

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



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΘΕΜΑ:

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

Της σπουδάστριας: Τσαρμού Αθηνάς

Καλαμάτα, Μάιος 2011

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΘΕΜΑ:

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

Της σπουδάστριας: Τσαρμπού Αθηνάς

Επιβλέπων καθηγητής: Κάρτσωνας Επαμεινώνδας

Καλαμάτα, Μάιος 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αφορά στις «Μετρήσεις και μελέτη των επιπτώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος, σε φυτά πατάτας δείκτες στην περιοχή του ΤΕΙ Καλαμάτας στον Αντικάλαμο Μεσσηνίας».

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

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

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη.

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

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

Καλαμάτα, Μάιος 2011.

Τσαρμού Αθηνά

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΜΕΡΟΣ 1^ο ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ	1
1.1.1. Ιστορική αναδρομή.....	1
1.1.2. Κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	2
1.1.3. Πρωτογενείς – δευτερογενείς ρύποι.....	2
1.1.3.1. Πρωτογενείς ρύποι	3
1.1.3.2. Δευτερογενείς ρύποι.....	5
1.1.3.3. Πηγές προέλευσης	8
1.1.4. Οι φωτοχημικοί ρύποι	9
1.2. ΟΖΟΝ – Πώς δημιουργείται; – Που υπάρχει;.....	11
1.2.1. Το όζον ως χημικό στοιχείο.....	11
1.2.2. Το όζον στην ατμόσφαιρα	11
1.2.2.1. Το στρατοσφαιρικό όζον	12
1.2.2.2. Το τροποσφαιρικό όζον.....	14
1.2.2.3. Μηχανισμός σχηματισμού όζοντος.....	14
1.3. Επίδραση του όζοντος στην ανάπτυξη φυτών και επιπτώσεις σε αυτά	16
1.3.1. Το όζον ως φυτοτοξικός ρύπος	16
1.3.2. Επίδραση όζοντος στη φυσιολογική λειτουργία του φυτού.....	16
1.3.3. Το πρόγραμμα ICP Vegetation.....	19
1.3.3.1. Στόχοι του προγράμματος ICP Vegetation.....	0
1.3.3.2. Περίληψη των πρόσφατων αποτελεσμάτων του ICP Vegetation	21
1.3.3.3. Μελλοντική εργασία για το ICP Vegetation	21
1.3.3.4. Φυτά βιοδείκτες	22
1.3.3.5. Βιοκαταγραφή όζοντος.....	23
1.4. ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	25
1.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ	31
1.5.1. Μορφολογικές – Ανατομικές παρατηρήσεις	31

1.5.2. Φυσιολογικές παρατηρήσεις	32
ΜΕΡΟΣ 2^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	33
2.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	33
2.1.1. Υλικά	33
2.1.1.1. Φυτικό υλικό	33
2.1.1.2. Υλικά υποστρώματος – Φυτοδοχεία – Λίπασμα	33
2.1.2. Μέθοδοι	34
2.1.2.1. Σπορά πατατόσπορου – Ανάπτυξη φυτών	34
2.1.2.2. Πειραματικό σχέδιο	35
2.1.2.3. Καταγραφή ανάπτυξης φυτών – Καταγραφή ζημιών από το όζον	36
2.1.2.4. Μετρήσεις συνολικής χλωροφύλλης	36
2.1.2.5. Μετρήσεις του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας με LCI Portable Photosynthesis System	37
2.1.2.6. Καταμέτρηση της συγκέντρωσης του όζοντος στην ατμόσφαιρα	37
2.1.2.7. Στατιστική ανάλυση	38
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	39
3.1. Μέτρηση Ρυθμού Φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας στα φύλλα των φυτών της πατάτας	39
3.1.1. Επίδραση της ημερομηνίας στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων	39
3.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΠΑΤΑΤΑΣ ΜΕ SPAD	40
3.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ	41
3.4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΖΗΜΙΑΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ	46
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

1.1.1. Ιστορική αναδρομή

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

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

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

Στη Μεγάλη Βρετανία μια μεγάλη καταστροφή από ατμοσφαιρική ρύπανση συνέβη στο Λονδίνο το 1952. Το επεισόδιο άρχισε στις 4 Δεκεμβρίου και σε δύο μέρες η ορατότητα σε μερικές περιοχές της πόλης, είχε μειωθεί στο ένα μόλις μέτρο. Εκτός από τον καπνό και την ομίχλη σημειώθηκαν υψηλές τιμές από το διοξείδιο του θείου, που συνδέεται (όπως και ο καπνός) άμεσα με την καύση του λιγνίτη. Περίπου 4.000 θάνατοι σε διάστημα τεσσάρων ημερών αποδόθηκαν στην ισχυρή ατμοσφαιρική ρύπανση που ο χαρακτήρας της (καπνός, ομίχλη και διοξείδιο του θείου) οδήγησε στη δημιουργία του όρου «αιθαλομίχλη τύπου Λονδίνου».

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

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

1.1.2. Κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

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

α) τα μέσα μεταφοράς (αυτοκίνητα, πλοία, αεροπλάνα)

β) τη βιομηχανική δραστηριότητα

γ) την παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρισμού)

δ) την οικιακή δραστηριότητα (θέρμανση)

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

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

1.1.3. Πρωτογενείς - δευτερογενείς ρύποι

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

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

1.1.3.1. Πρωτογενείς ρύποι

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



Εικόνα 1. Τοξικότητα φθορίου σε φύλλα αμπέλου – Φωκίδα.

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

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

Υδροφθόριο (HF)

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

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

Αιθυλένιο (C₂H₄)

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

1.1.3.2. Δευτερογενείς ρύποι

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

Όζον (O₃)

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

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

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

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



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

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

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



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

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

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

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

Διοξείδιο και μονοξείδιο του αζώτου (NO_x)

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

1.1.3.3. Πηγές προέλευσης

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

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

A) Φυσικές, δηλαδή φυσικές δραστηριότητες (κεραυνός, μικροβιακές διαδικασίες εδάφους, οξείδωση της αμμωνίας) ή γεω-βιογενετικές πηγές

ατμοσφαιρικού μεθανίου (CH₄), το οποίο είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

B) Τεχνητές (Ανθρωπογενείς), θεωρούνται κυρίως τα μεταφορικά μέσα, οι βιομηχανίες, τα χημικά που χρησιμοποιούνται στη γεωργία και τα αέρια (SO₂, NO_x) που απελευθερώνονται από τη καύση της βιομάζας.

Οι δευτερογενείς ρύποι παράγονται στην ατμόσφαιρα μέσω αντιδράσεων που περιγράφονται ως ομογενείς (αέρια σε αέρια φάση) ή ετερογενείς (αέρια φάση σε σωματίδια είτε υγρά είτε στερεά). Ο σημαντικότερος δευτερογενής αέριος ρύπος στην επιφάνεια της Γης είναι το O₃, το οποίο παράγεται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα (π.χ. καυσαέρια των μέσων μεταφοράς) και δεν πρέπει να συγχέεται με το φυσικό και ευεργετικό στρώμα όζοντος της στρατόσφαιρας.

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

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

1.1.4. Οι φωτοχημικοί ρύποι

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

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

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

A. Έχουν ισχυρή φυτοτοξική δράση.

B. Δεν αποδομούνται σε καθαρή ατμόσφαιρα.

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

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

1.2. OZON – Πώς δημιουργείται; – Πού υπάρχει;

1.2.1. Το όζον ως χημικό στοιχείο

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

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

Πηγή: Krupa, 1977, Σαϊτάνη, 1998.

