

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. <u>53</u>
Ημερομηνία <u>9-9-2004</u>

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Μακροσκοπικές επιπτώσεις όζοντος(O₃)
σε νεαρά φυτά βαμβακιού»**



ΧΑΡΙΛΑΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

Βόλος 2004



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.:	4197/1
Ημερ. Εισ.:	15-12-2004
Δωρεά:	Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός:	ΠΤ - ΦΠΑΠ
	2004
	ΧΑΡ

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

**«Μακροσκοπικές επιπτώσεις όζοντος (O₃) σε νεαρά φυτά
βαμβακιού»**

**Πτυχιακή διατριβή
της
Χαριλάου Αναστασίας**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**Εισηγητής: Καθηγήτρια Σ. Γαλανοπούλου-Σενδουκά
Μέλη: Καθηγητής Π. Λόλας
Επικ. Καθηγητής Γ. Νάνος**

ΒΟΛΟΣ 2004

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου....

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κα. Σ. Γαλανοπούλου για την επιλογή του θέματος, την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που μου έδωσε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Π. Λόλα και τον Επίκ. Καθηγητή κ. Γ. Νάνο για τις διορθώσεις και υποδείξεις που έκαναν και ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Ευχαριστώ θερμά την υποψήφια διδάκτορα κα. Μ. Δημητριάδου για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια πραγματοποίησής της.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Όζον.....	8
1.2 Στρατοσφαιρικό ή «καλό» όζον.....	9
1.3 Τροποσφαιρικό ή «κακό» όζον.....	10
1.4 Πηγές ρύπανσης.....	11
1.5 Πρόσληψη όζοντος (O ₃) από φυτά.....	12
1.6 Κλιματολογικές συνθήκες και όζον.....	14
1.6.1 Οξεία και χρόνια βλάβη.....	15
1.7 Συμπτώματα.....	16
1.8 Επιπτώσεις του όζοντος στα φυτά.....	17
1.9 Μέθοδοι μέτρησης της ζημιάς.....	19
1.10 Βαμβάκι.....	21
1.10.1 Η σημασία της καλλιέργειας του βαμβακιού στην Παγκόσμια και Ελληνική οικονομία	21
1.10.2 Οικολογικές απαιτήσεις.....	22
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	25
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	26
3.1 Φυτικό υλικό και συνθήκες ανάπτυξης.....	26
3.2 Θάλαμοι ανάπτυξης με ελεγχόμενη εκπομπή O ₃	26
3.3 Παρατηρήσεις-Μετρήσεις.....	28

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	30
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	35
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	37
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	41

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Όζον

Το όζον ανακαλύφθηκε αρχικά το 1839 από τον γερμανό επιστήμονα Christian Friedrich Schonbein. Παράγεται στην ατμόσφαιρα ως φωτοχημικός ρύπος. Είναι ένα μόριο που περιέχει τρία άτομα οξυγόνου και έχει τον τύπο O₃. Είναι ένα ασταθές μόριο αποτελούμενο από τρία άτομα οξυγόνου. Το όζον έχει την σημαντική φωτοχημική ιδιότητα να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία μήκους κύματος μεταξύ 200nm και 300nm (ultraviolet ή UV):



Το ατομικό οξυγόνο ,O, που σχηματίζεται αντιδρά ξανά με το μοριακό οξυγόνο, O₂, και ανασχηματίζει όζον συμπληρώνοντας τον κύκλο του όζοντος.

Μπορεί επίσης να σχηματισθεί με τις ηλεκτρικές εκκενώσεις από κεραυνούς κατά την διάρκεια καταιγίδων (<http://www.theozonehole.com/ozone.html>).

Οι ελεύθερες ρίζες οξυγόνου οξειδώνουν τα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή ενώ συνδέονται και με τη διαδικασία γήρανσης. Το όζον αντιδρά έντονα με άλλα μόρια γι'αυτό οι μεγάλες συγκεντρώσεις του κοντά στο έδαφος αποδεικνύονται τοξικές. Οι εξατμίσεις μηχανοκίνητων οχημάτων και οι εκπομπές αερίων των βιομηχανιών, οι ατμοί βενζίνης, και οι χημικοί διαλύτες είναι μερικές από τις σημαντικότερες πηγές των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και άλλων πτητικών οργανικών ενώσεων, που ονομάζονται **πρόδρομες ενώσεις όζοντος**.

Το όζον έχει διαφορετική συμπεριφορά ανάλογα με το που βρίσκεται (εμφανίζεται σε δύο στρώματα της ατμόσφαιρας) και μπορεί να δρα προστατευτικά ή να προκαλέσει βλάβες (<http://www.theozonehole.com/ozone.html>).

1.2 Στρατοσφαιρικό ή «καλό» όζον

Περίπου το 90% του ατμοσφαιρικού στρώματος όζοντος βρίσκεται στη στρατόσφαιρα. Το στρατοσφαιρικό ή "καλό" όζον επεκτείνεται προς τα πάνω περίπου από τα 16 έως τα 48 χιλιόμετρα (Km) και προστατεύει τη γη από την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου (UV-b)

(<http://www.policyalmanac.org/environment/archive/ozone.html>).

Το όζον που εμφανίζεται στη στρατόσφαιρα ανακυκλώνεται σε ένα σταθερό ποσοστό. Η βαθμιαία καταστροφή του "καλού" όζοντος οφείλεται στους χλωροφθοράνθρακες (CFCs) κ.λ.π. Οι ουσίες αυτές που εκλύονται από τους ρύπους των οχημάτων, τις εκπομπές αερίων των βιομηχανιών κ.λ.π., κινούνται μέσω της τροπόσφαιρας έως ότου φθάνουν στη στρατόσφαιρα. Εκεί κατανέμονται ανάλογα με την ένταση των υπεριωδών ακτίνων του ήλιου που δέχονται και στη συνέχεια απελευθερώνουν μόρια χλωρίου και βρωμίου, τα οποία καταστρέφουν το "καλό" όζον. Ένα μόριο χλωρίου ή βρωμίου μπορεί να καταστρέψει 100.000 μόρια όζοντος, με αποτέλεσμα το όζον να καταστρέφεται πολύ γρηγορότερα από την αντικατάστασή του

(<http://www.policyalmanac.org/environment/archive/ozone.html>).

Δορυφορικές παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι παγκοσμίως το προστατευτικό στρώμα όζοντος έχει λεπτύνει αρκετά. Οι μεγαλύτερες απώλειες εμφανίζονται πάνω από τον Βόρειο και Νότιο Πόλο επειδή η μείωση του όζοντος επιταχύνεται στις εξαιρετικά κρύες καιρικές συνθήκες

(<http://www.policyalmanac.org/environment/archive/ozone.html>). Τα επεισόδια όζοντος (φωτοχημικά επεισόδια) είναι εξαιρετικά έντονα κατά τις θερμές,

ηλιόλουστες ημέρες (Munn and Maarouf, 1997). Γι'αυτό και στην Ελλάδα, όπου το κλίμα είναι ζεστό και η ηλιοφάνεια αυξημένη, παρατηρούνται υψηλά επίπεδα όζοντος.

1.3 Τροποσφαιρικό ή «κακό» όζον

Η τροπόσφαιρα επεκτείνει έως 16 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της γης, όπου συναντά το δεύτερο στρώμα, την στρατόσφαιρα. Η τροπόσφαιρα είναι το στρώμα που περιβάλλει τη γήινη επιφάνεια και εδώ βρίσκεται το "κακό" όζον. Αυτό, σε αντίθεση με το στρατοσφαιρικό που δρα προστατευτικά, έχει αρνητικές επιπτώσεις τόσο στον άνθρωπο όσο και στα φυτά. Μάλιστα τα φυτά είναι πολύ πιο ευαίσθητα.

