

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΠΑΜΠΑΛΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντικείμενο

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ UV-B ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ
ΒΑΜΒΑΚΙ**

Εισηγήτρια καθηγήτρια: ΣΤΕΛΛΑ ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΥ-ΣΕΝΔΟΥΚΑ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 5944/1
Ημερ. Εισ.: 12-10-2007
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2007
ΜΠΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά οφείλω να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν ν' ασχοληθώ μ' ένα τόσο ενδιαφέρον κι επίκαιρο θέμα. Με πρώτη την Καθηγήτρια της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Στέλλα Γαλανοπούλου - Σενδουκά, η οποία μ' εμπιστεύθηκε και με στήριξε με την εμπειρία και τις γνώσεις της ώστε να τελειώσω επιτυχώς την πτυχιακή μου διατριβή.

Επίσης πολύτιμη ήταν η συνεργασία μου με την γεωπόνο και κατέχουσα πλέον μεταπτυχιακή εκπαίδευση Σοφία Χατζηκυριάκου για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε στο πειραματικό στάδιο όπως και στην παρουσίαση της εργασίας. Θερμές ευχαριστίες οφείλω και στον Δρ. Μπαρτζιάλη Δημήτρη για την πολύτιμη συνεργασία του στη διεξαγωγή των εργαστηριακών αναλύσεων, καθώς και τις ουσιαστικές και πολύτιμες υποδείξεις του κατά την πορεία της ερευνητικής εργασίας και την εύρεση υλικού βιβλιογραφίας. Τέλος ευχαριστώ Δρ. Τσιάλλα Ιωάννη, προϊστάμενο τμήματος Γεωργικού Πειραματισμού, Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης ΑΕ, εργοστάσιο Λάρισας, για τη διάθεση των συσκευών που ήταν απαραίτητες για την διεξαγωγή των μετρήσεων και για την βοήθεια του στην εύρεση της βιβλιογραφίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

•ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
•ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
•ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	16
•ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	16
•ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	20
•ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	27
•ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	29
•ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	30
•ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	41

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο εισαγωγικό τμήμα της παρούσας εργασίας γίνεται αναφορά στην ηλιακή υπεριώδη-B ακτινοβολία(UV-B), την προέλευση αυτής (ρόλος του όζοντος), τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον. Αναφέρονται ακόμη οι παράγοντες που επηρεάζουν την ευαισθησία των φυτών στη UV-B, οι επιδράσεις της UV-B στη φυσιολογία φυτών και οι μηχανισμοί αυτοάμυνας των φυτών απέναντι στη UV-B, ιδιαίτερα όμως των φυτών βαμβακιού. Στη συνέχεια αναλύονται οι μετρήσεις που έδωσε το πείραμα από τις οποίες αποδεικνύονται οι αρνητικές επιπτώσεις της UV-B στο βαμβάκι που είναι μια καλλιέργεια με μεγάλη οικονομική σημασία για την Ελλάδα.

Τα τελευταία χρόνια η UV-B ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης και είναι επιβλαβής για τα φυτά και τον άνθρωπο έχει αυξηθεί σημαντικά κι αυτό οφείλεται στη μείωση του στρώματος του στρατοσφαιρικού όζοντος. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθούν οι επιπτώσεις της υψηλής ακτινοβολίας UV-B σε νεαρά φυτά βαμβακιού.

Οι ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν Carmen, Midas, Millenium και Sandra. Νεαρά φυτά αυτών των ποικιλιών στο στάδιο των δύο πραγματικών φύλλων, εκτέθηκαν σε ακτινοβολία UV-B σε κλειστό θάλαμο για δυο, τέσσερις κι έξι ώρες για τέσσερις διαδοχικές ημέρες, ενώ φυτά μάρτυρες τοποθετήθηκαν σε θάλαμο με φίλτρο που αποτρέπει τη διείσδυση της UV-B, ώστε να γίνει σύγκριση. Παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν το ύψος φυτού, η συγκέντρωση χλωροφύλλης, η φυλλική επιφάνεια και το υδατικό δυναμικό.

Οι επιπτώσεις στα νεαρά φυτά βαμβακιού από την έκθεση στη UV-B ακτινοβολία ήταν αρνητικές στο ύψος, τη φυλλική επιφάνεια, τη περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη και το υδατικό δυναμικό, ενώ παρατηρήθηκαν και ορατά συμπτώματα τοξικότητας από τη UV-B στα φύλλα. Η μείωση στο ύψος έφτανε μέχρι 18% σε σχέση με φυτά μάρτυρες, η μείωση της χλωροφύλλης ήταν από 14% μέχρι και 29%, μείωση του υδατικού δυναμικού από 8% μέχρι 54% και μείωση της φυλλικής επιφάνειας από 16% μέχρι 41%.

Όσο αυξανόταν η διάρκεια έκθεσης από 2 στις 6 ώρες των φυτών στη UV-B τόσο δυσμενέστερες ήταν και οι επιπτώσεις στην αύξηση-ανάπτυξή τους. Οι επιπτώσεις ήταν διαφορετικές ανάλογα με την ποικιλία. Σύμφωνα με τ' αποτελέσματα, η ανθεκτικότερη ποικιλία απ' όσες μελετήθηκαν ήταν η Carmen.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ηλιακή υπεριώδης-B ακτινοβολία.

Η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στη γη καλείται διαφορετικά και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή συγκροτείται από διάφορα μήκη κύματος τα οποία αποτελούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αποτελείται από το ορατό τμήμα, το υπέρυθρο, το υπεριώδες, τις ακτίνες X κ.τ.λ. Η υπεριώδης-B(UV-B) ακτινοβολία δηλαδή είναι ένα τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στα μικρότερα μήκη κύματος το φάσμα είναι πιο ενεργό. Για παράδειγμα τα φωτόνια που προέρχονται από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι περισσότερο ενεργά από εκείνα που προέρχονται από την υπέρυθη ακτινοβολία. Τα φωτόνια υψηλής ενέργειας μπορούν να σπάσουν τους μοριακούς δεσμούς και να προκαλέσουν ζημιά. Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει μικρό μήκος κύματος και υψηλή ενέργεια και αντιπροσωπεύει το 1,5% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης, ενώ η υπέρυθη έχει μεγάλο μήκος κύματος και χαμηλή ενέργεια. Το μεγαλύτερο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η ορατή ακτινοβολία η οποία αποτελεί το 42,3% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας (Stapleton, 1992).

Η αύξηση και ανάπτυξη των φυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα φωτός που απορροφούν, την διάρκεια και το είδος του. Το φως αποτελεί πηγή ενέργειας για τα φυτά και ρυθμίζει τις λειτουργίες ανάπτυξης και μεταβολισμού των φυτών. Τα φυτά προσλαμβάνουν το φως με τους φωτοαποδέκτες. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες φωτοαποδεκτών: 1) Οι δέκτες των φυτοχρωμάτων, 2) Οι δέκτες της UV-A ακτινοβολίας και της μπλε ακτινοβολίας (κρυπτοχρωμάτων) και 3) Οι δέκτες της UV-B ακτινοβολίας.

Το όζον απορροφά ακτινοβολία με μήκος κύματος από 320nm και κάτω. Το υπεριώδες φάσμα του φωτός αποτελείται από τρία μέρη: τη UV-A ακτινοβολία, τη UV-B, και τη UV-C. Η UV-A ακτινοβολία έχει μήκος κύματος 320-400 nm, η υπεριώδης UV-B ακτινοβολία 280-320 nm και η UV-C από 180-280nm. Συνεπώς η UV-A ακτινοβολία δεν απορροφάται από το όζον, φθάνει σχεδόν ακέραιη στην επιφάνεια της γης και είναι απαραίτητη στην ανάπτυξη των φυτών. Η UV-B όμως απορροφάται σε

αρκετό βαθμό από το στρώμα του όζοντος και μικρό ποσοστό αυτής φτάνει στη γήινη επιφάνεια. Κάτι θετικό για τα φυτά και την υγεία του ανθρώπου, καθώς η UV-B είναι ζημιογόνος (Krupa et al., 1998). Τις τελευταίες δεκαετίες όμως η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και η αύξηση της ηλιακής υπεριώδους-B ακτινοβολίας στη γήινη επιφάνεια ανησυχούν τους επιστήμονες του πλανήτη μήπως τυχόν επηρεαστεί ανεπανόρθωτα η περιβαλλοντική ισορροπία (Tevini and Teramura, 1991). Τέλος η UV-C ακτινοβολία είναι κι αυτή επιβλαβής για όλες τις μορφές ζωής στη γη αλλά απορροφάται απ' το όζον και πολύ μικρή ποσότητα φθάνει στην επιφάνειά της.

1.2 Ο ρόλος του όζοντος (O₃) και η εξασθένηση της στιβάδας του.

Το όζον είναι τοξικό, κυανωπό αέριο που σχηματίζεται στη στρατόσφαιρα με την επίδραση των μικροκυματικών ακτινοβολιών του ηλιακού φωτός καθώς και με τις ηλεκτρικές εκκενώσεις που συνοδεύουν τα μετεωρολογικά φαινόμενα (www.spin.gr/static/sections). Το όζον απορροφά σχεδόν εξ ολοκλήρου το τμήμα εκείνο του ηλιακού φάσματος που έχει μήκος κύματος 180-280nm, γνωστό ως UV-C (υπεριώδες) και είναι θανατηφόρο για τους ζωντανούς οργανισμούς. Ακόμη απορροφά και ένα μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας με μήκος κύματος 280-320nm (UV-B) που επίσης είναι επικίνδυνο για ορισμένες μορφές ζωής. Το στρατοσφαιρικό όζον βρίσκεται σε απόσταση 25-30km πάνω από την επιφάνεια της γης και είναι αυτό που λειτουργεί ως προστατευτικό στρώμα που φιλτράρει την υπεριώδη επιβλαβή ακτινοβολία του ήλιου.

Στη στρατόσφαιρα, μόρια του οξυγόνου διασπώνται σε άτομα τα οποία ενώνονται με άλλα μόρια οξυγόνου και σχηματίζουν το όζον. Η αντίδραση είναι αντιστρεπτή και το όζον διασπάται σε μοριακό και ατομικό οξυγόνο μέσω της απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας (www.Elinyae.gr/perivallon/BAME). Οι αντιδράσεις αποσύνθεσης και επανασχηματισμού του όζοντος στη στρατόσφαιρα γίνονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε φυσιολογικά να επικρατεί μια ισορροπία κατανάλωσης και σύνθεσης όζοντος που διατηρεί το πάχος και τη συγκέντρωση του στρώματος σταθερά (www.spin.gr/static/sections).

Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον των περιβαλλοντολόγων αλλά και μεγάλης πλειοψηφίας του επιστημονικού κόσμου έχει επικεντρωθεί στο πρόβλημα της καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος από έναν αριθμό χημικών ουσιών που βρίσκονται στο περιβάλλον. Ιδιαίτερα πάνω από την Ανταρκτική διαπιστώθηκε ότι μια μεγάλη περιοχή

έχει μείνει απροστάτευτη από την υπεριώδη ακτινοβολία επειδή έχει εξασθενήσει πολύ το στρώμα του όζοντος εκεί («τρύπα του όζοντος»).

Σαν βασικές αιτίες για την εξασθένιση της στιβάδας αυτής θεωρούνται ορισμένες ουσίες που δρουν καταλυτικά στην ατμόσφαιρα και οι οποίες είναι προϊόντα και παραπροϊόντα της τεχνολογικής προόδου, όπως χλωροφθοράνθρακες (CFCs) που εκλύονται απ' τα αερολύματα (αεροσόλ των ψεκαστήρων διάφορων καλλυντικών, βαφών κ.τ.λ.), τα ψυκτικά μηχανήματα (ψυγεία, κλιματιστικά), τα καυσαέρια των στρατοσφαιρικών αεροπλάνων όπως και των πυραύλων και των υπερηχητικών αεροπλάνων. Έτσι ένα μόριο καταλύτη μπορεί να καταστρέψει χιλιάδες μόρια όζοντος πριν απομακρυνθεί. Καταλύτες επικίνδυνοι για το όζον είναι τα οξειδία του χλωρίου, του αζώτου και του υδρογόνου, με πιο επικίνδυνους τους χλωροφθοράνθρακες. (www.elinyae.gr/perivallon/BAME, www.spin.gr/static/sections). Η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος υπολογίζεται περίπου 4-5% ανά δεκαετία (Stolarski et al., 1992, Herman et al., 1993) κι ακόμη έχει υπολογιστεί ότι, ελάττωση του όζοντος κατά 1%, έχει ως συνέπεια την αύξηση κατά 2% της UV-B που φτάνει στη γη (www.cverros.gr/0204.htm).

