

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

ΣΟΦΙΑ Χ. ΧΑΤΖΗΚΥΡΙΑΚΟΥ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (UV-B) ΣΕ ΝΕΑΡΑ ΦΥΤΑ
ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ, ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ, ΣΟΡΓΟΥ, ΣΚΛΗΡΟΥ
ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΝΤΟΜΑΤΑΣ.**

ΒΟΛΟΣ 2004



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

Αριθ. Εισ.: 4208/1
Ημερ. Εισ.: 16-12-2004
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
571.456 2
ΧΑΤ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (UV-B) ΣΕ ΝΕΑΡΑ ΦΥΤΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ, ΣΟΡΓΟΥ, ΣΚΛΗΡΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΝΤΟΜΑΤΑΣ.**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

**Γαλανοπούλου- Σενδουκά Στέλλα, Καθηγήτρια Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής
Και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**Γαλανοπούλου- Σενδουκά Στέλλα, Καθηγήτρια Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας
Φυτών, Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.**

**Νάνος Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής Δενδροκομίας, Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής
Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.**

**Δρ. Δρογούδη Παύλινα, Ερευνήτρια Δ' στο Ινστιτούτο Φυλλοβόλων Δένδρων
Νάουσας, του ΕΘΙΑΓΕ.**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εργασία μου αυτή, πρωτίστως οφείλω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Καθηγήτρια της Σχολής Γεωπονικών Επιστήμων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Στέλλα Γαλανοπούλου – Σενδουκά, διότι από την αρχή με συμπαραστάθηκε και με τις γνώσεις της κατηύθυνε ουσιαστικά την όλη πορεία της εργασίας.

Επίσης πρέπει να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον 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. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην Δρ. Δρογούδη Παυλίνα ερευνήτρια Δ' στο Ινστιτούτο Φυλλοβολών Δένδρων Νάουσας του ΕΘΙΑΓΕ για την πολύτιμη και ουσιαστική συνεργασία της κατά την διάρκεια της ερευνητικής εργασίας. Θέλω να ευχαριστήσω επίσης τον Δρ. Τσιάλλα Ιωάννη, προϊστάμενο τμήματος Γεωργικού Πειραματισμού, Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης ΑΕ, εργοστάσιο Λάρισας, για την πρόσφορα των συσκευών που ήταν απαραίτητα για την διεξαγωγή των μετρήσεων, για τις εποικοδομητικές συζητήσεις που είχα μαζί του και για την βοήθεια του στην εύρεση της βιβλιογραφίας. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τον Δρ. Νάνο Γεώργιο, Επίκουρο Καθηγητή της Δενδροκομίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

• ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
• ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
• ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	18
• ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	19
• ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	23
• ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	43
• ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	51
• SUMMARY	52
• ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54
• ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	64

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο εισαγωγικό τμήμα της παρούσας εργασίας γίνεται αναφορά για την ηλιακή υπεριώδη-B (UV-B), για το ρόλο του όζοντος, για τις επιπτώσεις της υψηλής UV-B στα φυτά, για τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την ευαισθησία των φυτών στη UV-B, για τις επιδράσεις της στη φυσιολογία φυτών και για τους μηχανισμούς προστασίας των φυτών απέναντι στη UV-B. Από την εργασία αυτή γίνονται εμφανείς οι αρνητικές επιπτώσεις της UV-B στα φυτά που έχουν μεγάλη οικονομική σημασία για την Ελλάδα.

Τα τελευταία χρόνια η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος οδήγησε σε σημαντική αύξηση της UV-B ακτινοβολίας η οποία είναι επιβλαβής σε φυτά και άνθρωπο. Σημαντικές διαφορές έχουν καταγραφεί στην ευπάθεια τόσο μεταξύ φυτικών ειδών, αλλά και γενοτύπων του ίδιου είδους, ενώ προστατευτική δράση στις αρνητικές επιπτώσεις της UV-B βρέθηκε πως προκαλεί η υδατική καταπόνηση. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθούν οι επιπτώσεις υψηλής ακτινοβολίας UV-B σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας που καλλιεργούνται στην Ελλάδα, να εκτιμηθεί ο πιθανός μηχανισμός αντοχής τους, καθώς και η επίδραση της υδατικής καταπόνησης στις επιπτώσεις της UV-B.

Νεαρά φυτά των ποικιλιών βαμβακιού Carmen, Midas, Millennium και Sandra, βιομηχανικής ντομάτας Agata, ζαχαροτεύτλου Europa, Rival και Corsica, σκληρού σιταριού Mexa και Simeto, σόργου Κροκίου και καλαμποκιού Constanza, αφού πρώτα ποτίστηκαν εκτέθηκαν σε ακτινοβολία UV-B σε κλειστό θάλαμο για δύο, τέσσερις και έξι ώρες για τέσσερις διαδοχικές ημέρες, ενώ φυτά μάρτυρες αναπτύσσονταν σε θάλαμο όπου είχε τοποθετηθεί φίλτρο που αποτρέπει τη διείσδυση της UV-B. Επίσης, στις ποικιλίες βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού και σόργου σε ένα αριθμό φυτών προκλήθηκε υδατική καταπόνηση με διακοπή της άρδευσης για τρεις ημέρες και μετά δέχτηκαν την επίδραση της UV-B για δύο, τέσσερις και έξι ώρες και τέσσερις διαδοχικές ημέρες. Παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν το ύψος φυτού, η συγκέντρωση χλωροφύλλης, η φυλλική επιφάνεια και το υδατικό δυναμικό.

Η έκθεση νεαρών φυτών βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού στη UV-B ακτινοβολία προκάλεσε αρνητικές επιπτώσεις στο ύψος, τη φυλλική επιφάνεια, την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη και το υδατικό δυναμικό, ενώ παρατηρήθηκαν ορατά συμπτώματα τοξικότητας από τη UV-B στα φύλλα όλων των υπό μελέτη φυτών. Η UV-B προκάλεσε σχετικά μικρή μείωση στο ύψος φυτών που έφτανε μέχρι και το 18 % σε σχέση με φυτά μάρτυρες, μείωση της χλωροφύλλης από 12 μέχρι και 57 %, μείωση του υδατικού δυναμικού από 9 μέχρι και 143 % και μείωση της φυλλικής επιφάνειας από 11 μέχρι και 74 %.

Οι αρνητικές επιπτώσεις της UV-B ήταν συνήθως πιο έντονες καθώς αυξανόταν η διάρκεια έκθεσης από δύο σε έξι ώρες έκθεσης.

Οι επιπτώσεις τις UV-B διέφεραν ανάλογα με το είδος αλλά και την ποικιλία. Συνήθως πιο έντονες αρνητικές επιπτώσεις της UV-B στη χλωροφύλλη, τη φυλλική επιφάνεια και το υδατικό δυναμικό μετρήθηκαν σε φυτά βιομηχανικής ντομάτας, σόργου και καλαμποκιού σε σύγκριση με φυτά βαμβακιού, ζαχαροτεύτλου και σκληρού σιταριού.

Στο βαμβάκι μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη UV-B παρουσίασε η ποικιλία Carmen σε σύγκριση με τις ποικιλίες Midas, Millennium και Sandra.

Στο ζαχαρότευτλο, μεγαλύτερη ανθεκτικότητα παρουσίασε η ποικιλία Corsica σε σχέση με τις Eurora και Rival.

Στο σκληρό σιτάρι, μεγαλύτερη ανθεκτικότητα παρουσίασε η ποικιλία Simeto, σε σύγκριση με την Mexa.

Η υδατική καταπόνηση μείωσε τις αρνητικές επιπτώσεις της UV-B στη χλωροφύλλη, τη φυλλική επιφάνεια και το υδατικό δυναμικό σε φυτά βιομηχανικής ντομάτας, σόργου, καλαμποκιού και σκληρού σιταριού, ενώ δεν επηρέασε σημαντικά την ευπάθεια των φυτών ζαχαροτεύτλου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ηλιακή υπεριώδης-B ακτινοβολία.

Η UV-B ακτινοβολία θα μπορούσε να αναφερθεί ως ένα τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ενέργεια του ήλιου που φθάνει στη γη είναι γνωστή ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αποτελείται από το ορατό, υπέρυθρο, υπεριώδες, ακτίνες X κτλ. Το πιο ενεργό φάσμα περιοχών βρίσκεται στα μικρότερα μήκη κύματος. Τα φωτόνια που συνδέονται με την υπεριώδη ακτινοβολία είναι περισσότερο ενεργά από εκείνα που συνδέονται με την υπέρυθη ακτινοβολία. Τα φωτόνια της υψηλής ενέργειας μπορούν να σπάσουν τους μοριακούς δεσμούς και να προκαλέσουν ζημιά. Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει μικρό μήκος κύματος αλλά υψηλή ενέργεια και αντιπροσωπεύει ένα μικρό τμήμα της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης (1.5% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας), ενώ η υπέρυθη έχει μεγάλο μήκος κύματος και χαμηλή ενέργεια. Το μεγαλύτερο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η ορατή ακτινοβολία (42.3% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας) (Stapleton, 1992).

Το φως είναι σημαντικός παράγοντας για τη φυσιολογική αύξηση και ανάπτυξη του φυτού όχι μόνο σαν μια πηγή ενέργειας αλλά σαν ένα κίνητρο που ρυθμίζει τις πολυάριθμες διαδικασίες ανάπτυξης και μεταβολισμού των φυτών. Τα φυτά δέχονται 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 υπεριώδες τμήμα του φάσματος του φωτός διαιρείται γενικά σε τρία μέρη: UV-A, UV-B, και UV-C. Η UV-A ακτινοβολία (320-400 nm) λόγω του μήκους κύματος ≥ 320 nm δεν επηρεάζεται από τη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, δεν απορροφάται από το όζον και είναι λιγότερη καταστροφική στους φυτικούς οργανισμούς, αλλά είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη του φυτού. Η υπεριώδης UV-B ακτινοβολία (280-320 nm) είναι συστατικό του ηλιακού φωτός, αλλά μια σημαντική αύξηση της θα είναι επιβλαβής στα φυτά και στην ανθρώπινη υγεία (Krupa *et al.*, 1998). Η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και η αύξηση της ηλιακής υπεριώδους-B ακτινοβολίας συνεχίζουν να αποσπούν το ενδιαφέρον σχετικά με την ευαισθησία της βιωσιμότητας της γης απέναντι στη UV-B (Tevini and Teramura, 1991). Πρόσφατα μαθηματικά μοντέλα προβλέπουν μια περαιτέρω αύξηση της ηλιακής UV-B ακτινοβολίας στο μέλλον (Madronich *et al.*, 1995). Η UV-B αντιπροσωπεύει εκείνο το τμήμα του φάσματος που απορροφάται μερικώς από το στρώμα του όζοντος και μπορεί να προκαλέσει ζημιές στους φυτικούς οργανισμούς. Η UV-C ακτινοβολία (μήκος κύματος < 280 nm) απορροφάται από το όζον και πολύ μικρή ποσότητα φθάνει στην επιφάνεια της γης.

1.2 Ο ρόλος του όζοντος (O₃).

Η ζώνη του όζοντος στη στρατόσφαιρα παρέχει μια επαρκή προστατευτική ασπίδα για τη ζωή πάνω στη γη, διότι έχει απορροφητικές ιδιότητες πάνω στις υπεριώδεις περιοχές του φάσματος, με αποτέλεσμα τα καταστροφικά μήκη κύματος κάτω των 280 nm να μην φθάνουν στην επιφάνεια της γης. Η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος επηρεάζει κυρίως τα χαμηλότερα μήκη κύματος, δηλαδή την υπεριώδη-B ακτινοβολία. Συνεπώς, η στρατόσφαιρα είναι ο βασικός παράγοντας για τη μείωση της ηλιακής UV-B ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης (Caldwell, 1997). Μια μακροπρόθεσμη μείωση στη στοιβάδα του στρατοσφαιρικού όζοντος θα οδηγήσει σε μια σημαντική αύξηση της υπεριώδους-B ακτινοβολίας ώστε να φθάσει να καλύψει την επιφάνεια της γης. (Blumthalen *et al.*, 1990). Όλοι οι ζώντες οργανισμοί της βιόσφαιρας είναι εκτεθειμένοι στη UV-B ακτινοβολία σε συχνότητες που διαφέρουν ανάλογα με τον ηλιακό άξονα και την πυκνότητα της στοιβάδας του στρατοσφαιρικού όζοντος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλιακή UV-B ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης είναι: η απορρόφηση από το όζον, 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). Η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος που οφείλεται στις πρόσφατες αυξήσεις του ατμοσφαιρικού χλωροφθοράνθρακα, του μεθανίου και του νιτρικού οξέος υπολογίζεται περίπου 4 –5% ανά δεκαετία (Stolarski *et al.*, 1993).

1.3 Οι επιπτώσεις της υψηλής UV-B ακτινοβολίας στα φυτά.

Οι διαφορές μεταξύ των ποικιλιών ενός φυτικού είδους απέναντι στην έκθεση στη UV-B ακτινοβολία είναι σημαντικές (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 φυτικών ειδών, όπως είναι 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 ενεργούς φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (PAR) και κατά συνέπεια μειώνει τη UV-B ακτινοβολία (Teramura, 1983). Επίσης, οι διαφορές στην ευαισθησία των φυτικών ειδών και των ποικιλιών στη UV-B ακτινοβολία μπορεί να αποδοθούν στις διαφορές που εμφανίζονται ως προς τη συγκέντρωση των συστατικών που έχουν τα φυτικά είδη και οι ποικιλίες, τα οποία απορροφούν τη UV-B μέσω της φυλλικής επιφάνειας (Murali and Teramura, 1986). 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. Η μειωμένη έκταση της φυλλικής επιφάνειας λειτουργεί ως προστατευτικό μέτρο αν και αυτό οδηγεί σε μείωση της φωτοσύνθεσης.

Η αυξημένη UV-B ακτινοβολία είναι δυνατόν να αλλοιώσει την αύξηση, την ανάπτυξη και την παραγωγή του βαμβακιού (Song *et al.*, 1999). Η υψηλή UV-B ακτινοβολία προκαλεί εγκαύματα στη φυλλική επιφάνεια στα ευαίσθητα φυτικά είδη (Mannig and Tiedeman, 1995). Η αυξημένη UV-B ακτινοβολία μειώνει τη φυλλική επιφάνεια, τη βιομάζα, τη φωτοσύνθεση και το ύψος των φυτών (Teramura and Sullivan, 1989, Teramura, 1993). Η μείωση της φυλλικής επιφάνειας οφείλεται στη μείωση της κυτταροδιαίρεσης (Corlett *et al.*, 1996). Η φυλλική επιφάνεια είναι ο ιστός απορρόφησης της UV-B (Bornman and Teramura, 1993). Σε αυξημένα επίπεδα της UV-B ακτινοβολίας το μήκος των μεσογονατίων είναι μειωμένο και αυτό οφείλεται στα λιγότερα κύτταρα ανά μεσογονάτιο παρά στο μήκος των κύτταρων. Η αυξημένη UV-B ακτινοβολία μειώνει την ποιότητα καρπών των φυτικών ειδών, τη χλωροφύλλη και αυξάνει την ευαισθησία στις ασθένειες (Tevini and Teramura, 1989, Bornman, 1989, Sullivan and Dillenburg, 1991, Panagopoulos *et al.*, 1992, Teramura, 1993). Ενώ, σύμφωνα με τον Rozema και τους συνεργάτες του (1997) η αυξημένη ποσότητα της UV-B ακτινοβολίας προκαλεί φωτομορφογενετικές αλλαγές στα φυτά παρά απώλειες παραγωγικότητας.

Οι άμεσες επιδράσεις της αυξανόμενης UV-B ακτινοβολίας πάνω στις διαδικασίες ανάπτυξης και μεταβολισμού των φυτών που καλλιεργήθηκαν σε συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας στον αγρό φαίνονται να είναι ελάχιστες και παροδικές (Rozema *et al.*, 1997), αν και η αυξανόμενη ποσότητα της UV-B είναι πιθανόν να επηρεάσει άμεσα κάποιες διαδικασίες φυτικών οικοσυστημάτων όπως είναι η αποσύνθεση των φυτών (Gehrke *et al.*, 1995). Οι περισσότερες μελέτες σχετικά με την επίδραση UV-B ακτινοβολίας έγιναν μέσα σε θερμοκήπια πριν από δυο δεκαετίες, όπου η μη φυσική φασματική ισορροπία της

ακτινοβολίας μπορεί να οδηγήσει σε μη αντικειμενικά συμπεράσματα, διότι μεταβάλλεται η ευαισθησία του φυτού απέναντι στη UV-B. Επομένως, είναι σημαντικό στα πειράματα να διατηρείται μια ρεαλιστική ισορροπία μεταξύ των διάφορων φασματικών περιοχών. Η UV-A ακτινοβολία και η ορατή ακτινοβολία (400-700 nm) είναι δυνατόν να έχουν βελτιωτικές επιδράσεις πάνω στις αντιδράσεις των φυτών στη UV-B ακτινοβολία. Στα πειράματα που διεξάγονται σε θερμοκήπια, η ορατή ακτινοβολία και η UV-A είναι συνήθως πολύ λιγότερη από ότι στο φως του ήλιου. Επομένως, ακόμη και αν ρεαλιστικά επίπεδα UV-B ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται μέσα στο θερμοκήπιο η αντίδραση του φυτού είναι πιθανόν να θεωρηθεί υπερβολική σε σχέση με τις συνθήκες υπαίθρου. Δυστυχώς μόνο το 15% των μελετών πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες υπαίθρου (Caldwell *et al.*, 1995). Οι επιδράσεις της UV-B ακτινοβολίας στα φυτά αποτέλεσαν αντικείμενο ερευνάς του Caldwell και των συνεργατών του (1995), οι οποίοι εξήτασαν περισσότερα από 200 είδη φυτών και ανακάλυψαν ότι περίπου το 20% απ' αυτά είναι ευαίσθητα, το 50% είναι μετρίως ευαίσθητα ή ανεκτικά και το 30% είναι τελείως απαθή απέναντι στη UV-B ακτινοβολία.

1.4 Παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την ευαισθησία των φυτών στη UV-B 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' ότι φύλλα με οριζόντιο προσανατολισμό. Τα μονοκοτυλήδονα που δεν έχουν οριζόντια φύλλα είναι λιγότερο ευαίσθητα στην UV-B ακτινοβολία απ' ότι τα δικοτυλήδονα που έχουν 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 (Stomatal aperture) 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.