Αν και ορισμένοι ατμοσφαιρικοί ρύποι προκαλούνται από τη φύση, η ανθρώπινη δραστηριότητα αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα ρύπανσης. Ο βασικότερος και πιο επιζήμιος για τα φυτά ρύπος θεωρείται από σειρά επιστημόνων το όζον (τροποσφαιρικό όζον) (<http://www.ecobadge.com/articles/agriculture.html>).

Από το 1900, τα ποσά όζοντος κοντά στην επιφάνεια της γης έχουν τουλάχιστον διπλασιαστεί. Στις αστικές περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου, τα υψηλά επίπεδα όζοντος εμφανίζονται συνήθως κατά τη διάρκεια των θερμών, ηλιόλουστων, θερινών μηνών (από τον Απρίλιο μέχρι το Σεπτέμβριο). Τα επίπεδα όζοντος μεγιστοποιούνται αργά το απόγευμα. Μια ζεστή ηλιόλουστη ημέρα είναι το τέλειο περιβάλλον για την παραγωγή όζοντος, λόγω του ότι διαμορφώνεται ένα στρώμα αντιστροφής θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα που οδηγεί στην παγίδευση

των ρύπων κοντά στο έδαφος. Αντίθετα τα επίπεδα του όζοντος μειώνονται όταν νυχτώνει.

(http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Atmosphere/ozone_tropo.html)

Η ποσοτικοποίηση, σε τοπικό επίπεδο, του φορτίου O_3 είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξαιτίας των μεγάλων εναλλαγών στις συγκεντρώσεις των πρόδρομων του αερίων στην ατμόσφαιρα και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που οδηγούν στη δημιουργία του (Dammgren and Weigel, 1998). Οι συγκεντρώσεις του O_3 στην ατμόσφαιρα, κυμαίνονται από 20 ως 60 $nL \cdot L^{-1}$ με έντονα επεισόδια που μπορεί να φτάνουν στα 250 $nL \cdot L^{-1}$ (Sandermann, 1996).

1.4 Πηγές ρύπανσης

Υπάρχουν πολλές πηγές ρύπων. Μπορούν να χωριστούν σε γενικές κατηγορίες όπως οι **κινητές**, οι **σταθερές** και οι **φυσικές** πηγές. Οι κινητές πηγές περιλαμβάνουν τα μεταφορικά μέσα (αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, τραίνα, αεροσκάφη, κ.α.). Παραδείγματα σταθερών πηγών είναι οι μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, οι εγκαταστάσεις καθαρισμού, οι πολυάριθμες μικρές βιομηχανίες που παράγουν τις πρόδρομες ενώσεις, οι γεωργικές βιομηχανίες γαλακτοκομικών και οι βιομηχανίες παραγωγής λιπασμάτων. Οι παραπάνω πηγές είναι μερικές από τις σημαντικότερες πηγές του NO_x και των πτητικών οργανικών ενώσεων (<http://www.ecobadge.com/articles/agriculture.html>).

Οι φυσικές πηγές μπορούν επίσης να διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο στη παραγωγή ρύπων. Παραδείγματος χάριν, η ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορεί να αποδεσμεύσει σημαντικά ποσά ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Τέλος, οι "βιογενετικές εκπομπές", δηλαδή εκπομπές των οργανικών ενώσεων από δέντρα και φυτά μπορεί να συμβάλουν στη ρύπανση ορισμένων περιοχών.

Το ισχυρό φως του ήλιου και ο ζεστός καιρός έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκεντρώσεως του επιβλαβούς όζοντος στον αέρα. Πολλές αστικές περιοχές τείνουν να έχουν υψηλά επίπεδα "κακού" όζοντος, αλλά και άλλες περιοχές υπόκεινται επίσης στα υψηλά επίπεδα όζοντος δεδομένου ότι μέσω των ανέμων οι εκπομπές NOx μεταφέρονται πολύ μακρύτερα από τις αρχικές πηγές τους

(<http://www.policyalmanac.org/environment/archive/ozone.shtml>).

Οι συγκεντρώσεις όζοντος μπορούν να ποικίλουν από χρόνο σε χρόνο. Οι μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες (ιδίως οι ζεστές θερινές μέρες), οι περιόδους στασιμότητας του αέρα, και άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στο σχηματισμό όζοντος καθιστούν τις μακροπρόθεσμες προβλέψεις δύσκολες

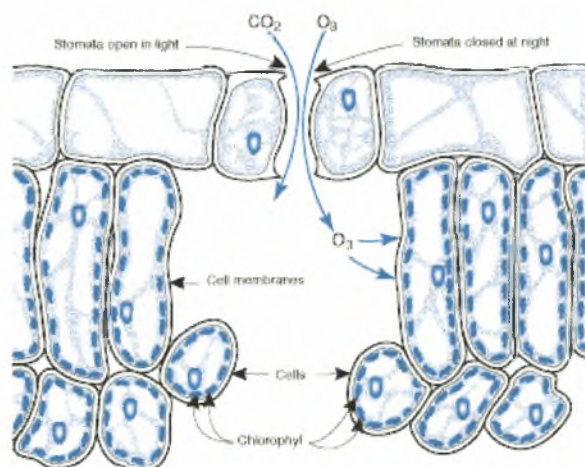
(<http://www.policyalmanac.org/environment/archive/ozone.shtml>).

1.5 Η Πρόσληψη του όζοντος (O₃) από τα φυτά

Η σημαντικότερη δράση του όζοντος πραγματοποιείται αφότου εισέλθει το αέριο στα φύλλα. Η αντίδραση των φυτών στο O₃ μπορεί να χαρακτηριστεί ως το αποτέλεσμα μιας σειράς φυσικών, βιοχημικών και φυσιολογικών διεργασιών. Το O₃ διαχέεται από τον αέρα στο φυτό μέσα από τα στομάτια και για τον λόγο αυτό τα στομάτια αποτελούν σημείο ελέγχου της εισόδου του όζοντος στο φυτό (Unsworth and Hogsett, 1996). Τα φυτά λαμβάνουν και απελευθερώνουν τα αέρια κυρίως μέσω των στομάτων (εικ. 1), από όπου εισέρχεται το CO₂ που είναι απαραίτητο για

την φωτοσύνθεση. Με τον ίδιο τρόπο εισέρχεται και το όζον στα φυτά.

Ο ρόλος της αγωγιμότητας των στομάτων είναι σημαντικός για την είσοδο του όζοντος στα φυτά και τελικά επηρεάζει τα φυτά όσο και η συγκέντρωση του όζοντος στον περιβάλλοντα χώρο (Panek *et al*, 2002). Τα στόματα σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος (πάνω από 200 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) αντιδρούν με μερικό κλείσιμο. Σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις έχουν καταγραφεί ερεθίσματα για άνοιγμα ή κλείσιμο, ανάλογα με το είδος του φυτού και τις συνθήκες περιβάλλοντος. Η υδατική κατάσταση του φυτού παίζει σημαντικό ρόλο στην αντίδραση των στομάτων (Van de Geijn *et al*, 1993).