Επιπλέον έχει βρεθεί ότι η συχνότητα έκθεσης των ζωντανών οργανισμών στη UV-B ακτινοβολία διαφέρει ανάλογα με τον ηλιακό άξονα και την πυκνότητα της στιβάδας του στρατοσφαιρικού όζοντος. Εκτός της απορρόφησης από το στρώμα του όζοντος άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλιακή UV-B ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης είναι: οι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως το διοξείδιο του θείου που απορροφούν και διαχέουν τη UV-B ακτινοβολία, οι εποχιακές αλλαγές, τα σύννεφα που μειώνουν τη UV-B ακτινοβολία μέχρι και 90 %, το γεωγραφικό πλάτος και η απορρόφηση από το έδαφος. Εάν το έδαφος καλύπτεται από χιόνι ή πάγο η απορρόφηση είναι χαμηλή. Τα φυτά που βρίσκονται σε τροπικές περιοχές δέχονται υψηλή UV-B ακτινοβολία. Τα φυτά που προέρχονται από περιοχές με υψηλή UV-B ακτινοβολία είναι περισσότερο ανεκτικά απέναντι στην αυξημένη UV-B ακτινοβολία (Robberecht and Caldwell, 1986, Ziska et al., 1992). Η ρύπανση όπως η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος, λόγω του διοξειδίου του αζώτου και του διοξειδίου του θείου έχει λιγότερη επίδραση από το στρατοσφαιρικό όζον στην απορρόφηση της UV-B ακτινοβολίας λόγω των χαμηλών συγκεντρώσεων. (Caldwell, 1997).

1.3 Οι επιπτώσεις στα οικοσυστήματα από την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος.

Όπως αναφέρθηκε, η μείωση της στιβάδας του όζοντος έχει ως συνέπεια να φτάνει στη γη αφιλόρηστη η ηλιακή ακτινοβολία. Οι επιπτώσεις της υπερϊώδους ακτινοβολίας στους οργανισμούς-φυτικούς και ζωικούς – είναι ολέθριες. Τα περισσότερα φυτά είναι ευαίσθητα στην υπερϊώδη ακτινοβολία. Είναι πιθανόν να παρατηρηθεί μείωση στην παραγωγή βιομάζας, μέχρι και νέκρωση των φυτών. Στον άνθρωπο μπορεί να προκληθούν αλλεργικές αντιδράσεις, γήρανση του δέρματος, καρκίνοι του δέρματος, παθήσεις ματιών κ.α. (www.Elinyae.gr/perivallon/BAME).

Σοβαρές είναι οι επιπτώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο λόγω της α) αλλαγής στο κλίμα (καθώς το όζον λειτουργεί ως δεξαμενή θερμικής ενέργειας, και επομένως επηρεάζει την θερμοκρασία της στρατόσφαιρας και της τροπόσφαιρας), λόγω της β) αύξησης της υπερϊώδους ακτινοβολίας που φθάνει στη γη, προκαλείται αύξηση στη θερμοκρασία του εδάφους(www.Elinyae.gr/perivallon/BAME).

Ειδικότερα στο βαμβάκι η αυξημένη UV-B ακτινοβολία αλλοιώνει την αύξηση, την ανάπτυξη και την παραγωγή του (Song et al., 1999). Προκαλεί εγκαύματα στη φυλλική επιφάνεια (Mannig and Tiedeman, 1995), μειώνει τη φυλλική επιφάνεια, τη βιομάζα, τη φωτοσύνθεση και το ύψος διάφορων φυτών (όχι μόνο βαμβάκι) (Teramura and Sullivan, 1989, Teramura, 1993). Η μείωση της φυλλικής επιφάνειας προκαλείται από τη μείωση της κυτταροδιαίρεσης (Corlett, 1996). Η φυλλική επιφάνεια είναι ο ιστός απορρόφησης της UV-B (Bornmann and Teramura, 1993). Το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων σε αυξημένα επίπεδα UV-B είναι μικρότερο κι αυτό οφείλεται στον μικρότερο αριθμό κυττάρων ανα μεσογονάτιο κι όχι στο μέγεθος των κυττάρων. Ακόμη, η αυξημένη UV-B ακτινοβολία μειώνει την ποιότητα, τη χλωροφύλλη και αυξάνει την ευαισθησία στις ασθένειες πολλών φυτικών ειδών (Tevini and Teramura, 1989, Bornman, 1989, Sullivan and Dillenburg, 1991, Panagopoulos et al., 1992, Teramura, 1993), ενώ προκαλεί και φωτομορφογενετικές αλλαγές στα φυτά συχνότερα μάλιστα από ό,τι απώλειες παραγωγικότητας (Rozema et al., 1997).

Βέβαια η επίδραση της έκθεσης των φυτών διαφόρων ειδών σε υψηλά επίπεδα UV-B ακτινοβολίας διαφέρει ανάλογα με την ποικιλία (Biggs and Kossuth, 1981, Teramura and Murali, 1986). Αυτό συμβαίνει διότι η αντίδραση των φυτών στη UV-B ακτινοβολία εξαρτάται από τις μορφολογικές διαφορές της φυλλικής επιφάνειας των ποικιλιών, όπως η αύξηση της

πάχυνσης των φύλλων που αυξάνει τη διάχυση του φωτός στα ενεργά φωτοσυνθετικά μήκη κύματος (400-700 nm) (Barnes et al., 1996). Ο σχηματισμός κηρών στην εφυμενίδα ενισχύει την ικανότητα της αντανάκλασης του φύλλου και με τη σειρά του μειώνει τη διείσδυση της ενεργού φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (PAR.) και κατά συνέπεια μειώνει τη UV-B ακτινοβολία (Teramura, 1983). Επίσης, οι διαφορές στη συγκέντρωση των συστατικών που έχουν οι διάφορες ποικιλίες φυτικών ειδών προσδίδουν σ' αυτές διαφορετική ευαισθησία στην επίδραση της UV-B, την οποία απορροφούν μέσω της φυλλικής επιφάνειας (Muralli and Teramura, 1986).

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι πολλά στοιχεία σχετικά με τους μηχανισμούς ανεκτικότητας των φυτών στη UV-B ακτινοβολία παραμένουν άγνωστα. Για την καλύτερη κατανόηση των μερικών γνωστών στοιχείων των μηχανισμών ανεκτικότητας στη UV-B ακτινοβολία είναι αναγκαίο να μελετηθεί η πορεία ανάπτυξης των φυτών, οι φυσιολογικές αντιδράσεις των φυτών και τέλος να ελεγχθεί η γενετική βάση των φυτών. Π.χ. η μειωμένη έκταση της φυλλικής επιφάνειας λειτουργεί ως προστατευτικό μέτρο αν και αυτό οδηγεί σε μείωση της φωτοσύνθεσης.

1.4 Παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την ευαισθησία των φυτών στην ακτινοβολία.

Η ευαισθησία των φυτών στη UV-B ακτινοβολία ποικίλει όπως προαναφέρθηκε, ανάμεσα στα διάφορα φυτικά είδη και επηρεάζεται από τους εξής περιβαλλοντικούς παράγοντες: από την υδατική κατάσταση, από την ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που περιέχουν τα φυτά και από την ενεργό φωτοσυνθετική ακτινοβολία (PAR) (Murali and Teramura, 1985, Balakumar et al., 1993, Mark and Tevini, 1996). Η αυξημένη PAR μειώνει τις αρνητικές επιδράσεις της UV-B ακτινοβολίας στη φωτοσύνθεση, στη φυλλική επιφάνεια, στο ύψος των φυτών και στη χλωροφύλλη (Barnes et al., 1990). Ο προσανατολισμός των φύλλων παίζει σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση της UV-B ακτινοβολίας. Έτσι φύλλα που είναι κοντά και κάθετα ως προς το έδαφος δέχονται λιγότερη UV-B ακτινοβολία απ' ό,τι φύλλα με οριζόντιο προσανατολισμό. Το βαμβάκι ως δικοτυλήδονο φυτό έχει μεγάλα και οριζόντια φύλλα (Basiouny et al., 1978). Οι παγκόσμιες ατμοσφαιρικές αλλαγές που συνδέονται με αυξημένα ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και UV-B ακτινοβολίας τείνουν να μειώσουν τη στοματική αγωγιμότητα των φυτών και επομένως να περιορίσουν τις επιπτώσεις της UV-B (Sullivan, 1997).

1.5 Οι επιδράσεις της UV-B ακτινοβολίας στη φυσιολογία του φυτού.

A) Οι επιπτώσεις της UV-B στο φωτοσύστημα II και στη Rubisco.

Αποτελέσματα της επίδρασης της UV-B ακτινοβολίας στα φυτά είναι η παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης, η μείωση των πρωτεϊνών και η αυξημένη οξειδωτική καταπόνηση (Van et al., 1976, Jordan et al., 1992, Stapleton, 1992, Sullivan, 1997). Οι Nogues και Baker το 1998 μελέτησαν τους μηχανισμούς της επίδρασης της UV-B πάνω στη φωτοσύνθεση και κατέληξαν στην προϋπάρχουσα άποψη ότι η UV-B ακτινοβολία επιδρά δυσμενώς στην αντίδραση της φωτοφωσφορλίωσης της θυλακοειδούς μεμβράνης του φωτοσυστήματος II (PSII) και στην αντίδραση δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στον κύκλο του Calvin. Η αφομοίωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στα φύλλα που εκτίθενται στα αυξημένα επίπεδα της UV-B ακτινοβολίας περιορίζεται ακόμη από την μείωση της δραστηριότητας της Rubisco και της στοματικής αγωγιμότητας (Jordan, 1992). Έχει αποδειχθεί από πολλές φυσιολογικές και βιοχημικές μελέτες που έγιναν ότι η αυξημένη UV-B ακτινοβολία παρεμποδίζει την αφομοίωση του διοξειδίου του άνθρακα στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των φυτών. Το διοξείδιο του άνθρακα εκτός από δομικό συστατικό για τη φωτοσύνθεση είναι και ένας σημαντικός αναστολέας της οξυγονωτικής δράσης της καρβοξυλάσης της 1,5 δι-φωσφορικής ριβουλόζης (Rubisco) στα C₃ φυτά, όταν υπάρχει σε αυξημένο ποσοστό. Επιπλέον, αυξάνει τη φωτοσυνθετική ικανότητα κι έτσι αυξάνεται η απόδοση σε βιομάζα και μειώνεται η φωτοαναπνοή στην οποία δεσμεύεται το οξυγόνο και εκλύεται το διοξείδιο του άνθρακα.

Η UV-B ακτινοβολία καταστρέφει το φωτοσύστημα II (PSII) και τα συστατικά που συμμετέχουν στην καρβοξυλίωση κι έτσι μειώνει τη φωτοσυνθετική ικανότητα (Ryel, 1990, Frisco, 1994). Το PSII είναι το πιο ευαίσθητο τμήμα της θυλακοειδούς μεμβράνης στην αυξημένη UV-B ακτινοβολία και αποτελείται από 20 πρωτεΐνες (Noorudeen and Kulandaivelu, 1982, Kramer et al., 1992). Η αύξηση της UV-B ακτινοβολίας επιφέρει ζημιά στα κέντρα αντίδρασης του PSII (Renger, 1989). Το κέντρο αντίδρασης του PSII αποτελείται από την 32kDa πρωτεΐνη (D1), την D2 πρωτεΐνη, το κυτόχρωμα b559, τις φαιοφυτίνες και τις κινόνες (Marder, 1987). Οι μεγαλύτερες πρωτεΐνες στο PSII είναι η D1 και η D2 που δεσμεύουν ένα μόριο της χλωροφύλλης α και όταν διεγείρονται μεταφέρουν ένα ηλεκτρόνιο στη φαιοφυτίνη. Πολλές φορές όμως συμβαίνει μείωση της μεταφοράς ηλεκτρονίων οπότε παρεμποδίζεται ο κύκλος του Calvin και υποβαθμίζεται η πρωτεΐνη D1 με επακόλουθο τη

φωτοαδρανοποίηση του κέντρου αντίδρασης του PSII (Baker, and Bowyer 1994, Styring and Jegershold, 1994, Telfer and Barder, 1994). Η ζημιά λοιπόν εμφανίζεται μόνο μετά από την παρεμπόδιση της αφομοίωσης του διοξειδίου του άνθρακα. Αποκατάσταση της ζημιάς γίνεται με τη βιοσύνθεση νέων ενζύμων που ενεργοποιούν την παραγωγή του PSII (Jordan, 1991). Λόγω της αυξημένης UV-B ακτινοβολίας έχουμε τη μετουσίωση των πρωτεϊνών που εκδηλώνεται με το σπάσιμο των ασθενών δεσμών οι οποίοι καθορίζουν την τρισδιάστατη δομή των πρωτεϊνικών μορίων. Έτσι η βιολογική δράση της πρωτεΐνης χάνεται και οι φυσικοχημικές και χημικές ιδιότητες των πρωτεϊνών αλλάζουν ριζικά. Οι μειωμένοι ρυθμοί απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα, η μειωμένη φυλλική επιφάνεια και η μείωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών υποδηλώνουν μειωμένη ικανότητα φωτοσύνθεσης (Bornman, 1989).