Η βλάβη που οφείλεται στη UV-B ακτινοβολία έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης, τη μείωση των πρωτεϊνών και επιφέρει αυξημένη οξειδωτική καταπόνηση (Van *et al.*, 1976, Jordan *et al.*, 1992, Stapleton, 1992, Sullivan, 1997). Οι μηχανισμοί της επίδρασης της UV-B ακτινοβολίας πάνω στη φωτοσύνθεση εξετάστηκαν λεπτομερώς από τους Nogues και Baker (1998), οι οποίοι επιβεβαίωσαν την 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 μείωση της δραστηριότητας της Rubisco και της στοματικής αγωγιμότητας έχουν αναφερθεί συχνά ως παράγοντες που περιορίζουν την αφομοίωση του διοξειδίου του άνθρακα στα φύλλα που εκτίθενται στα αυξημένα επίπεδα της UV-B ακτινοβολίας (Jordan *et al.*, 1992). Πολλές φυσιολογικές και βιοχημικές μελέτες που έγιναν έδειξαν ότι η αυξημένη UV-B ακτινοβολία παρεμποδίζει την αφομοίωση του διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων ανάπτυξης των φυτών. Το διοξειδίου του άνθρακα δεν αποτελεί μόνο δομικό συστατικό για τη φωτοσύνθεση αλλά το αυξημένο ποσοστό του είναι ένας σημαντικός αναστολέας της οξυγονωτικής δράσης της καρβοξυλάσης της 1,5 δι-φωσφορικής ριβουλόζης (Rubisco) στα C₃ φυτά, αυξάνει τη φωτοσυνθετική ικανότητα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση σε βιομάζα και να μειώνεται η φωτοαναπνοή στην οποία δεσμεύεται το οξυγόνο και εκλύεται το διοξείδιο του άνθρακα χωρίς να έχουμε παράλληλη παραγωγή τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και νικοτινάμιδο-αδένινοφωσφο-δινουκλεοτίδιο (NADP⁺).

Η UV-B ακτινοβολία μειώνει τη φωτοσυνθετική ικανότητα καταστρέφοντας το φωτοσύστημα II (PSII) και τα συστατικά της διαδικασίας της καρβοξυλίωσης (Ryel *et al.*, 1990, Frisco *et al.*, 1994). Το φωτοσύστημα II αποτελείται από είκοσι πρωτεΐνες και είναι το πιο ευαίσθητο τμήμα της θυλακοειδούς μεμβράνης στην αυξημένη UV-B ακτινοβολία (Noorudeen and Kulandaivelu, 1982, Kramer *et al.*, 1992). 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. Η φωτοαδρανοποίηση του κέντρου αντίδρασης του PSII αποδίδεται στη μείωση της μεταφοράς των ηλεκτρονίων που έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση του κύκλου Calvin (Baker, and Bowyer, 1994) και στην υποβάθμιση της πρωτεΐνης D1 (Styring and Jegershold, 1994, Telfer and Barder, 1994), η οποία, αποδίδεται στη δραστηριότητα των πρωτεασών (Andersson *et al.*, 1994). Η πρωτεΐνη D1 κωδικοποιείται στο γένωμα των χλωροπλαστών από ένα γονίδιο, το *psbA* και αυτή η σύνθεση της στο χλωροπλάστη ρυθμίζεται από τους πυρηνικούς κωδικοποιημένους παράγοντες που

συντίθενται στο κυτόπλασμα (Rochaix, 1992). Η αύξηση της UV-B ακτινοβολίας επιφέρει ζημιά στα κέντρα αντίδρασης του PSII (Renger *et al.*, 1989). Το κέντρο αντίδρασης του PSII αποτελείται από την 32kDa πρωτεΐνη (D1), την D2 πρωτεΐνη, το κυτόχρωμα b559, τις φαιοφυτίνες και τις κινόνες (Marder *et al.*, 1987). Η ζημιά αυτή εμφανίζεται μόνο μετά από την παρεμπόδιση της αφομοίωσης του διοξειδίου του άνθρακα. Η ζημιά που προκαλεί η UV-B ακτινοβολία στο φωτοσύστημα II (PSII) μπορεί να αποκατασταθεί με τη βιοσύνθεση νέων ενζύμων που ενεργοποιούν την παραγωγή του φωτοσυστήματος II (PSII) (Jordan *et al.*, 1991). Η UV-B ακτινοβολία είναι η κύρια αιτία που προκαλεί τη μετουσίωση των πρωτεϊνών δηλαδή σπάζει τους ασθενείς δεσμούς που καθορίζουν την τρισδιάστατη δομή των πρωτεϊνικών μορίων, έτσι η βιολογική δράση της πρωτεΐνης χάνεται και οι φυσικοχημικές και χημικές ιδιότητες των πρωτεϊνών αλλάζουν ριζικά. Η μειωμένη ικανότητα φωτοσύνθεσης μπορεί να εκφραστεί από τους μειωμένους ρυθμούς απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα, από τη μειωμένη φυλλική επιφάνεια και από τη μείωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών. Οι αρνητικές επιδράσεις της αυξημένης UV-B ακτινοβολίας μπορούν να αποκατασταθούν μέσω της φωτοενεργοποίησης με την παρουσία της UV-A ακτινοβολίας και του λευκού φωτός (Bornman, 1989).

Οι βιοχημικές μελέτες είχαν δείξει ότι η αυξημένη UV-B ακτινοβολία καταστρέφει μια σειρά διαλυτών ενζύμων στους χλωροπλάστες (Bornman, 1989) και προκαλεί μείωση στο RNA, στην ενζυμική δραστηριότητα και στα πρωτεϊνικά επίπεδα διάφορων βασικών φωτοσυνθετικών πρωτεϊνών (Jordan *et al.*, 1991, 1992). Η UV-B ακτινοβολία έχει τοξική δράση στην RNA πολυμεράση. Επίσης, με την αύξηση της ροής της UV-B ακτινοβολίας 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 (Vu *et al.*, 1982, Jordan *et al.*, 1992).

Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μελέτες αλληλεπίδρασης της UV-B ακτινοβολίας με άλλες περιβαλλοντικές μεταβλητές όπως το αυξημένο διοξείδιο του άνθρακα. Η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα είχε θετική επίδραση στη φωτοσύνθεση και ειδικά κάτω από υψηλή ένταση UV-B. Κατά συνέπεια η αυξημένη UV-B ακτινοβολία έχει πολύ μικρή επίδραση στη φωτοσύνθεση των φυτών σε υψηλά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα (Zhao *et al.*, 2003). Οι Adams and Britz (1992) και ο Rozema με τους συνεργάτες του (1997) βρήκαν ότι ο διπλασιασμός του διοξειδίου του άνθρακα ασκεί θετική επίδραση στα φυτά που δέχθηκαν τη UV-B ακτινοβολία. Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα συνδέεται με μια παγκόσμια αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος και με αντίστοιχη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος (Hermann, *et al.*, 1993).

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

Η αυξημένη UV-B ακτινοβολία παρεμποδίζει τη δράση του ένζυμου K^+ -ATPάση. Η αλληλοδραστηριοποίηση των ATP-ασών ένζυμων μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά ακόμη και κάτω από τα χαμηλά επίπεδα της UV-B ακτινοβολίας ($0,06 \text{ Watt/m}^2$) (Drincovich *et al.*, 1998). Ένας πιθανός ρόλος της UV-B ακτινοβολίας είναι η υπερύθμιση των ένζυμων που είναι κλειδιά για τη φωτοσύνθεση στα φυτά. Η δράση του συνενζύμου $NADP^+$ αυξήθηκε θεαματικά μετά από την έκθεση σε χαμηλά επίπεδα λευκού φωτός με χαμηλή ένταση UV-B ακτινοβολίας (Edwards and Andreo, 1998). Το συνένζυμο $NADP^+$ εμφανίζεται στα C_3 και στα C_4 φυτά και καταλύει την αποκαρβοξυλίωση του πυρουβικού οξέος. Η χαμηλή ποσότητα της UV-B ακτινοβολίας ($0,06 \text{ Watt/m}^2$) αύξησε τη δράση του συνενζύμου αυτού κατά 50% στα φυτά, ενώ η συμπληρωματική UV-A ακτινοβολία δεν προκάλεσε καμία αξιοσημείωτη αύξηση στη δράση του συνενζύμου $NADP^+$ (Drincovich *et al.*, 1998). Αυτή η επίδραση της UV-B ακτινοβολίας στη φωτοσυνθετική ικανότητα του συνενζύμου $NADP^+$ και άλλων φωτοσυνθετικών ενζύμων θα πρέπει να αξιολογηθεί. Το φωτοσυνθετικό ισομερές του συνενζύμου $NADP^+$ αυξάνει σε δραστηριότητα και σε ποσότητα όταν υπάρχει σταθερή κατάσταση στο ριβονουκλεϊκό οξύ (RNA). Η αύξηση του συνενζύμου $NADP^+$ θα μπορούσε να αποδοθεί στη σύνθεση του ριβονουκλεϊκού οξέος (RNA) (Edwards and Andreo, 1998).

Επιπλέον, η εξέταση της περιοχής που προωθεί την ανάπτυξη του συνενζύμου $NADP^+$ έδειξε ότι αντιδρά στα διάφορα ερεθίσματα τα οποία συνδέονται με την άμυνα του φυτού απέναντι στους διάφορους εισβολείς (Schaaf *et al.*, 1995). Το δομικό σχήμα του ισομερούς συνενζύμου $NADP^+$ που εμπλέκεται στον C_4 κύκλο και εισάγεται με το λευκό φως παραμένει σχεδόν σταθερό κάτω από συνθήκες ενεργούς φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (PAR). Όταν αυξάνεται η δραστηριότητα του 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 *et al.*, 1997).

Επίσης, η υπερϊώδης UV-B ακτινοβολία προκαλεί το σχηματισμό σωματιδίων κυκλοβουτυλικής πυριμιδίνης στο DNA (Mitchell *et al.*, 1989). Η ζημιά στο DNA των φυτών μπορεί να συμβεί από την αυξημένη ποσότητα της UV-B ακτινοβολίας και από τη χαμηλή ποσότητα της UV-B ακτινοβολίας όταν έχει αυξηθεί ο χρόνος έκθεσης των φυτών στη UV-B, διότι μπορεί να προκαλέσει επιζήμιες επιδράσεις στο μοριακό επίπεδο του DNA και στο σχηματισμό του DNA (Strid *et al.*, 1994). Πιο συγκεκριμένα, η UV-B ακτινοβολία προκαλεί το σχηματισμό ισχυρών ομοιοπολικών δεσμών μεταξύ δύο διαδοχικών πυριμιδινικών βάσεων της ίδιας αλυσίδας. Το αποτέλεσμα της δημιουργίας αυτού του ζευγαριού είναι το σπάσιμο των ασθενών δεσμών με τις συμπληρωματικές βάσεις της άλλης αλυσίδας και κατά συνέπεια τη διατάραξη της οργάνωσης στο χώρο του διπλού έλικα. Η ζημιά της UV-B ακτινοβολίας

στο DNA είναι η αποκοπή των νουκλεοτιδίων. Σε μοριακό επίπεδο τα σωματίδια της κυκλοβουτυλικής πυριμιδίνης εμποδίζουν το ρόλο της DNA πολυμεράσης. Η πυριμιδίνη δεν μπορεί να σχηματίσει ζευγάρι βάσεων με άλλα νουκλεοτιδία. Το ένζυμο DNA-φωτολύαση (DNA Photolyase) καταλύει τη διεργασία της αποκατάστασης της ζημιάς στο DNA (Batschauer, 1993, Sancar, 1994) και απορροφά τη UV-B και τη μπλε ακτινοβολία και παρέχει ενέργεια για την κατάλυση αυτής της διεργασίας. Εκτός από τις φωτολύασης και τα γονίδια Rad51 συμβάλλουν στην αποκατάσταση ζημιάς του DNA και στη φωτοενεργοποίηση (Sancar, 1994). Η επίδραση της UV-B ακτινοβολίας στο DNA που είναι το σπάσιμο της αλυσίδας μπορεί να προκαλέσει γενετικές αλλαγές όπως το διαχωρισμό των χρωμοσωμάτων (McLennan, 1987). Ειδικότερα, στο μόριο του DNA, η αδενίνη συνδέεται με τη θυμίνη με δυο δεσμούς υδρογόνου και η γουανίνη με την κυτοσίνη με τρεις δεσμούς υδρογόνου, με την επίδραση όμως της UV-B ακτινοβολίας το DNA υφίσταται έναν αριθμό «πληγών» καθώς σπάζουν οι διπλοί και διάφοροι άλλοι δεσμοί υδρογόνου. Η βλάβη που προκαλείται στο DNA από τη UV-B ακτινοβολία εμπλέκεται στη διαδικασία αλλοίωσης της αναπαραγωγικής απόδοσης των ενήλικων φυτών στα ετήσια κυρίως είδη (Davies, 1995). Επίσης, η βλάβη στο DNA είναι ιδιαίτερης σημασίας κατά την διάρκεια της γονιμοποίησης και παραγωγής σπόρου (Musil, 1995).

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

Η αυξημένη UV-B ακτινοβολία αλλοιώνει τη δομή ή τη λειτουργία της φυλλικής μεμβράνης. Σύμφωνα με τον Wright και τους συνεργάτες του (1981) η αυξημένη UV-B αυξάνει την δράση των υπεροξειδωμένων λιπιδίων. Επιπρόσθετα, η αύξηση αυτή μειώνει τη αντίσταση της φυλλικής επιφάνειας (Doughty and Hope, 1973). Επίσης, μπορεί η αυξημένη ποσότητα της UV-B ακτινοβολίας να προκαλέσει ζημιά στα συστατικά των φυτικών μεμβρανών όπως είναι η βλάβη που προκαλεί στα δομικά λιπίδια της φυλλικής μεμβράνης, τα οποία συμμετέχουν ως δομικά συστατικά σε πολλές κυτταρικές δομές όλων των βιολογικών μεμβρανών όπως είναι η κυτοπλασματική μεμβράνη και οι μεμβράνες των οργανιδίων. Η δράση της UV-B προκαλεί την παραγωγή O_2^- και H_2O_2 , με αποτέλεσμα την αύξηση της υπεροξειδωτικής δραστηριότητας (SOD) και παράλληλα την αύξηση της υπεροξειδωσης των λιπιδίων της μεμβράνης. Οι αλλαγές αυτές με τη σειρά τους επιφέρουν αλλοιώσεις στη δομή της φυλλικής μεμβράνης και τελικά αυξάνει τη διαπερατότητα της μεμβράνης (Murphy, 1990, Yanqun and Chen, 2003). Η βλάβη που προκαλεί η UV-B ακτινοβολία στις φωτοσυνθετικές μεμβράνες του φύλλου εντοπίζεται μόνο μετά από έξι ώρες στη UV-B ακτινοβολία για τέσσερις διαδοχικές μέρες (Li *et al.*, 2000). Ελάχιστες όμως

αποδείξεις υπάρχουν ότι η βλάβη που προκαλείται από τη UV-B ακτινοβολία στις φυλλικές μεμβράνες είναι υπεύθυνη για το θάνατο των κύτταρων.

Η UV-B μειώνει τη βιωσιμότητα της γύρης των ανθέων και αυτό το στάδιο ανάπτυξης είναι κρίσιμο και ευάλωτο στις γενετικές βλάβες που προκαλεί η UV-B ακτινοβολία (Musil, 1995). Επιπρόσθετα, διατυπώθηκε η άποψη ότι η ζημιά που προκαλείται στο γένωμα του φυτικού είδους εξαιτίας της αυξημένης UV-B είναι δυνατόν να κληρονομείται από διαδοχικές γενεές του φυτικού είδους και επομένως να συσσωρεύεται στο γενετικό υλικό (Musil, 1996). Αυτό το είδος βλάβης μπορεί να είναι εξαιρετικά σοβαρό σε πληθυσμούς φυτών που εμφανίζουν γρήγορη παραγωγή γενεών, όπως τα ετήσια φυτικά είδη, που αναπτύσσονται σε περιβάλλον με υψηλή UV-B ακτινοβολία. Ωστόσο θα ήταν εξαιρετικά δαπανηρό να εξεταστεί η υπόθεση συσσώρευσης γενετικών βλαβών και αλλοιώσεων χρησιμοποιώντας γενετικές τεχνικές. Αντίθετα, η μείωση της φυλλικής επιφάνειας των φυτικών ειδών μπορεί να αποτελέσει ένα φθινό μέτρο που θα χρησιμοποιηθεί για να συμπεράνουμε αν η UV-B ακτινοβολία έχει δυσμενή επίδραση στην ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας.

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

Η εξέλιξη έθεσε σε εφαρμογή μηχανισμούς προστασίας απέναντι στη UV-B ακτινοβολία όπως είναι οι χρωστικές ουσίες, κυρίως τα φλαβονοειδή, τα οποία απορροφούν τη UV-B ακτινοβολία και οι κηροί της εφυμενίδας (Robberecht and Caldwell, 1998). Άλλες χρωστικές όπως οι ανθοκυάνες που συνθέτονται κάτω από υπερβολικές δόσεις UV-B ακτινοβολίας δεν είναι πολύ αποτελεσματικές στην απορρόφηση της UV-B. Η ξαφνική υπερφόρτωση με υπερβολική ένταση UV-B ακτινοβολίας προκαλεί βλάβη στα φυτά. Κάποια φυτικά είδη και πιθανόν γενότυποι φυτών διαφέρουν στην ικανότητα τους να αναπτύσσουν μηχανισμούς προστασίας όταν αναπτύσσονται κάτω από υπερβολική ένταση UV-B ακτινοβολίας.

