



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
& ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

Διδακτορική Διατριβή

Σχέσεις στοιχείων ανάπτυξης και παραγωγής καλλιέργειας
σόγιας στην Κεντρική Ελλάδα, με την υδατική καταπόνηση
που προκαλείται στα φυτά λόγω ελλειμματικής άρδευσης

Χρήστος Θ. Βαμβακούλας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ιωάννης Αργυροκαστρίτης, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Τοιμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

Ιωάννης Αργυροκαστρίτης, Καθηγητής ΓΠΑ

Νικόλαος Δέρκας, Καθηγητής ΓΠΑ

Σταύρος Αλεξανδρής, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ

2022

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
& ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

Διδακτορική Διατριβή

Σχέσεις στοιχείων ανάπτυξης και παραγωγής καλλιέργειας σόγιας στην Κεντρική Ελλάδα, με την υδατική καταπόνηση που προκαλείται στα φυτά λόγω ελλειμματικής άρδευσης

"Growth and yield relationships of a soybean crop with the crop water stress caused by deficit irrigation in central Greece"

Χρήστος Θ. Βαμβακούλας

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Ιωάννης Αργυροκαστρίτης, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Νικόλαος Δέρκας, Καθηγητής ΓΠΑ

Σταύρος Αλεξανδρός, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Κυριακή Σωτηράκογλου, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Γαρυφαλιά Οικονόμου, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Παναγιώτα Παπαστυλιανού, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

Πανταζής Γεωργίου, Αναπληρωτής Καθηγητής ΑΠΘ

Σχέσεις στοιχείων ανάπτυξης και παραγωγής καλλιέργειας σόγιας στην Κεντρική Ελλάδα, με την υδατική καταπόνηση που προκαλείται στα φυτά λόγω ελλειμματικής άρδευσης

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα ενός επιτυχημένου πειράματος δύο ετών υπό συνθήκες πεδίου στην περιοχή της Κωπαΐδας. Το υπό εξέταση φυτικό υλικό ήταν δύο ποικιλίες του φυτού σόγιας *Glycine max* (L), οι οποίες υποβλήθηκαν σε τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης και μια καλλιέργεια αναφοράς η οποία αρδεύτηκε με το 100% της εξατμοδιαπνοής καλλιέργειας (ET_c).

Οι μετρήσεις που έγιναν στα φυτά σόγιας ήταν άμεσες μετρήσεις όπως ο αριθμός των φύλλων, το ύψος των φυτών, το ξηρό βάρος των στελεχών, το ξηρό βάρος των φύλλων, το συνολικό ξηρό βάρος του φυτού, το ξηρό βάρος και ο αριθμός των λοβών. Επιπρόσθετα μετρήθηκαν το βάρος των σπόρων, οι θερμοκρασίες των φύλλων, αλλά και παράμετροι που προκύπτουν από περαιτέρω επεξεργασία του σπόρου στο εργαστήριο, όπως συγκέντρωση σπορέλαιου, συγκέντρωση πρωτεΐνης αζώτου, παραγωγή πρωτεϊνών αζώτου, παραγωγή λαδιού ή με υπολογισμό λαμβάνοντας υπόψη τις αποστάσεις φύτευσης, όπως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI).

Επίσης στην περιοχή και σε απόσταση 100 m από το πειραματικό χωράφι υπάρχει αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος λειτουργεί σύμφωνα με το πρωτόκολλο που προτείνει ο Διεθνής Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) και του οποίου οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα και για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν με σχήματα και πίνακες και η στατιστική επεξεργασία τους έγινε με την ανάλυση διακύμανσης ANOVA, όπου συσχετίστηκαν οι μέσοι όροι της ποικιλίας x αρδευτικές παρεμβάσεις.

Ακόμη υπολογίστηκε ο δείκτης υδατικής καταπόνησης Crop Water Stress Index (CWSI) και σχεδιάστηκε η ημερήσια μεταβολή του κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Καθορίστηκε η μορφή και αναπαραστάθηκαν οι παραγωγικές συναρτήσεις του δείκτη, με ποιοτικές και ποσοτικές παραμέτρους παραγωγής. Χρησιμοποιώντας τους πειραματικά καθορισμένους συντελεστές των ορίων που περιγράφουν τον CWSI και με την εφαρμογή μιας υπάρχουσας μεθοδολογίας (Monteith, 1973, O' Toole και Real, 1986), υπολογίστηκαν η μέση αεροδυναμική αντίσταση $\overline{r_{ap}}$ και ο μέσος συντελεστής αντίστασης καλλιέργειας $\overline{r_{cp}}$ αντίστοιχα για φυτά σόγιας χωρίς καταπόνηση νερού.

Να προσθέσω ότι παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της αξιολόγησης και επαλήθευσης μιας νέας εμπειρικής σχέσης, η οποία προέκυψε από την κατάλληλη προσαρμογή και εφαρμογή υπάρχουσας μεθοδολογίας (Alexandris and Kerkides 2003), για τον ημερήσιο υπολογισμό της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB) για το φυτό σόγια.

Τέλος, από τα υπάρχοντα πειραματικά δεδομένα, το μοντέλο AquaCrop του FAO βαθμονομήθηκε και αξιολογήθηκε σε τοπικές συνθήκες και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα.

Επιστημονική Περιοχή: Αρδεύσεις

Λέξεις Κλειδιά: ελλειμματική άρδευση, σόγια, υπέρυθη θερμομετρία, εμπειρικό μοντέλο, στοιχεία παραγωγής

Growth and yield relationships of a soybean crop with the crop water stress caused by deficit irrigation in central Greece

*Department of Natural Resources Development and Agricultural Engineering
Laboratory of Agricultural Hydraulics*

ABSTRACT

This dissertation presents the results of a successful two-year experiment under field conditions in the area of Kopaida. The plant material under consideration was two varieties of the Glycinemax (L) soybean plant, which were subjected to four levels of water stress and a reference culture which irrigated with 100% of the crop evapotranspiration.

In the experimental field of the Agricultural University of Athens in the area of Kopaida and at a distance of 100 m from the experimental field there is an automatic meteorological station, which operates according to the protocol proposed by FAO and whose measurements were used for the experiment and for the processing of the results.

The measurements made on soybean plants were direct measurements such as number of leaves, plant height, dry weight of stems, dry weight of leaves, total dry weight of plant, dry weight and number of pods, the weight of seeds, leaf temperatures, but also parameters derived from further processing of the seed in the laboratory such as seed oil concentration, nitrogen protein concentration, nitrogen protein production, oil production or by calculation taking into account the planting distances, such as the leaf area index (LAI).

The results presented with figures and tables and their statistical processing done with the statistical analysis of variance (ANOVA), where the means of the variety x irrigation interventions were correlated.

The Crop Water Stress Index (CWSI) was calculated and its daily change during the growing season was plotted. The form was also determined and the production functions of the index were represented, with qualitative and quantitative parameters of production for two varieties of different ripening of the soybean plant.

Using the experimentally determined coefficients a and b and with the application of an existing methodology (Monteith, 1973, O' Toole and Real, 1986), the average aerodynamic resistance $\overline{r_{ap}}$ and average crop resistance factors $\overline{r_{cp}}$ for non-water stressed soybean plants calculated.

Results were also presented, of the evaluation and verification of a new empirical relationship, which resulted from the appropriate adjustment of an existing methodology (Alexandris and Kerkides 2003), for the daily calculation of the surface dry biomass (D-AGB) for the soybean plant.

Finally, from the existing experimental data, the AquaCrop model of the international organization of agriculture and food FAO was calibrated and evaluated in local conditions and the results were presented.

Scientific Area: Irrigation

Keywords: deficit irrigation, soybean, infrared thermometry, empirical model, production elements

Στους γονείς μου,
Θεόδωρο και Άννα
και την Αδελφή μου
Έφη

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
1.1 Προγραμματισμός της Άρδευσης.....	13
1.2 Ανάγκες σε Νερό	15
1.3 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	18
2.1 Προσαρμογή σημείων με ανάλυση τάσης επιφάνειας	18
(Trend surface analysis).....	18
2.2 Η υπέρυθη θερμομετρία και η συσχέτιση με την θερμοκρασία του φύλλου.....	19
2.2.1 Ανάπτυξη του εμπειρικού δείκτη Crop Water Stress Index (CWSI).....	19
2.2.2 Υπολογισμός του δείκτη υδατικής καταπόνησης (CWSI)	19
2.3 Το μοντέλο AquaCrop.....	20
2.3.1 Αξιολόγηση του μοντέλου.....	22
2.4 Μεθοδολογία Υπολογισμού των συντελεστών αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας (RUE) και του νερού (WUE).....	23
2.5 Υπολογισμός της μέσης αεροδυναμικής αντίστασης r_{ap} και της μέσης αντίστασης της καλλιέργειας r_{cp} για μη υδατικής καταπονούμενα φυτά.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	27
3.1 Βοτανική Περιγραφή της Σόγιας	27
3.2 Φυτικό υλικό	28
3.3 Εδαφολογικές - Κλιματικές παράμετροι.....	28
3.3.1.1 Κλιματικό καθεστώς της περιοχής της Κωπαΐδας.....	30
3.3.1.2 Εδαφολογικές και υδραυλικές παράμετροι για το έδαφος του πειραματικού τεμαχίου	31
3.3.2 Καλλιεργητικές εργασίες μέχρι την σπορά	31
3.4 Σπορά.....	32
3.4.1 Πειραματικός αγρός	32
3.4.2 Βάθος, ποσότητα και απόσταση σποράς.....	32
3.5 Καλλιεργητικές εργασίες μετά τη σπορά	34
3.5.1 Αραίωμα – Σκαλίσματα	34
3.6 Άρδεύσεις.....	35
3.6.1 Επιλογή του αρδευτικού συστήματος.....	35
3.7 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	36
3.7.1 Υπολογισμός μικρομετεωρολογικών παραμέτρων.....	37
3.8 Προγραμματισμός άρδευσης.....	38
3.9 Ζιζανιοκτονία.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	41

4.1	Στάδια ανάπτυξης	41
4.1.1	Διαφορές στη βλαστική ανάπτυξη και παραγωγή για τις ποικιλίες PR91M10 και PR92B63	43
4.2	Μετρήσεις κατά τις καταστροφικές δειγματοληψίες	44
4.2.1	Ύψος φυτού	44
4.2.2	Αριθμός φύλλων.....	44
4.2.3	Φυλλική επιφάνεια	44
4.2.4	Αριθμός λοβών	45
4.2.5	Ξηρό βάρος.....	45
4.2.6	Θερμοκρασίες φυτοκόμης	45
4.3	Συγκομιδή.....	46
4.3.1	Μετρήσεις στην συγκομιδή.....	46
4.4	Στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για τις δειγματοληψίες και την συγκομιδή.	49
4.4.1	Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων του μοντέλου AquaCrop και του εμπειρικού μοντέλου.	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	52
5.1	Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τις δειγματοληψίες.....	52
5.1.1	Παρουσίαση αποτελεσμάτων ANOVA για τις δειγματοληψίες της καλλιεργητικής περιόδου 2014	52
5.1.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων ANOVA για τις δειγματοληψίες της καλλιεργητικής περιόδου 2015	55
5.1.3	Ύψος φυτού	60
5.1.4	Φυλλική επιφάνεια (LAI)	61
5.1.5	Αριθμός φύλλων.....	62
5.1.6	Αριθμός λοβών	63
5.1.7	Ξηρό βάρος στελεχών	65
5.1.8	Ξηρό βάρος φύλλων.....	66
5.1.9	Ξηρό βάρος λοβών ανά φυτό.....	67
5.1.10	Ολικό ξηρό βάρος φυτού	68
5.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τη συγκομιδή	70
5.2.1	Υπέργεια ξηρή βιομάζα	72
5.2.2	Ξηρό βάρος σπόρων.....	73
5.2.3	Συγκέντρωση λαδιού.....	74
5.2.4	Συγκέντρωση αζωτούχων πρωτεϊνών	75
5.2.5	Παραγωγή αζωτούχων πρωτεϊνών	77
5.2.6	Παραγωγή λαδιού	78
5.3	Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τον δείκτη υδατικής καταπόνησης (CWSI).....	79
5.3.1	Προσδιορισμός των εξισώσεων της άνω και κάτω οριογραμμής του CWSI.	79

5.3.2 Διακύμανση του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI.....	80
5.3.3 Σχέσεις παραγωγής του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI με τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής.	82
5.4 Υπολογισμός της μέσης αεροδυναμικής αντίστασης r_{ap} και της μέσης αντίστασης της καλλιέργειας r_{cp} για μη υδατικώς καταπονούμενα φυτά σόγιας στην κεντρική Ελλάδα. ...	85
5.4.1 Υπολογισμός των RUE-WUE.....	85
5.5 Προσέγγιση ενός νέου εμπειρικού μοντέλου εκτίμησης της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB) σε ημερήσια βάση.....	88
5.5.1 Προσαρμογή και επαλήθευση του νέου εμπειρικού μοντέλου εκτίμησης της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB) για την καλλιέργεια σόγιας στην κεντρική Ελλάδα.....	92
5.5.2 Στατιστική ανάλυση.....	96
5.6 Αποτελέσματα αξιολόγησης του μοντέλου AquaCrop από πειραματικά δεδομένα καλλιέργειας σόγιας στην κεντρική Ελλάδα.	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	114

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού έτσι ώστε να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων έλλειψης του στην απόδοση της καλλιέργειας του φυτού σόγια. Η χρήση της θερμοκρασίας φυτοκόμης για τον εντοπισμό της υδατικής καταπόνησης του φυτού βασίζεται στην λογική ότι το νερό που μέσω της διαπνοής εξατμίζεται και ψύχει τα φύλλα κατεβάζοντας την θερμοκρασία τους κάτω από αυτή του αέρα. Εάν το διαθέσιμο νερό μειωθεί συνεπάγεται μείωση της διαπνοής άρα μείωση της εξάτμισης άρα η θερμοκρασία των φύλλων αυξάνεται πάνω από την θερμοκρασία του αέρα. Σύμφωνα με τον παραπάνω μηχανισμό προσδιορίστηκε πειραματικά ο δείκτης υδατικής καταπόνησης φυτού (CWSI) στην παρούσα εργασία.