Εικόνα 1. Οδοί όζοντος από τα στόματα. (Agriculture and Agrifood -Canada,2001)

Όταν το όζον εισέλθει στο φύλλο, μπορεί να τραυματίσει τον ιστό των φύλλων και να ανατρέψει την κανονική μεταβολική λειτουργία του φυτού. Μόνο ένα μικρό μέρος του όζοντος που εισέρχεται στο φύλλο θα περάσει το πλασμαλήμμα. Κατά συνέπεια, η δυνατότητα ενός κυτάρου να υπερασπίσει την εξωτερική του μεμβράνη, ώστε να μην εισέλθουν οι διάφορες ελεύθερες ρίζες, είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα που καθορίζει εάν το όζον είναι ή όχι

επιβλαβές σε ένα κύτταρο. Το ασκορβικό οξύ και μερικά άλλα αντιοξειδωτικά, έχει βρεθεί ότι ενεργούν κατά τέτοιο τρόπο στον αποπλάστη, ώστε να αποτρέπουν τον τραυματισμό στο πλασμαλήμμα. Η λήψη του όζοντος (σε μια δεδομένη ατμοσφαιρική συγκέντρωση) κατά ένα μεγάλο μέρος καθορίζεται από το πλάτος των στοματικών πόρων. Επομένως, είναι κατανοητό πως η ευαισθησία των φυτών στο όζον ποικίλει. Πολλά είδη φυτών είναι αρκετά ανθεκτικά ενώ άλλα είναι εξαιρετικά ευαίσθητα (π.χ. τα μονοκοτυλήδονα είναι πιο ανθεκτικά από τα δικοτυλήδονα φυτά). Επιπλέον, μέσα σε ένα είδος η ευαισθησία μπορεί να ποικίλει μεταξύ των ποικιλιών. Πιθανώς, οι μικρές γενετικές διαφορές να είναι υπεύθυνες για τις αλλαγές στην ευαισθησία (http://www.uni-hohenheim.de/biostress/ozone_and_vegetation.html).

1.6 Κλιματολογικές συνθήκες και όζον

Οι κλιματολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, φως, υγρασία) συμβάλλουν στο μέγεθος της βλάβης ενός φυτού κατά την έκθεσή του σε αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος. Η βλάβη από το O₃ είναι μεγαλύτερη στα φυτά που μεγαλώνουν σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (27-32°C) παρά σε εκείνα που πριν υποστούν την επίδρασή του O₃ μεγαλώνουν σε χαμηλές θερμοκρασίες (10-15°C) (Λόλας, 2000).

Από μελέτες διαπιστώθηκε ότι η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας δεν είναι άμεση αλλά έμμεση και συνδέεται με την αλλαγή που παρουσιάζεται στη διαβάθμιση του υδατικού δυναμικού (VPD-vapour pressure deficit) από τους μεσοκυττάριους χώρους προς την ατμόσφαιρα (τάση ατμών), όταν η σχετική υγρασία παραμένει σταθερή. Εφόσον το υδατικό δυναμικό επηρεάζει την αγωγιμότητα των στομάτων, τη διαπνοή και την αύξηση της φυλλικής επιφάνειας

τότε υπάρχει έμμεση αρνητική αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας ως προς το όζον (US EPA, 1995, Tonpeijck. and Van Dijk, 1997).

Σε αντίθεση με άλλους αέριους ρύπους, η βλάβη από το O₃ είναι μεγαλύτερη στα φυτά που μεγαλώνουν σε υψηλή σχετική υγρασία, και χαμηλή ένταση φωτός (Λόλας, 2000).

Στον αέρα η κρίσιμη συγκέντρωση όζοντος ανέρχεται στα 0,1-0,2 nL. L⁻¹ (Λόλας, 2000).

1.6.1 Οξεία και χρόνια βλάβη

Οι βλάβες των φυτών μπορούν να χωριστούν σε 2 κατηγορίες, ανάλογα με την διάρκεια έκθεσης, τα επίπεδα όζοντος και την ευαισθησία του φυτού. Με βάση τα παραπάνω, διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

α) Η **οξεία βλάβη** προκύπτει από σύντομη ή μακρόχρονη έκθεση σε υψηλά επίπεδα όζοντος, ή όταν το φυτό είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στο όζον. Η οξεία ζημία χαρακτηρίζεται από καθορισμένες με σαφήνεια περιοχές νεκρού ιστού.

Στην οξεία ζημία ολόκληρο το φύλλο ή ακόμα και ολόκληρο το φυτό μπορούν να οδηγηθούν στο θάνατο.

β) Η **χρόνια βλάβη** προκύπτει συνήθως από έκθεση σε χαμηλά επίπεδα όζοντος για μια μεγάλη χρονική περίοδο ή εάν το φυτό έχει κάποια αντίσταση στον ρύπο και προκαλεί μικροτραυματισμούς στο φυτό. Τα χρόνια συμπτώματα φανερώνονται με το κιτρίνισμα, τον σχηματισμό σιγμάτων, αλλά και την ανάσχεση αύξησης χωρίς ορατά συμπτώματα κ.λ.π.

(<http://www.ces.ncsu.edu/depts/pp/notes/Ozone/ozone.html>).

1.7 Συμπτώματα

Διάφοροι τύποι συμπτωμάτων συνδέονται συνήθως με την έκθεση του φυτού στο όζον, εξ αιτίας του ότι αποτελεί ένα πολύ τοξικό αέριο. Αυτοί περιλαμβάνουν τη χλώρωση των φύλλων, τις μικροσκοπικές κηλίδες με ελαφρά μαυρισμένες ανώμαλες περιοχές και με διάμετρο μικρότερη από 1mm, σκοτεινόχρωμες περιοχές διαμέτρου περίπου 2-4 mm, και περιοχές που έχουν κυρίως ασημή ή και κοκκινωπή απόχρωση. Στις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, ο ιστός των φύλλων παρουσιάζει μικρές νεκρωμένες περιοχές. Τα συμπτώματα εμφανίζονται και στις δύο επιφάνειες των φύλλων, στα παλαιότερα και μέσης ηλικίας φύλλα, μεταξύ των νευρώσεών τους. Σε μερικά είδη τα συμπτώματα που εμφανίζονται, ο τύπος και η δριμύτητα του τραυματισμού είναι εξαρτώμενα από τους διάφορους προαναφερθέντες παράγοντες (<http://www.ces.ncsu.edu/depts/pp/notes/Ozone/ozone.html>).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί πως είναι αρκετοί οι παραγωγοί, σε περιοχές όπου το πρόβλημα είναι έντονο, οι οποίοι κάτω από την πίεση της μείωσης ή και της απώλειας της παραγωγής, καταφεύγουν σε ψεκασμούς και επεμβάσεις με αγροχημικά χωρίς να έχουν κάποια υπεύθυνη διάγνωση ή βασιζόμενοι σε πρόχειρες και εμπειρικές διαγνώσεις. Για παράδειγμα, η εμφάνιση νεκρωτικών στιγμάτων σε φύλλα δεν οφείλεται πάντοτε σε ασθένεια αλλά παρόλα αυτά είναι συχνές οι περιπτώσεις όπου χωρίς καν διάγνωση ή ακόμα χειρότερα παρά τις συμβουλές ειδικών γεωπόνων, οι κηλίδες αυτές αντιμετωπίζονται «συλλήβδην» ως παρασιτικές ασθένειες, με αποτέλεσμα τους περιττούς ψεκασμούς, που επιβαρύνουν και το κόστος της παραγωγής, αλλά και την ίδια την

καλλιέργεια με χημικά που δεν έχουν καμία αποτελεσματικότητα στο συγκεκριμένο πρόβλημα (Βελισσαρίου κ.α., 1996).

Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, η χρήση φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων βοηθάει στην πρόληψη της ζημιάς από το όζον εξ αιτίας των αντιοξειδοτικών ουσιών που περιέχουν (π.χ. μυκητοκτόνο Benomyl) (Velissariou and Kyriazi, 1996)

1.8 Άλλες επιπτώσεις από το όζον στη φυσιολογία των φυτών

Οι βλάβες που μπορεί να πάθει ένα φυτό εξαιτίας της επιδράσεως του όζοντος αναφέρονται παρακάτω:

1. Αλλαγές στη φυσιολογία, ιδιαίτερα μειωμένα ποσοστά φωτοσύνθεσης σε μερικά είδη και αλλαγές στην κατανομή των υδατανθράκων. Επίσης παρατηρείται μείωση του ριζικού συστήματος, η οποία καθιστά τα φυτά πιο ευαίσθητα στην ξηρασία (<http://oregonstate.edu/instruction/bi301/ozeffect.htm>)
2. Ζημιές των μεμβρανών. Μέσα στους ιστούς των φυτών το O₃ διασπάται σε οξυγόνο και υπεροξειδία τα οποία επηρεάζουν το πλασμαλήμμα και τις άλλες βιομεμβράνες με αποτέλεσμα να εμποδίζονται οι διεργασίες μεταφοράς και τελικά παρατηρούνται νεκρώσεις ιστών (Λόλας, 2000).