1.2.2. Το όζον στην ατμόσφαιρα

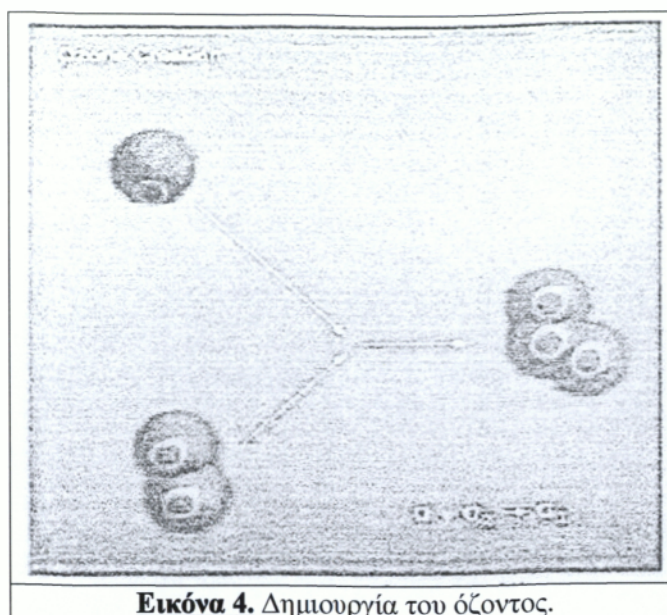
Το όζον είναι ένα φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας στην οποία η συγκέντρωσή του διαφοροποιείται ανάλογα με το υψόμετρο, την εποχή του έτους και την περιοχή. Η συγκέντρωσή του στην επιφάνεια της γης επηρεάζεται από την ύπαρξη

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

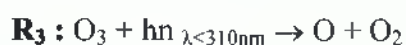
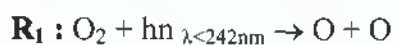
Το όζον στην ατμόσφαιρα παρουσιάζεται σε δύο στρώματα. Αρχικά σχηματίζεται στη στρατόσφαιρα καθώς η ηλιακή ακτινοβολία αλληλεπιδρά με το οξυγόνο. Παράλληλα εντοπίζεται και στην τροπόσφαιρα, ως ένας σημαντικός φωτοχημικός ρύπος. Για το διαχωρισμό αυτό χρησιμοποιούμε τις έννοιες τροποσφαιρικό και στρατοσφαιρικό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

1.2.2.1. Το στρατοσφαιρικό όζον

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



Οι χημικές αντιδράσεις που εξηγούν τα παραπάνω είναι:



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

1.2.2.2. Το τροποσφαιρικό όζον

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

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

1.2.2.3. Μηχανισμός σχηματισμού όζοντος

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

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

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

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

1.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΑΥΤΑ

1.3.1. Το όζον ως φυτοτοξικός ρύπος

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

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

1.3.2. Επίδραση όζοντος στη φυσιολογική λειτουργία του φυτού

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.3.3. Το πρόγραμμα ICP Vegetation

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

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

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

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

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

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

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

1.3.3.1. Στόχοι του προγράμματος ICP Vegetation

Οι στόχοι του ICP Vegetation είναι οι ακόλουθοι έξι:

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

1.3.3.2. Περίληψη των πρόσφατων αποτελεσμάτων του ICP Vegetation

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

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

(<http://www.icpvegetation.ceh.ac.uk>).

1.3.3.3. Μελλοντική εργασία για το ICP Vegetation

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

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

1.3.3.4. Φυτά βιοδείκτες

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

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

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

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

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

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

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

1.3.3.5. Βιοκαταγραφή όζοντος

Τα φυτά βιοδείκτες χρησιμοποιούνται σε πολλές βιολογικές εφαρμογές, αλλά ειδικότερα στον τομέα της ρύπανσης είναι πολύτιμα εργαλεία. Με τη βοήθειά τους μπορούμε να ανιχνεύσουμε την παρουσία ενός ρύπου και να υπολογίσουμε την έντασή του σε μια ή περισσότερες περιοχές χωρίς μεγάλη δαπάνη (Velissariou D and Kyriazi A., 1996).

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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



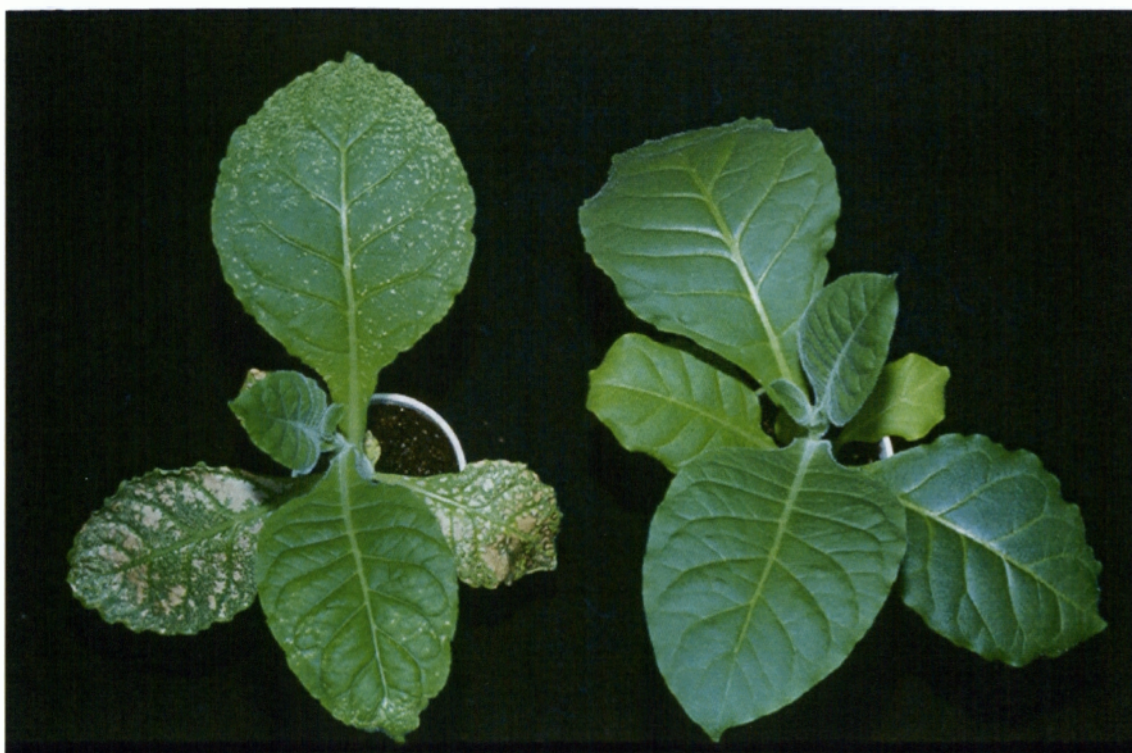
Εικόνα 6. Άποψη του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης από τον Βόρειο Ταύγετο.