Αναφέρω ότι, τα αποτελέσματα της έρευνας είναι νούμερα που δείχνουν ποσοτικά την καταπόνηση της καλλιέργειας. Επίσης είναι αντιπροσωπευτικά καθώς είναι μετρημένοι παράμετροι στον αγρό από πειραματικά υποτεμάχια (subplot) σε συνθήκες περιβάλλοντος. Επίσης πραγματοποιήθηκε μέτρηση και υπολογισμός μικρομετεωρολογικών παραμέτρων και παραμέτρων του φυτού εντός της καλλιέργειας.

Ακόμη αντικείμενο της διατριβής είναι ο προσδιορισμός συναρτήσεων παραγωγής. Δηλαδή η εύρεση σχέσεων μεταξύ της μέγιστης ποσότητας παραγωγής καλλιέργειας του φυτού σόγιας που μπορεί να παραχθεί χρησιμοποιώντας τους εναλλακτικούς συνδυασμούς άρδευσης. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής δημιουργήθηκε μια καινούρια εμπειρική σχέση για τον ημερήσιο υπολογισμό της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB) για το φυτό σόγια στην περιοχή της Κωπαΐδας. Ακόμη από τα πειραματικά στοιχεία βαθμονομήθηκε και αξιολογήθηκε το μοντέλο AquaCrop του διεθνούς οργανισμού γεωργίας και τροφίμων FAO σε τοπικές συνθήκες όπου και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Eurodrip SA για την χορηγία των σταλακτηφόρων σωληνών άρδευσης που χρησιμοποιήθηκαν για την άρδευση της πειραματικής καλλιέργειας και την εταιρεία Pioneer hi-bred Hellas A.E. για την προμήθεια του φυτικού υλικού. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Βλάσση Ιωάννη για την βοήθεια του στην μορφοποίηση του κειμένου της διατριβής. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Θανάπουλο Ροίκο και τους υπαλλήλους του τμήματος Γεωργικών Εκμεταλλεύσεων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών Λιάκο Βασίλειο, Αθανασάκη Δημήτριο και Δημητρίου Αλέξανδρο για την βοήθεια τους κατά την εκτέλεση των πειραμάτων. Επιπρόσθετα θέλω να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Φυσιολογίας Θρέψεως και Διατροφής του

τμήματος Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και την υπάλληλο κυρία Γεωργιάδου Μαρία για την εργαστηριακή ανάλυση των σπόρων του φυτού σόγια.

Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω το Κοινωφελές Ίδρυμα Αλέξανδρος Σ. Ωνάσης, για την χορήγηση υποτροφίας για την εκτέλεση διδακτορικών σπουδών στην Ελλάδα χωρίς την οποία δεν θα ήταν εφικτή η συνολική υποστήριξη της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τις αναπληρώτριες καθηγήτριες του τμήματος επιστήμης φυτικής παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Παπαθεοχάρη Γιολάντα και κ.Παπαστυλιανού Παναγιώτα για την βοήθεια τους. Δε θα μπορούσα να παραλείψω την ανεκτίμητη επιστημονική βοήθεια και συνεισφορά του αναπληρωτή καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Αλεξανδρή Σταύρο τον οποίο και ευχαριστώ θερμά. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή κ. Αργυροκαστρίτη Ιωάννη του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για την καθοδήγηση, βοήθεια και συμπαράσταση που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια κατά την εκπόνηση της Πτυχιακής, Μεταπτυχιακής και Διδακτορικής μου Διατριβής.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σόγια, *Glycine max (L)*, είναι το σπουδαιότερο καρποδοτικό ψυχανθές στον κόσμο όσον αφορά τη χρήση της στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων. Επίσης κατάγεται από την Κίνα και η εξημέρωσή της έγινε στην ίδια περιοχή, μεταξύ 1.700 και 1.100 π.χ. Στην Ευρώπη εισήχθη στις αρχές του 17ου αιώνα και στις ΗΠΑ στις αρχές του 18ου. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η καλλιέργεια της σόγιας είναι περιορισμένη και η ανάγκη σε σπόρο και κυρίως σε προϊόντα σόγιας καλύπτονται με εισαγωγές. Οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή (90% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής) είναι οι ΗΠΑ, η Βραζιλία, η Κίνα, η Ινδία και η Αργεντινή. Το 2016 η σόγια καλλιεργήθηκε παγκοσμίως σε 1,22 δισεκατομμύρια στρέμματα με συνολική παραγωγή 335 εκατομμύρια τόνους (FAOSTAT, 2018).

Η μέση απόδοση για την καλλιέργεια σόγιας στις ΗΠΑ από 130 κιλά στο στρέμμα που ήταν το 1940 έφτασε τα 240 κιλά το στρέμμα το 1998. Η αύξηση των αποδόσεων αποδίδεται κυρίως στη δημιουργία νέων ποικιλιών, αλλά και στη βελτίωση της τεχνικής καλλιέργειας. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά που συνδέονται με τις υψηλές αποδόσεις των νέων ποικιλιών είναι η αντοχή στις ασθένειες, στο πλάγιασμα, μεγαλύτερη παραγωγή σε σπόρο, μεγαλύτερη περίοδος γεμίσματος καρπού και υψηλότερη φωτοσύνθεση κατά το γέμισμα των σπόρων. Η μέση παγκόσμια απόδοση της σόγιας είναι περίπου 200 κιλά το στρέμμα αναφέρονται όμως αποδόσεις σε αρδευόμενες εκτάσεις με 500 κιλά το στρέμμα (Weiss 2000).

Η σόγια καλλιεργείται κυρίως για τους σπόρους της, οι οποίοι συνήθως μετά από βιομηχανική επεξεργασία χρησιμοποιούνται στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων και ως πηγή παραγωγής λαδιού. Η περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι κυμαίνεται από 14% έως 24% και σε πρωτεΐνη από 30% έως 50% (περιλαμβάνοντας μάλιστα όλα τα απαραίτητα αμινοξέα για τη διατροφή και του ανθρώπου και των ζώων). Η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (συνήθως πάνω από 40%) και μάλιστα υψηλής βιολογικής αξίας την κάνει μία πολύτιμη ζωοτροφή. Για ανθρώπινη κατανάλωση και μετά από ειδική επεξεργασία, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη φτάνει σε ακόμη υψηλότερα επίπεδα (πάνω από 90%) και με τη μορφή αυτή χρησιμοποιείται για παρασκευή τεχνητού κρέατος, γάλακτος, τυριού, για ενίσχυση της πρωτεΐνης των αλλαντικών κ.ά. Άλλες χρήσεις της σόγιας είναι επίσης εφικτές (π.χ. ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ).

Προσπάθειες για την καλλιέργεια της σόγιας στη χώρα μας άρχισαν από το 1930, χωρίς όμως επιτυχία. Νέο ενδιαφέρον εκδηλώθηκε κατά το 1987 μετά από επιδότηση της καλλιέργειας από την Ευρωπαϊκή Ένωση με σκοπό να αυξηθεί η παραγωγή σόγιας μέσα στην ένωση και να μειωθούν οι εισαγωγές. Ακολούθησε ανοδική πορεία των καλλιεργούμενων εκτάσεων μέχρι το 1989 (έκταση 80.000 στρέμματα) και στη συνέχεια σταδιακή μείωση, τα τελευταία χρόνια καλλιεργείται μόνο περιστασιακά Μπιλάλης κ.α. (2019).

Η σόγια καλλιεργήθηκε σε αρδευόμενα χωράφια ως κύρια και ως επίσπορη καλλιέργεια μετά από σιτάρι - κριθάρι. Οι λόγοι της μη συνέχισης της καλλιέργειας ήταν οικονομικοί και τεχνικών δυσκολιών όπως το τίναγμα των σπόρων και η δύσκολη μηχανική συγκομιδή. Οι αποδόσεις ήταν μικρότερες από τις αναμενόμενες, οπότε το εισόδημα των παραγωγών παρά τις αυξημένες, λόγω της επιδότησης, τιμές ήταν μικρότερο σε σύγκριση με το εισόδημα από άλλες ανταγωνιστικές καλλιέργειες (καλαμπόκι, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, βιομηχανική ντομάτα). Οι χαμηλές αποδόσεις αποδόθηκαν στην καλλιεργητική τεχνική (εμπλουτισμός με αζωτοβακτήρια, λίπανση, άρδευση κ.α.) που εφαρμόστηκε από τους παραγωγούς λόγω του ότι δεν ήταν εξοικειωμένοι με την καλλιέργεια Μπιλάλης κ.α. (2019). Τα τελευταία χρόνια η σόγια φαίνεται να επανέρχεται ξανά στο προσκήνιο, με περισσότερα από 11.000 στρέμματα να καλλιεργούνται ήδη (παραγοντας 3728 τόνους) και έντονο ενδιαφέρον κυρίως από βιομηχανίες ζωοτροφών για περαιτέρω επενδύσεις μέσω συμβολαιακής γεωργίας (FAOSTAT, 2018).

1.1 Προγραμματισμός της Άρδευσης

Ο σκοπός του προγραμματισμού της άρδευσης συνίσταται στο να προσδιοριστεί η ακριβής ποσότητα του νερού που θα εφαρμοστεί με την άρδευση στο χωράφι για να καθοριστεί ο ακριβής χρόνος για την εφαρμογή αυτή. Η ποσότητα του νερού που θα εφαρμοστεί προσδιορίζεται με χρήση ενός κριτηρίου που καθορίζει την ανάγκη για άρδευση και με την εφαρμογή κάποιας στρατηγικής που αποσκοπεί στο να προδιαγράψει πόσο νερό θα εφαρμόζεται σε κάθε περίπτωση. Στις περισσότερες περιπτώσεις το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής και η μεγιστοποίηση του καθαρού κέρδους για τον παραγωγό. Έτσι η σημαντικότητα του σωστού προγραμματισμού στην άρδευση είναι το ότι δίνει τη δυνατότητα στους παραγωγούς να επιτύχουν το στόχο τους. Το γεγονός αυτό, από τη στιγμή που θα επιτευχθεί, αυξάνει την αποτελεσματικότητα της άρδευσης.

Ένα σημείο που έχει ιδιαίτερη σημασία από τη μεριά του παραγωγού είναι να γνωρίζει κάθε φορά τον όγκο του νερού που εφαρμόζεται με την άρδευση (ή το ύψος του νερού που εφαρμόζεται, γνωστό ως δόση άρδευσης). Ο παραγωγός δεν μπορεί να διαχειριστεί το νερό με στόχο τη μέγιστη αποτελεσματικότητα αν δεν γνωρίζει πόσο νερό εφαρμόζεται κάθε φορά με την άρδευση. Επίσης, η ομοιόμορφη κατανομή του νερού σε όλα τα σημεία του χωραφιού είναι σημαντική ώστε να επιτευχθούν οι μέγιστες ωφέλειες με το σωστό προγραμματισμό και τη σωστή διαχείριση του αρδευτικού νερού. Η ακριβής γνώση της ποσότητας του νερού που εφαρμόζεται προστατεύει τον παραγωγό από την άσκοπη σπατάλη ή την ελλειμματική εφαρμογή του νερού άρδευσης. Η άσκοπη σπατάλη νερού συνοδεύεται από σπατάλη ενέργειας και εργασίας, από έκπλυση των θρεπτικών συστατικών κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος των φυτών, ενώ μειώνει τον εδαφικό αερισμό και τελικά καταλήγει σε μειωμένες αποδόσεις. Η ελλειμματική εφαρμογή του νερού άρδευσης καταπονεί τα φυτά και προκαλεί σημαντική μείωση της παραγωγής.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι, ο προγραμματισμός της άρδευσης έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα (Αργυροκαστρίτης, 2013):

- Δίνει τη δυνατότητα στον παραγωγό να διαχειριστεί σωστά το αρδευτικό νερό στα χωράφια του, να ελαχιστοποιήσει την υδατική καταπόνηση των φυτών και να μεγιστοποιήσει τις αποδόσεις.
- Μειώνει το κόστος του νερού και εργασίας για τον παραγωγό λόγω εφαρμογής λιγότερων αρδεύσεων αξιοποιώντας έτσι στο μέγιστο την αποθηκευτικότητα του εδάφους με νερό αξιοποιήσιμο για το φυτό.
- Μειώνει το κόστος λιπασμάτων αφού ελαχιστοποιεί τις απώλειες νερού με επιφανειακή απορροή και τη βαθιά διήθηση αποφεύγοντας έτσι την έκπλυση των χρησίων για τα φυτά θρεπτικών στοιχείων.
- Αυξάνει το καθαρό κέρδος, με την αύξηση της απόδοσης και την παραγωγή προϊόντων καλύτερης ποιότητας.
- Μειώνει τα προβλήματα υπερκορεσμού των εδαφών με τη μείωση των απαιτήσεων στράγγισης.
- Βοηθάει στον έλεγχο της αλατότητας στο ριζόστρωμα γιατί με το σωστό προγραμματισμό γίνεται πιο αποτελεσματικός έλεγχος της έκπλυσης των αλάτων από τη ζώνη του ριζοστρώματος.
- Βοηθάει τους παραγωγούς στην απόκτηση επιπλέον εισοδημάτων, από τη χρήση νερού που εξοικονομείται για την άρδευση άλλων καλλιεργειών που σε περιπτώσεις έλλειψης νερού θα έμεναν απότιστες.

