.
- Mansfield, T.A., 2002. Nitrogen oxides: old problems and new challenges. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds) Air Pollution and Plant Life, Wiley, West Sussex, pp. 119-134.
- Marisa, C., Almelda, R., and Teresa M., Vasconcelos, S.D., 2003. Lead contamination in portuguese red wines from Douro region: from the Vineyard to the final product. *Journal of. Agricultural and Food Chemistry* 51, 3021-3023
- McCune, D.C., Weinstein, L.H., 2002. Effects of fluorides. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds) Air Pollution and Plant Life, Wiley, West Sussex, pp. 163-172.
- Meleux, F., Solmon F., Giorgi F., 2007. Increase in summer European ozone amounts due to climate change. *Atmospheric Environment* 41, 7577–7587.
- Mills, G., 2002. Modification of plant response by environmental conditions. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds) , Air Pollution and Plant Life, Wiley, West Sussex, pp. 343-358.
- Mills, G., Holland, M., Buse, A., Cinderby, S., Hayes, F., & Emberson, L. D. (2003). Introducing response modifying factors into a risk assessment for ozone effects on crops in Europe. In G. P. Karlsson, G. Sellden, & H. Pleijel (Eds.), *Establishing ozone critical levels II. UNECE Workshop Report. IVL report B 1523* (pp. 74–88). Gothenburg, Sweden: Swedish Environmental Research Institute.
- Mimikou, M.A., Kanellopoulou S.P., Baltas E.A., 1999. Human implication of changes in the hydrological regime due to climate change in Northern Greece. *Global Environmental Change* 9 139-156.

- Mylona, S.: 1993, Trends of Sulphur Dioxide Emissions, Air Concentrations and Depositions of Sulphur in Europe Since 1980, EMEP/MSC-W Report 2/93.
- Mylona, S.: 1996, 'Sulphur dioxide emissions in Europe 1880–1991 and their effect on sulphur concentrations and depositions', *Tellus* 48B, 662–689.
- Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G. 2005. Ökobilanzierung von Anbausystemen im Schweizerischen Acker- und Futterbau. Schriftenreihe der FAL 58. FAL Reckenholz, Zürich.
- Niggli, U., Fliessbach, A., Schmid, H. and Kasterine, A. 2007. Organic farming and climate change. International Trade Centre UNCTAD/WTO, Geneva, 27 p.
- Öko-Institut, 2007. Arbeitspapier: Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln. Authors: Fritsche U. and Eberle U. Öko-Institut Darmstadt. Download at the Öko-Institut
- Ormrod, D.P., 1978. Pollution in Horticulture. Fundamental Aspects of Pollution Control and Environmental Science, Vol. 4, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Ortiz, R., Sayre, K. D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G.V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Ortiz-Monasterio, J.I., Reynolds, M., 2008. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystem and Environment* 126, 46-58.
- Pelfini, M., Santilli, M., 2008. Frequency of debris flows and their relation with precipitation: A case study in the Central Alps, Italy. *Geomorphology* 101, 721-730.
- Pell, E.J., Eckardt, N.A., and Enyedi, A.J., 1992. Timing of ozone stress and resulting status of ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase and associated net pollution. *New Phytologist* 120, 397-405.
- Physics4u, 2008. Η Φυσική στο Δίκτυο.  
<http://www.physics4u.gr/news/2007/scnews2738.html> . Τελευταία πρόσβαση Αύγουστος 2008.
- Piementel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., Seidel, R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *Bioscience* 55, 573-582.



- Qaderi, M.M., Kurepin, L.V., Reid, D.N., 2006. Biochemical and ultra structural changes in plant foliage exposed to auto-pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* 120, 585–602.
- Qadir, M., Boers, Th.M., Schubert, S., Ghafoor, A., Murtaza, G., 2003. Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities. *Agricultural Water Management* 62, 165–185.
- Ribas, A., and Peñuelas, J., 2000. Effects of ethylene diurea as a protective antiozonant on beans (*Phaseolus vulgaris* cv. Lit) exposed to different tropospheric ozone doses in Catalonia (NE Spain). *Water, Air and Soil Pollution* 117, 263–271.
- Rewebis, 2009. [www.rewebis.gr](http://www.rewebis.gr). Τελευταία πρόσβαση Ιανουάριος 2009.
- Runeckles, V.C., 2002. Air pollution and climate change. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds), *Air Pollution and Plant Life*, Wiley, West Sussex, pp. 431-455.
- Sadanaga, Y., Matsumoto, J., and Kajii, Y., 2003. Photochemical reactions in the urban air: Recent understanding of radical chemistry. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 4, 85-104.
- Schmidhuber, J., and Tubiello, F.N., 2007. Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 104 (50), 19703-19708.
- Schröder, W., Schmidt, G., Hasenclever, J., 2006. Geostatistical analysis of data on air temperature and plant phenology from Baden-Württemberg (Germany) as a basis for regional scaled models of climate change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 27–43.
- Seinfeld, J. H., and Pandis, S.N., 1996. *Atmospheric chemistry and physics. Air pollution to climate change*. Wiley, New York pp. 82.
- Smith, P., D., Martino, Z., Cai, D., Gwary, H., Janzen, P., Kumar, B., McCarl, S., Ogle, F., O'Mara, C., Rice, B., Scholes, O., Sirotenko, 2007. Agriculture. In *Climate Change (2007): Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Available at