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



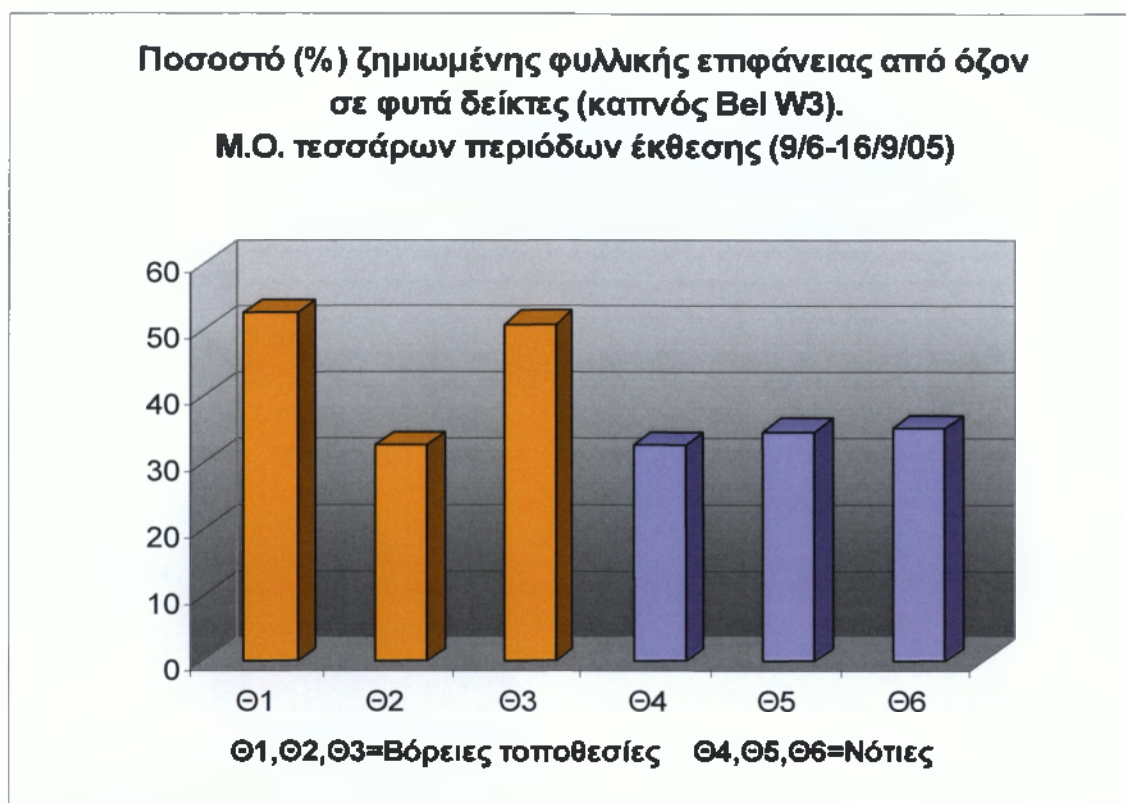
Εικόνα 8. Διασπορά των ρύπων εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης.



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

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

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



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

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

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

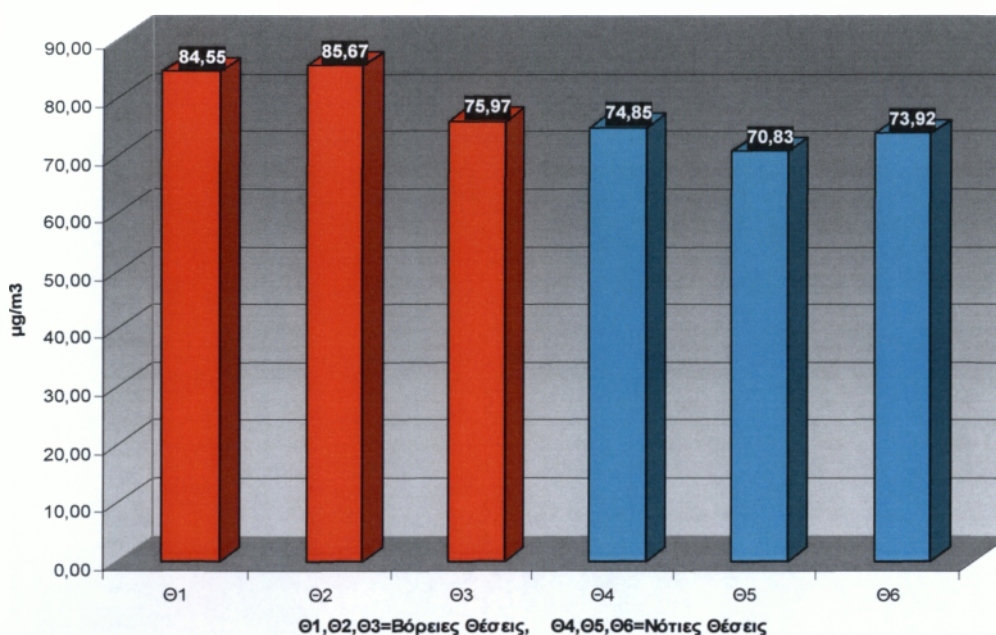
συγκέντρωσης του όζοντος (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$) παρατηρήθηκε στις 3 βόρειες τοποθεσίες σε σύγκριση πάντα με τις νότιες.



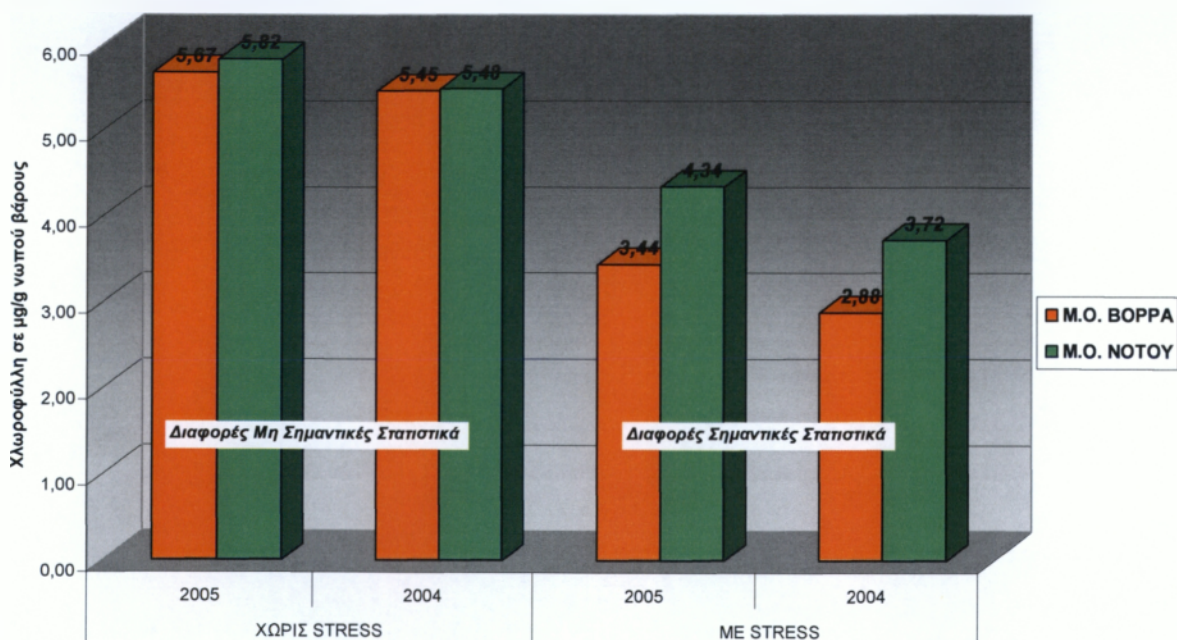
Εικόνα 10. Δειγματολήπτες O_3 τοποθετημένοι σε έλατα σε ειδικά στέγαστρα.

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

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



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



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

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

1.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

1.5.1. Μορφολογικές – Ανατομικές παρατηρήσεις

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

Μορφολογικές παράμετροι που μπορούν να εκτιμηθούν είναι:

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

β) Βλαστούς: πιθανοί ανάλογοι μεταχρωματισμοί σε πράσινους βλαστούς

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

1.5.2. Φυσιολογικές παρατηρήσεις

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

ΜΕΡΟΣ 2^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1.1. Υλικά

2.1.1.1. Φυτικό υλικό

Χρησιμοποιήθηκαν φυτά πατάτας ποικιλίας Spounda (*Solanum tuberosum*). Σε παλαιότερες παρατηρήσεις τόσο σε φυτά πατάτας στον πειραματικό χώρο του εργαστηρίου Φυσιολογίας φυτών, όσο και στην ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας (όταν έχουμε θερινή καλλιέργεια πατάτας) εμφανίσθηκαν συμπτώματα στα φύλλα χαρακτηριστικά της καταπόνησης από υπερβολική συγκέντρωση όζοντος.