Βιοχημικές μελέτες έχουν δείξει ότι η καταστροφή μιας σειράς διαλυτών ενζύμων στους χλωροπλάστες (Bornman, 1989) και η μείωση στο RNA, στην ενζυμική δραστηριότητα και στα πρωτεϊνικά επίπεδα διάφορων βασικών φωτοσυνθετικών πρωτεϊνών οφείλεται στην αυξημένη UV-B ακτινοβολία (Jordan et al., 1991,1992). Έχει βρεθεί επίσης ότι η UV-B ακτινοβολία έχει τοξική δράση στην RNA πολυμεράση κι ότι η δραστηριότητα της Rubisco που είναι το ένζυμο καρβοξυλίωσης μειώνεται λόγω μειωμένων επιπέδων mRNA και λόγω της μείωσης των ενζυμικών δραστηριοτήτων στον κύκλο του Calvin με την αύξηση της ροής της UV-B ακτινοβολίας (Vu, 1982, Jordan, 1992).

Επιπλέον έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες αλληλεπίδρασης της UV-B ακτινοβολίας με άλλες περιβαλλοντικές μεταβλητές όπως το αυξημένο διοξείδιο του άνθρακα και η θερμοκρασία. Οσον αφορά την αλληλεπίδραση της UV-B ακτινοβολίας με το διοξείδιο του άνθρακα παρατηρήθηκε ότι η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα αύξανε τη φωτοσύνθεση ακόμη και κάτω από υψηλή UV-B ακτινοβολία. Αυτό σημαίνει ότι η αυξημένη UV-B ακτινοβολία επηρεάζει ελάχιστα τη φωτοσύνθεση των φυτών σε υψηλά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα (Zhao et al., 2003). Άλλη έρευνα (Adams and Britz, 1992, Rozema, 1997) απέδειξε ότι ο διπλασιασμός του διοξειδίου του άνθρακα συμβάλλει στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών που εκτίθενται στη UV-B ακτινοβολία. Μια άλλη μελέτη ήταν αυτή της αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας UV-B και της θερμοκρασίας στη φυσιολογία, την ανάπτυξη, την εξέλιξη και την υπερφασματική ανάκλαση φύλλου του βαμβακιού. Από τις διάφορες διαδικασίες αύξησης και ανάπτυξης, η διατήρηση οφθαλμών και καρυδιών ήταν περισσότερο ευαίσθητες στη θερμοκρασία και την ακτινοβολία UV-B.

Θετικές αλληλεπιδράσεις βρέθηκαν στα γόνατα του κύριου βλαστού, στη συνολική επιφάνεια φύλλων, και στις συνολικές θέσεις καρποφορίας. Η φωτοσύνθεση φύλλων αυξήθηκε με την αύξηση στη θερμοκρασία, αλλά μειώθηκε μόνο από την ακραία ακτινοβολία UV-B στην υψηλή θερμοκρασία. Η ακτινοβολία UV-B μείωσε την ανάκλαση στην μπλε περιοχή του φάσματος λόγω της παρουσίας των απορροφητικών ουσιών της UV-B. Η αλληλεπίδραση μεταξύ της θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας UV-B προκάλεσε σοβαρή απώλεια καρυδίων. Επομένως, στα τωρινά και μελλοντικά περιβάλλοντα, σοβαρές απώλειες παραγωγής θα εμφανίζονται με παρουσία της υψηλής θερμοκρασίας και της UV-B ακτινοβολίας. Μελλοντικές μελέτες απαιτούνται για να γίνουν κατανοητοί οι υπεύθυνοι μηχανισμοί για την πτώση των οφθαλμών και των καρυδίων υπό αυτές τις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Κλείνοντας πρέπει να επισημανθεί ότι η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να στραφεί στον προσδιορισμό και τη χρησιμοποίηση ανεκτικών ποικιλιών στην υψηλή θερμοκρασία και UV-B, οι οποίες θα ήταν ευεργετικές για τα παρόντα και μελλοντικά κλίματα (www.phot.allenpress.com/pdfserv/10.1562%2F2003-11-19-RA-010).

B) Οι επιπτώσεις της UV-B στα ένζυμα και στο DNA.

Η δράση του ενζύμου K-ATPάση παρεμποδίζεται από την αυξημένη UV-B ακτινοβολία. Όμως και χαμηλά επίπεδα UV-B ακτινοβολίας ($0,06 \text{ Watt/m}^2$) επηρεάζουν την αλληλοδραστηριοποίηση των ATP-ασών ενζύμων (Drincovich, 1998). Είναι πολύ πιθανό η UV-B ακτινοβολία να ρυθμίζει τα ένζυμα που είναι κλειδιά για τη φωτοσύνθεση στα φυτά. Αυτό φαίνεται κι απ'το γεγονός ότι σε χαμηλά επίπεδα λευκού φωτός με χαμηλή ένταση UV-B ακτινοβολίας αυξήθηκε θεαματικά η δράση του συνενζύμου NADP⁺ (Edwards and Andreo, 1998). Παρατηρήθηκε ακόμη ότι η χαμηλή ένταση UV-B ακτινοβολίας ($0,06 \text{ Watt/m}^2$) αύξησε τη δράση του NADP⁺ κατά 50% στα φυτά σε αντίθεση με τη συμπληρωματική UV-A ακτινοβολία που δεν προκάλεσε καμία αύξηση στη δράση του (Drincovich et al., 1998). Όταν αυξάνεται η δραστηριότητα του ισομερούς συνενζύμου NADP⁺ αυξάνεται η παραγωγή του πυρουβικού οξέος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις διαδικασίες αποκατάστασης των φυτικών κυττάρων και ως βάση για τη σύνθεση των λιπαρών οξέων (Casati, 1997).

Επιπλέον έχει βρεθεί ότι η υπεριώδης UV-B ακτινοβολία προκαλεί το σχηματισμό σωματιδίων κυκλοβουτυλικής πυριμιδίνης στο DNA (Mitchell, 1989). Η UV-B ακτινοβολία βλάπτει το μοριακό επίπεδο του DNA και στο σχηματισμό του DNA, όταν η ποσότητά της είναι αυξημένη αλλά και όταν η ποσότητά της είναι χαμηλή κι ο χρόνος έκθεσης των φυτών μεγάλος (Strid, 1994). Ειδικότερα, με την επίδραση της UV-B ακτινοβολίας σχηματίζονται ισχυροί ομοιοπολικοί δεσμοί μεταξύ δύο διαδοχικών πυριμιδινικών βάσεων της ίδιας αλυσίδας. Με τη δημιουργία αυτού του ζευγαριού έχουμε το σπάσιμο των ασθενών δεσμών με τις συμπληρωματικές βάσεις της άλλης αλυσίδας οπότε και τη διατάραξη της οργάνωσης στο χώρο του διπλού έλικα. Γενικά η ζημιά της UV-B ακτινοβολίας στο DNA είναι η αποκοπή των νουκλεοτιδίων. Το ένζυμο DNA-φωτολυάση (DNA Photolyase) καταλύει τη διεργασία της αποκατάστασης της ζημιάς στο DNA (Batschauser, 1993, Sancar, 1994) και απορροφά τη UV-B και τη μπλε ακτινοβολία και παρέχει ενέργεια για την κατάλυση αυτής της διεργασίας. Εκτός από τις φωτολυάσες και τα γονίδια Rad51 συμβάλλουν στην αποκατάσταση ζημιάς του DNA και στη φωτοενεργοποίηση (Sancar, 1994). Το σπάσιμο της αλυσίδας του DNA που προκαλεί η επίδραση της UV-B ακτινοβολίας επιφέρει γενετικές αλλαγές όπως το διαχωρισμό των χρωμοσωμάτων (McLennan, 1987). Στο μόριο του DNA δηλαδή, σπάζουν οι διπλοί και διάφοροι άλλοι δεσμοί υδρογόνου, όπως είναι ο διπλός δεσμός της αδενίνης με τη θυμίνη κι ο τριπλός της γουανίνης με την κυτοσίνη. Η βλάβη αυτή στο DNA έχει μερίδιο ευθύνης για την αλλοίωση της αναπαραγωγικής απόδοσης των ενήλικων φυτών στα ετήσια κυρίως είδη (Davies, 1995).

Γ) Οι επιπτώσεις της UV-B στη φυλλική μεμβράνη.

Η δομή και η λειτουργία της φυλλικής μεμβράνης αλλοιώνεται από την αυξημένη UV-B ακτινοβολία. Η αυξημένη UV-B αυξάνει τη δράση των υπεροξειδομένων λιπιδίων (Wright, 1981) και η αύξηση αυτή μειώνει την αντίσταση της φυλλικής επιφάνειας (Doughty and Hope, 1973). Επίσης, τα συστατικά των φυτικών μεμβρανών καταστρέφονται από την αυξημένη UV-B ακτινοβολία, όπως για παράδειγμα η καταστροφή των δομικών λιπιδίων της φυλλικής μεμβράνης. Από την δράση της UV-B έχουμε παραγωγή O₂ και H₂O₂ κι έτσι αυξάνει η υπεροξειδωτική δραστηριότητα (SOD) και η υπεροξειδωση των λιπιδίων της μεμβράνης. Επακόλουθο των αλλαγών αυτών είναι οι αλλοιώσεις στη δομή της φυλλικής μεμβράνης με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της διαπερατότητας της μεμβράνης (Murphy, 1990, Yanqun and Chen, 2003). Η ζημιά αυτή στις φωτοσυνθετικές

μεμβράνες του φύλλου από την αυξημένη UV-B παρατηρήθηκε μόνο σε φυτά που εκτίθονταν στη UV-B για 6 ώρες τη μέρα για τέσσερις συνεχόμενες μέρες (Li, 2000). Δεν είναι όμως ακόμη γνωστό αν η βλάβη που προκαλεί η UV-B ακτινοβολία στις φυλλικές μεμβράνες είναι υπεύθυνη για το θάνατο των κύτταρων.

Άλλες έρευνες έχουν αποδείξει ότι η UV-B μειώνει τη βιωσιμότητα της γύρης των ανθέων και προκαλεί στα φυτά γενετικές βλάβες (Musil, 1995). Ένα χρόνο αργότερα διαπιστώθηκε ότι η γενετική βλάβη που προκαλείται σ' ένα φυτικό είδος από την αυξημένη UV-B είναι κληρονομίσιμη και επομένως συσσωρεύεται στο γενετικό υλικό (Musil, 1996).

1.6 Οι μηχανισμοί προστασίας των φυτών απέναντι στη UV-B ακτινοβολία.

Τα φυτά λόγω της έκθεσής τους στην αυξημένη UV-B αναγκάστηκαν ν' αναπτύξουν μηχανισμούς προστασίας απέναντί της. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι οι χρωστικές ουσίες, κυρίως τα φλαβονοειδή, τα οποία απορροφούν τη UV-B ακτινοβολία και οι κυροί της εφουμενίδας (Robberecht and Caldwell, 1998). Άλλες χρωστικές όπως οι ανθοκυάνες είναι χρήσιμες για την κανονική ανάπτυξη των φυτών και για την προστασία των κυτταρικών μακρομορίων. Δεν είναι όμως όλες οι χρωστικές αποτελεσματικές στην απορρόφηση της UV-B κι ακόμη κάποια φυτικά είδη ή γενότυποι φυτών σε συνθήκες υψηλής UV-B αντιδρούν διαφορετικά όσον αφορά τους μηχανισμούς αυτοάμυνάς τους. Δηλαδή κάποιοι μηχανισμοί σε κάποια είδη είναι αποτελεσματικοί απ'ότι κάποιοι άλλοι άλλων ειδών.