Οι δευτεροβάθμιες επιπτώσεις του όζοντος που προκύπτουν ως συνέπεια των παραπάνω είναι οι ακόλουθες:

- μειωμένη αύξηση και παραγωγή, πρόωρη πτώση φύλλων
 - αυξανόμενη ευπάθεια στα έντομα και τα παθογόνα
- (<http5://oregonstate.edu/instruction/bi301/ozeffect.htm>)

Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας που αναφέρεται στις φυσιολογικές αντιδράσεις των φυτών όταν δέχονται την επίδραση του όζοντος με βάση την χρήση κυτταρικών δεικτών:

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ*
Οξειδωση	<ol style="list-style-type: none"> 1. Εκφύσεις και προεξοχές στα κυτταρικά τοιχώματα 2. Συσσώρευση αντιοξειδωτικών 3. Αύξηση οξείδωσης στο εσωτερικό των κυττάρων
Υπερευαίσθητες αντιδράσεις	<ol style="list-style-type: none"> 1. Διάσπαση της κυτταρικής δομής 2. Συμπύκνωση χρωματίνης και αποικοδόμηση πυρήνων 3. Κατάρρευση κυτταρικών τοιχωμάτων 4. Ατελής αποικοδόμηση των κυτταρικών οργανιδίων. Ακολουθεί γρήγορος θάνατος των κυττάρων 5. Συμπύκνωση των κυτταρικών υπολειμμάτων
Εππαχυνόμενη γήρανση	<ol style="list-style-type: none"> 1. Αύξηση των χυμοτοπίων 2. Αργή αποικοδόμηση των κυτταρικών συστατικών όπως παρουσιάζεται από τη μέτρια και προοδευτική συμπύκνωση του κυτταρικού κυτοπλάσματος και πυρήνα 3. Συσσώρευση δευτερογενών ενώσεων

* (Vollenweider *et al*, 2003)

Διάφορες μελέτες έχουν προσπαθήσει να καθορίσουν και την οικονομική ζημιά λόγω του όζοντος. Στις Ηνωμένες Πολιτείες το NCLAN (National Crop Loss

Assessment Network) ερεύνησε τις επιδράσεις του όζοντος σε σημαντικές γεωργικές καλλιέργειες, συμπεριλαμβανομένου του καλαμποκιού, της σόγιας, και του βαμβακιού. Το δίκτυο αποτελούνταν από μεγάλους θαλάμους (chambers) στους οποίους η ατμόσφαιρα ήταν ελεγχόμενη. Τα επίπεδα του όζοντος στους θαλάμους κυμαίνονταν σε διάφορα επίπεδα και ήταν έως και διπλάσιος από το επίπεδο όζοντος του περιβάλλοντος. Θάλαμοι (διοχετεύθηκαν οι ίδιες ποσότητες όζοντος) τοποθετήθηκαν σε 8 διαφορετικές περιοχές.

Τα στοιχεία από αυτό το πολυετές πείραμα χρησιμοποιήθηκαν από τους γεωργικούς οικονομολόγους. Η συνολικά υπολογισμένη οικονομική απώλεια (παραγωγοί + καταναλωτές) σε τρέχοντα επίπεδα ατμοσφαιρικής ποιότητας έναντι μιας βελτίωσης του αέρα περίπου 25% ήταν σχεδόν 1,6 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (<http://www.ecobadge.com/articles/agriculture.html>).

1.9 Μέθοδοι μέτρησης της ζημιάς

Διάφορες μέθοδοι και πειραματικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η ζημία που προκαλείται από το όζον στα φυτά. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγεται ο αποκλεισμός των ατμοσφαιρικών ρύπων με φίλτρο αέρα και η μεταχείριση των φυτών με αντιοξειδωτικά πχ. αιθυλική διουρία (Ethylenediurea - EDU, κ.α.). Τα πειράματα με καθαρισμό του αέρα με φίλτρα διεξάγονται σε θαλάμους ανοικτής οροφής (open -top -chambers) ή σε θερμοκήπια με εξαερισμό (Fumagalli *et al*, 1997).

Όπως προαναφέρθηκε, η ευαισθησία των φυτών στην επίδραση του όζοντος διαφέρει από είδος σε είδος. Ορισμένα είδη φυτών είναι τόσο ευαίσθητα που χρησιμοποιούνται και ως **βιολογικοί δείκτες**. Αποτελούν πολύτιμα εργαλεία, καθώς με την βοήθειά τους μπορεί να ανιχνευτεί η παρουσία ενός ρύπου και μετέπειτα να υπολογιστεί η ένταση του σε μία ή περισσότερες περιοχές, χωρίς μεγάλες δαπάνες. Παράδειγμα τέτοιων φυτών αποτελεί το τριφύλλι και ο καπνός. Διεθνώς ως δείκτης χρησιμοποιείται η ποικιλία καπνού «Bel-W3». Εξίσου αποτελεσματική είναι η Ελληνική ποικιλία αλεξανδρινού τριφυλλίου «Λητώ». Σε πειράματα που έγιναν από τους Βελισσαρίου και Κυριαζή (1994), στο Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο, διαπιστώθηκε η ιδιαίτερη ευαισθησία της ποικιλίας αυτής. Αξιοπρόσεκτο είναι το ότι τα πρώτα συμπτώματα παρουσιάστηκαν έπειτα από 12 ώρες έκθεσης ακόμα και σε συγκέντρωση $50 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$.

Η χρήση μηχανικών μετρητών και παθητικών δεικτών βοήθησαν να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις όζοντος σε εκτεταμένες περιοχές και να δημιουργηθούν σταθερές της ποιότητας του αέρα όπως της AOT40 και SUM60. Καταγεγραμμένα στοιχεία σχετικά με το όζον και οι δείκτες AOT40 και SUM60 χρησιμοποιούνται επίσης για να προβλεφθεί πιθανή ζημία σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο. Στις μετρήσεις και στους παραπάνω δείκτες δεν περιλαμβάνονται ούτε υπολογίζονται περιβαλλοντικές και βιολογικές μεταβλητές που επηρεάζουν την πρόσληψη του όζοντος και την επίπτωση στο φυτό (Manning *et al*, 2003).

Για να εκτιμηθεί αν σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή τα επίπεδα του όζοντος είναι υψηλά (φυτοτοξικά) παρατηρούνται τα ορατά συμπτώματα στα ευαίσθητα

είδη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενεργών ή παθητικών δεικτών. Οι παθητικοί δείκτες είναι ενδημικά είδη, ευαίσθητα στο όζον, που φύονται στον φυσικό τους χώρο και οι ενεργητικοί είναι είδη με γνωστή ευαισθησία (βιολογικοί δείκτες) που καλλιεργούνται σε περιοχές που ζητείται να διευκρινιστεί αν τα επίπεδα του όζοντος είναι φυτοτοξικά (Velissariou et al, 1996). Οι εκτιμήσεις σε εγκατεστημένες φυτείες φυτών δεικτών (surveys) βοηθούν στο να προβλεφθεί ικανοποιητικότερα η τελική ζημία από τη συγκέντρωση του όζοντος. Ιδιαίτερα χρήσιμα ήταν σε περιπτώσεις εκτεταμένων περιοχών, όπως απομακρυσμένα δάση ή μέρη με άγρια βλάστηση. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν χάρτες από τους οποίους φαίνεται ποιες περιοχές έχουν υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Η χαρτογράφηση των αθροιστικών συγκεντρώσεων όζοντος είναι σημαντική για να εντοπιστούν περιοχές στις οποίες μπορεί να παρουσιαστεί ζημία στα φυτά (Manning et al, 2003).