Η ορθολογική εφαρμογή της άρδευσης απαιτεί τη χρήση ειδικών προγραμμάτων. Ένα τέτοιο πρόγραμμα περιγράφεται στη μελέτη του FAO (Irrigation and Drainage paper No 56) από τους Allen et al. (1998).

Η Μελέτη του FAO Yield Response to Water, Irrigation and Drainage Paper No 33 (Doorenbos and Kassam, 1979) η οποία αναθεωρήθηκε (Crop Yield Response to Water, Irrigation and Drainage Paper No 66) από τους Steduto et al. (2012), δίνει μία περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των αποδόσεων των καλλιεργειών ως συνάρτηση της εφαρμοζόμενης ποσότητας νερού άρδευσης.

1.2 Ανάγκες σε Νερό

Οι ανάγκες της σόγιας σε νερό είναι μικρές στα πρώτα στάδια ανάπτυξης και κατά την ωρίμανση και αυξημένες κατά τη διάρκεια της άνθησης και του γεμίσματος των σπόρων. Μικρές περιόδους έλλειψης νερού κατά τη διάρκεια γεμίσματος των σπόρων μπορεί να έχουν μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες δυσμενείς επιπτώσεις στην απόδοση (Brevedan και Egli 2003). Η πορεία των αναγκών σε νερό είναι ίδια για όλες τις περιοχές εκείνο όμως που μπορεί να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή είναι το ύψος των αναγκών. Επιβλαβή επίδραση στην ανάπτυξη και απόδοση της σόγιας έχει και η κατάκλυση του εδάφους με νερό. Ιδιαίτερα, η κατάκλυση κατά την περίοδο του φυτρώματος μειώνει σημαντικά τον πληθυσμό των φυτών και μειώνει τη βιωσιμότητα των σπόρων και τη διάρκεια αποθήκευσης. Σε συνθήκες κατάκλυσης τα φυτά προσβάλλονται από μυκητολογικές ασθένειες, επιτείνεται η τοξικότητα από τα ζιζανιοκτόνα και καταστρέφονται τα φυμάτια. Οι επιπτώσεις αυτές είναι μεγαλύτερες σε σχέση με εκείνες της περίσσειας νερού στις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών. Αναφέρεται ότι στην Ινδία κατάκλυση 4 με 8 ημέρες σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, ανάλογα με την ποικιλία, μείωσε την απόδοση πάνω από το $\frac{1}{3}$ (Weiss 2000).

Η έλλειψη νερού ασκεί διαφορετική επίδραση στην απόδοση ανάλογα με το στάδιο στο οποίο παρατηρείται. Σύμφωνα με στοιχεία του (FAO), η μεγαλύτερη μείωση των αποδόσεων συμβαίνει όταν η έλλειψη νερού παρατηρείται κατά την τελευταία εβδομάδα της αναπτύξεως και κατά το στάδιο του γεμίσματος των σπόρων. Έλλειψη υγρασίας κατά τη διάρκεια της άνθησης και της δημιουργίας των λοβών φαίνεται ότι είναι υπεύθυνη για την πτώση των ανθέων και των λοβών αντίστοιχα. Οι μεγαλύτερες ανάγκες της καλλιέργειας ξεκινούν από την άνθιση και συνεχίζονται κατά τη διάρκεια του γεμίσματος των λοβών για τις κλιματικές συνθήκες της χώρας μας (Ιούλιος- Αύγουστος). Στο διάστημα αυτό, η σόγια χρειάζεται συστηματικό πότισμα, περίπου κάθε 10-15 μέρες. Στο στάδιο πριν από την άνθιση οι αρδεύσεις θα πρέπει να είναι λίγες και στοχευμένες ώστε να αποφευχθεί ενδεχόμενο πλάγιασμα των φυτών. Όταν πρόκειται για επί-

σπορη καλλιέργεια, συστηματικές αρδεύσεις γίνονται και σε νεαρότερα στάδια (βλαστητική ανάπτυξη). Συνήθως 4-8 αρδεύσεις είναι αρκετές, ενώ η υπερβολική υγρασία ιδιαίτερα στα νεαρά στάδια της φυτείας είναι ανεπιθύμητη, καθώς μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά μυκητολογικά προβλήματα (π.χ. περονόσπορος).

1.3 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Γενικά, η τεχνική του προγραμματισμού της άρδευσης εφαρμόζεται με τρεις τρόπους: Κατά τον πρώτο υπολογίζεται από το εδαφικό υδατικό δυναμικό, κατά τον δεύτερο από μετεωρολογικούς παράγοντες και ο τρίτος τρόπος έχει ως βάση το φυτό. Παρόλο που η εδαφική υγρασία μετράται ακόμα με την βαρουμετρική μέθοδο, έχουν χρησιμοποιηθεί και πιο σύγχρονες μέθοδοι μέτρησης όπως με συσκευή νετρονίων (Van Bavel et al., 1963; Nakayama και Reginato, 1982). Στη δεύτερη κατηγορία όπου χρησιμοποιούμε μετεωρολογικούς παράγοντες, αρκετές εργασίες έχουν παρουσιαστεί (Jensen και Haise, 1963; Jensen και Wright, 1978; Wright και Jensen, 1978). Βασικά αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν ως δεδομένα εισαγωγής τη θερμοκρασία του αέρα, την καθαρή ηλιακή ακτινοβολία, το έλλειμμα κορεσμού της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς, την ταχύτητα ανέμου και υπολογίζουν το νερό που εξατμοδιαπνέεται για μία δεδομένη χρονική περίοδο. Η τρίτη κατηγορία αφορά απευθείας μέτρηση σε χαρακτηριστικά και ιδιότητες των φυτών (φυτικές παράμετροι). Αυτή η μεθοδολογία είναι χρονοβόρα γιατί απαιτεί πολλές μετρήσεις για το χαρακτηρισμό της καλλιέργειας σε κάθε εδαφική μονάδα.

Οι Hiler και Clark (1971) ανέπτυξαν έναν δείκτη υδατικής καταπόνησης (stress day index, SDI) βασισμένο σε φυτικές παραμέτρους. Οι Katerji et al. (2003) βασίζομενοι στις παραπάνω μελέτες χρησιμοποίησαν τον ημερήσιο δείκτη υδατικής καταπόνησης (WSDI-Water Stress Day Index), με σκοπό να ελέγξουν τις επιπτώσεις της αλατότητας στην παραγωγή διαφόρων καλλιεργειών. Οι Gardner et al. (1981) και οι Hope και Jackson (1989) εισήγαγαν ένα δείκτη για την υδατική καταπόνηση μιας καλλιέργειας που ονομάστηκε ημερήσιος θερμοκρασιακός βαθμός καταπόνησης (temperature-stress-degree, TSD). Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως η διαφορά της θερμοκρασίας φυλλώματος μεταξύ μιας πειραματικής (δυσνητικά καταπονημένης) καλλιέργειας και μιας πλήρως αρδευόμενης καλλιέργειας.

Πολυάριθμες μελέτες που σχετίζονται με την θερμοκρασία του φυλλώματος έχουν γίνει με σκοπό την πρόβλεψη της υδατικής κατάστασης των φυτών. Σε αυτές τις μελέτες βρέθηκε συσχέτιση της θερμοκρασίας του φυλλώματος και της

εδαφικής υγρασίας (Jackson et al., 1977a; Jackson, 1982), της θερμοκρασίας του φυλλώματος και της υδατικής καταπόνησης των φυτών (Jackson et al. 1977b; Idso et al. 1978; Jackson et al. 1981), ενώ άλλες μελέτες έδειξαν συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού διαπνοής και της θερμοκρασίας των φύλλων (Idso et al. 1977a; Jackson et al. 1983). Σύμφωνα με τα παραπάνω, δημιουργήθηκε ένας δείκτης ημερήσιας υδατικής καταπόνησης (stress-degree-day, SDD). Ο δείκτης αυτός είναι η ημερήσια τιμή της διαφοράς $T_c - T_a$, μετρούμενη τη στιγμή της μέγιστης θερμοκρασίας της φυτοκόμης.

Στα πλαίσια του προγραμματισμού της άρδευσης η εφαρμογή υπολογιστικών προγραμμάτων προσομοίωσης της παραγωγής μιας καλλιέργειας (crop productivity modeling), όπως π.χ. το SOYGRO Jones et al. (1986) μπορεί να χρησιμοποιηθεί βοηθητικά ως ένα χρήσιμο εργαλείο λήψης αποφάσεων για την βελτιστοποίηση της παραγωγής. Ο οργανισμός τροφίμων και γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) στην προσπάθεια να διασφαλίσει την βέλτιστη χρήση του αρδευτικού νερού για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, δημιούργησε το μοντέλο AquaCrop που σχετίζεται με την απόκριση των καλλιεργειών στο νερό (Hsiao et al. 2009; Raes et al. 2009; Steduto et al. 2009; Raes et al. 2012; Steduto et al. 2012). Παρόμοια μοντέλα είναι το Isareg (Pereira et al., 2003) και το CropWat (Smith, 1992).

Για την αξιολόγηση μιας καλλιέργειας ως προς την προσαρμογή της στα αγρομετεωρολογικά δεδομένα της κάθε περιοχής, πρέπει να αναλυθούν τα πειραματικά δεδομένα της καλλιέργειας στην εν λόγω περιοχή. Σύμφωνα με τον (Wallace 1995), τα φυτά σπανίως συναγωνίζονται για την ακτινοβολία του ηλίου χωρίς τον συναγωνισμό για την επάρκεια σε εδαφικό νερό. Οπότε ο υπολογισμός του συντελεστή αξιοποίησης της ακτινοβολίας Radiation Use Efficiency (RUE) και του συντελεστή αξιοποίησης νερού Water Use Efficiency (WUE) αποτελούν σημαντικές πληροφορίες για τη σύγκριση μεταξύ ποικιλιών των διαφόρων φυτών.

Εργασίες υπολογισμού των RUE και WUE υπάρχουν πάρα πολλές για καταπονημένες και μη καλλιέργειες που έχουν γίνει στο παρελθόν. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία αναφέρονται εργασίες, για το γλυκό σόργο (Mastorilli et al. 1995, Dercas και Liakatas 2007), για κύριες καρποδοτικές καλλιέργειες (Kiniry et al. 1989, Sinclair και Muchow 1999), για την καλλιέργεια της σόγιας (Muchow et al. 1991; Pengelly et al. 1999; Kumudini et al. 2008; Souza et al. 2009; Singer et al. 2011; Adeboye et al. 2016; Liu et al. 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Προσαρμογή σημείων με ανάλυση τάσης επιφάνειας (Trend surface analysis)

Υπάρχουν δύο ομάδες τεχνικών για την εκτίμηση των σημείων πλέγματος πάνω σε μια επιφάνεια από διάσπαρτες παρατηρήσεις. Η πρώτη ονομάζεται σφαιρική προσαρμογή (global fit), η οποία υπολογίζει μια αλγεβρική συνάρτηση που περιγράφει μια επιφάνεια καλυπτόμενη από ολόκληρη την περιοχή παρατηρήσεων, δίνοντας υπολογιστικές τιμές στους κόμβους πλέγματος (global fit). Η δεύτερη ονομαζόμενη τοπική προσαρμογή (local fit) υπολογίζει την επιφάνεια στους διαδοχικούς κόμβους του πλέγματος χρησιμοποιώντας μόνο μια σφαιρική επιλογή των πλησιέστερων σημείων δεδομένων. Η ανάλυση της τάσης μίας επιφάνειας είναι ευρέως εφαρμοζόμενη διαδικασία, που χρησιμοποιεί την τεχνική της σφαιρικής προσαρμογής μιας επιφάνειας. Τα δεδομένα προσεγγίζονται από μια πολυωνυμική επέκταση των συντεταγμένων των δεδομένων ελέγχου και οι συντελεστές του πολυωνύμου προσδιορίζονται με μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, εξασφαλίζοντας ότι το άθροισμα των τετραγώνων της απόκλισης από την περιγραφόμενη τάση της επιφάνειας, είναι το ελάχιστο σε κάθε εκτιμώμενο κόμβο. (Draper και Smith, 1981; Gallier, 2000).

Οι πολυωνυμικές συναρτήσεις που περιγράφουν την τάση μιας επιφάνειας συμπεριφέρονται ικανοποιητικά στις περισσότερες κατανομές δεδομένων. Κατόπιν επαναληπτικής διερεύνησης πολλαπλών συσχετίσεων πρωτογενών μετρήσεων, διαπιστώνεται ότι η επιλογή μιας πολυωνυμικής συσχέτισης επιφάνειας (Bilinear surface regression) έδινε τα καλύτερα αποτελέσματα εκτιμήσεων, με σύγχρονη επιβεβαίωση και από τα στατιστικά μεγέθη Αλεξανδρής (2003). Η επιλεγόμενη μορφή της εξίσωσης επιφάνειας έχει την ακόλουθη μορφή:

$$z = f(x, y) = k_0 + k_1 \cdot y + k_2 \cdot x + k_3 \cdot x \cdot y \quad (2.1.1)$$

Όπου Z αντιπροσωπεύει η εκτιμώμενη παράμετρος και τα X και y αντιπροσωπεύουν τις παραμέτρους θέσης.