[http://www.mnp.nl/ipcc/pages\\_media/FAR4docs/final\\_pdfs\\_ar4/Chapter08.pdf](http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/FAR4docs/final_pdfs_ar4/Chapter08.pdf)

- Smith, S.J., Pitcher H., Wigley T.M.L., 2005. Future sulphur dioxide emissions. *Climatic Change* 73, 267–318.
- Soja, G., Reichenauer, T.G., Eid, M., Soja, A-M., Schaber, R., Gangl, H., 2004. Long-term ozone exposure and ozone uptake of grapevines in open-top chambers. *Atmospheric Environment* 38, 2313-2321.
- Sophocleous, M., 2004. Global and Regional Water Availability and Demand: Prospects for the Future. *Natural Resources Research* 13, 61-75.
- Stockholm Convention on POPs, 1997. International action to protect health and the environment through measures which will reduce and/or eliminate emissions and discharges of persistent organic pollutants, including the development of an international legally binding instrument. <http://www.pops.int/documents/background>.
- Swart, R., Amann, M., Raes, F., Tuinstra, W., 2004. A good climate for clean air: linkages between climate change and air pollution. *Climatic Change* 66, 263–269.
- Thompson, C., R., Gerrit K., and Hensel, G.E., 1971. Effects of ambient levels of NO<sub>2</sub> on Navel Oranges. *Environmental Science and Technology* 5, 1017-1019.
- UNEP (United Nations Environment Program), 2008. The world's surface water. Precipitation, Evaporation and Runoff by region. <http://www.unep.org/dewa/assessments/ecosystems/water/vitalwater/06.htm>
- US Environmental Protection Agency (USEPA), 1996. National Air Pollutant Emission Trends, 1900–1995, EPA-454/R-96-007, Washington, DC
- US Environmental Protection Agency (USEPA), 2002. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2000, USEPA #236-R-02-003, Washington, DC.
- 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. *Plant, Cell and Environment* 28, 982–996.

- Verma, A. and Singh S. N., 2006. Biochemical and ultra structural changes in plant foliage exposed to auto-pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* 120, 585-602.
- Wallace, J.S., 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82, 105–119.
- Βαλαβανίδης, Α., 2007. Προβλήματα περιβαλλοντικής τοξικολογίας ρύπανση του εδάφους από τοξικές ουσίες, Κεφαλαίο 1<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup>, 5<sup>ο</sup>. Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών. Available at [http://www.chem.uoa.gr/courses/organiki\\_1/oikotoxikologia/](http://www.chem.uoa.gr/courses/organiki_1/oikotoxikologia/)
- Γουμενάκη, Ε., και Barnes, J.D., 2007. Εκτίμηση κινδύνου των επιπτώσεων του όζοντος της τροπόσφαιρας στις καλλιέργειες της Κρήτης. 23ο Επιστημονικό συνέδριο ΕΕΕΟ 23-26 Οκτωβρίου 2007, Χανιά Κρήτης.
- Οδηγία 2003/87/ΕΚ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 13ης Οκτωβρίου 2003 σχετικά με τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας και την τροποποίηση της οδηγίας 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου
- Μελάς Δ., 2008. Ατμοσφαιρική ρύπανση. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης 11σελ. Available at [http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/WEB\\_POLLUTION.DOC](http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/WEB_POLLUTION.DOC)
- ΥΠΕΧΩΔΕ (Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων), 2007. Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικής Εκτίμησης για το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τη Βιομηχανία. Κεφάλαιο 6, σελ.28-31. Available at [http://www.minenv.gr/11/00/SMPE.biomixania/kef\\_6\\_DA\\_100607.pdf](http://www.minenv.gr/11/00/SMPE.biomixania/kef_6_DA_100607.pdf)