1.10 Βαμβάκι

1.10.1 Η σημασία της καλλιέργειας του βαμβακιού στην Παγκόσμια και Ελληνική οικονομία

Το βαμβάκι έχει μεγάλη σημασία σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο. Σε πολλές χώρες, όπως και στην Ελλάδα, το βαμβάκι θεωρείται το πρώτο γεωργικό προϊόν.

Σήμερα το βαμβάκι καλλιεργείται σε περισσότερες από 70 χώρες στον κόσμο, ενώ στην Ευρώπη καλλιεργείται κυρίως στην Ελλάδα, λιγότερο στην Ισπανία και σε πολύ μικρότερες εκτάσεις στην πρώην Γιουγκοσλαβία, Βουλγαρία, Αλβανία και Ιταλία. Η έκταση καλλιέργειας του βαμβακιού παγκοσμίως σταθεροποιήθηκε πάνω

από τα 300 εκατομμύρια στρ. ενώ η παραγωγή με την κατανάλωση φτάνει στους 18.500-19.000 τόνους. Οι τέσσερις μεγαλύτερες χώρες παραγωγής, που συγκεντρώνουν τα 2/5 της παγκόσμιας παραγωγής είναι η Κίνα, Η.Π.Α., Ινδία και Πακιστάν (Τόλης, 1986).

Στον ελληνικό χώρο, το βαμβάκι είναι σήμερα η πιο δυναμική καλλιέργεια ανάμεσα στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας και το πρώτο από άποψη συναλλαγματικής αξίας αγροτικό προϊόν. Κέντρα παραγωγής είναι η Θεσσαλία και η Κ. Μακεδονία και ακολουθούν η Αν. Μακεδονία-Θράκη και η Αν. Στερεά Ελλάδα (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

1.10.2 Οικολογικές απαιτήσεις

Οι κλιματολογικές συνθήκες ασκούν αποφασιστικό ρόλο στη διαμόρφωση της παραγωγής του βαμβακιού και αποτελούν αιτία της διακύμανσης που παρουσιάζουν οι αποδόσεις σε μια περιοχή από χρόνο σε χρόνο (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

Θερμοκρασία: Θεωρείται ο σπουδαιότερος κλιματικός παράγοντας που διαμορφώνει το μέγεθος και την ποιότητα της παραγωγής. Ιδιαίτερα η θερμοκρασία που επικρατεί κατά τη βλάστηση και το φύτευμα του σπόρου επηρεάζει σοβαρά την εξέλιξη του φυτού, εξαιτίας και της μεγάλης ευαισθησίας που παρουσιάζει το βαμβάκι κατά το στάδιο αυτό.

Η ελάχιστη θερμοκρασία εδάφους για τη βλάστηση και το φύτευμα του σπόρου είναι 15°C, ενώ με θερμοκρασίες αέρος χαμηλότερες από 10-12°C σταματά η ανάπτυξη των καρυδιών. Η άριστη θερμοκρασία για το φύτευμα αλλά και για τα μετέπειτα στάδια του φυτού είναι 33°C. Όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή, το

φυτό αντιδρά με έντονη διαπνοή, αρκεί να υπάρχει επάρκεια νερού. Ικανοποιητικές έως υψηλές θερμοκρασίες αέρος προωμίζουν την εμφάνιση των χτενιών.

Υγρασία: Το βαμβακόφυτο έχει συντελεστή διαπνοής, αρκετά υψηλό, περίπου 560. Για να καλλιεργηθεί χωρίς άρδευση πρέπει η ετήσια βροχόπτωση να είναι τουλάχιστον 500mm, από την οποία τα 175-200mm να πέφτουν κατά την περίοδο της καρποφορίας. Βροχές κατά την εποχή της συγκομιδής δυσχεραίνουν την ωρίμανση των όψιμων καρυδιών και τη συλλογή του βαμβακιού και υποβαθμίζουν την ποιότητα του προϊόντος. Στη χώρα μας η καλλιέργεια είναι κατά κανόνα αρδευόμενη, αλλά οι συχνά πρώιμες βροχοπτώσεις του φθινοπώρου δημιουργούν προβλήματα στην καλλιέργεια.

Η έλλειψη εδαφικής υγρασίας είναι από τους σπουδαιότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του φυτού. Σε έδαφος που η υγρασία βρίσκεται στο σημείο ή κάτω από το σημείο μαράνσεως ο σπόρος δεν φυτρώνει και τα νεαρά φυτά δεν μπορούν να μεγαλώσουν. Το βαμβακόφυτο, αφού περάσει το νεαρό βλαστικό του στάδιο, είναι πολύ ευαίσθητο στη σοβαρή μείωση της εδαφικής υγρασίας.

Φως: Το βαμβακόφυτο είναι ηλιόφιλο και παράγει αποτελεσματικά, όταν υπάρχει επαρκής ηλιοφάνεια κατά το μεγαλύτερο τμήμα της ενεργού περιόδου αναπτύξεως. Βαμβάκια που σκιάζονται μένουν κοντά καχεκτικά με μικρή καρποφορία. Η ανάπτυξη του νεαρού φυτού μπορεί να αναχαιπιστεί, αν η φωτοσύνθεση δεν είναι ικανοποιητική λόγω ανεπαρκούς φωτισμού. Η επίδραση της ανεπάρκειας φωτός στην πρώτη ανάπτυξη του βαμβακιού είναι μεγαλύτερη στις πυκνές φυτείες.

Η σπουδαιότητα της καλλιέργειας, καθώς και το ότι το βαμβάκι αναπτύσσεται

περίπου την ίδια χρονική περίοδο (Απρίλιος-Οκτώβριος) με αυτήν που το όζον έχει αυξημένη συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα οδήγησε τους ερευνητές στην μελέτη της επιδράσεως του όζοντος στο βαμβάκι.

Έχει βρεθεί πως με την χρόνια έκθεση φυτών βαμβακιού στο όζον (O_3) κλείνουν τα στομάτια, μειώνεται η αγωγιμότητα, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η είσοδος του CO_2 και να αυξάνεται η αναπνοή στις ρίζες. Αυτές οι φυσιολογικές αντιδράσεις εμφανίζονται εντός μερικών ωρών και σχεδόν παράλληλα στα φύλλα και το βλαστό. Η μειωμένη αύξηση της ρίζας και η προκληθείσα από το O_3 αύξηση της σχέσης βιομάζας βλαστού/ρίζας οφείλεται στην περιορισμένη μεταφορά των υδατανθράκων. Η αυξανόμενη αναπνευστική δραστηριότητα απεικονίζει την σύνδεση μεταξύ του βλαστού και της ρίζας όσον αφορά τις απαιτήσεις τους για θρεπτικές ουσίες. Επίσης, η σύνδεση αυτή μπορεί να απεικονίσει τις αλλαγές στην διαθεσιμότητα σακχάρων κατά την αναπνοή της ρίζας, που αποδίδεται ενδεχομένως στις αλλαγές των παραγόμενων φωτοσυνθετικών ουσιών στα φύλλα. Εκτός των παραπάνω όμως η σύνδεση αυτή μπορεί να εκφράσει και την μεταφορά φυτοτοξικών ουσιών από τα τραυματισμένα (από το O_3) φύλλα στις ρίζες, προκαλώντας βλάβες και ενισχύοντας την ριζική αναπνοή, που συνδέεται με μηχανισμούς ανάπτυξης στις ρίζες (Grantz *et al*, 2003).