2.2 Η υπέρυθρη θερμομετρία και η συσχέτιση με την θερμοκρασία του φύλλου.

Ο προγραμματισμός της άρδευσης γενικότερα βασίζεται σε μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας ή μετεωρολογικών παραμέτρων για την μοντελοποίηση ή για τον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής μιας καλλιέργειας. Η θεωρία της υπέρυθρης θερμομετρίας και η συσχέτιση αυτής με τη θερμοκρασία του φύλλου, ήταν αντικείμενο της μελέτης των (Jackson και Idso, 1969).

2.2.1 Ανάπτυξη του εμπειρικού δείκτη Crop Water Stress Index (CWSI).

Οι Idso et al. (1981a) παρατήρησαν μία γραμμική σχέση μεταξύ της διαφοράς θερμοκρασίας φύλλου-αέρα ($T_c - T_a$) και του ελλείμματος κορεσμού (VPD) της ατμόσφαιρας σε πλήρως αρδευόμενα καλλιεργούμενα φυτά, των οποίων ο ρυθμός διαπνοής είναι ο μέγιστος δυνατός σε περιόδους με ηλιοφάνεια. Καθώς το ποσοστό της εδαφικής υγρασίας μειώνεται, η σχέση ($T_c - T_a$) και (VPD) αποκλίνει από τη γραμμική σχέση που αντιπροσωπεύει την επάρκεια εδαφικής υγρασίας για το φυτό, ενώ όταν αυτό βρεθεί σε συνθήκες μηδενικής διαπνοής (δηλ. μέγιστης υδατικής καταπόνησης) η διαφορά ($T_c - T_a$) έχει σταθερή τιμή. Η γραμμικότητα της σχέσης ($T_c - T_a$) και (VPD) για φυτά υπό συνθήκες μέγιστης διαπνοής και η σταθερότητα της διαφοράς ($T_c - T_a$) για φυτά υπό συνθήκες μηδενικής διαπνοής αποτέλεσαν και τη βάση για τον ορισμό του δείκτη υδατικής καταπόνησης φυτού (CWSI). Ο δείκτης υδατικής καταπόνησης χαρακτηρίζει το στάδιο στο οποίο τα φυτά καταπονούνται υδατικά και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, με την τιμή 0 να αντιπροσωπεύει συνθήκες μέγιστης διαπνοής (μηδενικής υδατικής δοκιμασίας) και την τιμή 1 να αντιπροσωπεύει συνθήκες μηδενικής διαπνοής (μέγιστης υδατικής δοκιμασίας).

Χρησιμοποιήθηκε, μάλιστα, από πολλούς μελετητές για τον προγραμματισμό της άρδευσης (Pinter και Reginato 1982, Reginato 1983, Howell et al. 1984, O'Toole et al. 1984, Reginato και Howe 1985, Reginato και Garrot 1987, Wanjura 1990, Nielsen 1990).

2.2.2 Υπολογισμός του δείκτη υδατικής καταπόνησης (CWSI)

Προκειμένου να εκτιμηθεί η υδατική καταπόνηση που υφίστανται τα φυτά, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός δύο ορίων: του άνω ορίου, όπου επικρατεί πλήρης έλλειψη εδαφικής υγρασίας και το φυτό δεν διαπνέει και του κάτω ορίου, όπου θεωρητικά υπάρχει πλήρης επάρκεια εδαφικής υγρασίας (μέγιστη δια-

πνοή). Το άνω όριο (upper level, ul) προσδιορίστηκε από την διαφορά θερμοκρασίας φυτοκόμης (T_c) με την θερμοκρασία αέρα (T_a) των φυτών που υπόκεινται τη μέγιστη καταπόνηση δηλαδή της μηδενικής μεταχείρισης 0% για διάφορα ελλείμματα κορεσμού της ατμόσφαιρας σε νερό (VPD). Το κάτω όριο (lower level, ll) προσδιορίστηκε αντίστοιχα για τα φυτά που υπόκεινται την ελάχιστη καταπόνηση και αφορά μετρήσεις της 100% μεταχείρισης. Ο δείκτης υδατικής καταπόνησης (CWSI) ισούται με το λόγο της κάθετης απόστασης της διαφοράς θερμοκρασίας ($T_c - T_a$) από την οριογραμμή μέγιστης διαπνοής, προς την κάθετη απόσταση των δύο οριογραμμών, μέγιστης και μηδενικής διαπνοής αντίστοιχα, για την ίδια τιμή του (VPD) (Idso et al., 1981a, Jackson 1982):

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{ll}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} \quad (2.2.2)$$

Όπου ($T_c - T_a$), ($T_c - T_a$)_{ll}, και ($T_c - T_a$)_{ul} στην 2.2.2 είναι αντίστοιχα οι υπολογισμένες διαφορές ανάμεσα στην θερμοκρασία φυτοκόμης και αέρα σε (°C) και τα κατώτερα και ανώτερα όρια αυτών των θερμοκρασιακών διαφορών σε (°C) για δεδομένα ελλείμματα κορεσμού (VPD).

Σε μια σειρά δημοσιεύσεων αργότερα μεταξύ άλλων οι (Idso 1982, Alves και Pereira 2000) υποστήριξαν ότι ίσως να υπάρχουν διαφορετικές οριογραμμές μη υδατικής καταπόνησης για τις διάφορες καλλιέργειες και ότι πρέπει να υπολογιστούν για τις κάθε τοπικά διαμορφούμενες κλιματικές συνθήκες. Ο δείκτης υδατικής καταπόνησης CWSI έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν και για τον προγραμματισμό της άρδευσης (Nielsen 1990, Adeboye et al. 2016) και σαν μεθοδολογία για την απεικόνιση της υδατικής κατάστασης της καλλιέργειας για αρκετές καλλιέργειες σε ξερικά, ημίξηρα και για κλίματα που επικρατούν φαινόμενα βροχοπτώσεων κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Lebourgeois et al. 2010, ζαχαροκάλαμο O'Shaughnessy et al. 2011, βαμβάκι και σόγια Candogan et al. 2013, σόγια Taghvaeian et al. 2014, Vamvakoulas et al. 2020, ηλίανθος Argyrokastritis et al. 2015, βαμβάκι De Jonge et al. 2015, καλαμπόκι).

2.3 Το μοντέλο AquaCrop

Σε ημίξηρα κλίματα όπως είναι της Ελλάδας και με τις κλιματικές παραλλαγές που τα τελευταία χρόνια εντατικοποιούνται, ο προγραμματισμός της άρδευσης γίνεται ολοένα και περισσότερο χρήσιμος ώστε να επιτευχθούν σταθερά υψηλές αποδόσεις των καλλιεργειών όπως είναι αυτή της σόγιας.

Στα πλαίσια του προγραμματισμού της άρδευσης η εφαρμογή υπολογιστικών προγραμμάτων προσομοίωσης της παραγωγής μιας καλλιέργειας (crop productivity modeling), μπορεί να χρησιμοποιηθεί βοηθητικά ως ένα χρήσιμο εργαλείο λήψης αποφάσεων για την βελτιστοποίηση της παραγωγής. Ο οργανισμός τροφίμων και γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) στην προσπάθεια να διασφαλίσει την βέλτιστη χρήση του αρδευτικού νερού για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, δημιούργησε το μοντέλο AquaCrop που σχετίζεται με την απόκριση των καλλιεργειών στο νερό (Hsiao et al., 2009; Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009; Raes et al., 2012; Steduto et al., 2012).

Η λειτουργία του μοντέλου AquaCrop για το φυτό σόγια και για διάφορες υδατικές μεταχειρίσεις έχει αξιολογηθεί σε αρκετές εργασίες σε διάφορες περιοχές του πλανήτη (Abi Saab et al., 2014; Kariyama et al., 2014; Paredes et al., 2015; Adeboye et al., 2017). Το μοντέλο AquaCrop σε αρκετές εργασίες αποδεικνύεται ότι προσομοιώνει επαρκώς την απόκριση των καλλιεργειών σε νερό υπό συνθήκες μη υδατικής καταπόνησης ενώ σε συνθήκες έντονης ανεπάρκειας εδαφικής υγρασίας το μοντέλο τείνει να μην κάνει καλή εκτίμηση της απόκρισης των φυτών σε νερό (Eveti και Tolk, 2009).

Το μοντέλο υπολογίζει την επιφανειακή ξηρή βιομάζα και την σποροπαραγωγή της καλλιέργειας από την πραγματική διαπνοή T_r (mm). Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να υπολογίζει ξεχωριστά την πραγματική διαπνοή T_r και την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους E_s (mm) για ημερήσια χρονικά βήματα. Η ημερήσια πραγματική εξατμοδιαπνοή $ET_{c,act}$ (mm day⁻¹) είναι το άθροισμα των T_r και E_s που υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$T_r = K_s \cdot K_{c,Tr} \cdot ET_0 \quad (2.3.1)$$

και

$$E_s = K_r \cdot K_e \cdot ET_0 \quad (2.3.2)$$

Όπου το ET_0 είναι η εξατμοδιαπνοή αναφοράς σε (mm day⁻¹), το $K_{c,Tr}$ είναι ο συντελεστής διαπνοής της καλλιέργειας, το K_s είναι ένας συντελεστής υδατικής καταπόνησης, που παίρνει τιμές μικρότερες από 1 σε συνθήκες ανεπάρκειας εδαφικής υγρασίας, το K_e είναι ο συντελεστής εξάτμισης της επιφάνειας του εδάφους και το K_r είναι ο συντελεστής μείωσης της εξάτμισης, που παίρνει τιμές μι-

κρότερες από 1 σε συνθήκες ανεπάρκειας εδαφικής υγρασίας για εξάτμιση από αυτό (Steduto et al., 2012; Raes et al., 2012).

Ο υπολογισμός της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (B , ton ha⁻¹) γίνεται από τον τύπο :

$$B = K_{s_b} \cdot WP^* \cdot \sum \frac{T_r}{ET_0} \quad (2.3.3)$$

Όπου το K_{s_b} είναι ένας συντελεστής θερμοκρασιακής καταπόνησης, που παίρνει τιμές μικρότερες από 1 όταν λόγω ψύχους δεν συμπληρώνονται οι βαθμομέρες ανάπτυξης για την επαρκή παραγωγή βιομάζας και το WP^* είναι η βιομάζα που παράγεται ανά μονάδα επιφάνειας αφού έχει ρυθμιστεί για το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και την εξατμοδιαπνοή αναφοράς (ET_0). Για τον υπολογισμό της τελικής παραγωγής (Y , ton ha⁻¹) χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$Y = HI \cdot B \quad (2.3.4)$$

Όπου HI είναι ο δείκτης συγκομιδής που υποδεικνύει τι ποσοστό της τελικής ολικής παραγόμενης βιομάζας είναι η σποροπαραγωγή. Λεπτομερής περιγραφή του μοντέλου γίνεται από τους (Steduto et al. 2012; Raes et al. 2012).

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) που προσδιορίστηκε χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ποσοστού φυτοκάλυψης CC (%) με χρήση της εξίσωσης των Hsiao et al. (2009):

$$CC = 1.005 \cdot [1 - \exp(-0.6 \cdot LAI)]^{1.2} \quad (2.3.5)$$

2.3.1 Αξιολόγηση του μοντέλου.

Στο μοντέλο AquaCrop v 5.0 γίνεται αξιολόγησή του με μια επαναληπτική διαδικασία. Για το φυτό σόγια χρειάζεται να προσομοιωθούν τα φαινολογικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας (πίνακας 2.3.1), συγχρόνως με κλιματικά και εδαφολογικά δεδομένα, τα οποία θα πρέπει να ρυθμιστούν ώστε να ταιριάζουν με τα στοιχεία των απαιτούμενων δειγματοληψιών.

Πίνακας 2.3.1. Φυτικές παράμετροι του μοντέλου AquaCrop για μια καλλιεργητική περίοδο.