2.1.1.2. Υλικά υποστρώματος – Φυτοδοχεία- Λίπασμα

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για το εδαφικό υπόστρωμα ήταν:

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

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

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

2.1.2. Μέθοδοι

Η καλλιέργεια της πατάτας ποικιλίας Spounda πραγματοποιήθηκε την εαρινοθερινή περίοδο όπου και η παρουσία του όζοντος σε παλαιότερες χρονιές είχε παρατηρηθεί αυξημένη (§1.1.3.2.).

2.1.2.1. Σπορά πατατόσπορου – Ανάπτυξη φυτών

Τεμάχια κονδύλων πατάτας αφού κόπηκαν και παρέμεινα σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών για σκληράγωση και ενεργοποίηση των οφθαλμών, φυτεύτηκαν απευθείας στα φυτοδοχεία (Εικ. 11). Μετά από 12-14 ημέρες, εμφανίστηκαν τα φυτά της πατάτας. Τα φυτά ποτίζονταν καθημερινά στις 06.00 το πρωί ώστε τα φύλλα να είναι σε σπαργή όταν πραγματοποιούνταν η πρωινή μέτρηση. Επίσης ανά 20 ημέρες πραγματοποιούνταν λίπανση των φυτών με Complezal combo supra (12-8-16 + 3MgO+B+Fe+Zn).



Εικόνα 11. Εγκατάσταση φυτείας με τις πατάτες (φαίνονται στα δεξιά της εικόνας).

2.1.2.2. Πειραματικό σχέδιο

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

Ταυτόχρονα με τα φασόλια όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκαν και φυτά πατάτας της ποικιλίας Spounda.

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

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

Σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο χρησιμοποιήθηκαν 60 δοχεία λευκού χρώματος, περιεκτικότητας 15 lt με διάμετρο επιφάνειας 30 cm κατά προσέγγιση. Αυτό το μέγεθος των δοχείων χρειάζεται επειδή για την απρόσκοπτη ανάπτυξη η των φυτών της πατάτας.

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

Η εγκατάσταση των φυτοδοχείων στον πειραματικό χώρο έγινε διαδοχικά σε 6 σειρές των 10 δοχείων (Πίνακας 3), τα φυτοδοχεία τοποθετήθηκαν το ένα δίπλα στο άλλο σε απόσταση 1m μεταξύ τους.

Πίνακας 3 : Διάταξη φυτοδοχείων στον πειραματικό χώρο

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60

2.1.2.3. Καταγραφή ανάπτυξης φυτών – Καταγραφή ζημιών από το όζον

Μετά από 10 ημέρες από την σπορά του πατατόσπορου αναδύθηκαν στη επιφάνεια του χώματος του φυτοδοχείου τα νεαρά φυτά πατάτας. Λίγες ημέρες μετά το φύτευμα και μέχρι και το τέλος της πειραματικής διαδικασίας οι πατάτες εμφάνισαν μεγάλες προσβολές από περονόσπορο που μείωσε και την ταχύτητα ανάπτυξης τους.

2.1.2.4. Μετρήσεις συνολικής χλωροφύλλης των φύλλων

Με το όργανο **Spad 502 Minolta** μετρήθηκε η συνολική χλωροφύλλη των φύλλων. Το ανωτέρω όργανο είναι ένας φορητός μετρητής της περιεκτικότητας των

φύλλων σε χλωροφύλλη, που πραγματοποιεί τη μέτρηση της χλωροφύλλης χωρίς να προκαλεί ζημιά στα φυτά. Μετρήθηκε λοιπόν η συνολική χλωροφύλλη των φύλλων σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών τόσο από τον ανθεκακό όσο και από τον ευαίσθητο γονότυπο. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μονάδες SPAD.

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

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

Ρυθμός φωτοσύνθεσης (A)

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

$$A = u_s \Delta c$$

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

Αντίστοιχα η στοματική αγωγιμότητα συμβολίζεται ως (g_s), και μετριέται σε

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

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

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

2.1.2.6. Καταμέτρηση της συγκέντρωσης του όζοντος στην ατμόσφαιρα

Παράλληλα με τις ανωτέρω μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα φυτά των δύο ποικιλιών φασολιού, καταγράφονταν και η συγκέντρωση του όζοντος στο χώρο

που είχαν τοποθετηθεί τα φυτά, με τη βοήθεια ενός μετρητή όζοντος (DASIBI 1003-RS).

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

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

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

Οι μετρήσεις για τις συγκεντρώσεις του όζοντος εκφράζονται σε ppb/h (δηλαδή σε μέρη στο εκατομμύριο ανά ώρα). Ο μετρητής κατέγραφε συνεχώς τη συγκέντρωση του όζοντος από τις αρχές Ιουλίου του 2009 μέχρι και το τέλος Οκτωβρίου του ίδιου έτους. Τα δεδομένα παρουσιάζονται τόσο ανά συνολική μηνιαία συγκέντρωση (αθροίστηκαν ο μέσος όρος όζοντος

2.1.2.7. Στατιστική ανάλυση

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

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

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΠΑΤΑΤΑΣ

3.1.1. Επίδραση της ημερομηνίας στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων

Μετρήθηκαν ο ρυθμός φωτοσύνθεσης και η στοματική αγωγιμότητα των φυτών της πατάτας σε διαδοχικές ημερομηνίες από την φύτευση του πατατόσπορου και την έκπτυξη των φυταρίων, με σκοπό να διερευνηθεί η μείωση των φυσιολογικών λειτουργιών των φυτών ως αποτέλεσμα της καταπόνησης από την αυξημένη συγκέντρωση όζοντος. Παρατηρήθηκε μια σταδιακή μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης των φυταρίων με την πάροδο της καλλιέργειας. Δηλαδή καθώς προχωρούσε η περίοδος καλλιέργειας λόγω της καταπόνησης των φυτών της πατάτας από την αυξημένη συγκέντρωση του όζοντος μειώθηκε σημαντικά ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης. Αντίθετα η στοματική αγωγιμότητα των φυταρίων δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεταβολές (Πίνακας 4). Φάνηκε όμως ελαφρά αυξημένη καθώς προχωρούσε η καλλιέργεια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Επίδραση της ημερομηνίας (ημέρες από την ημέρα φυτρώματος) στο ρυθμό φωτοσύνθεσης καθώς και στη στοματική αγωγιμότητα φυτών πατάτας.

Γονότυπος	Ρυθμός φωτοσύνθεσης	Στοματική αγωγιμότητα
7/5/2009	7.80 a	0.06
11/5/2009	10.10 ab	0.09
12/5/2009	12.20 b	0.23
<i>Ανάλυση της διασποράς</i>		
Γονότυπος	*	NS
Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίζονται με το Student's test σε $P=0.05$.		
*, **: σημαντικά σε $P=0.05$, $P=0.01$, αντίστοιχα, NS: μη σημαντικά σε $P=0.05$.		