Σύμφωνα με άλλη μελέτη, έκθεση του βαμβακιού σε O_3 προκάλεσε μείωση της υδάτινης φάσης, περιορίζοντας την διαθεσιμότητα του ύδατος στα φύλλα. Αυτή η μείωση της υδάτινης φάσης σε όλο το φυτό οδηγεί στη μείωση της κατανομής της βιομάζας στις ρίζες με αποτέλεσμα να ακολουθεί μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας της ρίζας (Grantz *et al*, 1999).

2. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της μακροσκοπικής επίδρασης του όζοντος σε νεαρά φυτά βαμβακιού με σκοπό την εξέταση ύπαρξης ή μη ευαισθησίας στο όζον (O_3) σε διάφορες ποικιλίες του. Το βαμβάκι επιλέχθηκε εκτός της μεγάλης οικονομικής του σημασίας, τόσο για τη χώρα μας όσο και για άλλες χώρες, και επειδή υπάρχουν ενδείξεις ότι ενώ δεν αναφέρονται συχνά ορατά μακροσκοπικά συμπτώματα ζημιάς, εντούτοις είναι φυτό το οποίο παρουσιάζει μείωση στην τελική απόδοση λόγω του O_3 .

Η έρευνα αποσκοπεί στην καταγραφή μακροσκοπικών συμπτωμάτων από την επίδραση του όζοντος (O_3).

Τελικός στόχος της έρευνας είναι μια πρώτη αξιολόγηση νεαρών βαμβακόφυτων ως προς την αντίδρασή τους σε αυξημένη συγκέντρωση όζοντος.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Φυτικό υλικό και συνθήκες ανάπτυξης

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στους χώρους του Εργαστηρίου Γεωργίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος στις εγκαταστάσεις της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Φυτόκο Ν. Ιωνίας, Ν. Μαγνησίας, το καλοκαίρι του 2003.

Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις ποικιλίες βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L.). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι: Midas, Celia, Sandra και Carmen, οι οποίες σπάρθηκαν σε πλαστικούς δίσκους σαράντα θέσεων. Το υπόστρωμα των πλαστικών δίσκων περιείχε τύρφη και περλίτη σε αναλογία 3:1. Μετά από ένα διάστημα επτά ημερών οι σπόροι φύτρωσαν. Τα φυτά ποτίζονταν κανονικά για να αναπτυχθούν μέχρι το στάδιο του δεύτερου ζεύγους μονίμων φύλλων οπότε και μεταφέρθηκαν σε τρεις κλειστούς θαλάμους, με ελεγχόμενη εκπομπή O₃.

3. 2 Θάλαμοι ανάπτυξης με ελεγχόμενη εκπομπή O₃

Οι θάλαμοι που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος είναι κύβοι, κατασκευασμένοι από αλουμίνιο και γυαλί σε διαστάσεις 1x1m επιφάνεια βάσης και 1,5m ύψος. Ο αέρας εισέρχεται στους θαλάμους με ανεμιστήρες παροχής αέρα 1m³/min μέσω σωληνώσεων κατασκευασμένων από PVC διαμέτρου 15cm.

Στους δύο από τους τρεις θαλάμους πριν από την είσοδο του αέρα στο θάλαμο παρεμβάλλεται σωλήνας PVC μικρής διαμέτρου (2,5mm) που συνδέεται με την

πηγή παραγωγής όζοντος (Ozone Generator, T-Series, Trio Industries Inc., Florida, USA - εικ.2) προκειμένου να διοχετεύεται το αέριο όζον στο εσωτερικό τους και να μπορέσει να μελετηθεί η επίδρασή του στα φυτά.

Με μια ειδική βαλβίδα ελεγχόμενης ροής εισέρχεται σε κάθε θάλαμο η απαιτούμενη συγκέντρωση όζοντος. Για τις ανάγκες του πειράματος η απαιτούμενη συγκέντρωση όζοντος ήταν 50 nL. L^{-1} και 100 nL. L^{-1} . Στον τρίτο θάλαμο, ο οποίος χρησίμευε ως μάρτυρας, πριν από την είσοδο του αέρα παρεμβάλλεται φίλτρο ενεργού άνθρακα (εικ.3) με σκοπό την απομάκρυνση τυχόν συγκεντρώσεων όζοντος από τον εισερχόμενο ατμοσφαιρικό αέρα.



Εικόνα 2. Πηγή παραγωγής όζοντος



Εικόνα 3. Φίλτρο ενεργού άνθρακα στον θάλαμο-μάρτυρα

Στο άνω μέρος του εσωτερικού των δύο θαλάμων στους οποίους διοχετεύεται όζον, αμέσως μετά την είσοδο του αέρα, συνδέεται ένας διαφανής σωλήνας διαμέτρου 15cm από plexiglass με διάσπαρτες τρύπες ώστε να γίνεται ομοιόμορφη διάχυση του αέρα στο εσωτερικό του θαλάμου (εικ.4,5). Το όζον που διοχετευόταν καταγραφόταν από έναν αναλυτή όζοντος (TXgard-IS, Crowcon, UK) ο οποίος συνδεόταν με καταγραφέα.

Ο φωτισμός των τριών θαλάμων γινόταν με ειδικές λάμπες ανάπτυξης (metal halide floodlamps) που ήταν τοποθετημένες στο πάνω μέρος του θαλάμου σε ύψος 0,5m. Ο φωτισμός διαρκούσε 12 ώρες την ημέρα. Η διάρκεια παραμονής των φυτών μέσα στους θαλάμους ήταν τρεις ημέρες και το όζον εκπέμπονταν για έξι ώρες κάθε ημέρα.



Εικόνα 4. Οι δύο θάλαμοι με το όζον



Εικόνα 5. Διάτρητος σωλήνας plexiglass για τη διάχυση του αέρα

3.3 Παρατηρήσεις-Μετρήσεις

Μετά από το διάστημα της έκθεσης των φυτών στις δύο συγκεντρώσεις όζοντος (50 και 100ppb) ακολούθησε η σύγκρισή τους με τον μάρτυρα και στη συνέχεια αξιολογήθηκαν τα ορατά τους συμπτώματα. Εκτός όμως από τη μέθοδο της οπτικής παρατήρησης χρησιμοποιήθηκε και σύστημα μέτρησης της ενεργού φυλλικής επιφάνειας προκειμένου να εκτιμηθεί το ποσοστό ορατής ζημίας στα φύλλα και τα αποτελέσματα να είναι πιο αντικειμενικά. Έγινε μεταφορά των φυτών σε εργαστήριο της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης στη Λάρισα, όπου με το σύστημα ανάλυσης εικόνας εκτιμήθηκε το ποσοστό της ορατής ζημίας και η ενεργός φυλλική

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

επιφάνεια σε πέντε φυτά ανά ποικιλία και επίπεδο όζοντος (3επίπεδα όζοντος χ 4ποικιλίες χ 5 φυτά = 60 φυτά συνολικά).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1. ΦΥΤΑ ΜΑΡΤΥΡΕΣ

Τα φυτά των τεσσάρων ποικιλιών που αναπτύχθηκαν μέσα στον θάλαμο-μάρτυρα όπου η συγκέντρωση όζοντος ήταν 0 nL. L^{-1} (δηλαδή απουσίαζε πλήρως το όζον) παρουσίασαν άριστη ανάπτυξη (εικ 6, 7, 8, 9).