Τα φλαβονοειδή είναι άχρωμες χρωστικές, υδατοδιαλυτές με φάσμα απορρόφησης το φάσμα της UV-B που είναι τα 280-320nm (Kootsra, 1994). Γι'αυτό και συμβάλλουν στη μείωση της βλάβης που προκαλούν στο φυτό οι ζημιογόνες UV-B ακτινοβολίες και συγχρόνως μεταφέρουν τη φωτοσυνθετική ενεργή ακτινοβολία στο μεσόφυλλο του φύλλου όπου γίνεται η φωτοσύνθεση. Επιδίωξη λοιπόν των βελτιωτών σήμερα είναι να δημιουργήσουν ποικιλίες που θα περιέχουν αυξημένα φλαβονοειδή ή άλλες πολυφαινολικές ενώσεις (Lois, 1994). Έχει βρεθεί ότι πολύ ευαίσθητοι στη UV-B ακτινοβολία είναι οι καταλύτες (ένζυμα) των πρώτων σταδίων βιοσύνθεσης των φλαβονοειδών όπως η συνθάση της χαλκόνης και τα ισομερή της χαλκόνης (Li et al., 1993, Stapleton, and Walbot, 1994). Για παράδειγμα η διατάραξη του δευτερεύοντος μεταβολισμού στην περιοχή της ισομεράσης της χαλκόνης μείωσε την κανονική ανάπτυξη των φυτικών ειδών (Fiscus and Booker, 1995). Ως δευτερεύοντα μεταβολισμό εννοούμε



όλες τις αντιδράσεις οι οποίες δίνουν διάφορες ουσίες των οποίων ο βιολογικός κύκλος δεν είναι απόλυτα ξεκάθαρος και δεν σχετίζεται με το μεταβολισμό της ενέργειας. Τέτοιες ουσίες είναι οι χρωστικές, τα αλκαλοειδή κ.α. Καλούνται δευτερογενείς μεταβολίτες και στους πολυκύτταρους οργανισμούς παράγονται σε ειδικά όργανα, σε ιστούς ή σε κύτταρα όπου απαντούν και τα απαραίτητα ένζυμα για ορισμένες περιόδους φυτικής ανάπτυξης ή για τα στάδια διαφοροποίησης των φυτών.

Τα φλαβονοειδή και τα ένζυμα που καταλύουν τη βιοσύνθεσή τους (συνθάση και ισομερή της χαλκόνης) παράγονται κατά τη φενυλοπροπανοϊδική διαδρομή. Η υψηλή ένταση της UV-B ακτινοβολίας κι άλλοι παράγοντες όπως η βλάβη των φυτικών ιστών και οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες διεγείρουν αρνητικά το ένζυμο φενυλανίνη αμμωνιλυάση (PAL) (Takeda et al., 1994), του οποίου ο μηχανισμός εισαγωγής δεν είναι ακόμη γνωστός, αλλά υπάρχει η άποψη ότι το φυτόχρωμα είναι ο φωτοαποδέκτης του και βοηθά και στην ενεργοποίησή του (Dangl et al., 1989). Η φενυλανίνη αμμωνιλυάση (PAL) και η συνθάση της χαλκόνης (CHS) είναι βασικά ρυθμιστικά ένζυμα για τη φενυλοπροπανοϊδική και τη φλαβονοειδή διαδρομή. Η φενυλανίνη αμμωνιλυάση επηρεάζεται από το φως και απορροφάται από το φυτόχρωμα, από τους UV-A φωτοαποδέκτες, τους μπλε φωτοαποδέκτες, από τους μεταβολίτες και από τους ρυθμιστές αύξησης των φυτών. Τα φλαβονοειδή ενεργοποιούνται από τη στιγμή που τα φυτά θα εκτεθούν στη UV-B ακτινοβολία. Βρίσκονται στα επιδερμικά κύτταρα της φυλλικής επιφάνειας και με τη δράση τους ελαττώνονται οι ζημιές από τη UV-B στο μεσόφυλλο.

Τα φυτά για να προστατευτούν από τις βλαβερές γι'αυτά συνέπειες στο DNA από την έκθεση στη UV-B ακτινοβολία έχουν αναπτύξει μηχανισμούς προστασίας. Βιοχημικές διεργασίες στα φυτικά κύτταρα αποκαθιστούν τις ζημιές στο DNA και επιφέρουν σταθερότητα. Οι κύριες διεργασίες αποκατάστασης των ζημιών είναι η αποκοπή των νουκλεοτιδίων (NER) και η αποκοπή των βάσεων (BER). Κατά την αποκοπή των βάσεων σπάει ο δεσμός που ενώνει τη βάση με το σάκχαρο από την υδρόλυση του N-γλυκοσυλικού δεσμού. Μ'αυτή τη διεργασία προστατεύεται το κύτταρο από τ'αποτελέσματα της ζημιάς του DNA και το DNA αποκτά μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη UV-B κι έτσι η φθορά του απ'αυτή είναι μικρότερη ή και αμελητέα (Talpaert -BORLE AND LIOUZZI, 1982).

Ένας άλλος παράγοντας και μάλιστα περιβαλλοντικός, ο οποίος μειώνει τις επιβλαβείς επιδράσεις της UV-B ακτινοβολίας στα φυτικά είδη είναι η ξηρασία. UV-B ακτινοβολία και ξηρασία αλληλεπιδρούν στη φυσιολογία του φυτού, προκαλώντας μια οξειδωτική

έκρηξη (Alexieva, 2001). Ακόμη, η δράση των αντιοξειδωτικών ενζύμων μειώνεται από παρατεταμένη ξηρασία (Teramura, 1983). Η ξηρασία μειώνει την απορρόφηση της UV-B ακτινοβολίας στα φύλλα κι αυτό οφείλεται στη μείωση του ύψους των φυτών και της ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας που συνεπάγεται μικρότερες στοματικές κινήσεις στα φύλλα (Hsiao, 1973). Επιπλέον, βρέθηκε ότι σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες ξηρασίας και έκθεσης σε UV-B ακτινοβολία η αδρανοποίηση του φωτοσυστήματος II και η μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών ήταν μικρότερη σε σύγκριση με φυτά που εκτέθηκαν μόνο στη UV-B ακτινοβολία (Petrooulos, 1995).

Ειδικότερα στο βαμβάκι σημαντική παρατήρηση στη μελέτη των μηχανισμών προστασίας του από τις βλαβερές επιδράσεις της UV-B ήταν η αύξηση της ποσότητας του ενζύμου προλίνη στα νεαρά στάδια ανάπτυξης του κάτω από συνθήκες γήρανσης (Heuer, 1994). Η προλίνη έχει την ικανότητα να ασκεί προστατευτική δράση απέναντι στην επίδραση της UV-B, καθώς συμμετέχει στη διαδικασία εξομάλυνσης της κυτοσιλικής οξείδωσης, που είναι μια από τις επιπτώσεις της επίδρασης της UV-B (Kurkdjan and Guern, 1989). Τέλος, έρευνα για το αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μπορεί να συμβάλει στην προστασία των φυτών από την αυξημένη UV-B έδειξε ότι αύξηση της θερμοκρασίας από 28°C σε 32°C μπορεί να βελτιώσει τα αρνητικά αποτελέσματα της UV-B ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών, στη φυλλική επιφάνεια, στη χλωροφύλλη, στο υδατικό δυναμικό και στη φωτοσύνθεση (Tevini and Teramura, 1989, Teramura, 1991 and Takeuchi, 1993).

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Φαίνεται από τα παραπάνω ότι η UV-B ακτινοβολία επιφέρει σημαντικές βλάβες στα φυτά κι επομένως και στο βαμβάκι. Είναι περιορισμένος ο αριθμός των ερευνητικών εργασιών που σχετίζονται με τις επιπτώσεις της UV-B σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας και ειδικότερα εκείνα που είναι υψηλής προτεραιότητας για την ελληνική γεωργία, όπως το βαμβάκι κι ο καπνός. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η επισήμανση και η μελέτη των επιδράσεων της UV-B ακτινοβολίας στη μορφολογία και στη φυσιολογία διάφορων ποικιλιών βαμβακιού κατά το νεαρό τους στάδιο ανάπτυξης. Μελετήθηκε ειδικότερα η επίδραση της UV-B ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών, στη χλωροφύλλη, στο υδατικό δυναμικό και στη φυλλική επιφάνεια (LA).

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Θάλαμοι ανάπτυξης

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε ειδικούς θαλάμους ελεγχόμενου φωτισμού που βρίσκονται στους χώρους του Εργαστηρίου της Γεωργίας του Πανεπιστήμιου της Θεσσαλίας μεταξύ Ιουνίου και Αυγούστου 2003. Χρησιμοποιήθηκαν δύο θάλαμοι όπου αναπτύσσονται τα φυτά που εκτέθηκαν στη UV-B και τα φυτά μάρτυρες διαστάσεων: 2,3 m ύψος, 1,8 m μήκος και 1,5 m πλάτος έκαστος. Στο θάλαμο της UV-B τοποθετήθηκε σε ύψος 167 cm πάνω από τα φυτά μια λάμπα UV-B ακτινοβολίας 40Watt /12 RS UV-B (Philips TL, Holland) και μια λάμπα φωτοσύνθεσης ώστε να προσεγγίζει τις συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος. Η ένταση της UV-B ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τους λαμπτήρες ήταν 0.13 Watt/m^2 . Η ένταση της ενέργειας της UV-B ελέγχθηκε από ειδικό αισθητήρα της εταιρείας Skye (Data Hog 2) (Instruments L.t.d, Units 5/6 Dole industrial Estate. Landrindon wells, Powys LD16DF). Στο θάλαμο που αναπτύσσονται τα φυτά μάρτυρες τοποθετήθηκε μια λάμπα φθορισμού (Osram L 36 Watt /84, Germany) και μια λάμπα φωτοσύνθεσης σε ύψος 167 cm από τα φυτά καθώς και ένα φίλτρο προστασίας από τη UV-B που είναι διάφανο από πλαστική μεμβράνη της εταιρείας Πλαστικά Κρήτης (Ηράκλειο). Το φίλτρο αυτό προστασίας απορροφά τη UV-B ακτινοβολία και αποτρέπει τη διείσδυση της στα φυτά.

Η ελάχιστη θερμοκρασία κυμάνθηκε από 18-28 °C και η μέγιστη θερμοκρασία κυμάνθηκε από 30-34 °C και η σχετική υγρασία από 25-53% κατά τη διάρκεια του πειράματος (28/6/03 - 30/8/03, Πίν. 3.1.1).

Πίνακας 3.1.1: Μεταβολές της ελάχιστης, της μέγιστης θερμοκρασίας (°C) και της σχετικής υγρασίας (%) σε θάλαμο ανάπτυξης κατά τη διάρκεια του πειράματος (28/6/03 – 29/8/03).

Ημερομηνία	Ελάχιστη θερμοκρασία °C	Μέγιστη θερμοκρασία °C	Υγρασία %
28/6/03	27,2	29,8	45
29/6/03	28,2	31,0	46
26/7/03	24,1	33,1	54
29/7/03	23,5	33,1	54
30/7/03	23,5	33,1	42
4/8/03	24,1	33,1	43
5/8/03	25,4	33,1	39
6/8/03	25,2	33,1	31
11/8/03	22,1	33,1	33
12/8/03	22,1	25,9	37
13/8/03	25,6	30,5	42
14/8/03	22,7	31,9	46
20/8/03	23,6	31,4	50
21/8/03	23,7	30,5	54
22/8/03	23,7	31,4	54
25/8/03	23,7	31,3	53
26/8/03	23,7	31,4	49
29/8/03	23,7	32,5	50

3.2 Φυτικό υλικό και συνθήκες ανάπτυξης.

Οι ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν στο βαμβάκι (*Gossypium hirsutum* L.) ήταν Midas, Millenium, Sandra, Carmen.

Στις 28 Ιουνίου του 2003 έγινε σπορά των φυτών σε ειδικά μαύρα ημίσκληρα τελάρα σαράντα θέσεων διαστάσεων 51 X 51 X 60 που περιείχαν υπόστρωμα 10:1 αναλογία τύρφη/περλίτη. Το φύτεμα των σπορών πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις περίπου ημέρες από την ημέρα σποράς. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία ημέρας κατά την διάρκεια φυτρώματος ήταν 25 °C, η μέση μέγιστη ήταν 32 °C, και η μέση σχετική υγρασία ήταν 44%. Η άρδευση γινόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να διατηρούνται τα φυτά σε ικανοποιητική υδατική κατάσταση.

Στο στάδιο των δύο πραγματικών φύλλων σαράντα ομοιόμορφα φυτά από κάθε ποικιλία τοποθετήθηκαν στον πρώτο θάλαμο και εκτέθηκαν σε τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα στη UV-B ακτινοβολία (δύο, τέσσερις και έξι ώρες) για τέσσερις διαδοχικές ημέρες. Το χρονικό διάστημα που έγινε η έκθεση στη UV-B ήταν 12:00 - 14:00 ώρα, για το χρονικό διάστημα των δύο ωρών, 12:00 - 16:00 ώρα, για το χρονικό διάστημα των τεσσάρων και 12:00 έως 18:00 ώρα για το χρονικό διάστημα των 6 ωρών. Επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα διαστήματα της ημέρας διότι συμπίπτουν με τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα που παρατηρείται ανάλογη έκθεση UV-B ακτινοβολίας στο περιβάλλον (Barnes, 1996). Τα φυτά-μάρτυρες τοποθετήθηκαν στο δεύτερο θάλαμο ανάπτυξης και για τα ίδια χρονικά διαστήματα με τα φυτά που εκτέθηκαν στη UV-B.