3.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΠΑΤΑΤΑΣ ΜΕ SPAD

Στο δεύτερο μισό της καλλιέργειας μετρήθηκε η συνολική χλωροφύλλη των φύλλων τόσο σε όλα τα φυτά της πατάτας που είχαν απομείνει. Οι μετρήσεις της συνολικής χλωροφύλλης πραγματοποιήθηκαν σε 2 ημερομηνίες στις 2 και 14 Ιουλίου όπου η συγκέντρωση του όζοντος είχε φτάσει στα υψηλότερα επίπεδα (Σχήμα 4/) και τα φυτά είχαν δεχθεί τη μέγιστη καταπόνηση.

Η συνολική χλωροφύλλη των φύλλων στα φυτά της πατάτας την 13 Ιουλίου του 2009 ήταν σημαντικά χαμηλότερη από αυτήν την 2 Ιουλίου 2009. Στα φυτά της πατάτας λοιπόν λόγω της αυξημένης καταπόνησης από την συνεχόμενη υπερβολική συγκέντρωση του όζοντος προκλήθηκαν σημαντική μείωση της συνολικής χλωροφύλλης των φύλλων τους. η μείωση της χλωροφύλλης συνδέεται άμεσα με την αυξημένη καταστροφή του ελάσματος των φύλλων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Επίδραση του στη συνολική χλωροφύλλη των φύλλων (μέτρηση σε μονάδες Spad) φυτών πατάτας. Οι μετρήσεις αφορούν την τελευταία περίοδο της καλλιέργειας.

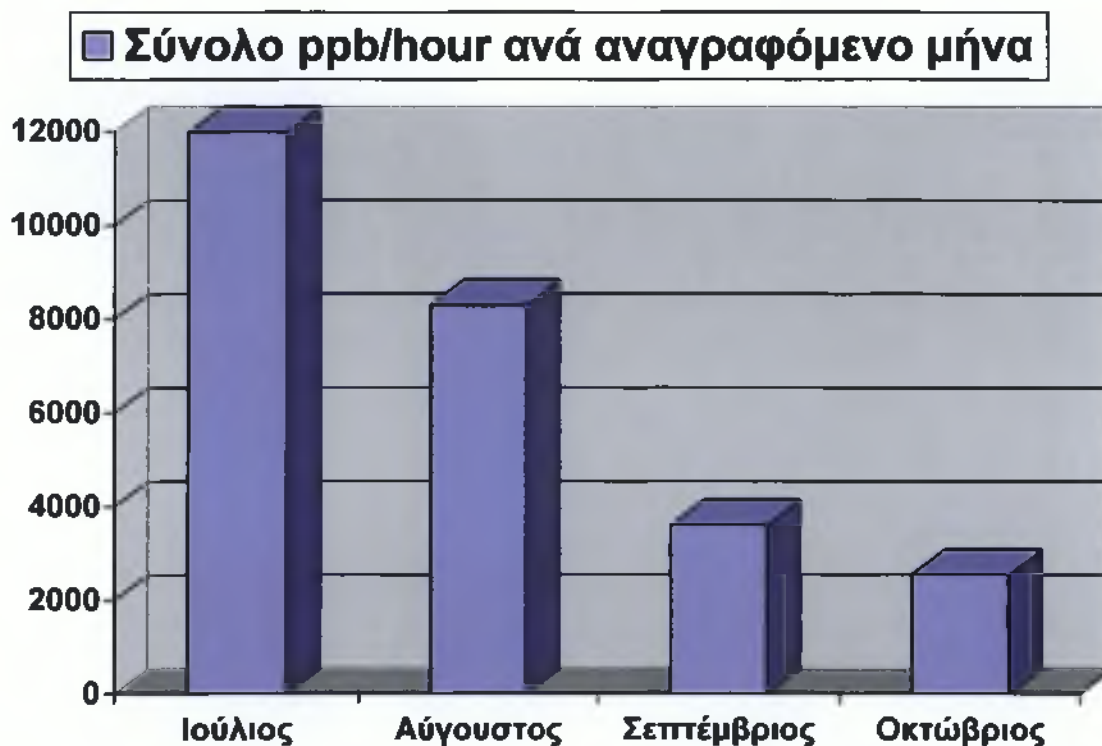
Γονότυπος	SPAD
2-7-2011	40,45 a
14-7-2011	36,16 b
<i>Ανάλυση της διασποράς</i>	
Γονότυπος	*
Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίζονται με το Student's test σε $P=0.05$.	
*, **: σημαντικά σε $P=0.05$, $P=0.01$, αντίστοιχα, NS: μη σημαντικά σε $P=0.05$.	

Καθώς προχωρούσε ημερολογιακά καλλιέργεια των φυτών εντεινόνταν και η ζημιά στα φύλλα των φυτών της πατάτας, οπότε προλήθηκε και η μείωση της χλωροφύλλης των φύλλων.

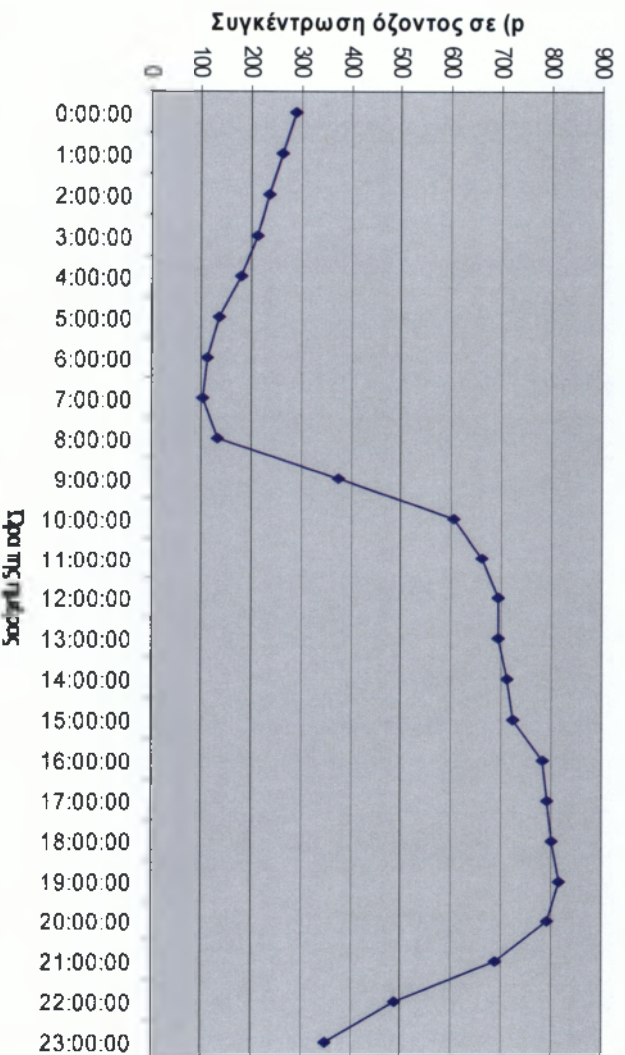
3.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

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

Η συνολική συγκέντρωση του όζοντος για τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του έτους 2009 ήταν 26978 ppb/h. Στο σχήμα 1 φαίνεται πως διακυμάνθηκε η συνολική συγκέντρωση του όζοντος για κάθε μήνα. Σύμφωνα πάντα με το σχήμα 1, η υψηλότερη συγκέντρωση όζοντος στη θερινή περίοδο (οπότε και παρατηρείται έξαρση του ρύπου) παρατηρήθηκε το μήνα Ιούλιο (έφθασε τα 11994 ppb/h) και έφθινε σταδιακά τους μήνες Αύγουστο (8831 ppb/h), Σεπτέμβριο (3600 ppb/h) και Οκτώβριο (2553 ppb/h).