Τα φλαβονοειδή είναι χρωστικές ουσίες υδατοδιαλυτές και άχρωμες και απορροφούν φως μεταξύ 280–320 nm (Kootstra, 1994). Έτσι, μειώνουν την καταστροφική ηλιακή UV-B ακτινοβολία αλλά διαβιβάζουν τη φωτοσυνθετική ενεργή ακτινοβολία στο μεσόφυλλο του φύλλου όπου γίνεται η φωτοσύνθεση μέσω του επιδερμικού στρώματος. Επίσης, λειτουργούν ως οπτικά φίλτρα, διότι απορροφούν τη UV-B ακτινοβολία και έτσι προφυλάσσουν τα φυτά από τις ζημιές που τους προκαλεί. Επομένως, ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της διείσδυσης της UV-B ακτινοβολίας είναι η αύξηση των φλαβονοειδών ή άλλων πολυφαινολικών ενώσεων (Lois, 1994). Οι ανθοκυάνες απορροφούν φως με μήκος κύματος περίπου 530 nm και μπορούν να παρέχουν προστασία (Markham, 1982, Strid, and Porra, 1992). Οι αλλαγές που προκαλούνται στη φυλλική μεμβράνη από τη UV-B ακτινοβολία πιθανόν να παίζουν αρνητικό ρόλο στη σύνθεση των ανθοκυανών (Murphy, 1990). Οι χρωστικές αυτές είναι χρήσιμες για την κανονική ανάπτυξη των φυτών και για την προστασία των κυτταρικών μακρομορίων. Τα ένζυμα τα οποία καταλύουν τα πρώτα στάδια βιοσύνθεσης των φλαβονοειδών όπως η συνθάση της χαλκόνης και τα ισομερή της χαλκόνης είναι πολύ ευαίσθητα στη UV-B ακτινοβολία (Li *et al.*, 1993, Stapleton and Walbot, 1994). Η συνθάση της χαλκόνης (CHS = chalcone synthase) παίζει πρωταρχικό ρόλο στην απορρόφησή της (Reuber *et al.*, 1996). Η διατάραξη του δευτερεύοντος μεταβολισμού στην περιοχή της ισομεράσης της χαλκόνης μείωσε την κανονική ανάπτυξη των φυτικών ειδών (Fiscus and Booker, 1995). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε ότι ως δευτερογενή ή δευτερεύοντα μεταβολισμό εννοούμε το σύνολο των αντιδράσεων κατά τις οποίες παράγονται διάφορες ουσίες, όπως οι χρωστικές, τα αλκαλοειδή και άλλες πολλές ουσίες των οποίων ο βιολογικός κύκλος δεν είναι απόλυτα ξεκάθαρος και δεν σχετίζεται με το μεταβολισμό της ενέργειας. Στους πολυκυτταρικούς οργανισμούς οι δευτερογενείς μεταβολίτες παράγονται σε ειδικά όργανα, σε ιστούς ή σε κύτταρα όπου απαντούν και τα

απαραίτητα ένζυμα για ορισμένους περιόδους φυτικής ανάπτυξης ή για τα στάδια διαφοροποίησης των φυτών.

Η φαινυλοπροπανοϊδική διαδρομή παράγει φλαβονοειδή προστατευτικά απέναντι στη UV -B ακτινοβολία και άλλα δευτερεύοντα συστατικά όπως η συνθάση και τα ισομερή της χαλκόνης. Το ένζυμο φαινυλανίνη αμμωνιλυάση (PAL) το οποίο είναι υπεύθυνο για τη βιοσύνθεση των φλαβονοειδών διεγείρεται αρνητικά από την υψηλή ένταση της UV-B ακτινοβολίας καθώς επίσης και από άλλες πίεςεις όπως είναι η βλάβη των φυτικών ιστών και οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (Takeda *et al.*, 1994). Ο μηχανισμός της εισαγωγής του ένζυμου φαινυλανίνη αμμωνιλυάση (PAL) δεν έχει εξακριβωθεί, όμως έχει διατυπωθεί η άποψη ότι το φυτόχρωμα είναι φωτοαποδέκτης που εμπλέκεται στην ενεργοποίηση του ένζυμου PAL (Dangl *et al.*, 1989). Η φαινυλανίνη αμμωνιλυάση (PAL) και η συνθάση της χαλκόνης (CHS) είναι βασικά ρυθμιστικά ένζυμα για τη φαινυλοπροπανοϊδική και τη φλαβονοειδή διαδρομή. Τα γονίδια της φαινυλανίνης αμμωνιλυάσης (PAL) επηρεάζονται από το φως και απορροφούνται από το φυτόχρωμα, από τους UV-A φωτοαποδέκτες, τους μπλε φωτοαποδέκτες, από τους μεταβολίτες και από τους ρυθμιστές αύξησης των φυτών. Υπάρχουν ενδείξεις πως τα φλαβονοειδή συγκεντρώνονται στον επιδερμικό ιστό των φυτών και μειώνουν τη βλάβη που προκαλείται από τη υπεριώδη-B ακτινοβολία (Jackson, and Jenkins, 1995). Μόνο η υπεριώδης-B ακτινοβολία μπορεί να ενεργοποιήσει τη διαδρομή των φλαβονοειδών ενώ το κόκκινο φως από μόνο του δεν επιφέρει την ανάλογη ενεργοποίηση των φλαβονοειδών. Τα φλαβονοειδή καθώς και άλλες απορροφητικές ουσίες που εντοπίζονται στα επιδερμικά κύτταρα της φυλλικής επιφάνειας του φυτού μειώνουν τις ζημιές της UV-B στο μεσόφυλλο των φυτών. Το περιεχόμενο των φλαβονοειδών στον επιδερμικό ιστό των φυτικών ειδών δεν επηρεάζει την εισαγωγή του συνενζύμου NADP⁺.

Τα φυτά που εκτίθενται συνεχώς στο ηλιακό φως έχουν αναπτύξει μηχανισμούς προστασίας για να περιορίσουν τη ζημιά που προκαλεί η UV-B ακτινοβολία στο DNA. Τα φυτικά κύτταρα έχουν βιοχημικούς μηχανισμούς οι οποίοι αποκαθιστούν τις ζημιές στο DNA και επιφέρουν σταθερότητα. Οι μηχανισμοί αυτοί αποκατάστασης των ζημιών είναι η αποκοπή των νουκλεοτιδίων (NER) και η αποκοπή των βάσεων (BER). Η βασική αντίδραση στην αποκοπή των βάσεων είναι το σπάσιμο του δεσμού που ενώνει τη βάση με το σάκχαρο από την υδρόλυση του N-γλυκοσυλικού δεσμού. Η αποκοπή των βάσεων προστατεύει το κύτταρο από τα αποτελέσματα της ζημιάς του DNA και συνάμα παρέχει αντίσταση στη ζημιά του DNA από τη UV-B ακτινοβολία. Οι ενζυμικές δραστηριότητες στην αποκοπή των βάσεων αποδίδονται στην ουρακίλη DNA γλυκοσυλάση (Talpaert –Borle and Liouzzi, 1982).

Η ξηρασία αποτελεί έναν σπουδαίο περιβαλλοντικό παράγοντα, ο οποίος περιορίζει την παραγωγικότητα πολλών καλλιεργειών και συνάμα επηρεάζει εξίσου την ποιότητα της παραγωγής σε αντίθεση με την υγρασία (Boyer, 1982). Υπάρχει μια εσωτερική σχέση

ανάμεσα στην ξηρασία και στη UV-B ακτινοβολία που επηρεάζει τις αντιδράσεις του φυτού, έτσι ώστε αυτές οι δυο πιέσεις να προκαλούν μια οξειδωτική έκρηξη (Alexieva *et al.*, 2001). Ο Schmidt και οι συνεργάτες του (2000) μετά από έρευνα διατύπωσαν την άποψη ότι η ξηρασία μετριάξει τις επιβλαβείς επιδράσεις της UV-B ακτινοβολίας στα φυτικά είδη με τη γρήγορη εισαγωγή των άνυδρων πρωτεϊνών και των ανταγωνιστών ωσμολυτών στη φυλλική μεμβράνη. Επιπρόσθετα, η παρατεταμένη ξηρασία μειώνει τη δράση των αντιοξειδωτικών ενζύμων (Teramura *et al.*, 1983). Ακόμη, η ξηρασία επιφέρει μια μείωση στο ύψος των φυτών, στο ποσοστό ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας, δηλαδή μειώνει τη φυλλική επιφάνεια και τις στοματικές κινήσεις των φύλλων με αποτέλεσμα να μειώνεται η απορρόφηση της UV-B ακτινοβολίας στα φύλλα (Hsiao, 1973). Ο Petropoulou και οι συνεργάτες του (1995) κατέδειξαν ότι σε φυτά που αναπτύχθηκαν κάτω από την αλληλεπίδραση της ξηρασίας με τη UV-B ακτινοβολία, η αδρανοποίηση του φωτοσυστήματος II (PSII) και η μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών ήταν μικρότερη σε σύγκριση με φυτά που εκτέθηκαν μόνο στη UV-B ακτινοβολία. Το κλείσιμο των στομάτων της φυλλικής επιφάνειας που προκαλείται είτε από την έλλειψη νερού είτε από την υψηλή περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα μειώνει το ποσοστό της UV-B ακτινοβολίας που απορροφάται και κατά συνέπεια μειώνει σε σημαντικό βαθμό τις βλάβες που επιφέρει η UV-B.

Το αμινοξύ προλίνη υπολογίστηκε ότι αυξήθηκε σημαντικά από τη ξηρασία στα νεαρά στάδια ανάπτυξης των εξής φυτικών ειδών: Βαμβάκι, Βιομηχανική Ντομάτα, Ζαχαρότευτλα Σκληρό σιτάρι, Σόργο, Καλαμπόκι (Heuer, 1994). Η προλίνη (Proline) είναι ένας βασικός παράγοντας που έχει την ικανότητα να ασκεί προστατευτική δράση απέναντι στην πίεση της UV-B. Είναι γνωστό ότι η προλίνη εμπλέκεται στη διαδικασία της εξομάλυνσης της κυτοσολικής οξειδωσης, η οποία συνδέεται με την πίεση της UV-B ακτινοβολίας (Kurkdjian and Guern, 1989). Η αφαίρεση του πλεονάζοντος υδρογόνου (H^+) που εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της σύνθεσης της προλίνης είναι πιθανόν να έχει θετική επίδραση στη μείωση της βλάβης που προκαλείται από τη UV-B ακτινοβολία. Απ' όσα γνωρίζουμε μέχρι τώρα δεν έχουν αναφερθεί δεδομένα σχετικά με την επίδραση της UV-B πάνω στον έλεγχο των κατιόντων υδρογόνου (H^+). Η 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 *et al.*, 1991 and Takeuchi *et al.*, 1993).

1.7 Οι επιπτώσεις της UV-B στο Βαμβάκι. Βιομηχανική ντομάτα, Ζαχαρότευτλο, Σκληρό σιτάρι, Σόργο, Καλαμπόκι από άλλους ερευνητές.

Στην ερευνά που έκανε ο Zhao και οι συνεργάτες του (2003) στο βαμβάκι κατέληξαν στο αποτέλεσμα ότι τα βαμβακόφυτα που δέχθηκαν UV-B εντάσεως $0,9 \text{ Watt/m}^2$ παρουσίασαν μείωση στο ύψος κατά 36%, στη χλωροφύλλη κατά 40% και στη φυλλική επιφάνεια κατά 48%. Οι Biggs και Kossuth (1981) σε μια έρευνα που έκαναν στη βιομηχανική ντομάτα κατέγραψαν ότι το ποσοστό μείωσης στο ύψος ήταν 25%, στη χλωροφύλλη 32% και στη φυλλική επιφάνεια 34%, ενώ στο καλαμπόκι η μείωση ήταν αντίστοιχα 30%, 40% και 50% για UV-B εντάσεως $0,8 \text{ Watt/m}^2$. Ο Panagopoulos και οι συνεργάτες του (1992) στην έρευνα που έκαναν στα ζαχαρότευτλα κατέγραψαν μείωση χλωροφύλλης κατά 28% για ποσότητα UV-B της τάξεως $0,76 \text{ Watt/m}^2$. Ο Mepsted και οι συνεργάτες του (1996) και ο Li και οι συνεργάτες του (2000) στην έρευνα που έκαναν στο σκληρό σιτάρι παρατήρησαν ότι η UV-B εντάσεως $0,85 \text{ Watt/m}^2$ επέφερε μείωση στο ύψος κατά 17%, στη χλωροφύλλη κατά 20% και στη φυλλική επιφάνεια κατά 25%.

Ο Hsiao το 1973 και ο Balakumar και οι συνεργάτες του (1993) ασχολήθηκαν με την αλληλεπίδραση της UV-B εντάσεως $0,5 \text{ Watt/m}^2$ και της ξηρασίας στο ύψος και στη φυλλική επιφάνεια στο καλαμπόκι και κατέγραψαν μείωση και στα δυο χαρακτηριστικά κατά 12,6% και 16%, αντίστοιχα. Δεν έχει μελετηθεί η επίδραση της UV-B στο υδατικό δυναμικό στα εξεταζόμενα φυτικά είδη καθώς και οι επιπτώσεις της στο σόργο από άλλους ερευνητές.

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Φαίνεται από τα παραπάνω ότι η UV-B ακτινοβολία επιφέρει σημαντικές βλάβες στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας που σχετίζονται με τη διατροφή των ανθρώπων και των ζώων. Είναι περιορισμένος ο αριθμός των ερευνητικών εργασιών που σχετίζονται με τις επιπτώσεις της UV-B σε φυτά με μεγάλη οικονομική σημασία για την Ελλάδα όπως το βαμβάκι, τη βιομηχανική ντομάτα, τα ζαχαρότευτλα, το σκληρό σιτάρι, το σόργο και το καλαμπόκι. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η επισήμανση και η μελέτη των επιδράσεων της UV-B ακτινοβολίας στη μορφολογία και στη φυσιολογία διάφορων ποικιλιών των παραπάνω ειδών κατά το νεαρό τους στάδιο ανάπτυξης. Επίσης, εξετάστηκε η αλληλεπίδραση της UV-B ακτινοβολίας με το υδατικό δυναμικό των ανώτερων φυτών όπως αυτό διαφοροποιείται από τη στέρηση άρδευσης. 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 Γεωργίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας την περίοδο Ιουνίου - Οκτωβρίου 2003. Χρησιμοποιήθηκαν δύο θάλαμοι όπου αναπτύσσονταν 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 εκπέμπονταν από τους λαμπτήρες ήταν 0.13 Watt/m². Η ένταση της ενέργειας της UV-B ελέγχθηκε από ειδικό αισθητήρα της εταιρείας Skye (Data Hog 2) (Instruments Ltd, Units 5/6 Dole Industrial Estate, Landrindon Wells, Powys, U.K). Στο θάλαμο που αναπτύσσονταν 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 ήταν διάφανο πλαστικό φύλλο της εταιρείας Πλαστικά Κρήτης (Ηράκλειο). Το φίλτρο αυτό προστασίας απορροφά τη UV-B ακτινοβολία και αποτρέπει τη διείσδυσή 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 - 4/10/03 (Πίν. 3.1.1).

Πίνακας 3.1.1: Μεταβολές της ελάχιστης, μέγιστης θερμοκρασίας (°C) και της σχετικής υγρασίας (%) σε θάλαμο ανάπτυξης κατά τη διάρκεια του πειράματος (28/6/03 - 4/10/03).

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
3/9/03	23,7	32,5	50
5/9/03	21,0	26,3	25
6/9/03	19,3	34,3	29
8/9/03	19,3	34,3	35
9/9/03	19,3	34,3	45
10/9/03	22,9	34,3	51
11/9/03	21,0	34,3	40
13/9/03	21,0	34,3	36
15/9/03	19,3	34,3	46
18/9/03	18,2	34,3	33
20/9/03	18,2	34,3	43
22/9/03	27,0	29,2	35
24/9/03	18,3	29,3	43
25/9/03	18,3	29,3	43
4/10/03	18,1	29,2	74

3.2 Φυτικό υλικό και συνθήκες ανάπτυξης.

Τα είδη των φυτών και οι ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: 1) στο βαμβάκι (*Gossypium hirsutum*), οι τέσσερις ποικιλίες: Carmen, Midas, Millennium, Sadra, 2) στη βιομηχανική ντομάτα η ποικιλία: Agata, 3) στα ζαχαρότευτλα (*Beta vulgaris*) οι τρεις ποικιλίες: Europa, Rival, Corsica, 4) στο σκληρό σιτάρι οι δύο ποικιλίες: Mexa, Simeto, 5)

στο σόργο η ποικιλία: Κροκίου και 6) στο καλαμπόκι η ποικιλία Constanza. Όλες οι ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν καλλιεργούνται ευρέως στην περιοχή της Θεσσαλίας.

Στις 28 Ιουνίου του 2003 έγινε σπορά των φυτών σε ειδικά μαύρα ημισκληρα τελάρα σαράντα θέσεων διαστάσεων 51 X 51 X 60 που περιείχαν υπόστρωμα 10:1 αναλογία τύρφη/περλίτη. Το φύτεμα των σπόρων πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις περίπου ημέρες από την ημέρα σποράς. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία ημέρας κατά τη 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. Αριθμός φυτών της βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαρότευτλων, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού υποβλήθηκαν εκτός από τη UV-B και σε υδατική καταπόνηση όπου παρέμειναν για τρεις μέρες δίχως άρδευση πριν εκτεθούν στη UV-B ακτινοβολία.

Στο στάδιο των δύο πραγματικών φύλλων σαράντα ομοιόμορφα φυτά από κάθε ποικιλία και είδος 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 μέχρι τις 18:00 ώρα. Επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα της ημέρας διότι συμπίπτουν με τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα όπου μπορεί να συμβεί ανάλογη έκθεση UV-B ακτινοβολίας στο περιβάλλον (Barnes *et al.*, 1996). Τα φυτά-μάρτυρες τοποθετήθηκαν στο δεύτερο θάλαμο στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης και για τα ίδια χρονικά διαστήματα με τα φυτά που εκτέθηκαν στη UV-B ακτινοβολία

3.3 Μετρήσεις - Παρατηρήσεις.

Σε δέκα αντιπροσωπευτικά φυτά που βρισκόταν στο στάδιο των δύο πραγματικών φύλλων αμέσως μετά 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 επιφάνειά 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 *et al.*, 1996). Για τη μέτρηση του υδατικού δυναμικού βλαστού χρησιμοποιήθηκε το όργανο Plant Moisture Vessel SKRM 1400 της εταιρείας Skye (Instruments Ltd, Units 5/6 Dole industrial Estate. Landrindon wells,

Powys, U.K). Για τη μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Li – 3000A (LI COR, Inc. 4421 Superior Street, Lincoln, NE USA).

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε επαρκώς αρδευόμενα (άρδευση κάθε μέρα) και μερικώς αρδευόμενα (άρδευση ανά τρεις ημέρες) φυτά βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού καθώς και μόνο σε επαρκώς αρδευόμενα φυτά βαμβακιού.

3.4 Στατιστική ανάλυση

Για την ανάλυση και τη μελέτη των αποτελεσμάτων των μετρήσεων έγινε ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) για τρεις παράγοντες (UV-B, ποικιλία, άρδευση) χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο MSTATC και το λογιστικό Microsoft –Excel στην περίπτωση των φυτών βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού, ενώ μόνο 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 και της υδατικής καταπόνησης στο ύψος.

Στους Πίνακες 4.1.1 και 4.1.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπτωσης της UV-B στο ύψος των επαρκώς και μερικώς αρδευόμενων φυτών αντίστοιχα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνω ότι η διαφοροποίηση του ύψους στους μάρτυρες και το μεγαλύτερο ύψος των φυτών της υδατικής καταπόνησης σε σχέση με τα επαρκώς αρδευόμενα οφείλεται στα φυτά που επιλέχθηκαν κατά τη δειγματοληψία. Στον Πίνακα 4.1.3 δίνονται στοιχεία της στατιστικής ανάλυσης του ύψους όπως αυτό επηρεάστηκε από τους παράγοντες του πειράματος.