3.3 Μετρήσεις - Παρατηρήσεις.

Σε δέκα αντιπροσωπευτικά φυτά που βρισκόταν στο στάδιο των δύο πραγματικών φύλλων αμέσως μετά από την έκθεση των τριών διαφορετικών χρονικών διαστημάτων έκθεσης στη UV-B ακτινοβολία (δύο, τέσσερις και έξι ώρες) για τέσσερις διαδοχικές ημέρες μετρήθηκε η συγκέντρωση της χλωροφύλλης, το υδατικό δυναμικό και η φυλλική επιφάνεια τους. Για τη μέτρηση της χλωροφύλλης χρησιμοποιήθηκε το χλωροφυλλόμετρο SPAD 502 της εταιρείας Minolta (LTD, Osaka, Japan). Βρέθηκε πως η μέτρηση του SPAD έχει απόλυτα θετική συσχέτιση με την περιεκτικότητα του φύλλου σε

χλωροφύλλη, επομένως η μέτρηση της χλωροφύλλης με αυτό είναι σχετικά αξιόπιστη (Sibley, 1996). Για τη μέτρηση του υδατικού δυναμικού χρησιμοποιήθηκε το όργανο SKRM 1400 της εταιρείας Skye (Instruments L.t.d, Units 5/6 Dole industrial Estate. Landrindon wells, Powys LDI 6DF). Για τη μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Li -3000A (LI COR, Inc. 4421 Superior Street Lincoln, Nebraska USA).

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε επαρκώς αρδευόμενα (άρδευση κάθε μέρα) φυτά βαμβακιού.

3.4 Στατιστική ανάλυση

Για την ανάλυση και τη μελέτη των αποτελεσμάτων των μετρήσεων έγινε ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) για δύο παράγοντες (UV-B, ποικιλία) για τα φυτά βαμβακιού. Η ανάλυση της παραλλακτικότητας έγινε για τον προσδιορισμό στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ των επιπέδων των μεταχειρίσεων που μελετήθηκαν. Επίσης, υπολογίστηκε και η ελάχιστη σημαντική διαφορά (Ε.Σ.Δ.) μεταξύ των μέσων όρων (Γαλανοπούλου -Σενδουκά, 2001).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Επιπτώσεις της UV-B στο ύψος.

Στον Πίνακα 4.1.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπτωσης της UV-B στο ύψος των επαρκώς αρδευόμενων φυτών βαμβακιού. Στον Πίνακα 4.1.2 δίνονται στοιχεία της στατιστικής ανάλυσης του ύψους όπως αυτό επηρεάστηκε από τους παράγοντες του πειράματος.

Η έκθεση στη UV-B ακτινοβολία μείωσε σε στατιστικώς σημαντικό βαθμό το ύψος των αρδευόμενων φυτών (Πίνακας 4.1.1). Στο χρονικό διάστημα των έξι, των τεσσάρων και των δύο ωρών στη UV-B ακτινοβολία η διαφορά του ύψους από τα φυτά μάρτυρες στην ποικιλία Carmen ήταν αντίστοιχα 1 cm, 0,6 cm και 0,3 cm, στην ποικιλία Midas ήταν 1,9 cm, 1,7 cm και 1 cm, στην ποικιλία Sandra ήταν 1,4 cm, 1 cm, 0,8 cm, στην ποικιλία Millenium ήταν 1,6 cm, 1,4 cm, 1 cm σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες (Πίνακας 4.1.1). Συνεπώς, ο ρυθμός αύξησης του ύψους των φυτών μειώνεται σημαντικά όταν αυξάνεται ο χρόνος έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία. Το ποσοστό μείωσης του ύψους από τη UV-B ήταν μικρότερο στην ποικιλία Carmen και μεγαλύτερο στην ποικιλία Midas.

Πίνακας 4.1.1: Μεσοί όροι μετρήσεων ύψους (cm) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά - μάρτυρες βαμβακιού.

ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ						
Ποικιλία	Μάρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μάρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μάρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Carmen	9,00	8,70	13,00	12,40	11,60	10,60
Midas	11,00	10,00	14,00	12,30	10,70	8,80
Sadra	13,60	12,80	10,70	9,70	11,60	10,20
Millenium	13,00	12,00	12,80	11,40	15,00	13,40
E.Σ.Δ(0.05)	0,24					

Πίνακας 4.1.3: Τιμές Βαθμοί ελευθερίας (B.E), του κριτηρίου F. της πιθανότητας σφάλματος (*P*), του συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) και της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Ε.Σ.Δ) για τις επιπτώσεις της διάρκειας έκθεσης, ποικιλίας και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, στο ύψος φυτών Βαμβακαίου.

ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	B.E	F	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ P	Ε.Σ.Δ(0,05)
Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	469	<0,001***	-
ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	2168	<0,001***	-
UV-BXΔ. ΕΚΘ.	2	18	<0,001***	0,14
UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	5	<0,001***	0,24
CV(%)	3,25			

4.2 Επιπτώσεις της UV-B στη χλωροφύλλη.

Στον Πίνακα 4.2.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπτωσης της UV-B στη χλωροφύλλη των επαρκώς αρδευόμενων φυτών βαμβακιού. Στον Πίνακα 4.2.2 δίνονται στοιχεία της στατιστικής ανάλυσης της χλωροφύλλης όπως αυτή επηρεάστηκε από τους παράγοντες του πειράματος.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της χλωροφύλλης των φυτών που παρουσιάζονται (Πίνακας 4.2.1) δείχνουν ότι η έκθεση στη UV-B μείωσε την περιεκτικότητά τους σε χλωροφύλλη. Μεταξύ των ποικιλιών βαμβακιού που δέχθηκαν τη UV-B ακτινοβολία, η ποικιλία Carmen παρουσίασε μείωση χλωροφύλλης στο χρονικό διάστημα των έξι, των τεσσάρων και των δύο ωρών στη UV-B κατά 7,9 Spad, 7,4 Spad και 6,1 Spad, στην ποικιλία Midas η μείωση ήταν αντίστοιχα 12,3 Spad, 11,6 Spad και 11,3 Spad, στην Sadra ήταν 9,6 Spad, 8,6 Spad και 6,2 Spad και στην Millenium η μείωση ήταν 11 Spad, 10,4 Spad και 9,9 Spad. Επομένως, με βάση τις μετρήσεις της χλωροφύλλης των προαναφερόμενων ποικιλιών βαμβακιού φαίνεται ότι, όπως και στην περίπτωση του ύψους φυτών, η ποικιλία Carmen επηρεάστηκε λιγότερο αρνητικά σε σχέση με τις υπόλοιπες ποικιλίες, ενώ ο Midas υπέστη τη μεγαλύτερη αρνητική επίδραση.

Πίνακας 4.2.1: Μεσοί όροι μετρήσεων χλωροφύλλης (spad) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά - μάρτυρες βαμβακιού.

ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ						
Ποικιλίες	Μαρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Carmen	44,60	38,50	47,80	40,40	48,20	40,30
Midas	43,00	31,70	38,20	26,60	43,00	30,70
Sadra	44,40	38,20	42,10	33,50	44,20	34,60
Millenium	43,40	33,50	44,40	34,00	41,30	30,30
Ε.Σ.Δ _(0,05)	3,74					

Πίνακας 4.2.2: Τιμές Βαθμών ελευθερίας (B.E), του κριτηρίου F, της πιθανότητας σφάλματος (P) του συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) και της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (E.Σ.Δ) για τις εππτώσεις της διάρκειας έκθεσης, ποικιλίας και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, στη χλωροφύλλη φυτών βαμβακιού.

ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	B.E	ΚΡΙΤΗΡΙΟ F	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ P	E.Σ.Δ (0,05)
Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	612	<0,001****	-
ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	303	<0,001****	-
UV-BΧΔ, ΕΚΘ.	2	197	<0,001****	0,72
UV-B χ ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	24	<0,001****	3,72
CV%			2,94	-

Υποσημείωση: ns= μη σημαντικό, *= σημαντικότητα για 5%, **= σημαντικότητα για 1%, ***= σημαντικότητα για 0,1%

4.3 Επιπτώσεις της UV-B στο υδατικό δυναμικό.

Στους Πίνακες 4.3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπτωσης της UV-B στο υδατικό δυναμικό των επαρκώς αρδευόμενων φυτών βαμβακιού. Στον Πίνακα 4.3.2 δίνονται στοιχεία της στατιστικής ανάλυσης του υδατικού δυναμικού όπως αυτό επηρεάστηκε από τους παράγοντες του πειράματος.

Στο χρονικό διάστημα των έξι, τεσσάρων και δυο ωρών έκθεσης στη UV-B το υδατικό δυναμικό στην ποικιλία Carmen μειώθηκε αντίστοιχα κατά 2,3 bar, 2 bar και 0,7 bar, στην ποικιλία Midas κατά 5,8 bar, 3,5 bar και 1,5 bar, στην Sadra κατά 2,6 bar, 2,1 bar και 1,1 bar και στην Millenium κατά 2,8 bar, 2,1 bar και 1,3 bar σε σύγκριση με τα αντίστοιχα φυτά μάρτυρες (Πίνακας 4.3.1). Συνεπώς, η αύξηση του χρόνου έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία φαίνεται ότι επηρέασε αρνητικά το υδατικό δυναμικό, όπως συνέβη και στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά του φυτού. Τα φυτά που είχαν δεχθεί τη UV-B ακτινοβολία για έξι ώρες είχαν σημαντικά χαμηλό υδατικό δυναμικό, ενώ υψηλό υδατικό δυναμικό είχαν τα φυτά που δέχθηκαν τη UV-B για δυο ώρες (Πίνακας 4.3.1).

Μεταξύ των ποικιλιών η ποικιλία Carmen εμφάνισε τη μικρότερη μείωση στο υδατικό δυναμικό και ο Midas τη μεγαλύτερη, όπως συνέβη και στα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν (ύψος, χλωροφύλλη).

Πίνακας 4.3.1: Μεσοί όροι μετρήσεων υδατικού δυναμικού (bar) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά - μάρτυρες βαμβακιού.

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ						
Ποικιλίες	Μαρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Carmen	8,7	8	8,5	6	7,4	5.1
Midas	7,5	6	10,9	7,4	10,7	4.9
Sadra	8,1	7	7,5	5,4	7,3	4,7
Millenium	8,6	7,3	8,4	6,3	10,4	7,6
E.Σ.Δ(0,05)	0,19					

Πίνακας 4.3.2: Τιμές Βαθμών ελευθερίας (B.E), του κριτηρίου F. της πιθανότητας σφάλματος (P) του συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) και της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (E.Σ.Δ) για τις επιπτώσεις της διάρκειας έκθεσης, ποικιλίας, και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, στο υδατικό δυναμικό φυτών βαμβακιού.

ΠΗΓΕΣ	B.E	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ	E.Σ.Δ(0,05)
ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		F	ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ P	
Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	3350	<0,001***	-
ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	596	<0,001***	-
UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	555	<0,001***	0.09
UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	212	<0,001***	0.19
CV(%)			3,25%	-

4.4 Επιπτώσεις της UV-B στη φυλλική επιφάνεια.

Στον Πίνακα 4.4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπτωσης της UV-B στη φυλλική επιφάνεια των επαρκώς αρδευόμενων φυτών βαμβακιού. Στον Πίνακα 4.4.2 δίνονται στοιχεία της στατιστικής ανάλυσης της φυλλικής επιφάνειας όπως αυτό επηρεάστηκε από τους παράγοντες του πειράματος.

Η έκθεση των φυτών στη UV-B και πάλι μείωσε τη φυλλική επιφάνεια σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες και ήταν ανάλογη με το χρόνο έκθεσης. Όταν ο χρόνος έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία ήταν έξι, τέσσερις και δύο ώρες η διαφορά στη φυλλική επιφάνεια απ' αυτή των φυτών-μαρτύρων στην ποικιλία Carmen ήταν 6,6 cm², 6 cm² και 3,4 cm², στην ποικιλία Midas ήταν 9,5 cm², 7,8 cm² και 6,4 cm², ενώ στις ποικιλίες Sadra και Millenium ήταν 7 cm², 6,2 cm², 5,5 cm² και 7,8 cm², 6,8 cm² και 6,3 cm² αντίστοιχα (Πίνακας 4.4.1). Επομένως, η ποικιλία Carmen και ως προς τη φυλλική επιφάνεια συμπεριφέρθηκε καλύτερα έναντι των άλλων ποικιλιών, όπως συνέβη και στα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν (ύψος, χλωροφύλλη, υδατικό δυναμικό).