Φυτικές Παράμετροι	Μονάδες
Χαμηλότερο όριο θερμοκρασίας ανάπτυξης της καλλιέργειας	(°C)
Υψηλότερο όριο θερμοκρασίας ανάπτυξης της καλλιέργειας	(°C)
Αρχικό στάδιο φυτοκάλυψης (CCo)	%
Συντελεστής ανάπτυξης της φυτοκόμης (CGC)	ημέρα ⁻¹
Συντελεστής μείωσης της ανάπτυξης της φυτοκόμης (CDC)	ημέρα ⁻¹
Συντελεστής μέγιστης διαπνοής της καλλιέργειας	
Μείωση του συντελεστή της καλλιέργειας αφού φτάσει στο CCx (μέγιστη ανάπτυξη φυτοκόμης)	%
Συντελεστής παραγωγής ρυθμισμένος για το CO ₂ και το ET ₀	g m ⁻²
Ανώτερο όριο για την διακοπή της ανάπτυξης της φυτοκόμης	
Κατώτερο όριο για την διακοπή της ανάπτυξης της φυτοκόμης	
Αυξητικός συντελεστής καταπόνησης φυλλώματος	
Ανώτερο όριο για το κλείσιμο των στοματίων	
Ανώτατο όριο εξάντλησης του εδαφικού νερού στο στάδιο γήρανσης της φυτοκόμης	
Συντελεστής καμπύλης καταπόνησης των στοματίων	
Συντελεστής καμπύλης καταπόνησης της φυτοκόμης	
Συντελεστής που περιγράφει την θετική επίδραση στον HI στο στάδιο γεμίσματος των σπόρων	
Συντελεστής που περιγράφει την αρνητική επίδραση στον HI στο στάδιο γεμίσματος των σπόρων	
Μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση του δείκτη συγκομιδής (HI)	%
Μέγιστος συντελεστής της καλλιέργειας ρυθμισμένος στην αύξηση της φυτοκόμης (K _{cb})	
Διάρκεια από την σπορά μέχρι την βλάστηση του σπόρου	Ημέρες
Διάρκεια από την σπορά μέχρι την έναρξη της άνθισης	Ημέρες
Διάρκεια της άνθισης	Ημέρες
Χρόνος από την σπορά μέχρι την έναρξη της γήρανσης της καλλιέργειας	Ημέρες
Χρόνος από την σπορά μέχρι την ωρίμανση	Ημέρες
Διάρκεια συνεισφοράς στον δείκτη συγκομιδής (HI)	Ημέρες
Ελάχιστο βάθος ενεργού ριζοστρώματος	m
Μέγιστο βάθος ενεργού ριζοστρώματος	m

Η αξιολόγηση του μοντέλου γίνεται με στατιστικά κριτήρια (Pearson correlation coefficient, root mean square error, normalized root mean square error, Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient και Willmotts index of agreement).

2.4 Μεθοδολογία Υπολογισμού των συντελεστών αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας (RUE) και του νερού (WUE).

Η μέθοδος υπολογισμού της RUE βασίζεται σε εμπειρικές σχέσεις μεταξύ της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και της παραγόμενης βιομάζας που έχει

προτείνει ο Monteith, (1977) και έχουν βελτιωθεί και προσαρμοστεί στις συνθήκες της Νότιας Ευρώπης από τους Γάλλους επιστήμονες (Varlet – Grancher and Gosse, 1989).

$$D-AGB = \alpha * \sum PAR_{\alpha} \quad (2.4.1)$$

Όπου το D-AGB είναι η επιφανειακή ξηρή βιομάζα σε (gr/m²), η PAR_α είναι το κλάσμα της ολικής φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας με μήκη κύματος μεταξύ 400-700nm που αξιοποιείται από το φυτό και α είναι ο συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας (RUE με μονάδες μέτρησης gr/MJ). Να σημειωθεί ότι αυτή η μεθοδολογία ισχύει για μη καταπονούμενες καλλιέργειες όπου το εδαφικό νερό είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο.

Ο ημερήσιος υπολογισμός της PAR_α έγινε με το μοντέλο των Gosse et al. (1982):

$$PAR_{\alpha} = \epsilon_i * PAR \quad (2.4.2)$$

Όπου το PAR είναι η εισερχόμενη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 400-700nm επάνω από την φυτοκόμη και είναι περίπου το 48% της ολικά εισερχόμενης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (350-2500nm). Το ε_i μπορεί να υπολογιστεί από το μοντέλο των (Varlet-Grancher και Bonhomme, 1979):

$$\epsilon_i = 0.95 * (1 - e^{(-k*LAI)}) \quad (2.4.3)$$

Όπου το k έχει μελετηθεί πειραματικά για διάφορες αποστάσεις φύτευσης του φυτού σόγια από τους Flenet et al. (1996).

Ο συντελεστής αξιοποίησης του νερού (WUE) ορίζεται ως το κλάσμα της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB σε gr/m²) προς την αθροιστική μέγιστη πραγματική εξατμοδιαπνοή σε mm.

2.5 Υπολογισμός της μέσης αεροδυναμικής αντίστασης r_{ap} και της μέσης αντίστασης της καλλιέργειας r_{cp} για μη υδατικώς καταπονούμενα φυτά.

Η θεωρητική ανάπτυξη του δείκτη υδατικής καταπόνησης καλλιέργειας (CWSI) βασίζεται στο ενεργειακό ισοζύγιο σε μία επιφάνεια:

$$R_n = G + H + \lambda E \quad (2.5.1)$$

Όπου R_n είναι η καθαρή ακτινοβολία (Wm^{-2}), G είναι η ροή θερμότητας μέσα στην επιφάνεια (Wm^{-2}), H είναι η ροή της αισθητής θερμότητας (Wm^{-2}) στον αέρα πάνω από την επιφάνεια και λE είναι η ροή της λανθάνουσας θερμότητας (Wm^{-2}).

Οι όροι H και λE από την εξίσωση (2.5.1) μπορούν να εκφραστούν και ως:

$$H = \rho \cdot C_p \cdot (T_c - T_a) / r_a \quad (2.5.2)$$

και

$$\lambda E = \rho \cdot C_p \cdot (e_s - e_a) / [\gamma(r_a + r_c)] \quad (2.5.3)$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα (kgm^{-3}), C_p η θερμοχωρητικότητα του αέρα ($Jkg^{-1}C^{-1}$), T_c η θερμοκρασία φυτοκόμης ($^{\circ}C$), T_a η θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}C$), e_s η τάση κορεσμένων υδρατμών (kPa) στην T_c , e_a η πραγματική τάση υδρατμών (kPa), γ η ψυχομετρική σταθερά ($kPa^{\circ}C^{-1}$), r_a η αεροδυναμική αντίσταση (sm^{-1}) και r_c η αντίσταση της φυτοκόμης (sm^{-1}).

Ωστόσο σύμφωνα με τους (van Bavel και Ehler, 1968) η αντίσταση της φυτοκόμης r_c για μη υδατικός καταπονούμενη καλλιέργεια δεν θα είναι μηδενική όπως αυτό συμβαίνει σε ελεύθερη επιφάνεια νερού. Για αυτόν τον λόγο κρίνεται σκόπιμο να αντικατασταθεί η ψυχομετρική σταθερά γ με την $\gamma^* = \gamma(1 + r_{cp} / r_{ap})$, όπου r_{cp} είναι η αντίσταση της φυτοκόμης στην κατάσταση βέλτιστης διαπνοής (Jackson et al. 1981).

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (2.5.1)-(2.5.3) θεωρώντας την ροή θερμότητας G αμελητέα και θέτοντας Δ την κλίση του ελλείμματος κορεσμού της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (VPD) ως προς την θερμοκρασία ($e_s - e_a$) ($kPa^{\circ}C^{-1}$) προκύπτει:

$$T_c - T_a = \frac{r_{ap} \cdot R_n}{\rho \cdot C_p} \cdot \frac{\gamma \cdot (1 + r_{cp} / r_{ap})}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_{cp} / r_{ap})} - \frac{VPD}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_{cp} / r_{ap})} \quad (2.5.4)$$

Σύμφωνα με τους (O' Toole και Real, 1986) στην εξίσωση (2.5.4) αν θεωρήσουμε :

$$a = \frac{r_{ap} \cdot R_n}{\rho \cdot C_p} \cdot \frac{\gamma \cdot (1 + r_{cp} / r_{ap})}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_{cp} / r_{ap})} \quad (2.5.5)$$

και

$$b = \frac{-1}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_{cp} / r_{ap})} \quad (2.5.6)$$

Τα a και b είναι αντίστοιχα η κλίση και ο σταθερός συντελεστής της κάτω οριογραμμής του πειραματικού CWSI (βλ. πειραματικός CWSI). Οπότε αν θεωρήσουμε ότι για μετρήσεις διαφοράς των θερμοκρασιών φυτοκόμης T_c και αέρα T_a σε μη υδατικά καταπονημένες καλλιέργειες και του ελλείμματος κορεσμού της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (VPD) και θεωρώντας πολύ μικρότερες τις μεταβολές των ($\bar{R}_n, r_{cp}, r_{ap}$ και $\bar{\Delta}$) κατά την καλλιεργητική περίοδο και με λύσεις των εξισώσεων 2.5.5 και 2.5.6 μπορούμε να υπολογίσουμε τις μέσες τιμές των r_{ap} και r_{cp} ως εξής:

$$\bar{r}_{ap} = \frac{\rho \cdot C_p \cdot a}{\bar{R}_n \cdot b \cdot \left(\bar{\Delta} + 1/b \right)} \quad (2.5.7)$$

και

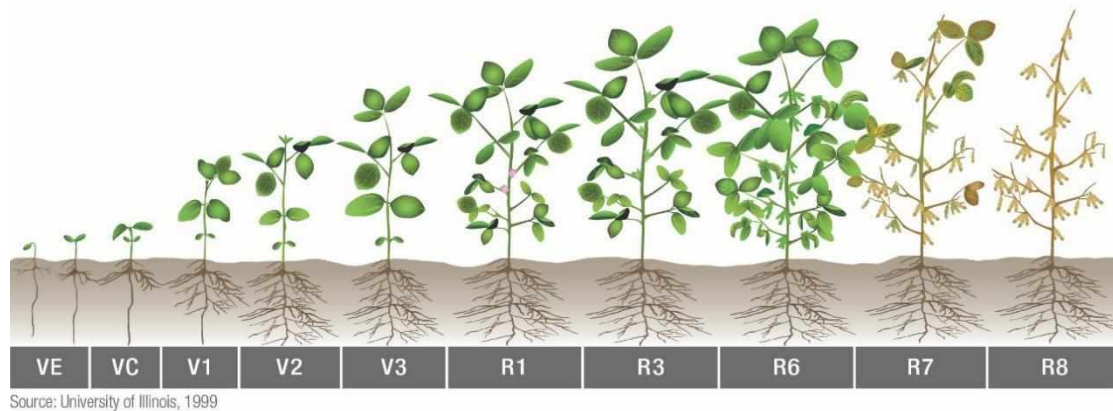
$$\bar{r}_{cp} = -\bar{r}_{ap} \cdot \left(\frac{\bar{\Delta} + 1/b}{\gamma} + 1 \right) \quad (2.5.8)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Βοτανική Περιγραφή της Σόγιας

Η σόγια είναι ετήσιο ποώδες φυτό των θερμών κλιμάτων, με όρθια ανάπτυξη. Το ριζικό σύστημα είναι εκτεταμένο και αποτελείται από μία πασσαλώδη ρίζα που μπορεί να φτάσει σε βάθος 1,5 m και από πολλές πλάγιες διακλαδώσεις, ο κύριος όγκος των οποίων βρίσκεται στα πρώτα 25 με 30 cm του εδάφους Μπιλάλης κ.α. (2019). Έχουν βρεθεί σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών όσον αφορά στην ταχύτητα ανάπτυξης, στη συνολική μάζα και στη διείσδυση των ριζών στο έδαφος. Για μη αρδευόμενους αγρούς ή για περιοχές με υψηλή υπόγεια στάθμη νερού, πρέπει να επιλέγονται ποικιλίες με γρήγορη ανάπτυξη των ριζών και μεγάλη ικανότητα διείσδυσης.



Εικόνα 1: Περιγραφή των σταδίων ανάπτυξης (Πηγή Διαδίκτυο)

Το πείραμα διήρκησε δύο καλλιεργητικές περιόδους κατά τα έτη 2014 και 2015 αντίστοιχα και διεξήχθη στον πειραματικό αγρό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στην Αλίαρτο.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρατίθενται αναλυτικά όλες οι απαραίτητες εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την τέλεση του πειράματος.

Χρονοδιάγραμμα των εργασιών στον πειραματικό αγρό

- 29/5/2014 & 27/5/2015 Φρεζάρισμα του πειραματικού τεμαχίου.
- 29/5/2014 & 27/5/2015 Χάραξη των πειραματικών τεμαχίων και εγκατάσταση του αρδευτικού συστήματος.
- 30/5/2014 & 30/5/2015 Σπορά των ποικιλιών (PR91M10 & PR92B63) και έναρξη άρδευσης των πειραματικών τεμαχίων
- 5/6/2014 & 4/6/2015 φύτευμα
- 26/7/2014 & 17/7/2015 αραιώμα
- 26/7/2014 & 25/7/2015 Έναρξη μεταχειρίσεων άρδευσης (100%, 75%, 50%, 25%, 0%)
- 2/7/2014 & 2/7/2015 πραγματοποιήθηκε η 1^η δειγματοληψία
- 17/7/2014 & 16/7/2015 πραγματοποιήθηκε η 2^η δειγματοληψία
- 29/7/2014 & 28/7/2015 πραγματοποιήθηκε η 3^η δειγματοληψία
- 12/8/2014 & 13/8/2015 πραγματοποιήθηκε η 4^η δειγματοληψία
- 5/9/2014 & 9/9/2015 Συγκομιδή της ποικιλίας PR91M10
- 22/9/2014 & 25/9/2015 Συγκομιδή της ποικιλίας PR92B63

3.2 Φυτικό υλικό

Για το πείραμά μας χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές ποικιλίες σόγιας, η PR91M10 και η PR92B63.

Το φυτό της σόγιας χαρακτηρίζεται γενικά από: α) εξαιρετικό δυναμικό απόδοσης, β) παρουσιάζει μέτρια αντοχή στην έλλειψη σιδήρου (τροφοπενία σιδήρου), γ) είναι ανθεκτικό στην προσβολή από *Phytophthora* (*Phytophthora megasperma var. sojae*) και στην φαιά σήψη (*Cephalosporium gregatum*) ενώ δ) είναι ευπαθές στην προσβολή από νηματώδεις.