Βαμβάκι

Η έκθεση στη UV-B ακτινοβολία μείωσε σε στατιστικώς σημαντικό βαθμό το ύψος επαρκώς αρδευόμενων φυτών. Στο χρονικό διάστημα των έξι, των τεσσάρων και των δύο ωρών στη UV-B ακτινοβολία η διαφορά του ύψους 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 Sadra 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. 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.

Βιομηχανική Ντομάτα

Μεταξύ των τριών διαφορετικών χρονικών διαστημάτων έκθεσης των φυτών στη UV-B (έξι, τέσσερις, δύο ώρες) η μείωση του ύψους ήταν 1,5 cm, 1,4 cm και 1,2 cm σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά. Η υδατική καταπόνηση λειτούργησε ως προστατευτικός παράγοντας απέναντι στη UV-B και μείωσε τη ζημιά από τη UV-B στο ύψος των φυτών. Όταν τα μερικώς αρδευόμενα φυτά δέχθηκαν τη UV-B ακτινοβολία για έξι, τέσσερις και δύο ώρες η μείωση του ύψους των φυτών ήταν αντίστοιχα 1 cm, 0,7 cm και 0,4 cm σε σύγκριση με τα φυτά – μάρτυρες.

Ζαχαρότευτλο

Στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών στην UV-B η μείωση του ύψους στις επαρκώς αρδευόμενες ποικιλίες Corsica, Rival και Europa ήταν κατά 1,2 cm, 1,4 cm και 1,6 cm ενώ στη χρονική διάρκεια έκθεσης των τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B η μείωση ήταν αντίστοιχα 1 cm, 1 cm, 1,2 cm και 0,3 cm, 0,5 cm, 0,8 cm. Συνεπώς η ποικιλία Corsica παρουσίασε μικρότερη μείωση στο ύψος σε σχέση με τις ποικιλίες Rival και Europa. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ύψους στις μερικώς αρδευόμενες ποικιλίες έδειξαν ότι η ποικιλία Corsica παρουσίασε μείωση στο ύψος στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι, τεσσάρων και δύο ωρών κατά 0,9 cm, 0,7 cm και 0,3 cm, ενώ οι ποικιλίες Rival και Europa κατά 1 cm, 0,9 cm, 0,5 cm και 2,2 cm, 1,1 cm, 1 cm αντίστοιχα. Συνεπώς, στα φυτά της μερικώς αρδευόμενης ποικιλίας Corsica, όπως και στην περίπτωση των επαρκώς αρδευόμενων φυτών, μετά την έκθεση της στη UV-B ο ρυθμός μείωσης του ύψους ήταν μικρότερος σε σχέση με τις ποικιλίες Rival και Europa. Στην αλληλεπίδραση της UV-B με τον παράγοντα άρδευση δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Σκληρό Σιτάρι

Η επαρκώς αρδευόμενη ποικιλία Simeto που δέχθηκε τη UV-B ακτινοβολία για έξι, τέσσερις και δύο ώρες είχε μείωση στο ύψος κατά 1,4 cm, 1,2 cm, και 0,5 cm αντίστοιχα, ενώ στην ποικιλία Mexa παρατηρήθηκε μεγαλύτερη μείωση που ήταν αντίστοιχα 3 cm, 2,6 cm και 1,6 cm σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες. Στην αλληλεπίδραση της UV-B με τον παράγοντα ποικιλία δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Μεταξύ των μερικώς αρδευόμενων ποικιλιών του σκληρού σιταριού που είχαν δεχθεί τη UV-B η ποικιλία Simeto στη διάρκεια έκθεσης των έξι, τεσσάρων και δύο ωρών παρουσίασε μείωση ύψους κατά 2 cm, 1,6 cm και 0,8 cm, ενώ στην ποικιλία Mexa η μείωση ήταν επίσης μεγαλύτερη της Simeto 2,4 cm, 2,1 cm και 0,8 cm.

Σόργο

Τα επαρκώς αρδευόμενα φυτά σόργου που είχαν δεχθεί τη UV-B ακτινοβολία για έξι ώρες παρουσίασαν μείωση στο ύψος των φυτών κατά 3,2 cm, ενώ για τέσσερις και δύο ώρες η μείωση του ύψους ήταν αντίστοιχα 3 cm και 2,9 cm. Επομένως, η αύξηση της χρονικής διάρκειας έκθεσης των επαρκώς αρδευόμενων φυτών στη UV-B ακτινοβολία μείωσε σε σημαντικό βαθμό το ύψος στο σόργο, όπως συνέβη και στα υπόλοιπα φυτά. Στα φυτά με υδατική καταπόνηση στην αλληλεπίδραση της UV-B δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Καλαμπόκι

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά που δέχθηκαν τη UV-B ακτινοβολία για έξι ώρες η μείωση στο ύψος των φυτών καλαμποκιού ήταν 6,1 cm, ενώ σε διάρκεια έκθεσης των τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B η μείωση ήταν αντίστοιχα 4,1 cm και 1,4 cm. Επομένως, στη χρονική διάρκεια έκθεσης των δυο ωρών στη UV-B ο ρυθμός μείωσης του ύψους ήταν μικρότερος έναντι της χρονικής διάρκειας έκθεσης των τεσσάρων και των έξι ωρών, όπως παρατηρήθηκε και στα άλλα είδη που μελετήθηκαν. Μεταξύ των τριών διαφορετικών χρονικών διαστημάτων έκθεσης των μερικώς αρδευόμενων φυτών στη UV-B (δύο, τέσσερις, έξι ώρες) η μείωση του ύψους ήταν 2,4 cm, 0,8 cm και 0,7 cm σε σχέση με τα φυτά – μάρτυρες, δηλαδή και πάλι μικρότερη από ότι στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά.

Πίνακας 4.1.1: Μεσοί όροι μετρήσεων ύψους (cm) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες έκθεσης στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά – μάρτυρες βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού.

ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ ΧΩΡΙΣ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ						
Είδος	Μαρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Βαμβάκι						
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					
Β. ντομάτα	12,00	10,80	10,30	8,90	11,10	9,60
E.Σ.Δ _(0,05)	0,33					
Ζαχαρότευτλο						
Europa	10,40	9,60	10,00	8,80	10,00	8,40
Rival	9,00	8,50	11,00	10,00	11,20	9,80
Corsica	10,00	9,70	11,00	10,00	11,00	9,80
E.Σ.Δ _(0,05)	0,13					
Σκληρό σιτάρι						
Mexa	25,40	23,80	25,40	22,80	26,10	23,10
Simeto	24,70	24,20	25,00	23,80	22,80	21,40
E.Σ.Δ _(0,05)	ns					
Σόργο	18,90	16,00	21,50	18,50	21,50	18,30
E.Σ.Δ _(0,05)	0,14					
Καλαμπόκι	33,20	31,80	35,90	31,80	36,50	30,40
E.Σ.Δ _(0,05)	0,81					

Πίνακας 4.1.2: Μεσοί όροι μετρήσεων ύψους (cm) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες έκθεσης στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά – μάρτυρες βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού που είναι μερικώς αρδευόμενα.

ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ ΜΕ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ						
Είδος	Μαρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Β. ντομάτα	11,50	11,10	11,30	10,60	10,30	9,30
E.Σ.Δ _(0,05)	0,53					
Ζαχαρότευτλο						
Europa	10,00	9,00	10,00	8,90	10,00	7,80
Rival	10,10	9,60	10,00	9,10	9,00	8,00
Corsica	9,00	8,70	11,00	10,30	10,00	9,10
E.Σ.Δ _(0,05)	0,12					
Σκληρό σιτάρι						
Mexa	29,00	28,20	25,40	23,30	25,80	23,40
Simeto	25,00	24,20	23,30	21,70	26,40	24,40
E.Σ.Δ _(0,05)	0,39					
Σόργο	17,80	16,70	24,40	23,20	25,10	23,80
E.Σ.Δ _(0,05)	ns					
Καλαμπόκι	28,70	28,00	31,20	30,40	32,00	29,60
E.Σ.Δ _(0,05)	1,04					

Πίνακας 4.1.3: Τιμές Βαθμών ελευθερίας (Β.Ε), κριτηρίου F, της πιθανότητας σφάλματος (P), συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) και ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Ε.Σ.Δ) για τις επιπτώσεις της διάρκειας έκθεσης, ποικιλίας, άρδευσης και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, στο ύψος φυτών βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού.

ΤΙΜΕΣ Β.Ε, F, ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ, Ε.Σ.Δ ΚΑΙ ΤΟ CV ΓΙΑ ΤΟ ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ					
ΕΙΔΗ	Π. ΠΑΡΑΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	Β.Ε	ΚΡΙΤΗΡΙΟ F	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ P	Ε.Σ.Δ _(0,05)
ΒΑΜΒΑΚΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	469	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	2168	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	18	<0,001***	0,14
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	5	<0,001***	0,24
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	CV(%)		3,25		
Β. ΝΤΟΜΑΤΑ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	78	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	9	0,004**	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	4	0,022*	0,33
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	4	0,041*	0,53
	CV(%)		5,56		
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	147	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	2	1576	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	1060	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	16	<0,001***	0,08
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	2	20	<0,001***	0,13
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	1	0,241ns	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	2	346	<0,001***	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	2	15	<0,001***	0,12
	CV(%)		1,38		
ΣΚΛΗΡΟ ΣΙΤΑΡΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	412	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	1	83	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	293	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	47	<0,001***	0,21
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	1	2	0,136ns	-
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	0,5		
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	446	<0,001***	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	17	<0,001***	0,39
	CV(%)		1,77		
ΣΟΡΓΟ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	8928	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	36	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	7	0,003**	0,14
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	4	0,066ns	-
	CV(%)		1,24		
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	20	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	127	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	0,8		0,81
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	0,2		1,04
	CV(%)		3,72		

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

4.2 Επιπτώσεις της UV-B και της υδατικής καταπόνησης στη χλωροφύλλη.

Στους Πίνακες 4.2.1 και 4.2.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπτωσης της UV-B στη χλωροφύλλη των επαρκώς και μερικώς αρδευόμενων φυτών αντίστοιχα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνω ότι η διαφοροποίηση της χλωροφύλλης στους μάρτυρες και η μεγαλύτερη χλωροφύλλη των φυτών της υδατικής καταπόνησης σε σχέση με τα επαρκώς αρδευόμενα οφείλεται στα φυτά που επιλέχθηκαν κατά τη δειγματοληψία. Στον Πίνακα 4.2.3 δίνονται στοιχεία της στατιστικής ανάλυσης της χλωροφύλλης όπως αυτό επηρεάστηκε από τους παράγοντες του πειράματος.

Βαμβάκι

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της χλωροφύλλης των φυτών που παρουσιάζονται δείχνουν ότι 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 η ποικιλία Midas υπέστη τη μεγαλύτερη αρνητική επίδραση.

Βιομηχανική Ντομάτα

Για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα έκθεσης στη UV-B ακτινοβολία η μείωση στη χλωροφύλλη ήταν 7,1 Spad, 3,3 Spad και 2,9 Spad σε σύγκριση με τα φυτά – μάρτυρες Η μείωση της χλωροφύλλης που έφερε η UV-B ακτινοβολία ήταν μικρότερη, όπως και στην περίπτωση του ύψους, όταν τα φυτά δέχθηκαν υδατική καταπόνηση πριν υποστούν την επίδραση της UV-B. Σε διάρκεια έκθεσης των έξι, τεσσάρων και δύο ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση χλωροφύλλης στα μερικώς αρδευόμενα ήταν αντίστοιχα 3,4 Spad, 2,8 Spad και 2,6 Spad σε σχέση με τα φυτά – μάρτυρες.

Ζαχαρότευτλο

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της χλωροφύλλης στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά έδειξαν ότι στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση στη

χλωροφύλλη στις ποικιλίες Corsica, Rival και Europa ήταν κατά 4,5 Spad, 4,7 Spad και 5,6 Spad, ενώ στη χρονική διάρκεια έκθεσης των τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B η μείωση ήταν αντίστοιχα 3,8 Spad, 4,3 Spad 4,9 Spad και 2,2 Spad, 2,8 Spad, 2,9 Spad. Τα αποτελέσματα της συνδυασμένης ανάλυσης των ποικιλιών με τη UV-B έδειξαν ότι η ποικιλία Corsica παρουσίασε, όπως και στην περίπτωση του ύψους φυτών, μικρότερη μείωση στη χλωροφύλλη σε σχέση με τις ποικιλίες Rival και Europa. Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι, τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B ακτινοβολία η ποικιλία Corsica παρουσίασε και πάλι μικρότερη μείωση χλωροφύλλης κατά 3,9 Spad, 3,3 Spad και 2,1 Spad, ενώ στην Rival και Europa η μείωση ήταν 5,1 Spad, 3,4 Spad, 2,4 Spad, και 5,2 Spad, 3,8 Spad, 2,7 Spad, αντίστοιχα. Επομένως, η ποικιλία Corsica υπέστη μικρότερη μείωση στη χλωροφύλλη από τη UV-B σε σχέση με τις ποικιλίες Rival και Europa και στις δύο υδατικές καταστάσεις.

Σκληρό Σιτάρι

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της χλωροφύλλης στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά έδειξαν σημαντικές μειώσεις όταν αυξανόταν η χρονική διάρκεια έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία. Στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι, τεσσάρων και δύο ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση της χλωροφύλλης στην ποικιλία Simeto ήταν αντίστοιχα 7 Spad, 5,6 Spad και 4,8 Spad, ενώ στην ποικιλία Mexa ήταν 9 Spad, 7,6 Spad και 5,5 Spad σε σύγκριση πάντα με τα φυτά – μάρτυρες. Συνεπώς μεταξύ των δύο ποικιλιών, η ποικιλία Simeto παρουσίασε, όπως και στην περίπτωση του ύψους των φυτών, μικρότερη μείωση χλωροφύλλης σε σύγκριση με την ποικιλία Mexa. Ομοίως, στα μερικώς αρδευόμενα φυτά η ποικιλία Simeto στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι, των τεσσάρων και των δύο ωρών παρουσίασε κατά 6,8 Spad, 4,9 Spad και 2 Spad, ενώ στην ποικιλία Mexa η μείωση ήταν 8,2 Spad, 5,5 Spad και 4,4 Spad, αντίστοιχα. Από τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται επίσης ότι η υδατική καταπόνηση περιόρισε τη δυσμενή επίδραση της UV-B ακτινοβολίας στη μείωση της χλωροφύλλης, όπως συνέβη και στην περίπτωση του ύψους των φυτών.

Σόργο

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση της χλωροφύλλης ήταν 8,4 Spad, ενώ σε χρόνο έκθεσης των τεσσάρων και δύο ωρών η μείωση ήταν αντίστοιχα 8 Spad και 7,2 Spad σε σύγκριση με τα φυτά – μάρτυρες. Άρα, η αύξηση του χρόνου έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία μείωσε σε στατιστικά σημαντικό βαθμό τη χλωροφύλλη. Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συνδυασμένης ανάλυσης της UV-B με τη διάρκεια έκθεσης φαίνεται ότι σε χρόνο έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία η χλωροφύλλη μειώθηκε κατά 5,9

Spad, ενώ σε χρόνο έκθεσης των τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B η μείωση ήταν αντίστοιχα 5,1 Spad και 2 Spad σε σύγκριση με τα φυτά – μάρτυρες, δηλαδή και πάλι μικρότερη όπως και στην περίπτωση των επαρκώς αρδευόμενων φυτών. Επίσης, φάνηκε ότι η υδατική καταπόνηση περιόρισε τη μείωση της χλωροφύλλης από τη UV-B.

Καλαμπόκι

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της χλωροφύλλης έδειξαν ότι τα επαρκώς αρδευόμενα φυτά καλαμποκιού που δέχθηκαν τη UV-B ακτινοβολία για έξι ώρες παρουσίασαν μείωση στη χλωροφύλλη κατά 8 Spad, ενώ σε διάρκεια έκθεσης τεσσάρων και δυο ωρών η μείωση στη χλωροφύλλη ήταν αντίστοιχα 7,4 Spad και 7 Spad σε σύγκριση με τα φυτά – μάρτυρες. Συνεπώς, η μείωση της χλωροφύλλης ήταν μεγαλύτερη στην αυξημένη διάρκεια έκθεσης των φυτών στη UV-B. Μεταξύ των τριών διαφορετικών χρονικών διαστημάτων έκθεσης των μερικώς αρδευόμενων φυτών στη UV-B (δύο, τέσσερις, έξι ώρες) η μείωση στη χλωροφύλλη ήταν 7 Spad, 6 Spad και 4,5 Spad σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αντίστοιχα του ύψους φυτών.

Πίνακας 4.2.1: Μεσοί όροι μετρήσεων χλωροφύλλης (spad) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες έκθεσης στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά – μάρτυρες βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού.

ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ ΧΩΡΙΣ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ						
Είδος	Μαρτ.2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ.4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ.6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Βαμβάκι						
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
E.Σ.Δ _(0,05)	3,74					
Β. ντομάτα	19,70	16,80	19,60	16,30	20,80	13,70
E.Σ.Δ _(0,05)	0,16					
Ζαχαρότευτλο						
Europa	17,90	15,00	18,20	13,30	18,40	12,80
Rival	18,40	15,60	18,60	14,30	18,00	13,30
Corsica	18,60	16,40	18,40	14,60	18,40	13,90
E.Σ.Δ _(0,05)	0,21					
Σκληρό σιτάρι						
Mexa	25,30	19,80	19,80	12,20	25,70	16,70
Simeto	24,00	19,20	27,30	21,70	21,00	14,00
E.Σ.Δ _(0,05)	0,46					
Σόργο	16,90	9,70	16,20	8,20	14,60	6,20
E.Σ.Δ _(0,05)	0,17					
Καλαμπόκι	24,60	17,60	23,00	15,60	24,00	16,00
E.Σ.Δ _(0,05)	0,26					

Πίνακας 4.2.2: Μεσοί όροι μετρήσεων χλωροφύλλης (spad) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες έκθεσης στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά – μάρτυρες βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού που είναι μερικώς αρδευόμενα.

ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ ΜΕ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ						
Είδος	Μαρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Β. ντομάτα	20,50	17,90	19,50	16,70	20,40	17,00
E.Σ.Δ _(0,05)	0,33					
Ζαχαρότευτλο						
Europa	18,60	15,90	18,80	15,00	18,60	13,40
Rival	18,40	16,00	18,00	14,60	18,40	13,30
Corsica	18,90	16,80	18,70	15,40	17,70	13,80
E.Σ.Δ _(0,05)	0,31					
Σκληρό σιτάρι						
Mexa	24,80	20,40	27,80	22,30	27,30	19,10
Simeto	23,90	21,90	26,70	21,80	24,70	17,90
E.Σ.Δ _(0,05)	0,63					
Σόργο	20,40	18,40	21,50	16,40	20,80	14,90
E.Σ.Δ _(0,05)	0,24					
Καλαμπόκι	25,50	21,00	26,00	20,00	25,70	18,70
E.Σ.Δ _(0,05)	0,37					

Πίνακας 4.2.3: Τιμές Βαθμών ελευθερίας (Β.Ε), κριτηρίου F, της πιθανότητας σφάλματος (P) συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) και ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Ε.Σ.Δ) για τις επιπτώσεις της διάρκειας έκθεσης, ποικιλίας, άρδευσης και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, στη χλωροφύλλη φυτών βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού.

ΤΙΜΕΣ Β.Ε, F, ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ, Ε.Σ.Δ ΚΑΙ ΤΟ CV ΓΙΑ ΤΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ ΦΥΤΩΝ					
ΕΙΔΗ	Π. ΠΑΡΑΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	Β.Ε	ΚΡΙΤΗΡΙΟ F	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ P	Ε.Σ.Δ _(0,05)
ΒΑΜΒΑΚΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	612	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	303	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	197	<0,001***	0,72
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	24	<0,001***	3,72
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	CV(%)		2,94		
Β. ΝΤΟΜΑΤΑ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	3431	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	2510	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	4263	<0,001***	0,16
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	1819	<0,001***	0,33
	CV(%)		2,12		
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	403	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	2	74	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	93	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	215	<0,001***	0,14
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	2	34	<0,001***	0,21
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	33	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	2	5	0,007**	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	2	9	<0,001***	0,31
	CV(%)		2,18		
ΣΚΛΗΡΟ ΣΙΤΑΡΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	334	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	1	1110	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	858	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	108	<0,001***	0,34
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	1	29	<0,001***	0,46
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	50	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	189	<0,001***	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	21	<0,001***	0,63
	CV(%)		3,21		
ΣΟΡΓΟ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	586	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	929	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	688	<0,001***	0,17
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	626	<0,001***	0,24
	CV(%)		1,47		
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	207	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	848	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	157	<0,001***	0,26
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	34	<0,001***	0,37
	CV(%)		1,87		

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

4.3 Επιπτώσεις της UV-B και της υδατικής καταπόνησης στο υδατικό δυναμικό.

Στους Πίνακες 4.3.1 και 4.3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπτωσης της UV-B στο υδατικό δυναμικό των επαρκώς και μερικώς αρδευόμενων φυτών αντίστοιχα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνω ότι η διαφοροποίηση του υδατικού δυναμικού στους μάρτυρες και το μεγαλύτερο υδατικό δυναμικό των φυτών της υδατικής καταπόνησης σε σχέση με τα επαρκώς αρδευόμενα οφείλεται στα φυτά που επιλέχθηκαν κατά τη δειγματοληψία. Στον Πίνακα 4.3.3 δίνονται στοιχεία της στατιστικής ανάλυσης του υδατικού δυναμικού όπως αυτό επηρεάστηκε από τους παράγοντες του πειράματος.

Βαμβάκι

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, στη Sadra κατά 2,6 bar, 2,1 bar και 1,1 bar και στη Millenium κατά 2,8 bar, 2,1 bar και 1,3 bar σε σύγκριση με τα αντίστοιχα φυτά μάρτυρες. 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 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 σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες.

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

Βιομηχανική Ντομάτα

Σε χρονικό διάστημα των έξι, τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση του υδατικού δυναμικού ήταν αντίστοιχα 4,3 bar, 3,3 bar και 2,2 bar. Συνεπώς το υδατικό δυναμικό μειώθηκε αναλόγως του χρόνου έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία, όπως παρατηρήθηκε και στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά. Η αυξανόμενη διάρκεια έκθεσης στα μερικώς αρδευόμενα φυτά στη UV-B επέφερε στατιστικώς σημαντικές μειώσεις στο υδατικό δυναμικό των φυτών. Σε διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία τα μερικώς αρδευόμενα φυτά παρουσίασαν μείωση στο υδατικό δυναμικό κατά 3,9 bar, ενώ στη διάρκεια έκθεσης των τεσσάρων και δύο ωρών η μείωση ήταν αντίστοιχα

2,4 bar και 1 bar σε σύγκριση με τα αντίστοιχα φυτά μάρτυρες. Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν ότι παρατηρήθηκε και πάλι μικρότερη δυσμενής επίδραση της UV-B ακτινοβολίας στα φυτά με περιορισμένη άρδευση σε σχέση με τα επαρκώς αρδευόμενα.

Ζαχαρότευτλο

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συνδυασμένης ανάλυσης της UV-B και της διάρκειας έκθεσης φαίνεται ότι σε χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση στο υδατικό δυναμικό στις ποικιλίες Corsica, Rival και Europa ήταν 2 bar, 2,1 bar και 3 bar ενώ σε διάρκεια έκθεσης τεσσάρων και δυο ωρών η μείωση ήταν 1,5 bar, 1,7 bar, 2,6 bar και 1,1 bar, 1,2 bar, 1,9 bar, αντίστοιχα. Επομένως, η ποικιλία Corsica βρισκόταν σε καλύτερη υδατική κατάσταση μετά την έκθεση στη UV-B σε σχέση με τις ποικιλίες Rival και Europa. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του υδατικού δυναμικού στα μερικώς αρδευόμενα φυτά έδειξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών. Συγκεκριμένα, η ποικιλία Corsica στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών, τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B ακτινοβολία παρουσίασε μείωση στο υδατικό δυναμικό κατά 1,5 bar, 1,2 bar, 0,7 bar, ενώ οι ποικιλίες Rival και Europa παρουσίασαν μείωση κατά 1,8 bar, 1,6 bar, 0,8 bar και 2,4 bar, 1,8 bar, 0,9 bar, αντίστοιχα. Άρα, η ποικιλία Corsica, όπως και στην περίπτωση των επαρκώς αρδευόμενων φυτών, βρισκόταν σε καλύτερη υδατική κατάσταση μετά την έκθεση της στη UV-B έναντι των ποικιλιών Rival και Europa. Η μειωμένη δυσμενής επίδραση της UV-B ακτινοβολίας λόγω της υδατικής καταπόνησης των φυτών ήταν και στην περίπτωση αυτή εμφανής.

Σκληρό Σιτάρι

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά σε χρονική διάρκεια έξι, τεσσάρων και δύο ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση στο υδατικό δυναμικό στην ποικιλία Simeto ήταν αντίστοιχα 2,7 bar, 2,4 bar και 1,5 bar, ενώ στην ποικιλία Mexa ήταν 3,6 bar, 2,9 bar και 2,2 bar σε σύγκριση με τα φυτά – μάρτυρες. Συνεπώς, η ποικιλία Simeto υπερείχε σε υδατικό δυναμικό σε σχέση με την ποικιλία Mexa μετά από την έκθεση στη UV-B ακτινοβολία. Επίσης, και στα μερικώς αρδευόμενα φυτά μεταξύ των δύο ποικιλιών, η ποικιλία Simeto παρουσίασε μικρότερη μείωση σε σχέση με την ποικιλία Mexa. Η Simeto στη χρονική διάρκεια έκθεσης έξι, τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B ακτινοβολία είχε μείωση στο υδατικό δυναμικό κατά 1,9 bar, 1,5 bar και 0,9 bar, ενώ η ποικιλία Mexa είχε μείωση κατά 2,7 bar, 2,2 bar και 1,5 bar αντιστοίχως. Σημειώνεται ότι και πάλι η μείωση της χλωροφύλλης ήταν μικρότερη στα μερικώς αρδευόμενα φυτά.

Σόργο

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία φαίνεται ότι η μείωση στο υδατικό δυναμικό του σόργου ήταν 4,7 bar, ενώ στις περιπτώσεις των τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B η μείωση ήταν 3,3 bar και 2,9 bar, αντίστοιχα ως προς το υδατικό δυναμικό. Συνεπώς, η αύξηση του χρόνου έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία προκάλεσε σημαντική μείωση στο υδατικό δυναμικό. Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά τα αποτελέσματα της ανάλυσης του υδατικού δυναμικού που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3.2 έδειξαν ότι σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση στο υδατικό δυναμικό ήταν 2 bar, ενώ σε διάρκεια έκθεσης τεσσάρων και δυο ωρών η μείωση ήταν 1,8 bar και 0,8 bar, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αντίστοιχα των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών.

Καλαμπόκι

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά η αυξημένη διάρκεια έκθεσης των φυτών στη UV-B μείωσε σε στατιστικό σημαντικό βαθμό το υδατικό δυναμικό, όπως συνέβη και στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία το υδατικό δυναμικό μειώθηκε κατά 4,4 bar, ενώ σε χρόνο έκθεσης τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B η μείωση ήταν αντίστοιχα 3,9 bar και 2,8 bar σε σχέση με τα φυτά – μάρτυρες. Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά φαίνεται ότι η χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B προκάλεσε μείωση στο υδατικό δυναμικό κατά 2,7 bar έναντι της διάρκειας έκθεσης των τεσσάρων και δύο ωρών στη UV-B ακτινοβολία που η μείωση ήταν κατά 1,2 bar και 0,9 bar, αντίστοιχα. Δηλαδή φάνηκε και πάλι ότι η υδατική καταπόνηση περιόρισε τη δυσμενή επίδραση της UV-B.

Πίνακας 4.3.1: Μεσοί όροι μετρήσεων υδατικού δυναμικού (bar) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες έκθεσης στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά – μάρτυρες βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού.

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΧΩΡΙΣ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ						
Είδος	Μαρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Βαμβάκι						
Carmen	8	8,7	6,5	8,5	5,1	7,4
Midas	6	7,5	7,4	10,9	4,9	10,7
Sadra	7	8,1	5,4	7,5	4,7	7,3
Millenium	7,3	8,6	6,3	8,4	7,6	10,4
E.Σ.Δ _(0,05)	0,19					
Β. ντομάτα	6,7	8,9	2,4	5,7	3	7,3
E.Σ.Δ _(0,05)	0,09					
Ζαχαρότευτλο						
Europa	5,4	7,3	4,7	7,3	4,3	7,3
Rival	4,7	5,9	4,7	6,4	3,5	5,6
Corsica	5,5	6,5	4,1	5,6	4,4	6,4
E.Σ.Δ _(0,05)	0,04					
Σκληρό σιτάρι						
Mexa	7	9,2	6,3	9,2	6,4	10
Simeto	7,9	9,4	8,4	10,8	7,6	10,3
E.Σ.Δ _(0,05)	0,07					
Σόργο	5,2	8,1	4,7	8	3,5	8,2
E.Σ.Δ _(0,05)	0,12					
Καλαμπόκι	6,1	8,9	4,5	8,4	4,6	9
E.Σ.Δ _(0,05)	0,11					



Πίνακας 4.3.2: Μεσοί όροι μετρήσεων υδατικού δυναμικού (bar) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες έκθεσης στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά – μάρτυρες βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού που είναι μερικώς αρδευόμενα.

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ						
Είδος	Μαρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Β. ντομάτα	7,90	8,90	6,00	8,40	4,10	8,00
E.Σ.Δ _(0,05)	0,16					
Ζαχαρότευτλο						
Europa	6,00	6,90	5,50	7,30	5,00	7,40
Rival	5,10	5,90	5,40	7,00	5,30	7,10
Corsica	5,20	5,90	6,20	7,40	4,60	6,10
E.Σ.Δ _(0,05)	0,06					
Σκληρό σιτάρι						
Mexa	9,10	10,60	6,80	9,00	8,10	10,80
Simeto	8,70	9,60	9,20	10,70	7,70	9,60
E.Σ.Δ _(0,05)	0,07					
Σόργο	7,50	8,30	6,80	8,60	6,00	8,00
E.Σ.Δ _(0,05)	0,08					
Καλαμπόκι	8,30	9,20	7,80	9,00	6,10	8,80
E.Σ.Δ _(0,05)	0,24					

Πίνακας 4.3.3: Τιμές Βαθμών ελευθερίας (Β.Ε), κριτηρίου F, της πιθανότητας σφάλματος (Ρ) συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) και ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Ε.Σ.Δ) για τις επιπτώσεις της διάρκειας έκθεσης, ποικιλίας, άρδευσης και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, στο υδατικό δυναμικό φυτών βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού.

ΤΙΜΕΣ Β.Ε, F, ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ, Ε.Σ.Δ ΚΑΙ ΤΟ CV ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ					
ΕΙΔΗ	Π. ΠΑΡΑΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	Β.Ε	ΚΡΙΤΗΡΙΟ F	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ Ρ	Ε.Σ.Δ _(0,05)
ΒΑΜΒΑΚΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	3350	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	596	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	555	<0,001***	0,09
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	212	<0,001***	0,19
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	CV(%)			3,25	
Β. ΝΤΟΜΑΤΑ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	5058	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	2332	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	618	<0,001***	0,09
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	173	<0,001***	0,16
	CV(%)			2,7	
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	553	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	2	7842	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	4951	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	545	<0,001***	0,04
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	2	1085	<0,001***	0,04
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	1064	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	2	99	<0,001***	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	2	110	<0,001***	0,06
	CV(%)			1,25	
ΣΚΛΗΡΟ ΣΙΤΑΡΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	3926	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	1	4727	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	3632	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	1321	<0,001***	0,03
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	1	252	<0,001***	0,06
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	1435	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	348	<0,001***	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	139	<0,001***	0,07
	CV(%)			0,92	
ΣΟΡΓΟ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	181	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	809	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	114	<0,001***	0,12
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	796	<0,001***	0,08
	CV(%)			1,29	
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	401	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	569	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	113	<0,001***	0,11
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	254	<0,001***	0,24
	CV(%)			3,47	

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

4.4 Επιπτώσεις της UV-B και της υδατικής καταπόνησης στη φυλλική επιφάνεια.

Στους Πίνακες 4.4.1 και 4.4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπτωσης της UV-B στη φυλλική επιφάνεια των επαρκώς και μερικώς αρδευόμενων φυτών αντίστοιχα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνω ότι η διαφοροποίηση της φυλλικής επιφάνειας στους μάρτυρες και η μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια των φυτών της υδατικής καταπόνησης σε σχέση με τα επαρκώς αρδευόμενα οφείλεται στα φυτά που επιλέχθηκαν κατά τη δειγματοληψία. Στον Πίνακα 4.4.3 δίνονται στοιχεία της στατιστικής ανάλυσης της φυλλικής επιφάνειας όπως αυτό επηρεάστηκε από τους παράγοντες του πειράματος.

Βαμβάκι

Όταν ο χρόνος έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία ήταν έξι, τέσσερις και δύο ώρες, η φυλλική επιφάνεια μειώθηκε στην ποικιλία Carmen κατά $6,6 \text{ cm}^2$, 6 cm^2 και $3,4 \text{ cm}^2$, στην ποικιλία Midas κατά $9,5 \text{ cm}^2$, $7,8 \text{ cm}^2$ και $6,4 \text{ cm}^2$, ενώ στις ποικιλίες Sadra και Millennium κατά 7 cm^2 , $6,2 \text{ cm}^2$, $5,5 \text{ cm}^2$ και $7,8 \text{ cm}^2$, $6,8 \text{ cm}^2$ και $6,3 \text{ cm}^2$, αντίστοιχα σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες. Επομένως, η ποικιλία Carmen και ως προς τη φυλλική επιφάνεια συμπεριφέρθηκε καλύτερα έναντι των άλλων ποικιλιών, όπως συνέβη και στα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν (ύψος φυτού, χλωροφύλλη, υδατικό δυναμικό).

Βιομηχανική Ντομάτα

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά σε διάρκεια έκθεσης έξι, τεσσάρων και δύο ωρών στη UV-B ακτινοβολία τα φυτά παρουσίασαν μείωση ως προς την φυλλική επιφάνεια της τάξεως των $5,1 \text{ cm}^2$, $4,8 \text{ cm}^2$ και $4,4 \text{ cm}^2$ αντίστοιχα σε σύγκριση πάντα με τα φυτά – μάρτυρες. Επομένως, η αύξηση της διάρκειας έκθεσης των φυτών στη UV-B μείωσε σε σημαντικό βαθμό τη φυλλική τους επιφάνεια, όπως συνέβη και στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά του φυτού. Σε χρονικό διάστημα έκθεσης των έξι, των τεσσάρων και των δύο ωρών στη UV-B η μείωση στη φυλλική επιφάνεια που παρουσίασαν τα μερικώς αρδευόμενα φυτά ήταν αντίστοιχα $4,7 \text{ cm}^2$, $4,2 \text{ cm}^2$ και $4,1 \text{ cm}^2$ σε σύγκριση με τα φυτά – μάρτυρες. Από τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται ότι η υδατική καταπόνηση μείωσε τη δυσμενή επίδραση της UV-B ακτινοβολίας στη φυλλική επιφάνεια, όπως συνέβη και στην περίπτωση του ύψους, της χλωροφύλλης και του υδατικού δυναμικού.

Ζαχαρότευτλο

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά μεταξύ των ποικιλιών, η ποικιλία Corsica παρουσίασε μείωση στη φυλλική επιφάνεια στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι, τεσσάρων και δύο ωρών κατά $1,7 \text{ cm}^2$, $1,2 \text{ cm}^2$ και $1,1 \text{ cm}^2$, ενώ οι ποικιλίες Rival και Europa παρουσίασαν μείωση κατά $1,9 \text{ cm}^2$, $1,8 \text{ cm}^2$, $1,7 \text{ cm}^2$ και $3,5 \text{ cm}^2$, $1,9 \text{ cm}^2$ και $1,8 \text{ cm}^2$ αντίστοιχα σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες. Συνεπώς, η ποικιλία Corsica παρουσίασε και πάλι μεγαλύτερη τιμή φυλλικής επιφάνειας έναντι των ποικιλιών Rival και Europa. Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά η ποικιλία Corsica στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι, τεσσάρων και δύο ωρών στη UV-B ακτινοβολία παρουσίασε μείωση στη φυλλική επιφάνεια κατά $1,9 \text{ cm}^2$, 1 cm^2 και $0,9 \text{ cm}^2$, ενώ στις ποικιλίες Rival και Europa η μείωση ήταν $2,3 \text{ cm}^2$, 2 cm^2 , $1,6 \text{ cm}^2$ και $3,4 \text{ cm}^2$, $2,1 \text{ cm}^2$, $1,8 \text{ cm}^2$ αντίστοιχα σε σύγκριση με τα φυτά – μάρτυρες. Μεταξύ των τριών ποικιλιών, ο ρυθμός μείωσης της φυλλικής επιφάνειας ήταν και πάλι μικρότερος στην ποικιλία Corsica μετά την έκθεση της στη UV-B σε σύγκριση με τις ποικιλίες Rival και Europa.