Πίνακας 4.4.1: Μεσοί όροι μετρήσεων της φυλλικής επιφάνειας (cm²) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά - μάρτυρες βαμβακιού.

ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ						
Ποικιλίες	Μάρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	U-VB 4 ώρες	Μάρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Carmen	21,40	18,00	24,30	18,30	24,20	17,60
Midas	24,40	18,00	21,50	13,70	22,90	13,40
Sadra	24,80	19,30	24,20	18,00	25,20	18,20
Millenium	21,50	15,20	26,20	19,40	23,70	15,90
Ε.Σ.Δ(0,05)	0,18					

Πίνακας 4.4.2: Τιμές Βαθμών ελευθερίας (B.E), του κριτηρίου F. της πιθανότητας σφάλματος (P) του συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) και της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Ε.Σ.Δ) για τις επιπτώσεις της διάρκειας έκθεσης, ποικιλίας και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, στη φυλλική επιφάνεια φυτών βαμβακιού.

ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	B.E	ΚΡΙΤΗΡΙΟ F	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ P	Ε.Σ.Δ (0,05)
Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	4882	<0,001***	-
ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	2166	<0,001***	-
UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	1407	<0,001***	0,12
UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	1257	<0,001***	0,18
CV(%)	1,14			-

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Ύψος φυτών

Η UV-B ακτινοβολία επηρέασε αρνητικά το ύψος των φυτών βαμβακιού αναλόγως της διάρκειας έκθεσης. Η διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών προκάλεσε ποσοστό μείωσης μέχρι και 18 % σε μερικές περιπτώσεις. Μεταξύ των τεσσάρων ποικιλιών του βαμβακιού η μείωση του ύψους που προκλήθηκε από τη UV-B ήταν μικρότερη στην ποικιλία Carmen σε σχέση με τις Sadra, Millenium και Midas. Αντιθέτως η ποικιλία Midas παρουσίασε τη μεγαλύτερη μείωση στη UV-B ακτινοβολία δείχνοντας ότι υπάρχουν ποικιλιακές διαφορές ως προς την ανθεκτικότητα.

5.2 Περιεκτικότητα φύλλων σε χλωροφύλλη

Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο τέλος του πειράματος αμέσως μετά την έκθεση στη UV-B έδειξαν πως η UV-B προκάλεσε μείωση της περιεκτικότητας της χλωροφύλλης στα φύλλα των φυτών βαμβακιού που εξετάστηκαν η οποία συνήθως ήταν πιο έντονη όσο η διάρκεια έκθεσης ήταν μεγαλύτερη. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα της ερευνάς από τον Zhao και τους συνεργάτες του (2003). Η μείωση της χλωροφύλλης μάλλον οφειλόταν στην καταστροφή της δομής της χλωροφύλλης και στις σημαντικές βλάβες στους χλωροπλάστες που επέφερε η UV-B ακτινοβολία όπως αναφέρει ο Sakaki και οι συνεργάτες του (1983). Η μείωση της χλωροφύλλης που προκάλεσε η UV-B ακτινοβολία, πιθανόν είχε ως αποτέλεσμα και τη μείωση της φωτοσύνθεσης λόγω μείωσης των πρωτεϊνών Cab στη θυλακοειδή μεμβράνη (Jordan, 1991) και συμπίπτει με την συνήθη μείωση στη φυλλική επιφάνεια και το ύψος των φυτών όπως παρατηρήθηκαν στην παρούσα εργασία. Επίσης, τα αποτελέσματα των μετρήσεων της επίδρασης της UV-B στη χλωροφύλλη των φυτών βαμβακιού, έδειξαν ότι τα φυτά μάρτυρες της ποικιλίας Carmen είχαν μεγαλύτερη τιμή χλωροφύλλης (Μέσος όρος 46,9 Spad) έναντι των ποικιλιών Sadra, Millenium και Midas (Μέσος όρος 41 Spad, 44 Spad και 43 Spad, αντίστοιχα). Η μεγαλύτερη τιμή χλωροφύλλης στην ποικιλία Carmen πιθανόν να έδρασε προστατευτικά στη UV-B ακτινοβολία αφού αυτή η ποικιλία έδειξε συγκριτική ανθεκτικότητα στη UV-B ως προς τη μείωση της φυλλικής επιφάνειας σε σύγκριση με τις άλλες ποικιλίες βαμβακιού.

5.3 Υδατικό δυναμικό φυτών βαμβακιού.

Με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος βρέθηκε ότι η UV-B ακτινοβολία άσκησε έντονη αρνητική επίδραση στο υδατικό δυναμικό των φυτών με μείωση του υδατικού δυναμικού όσο αυξανόταν ο χρόνος έκθεσης των φυτών στην UV-B ακτινοβολία. Η μείωση αυτή ενδεχομένως οφειλόταν στην παρεμπόδιση της μεταφοράς του νερού από τα αγγεία της ρίζας προς τα φύλλα ή στο κλείσιμο των στοματίων που επέφερε η UV-B (Καράταγλης, 1992). Μεταξύ των τεσσάρων ποικιλιών βαμβακιού που δέχθηκαν τη UV-B η Carmen είχε υψηλότερο υδατικό δυναμικό έναντι των ποικιλιών Sadra, Millennium και Midas, ίσως λόγω της μικρής μείωσης του ρυθμού αύξησης του ύψους στην Carmen έναντι των άλλων ποικιλιών.

5.4 Φυλλική Επιφάνεια (LA) .

Όπως και στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του φυτού παρουσιάστηκε μείωση στη φυλλική επιφάνεια ανάλογη με την αύξηση του χρόνου έκθεσης των φυτών στην UV-B ακτινοβολία. Αυτή η μείωση της φυλλικής επιφάνειας που επέφερε η UV-B ακτινοβολία ενδεχομένως οφειλόταν στην παρεμπόδιση της κυτταροδιαίρεσης της φυλλικής επιφάνειας (Corlett, 1996). Μεταξύ των τεσσάρων ποικιλιών του βαμβακιού παρατηρήθηκε συγκριτική ανθεκτικότητα της ποικιλίας Carmen ως προς τη φυλλική επιφάνεια έναντι των ποικιλιών Sadra, Millennium και Midas ίσως λόγω της μικρής μείωσης του υδατικού δυναμικού, του ύψους και της χλωροφύλλης στην Carmen έναντι των άλλων ποικιλιών.

5.5 Ορατά συμπτώματα της UV-B στα φυτά.

Στα επαρκώς αρδευόμενα νεαρά φυτά, μεταξύ των τεσσάρων ποικιλιών στο βαμβάκι στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B, η ποικιλία Carmen παρουσίασε έντονες χλωρωτικές κηλίδες στη φυλλική επιφάνεια, ο Midas εμφάνισε μαρασμό και συρρίκνωση στη φυλλική επιφάνεια, η ποικιλία Millennium εμφάνισε έντονα εγκαύματα μόνο στην περιφέρεια της, ενώ η Sadra σε όλη την έκτασή της.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έκθεση νεαρών φυτών βαμβακιού στη UV-B ακτινοβολία προκάλεσε αρνητικές επιπτώσεις στο ύψος, τη φυλλική επιφάνεια, τη περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη και το υδατικό δυναμικό, ενώ παρατηρήθηκαν ορατά συμπτώματα τοξικότητας από τη UV-B στα φύλλα των φυτών βαμβακιού. Η UV-B προκάλεσε σχετικά μικρή μείωση στο ύψος που έφτανε μέχρι και το 18 % σε σχέση με φυτά μάρτυρες, μείωση της χλωροφύλλης από 14 μέχρι και 29 %, μείωση του υδατικού δυναμικού από 8 μέχρι και 54 % και μείωση της φυλλικής επιφάνειας από 16 μέχρι και 42 %.

Οι αρνητικές επιπτώσεις της UV-B ήταν συνήθως πιο έντονες καθώς αυξανόταν η διάρκεια έκθεσης από 2 στις 6 ώρες έκθεσης.

Οι επιπτώσεις τις UV-B διέφεραν ανάλογα με την ποικιλία. Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν έντονες ποικιλιακές διαφορές ως προς την ανθεκτικότητα - ευαισθησία στη UV-B που έχει μεγάλη πρακτική σημασία για τη γεωργία.

Μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη UV-B παρουσίασε η ποικιλία Carmen και τη μικρότερη η Midas σε σύγκριση με τις ποικιλίες Millenium και Sadra.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Ελληνική

Καράταγλης, Σ. 1992. Φυσιολογία φυτών. Μεταφορά του νερού στα φυτά. Εκδ. Art of text. Θεσσαλονίκη σσ. 123-124.

Στέλλα Γαλανοπούλου-Σενδούκα, 2001. Βιομηχανικά φυτά. Βαμβάκι. Εκδ. Αθ. Σταμούλης. Αθήνα

B. Ξένη

Adams, P. and S.J. Britz. 1992. Amelioration of UV-B damage under high irradiance. I. Role of photosynthesis. *Photochemistry and Photobiology*, 56, pp. 645-650.

Alexieva, V., I. Sergiev, S. Mapelli and E. Karanov 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in wheat. *Plant, Cell and Environmental*, 24, pp. 1337-1344.

Andersson, B., M. Ponticos, J. Barber, A. Koivuniemi, E. Aro, M. Hagman, A. Salter, A.H. Dan-Hui, Y. and M. Lindahl, 1994. Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants. In *Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field* (Baker, N.R. and Bowyer, J.R., eds), pp. 143-59. Bios Scientific Publishers, Oxford.

Baker, N.R. and, J.R. Bowyer. 1994. Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants. *Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field*. Bios Scientific Publishers, Oxford.

Balakumar, T., B.V.V. Hani and K. Paliwal. 1993 On the interaction of UV-B radiation (280-320nm) with water stress in crop plants. *Physiologia Plantarum* 87, pp. 217-222.

Barnes, P.W., S.D. Flint, M.M. Caldwell, 1990. Morphological responses of crops and weeds of different growth forms to ultraviolet -B radiation. *American Journal of Botany*, 77, pp. 1354-1360.

- Barnes, P.W., C.L. Ballare, M.M. Caldwell, 1996.** Photomorphogenic effected of UV-B radiation on plants: consequences for light competition. *Journal of Plant Physiology*, 148, pp. 15-20.
- Basiouny, C.J., T.K. Van, and R.H. Biggs, 1978.** Some morphological and biochemical characteristics of C₃ and C₄ plants irradiated with UV-B. *Physiology Plant*, 42 pp. 29-32.
- Batschauer, A. 1993.** A plant gene for photolyase; an enzyme catalyzing the repair of UV-light- induced DNA-damage. *Plant Journal*, 4, pp. 705-709.
- Biggs, R.H. and S.V. Kossuth. 1981.** Effects of ultraviolet-B enhancement under field conditions on varieties in corn, tomatoes. In *UV-B Biological and Climatic Effects Research (BACER). Final Report, US EPA, Washington, DC.*
- Bornman, J.F. 1989.** Target sites of UV-B radiation in photosynthesis of higher plants. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 4, pp. 289-297
- Bornman, J.F., and A.H. Teramura. 1993.** Effects of UV-B radiation on terrestrial plants. In *Environmental UV Photobiology.* (Young, A.R., L.O. Bjorn, J. Moan, and W. Nultsch). Plenum Press, New York.
- Boyer, J.S. 1982.** Plant productivity and environment. *Science*, 218, pp. 443-445.
- Blumthalen, M. and W. Amback. 1990.** Monitoring changes in UV-B radiation. *Science*, 248, 206-208
- Caldwell, M.M., A.H. Teramura, M. Tevini, J.F., Bornman, L.O. Bjorn, G. Kulandaivelu. 1995.** Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial plants. *Ambio* 24, pp 166-173.
- Caldwell, M.M., 1997.** The effects of solar UV-B (280-315nm) on higher plants: Implications of stratospheric ozone reduction *In Research in Photobiology.* (Castellani, A., ed.), pp. 597-607. Plenum Publishing Co., New York.

Casati, P., C.P. Spampinato and C.S. Andreo. 1997. Characteristics and physiological function of NADP-malic enzyme from wheat. *Plant and Cell Physiology*, 38, pp. 928-934.