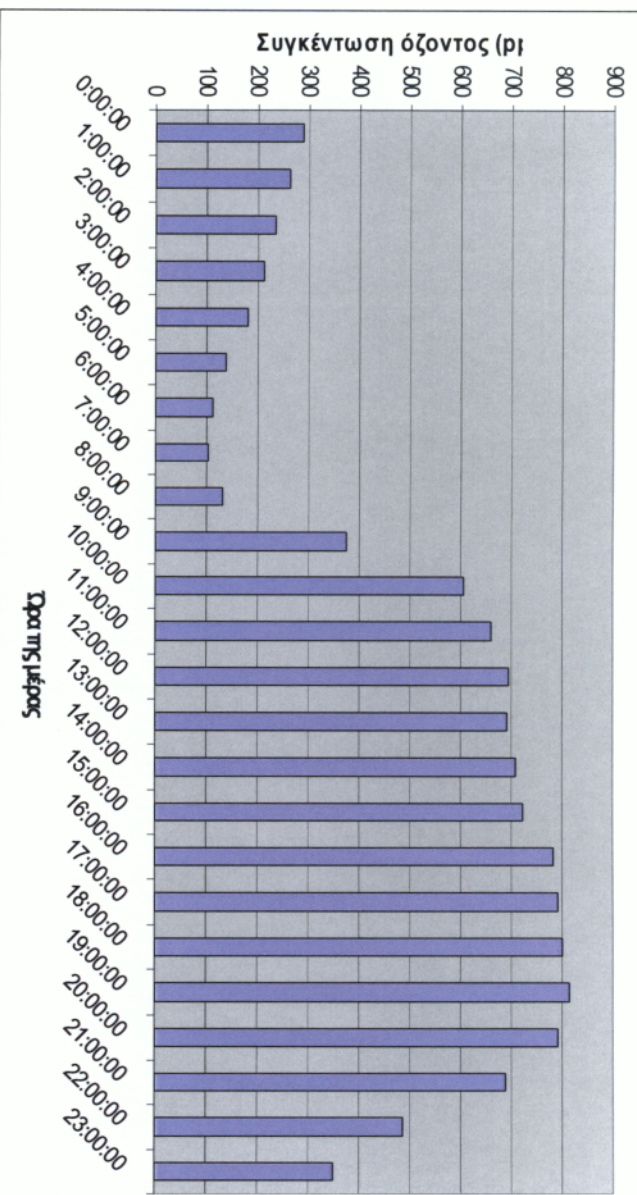


Σχήμα 4. Συνολική συγκέντρωση όζοντος ανά μήνα στην περιοχή του Αντικάλαμου Μεσσηνίας



Σχήμα 6. Ριπιάδα διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος στο πειραματικό χώρο του ΤΕΙ Καλαμάτας το μήνα Ιούλιο.

Ημερήσια διακύμανση της μέσης ωριαίας συγκέντρωσης όζοντος



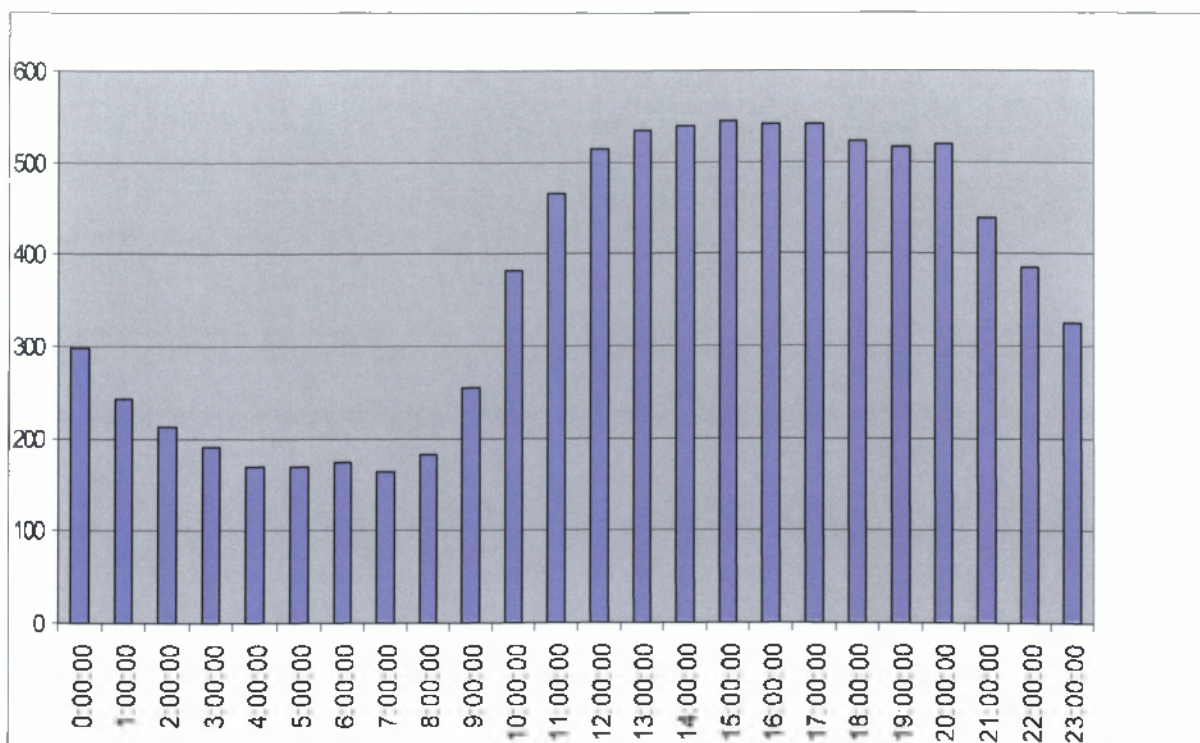
Σχήμα 5. Ημερήσια διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος στο πειραματικό χώρο του ΤΕΙ Καλαματίας το μήνα Ιούλιο.

Στη συνέχεια εξετάστηκε η ωριαία διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου, δηλαδή αθροιστήκαν οι μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις του όζοντος ανά ώρα και για τις 31 ημέρες του κάθε μήνα ώστε να διαπιστωθεί σε ποια στιγμή της ημέρας παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη συγκέντρωση του ρύπου.