Εικόνα 6. Ποικιλία Celia (0 nL. L^{-1})



Εικόνα 7. Ποικιλία Carmen (0 nL. L^{-1})



Εικόνα 8. Ποικιλία Midas (0 nL. L^{-1})



Εικόνα 9. Ποικιλία Sandra (0 nL. L^{-1})

Έχοντας ως μέτρο σύγκρισης τα παραπάνω φυτά, μελετήθηκε η μακροσκοπική επίδραση του όζοντος στην συγκέντρωση των 50 και 100 nL. L^{-1} .

II. ΕΚΘΕΣΗ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ 50 nL. L⁻¹

Μετά από έκθεση των φυτών σε συγκέντρωση 50 nL. L⁻¹ για 3 ημέρες και 6 ώρες ανά ημέρα, και έπειτα από σύγκριση κάθε ποικιλίας με τον αντίστοιχο μάρτυρά της, καμία από τις τέσσερις ποικιλίες βαμβακιού (Celia, Carmen, Midas, Sandra) δεν παρουσίασε συμπτώματα σε μακροσκοπικό επίπεδο. Όπως φαίνεται και στις εικόνες 10, 11, 12 και 13 τα φυτά έχουν άριστη ανάπτυξη και δεν παρουσιάζουν καμία ορατή διαφορά στην ανάπτυξη σε σχέση με αυτά που αναπτύχθηκαν χωρίς να εκτεθούν στο όζον (φυτά-μάρτυρες).



Εικόνα 10. Ποικιλία Celia (50 nL. L⁻¹)



Εικόνα 11. Ποικιλία Carmen (50 nL. L⁻¹)



Εικόνα 12. Ποικιλία Midas (50 nL. L⁻¹)



Εικόνα 13. Ποικιλία Sandra (50 nL. L⁻¹)

III. ΕΚΘΕΣΗ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ 100 nL. L⁻¹

Σε αντίθεση με τα 50 nL. L⁻¹, μακροσκοπικά συμπτώματα παρουσίασαν τα φυτά όλων των ποικιλιών του βαμβακιού στην συγκέντρωση των 100 nL. L⁻¹ στις ίδιες συνθήκες (για 3 ημέρες και διάρκεια 6 ώρες ανά ημέρα) και η έντασή τους κυμαινόταν αναλόγως της ποικιλίας. Τα συμπτώματα που παρουσίασαν τα φύλλα των φυτών του βαμβακιού ήταν χαρακτηριστικά και παρουσιάστηκαν είτε υπό μορφή μικρών κηλίδων, είτε μεγαλύτερων ακανόνιστων κηλίδων που κάλυπταν το μεγαλύτερο μέρος του φύλλου. Τα φύλλα στα σημεία ζημιάς παρουσίασαν πολύ λεπτή υφή και ασημή απόχρωση, στοιχεία που υποδηλώνουν την απώλεια του παρεγχύματος. Τα συμπτώματα αυτά οφείλονται στην πλήρη καταστροφή του μεσοφύλλου στα σημεία της ζημιάς με παραμονή μόνο της εφυμενίδας. Στις εικόνες 14, 15, 16, 17 (και παράρτημα) τα μακροσκοπικά συμπτώματα από την επίδραση του όζοντος σε συγκέντρωση 100 nL. L⁻¹ είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και στις τέσσερις ποικιλίες βαμβακιού.



Εικόνα 14. Ποικιλία Celia (100 nL. L⁻¹)



Εικόνα 15. Ποικιλία Carmen (100 nL. L⁻¹)



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Εικόνα 16. Ποικιλία Midas (100 nL. L⁻¹)



Εικόνα 17. Ποικιλία Sandra (100 nL. L⁻¹)

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 1, έπειτα από εκτίμηση της ζημιάς ανά ποικιλία προέκυψε ότι οι ποικιλίες "Midas" και ιδιαίτερα η "Sandra" έδειξαν μεγαλύτερη ευαισθησία στην έκθεσή τους στην υψηλή συγκέντρωση όζοντος (100 nL. L⁻¹) έναντι της "Carmen" και της "Celia" οι οποίες παρουσίασαν σε μακροσκοπικό επίπεδο χαμηλότερη ευαισθησία στο όζον.

Πίνακας 1: Ποσοστά ορατής ζημιάς σε φυτά και φύλλα βαμβακιού από έκθεση σε συγκέντρωση 100 nL. L⁻¹

α/α	Ποικιλία	% Προσβεβλημένα φυτά/δίσκο	% Μείωση ενεργού φυλλικής επιφάνειας
1	MIDAS	60	18,5
2	CARMEN	10	1,6
3	CELIA	20	5,9
4	SANDRA	80	38,4

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα όπως παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο οδηγούν σε ορισμένα συμπεράσματα που αφορούν τις ποικιλίες βαμβακιού που ερευνήθηκαν στην παρούσα εργασία κάτω από δύο επίπεδα όζοντος. Από την εργασία αυτή το συμπέρασμα είναι ότι στην υψηλή συγκέντρωση όζοντος (100 nL. L^{-1}) το βαμβάκι αντέδρασε, η ζημιά ήταν οξεία και τα ορατά συμπτώματα ήταν εμφανή. Στην χαμηλή συγκέντρωση όζοντος (50 nL. L^{-1}) δεν παρουσιάστηκαν οξεία συμπτώματα, αλλά είναι πιθανό το βαμβάκι να βλάπτεται από μακροχρόνια εκθεση σε τέτοιες συγκεντρώσεις και αυτό αξίζει να μελετηθεί. Κάθε μία από τις 4 ποικιλίες που εξετάστηκαν (Midas, Celia, Sandra και Carmen) αντέδρασε διαφορετικά στις υψηλές συγκεντρώσεις του ρύπου. Έπειτα από την επίδραση των 100 nL. L^{-1} όζοντος παρουσιάστηκαν πολύ έντονα ορατά συμπτώματα στα φυτά. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία είναι από τις πρώτες φορές παγκοσμίως και η πρώτη φορά στην Ελλάδα που παρουσιάζονται μακροσκοπικά συμπτώματα στο βαμβάκι. Η ζημιά στα φύλλα ήταν χαρακτηριστική και παρουσιάστηκε με την καταστροφή του παρεγχύματος του μεσοφύλλου, όπως και στον καπνό ποικιλίας Bel W3.

Από τις μετρήσεις παρατηρήθηκε αρκετά μεγάλο ποσοστό ζημιάς στα φυτά των δύο ποικιλιών (60% και 80% για τις ποικιλίες Midas και Sandra αντίστοιχα), ενώ στις άλλες δύο η ζημιά ήταν σε αρκετά μικρότερο ποσοστό (Carmen 10% και Celia 20%).

Από τις μετρήσεις με το σύστημα ανάλυσης εικόνας, στις ποικιλίες Sandra και Midas, βρέθηκε αρκετά υψηλή μείωση της ενεργού φιλικής επιφάνειας (38,4 και

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

18,5% αντίστοιχα) έπειτα από την επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης (100 nL. L^{-1}) του όζοντος. Όσον αφορά τις ποικιλίες Celia και Carmen, η ζημιά που παρουσίασαν στην ενεργό φυλλική επιφάνεια ήταν αρκετά μικρή. Για την Celia το ποσοστό ανέρχονταν στο 5,9% και για την Carmen μόλις στο 1,6%. Οι πιθανές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ποικιλιών μπορεί να οφείλονται σε τυχαία αντίδρασή τους ή σε ιδιαίτερα μορφολογικά, φυσιολογικά ή γενοτυπικά χαρακτηριστικά, κάτι που θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθεί εκτενέστερα.