Corlett, J.E., J. Stephen, H.G. Jones, R. Woodfin, R. Mepsted and N.D. Paul 1996. Assessing the impact of UV-B radiation on the growth and yield of field crops. In *Plants and UV-B: Responses to Environmental Change* (ed. P.J Lumsden), pp. 195-211. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Dangl, J.L., K. Hahlbrock, and J. Schell, 1989. Regulation and structure of chalcone synthase genes. In *Plant Nuclear Genes and their Expression in Arabidopsis cells*. *Plant cell*, 8, pp. 1555-1567.

Davies, R.J.H. 1995. Ultraviolet radiation damage in DNA. *Biochemical Society Transactions*, 23, pp.407-418.

Doughty, C.J., A.B, Hope. 1973. Effects of ultraviolet radiation on the membranes of *Chara corallina*. *Journal. Membrane. Biology*, 13, pp. 185-198.

Drincovich, M.F., P. Casati, C. S. Andreo, R. Donahue and G.E. Edwards. 1998. UV-B induction of NADP- malic enzyme in etiolated and green maize seedlings. *Plant, Cell and Environmental*, 21, pp.63-70.

Edwards, G.E., C.S Andreo. 1998. NADP-malic enzyme from plants. *Phytochemistry*, 31, pp. 1845-1857.

Fiscus, E.L. and F.L. Booker. 1995. Is increased UV-B a threat to crop photosynthesis and productivity? *Photosynthesis Research*, 43, pp. 81-92.

Frisco, G., C. Spetea, G.M. Giacometti, I. Vass, and R. Barbato. 1994. Degradation of photosystem II reaction center D1 protein induced by UV-B radiation in isolated thylakoids. Identification and characterization of C- and N- terminal breakdown products. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1184, pp. 78-84.

Gehrke, C, U. Johanson, T.V. Callaghan, D. Chadwick and C.H. Robinson. 1995. The impact of enhanced UV-B radiation on litter quality and decomposition processes in *Larix laricina* leaves from the Subarctic. *Oikos*, 72, pp. 213-222.

Hermann, J.R., R. Mcpeters, and J.M. Anderson. 1993. Low stratospheric ozone during 1992 -1993 from Nimbus 7 and Meteor 3 total ozone mapping spectrometers. *Journal of Geophysical Research*, 99, pp. 3483-3496.

Heuer, B. 1994. Osmoregulatory role of proline in water and salt-stressed plants. *In Handbook of plant and Crop stress* (ed. M. Pessaraki), pp. 363-381. Marcel Dekker, New York.

Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24, pp. 519-570.

Jackson, J.A. and, G.I Jenkins. 1995. Extension growth responses and flavonoid biosynthesis gene expression in the *Arabidopsis hy4* mutant. *Planta*, 197, pp. 233-239.

Jordan, B.R., W.S Chow, A. Strid, and J.M. Anderson. 1991. Reduction in Cab and psb A RNA transcripts in response to supplemental UV-B radiation. *FEBS Letters*, 284, pp. 5-8.

Jordan, B.R., W.S. Chow and J.M Anderson. 1992. Changes in mRNA levels and polypeptide subunits of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase in response to supplementary ultraviolet-B radiation. *Plant, Cell and Environmental*, 15, pp. 91-98.

Kootsra, A. 1994. Protection from UV-B induced DNA damage by flavonoids. *Plant molecular biology*, 26, pp. 771-774.

Kramer, G.F., D.T. Krizek, and, R.M. Mirecki. 1992. Influence of lipids in cucumber. *Phytochemistry*, 30, pp. 2101-8.

Krupa, S.V., R.N. Kickert and H.J. Jager. 1998. Elevated UV-B radiation and crops. *In elevated UV-B radiation and Agriculture* (eds S.V. Krupa, R.N. Kickert and H.J. Jager), pp. 104-131. Springer- Veriag, Berlin Heidelberg and Landes Bioscience, Georgetown, TX, USA.

Kurkdjian, A. and J. Guern. 1989. Intracellular PH: measurement and importance in cell activity. *Annual Review of Plant Physiology* 40. pp. 271-303.

- Li, J.Y., T.M. Oulee, R. Raba, R.G. Amundson and R.L. Last, R.L. 1993.** *Arabidopsis* flavonoid mutants are hypersensitive to UV-B irradiation. *Plant Cell*, 5, pp. 171-179.
- Li, J.Y., Y.Q. Zu, J.J. Chen, H.Y. Chen, J.L. Yang, Z.D. Hu. 2000.** Intraspecific differences in physiological responses of 20 wheat cultivars to enhanced ultraviolet-B radiation under field conditions. *Environmental Experimental Botany*, 44, pp. 95-103.
- Lois, R. 1994.** Accumulation of UV-absorbing flavonoids induced by UV-B radiation in *Arabidopsis thaliana* L. *Planta*, 194, pp. 498-503.
- Madronich, S., R., McKenzie, M.M. Caldwell, and L.O. Bjorn, 1995.** Changes in ultraviolet radiation reaching the earth's surface. *Ambio*, 24, pp. 143-152.
- Mannig, W.J. and A.V. Tiedeman. 1995.** Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide, ozone and in ultraviolet-B radiation on plant. *Environmental pollution*, 88, pp.219-45.
- Marder, J.B., D.J. Chapmann, A. Telfer, P.J. Nixon, and J. Barder. 1987.** Identification of Psb A and Psb D gene products, D1 and D2, as reaction center proteins of photosystem 2. *Plant Molecular Biology*, 9, pp. 325-33.
- Mark, U. and M. Tevini. 1996.** Combination effect of UV-B radiation and temperature on sunflower and maize seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 148, pp. 49-56.
- Markham, K.R. 1982.** *Techniques of Flavonoid Identification*. 113 pp. Academic Press, London.
- McLennan, A.G. 1987.** The repair of ultraviolet light- induced DNA damage in plant cells. *Mutation Research*, 181, pp. 1-7.
- Mepsted, R., N. Paul, J. Stephen, S. Nogues, J.E. Corlett, N.R. Baker, H.G. Jones, and P.G. Agres 1996.** Effects of enhanced UV-B radiation on hard wheat grown under field conditions. *Global Change Biology* (in press).

Mitchell, D.L., J.E. Vaughan, and R.S. Nairn. 1989. Inhibition of transient gene expression in Chinese hamster ovary cells by cyclobutane dimmers and photoproducts in transfected Ultraviolet irradiated plasmid DNA. *Plasmid*, 21, pp. 21-30.

Murali N.S., A.H. Teramura. 1985. Effect of UV-B radiation on soybean. VI. Influence of phosphorus nutrition of growth and flavonoid content. *Plant Physiology*, 63, pp. 413-416.

Murali, N.S., A.H. Teramura, 1986. Intraspecific differences in *Cucumis sativus* sensitivity to ultraviolet (UV-B) radiation. *Physiol. Plant*, 68, pp. 673-677.

Murphy, T.M. 1990. Effects of broad-band ultraviolet and visible radiation on hydrogen peroxide formation by cultured rose cells. *Physiol. Plant*, 80, pp. 63-68.

Musil, C.F. 1995. Differential effects of elevated UV-B radiation on the photochemical and reproductive performances of dicotyledonous and monocotyledonous arid-environment ephemerals. *Plant Cell and Environment*, 18, pp. 844-854.

Musil, C.F. 1996. Ultraviolet-B radiation of seeds affects photochemical *Dimorphotheca pluvialis*. *Environmental and Experimental Botany*, 34, pp. 371-378.

Nogues, S., and N.R. Baker. 1998. Evaluation of the role of damage to photosystem II in the inhibition of CO₂ assimilation in pea leaves on exposure to UV-B radiation *Plant Cell and Environment*, 18, pp. 781-7.

Noorudeen, A.M., and G. Kulandaivelu. 1982. On the possible site of inhibition of photosynthetic electron transport by ultraviolet (UV-B) radiation. *Physiologia Plantarum*, 55, pp. 161-166.

Panagopoulos, I., J.F. Bornman, and L.O. Bjorn 1992. Response of sugar beet plants to ultraviolet-B (280-320nm) radiation and *Cercospora* leaf spot disease. *Physiol. Plant*. 84: 140-145.

Petropoulou, Y., A. Kyparissis, D. Nikolopoulos, and Y. Manetas. 1995. Enhanced UV-B radiation alleviates the adverse effects of summer drought in two Mediterranean pines under field conditions. *Physiologia Plantarum*, 94, 37-44.

Renger, G., M. Volker, H.J. Eckert, R. Fromme, S. Hohm-Vei and P. Graber. 1989. On the mechanism of photosystem II deterioration by UV-B irradiation. *Photochemistry and Photobiology*, 49, pp. 97-105.

Reuber, S., J.F Bornman and G. Weissenbock. 1996. Phenylpropanoid compounds in primary leaves of rye (*Secale cereale*) light regulation of their biosynthesis and the possible role in UV-B protection. *Physiologia Plantarum*, 97, pp. 160-8.

Robberecht, R., and M.M. Caldwell, 1986. Atmospheric factors affecting UV-B radiation reaching the biosphere. *Plant Cell and Environment*, 17, 311-317.

Robberecht, R., and M.M Caldwell. 1998. Leaf optical properties of *Rumex patientia* L. and *Rumex obtusifolius* L. in regard to a protection mechanism against solar UV-B radiation injury. In *Stratospheric Ozone Reduction, Solar Ultraviolet Radiation and plant Life*. (Worrest, R.C. and M.M Caldwell, eds), pp. 251-59. Springer-Verlag, Berlin.

Rochaix, J.D. 1992. Control of plastid gene expression in *Chlamydomonas reinhardtii*. In *Plant Gene Research: Cell Organelles* (Herrmann, R.G., ed.), pp. 249-74. Springer-Verlag, Vienna.

Rozema, J., J.W.M. Van de Staaij, V. Costa, J.G.M. Torres Pereira, R.A. Broekman, G.M. Lenssen, and M. Stroetenga. 1997. A comparison of growth, photosynthesis and transpiration of wheat and maize in response to enhanced UV-B radiation. In *Global Climatic Changes on photosynthesis and Plant productivity*. (Abrol, Y., P.N. Wattal, A. Gnanam, govindjee, D.R. Ort, and A.H. Teramura, eds), pp. 163-174. Asia Publishing House, Sittingbourne.

Ryel, R.J., P.W. Barnes, W. Beyschlag, M.M. Caldwell, and S.D Flint. 1990. Plant competition for light analyzed with a multispecies canopy model. I. Model development and influence of enhanced UV-B conditions on photosynthesis in mixed wheat. *Oecologia*, 82, pp. 304-310.

Sakaki, T., N. Kondo, K. Sugahara. 1983. Breakdown of photosynthetic pigments and lipid in spinach leaves with ozone fumigation: role of active oxygen *Physiol. Plant*, 59, pp. 28-34.

Sancar, A. 1994. Structure and function of DNA photolyase. *Biochemistry*, 33, pp. 2-9.

Schaaf J., M.H. Walter and D. Hess. 1995. Primary metabolism in plant defense. *Plant Physiology*, 108, pp. 949-960.

Schmidt, A.M., D.P. Ormord, N.J. Livingstone and S. Misra. 2000. The interaction of ultraviolet -B radiation on water deficit in two *Arabidopsis thaliana* genotypes. *Annals of Botany*, 85, pp. 571-575.

Sibley J.L., D.J. Eaues, C.H. Gilliam. 1996. Ioliar SPAD - 502 meter values, nitrogen levels and extractable chlorophyll for red waple selections. *Hortscience*, 31, pp. 468-470.

Song Y.Z., Y.F. Zhang, C.J. Wan, C.H. Wang and F.C. Zhang 1999. Impact of intensified ultraviolet radiation on cotton growth. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 22, pp. 269-273.

Stapleton, A.E. 1992. Ultraviolet-B radiation and plants. *Plant Cell*, 4, pp. 1353-1358.

Stapleton, A.E. and V. Walbot. 1994. Flavonoids can protect Maize DNA from the induction of ultraviolet-B radiation damage. *Plant Physiology*, 105, pp. 881-889.

Stolarski, R., R. Bojkov, L. Bishop, C. Zerephos, J. Staehelin, and J. Zawodny. 1992. Measured trends in stratospheric ozone. *Science*, 256, pp 342-9.

Strid, A. and R.J. Porra. 1992. Alterations in pigment content in leaves of *Pisum sativum* after exposure to supplementary UV-B. *Plant and Cell Physiology*, 33, pp. 1015-23.

Strid A., W.S. Chow and J.M. Anderson 1994. UV-B damage and protection at the molecular level in plants. *Photosynthesis Research*, 39, pp. 475-489.