Σκληρό Σιτάρι

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά τα αποτελέσματα της συνδυασμένης ανάλυσης της διάρκειας έκθεσης με τη UV-B έδειξαν ότι σε χρονική διάρκεια έκθεσης έξι, τεσσάρων και δύο ωρών στη UV-B η φυλλική επιφάνεια στην ποικιλία Simeto μειώθηκε κατά $2,6 \text{ cm}^2$, $1,5 \text{ cm}^2$ και $1,2 \text{ cm}^2$, ενώ στην ποικιλία Mexa η μείωση ήταν $4,8 \text{ cm}^2$, $2,5 \text{ cm}^2$ και $1,3 \text{ cm}^2$ σε σχέση πάντα με τα φυτά –μάρτυρες. Συνεπώς, με την αύξηση της χρονικής διάρκειας έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία παρατηρήθηκε, όπως συνέβη και στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, μεγαλύτερη μείωση στη φυλλική επιφάνεια. Μεταξύ των ποικιλιών του σκληρού σιταριού καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς τη φυλλική επιφάνεια. Με βάση τις μετρήσεις φαίνεται ότι η ποικιλία Simeto υπερείχε ως προς τη φυλλική επιφάνεια έναντι της ποικιλίας Mexa. Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά μεταξύ των δύο ποικιλιών σκληρού σιταριού η ποικιλία Simeto στη χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών, των τεσσάρων και των δύο ωρών στη UV-B ακτινοβολία παρουσίασε μείωση φυλλικής επιφάνειας κατά $1,4 \text{ cm}^2$, $1,2 \text{ cm}^2$ και 1 cm^2 , ενώ στην ποικιλία Mexa η μείωση ήταν $2,8 \text{ cm}^2$, $1,3 \text{ cm}^2$ και $1,2 \text{ cm}^2$. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αντίστοιχα των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών.

Σόργο

Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία παρατηρήθηκε μείωση στη φυλλική επιφάνεια κατά $2,2 \text{ cm}^2$, ενώ σε διάρκεια έκθεσης τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B η μείωση ήταν αντίστοιχα $1,9 \text{ cm}^2$ και $1,5 \text{ cm}^2$ σε σύγκριση με τα φυτά – μάρτυρες. Άρα, η αύξηση της χρονικής διάρκειας έκθεσης του σόργου

στη UV-B ακτινοβολία επέφερε μείωση στη φυλλική επιφάνεια, όπως και στην περίπτωση των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συνδυασμένης ανάλυσης της UV-B με τη διάρκεια έκθεσης φαίνεται ότι σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση της φυλλικής επιφάνειας στα μερικώς αρδευόμενα φυτά ήταν 1 cm^2 , ενώ σε διάρκεια έκθεσης τεσσάρων και δυο ωρών η μείωση στη φυλλική επιφάνεια ήταν αντίστοιχα $0,9 \text{ cm}^2$ και $0,8 \text{ cm}^2$, δηλαδή φάνηκε και πάλι ότι η υδατική καταπόνηση περιόρισε τη δυσμενή επίδραση της UV-B.

Καλαμπόκι

Στο καλαμπόκι φαίνεται ότι σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία τα επαρκώς αρδευόμενα φυτά παρουσίασαν μείωση στη φυλλική επιφάνεια κατά $28,1 \text{ cm}^2$ έναντι των τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B που η μείωση ήταν 22 cm^2 και $9,5 \text{ cm}^2$, αντίστοιχα. Συνεπώς, η μικρή χρονική διάρκεια έκθεσης του καλαμποκιού στη UV-B ακτινοβολία παρουσίασε και πάλι μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια. Τα αποτελέσματα της συνδυασμένης ανάλυσης της διάρκειας έκθεσης με τη UV-B έδειξαν ότι σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία τα μερικώς αρδευόμενα φυτά παρουσίασαν μείωση στη φυλλική επιφάνεια κατά 24 cm^2 , ενώ σε χρονική διάρκεια έκθεσης τεσσάρων και δυο ωρών στη UV-B η μείωση της φυλλικής επιφάνειας, ήταν αντίστοιχα, 20 cm^2 και $8,5 \text{ cm}^2$. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αντίστοιχα των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών (ύψος, χλωροφύλλη, υδατικό δυναμικό).

Πίνακας 4.4.1: Μεσοί όροι μετρήσεων της φυλλικής επιφάνειας (cm²) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες έκθεσης στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά – μάρτυρες βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού.

ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ						
Είδος	Μαρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Βαμβάκι						
Carmen	21,4	18	24,3	18,3	24,2	17,6
Midas	24,4	18	21,5	13,7	22,9	13,4
Sadra	24,8	19,3	24,2	18	25,2	18,2
Millenium	21,5	15,2	26,2	19,4	23,7	15,9
E.Σ.Δ _(0,05)	0,18					
Β. ντομάτα	7,7	3,3	7,4	2,6	7,4	2,3
E.Σ.Δ _(0,05)	0,05					
Ζαχαρότευτλο						
Europa	7,1	5,3	6,9	5	7	3,5
Rival	5,3	3,6	5,2	3,4	5,2	3,3
Corsica	5,5	4,4	5,8	4,6	5,5	3,8
E.Σ.Δ _(0,05)	0,12					
Σκληρό σιτάρι						
Mexa	10,1	8,8	9,9	7,4	12,8	8
Simeto	10,5	9,3	13	11,5	13	10,4
E.Σ.Δ _(0,05)	0,12					
Σόργο	4,8	3,3	5,3	3,4	5,1	2,9
E.Σ.Δ _(0,05)	0,04					
Καλαμπόκι	34,8	25,3	37,3	15,3	37,9	9,8
E.Σ.Δ _(0,05)	0,7					

Πίνακας 4.4.2: Μεσοί όροι μετρήσεων της φυλλικής επιφάνειας (cm²) μετά από δύο, τέσσερις και έξι ώρες έκθεσης στη UV-B σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά – μάρτυρες βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού που είναι μερικώς αρδευόμενα.

ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ						
Είδος	Μαρτ. 2 ώρες	UV-B 2 ώρες	Μαρτ. 4 ώρες	UV-B 4 ώρες	Μαρτ. 6 ώρες	UV-B 6 ώρες
Β. ντομάτα	7,30	3,20	7,50	3,30	7,40	2,70
E.Σ.Δ _(0,05)	0,07					
Ζαχαρότευτλο						
Europa	5,30	3,50	5,60	3,50	6,90	3,50
Rival	6,70	5,10	5,10	3,10	6,50	4,20
Corsica	5,60	4,70	5,50	4,50	5,10	3,20
E.Σ.Δ _(0,05)	0,11					
Σκληρό σιτάρι						
Mexa	10,10	8,90	13,10	11,80	11,90	9,10
Simeto	10,50	9,50	12,10	10,90	10,80	9,40
E.Σ.Δ _(0,05)	0,13					
Σόργο	4,90	4,10	5,40	4,50	5,40	4,40
E.Σ.Δ _(0,05)	0,06					
Καλαμπόκι	34,90	26,40	37,80	17,80	34,60	10,60
E.Σ.Δ _(0,05)	0,92					

Πίνακας 4.4.3: Τιμές Βαθμών ελευθερίας (Β.Ε), κριτηρίου F, της πιθανότητας σφάλματος (P) συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) και ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Ε.Σ.Δ) για τις επιπτώσεις της διάρκειας έκθεσης, ποικιλίας, άρδευσης και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, στη φυλλική επιφάνεια φυτών βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαροτεύτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού.

ΤΙΜΕΣ Β.Ε, F, ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ, Ε.Σ.Δ ΚΑΙ ΤΟ CV ΓΙΑ ΤΗ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ					
ΕΙΔΗ	Π. ΠΑΡΑΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	Β.Ε	ΚΡΙΤΗΡΙΟ F	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ P	Ε.Σ.Δ _(0,05)
ΒΑΜΒΑΚΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	4882	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	2166	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	1407	<0,001***	0,12
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	3	1257	<0,001***	0,18
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	-	-	-	-
	CV(%)			1,14	
Β. ΝΤΟΜΑΤΑ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	216	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	68	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	99	<0,001***	0,05
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	270	<0,001***	0,07
	CV(%)			1,46	
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	377	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	2	1375	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	145	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	250	<0,001***	0,06
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	2	247	<0,001***	0,12
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	7	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	2	38	<0,001***	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	2	6	0,003**	0,11
	CV(%)			2,65	
ΣΚΛΗΡΟ ΣΙΤΑΡΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	1054	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	1	5986	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	281	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	339	<0,001***	0,09
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ	1	367	<0,001***	0,12
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	588	<0,001***	-
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	181	<0,001***	-
	UV-B X ΠΟΙΚΙΛΙΑ X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	120	<0,001***	0,13
	CV(%)			1,33	
ΣΟΡΓΟ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	767	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	203	<0,001***	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	11	<0,001***	0,04
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	177	<0,001***	0,06
	CV(%)			1,37	
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	Δ. ΕΚΘΕΣΗΣ	2	462	<0,001***	-
	ΑΡΔΕΥΣΗ	1	4	0,062ns	-
	UV-B X Δ. ΕΚΘ.	2	616	<0,001***	0,7
	UV-B X ΑΡΔΕΥΣΗ	1	9	0,004**	0,92
	CV(%)			3,84	

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

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

5.1α Επαρκώς αρδευόμενα φυτά (άρδευση κάθε μέρα).

Η UV-B ακτινοβολία επηρέασε αρνητικά το ύψος σε όλα τα μελετηθέντα είδη φυτών μεγάλης καλλιέργειας 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, Millennium και Midas. Αντιθέτως η ποικιλία Midas παρουσίασε τη μεγαλύτερη μείωση στη UV-B ακτινοβολία δείχνοντας ότι υπάρχουν ποικιλιακές διαφορές ως προς την ανθεκτικότητα. Μεταξύ των ποικιλιών ζαχαροτεύτλων η ποικιλία Corsica εμφάνισε μικρότερη μείωση στο ύψος από τη UV-B ίσως λόγω της συγκριτικά μικρότερης μείωσης που είχε η επίπτωση της UV-B στη φυλλική επιφάνεια και στο υδατικό δυναμικό σε σύγκριση με τις ποικιλίες Rival και Europa. Στα μονοκοτυλήδονα φυτά τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ύψος στο καλαμπόκι επηρεάστηκε περισσότερο από τη UV-B ακτινοβολία έναντι του ύψους στο σκληρό σιτάρι. Η μεγάλη αυτή μείωση ίσως να οφειλόταν στη μεγάλη φυλλική επιφάνεια του καλαμποκιού. Επίσης, το σόργο έχει υποστεί μικρότερη μείωση στο ύψος σε σχέση με το καλαμπόκι, διότι έχει χονδρή εφυμενίδα η οποία βοηθά στη μείωση της διείσδυσης της UV-B. Γενικώς, μεταξύ των φυτικών ειδών καθώς επίσης και μεταξύ των ποικιλιών κάθε ενός φυτικού είδους υπήρχαν σημαντικές διαφορές απέναντι στην έκθεση στη UV-B ακτινοβολία πιθανόν λόγω διαφορών στα μορφογενετικά χαρακτηριστικά. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ότι τα παχιά φύλλα και οι τρίχες μείωσαν τη διείσδυση της UV-B ακτινοβολίας, αλλά και τα κοντά και κάθετα φύλλα δέχθηκαν λιγότερη UV-B ακτινοβολία απ' ό,τι τα φύλλα που είχαν οριζόντιο προσανατολισμό (Basiouny *et al.*, 1978, Barnes *et al.*, 1996). Έτσι, και στο πείραμα αυτό τα μονοκοτυλήδονα φυτά που έχουν οριζόντιο προσανατολισμό παρουσίασαν μικρότερη μείωση στο ύψος σε σχέση με τα δικοτυλήδονα που έχουν κάθετα φύλλα.

5.1β Μερικώς αρδευόμενα φυτά (άρδευση κάθε τρεις μέρες).

Μικρότερες αρνητικές επιπτώσεις είχε η UV-B στο ύψος των μερικώς αρδευόμενων φυτών σε σύγκριση με τα επαρκώς αρδευόμενα φυτά δείχνοντας ότι ο παράγοντας ξηρασία περιόρισε τη δυσμενή επίδραση της UV-B ακτινοβολίας, όπως βρήκαν και άλλοι ερευνητές (Hsiao, 1973). Η μείωση του ύψους ήταν σχετικά μικρή και ίσως οφείλεται στο μικρό χρονικό διάστημα έκθεσης των φυτών στη UV-B. Η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της UV-B στο ύψος των φυτών λόγω της υδατικής καταπόνησης βρέθηκε στη βιομηχανική

ντομάτα, στο σκληρό σιτάρι, στο σόργο και στο καλαμπόκι και όχι τόσο εμφανώς στα ζαχαρότευτλα πιθανόν λόγω της μικρής φυλλικής επιφάνειάς τους.

Η έκταση των ζημιών που επιφέρει η UV-B ακτινοβολία στα φυτά μειώθηκε με την επίδραση της ξηρασίας, πιθανόν λόγω μείωσης της φυλλικής επιφάνειας με αποτέλεσμα να μειωθεί η απορρόφηση της UV-B και γιατί πιθανόν να επέφερε την πάχυνση της φυλλικής επιφάνειας, η οποία με την σειρά της αύξησε τη διάχυση του φωτός και μείωσε τη διείσδυση της UV-B, όπως βρήκαν και άλλοι ερευνητές (Schmidt *et al.*, 2000). Σύμφωνα με τον Schmidt και τους συνεργάτες του (2000) η ξηρασία μείωσε τις επιβλαβείς επιδράσεις στα δικοτυλήδονα και στα μονοκοτυλήδονα φυτά λόγω της αύξησης του αμινοξέος προλίνη κατά την ξηρασία, το οποίο ασκεί προστατευτική δράση απέναντι στη UV-B ακτινοβολία. Οι Fiscus και Booker (1995) αναφέρουν ότι η μείωση του ρυθμού αύξησης του ύψους των φυτών που προκάλεσε η UV-B ακτινοβολία ενδεχομένως οφειλόταν στη διατάραξη του δευτερεύοντος μεταβολισμού στην περιοχή της ισομεράσης της χαλκόνης και στη φωτοξείδωση που είναι η κύρια αιτία της μειωμένης αύξησης των βλαστών.

5.2 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΦΥΛΛΩΝ ΣΕ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ

5.2α Επαρκώς αρδευόμενα φυτά (άρδευση κάθε μέρα).

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 όλων των φυτών που εξετάστηκαν που συνήθως ήταν εντονότερη 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 *et al.*, 1991) και συμπίπτει με τη 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 προστατεύει τα ένζυμα στους χλωροπλάστες που καταλύουν τα πρώτα στάδια βιοσύνθεσης των φλαβονοειδών με αποτέλεσμα να μειώνεται η διείσδυση της UV-B στα φυτά (Li *et al.*, 1993, Stapleton and Walbot, 1994). Μεταξύ των τριών ποικιλιών ζαχαρότευτλων η ποικιλία Corsica είχε μεγαλύτερη τιμή χλωροφύλλης έναντι των ποικιλιών Europa και Rival, ενώ είχε επίσης συγκριτική αντοχή στις επιπτώσεις της UV-B στο ύψος φυτού, στο υδατικό δυναμικό και στη φυλλική επιφάνεια. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα που αναφέρονται από τον Panagoroulo και συνεργάτες (1992). Μεταξύ των μονοκοτυλήδων φυτών το σόργο είχε μεγαλύτερη μείωση στη χλωροφύλλη από ότι το σκληρό σιτάρι, αποτέλεσμα που πιθανόν προκάλεσε και μεγάλη μείωση στο ρυθμό αύξησης του ύψους στο σόργο. Μεταξύ των ποικιλιών του σκληρού σιταριού, φυτά μάρτυρες της Simeto είχαν επίσης μεγαλύτερη τιμή χλωροφύλλης σε σχέση με τη Mexa και συμπίπτει όπως και στην περίπτωση των παραπάνω ποικιλιών βαμβακιού και ζαχαρότευτλων με συγκριτικά μεγαλύτερη αντοχή στην UV-B όσον αφορά τις επιπτώσεις στο ύψος.

5.2β Μερικώς αρδευόμενα φυτά (άρδευση κάθε τρεις μέρες).

Η υδατική καταπόνηση που προκλήθηκε στα μερικώς αρδευόμενα φυτά φάνηκε ότι περιόρισε, όπως και στην περίπτωση του ύψους, την αρνητική επίπτωση της UV-B στη

περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη. Η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της UV-B που παρουσιάστηκε στη βιομηχανική ντομάτα, στις ποικιλίες του σκληρού σιταριού Simeto και Mexa, στο σόργο, στο καλαμπόκι ήταν μεγαλύτερη από ότι στα ζαχαρότευτλα, όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση του ύψους.

5.3 Υδατικό Δυναμικό

5.3α Επαρκώς αρδευόμενα φυτά (άρδευση κάθε μέρα).

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 στη 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). Το υδατικό δυναμικό στη βιομηχανική ντομάτα επηρεάστηκε περισσότερο από τη UV-B ακτινοβολία έναντι του ζαχαροτεύτλου μάλλον λόγω της ολικής μάρανσης της φυλλικής επιφάνειας (Παράρτημα φωτογραφιών). Συγκεκριμένα η χρονική διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B μείωσε το υδατικό δυναμικό κατά 143 % στη βιομηχανική ντομάτα. 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. Επίσης, μεταξύ των τριών ποικιλιών ζαχαροτεύτλου φαίνεται ότι η ποικιλία Corsica είχε μεγαλύτερο υδατικό δυναμικό έναντι των ποικιλιών Europa και Rival στη UV-B ακτινοβολία ενδεχομένως λόγω της μικρής μείωσης της φυλλικής επιφάνειας στην Corsica. Συνεπώς μεταξύ των ποικιλιών του ζαχαροτεύτλου παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς το υδατικό δυναμικό ίσως λόγω της διαφορετικής μείωσης του ρυθμού ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας και του ύψους. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του υδατικού δυναμικού στα αγρωστώδη φυτά φαίνεται ότι το καλαμπόκι είχε μικρότερο υδατικό δυναμικό έναντι του σκληρού σιταριού, ενδεχομένως λόγω των έντονων εγκαυμάτων της φυλλικής επιφάνειας στο καλαμπόκι (Παράρτημα φωτογραφιών). Μεταξύ των δυο ποικιλιών στο σκληρό σιτάρι παρατηρήθηκε υπεροχή της ποικιλίας Simeto ως προς το υδατικό δυναμικό έναντι της ποικιλίας Mexa, λόγω της ξήρανσης της φυλλικής επιφάνειας στη Mexa (Παράρτημα φωτογραφιών).