3.3 Εδαφολογικές - Κλιματικές παράμετροι.

Σύμφωνα με την εδαφολογική μελέτη που εκπονήθηκε για το κτήμα της Κωπαΐδας πηγή (Κοσμάς 2015) το πειραματικό τεμάχιο ανήκει σε μία εδαφοσειρά που είναι πολύ κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη, (υδρομορφία D/F) με παρουσία μόνιμου υδροφόρου ορίζοντα σε βάθος μεταξύ 75-150 εκ. από την επιφάνεια και παρουσία εξανθήσεων σιδήρου και μαγγανίου σε βάθος μεταξύ 0-30 εκ., υπέδαφος (βάθος 25-75 εκ.) και υπόστρωμα (βάθος 75-150 εκ.) συνήθως λεπτόκοκκο (κοκκομετρική σύσταση αργιλλώδης-C, αμμοαργιλλώδης-SC, ιλυοαργιλλώδης-SiC), με απουσία αδρομερών υλικών, με ισχυρή παρουσία ανθρακικών αλάτων σε όλο το βάθος της εδαφοτομής, που ταξινομούνται ως calcare Fluvisols. Ο επι-

φανειακός εδαφικός ορίζοντας έχει κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη (αργιλλοπηλώδη-CL, αμμοαργιλλοπηλώδη-SCL, ιλυοαργιλλοπηλώδης-SiCL) ή λεπτόκοκκη, είναι σχεδόν επίπεδα (κλίση 0-2%), πάρα πολύ βαθιά (βάθος >150 εκ.), που σχηματίστηκαν σε λιμναίες αποθέσεις. Τα εδάφη αυτά χαρακτηρίζονται με καμία διάβρωση, δεν έχουν περιοριστικό ορίζοντα και είναι ελεύθερα υδατοδιαλυτών αλάτων.

Τα εδάφη περιέχουν άργιλο στον επιφανειακό ορίζοντα που κυμαίνεται συνήθως από 31,0-62,0% με μέση τιμή 52,5% και αυξάνεται στο υπέδαφος σε 63,0%. Η οργανική ύλη στον επιφανειακό ορίζοντα κυμαίνεται από 2,8-5,7% με μέση τιμή 4,3% και μειώνεται στο υπέδαφος σε 1,7%. Το pH χαρακτηρίζεται μέτρια αλκαλικό στον επιφανειακό ορίζοντα και κυμαίνεται από 8,2-8,4 με μέση τιμή 8,3 και μειώνεται ελαφρά στο υπέδαφος σε 8,2. Τα εδάφη περιέχουν μεγάλη ποσότητα ανθρακικών αλάτων στον επιφανειακό ορίζοντα, που κυμαίνεται από 9,4-59,5% με μέση τιμή 22,7% που αυξάνεται στο υπέδαφος σε 45,5%. Μερικά εδάφη είναι αρκετά ικανοποιητικά εφοδιασμένα με φώσφορο ενώ σε άλλα ο φώσφορος είναι πολύ οριακός σε επίπεδα που κυμαίνονται από 3,2-23,1 mg P/kg εδάφους με μέση τιμή 14,4 mg P/kg εδάφους και μειώνεται στο υπέδαφος σε 11,5 mg P/kg εδάφους.

Τα εδάφη περιέχουν μεγάλες ποσότητες ανταλλαξιμού καλίου στον επιφανειακό ορίζοντα με τιμές που κυμαίνονται από 220-350 mg K/kg εδάφους και μέση τιμή 255 mg K/kg εδάφους και μειώνεται στο υπέδαφος σε 78 mg K/kg εδάφους. Το ανταλλάξιμο ασβέστιο βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα στον επιφανειακό ορίζοντα και κυμαίνεται από 7005-9785 mgCa/kg εδάφους με μέση τιμή 8694 mgCa/kg εδάφους που μειώνεται στο υπέδαφος σε 7266 mgCa/kg εδάφους. Επίσης το ανταλλάξιμο μαγνήσιο βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα στον επιφανειακό ορίζοντα και κυμαίνεται από 635-782 mgMg/kg εδάφους με μέση τιμή 716 mgMg/kg εδάφους και αυξάνεται στο υπέδαφος σε 769 mgMg/kg εδάφους.

Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν μέτριους έως μεγάλους περιορισμούς για γεωργική ανάπτυξη. Η κακή στράγγιση με την παρουσία μόνιμου υδροφόρου ορίζοντα δημιουργεί προβλήματα σε πολυετείς καλλιέργειες. Αξιολογούνται κυρίως ως μέτρια (S2) ή οριακά (S3) κατάλληλα εδάφη για τις περισσότερες ετήσιες εαρινές καλλιέργειες και οριακά (S3) κατάλληλα ή μερικώς ακατάλληλα (N1) για πολυετείς ή ετήσιες χειμερινές καλλιέργειες που μπορούν να αναπτυχθούν λαμβάνοντας υπόψη και τις κλιματικές συνθήκες. Συνίσταται ο περιορισμός των φωσφορικών λιπάνσεων ή η κανονική εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων στα εδάφη που έχουν διαθέσιμο φώσφορο σε συγκέντρωση μικρότερη από 10 mg P/kg εδάφους. Είναι πιθανή η δέσμευση των φωσφορικών λιπασμάτων λόγω της σημαντικής παρουσίας ανθρακικών αλάτων. Συνίσταται η αποφυγή ή η εφαρ-

μογή περιορισμένων ποσοτήτων καλιούχων λιπασμάτων για την διατήρηση της παραγωγικότητας των εδαφών.

Ενδείκνυται η εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων κατά περίπτωση καλλιέργειας σε ποσότητα ίση ή και μικρότερη των απαιτήσεων της. Συνίσταται η εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων σε δυο δόσεις. Παρουσιάζουν μέτριο κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων υδάτων με νιτρικά. Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν μέτριο κίνδυνο αλάτωσης.

3.3.1.1 Κλιματικό καθεστώς της περιοχής της Κωπαΐδας.

Από τον πίνακα (3.3.1.1) παρατηρούμε ότι το 2014 οι βροχές ήταν πολύ λιγότερες κατά τους μήνες της καλλιεργητικής περιόδου από αυτές του 2015 και της περιόδου (1986-2015). Επίσης διακρίνεται ότι οι μέσες θερμοκρασίες αέρα (°C) κατά τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) δεν διέφεραν ιδιαίτερα μεταξύ τους ούτε από την περίοδο (1986-2015), αλλά οι μέγιστες θερμοκρασίες (°C) και η σχετική υγρασία (%) των δύο καλλιεργητικών περιόδων (2014-2015) ήταν μεγαλύτερες από αυτές της (1986-2015) Vamvakoulas et al. (2020).

Πίνακας 3.3.1.1 Απεικόνιση μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας αέρα (°C), η μέση μηνιαία σχετική υγρασία (%) και η αθροιστική βροχόπτωση (mm) για τους μήνες της καλλιεργητικής περιόδου (2014-2015), καθώς και σε ένα μεγαλύτερο χρονικό βήμα (1986-2015) για την περιοχή της Κωπαΐδας.

Μήνας	Μέγιστη θερμοκρασία αέρα (°C)	Ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (°C)	Μέση θερμοκρασία αέρα (°C)	Σχετική Υγρασία (%)	Βροχόπτωση (mm)
1986-2015					
Μάιος	25.8	12.1	20.6	56.1	28.6
Ιούνιος	30.8	15.9	25.7	47.6	14.3
Ιούλιος	32.2	17.8	27.2	47.6	7.0
Αύγουστος	31.7	17.3	26.2	50.4	15.4
Σεπτέμβριος	28.5	14.4	22.6	56.2	16.7
2014					
Μάιος	27.4	11.3	19.8	61.6	3.4
Ιούνιος	30.8	15.7	23.7	65.1	5.5
Ιούλιος	33.2	17.0	25.7	63.8	3.5
Αύγουστος	34.5	16.4	25.7	67.6	-
Σεπτέμβριος	29.7	15.1	21.9	75.2	98.9
2015					
Μάιος	28.3	12.4	20.3	68.7	55.9
Ιούνιος	29.5	15.5	22.7	68.3	82.9
Ιούλιος	34.0	17.6	26.2	64.5	43.0
Αύγουστος	33.7	18.2	25.9	65.7	56.9
Σεπτέμβριος	30.8	15.5	22.9	75.2	142.2

3.3.1.2 Εδαφολογικές και υδραυλικές παράμετροι για το έδαφος του πειραματικού τεμαχίου

Για την γνώση των εδαφικών παραμέτρων και των υδραυλικών ιδιοτήτων του πειραματικού τεμαχίου χρησιμοποιήθηκαν ως βάση δεδομένα από την εδαφολογική μελέτη αγροκτήματος Κωπαΐδας (Κοσμάς, 2015) καθώς και δεδομένα από παλαιότερες μελέτες στο σημείο του πειραματικού τεμαχίου έπειτα από επικαιροποίηση των δεδομένων αυτών.

Το έδαφος του πειραματικού τεμαχίου για το 1.2m βάθος εδαφικής στρώσης χαρακτηρίστηκε ως αργιλώδες (clay) με κοκκομετρική σύσταση 60% άργιλο (C), 19% ιλύ (Si) και 21% άμμο (S). Το pH μετρήθηκε 7.80, ενώ η συγκέντρωση του διαθέσιμου φώσφορου είναι P 11.9 mgkg⁻¹ (μέθοδος Olsen), του διαθέσιμου καλίου K 300 mgkg⁻¹ και της οργανικής ουσίας στο 8.84%.

Όσον αφορά τις υδραυλικές παραμέτρους του πειραματικού τεμαχίου η εδαφική υγρασία κατ'όγκων στην υδατοϊκανότητα (Field Capacity) και στο σημείο μάρανσης (Wilting Point) μετρήθηκαν 0.43 και 0.15 mm⁻¹ αντίστοιχα. Μετρήσεις φαινομενικής πυκνότητας δεν έδειξαν προβλήματα συμπύκνωσης του εδάφους καθώς οι τιμές της διακυμάνθηκαν από 0.9 gcm⁻³ έως 1.1 gcm⁻³ για το 1.2 m βάθος της εδαφικής στρώσης. Η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα παρακολουθούνταν σε φρεάτιο πλησίον του πειραματικού τεμαχίου και παρέμεινε κάτω από τα 1.3 m βάθος και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους Vamvakoulas et al. (2020).

3.3.2 Καλλιεργητικές εργασίες μέχρι την σπορά

Οι καλλιεργητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν πριν από την σπορά αποσκοπούσαν στην αύξηση του όγκου του αποθηκευόμενου νερού κατά τον χειμώνα, στην καταπολέμηση των ζιζανίων και στη δημιουργία καλής σποροκλίνης.

Οι τεχνικές που ακολουθήθηκαν για την προετοιμασία του πειραματικού αγρού, για να δεχθεί τον σπόρο ήταν οι εξής: α) φρεζάρισμα και β) διαμόρφωση της επιφάνειας του αγρού.

Η πρώτη καλλιεργητική τεχνική που ακολουθήθηκε ήταν το φρεζάρισμα. Στο φρεζάρισμα χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας με φρέζα αποβλέποντας στον ψιλοτεμαχισμό του εδάφους και στην καταστροφή των αγενών αναπαραγωγικών οργάνων των ζιζανίων.

Η ισοπέδωση έγινε επίσης με γεωργικό ελκυστήρα και καλλιεργητή με σκοπό τη διόρθωση ανωμαλιών του χωραφιού μετά το φρεζάρισμα.

3.4 Σπορά

3.4.1 Πειραματικός αγρός

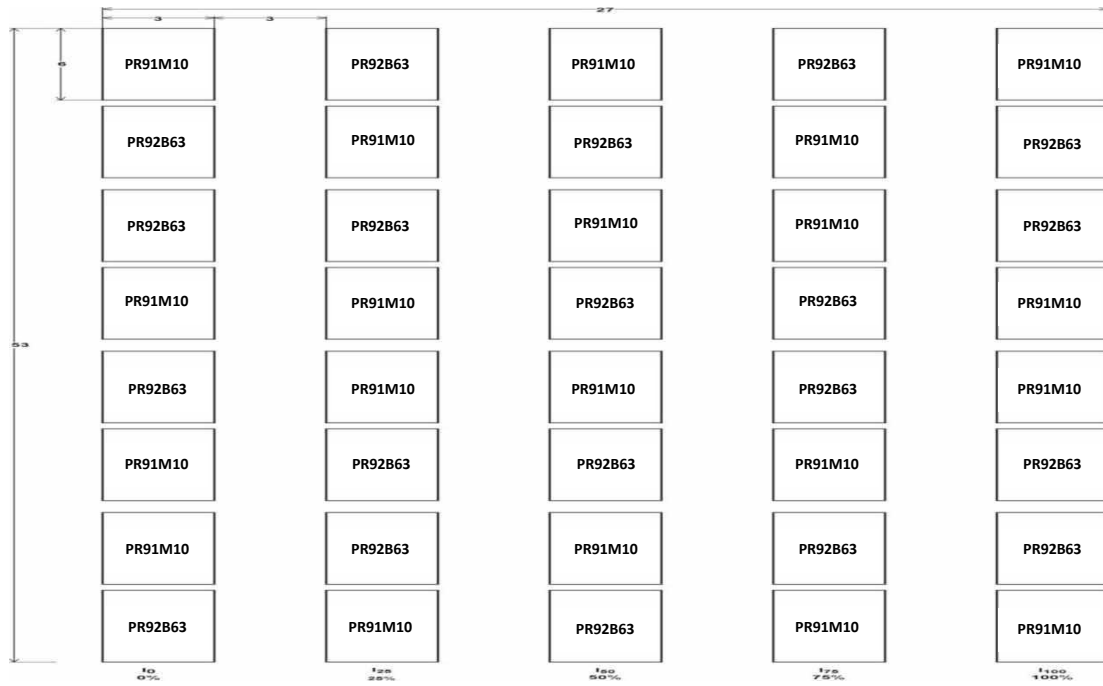
Εφαρμόστηκε σχέδιο των υποδιαϊρεμένων τεμαχίων (split plot) με τέσσερις επαναλήψεις και πέντε επεμβάσεις σε ποσοστά (100%, 75%, 50%, 25%, 0%) της πραγματικής εξατμοδιαπνοής ανά επανάληψη (διάγραμμα 3.4.2). Ο πειραματικός αγρός διαχωρίστηκε σε 40 πειραματικά υποτεμάχια (subplots). Στα 40 αυτά πειραματικά υποτεμάχια σπάρθηκαν δύο διαφορετικές ποικιλίες σόγιας, η PR91M10 και η PR92B63 για τις καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015).