- Styring, S. and C. Jegershold. 1994.** Light-induced reactions impairing electron transfer through photosystem II. In *Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field* (Baker, N.R. and J.R. Bowyer, eds), pp. 51-73. Bios Scientific Publishers, Oxford.
- Sullivan, J.H and L.R. Dillenburg. 1991.** Growth and photosynthetic responses of plants to UV-B radiation. *American Journal of Botany*, 81, pp. 826-32.
- Sullivan J.H. 1997.** Effects of increasing UV-B radiation and CO₂ on photosynthesis and growth: implications for terrestrial ecosystems. *Plant Ecology*, 128, pp. 194-206.
- Takeda, J.,I. Obi, and K. Yoshida. 1994.** Action spectra of phenylalanine ammonia-lyase and chalcone synthase expression in carrot cells in suspension. *Physologia Plantarum*, 91, pp. 517-521.
- Takeuchi, Y., S. Ikeda, and H. Kasahara. 1993.** Dependence on wavelength and temperature of growth inhibition induced by UV-B irradiation. *Plant and Cell Physiology*, 34, pp. 913-917.
- Talpaert-Borle, M., and M. Liuzzi 1982.** Base excision repair in carrot cells, partial purification and characterization of Uracil-DNA glycosylase and apurinic/aprimidinic endodeoxyribonuclease. *European Journal of Biochemistry*, 124, pp. 435-40.
- Telfer A., and J. Barder. 1994.** Elucidating the molecular mechanisms of photoinhibition by studying isolated photosystem II reaction centers. In *Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field* (Baker, N.R. and J.R. Bowyer, eds), pp. 25-49. Bios Scientific Publishers, Oxford.
- Teramura, A.H., 1983.** Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiol. Plant*, 58, pp. 415-427.
- Teramura, A.H., M. Tevini, and W. Iwanzik. 1983.** Effects of ultraviolet-B radiation irradiance on plants during mild water stress. I. Effects on diurnal stomatal resistance. *Physiol Plant*, 57, pp. 175-180.

Teramura, A.H., and N.S. Murali. 1986. Intraspecific differences in growth and yield of soybean exposed to ultraviolet-B radiation under greenhouse and field conditions. *Environmental Experimental Botany*, 26, pp. 89-95.

Teramura, A.H. and J.H. Sullivan. 1989. Effects of ultraviolet-B radiation on growth of terrestrial plants. *Photosynthesis Research*, 39, pp. 463-73.

Teramura, A.H., M. Tevini, J.F. Bornman, M.M. Caldwell, G. Kulandaivelu, and L.O. Bjorn, 1991. Field studies of UV-B radiation effects on plants: case histories of soybean. In *Impact of Global Climatic Changes on Photosynthesis and Plant Productivity*, 70, pp. 147-161.

Teramura, A.H. 1993. Effects of ultraviolet-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants. *Photosynthesis Research*, 39, pp. 463-473.

Tevini, M, and A.H. Teramura. 1989. UV-B radiation effects on terrestrial plants. *Photochemistry and Photobiology*, 50, pp. 479-87.

Tevini, M, and A.H. Teramura. 1991. UV-B Radiation and Ozone Depletion: *Effects on Humans, Animals, Plants, Microorganisms and Materials*, Lewis, London

Van, T.K., L.A. Garrard, and S.H. West. 1976. Effects of ultraviolet -B radiation on net photosynthesis of some crop plants. *Crop Science* . 16: 715-718.

Vu, C.V., L.H. Allen and L.A Garrard. 1982. Effects of supplementary UV-B radiation on primary photo synthetic carboxylating enzymes and soluble proteins in leaves. *Physiol. Plant*, 55: 11-16.

Wright, L.A., T.M. Murphy, and R.L. Travis. 1981. The effect of ultraviolet radiation on wheat root vesicles enriched in plasma membrane. *Photochemistry Photobiology*, 33, pp. 343-348.

Yanqun, Z.,and H.Y. Chen. 2003. Intraspecific responses in crop growth to enhanced of ultraviolet-B radiation under field conditions. *Field Crops Research*. 78, pp. 1-8.

Zhao, D., K. R. Reddy, V. G. Kakani, J.J. Read, and J. H. Sullivan 2003. Growth and physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum L.*) to elevated carbon dioxide and ultraviolet-B radiation under controlled environmental conditions. *Plant. Cell and Environmental*, 24, pp.771-782.

Ziska, L.H., A.H. Teramura and J.H Sullivan. 1992. Physiological sensitivity of plants along an elevational gradient to UV-B radiation. *American Journal of Botany*, 79, pp. 863-871.

Γ. Ιστοσελίδες

www.phot.allenpress.com/pdfserv/10.1562%2F2003-11-19-RA-010

www.Elinvae.gr/perivallon/BAME

www.cverros.gr/0204.htm

www.spin.gr/static/sections

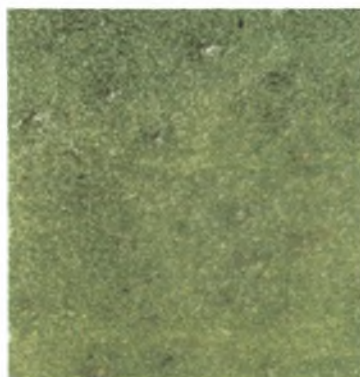
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

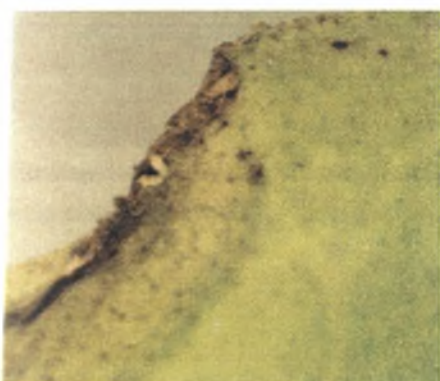
1) Φυτά επαρκώς αρδευόμενα



Midas 6 ώρες UVB: Μαρασμός της φυλλικής επιφάνειας και συρρίκνωση.



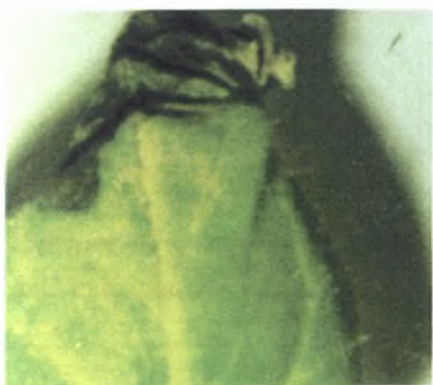
Midas 6 ώρες Μάρτυρας



Midas 4 ώρες UVB: Χλωρώσεις μεταξύ των νεύρων και εγκαύματα στην περιφέρεια του φύλλου.



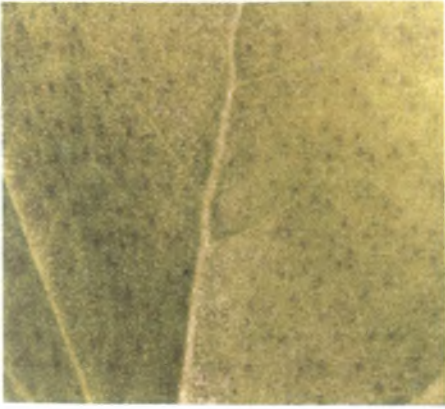
Midas 4 ώρες Μάρτυρας



Midas 2 ώρες UVB: Εγκαύματα και συρρίκνωση της φυλλικής επιφάνειας.



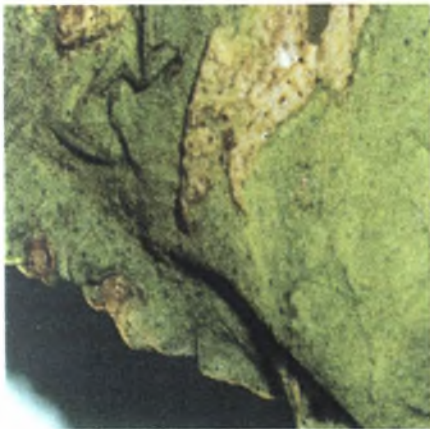
Midas 2 ώρες Μάρτυρας



Carmen 6 ώρες UVB: Έντονες χλωρωτικές κηλίδες στη φυλλική επιφάνεια



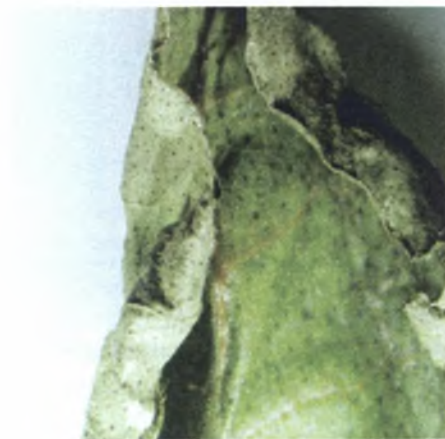
Carmen 6 ώρες Μάρτυρας



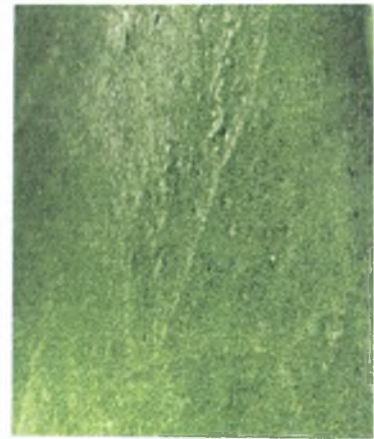
Carmen 4 ώρες UVB: Μικρά εγκαύματα και μικρή συρρίκνωση της φυλλικής επιφάνειας.



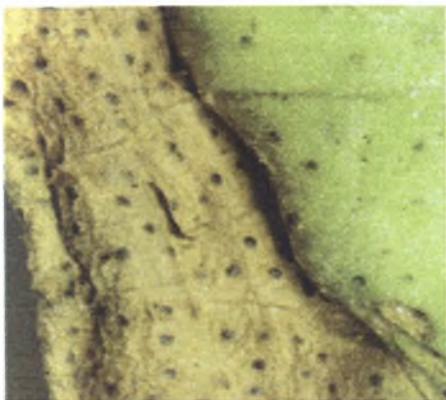
Carmen 4 ώρες Μάρτυρας



Carmen 2 ώρες UVB: Μικρή συρρίκνωση της φυλλικής επιφάνειας.



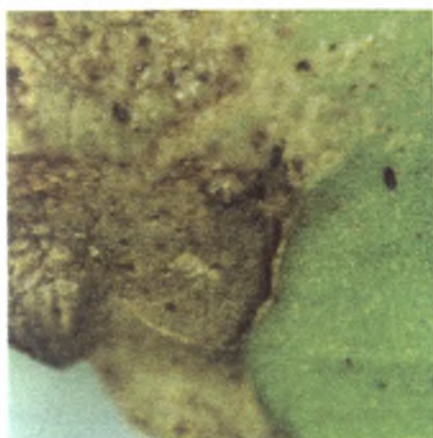
Carmen 2 ώρες Μάρτυρας.



Millennium 6 ώρες UVB: Έντονα εγκαύματα στην περιφέρεια της φυλλικής επιφάνειας.



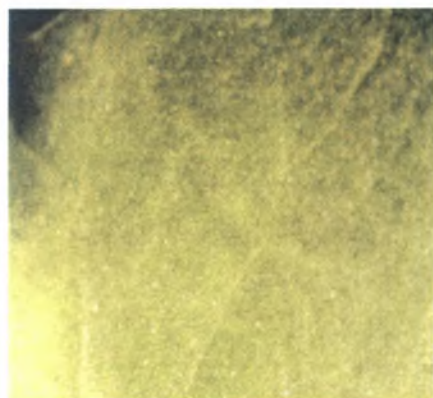
Millennium 6 ώρες Μάρτυρας.



Millennium 4 ώρες UVB: Μικρά εγκαύματα και συρρίκνωση της φυλλικής επιφάνειας.



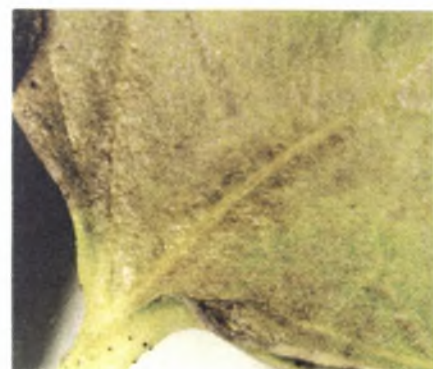
Millennium 4 ώρες Μάρτυρας.



Millennium 2 ώρες UVB: Έντονες χλωρώσεις στη φυλλική επιφάνεια



Millennium 2 ώρες Μάρτυρας



Sadra 6 ώρες UVB: Εγκαύματα στη φυλλική επιφάνεια.



Sadra 6 ώρες Μάρτυρας



Sadra 2 ώρες UVB: Έντονες χλωρωτικές κηλίδες στη φυλλική επιφάνεια.



Sadra 2 ώρες Μάρτυρας



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091051