5.3β Μερικώς αρδευόμενα φυτά (άρδευση κάθε τρεις μέρες).

Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά παρατηρήθηκαν μικρότερες μειώσεις στο υδατικό δυναμικό από τη UV-B ακτινοβολία, όπως συνέβη και στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά. Μεταξύ των τριών ποικιλιών στο μερικώς αρδευόμενο ζαχαρότευτλο φαίνεται ότι η ποικιλία Europa παρουσίασε μεγαλύτερη μείωση στο υδατικό δυναμικό έναντι των ποικιλιών Corsica και Rival ενδεχομένως διότι η μερική άρδευση μείωσε το ρυθμό ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας στην ποικιλία Europa περισσότερο έναντι των ποικιλιών Corsica και Rival.

Μεταξύ των δυο ποικιλιών στο μερικώς αρδευόμενο σκληρό σιτάρι παρατηρήθηκε μικρότερη μείωση στο υδατικό δυναμικό στην ποικιλία Simeto έναντι της ποικιλίας Mexa, ίσως λόγω της μικρής μείωσης της ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας στη Simeto. Το σόργο είχε μικρότερη δυσμενή επίδραση από τη UV-B επειδή έχει χονδρή εφυμενίδα και παχιά φύλλα με αποτέλεσμα να μειώνεται η διείσδυση της UV-B. Τα μερικώς αρδευόμενα φυτά είχαν μικρότερες μειώσεις στο υδατικό δυναμικό σε σχέση με τα αντίστοιχα επαρκώς αρδευόμενα φυτά, ίσως διότι αυξανόταν το αμινοξύ προλίνη κατά τη μερική άρδευση, η οποία ασκούσε προστατευτική δράση απέναντι στη UV-B ακτινοβολία (Heuer, 1994).

5.4 Φυλλική Επιφάνεια (LA)

5.4α Επαρκώς αρδευόμενα φυτά (άρδευση κάθε μέρα).

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 *et al.*, 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. (Πίνακας 4.4.1) ίσως λόγω της μικρής μείωσης του υδατικού δυναμικού και του ύψους στην Carmen έναντι των άλλων ποικιλιών. Επίσης, μεταξύ των τριών ποικιλιών ζαχαροτεύτλου που δέχθηκαν τη UV-B η ποικιλία Corsica είχε μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια σε σύγκριση με τις ποικιλίες Eurora και Rival ενδεχομένως λόγω του μικρής μείωσης του υδατικού δυναμικού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων της φυλλικής επιφάνειας στα μονοκοτυλήδονα φυτά φαίνεται ότι το καλαμπόκι είχε υποστεί μεγαλύτερη μείωση στη φυλλική επιφάνεια έναντι του σόργου ενδεχομένως λόγω της χονδρής εφυμενίδας και της πάχυνσης των φύλλων στο σόργο. Μεταξύ των δυο ποικιλιών του σκληρού σιταριού, η ποικιλία Simeto είχε μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια έναντι της ποικιλίας Mexa, ίσως λόγω της επιβράδυνσης του ρυθμού μείωσης του υδατικού δυναμικού στην ποικιλία Simeto. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα που αναφέρει ο Mersted και οι συνεργάτες του (1996).

5.4β Μερικώς αρδευόμενα φυτά (άρδευση κάθε τρεις μέρες).

Μικρότερες μειώσεις παρατηρήθηκαν ως προς τη φυλλική επιφάνεια, όπως και στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά στα μερικώς αρδευόμενα φυτά, τα οποία είχαν δεχθεί τη UV-B ακτινοβολία, αποδεικνύοντας ότι η μερική άρδευση ήταν ο παράγοντας που μείωσε την απορρόφηση της UV-B και συνάμα έπαιξε προστατευτικό ρόλο ενάντια στη UV-B (Schmidt *et al.*, 2000). Μεταξύ των τριών ποικιλιών ζαχαροτεύτλου που δέχθηκαν τη UV-B παρατήθηκε υπεροχή της ποικιλίας Corsica ως προς τη φυλλική επιφάνεια έναντι των ποικιλιών Eurora και Rival ενδεχομένως λόγω της μικρότερης μείωσης του υδατικού δυναμικού στην Corsica. Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων της φυλλικής επιφάνειας στα μονοκοτυλήδονα φυτά φαίνεται ότι το καλαμπόκι είχε μεγαλύτερη μείωση στη φυλλική επιφάνεια σε σύγκριση με το σόργο ενδεχομένως λόγω της πάχυνσης των φύλλων στο σόργο. Μεταξύ των δυο ποικιλιών στο μερικώς αρδευόμενο σκληρό σιτάρι παρατηρήθηκε μικρότερη μείωση στη φυλλική επιφάνεια στην ποικιλία Simeto έναντι της ποικιλίας Mexa σε σύγκριση

με τις ίδιες ποικιλίες στο επαρκώς αρδευόμενο σκληρό σιτάρι, διότι με τη μερική άρδευση η μείωση του υδατικού δυναμικού ήταν μικρότερη στην ποικιλία Simeto. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με άλλη έρευνα που έγινε από τον Caldwell και τους συνεργάτες (1995).

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 έκταση της. Στη βιομηχανική ντομάτα η ίδια διάρκεια έκθεσης στη UV-B επέφερε ολική μάρανση της φυλλικής μεμβράνης. Στα ζαχαρότευτλα, το χρονικό διάστημα έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B προκάλεσε στη Rival ολική μάρανση της φυλλικής επιφάνειας, στη Eurora ολική χλώρωση και εγκαύματα, ενώ στη Corsica συρρίκνωση και μάρανση των φύλλων. Τα αγρωστώδη που εκτέθηκαν στη UV-B για το ίδιο προαναφερόμενο χρονικό διάστημα έκθεσης στη UV-B εμφάνισαν το μεν καλαμπόκι έντονα εγκαύματα στην άκρη της φυλλικής επιφάνειας, ενώ η ποικιλία Mexa του σιταριού ξήρανση σε όλη την επιφάνειά της. Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά, στα ζαχαρότευτλα η διάρκεια έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B προκάλεσε στην ποικιλία Eurora έντονα εγκαύματα, ενώ στην Corsica ήπια μάρανση. Στα αγρωστώδη ο χρόνος έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B επέφερε τη δημιουργία των μικρών εγκαυμάτων στην άκρη της φυλλικής επιφάνειας στο καλαμπόκι, στο σόργο μόνο τη συρρίκνωση της και στη ποικιλία Simeto του σιταριού παρατηρήθηκαν μόνο μικρές χλωρώσεις στην άκρη της (Παράρτημα των φωτογραφιών).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έκθεση νεαρών φυτών βαμβακιού, βιομηχανικής ντομάτας, ζαχαρότευτλου, σκληρού σιταριού, σόργου και καλαμποκιού στη UV-B ακτινοβολία προκάλεσε αρνητικές επιπτώσεις στο ύψος, τη φυλλική επιφάνεια, την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη και το υδατικό δυναμικό, ενώ παρατηρήθηκαν ορατά συμπτώματα τοξικότητας από τη UV-B στα φύλλα όλων των υπό μελέτη φυτών. Η UV-B προκάλεσε σχετικά μικρή μείωση στο ύψος που έφτανε μέχρι και το 18 % σε σχέση με φυτά μάρτυρες, μείωση της χλωροφύλλης από 12 μέχρι και 57 %, μείωση του υδατικού δυναμικού από 9 μέχρι και 143 % και μείωση της φυλλικής επιφάνειας από 11 μέχρι και 74 %.

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

Οι επιπτώσεις τις UV-B διέφεραν ανάλογα με το είδος αλλά και την ποικιλία. Συνήθως πιο έντονες αρνητικές επιπτώσεις της UV-B στη χλωροφύλλη, τη φυλλική επιφάνεια και το υδατικό δυναμικό μετρήθηκαν σε φυτά βιομηχανικής ντομάτας, σόργου και καλαμποκιού σε σύγκριση με φυτά βαμβακιού και ζαχαροτεύτλου.

Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν έντονες ποικιλιακές διαφορές ως προς την ανθεκτικότητα - ευαισθησία στη UV-B που έχει μεγάλη πρακτική σημασία για τη γεωργία.

Στο βαμβάκι μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη UV-B παρουσίασε η ποικιλία Carmen και τη μικρότερη η Midas σε σύγκριση με τις ποικιλίες Millennium και Sandra.

Στο ζαχαρότευτλο, μεγαλύτερη ανθεκτικότητα παρουσίασε η ποικιλία Corsica σε σχέση με τις Eurora και Rival.

Στο σκληρό σιτάρι, μεγαλύτερη ανθεκτικότητα παρουσίασε η ποικιλία Simeto σε σύγκριση με την Mexa.

Η υδατική καταπόνηση μείωσε τις αρνητικές επιπτώσεις της UV-B στη χλωροφύλλη, τη φυλλική επιφάνεια και το υδατικό δυναμικό, σε φυτά βιομηχανικής ντομάτας, σόργου, καλαμποκιού και σκληρού σιταριού, ενώ δεν επηρέασε σημαντικά την ευπάθεια των φυτών ζαχαροτεύτλου. Επίσης, το σόργο ήταν πιο ανθεκτικό στη UV-B σε σχέση με το καλαμπόκι. Γενικώς, τα δικοτυλήδονα παρουσιάστηκαν πιο ευαίσθητα στη UV-B σε σχέση με τα μονοκοτυλήδονα.

7. SUMMARY

In the introductory section of the present work a report is presented on the solar ultraviolet UV-B radiation, for the role of ozone, for the repercussions of high UV-B in plants, for the factors that can influence the sensitivity of plants in the UV-B, for effects in the physiology of plants and for the mechanisms of protection of plants against the UV-B. From this work, it became obvious that there are negative repercussions of UV-B in the plants that have big economic importance for Greece.

During the last years, the reduction of stratospheric ozone led to important increase of UV-B radiation, which is harmful to plants and humane. Important differences have been recorded in the liability so much between plant types, but also genotypes of same type, while drought stress was found protective against the negative repercussions of UV-B. Aim of the present work was to study the repercussions of high UV-B radiation on plants of arable crops mainly cultivated in Greece, the possibly mechanism of resistance and the drought stress effects on the repercussions of UV-B.

Cotton cultivars Carmen, Midas, Millennium and Sandra, industrial tomato cv. Agata, sugar beet cvs. Europa, Rival and Corsica, hard wheat cvs. Mexa and Simeto, sorghum cvs. Krokiou and maize cv. Constanza were irrigated first and afterwards were exposed to UV-B radiation in closed chambers for two, four or six hours for four successive days, while control plants were developed in chamber where UV-B filters were in place for the cultivars of industrial tomato, sugar beet, hard wheat and sorghum, a number of plants were kept under drought stress with interruption of irrigation for three days and afterwards radiated with UV-B for two, four or six hours and four successive days. Parameters that were measured were the plant height, chlorophyll content, leaf surface and stem water potential.

The report of young plants of cotton, industrial tomato, sugar beet, hard wheat, sorghum and maize in the UV-B radiation caused negative repercussions in the height, leaf surface, chlorophyll content and stem water potential, while toxicity symptoms were observed in all leaves from UV-B. The UV-B caused relatively small reduction in the height reaching 18% compared to control plants, reduction of chlorophyll from 12 until 57 %, reduction of water potential from 9 until 143% and reduction of leaf surface from 11 until 74 %.

The negative repercussions of UV-B were usually more intense when duration of UV-B exposure was increased from two in the six hours.

Plants of industrial tomato, sorghum and maize were Usually had more intense negative repercussions of UV-B in chlorophyll, leaf surface and stem water potential as compared to cotton, sugar beet and hard wheat.

Cotton variety Carmen was more resistant to UV-B as compared to the other cotton varieties Midas, Millennium and Sandra.

Sugar beet variety Corsica was more resistant to UV-B as compared to other sugar beet varieties Europa and Rival.

In the hard wheat, variety Simeto was more resistant to UV-B as compared to the variety Mexa.

The drought stress decreased negative repercussions of UV-B in chlorophyll, leaf surface and stem water potential in plants of industrial tomato, sorghum, maize and hard wheat, but did not considerably influence the sensitivity of sugar beet plants.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

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

Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ. 2001. Γεωργικός Πειραματισμός. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας. Βόλος.

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 Environment*, 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 effects 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. *Physiologia Plantarum*, 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, eds). Plenum Press, New York.
- Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218, pp. 443-445.
- Blumthaler, 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* (P.J Lumsden, ed), 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.1555-1573.
- 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 of 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 Environment*, 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 *Vaccinium* 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 Crops stress* (M. Pessarakli, ed), 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 Environment*, 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* (S.V. Krupa, R.N. Kickert and H.J. Jager, eds), pp. 104-131. Springer- Verlag, Berlin 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 ultraviolet-B radiation on plant. *Environmental Pollution*, 88, pp.219-45.
- Marder, J.B., D.J. Chapman, 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. Noguez, 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*.
- Mitchell, D.L., J.E. Vaughan, and R.S. Nairn. 1989. Inhibition of transient gene expression in Chinese hamster ovary cells by cyclobutane dimers 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. *Physiologia Plantarum*, 68, pp. 673-677.
- Murphy, T.M. 1990. Effects of broad-band ultraviolet and visible radiation on hydrogen peroxide formation by cultured rose cells. *Physiologia Plantarum*, 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. *Physiologia Plantarum*, 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 Caldwell, M.M. 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. *Physiologia Plantarum*, 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. Foliar SPAD – 502 meter values, nitrogen levels and extractable chlorophyll for red maple 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, Herman, McPeters and Lark. 1993. 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/apyrimidinic 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. *Physologia Plantarum*, 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. *Physologia Plantarum*, 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 photosynthetic carboxylating enzymes and soluble proteins in leaves. *Physiologia. Plantarum*, 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 of enhanced 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 Environment*, 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.

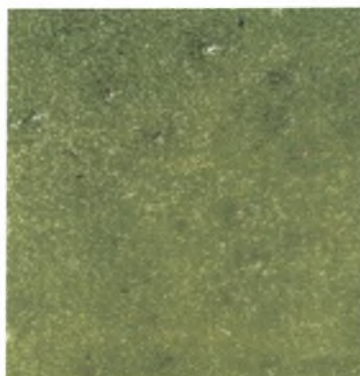
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

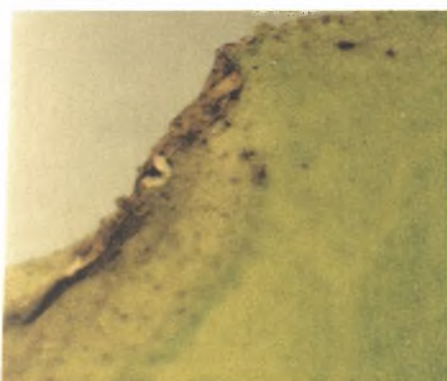
1) Φυτά επαρκώς αρδευόμενα



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



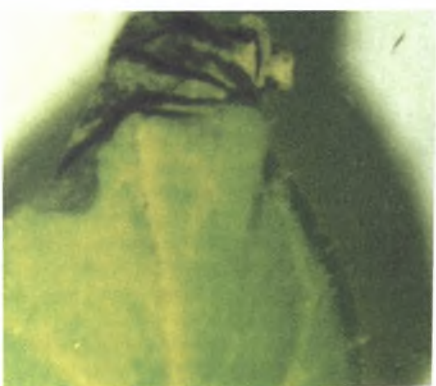
Midas 6 ώρες Μάρτυρας



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



Midas 4 ώρες Μάρτυρας



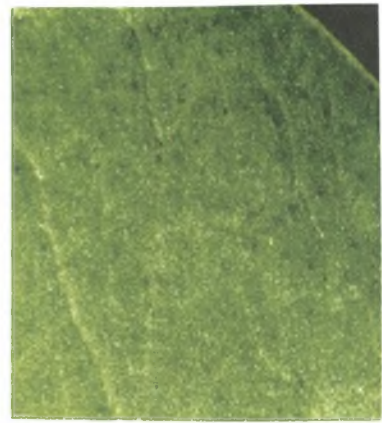
Midas 2 ώρες UVB: Εγκαύματα και συρρίκνωση της φυλλικής επιφάνειας.



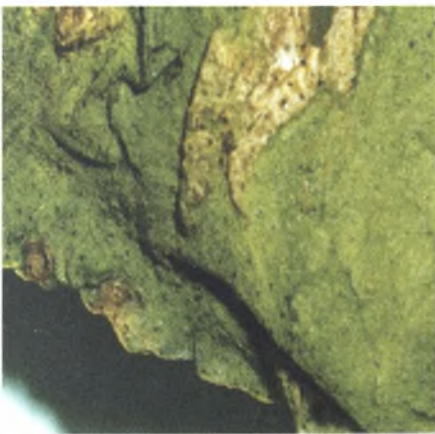
Midas 2 ώρες Μάρτυρας



Carmen 6 ώρες UVB: Έντονες χλωρωτικές κηλίδες στη φυλλική επιφάνεια



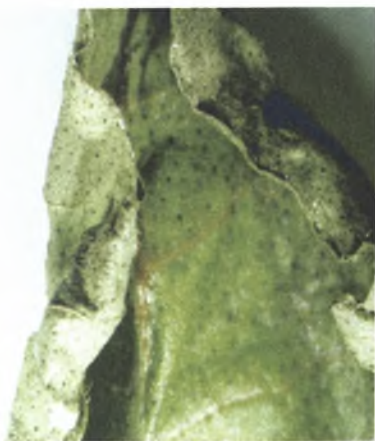
Carmen 6 ώρες Μάρτυρας



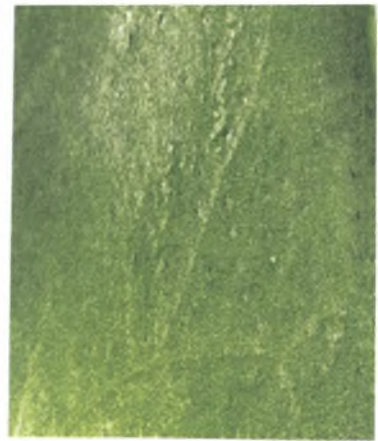
Carmen 4 ώρες UVB: Μικρά εγκαύματα και μικρή συρρίκνωση της φυλλικής επιφάνειας.