Η επίδραση του όζοντος σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης του βαμβακιού, αποτελεί επίσης ένα πεδίο που μπορεί να μελετηθεί εκτενέστερα και να προκύψουν στοιχεία που θα οδηγήσουν στην καλύτερη εκτίμηση της ζημιάς από το όζον αυτής της σημαντικής καλλιέργειας και στην επιλογή ποικιλιών προς καλλιέργεια με περιορισμένη ευαισθησία στον συγκεκριμένο ρύπο.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βελισσαρίου Δ., Βενουζίου Ι. και Παππάς Κ., 1996. Άγνωστης αιτιολογίας τοξικότητες σε ελληνικές καλλιέργειες. Μήπως η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι μια αιτία για πολλές από αυτές; Μια περίπτωση μελέτης του φαινομένου στους Γόμφους Τρικάλων. UN-ECE Workshop Report.
- Βελισσαρίου Δ. και Κυριαζή Α., 1994. Μια Ελληνική ποικιλία τριφυλλιού-βιολογικός δείκτης τοξικότητας όζοντος. Γεωργία και Αναπτυξη 8(39).
- Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ, 2002. Βιομηχανικά φυτά. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα. Σελ. 64-68.
- Λόλας Π., 2000. Φυσιολογία φυτών. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Π.Θ. Σελ. 235.
- Τόλης, Ι. Δ., 1998. ΒΑΜΒΑΚΙ, Εχθροί, Ασθένειες, Ζιζάνια. Αθήνα

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Dammgen U. and Weigel H., 1998. Trends in atmospheric composition (nutrients and pollutants) and their interaction with agroecosystems. Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry. pp85-93.
- Fumagalli I., Mignaneco L. and Violini G., 1997. Effects of tropospheric ozone on white clover plants exposed in open-top chambers or protected by the antioxidant ethylene-diurea (EDU). Agronomie 17: 271-281.
- Grantz D. A., Zhang Xijie and Carlson Toby, 1999. Observations and model simulations link stomatal inhibition to impaired hydraulic conductance following ozone exposure in cotton. Plants, Cell and Environment 22: 1201-1210.

- Grantz D. A., Silva V., Toyota M. and Ott N., 2003. Ozone increases root respiration but decreases leaf CO₂ assimilation in cotton and melon. *Journal of Experimental Botany* 391: 2375-2384
- Manning W., Flagler R., Frenkel M., 2003. Assessing plant response to ambient ozone: growth of ozone-sensitive loblolly pine seedlings treated with ethylenediurea or sodium erythrobate. *Environmental Pollution* 126, 73-81.
- Munn R.E and Maarouf A.R.,1997. Atmospheric issue in Canada. *The Science of the Total Environment* 203.
- Panek J.A., Kurpius M., Goldstain A.H.,2002. An evaluation of ozone exposure metrics for a seasonally drought-stressed Ponderosa pine ecosystem. *Environmental Pollution* 117.
- Sandermann H.,1996. Ozone and plant health. *Annual Review of Phytopathology* 34: 347-366.
- Tonneijck A.E.G. and Van Dijk C.J., 1997. Assessing effects of ambient ozone on injury and growth of *Trifolium subterraneum* at four rural sites in the Netherlands with ethylenediurea (EDU). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65:79-88.
- Unsworth M. and Hogsett W.,1996. Combined effects of changing CO₂ temperature, UV-B radiation and O₃ on crop growth. F.A.O. org.
- US EPA, 1995. Air Quality Criteria for Ozone and other Photochemical Oxidants. Draft edition. Research Triangle Park, North Carolina. Environmental Criteria and Assessment Office.

- Van de Geijn S.C., Goodriaan J., Van der Eerden L.G., Rozema J., 1993. Problems and Approaches to Intergrating the Concurrent Impacts of Elevated Carbon Dioxide, Temperature, Ultraviolet-B Radiation, and Ozone on crop Production. Crop Science Society of America.
- Velissariou D., Gimeno B.S, Badiani M., Fumagalli I. and Davison A.W., 1996. Records of O₃ visible injury in the ECE Mediterranean region. UN-ECE Workshop Report.
- Velissariou D. and Kyriazi A., 1996. A sensitive clover variety-bioindicator for ozone. Responses to antioxidant protection. UN-ECE Workshop Report.
- Vollenweider P., Ottiger M. and Günthardt-Goerg M.S., 2003. Validation of leaf ozone symptoms in natural vegetation using microscopical methods. Env. Poll. 124: 101-118

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<http://www.theozonehole.com/ozone.html>

The ozone hole. British Antarctic Study, Nasa, Environment Canada and UNEP.

<http://www.policyalmanac.org/environment/archive/ozone.shtml>

Ozone: Good Up High, Bad Nearby. Policy Almanac Organization.

<http://www.ecobadge.com/articles/agriculture.html>

Ozone in Agriculture. Ecobadge.

http://www.uni-hohenheim.de/biostress/ozone_and_vegetation.html

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ozone and vegetation – a general introduction for the layman. Hohenheim University.

<http://oregonstate.edu/instruction/bi301/ozeffect.htm>

What are the effects of elevated tropospheric ozone? Oregon State University.

http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Atmosphere/ozone_tropo.html

Ozone in the Troposphere. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR).

<http://www.ces.ncsu.edu/depts/pp/notes/Ozone/ozone.html>

Effects of Ozone Air Pollution on Plants. Air Quality Program. NC State University, Agricultural Research Service.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΕ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙ

Εικόνα 1



Εικόνα 2



Εικόνα 3



Εικόνα 4



Εικόνα 5



Εικόνα 6



Εικόνα 7

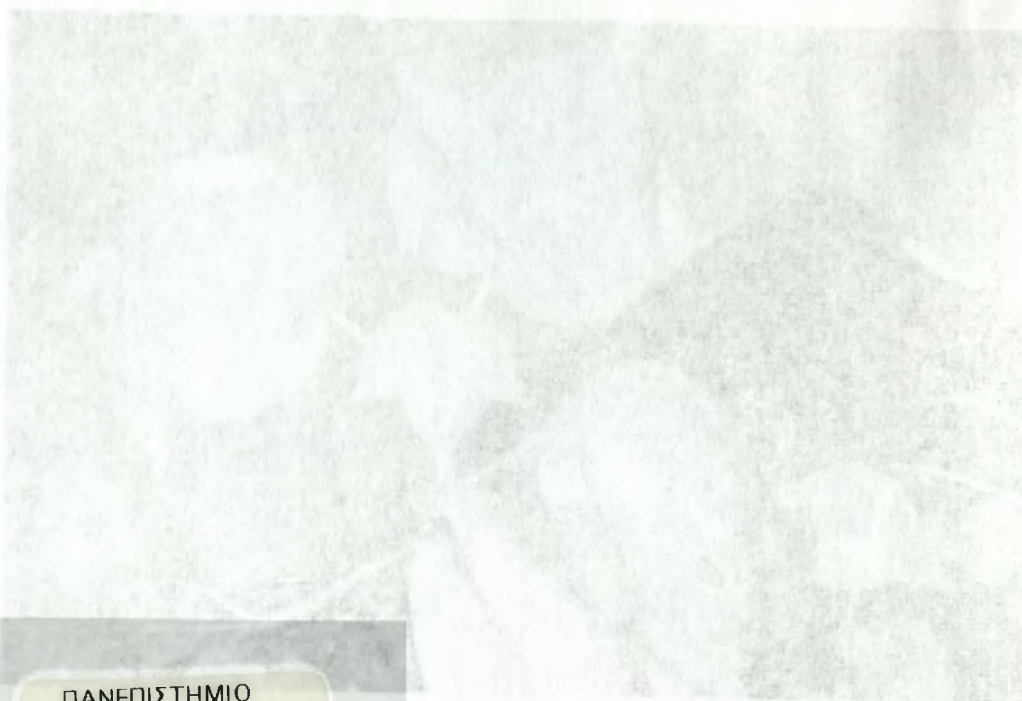


Εικόνα 8

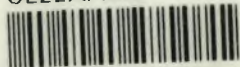




Εικόνα 8



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074279