Οι διαστάσεις του κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 3.0m επί 6.0m και 5 γραμμές με απόσταση μεταξύ τους 75cm. Η απόσταση μεταξύ των πειραματικών υποτεμαχίων ήταν 0,5m ενώ μεταξύ των επαναλήψεων 1,0m. Συνολικά ο πειραματικός αγρός είχε διαστάσεις 27m επί 53m.

3.4.2 Βάθος, ποσότητα και απόσταση σποράς

Η σπορά πραγματοποιήθηκε με το χέρι. Σε κάθε θέση σποράς ανά γραμμή, τοποθετήθηκαν 2 έως 3 σπόροι ανά 25 cm. Οι σπόροι προηγουμένως είχαν εμβαπτιστεί σε διάλυμα με αζωτοβακτήρια. Η καθυστέρηση στην σπορά από τις συνήθεις γεωργικές πρακτικές για την καλλιέργεια σόγιας, έγινε λόγω των κακώς αποστραγγιζόμενων εδαφών και της παρουσίας του υπόγειου υδροφορέα ώστε να επιτευχθούν ικανοποιητικές συνθήκες αερισμού για την βλάστηση του σπόρου.

Στην σπορά επίσης έγινε προσθήκη βασικής λίπανσης 100 και 50 kg_{ha}-1P2O5 και K2O κατόπιν ανάλυσης της γονιμότητας του εδάφους.



Διάγραμμα 3.4.2 Διάταξη των πειραματικών υποτεμαχίων (subplots)

3.5 Καλλιεργητικές εργασίες μετά τη σπορά

3.5.1 Αραίωμα – Σκαλίσματα

Για την καλή ανάπτυξη των φυτών και την επιτυχία της καλλιέργειας έγινε αραίωμα των φυτών και σκάλισμα της καλλιέργειας.

Με το αραίωμα επιδιώκουμε συνήθως ένα κανονικό αριθμό φυτών στην καλλιεργούμενη έκταση, ο οποίος εξαρτάται από την ποικιλία, το χρόνο φυτρώματος και τη γονιμότητα του εδάφους, σε συνδυασμό με τις αρδεύσεις που εφαρμόζονται.

Το αραίωμα έγινε με το χέρι και είχε ως στόχο, την διατήρηση των πιο εύρωστων φυτών πάνω στις γραμμές σποράς και την μείωση της πυκνότητας της φυτείας ώστε να παραμείνει ένα φυτό ανά θέση σποράς.

Με τα σκαλίσματα συνήθως επιδιώκεται α) ο καλός αερισμός και η άνοδος της θερμοκρασίας του εδάφους β) η συγκράτηση της εδαφικής υγρασίας στην περιοχή της ριζόσφαιρας των φυτών και γ) η καταστροφή των ζιζανίων.

Πραγματοποιήθηκε αριθμός σκαλισμάτων λόγω και του μεγάλου όγκου ζιζανίων που εμφανίζονταν κατά καιρούς στον πειραματικό αγρό. Τα σκαλίσματα γίνονταν ανάμεσα στις γραμμές σποράς και επί των γραμμών σποράς (θέσεις σποράς), με τσάπες και σκαλιστήρια. Παράλληλα με το σκάλισμα εφαρμόζονταν και βοτάνισμα.

Με το σκάλισμα πετύχαμε, την αναμόχλευση του εδάφους καθώς και τον ψιλοτεμαχισμό του επιφανειακού στρώματος.



Εικόνα 2: πειραματικός αγρός

3.6 Αρδεύσεις

3.6.1 Επιλογή του αρδευτικού συστήματος

Η μέθοδος άρδευσης, που επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα ήταν η άρδευση με σταγόνες (στάγδην άρδευση).

Κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα της άρδευσης με σταγόνες:

1. Μικρή παροχή
2. Μερική διαβροχή του εδάφους
3. Μεγάλη σχετικά συχνότητα και διάρκεια άρδευσης
4. Διατήρηση ψηλών ποσοστών υγρασίας
5. Γεωμετρία ροής τρισδιάστατη ή δισδιάστατη

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου άρδευσης με σταγόνες , αποτέλεσαν τους βασικούς παράγοντες για την διάδοσή της ,συνοψίζονται στα εξής:

1. Οικονομία νερού
2. Ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης και απόδοσης των φυτών
3. Ευκολία κυκλοφορίας μέσα στον αγρό
4. Αξιοποίηση μικρών παροχών και χρησιμοποίηση χαμηλών πιέσεων
5. Χαμηλό κόστος υλικών και δαπανών λειτουργίας
6. Άρδευση επικλινών και ανώμαλων εδαφών
7. Δυνατότητα αξιοποίησης αλατούχων εδαφών
8. Οικονομία εργατικών
9. Ανεξαρτοποίηση της άρδευσης από τον άνεμο

Μερικά από τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:

1. Εμφράξεις
2. Κίνδυνος συγκέντρωσης αλάτων στο έδαφος & εμφάνιση τροφοπενιών

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα στάγδην άρδευσης αποτελείται από τα δίκτυα μεταφοράς, εφαρμογής και από την μονάδα ελέγχου. Το δίκτυο μεταφοράς αποτελείται από τους κύριους αγωγούς μεταφοράς που μεταφέρουν το νερό στους αγωγούς τροφοδοσίας οι οποίοι εξασφαλίζουν την απαιτούμενη παροχή και φορτίο στις υδροληψίες των αγωγών εφαρμογής.

Στο πείραμά μας το αρδευτικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε περιελάμβανε: 1) βάννες 2) το δίκτυο σωληνώσεων 3) του σταλακτήρες και 4) τους συλλεκτήριους αγωγούς. Η πηγή τροφοδοσίας του νερού προερχόταν από ειδική παροχή για τα πειραματικά τεμάχια από την αποθήκη του κτήματος.

Το δίκτυο σωληνώσεων που χρησιμοποιήθηκε είχε σαν στόχο να μεταφέρει το νερό από την πηγή στο κτήμα, να το διανέμει στα διάφορα μέρη του και να το διαμοιράσει τελικά στα φυτά. Στους σωλήνες του δικτύου είχαμε τους κύριους αγωγούς (δίκτυο μεταφοράς), οι οποίοι, υδροδοτούσαν τους αγωγούς εφαρμογής (δίκτυο εφαρμογής). Οι σταλακτηφόροι αγωγοί (αγωγοί εφαρμογής) είχαν διάμετρο $\varnothing 16\text{mm}$ και έφεραν σταλλάκτες αυτορυθμιζόμενους ανά 33cm, ονομαστικής παροχής 4.5 l/h ενώ οι αγωγοί μεταφοράς (κύριοι αγωγοί) είχαν διάμετρο $\varnothing 25\text{mm}$.

Κάθε μία από τις πέντε υδατικές μεταχειρίσεις συνδεόταν σε ξεχωριστή βάννα. Οι βάννες συνδέθηκαν στον κεντρικό αγωγό του δικτύου. Εξασφαλιζόταν, έτσι, η απαραίτητη ποσότητα του νερού για τις διάφορες μεταχειρίσεις.

3.7 Μετεωρολογικά δεδομένα

Όλα τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν συλλέχτηκαν από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό (Campbell CR10X, εικόνα 3) του εργαστηρίου γεωργικής υδραυλικής, που βρίσκεται εγκατεστημένος στον πειραματικό αγρό επάνω σε καλλιέργεια αναφοράς σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων από το πειραματικό τεμάχιο και στο ίδιο υψόμετρο 95m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 3: αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός στην περιοχή της Κωπαΐδας.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό είναι:

α) Η μέση, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (°C).

β) Η μέση, μέγιστη και ελάχιστη σχετική υγρασία (°C).

γ) Η μέση ταχύτητα ανέμου στα 2m (m/sec).

δ) Βροχόπτωση (mm).

ε) Προσπίπτουσα ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (W/m²).

Οι τιμές των μετεωρολογικών δεδομένων καταγράφονταν σε data logger βήμα μισής ώρας.

3.7.1 Υπολογισμός μικρομετεωρολογικών παραμέτρων.

Άλλες μετεωρολογικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς ήταν η πυκνότητα του αέρα $\rho = 1.078 \text{ kgm}^{-3}$, η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα $c_p = 1013 \text{ Jkg}^{-1}\text{C}^{-1}$, η ατμοσφαιρική πίεση $P=100.1 \text{ (kPa)}$ και η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης $\lambda \text{ (MJ/kg)}$ που υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\lambda = 2.501 - 0.002361 * T_a \quad (3.7.1.1)$$

και την ψυχομετρική σταθερά $\gamma \text{ (kPa}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$ από την εξίσωση:

$$\gamma = 0.00163 \frac{P}{\lambda} \quad (3.7.1.2)$$

Όσον αφορά την τάση κορεσμένων υδρατμών $e_s \text{ (kPa)}$ η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η εξίσωση του (Tetens 1930):

$$e_s = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 T_a}{T_a + 237.3}\right) \quad (3.7.1.3)$$

Η πραγματική τάση υδρατμών $e_a \text{ (kPa)}$ υπολογίστηκε σαν μέρος της e_s από τον τύπο:

$$e_a = e_s \frac{RH}{100} \quad (3.7.1.4)$$

όπου RH η σχετική υγρασία.

Ως μέση αεροδυναμική αντίσταση \bar{r}_{ap} στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκφραση από τους Thom και Oliver (1977):

$$r_{ae} = \frac{4.72 (\ln(z-d)/z_0)^2}{1+0.54 U} \quad (3.7.1.5)$$

όπου z είναι το ύψος πάνω από την επιφάνεια το z_0 είναι το μήκος τραχύτητας το d είναι το ύψος απορρόφησης της ορμής και το U η ταχύτητα του ανέμου σε $m \text{ sec}^{-1}$. Σύμφωνα με τον Monteith (1973) $z_0 \approx 0.13h_c$, $d \approx 0.63h_c$, $z=d+z_0$.

Τέλος η κλίση καμπύλης τάσης υδρατμών Δ σε ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$) υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(T_a + 237.3)^2} \quad (3.7.1.6)$$

3.8 Προγραμματισμός άρδευσης

Ο προγραμματισμός της άρδευσης έγινε με εφαρμογή ημερήσιου ισοζυγίου νερού και στοιχείων από τα αποτελέσματα του υπολογιστικού προγράμματος ISAREG (Pereira et al, 2003) το οποίο έτρεξε για μετεωρολογικά δεδομένα των 5 τελευταίων ετών (2011-2015). Τα δεδομένα εισαγωγής για το υπολογιστικό πρόγραμμα ISAREG που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- 1) Εδαφολογικά δεδομένα μέχρι το βάθος στρώσης του 1m.
- 2) Ημερήσιος υπολογισμός εξατμοδιαπνοής σύμφωνα με την εξίσωση των Penman-Monteith (FAO-56, Allen et al. 1998).
- 3) Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης σε mm.
- 4) Ημερήσιες τιμές ταχύτητας ανέμου (m/sec) στα 2m.
- 5) Ημερήσιες τιμές σχετικής υγρασίας RH (%).
- 6) Προσαρμοσμένες τιμές του φυτικού συντελεστή K_c για τα στάδια ανάπτυξης του φυτού σόγιας σύμφωνα με την μεθοδολογία μοναδιαίου υπολογισμού του φυτικού συντελεστή της καλλιέργειας (single crop coefficient) όπως περιγράφεται στο εγχειρίδιο του FAO (FAO 56). Οι τιμές του φυτικού συντελεστή K_c που υπολογίστηκαν είναι οι εξής: $K_c \text{ ini}$: 0.47, $K_c \text{ mid}$: 1.10, και $K_c \text{ end}$: 0.50.
- 7) Συνεισφορά υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα σταθερή και ίση 1mm (FAO 24) για όλη την καλλιεργητική περίοδο.