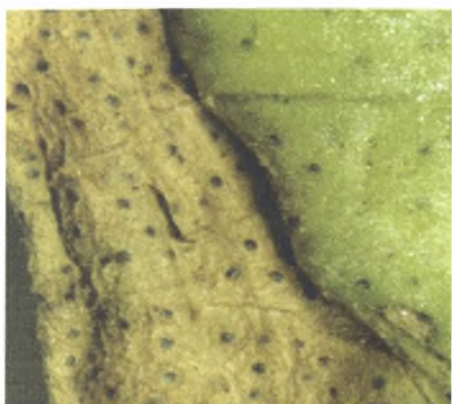
Carmen 4 ώρες Μάρτυρας



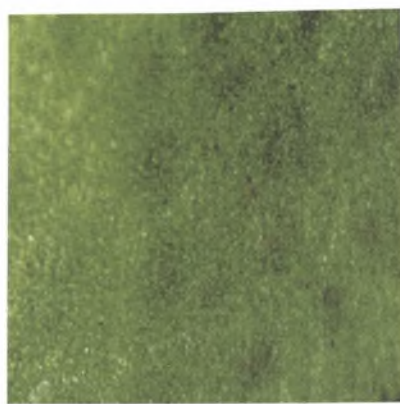
Carmen 2 ώρες UVB: Μικρή συρρίκνωση της φυλλικής επιφάνειας.



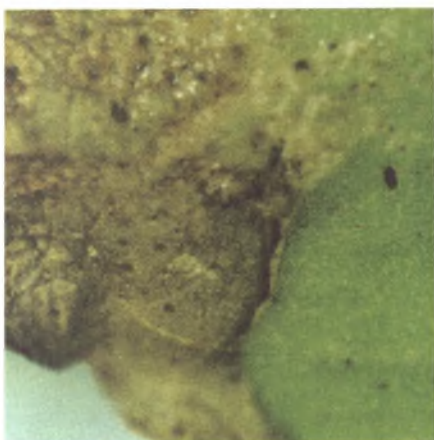
Carmen 2 ώρες Μάρτυρας.



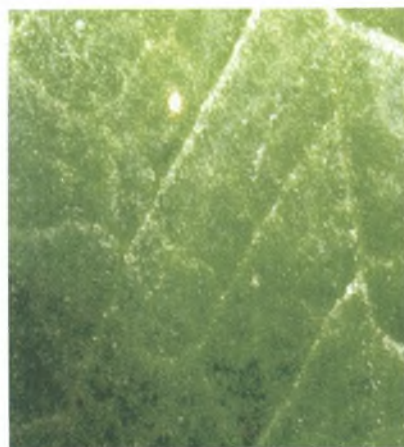
Millennium 6 ώρες UVB: Έντονα εγκαύματα στην περιφέρεια της φυλλικής επιφάνειας.



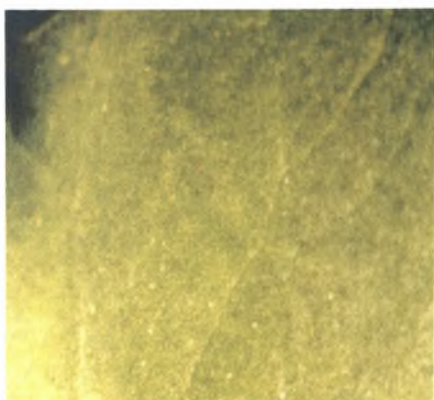
Millennium 6 ώρες Μάρτυρας.



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



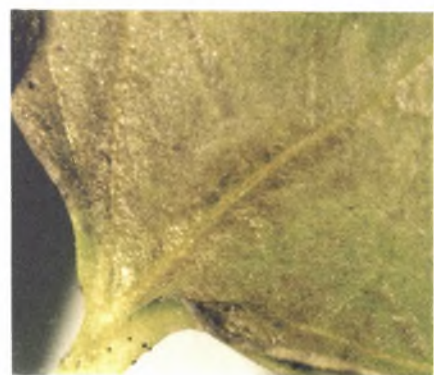
Millennium 4 ώρες Μάρτυρας.



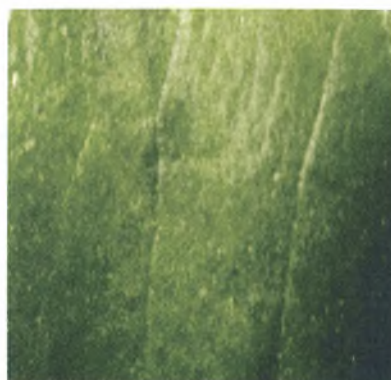
Millennium 2 ώρες UVB: Έντονες χλωρώσεις στη φυλλική επιφάνεια



Millennium 2 ώρες Μάρτυρας



Sadra 6 ώρες UVB: Εγκαύματα στη φυλλική επιφάνεια.



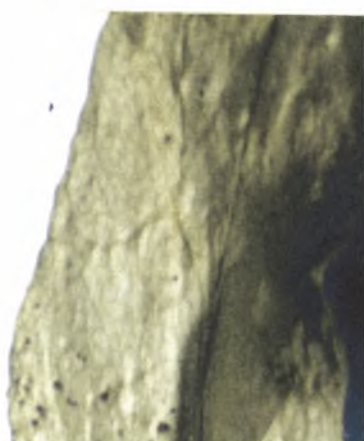
Sadra 6 ώρες Μάρτυρας



Sadra 2 ώρες UVB: Έντονες χλωρωτικές κηλίδες στη φυλλική επιφάνεια



Sadra 2 ώρες Μάρτυρας



Rival 6 ώρες UVB: Ολική μάρανση της φυλλικής επιφάνειας



Rival 6 ώρες Μάρτυρας



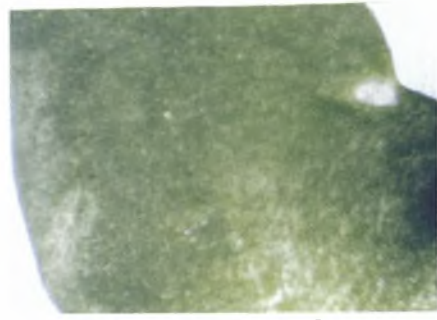
Euroora 6 ώρες UVB: Ολική χλόρωση και εγκαύματα στη φυλλική επιφάνεια .



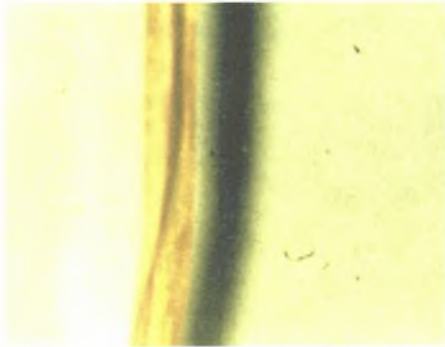
Euroora 6 ώρες Μάρτυρας



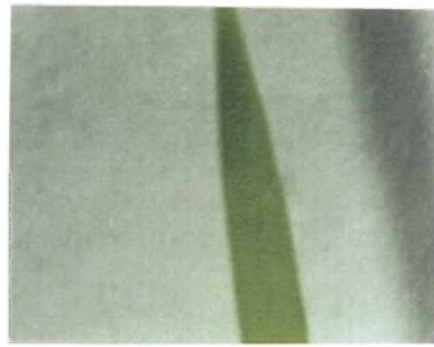
Corsica 6 ώρες UVB: Συρρίκνωση και μάρανση της φυλλικής επιφάνειας



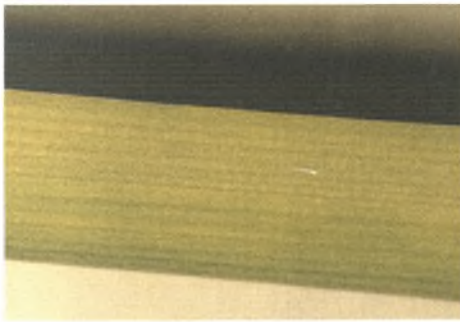
Corsica 6 ώρες Μάρτυρας



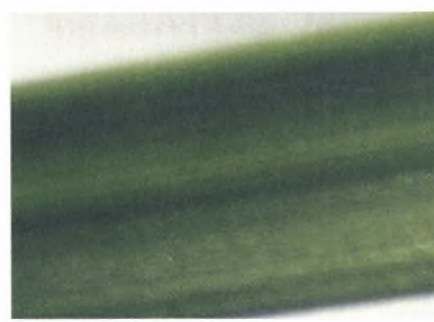
Mexa 6 ώρες UVB: Ξήρανση της φυλλικής επιφάνειας



Mexa 6 ώρες Μάρτυρας



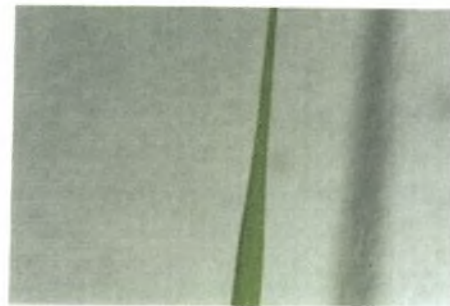
Simeto 4 ώρες UVB: Χλώρωση μεταξύ των νεύρων στη φυλλική επιφάνεια



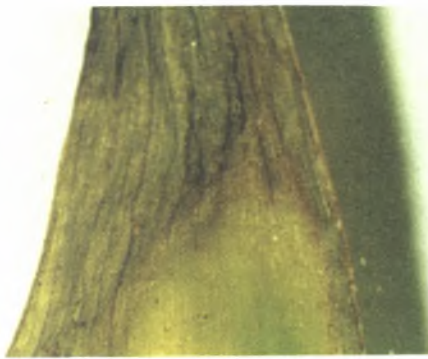
Simeto 4 ώρες Μάρτυρας



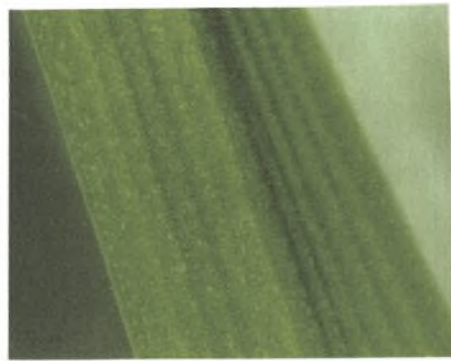
Σόργο 6 ώρες UVB: Ολική ξήρανση της φυλλικής επιφάνειας.



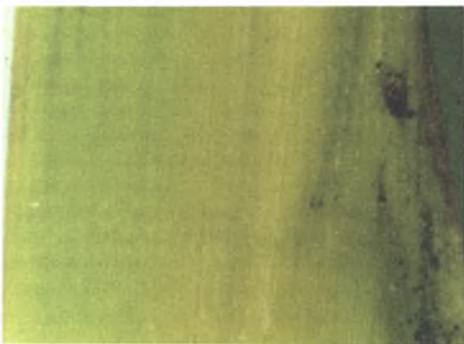
Σόργο 6 ώρες Μάρτυρας



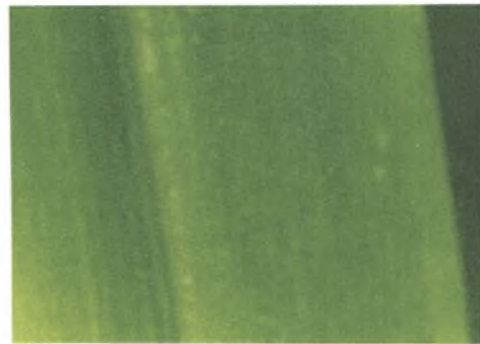
Καλαμπόκι 6 ώρες UVB: Έντονα εγκαύματα στην άκρη της φυλλικής επιφάνειας.



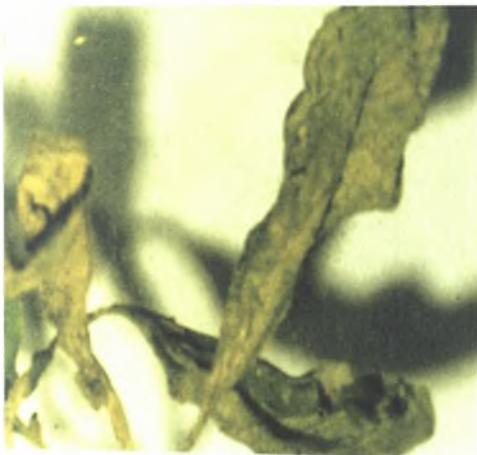
Καλαμπόκι 6 ώρες Μάρτυρας



Καλαμπόκι 4 ώρες UVB: Μικρά εγκαύματα στην άκρη της φυλλικής επιφάνειας.



Καλαμπόκι 4 ώρες Μάρτυρας

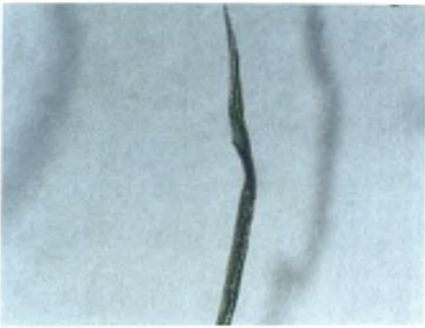


Βιομηχανική Ντομάτα 6 ώρες UVB: Ολική μάρανση της φυλλικής επιφάνειας.

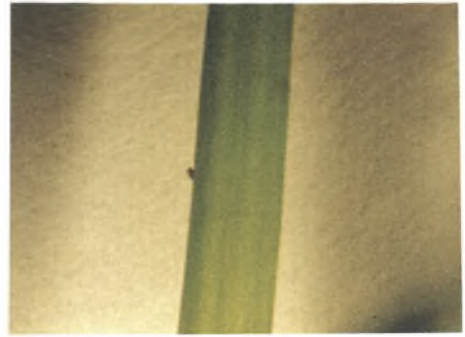


Βιομηχανική Ντομάτα 6 ώρες Μάρτυρας.

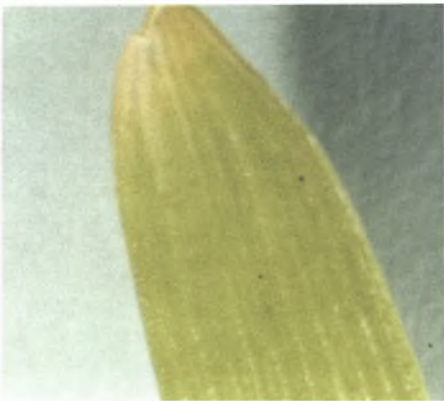
2) Φυτά μερικώς αρδευόμενα



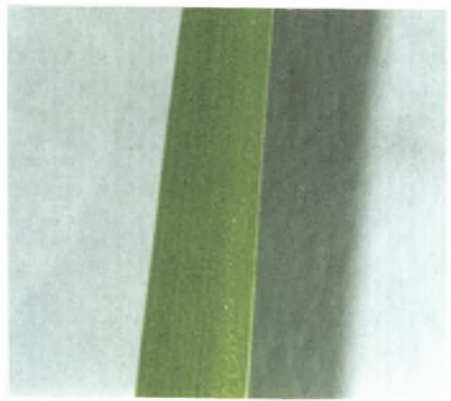
Σόργο 6 ώρες UVB: Συρρίκνωση της φυλλικής επιφάνειας.



Σόργο 6 ώρες Μάρτυρας



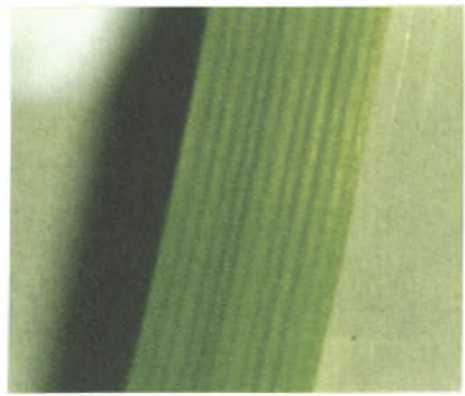
Simeto 6 ώρες UVB: Μικρή χλώρωση στην άκρη της φυλλικής επιφάνειας



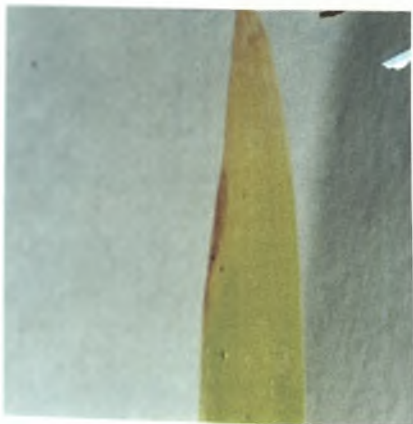
Simeto 6 ώρες Μάρτυρας



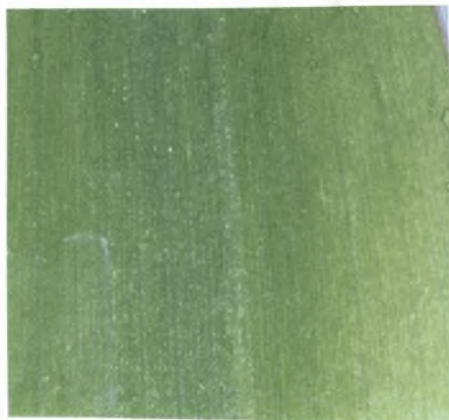
Καλαμπόκι 6 ώρες UVB: Μικρά εγκαύματα στην άκρη της φυλλικής επιφάνειας.



Καλαμπόκι 6 ώρες Μάρτυρας



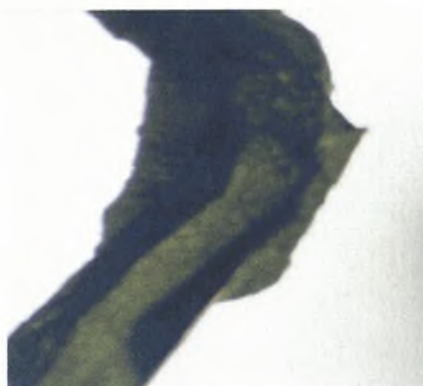
Καλαμπόκι 4 ώρες UVB: Μικρά εγκαύματα στην άκρη της φυλλικής επιφάνειας.



Καλαμπόκι 4 ώρες Μάρτυρας.



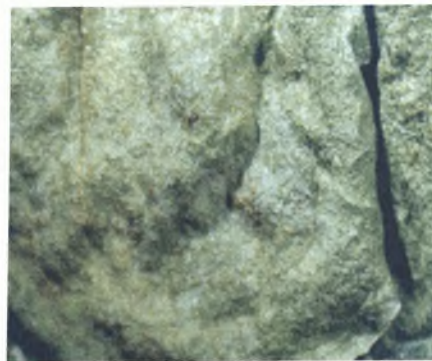
Corsica 6 ώρες UVB: Ήπια μάρανση της φυλλικής επιφάνειας.



Corsica 6 ώρες Μάρτυρας.



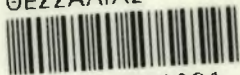
Eurogra 6 ώρες UVB: Εγκαύματα στη φυλλική φυλλική επιφάνεια.



Eurogra 6 ώρες Μάρτυρας.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074291