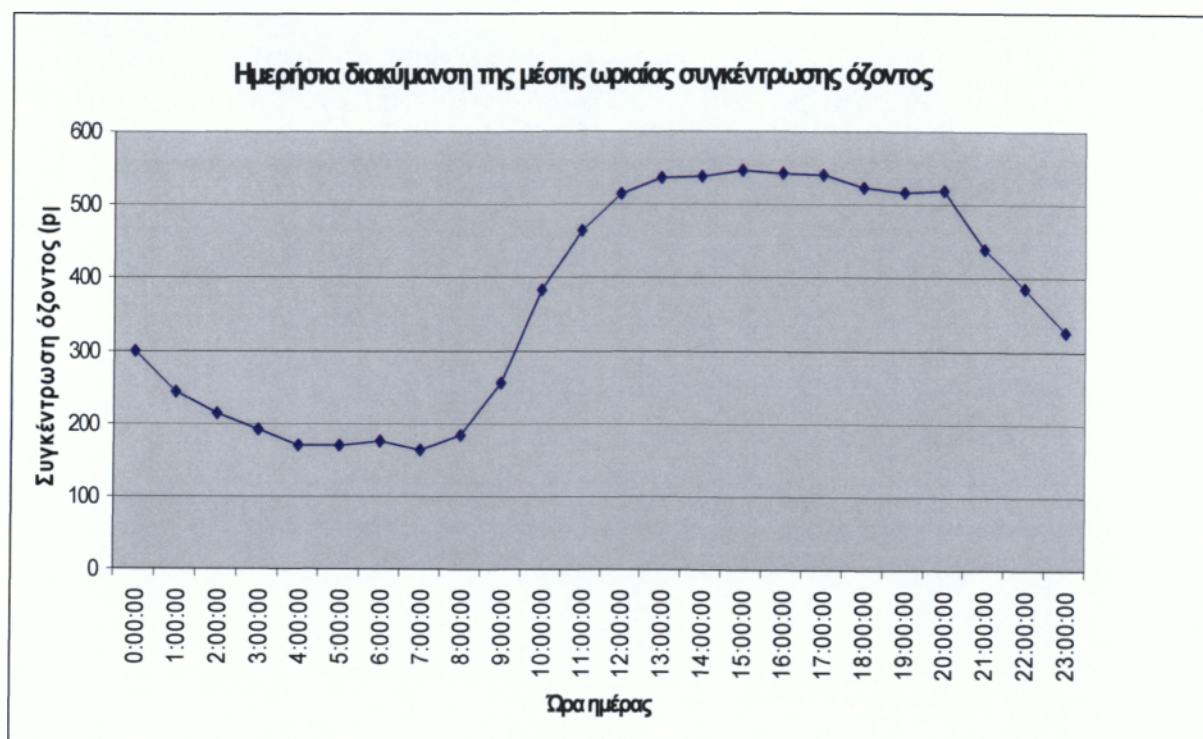
Για το μήνα Ιούλιο παρατηρήθηκε υψηλότερη συγκέντρωση όζοντος τις απογευματινές ώρες (17.00-21.00), ενώ η χαμηλότερη συγκέντρωση όζοντος παρατηρήθηκε από τις 04.00 μέχρι και τις 09.00 το πρωί (Σχήματα 5 και 6). Σε μια κυκλική πορεία μέσα στο εικοσιτετράωρο βλέπουμε την συγκέντρωση του όζοντος να βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα τις πρωινές ώρες, στη συνέχεια να αυξάνει ραγδαία μέχρι και την δύση του ηλίου και στη συνέχεια να μειώνεται σιγά σιγά μέχρι το ελάχιστο πρωινό της επίπεδο (Σχήματα 5 και 6).

Για το μήνα Αύγουστο η υψηλότερη συγκέντρωση όζοντος παρατηρήθηκε νωρίτερα τις απογευματινές ώρες από 14.00 μέχρι και τις 20.00 (Σχήματα 7 και 8) γεγονός που πιθανόν να οφείλεται και στη μείωση της διάρκειας της ημέρας (φωτοπεριόδου) που έχουμε κατά το μήνα αυτό, ή και λόγω των κλιματικών συνθηκών (διάρκεια και ένταση ηλιοφάνειας) οι οποίες διατελούν σημαντικότερο ρόλο στο σχηματισμό του όζοντος. Τον μήνα Αύγουστο επίσης καταγράφηκαν χαμηλότερες τιμές όζοντος σε σύγκριση με τον Ιούλιο. Το σύνολο των ppb/h για τον μήνα Ιούλιο ήταν 11994, τον μήνα Αύγουστο έπεσε στα 8831 ppb/h.

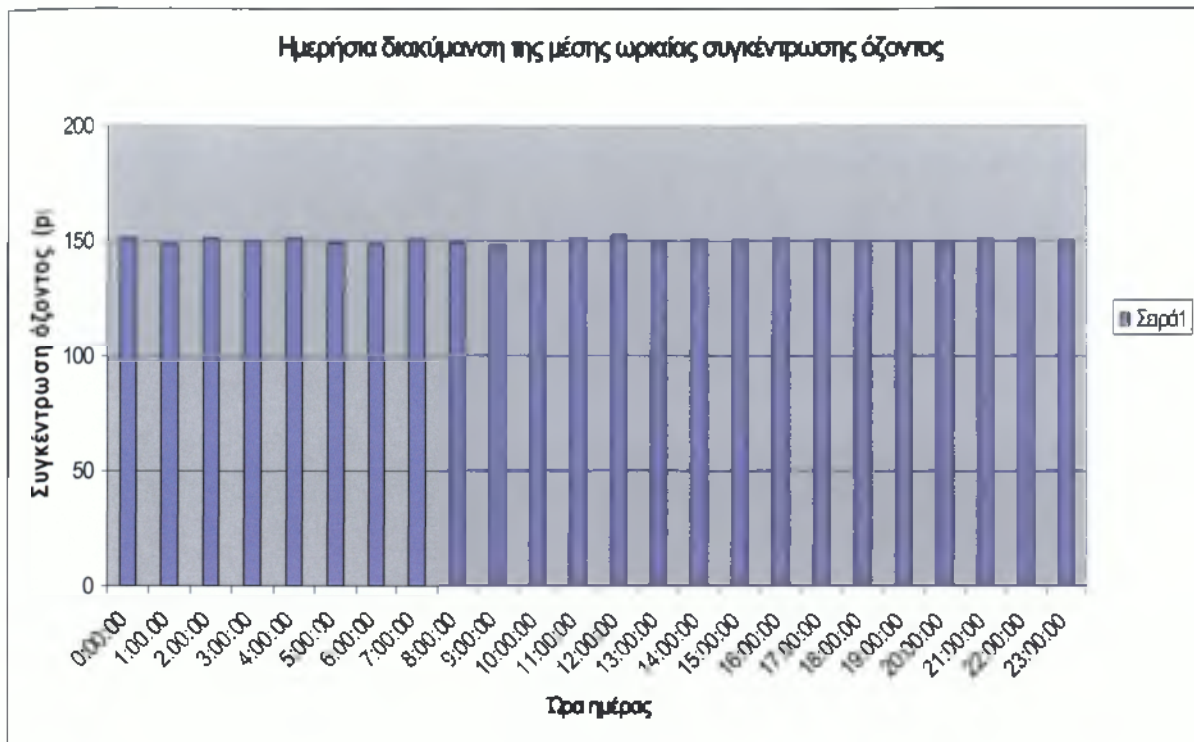
Για το μήνα Σεπτέμβριο στη συνέχεια η ωριαία συγκέντρωση του όζοντος ήταν σταθερή και δεν μεταβλήθηκε στη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και ήταν περίπου 150 ppb/h (Σχήμα 9 και 10). Τον μήνα Σεπτέμβριο και λόγω κυρίως των κλιματικών συνθηκών η ολική συγκέντρωση του όζοντος παρέμεινε χαμηλή και δεν μεταβάλλονταν σημαντικά στη διάρκεια του εικοσιτετραώρου (Σχήμα 9 και 10). Η τιμή μάλιστα που είχε ήταν η κατώτερη ανά ωριαία πάντα συγκέντρωση που είχε η διακύμανση του εικοσιτετραώρου κατά τους μήνες Αύγουστο και Ιούλιο (Σχήματα 5, 6, 7, 8, 9 και 10).



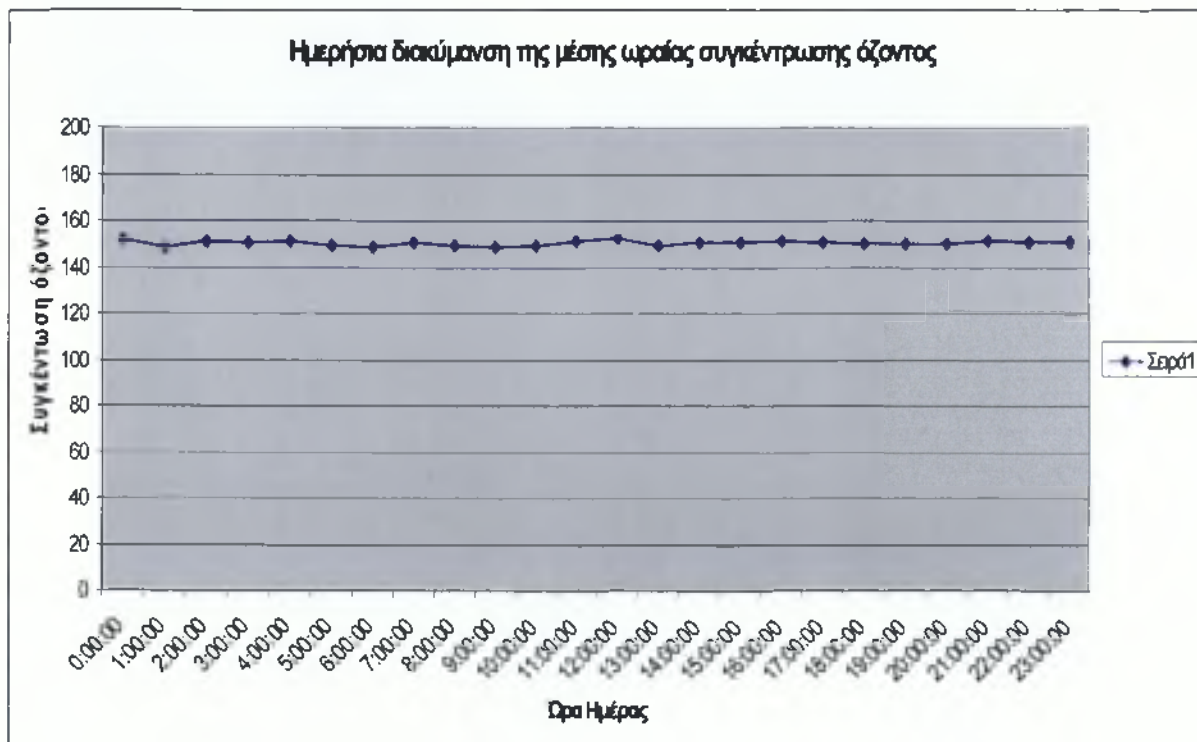
Σχήμα 7. Ωριαία διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος στο πειραματικό χώρο του ΤΕΙ Καλαμάτας το μήνα Αύγουστο.



Σχήμα 8. Ωριαία διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος στο πειραματικό χώρο του ΤΕΙ Καλαμάτας το μήνα Αύγουστο.



Σχήμα 9. Ωριαία διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος στο πειραματικό χώρο του ΤΕΙ Καλαμάτας το μήνα Σεπτέμβριο.



Σχήμα 10. Ωριαία διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος στο πειραματικό χώρο του ΤΕΙ Καλαμάτας το μήνα Σεπτέμβριο.

34. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΖΗΜΙΑΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ

Τα φυτά της πατάτας παρουσίασαν και αυτά χαρακτηριστικά συμπτώματα από την υπερβολική συγκέντρωση όζοντος στα φύλλα των τους όμοια με αυτά που φαίνονται στις εικόνες (Εικ. 13,15,16). Επίσης είχαν αυξημένη ευπάθεια σε περονόσπορο που πιθανόν να οφείλεται στη ζημιά όζον.



Εικόνα 12. φύλλο πατάτας με προσβολή από όζον (πηγή Διαδίκτυο 1).



Εικόνα 13. φύλλο πατάτας με προσβολή από όζον (πηγή Διαδίκτυο 2).



Εικόνα 14. φύλλο πατάτας με προσβολή από όζον (πηγή Διαδίκτυο 2).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε εξετάστηκε η συμπεριφορά φυτών πατάτας σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος.

Εξετάστηκε ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των φυτών, η στοματική αγωγιμότητα, η συνολική χλωροφύλλη των φύλλων με το όργανο SPAD 502 της Minolta και επίσης μετρήθηκε η συγκέντρωση του όζοντος στην περιοχή .

Η αύξηση της καταπόνησης από το όζον στα φυτά της πατάτας προκάλεσε πτώση του ρυθμού φωτοσύνθεσης, και μείωση της συνολικής χλωροφύλλης των φύλλων, φυσιολογικοί παράγοντες που δείχνουν την μείωση της εύρωστης ανάπτυξης των φυτών. Η σταδιακή πτώση της μειωμένης ανάπτυξης των φυτών, χρονικά ταυτίζεται τόσο με την υπερβολική συγκέντρωση όζοντος τον Ιούλιο και με την σταδιακή αύξηση καθώς προχωρά η θερινή περίοδος.

Επίσης είναι ενδεικτικό για το μέγεθος της συγκέντρωσης του όζοντος στην περιοχή του ΤΕΙ Καλαμάτας (δηλαδή στον Αντικάλαμο Μεσσηνίας), ότι τα επιτρεπτά από την Ευρωπαϊκή Ένωση όρια για την συνολική συγκέντρωση όζοντος κατά τη θερινή περίοδο, ώστε να έχουμε απρόσκοπτη ανάπτυξη των φυτών, είναι τα 3000 ppb/h.

Οι κλιματικές λοιπόν συνθήκες της περιοχής όπως η έντονη ηλιοφάνεια, οι υψηλές θερμοκρασίες και οι επικρατούντες άνεμοι, φαίνεται να ευνοούν το σχηματισμό αλλά και την παραμονή μεγάλων συγκεντρώσεων όζοντος σε αυτήν.

Το πρόβλημα της υψηλής συγκέντρωσης όζοντος δεν είναι τόσο η καλλιέργεια της πατάτας αφού η συγκεκριμένη καλλιέργεια στη περιοχή της Μεσσηνίας πραγματοποιείται συνήθως το χειμώνα και την άνοιξη οπότε και αποφεύγονται οι τοξικότητες, αλλά κυρίως για τον ανθρώπινο πληθυσμό αλλά και τη πανίδα και τη χλωρίδα της περιοχής. Σίγουρα η συγκέντρωση αυτή του όζοντος είναι ένα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο όμως θέλει περαιτέρω έρευνα για να αναδειχτούν ασφαλή συμπεράσματα.

Ενδιαφέρον επίσης στοιχείο που προέκυψε είναι η ημερήσια διακύμανση της συγκέντρωσης του όζοντος που δείχνει και τον τρόπο σχηματισμού του. Βλέπουμε λοιπόν ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του καταγράφονται τις απογευματινές ώρες και η ελάχιστη ποσότητα του τις πρώτες πρωινές ώρες, τα ανωτέρω γεγονότα δείχνουν την εξάρτηση του σχηματισμού του από την έντονη μεσημεριανή ηλιοφάνεια της

περιοχής. Το μήνα Σεπτέμβριο και Οκτώβριο στη συνέχεια που χαμηλώνουν οι θερμοκρασίες και η ηλιοφάνεια οι συνολικές συγκεντρώσεις του όζοντος μικραίνουν και η μέση ωριαία τιμή είναι σταθερή.

Καταλήγοντας σίγουρα οι συγκεντρώσεις του όζοντος που καταμετρήθηκαν και οι ζημιές που προκλήθηκαν στα φυτά πρέπει να μας προβληματίσουν, αλλά επίσης είναι αναγκαία η περαιτέρω έρευνα τόσο στη συνολική συγκέντρωση του όζοντος στη θερινή σεζόν, όσο και στην τοξικότητα τους για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη βιβλιογραφία

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

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

Ελληνική βιβλιογραφία

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

Διαδίκτυο

Διαδίκτυο 1.

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OzoneWeBreathe/ozone_we_breathe3.php

Διαδίκτυο 2.

http://www.ozoneinjury.org/crops/index.php?option=com_content&view=article&id=41&Itemid=49