Τα ύψη άρδευσης της 100% μεταχείρισης, για το φυτό σόγιας υπολογίστηκαν για το έτος 2014 στα 355mm και για το έτος 2015 στα 213mm περίπου. Αυτά τα

ύψη νερού διανεμήθηκαν στην μεταχείριση χωρίς υδατική καταπόνηση I100 (100%), ενώ αντίστοιχα δημιουργήθηκαν και οι μεταχειρίσεις I75(75%), I50(50%), I25(25%) και η μηδενική μεταχείριση όπου από την έναρξη των μεταχειρίσεων στις 25 Ιουνίου την 176 JD μέχρι και τα τέλη Αυγούστου που ολοκληρώθηκε η αρδευτική περίοδος και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) δεν αρδεύτηκε καθόλου. Αναλυτικά τα ύψη άρδευσης εμφανίζονται στους πίνακες 3.8α,β για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015 αντίστοιχα.

Πίνακας 3.8α Ύψη άρδευσης για την καλλιεργητική περίοδο 2014 και για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63).

2014	100%(mm)	75%(mm)	50%(mm)	25%(mm)	0%(mm)
Μάιος	0	0	0	0	0
Ιούνιος	118.56	109.44	100.32	91.2	82.08
Ιούλιος	164	123	82	41	0
Αύγουστος	72.1	54.075	36.05	18.025	0
Σεπτέμβριος	0	0	0	0	0
Άθροισμα	354.66	286.515	218.37	150.225	82.08

Πίνακας 3.8β Ύψη άρδευσης για την καλλιεργητική περίοδο 2015 και για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63).

2015	100%(mm)	75%(mm)	50%(mm)	25%(mm)	0%(mm)
Μάιος	0	0	0	0	0
Ιούνιος	40.432	38.304	36.176	34.048	31.92
Ιούλιος	104.7	78.525	52.35	26.175	0
Αύγουστος	68.1	51.075	34.05	17.025	0
Σεπτέμβριος	0	0	0	0	0
Άθροισμα	213.232	167.904	122.576	77.248	31.92

3.9 Ζιζανιοκτονία

Μηχανική ζιζανιοκτονία

Αφορά στην καταπολέμηση των ζιζανίων με τα μέσα κατεργασίας του εδάφους. Μπορεί να διακριθεί σε προσπαρτική και μεταφυτρωτική (σκάλισμα και βοτάνισμα με το χέρι).

Στο πείραμά μας, εφαρμόστηκε τόσο προσπαρτική όσο και μεταφυτρωτική ζιζανιοκτονία με σκαλίσματα χωρίς να γίνει χρήση φυτοφαρμάκων. Για την απομάκρυνση των ζιζανίων από τον αγρό λόγω ανταγωνισμού τους με την σόγια για φως, νερό και θρεπτικά στοιχεία. Τα σημαντικότερα από τα ζιζάνια που είχαμε να αντιμετωπίσουμε ήταν η αγριάδα (*Cynodon dactylon*) και η κύπερη (*Cyperus rotundus*).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μετρήσεις και προσδιορισμοί

4.1 Στάδια ανάπτυξης

Τα στάδια ανάπτυξης της σόγιας διακρίνονται στο αγενές στάδιο και στο αναπαραγωγικό στάδιο.

Κατά την διάρκεια του πειράματος έγινε καταγραφή των σταδίων αυτών καθώς επίσης και των διαφορών στην ανάπτυξη και τον χρόνο ωρίμανσης μεταξύ των δύο ποικιλιών, PR91M10 και PR92B63, αλλά και όπως αυτές παρατηρήθηκαν για τις διάφορες επεμβάσεις (100%, 75%, 50%, 25%, 0%). Συγκεκριμένα, 5/6 (156 JD) έγινε το φύτευμα όπου παρατηρήσαμε την έκπτυξη των κοτυληδόνων (στάδιο VE). Στις 14/6 (165 JD) παρατηρήσαμε τα πρώτα πραγματικά φύλλα (στάδιο VC).



Εικόνα 4: στάδιο V2

Εικόνα 5: στάδιο R4

Τα βλαστικά στάδια (V) καθορίζονται με τον αριθμό των κόμβων επί του κεντρικού βλαστού. Οπότε κατά το στάδιο (V2) έχουμε το δεύτερο τρίφυλλο (δύο μέρη εκπτύχθηκαν σε τρίφυλλα) και κατά το στάδιο (V4) έχουμε το τέταρτο τρίφυλλο (τέσσερα μέρη εκπτύχθηκαν σε τρίφυλλα). Αντίστοιχα τα αγενή στάδια (V) συνεχίζουν με την έκπτυξη των τριφυλλων.



Εικόνα 6: στάδιο R5



Εικόνα 7: στάδιο R6



Εικόνα 8: στάδιο R7



Εικόνα 9: στάδιο R8

Τα αναπαραγωγικά στάδια (R) βασίζονται στην άνθηση, στην ανάπτυξη των σπόρων και στην ωρίμανση. Οπότε στα αντίστοιχα στάδια έχουμε:

(R2) Πλήρης ανθοφορία- υπάρχει ένα ανοιχτό λουλούδι σε έναν από τους δύο ανώτατους κόμβους.

(R4) Πλήρης σχηματισμός λοβών – οι λοβοί έχουν μήκος 3/4 ίντσες (2 cm) σε έναν από τους τέσσερις ανώτατους κόμβους.

(R6) Πλήρης σχηματισμός σπόρων – ο λοβός περιέχει πράσινο σπόρο γεμίζοντας την κοιλότητα του λοβού σε έναν από τους τέσσερις κόμβους στο κύριο στέλεχος.

(R8) Πλήρης ωρίμανση – το 95% των λοβών έχουν φτάσει στο χαρακτηριστικό χρώμα ωριμότητας των λοβών.

Η παρατήρηση των επόμενων σταδίων έγινε από τις 2/7 (183 JD) έως τις 13/8 (225 JD) (στάδια V1, V2, V4, R1, R3, R6). Στο χρονικό διάστημα από τις 3/7 (184 JD) έως τις 16/7 (199 JD) παρατηρήθηκαν τα στάδια R1, R2, R3. Στις 17/7 (198 JD) βρισκόμασταν στο στάδιο R4 και στις 25/7 (206 JD) βρισκόμασταν στο R5. Από 28/7

(209 JD) έως και 13/8 (225 JD) βρισκόμασταν στο στάδιο R6. Στις 28/8 (240 JD) τελειώνει το στάδιο R7 και τέλος το στάδιο R8 όπου έγινε και η συγκομιδή για τις δύο ποικιλίες άρχισε από αρχές Σεπτεμβρίου και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015). Η διαφοροποίηση των σταδίων έγινε σύμφωνα με του Πανεπιστημίου της Αιόβα (ISU).

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του πειράματος, στα διάφορα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας μέχρι και την συγκομιδή πραγματοποιήθηκαν 4 συνολικά καταστροφικές δειγματοληψίες.

Σε κάθε μια δειγματοληψία, επιλέχθηκε ένα φυτό από κάθε μια από τις τρεις εσωτερικές γραμμές σποράς για το κάθε ένα υποτεμάχιο (subplot).

Στην κάθε δειγματοληψία κάναμε τις εξής μετρήσεις: μέτρηση ύψους φυτού, αριθμός φύλλων, αριθμός λοβών, μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας και του ξηρού βάρους των στελεχών, φύλλων, λοβών και ολόκληρου του φυτού.



Εικόνα 10: δείγματα οργανωμένα σε σακούλες

4.1.1 Διαφορές στη βλαστική ανάπτυξη και παραγωγή για τις ποικιλίες PR91M10 και PR92B63

Οι ημερομηνίες και τα αντίστοιχα στάδια ανάπτυξης, στην διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου διέφεραν για την κάθε ποικιλία. Η ποικιλία PR91M10 ήταν

πρώιμη. Σύμφωνα και με την κλίμακα ταξινόμησης με βάση την ωριμότητα, που ακολουθείται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η PR91M10, ανήκει στην ομάδα 00 βαθμού ωριμότητας. Αντίστοιχα, η ποικιλία PR92B63, ήταν όψιμη και ανήκει στην ομάδα 0 βαθμού ωριμότητας όπως αυτό φαίνεται και στις ημερομηνίες συγκομιδής και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους. Ακόμα σε κάποιες επαναλήψεις η PR91M10 δεν είχε τόσο καλή ανάπτυξη, ειδικά σε εκείνες που εφαρμόσαμε ελλειμματική άρδευση. Μια ακόμη σημαντική διαφορά ήταν το μέγεθος των σπόρων. Στην ποικιλία PR92B63 οι σπόροι είχαν μικρότερο μέγεθος απ'ότι στην ποικιλία PR91M10.

4.2 Μετρήσεις κατά τις καταστροφικές δειγματοληψίες.

4.2.1 Ύψος φυτού

Οι μετρήσεις για το ύψος φυτού έγιναν κατά τις δειγματοληψίες επί τόπου, στον πειραματικό αγρό. Το ύψος των φυτών μετρήθηκε σε εκατοστά και ορίστηκε ως η απόσταση από το λαιμό του φυτού έως την κορυφή του, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης που βρισκόταν.

4.2.2 Αριθμός φύλλων

Η μέτρηση του αριθμού των φύλλων έγινε και αυτή επί τόπου, στον αγρό, με αφαίρεση όλων των φύλλων από το κάθε δείγμα που παίρναμε, με σκοπό τον υπολογισμό του δείκτη της φυλλικής επιφάνειας.

4.2.3 Φυλλική επιφάνεια

Η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας για τον υπολογισμό του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI), έγινε σε υγιή πράσινα φύλλα με χρήση (scanner) και του προγράμματος dt-scan. Λόγω της απόστασης του πειραματικού αγρού από τα όργανα μέτρησης της φυλλικής επιφάνειας και λόγω του όγκου των δειγμάτων και της χρονοβόρας διαδικασίας χρήσης του οργάνου (scanner), θεωρήθηκε σκόπιμο να συντηρηθούν για μικρό χρονικό διάστημα (έως 48 ώρες) σε ψυγείο έτσι ώστε να μη ξεραθούν και χάσουν την αρχική επιφάνεια τους και αλλιώς η μέτρηση, υπολογίστηκε το μέγεθος της φυλλικής επιφάνειας σε mm². Μετά τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας του κάθε φύλλου υπολογίστηκε αθροιστικά η συνολική επιφάνεια των φύλλων για το κάθε φυτό.

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) εκφράζει τη συνολική επιφάνεια των φύλλων ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους. Δηλαδή το εμβαδόν της συνολικής

επιφάνειας των φύλλων της φυτοκόμης ως προς την επιφάνεια του εδάφους που καλύπτεται από αυτή.

Έτσι, στο πείραμα μας, για τον υπολογισμό του LAI, διαιρέσαμε την συνολική φυλλική επιφάνεια που είχαμε βρει με την επιφάνεια εδάφους που καταλάμβανε το κάθε φυτό δηλαδή 75cm επί 25cm (η απόσταση μεταξύ των γραμμών και η απόσταση μεταξύ των φυτών αντίστοιχα).

4.2.4 Αριθμός λοβών

Ο αριθμός των λοβών μετρήθηκε κυρίως στην 3^η και 4^η δειγματοληψία (λόγω μη σχηματισμού τους ακόμα στις προηγούμενες δειγματοληψίες). Έγινε με απλή καταμέτρηση του πλήθους των λοβών που έφερε το κάθε δείγμα φυτού που συλλέχτηκαν από τον αγρό.

4.2.5 Ξηρό βάρος

Η μέτρηση του ξηρού βάρους έγινε για τα φύλλα, τα στελέχη και τους λοβούς. Η διαδικασία περιλάμβανε την αποθήκευση των φύλλων, στελεχών και των λοβών σε χάρτινες σακούλες, την ξήρανσή τους σε κλίβανους του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στους 85 °C και τέλος το ζύγισμα του υπέργειου ξηρού βάρους (Dry Aboveground Biomass, D-AGB) το οποίο έγινε με ζυγαριές ακριβείας.

Το συνολικό υπέργειο ξηρό βάρος του φυτού προέκυπτε από την άθροιση των βαρών των φύλλων, των στελεχών και των λοβών.

4.2.6 Θερμοκρασίες φυτοκόμης

Στην παρούσα μελέτη έχοντας σαν στόχο και τον ποσοτικό προσδιορισμό της μεταβολής του δείκτη υδατικής καταπόνησης για την σόγια, γνωστός ως Crop Water Stress Index, όπως προσδιορίστηκε από τους Idso et al. (1981) και Jackson et al. (1981), ήταν απαραίτητο να λαμβάνονται μετρήσεις της θερμοκρασίας του φυλλώματος.

Η θερμοκρασία φυτοκόμης T_c μετρήθηκε με υπέρυθρο θερμόμετρο χειρός (EXTECH dual laser 42511 model, Extech Instruments, Boston, USA) και ακρίβεια μέτρησης 0.1 °C. Οι μετρήσεις θερμοκρασίας της φυτοκόμης ξεκίνησαν από 2 Ιουλίου (183 JD) μέχρι 25 Αυγούστου (237 JD) και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014, 2015). Για να πιστοποιηθεί η σωστή μέτρηση της φυτοκόμης το θερμόμετρο στόχευε με γωνία 30°-40° από το οριζόντιο επίπεδο σε υγιή φύλλα του φυτού. Η θερμοκρασία φυτοκόμης λαμβάνονταν σε τέσσερα φυτά στις εσωτερικές γραμμές κάθε υποτεμαχίου από τέσσερις διαφορετικές διευθύνσεις (ανατολή, δύση,

βοράς και νότος) 12:00 με 14:00 με συχνότητα μία σειρά μετρήσεων για όλο τον πειραματικό αγρό την ώρα σε καθαρό ουρανό χωρίς σύννεφα και έπειτα έβγαινε ο μέσος όρος. Επίσης μετρήσεις θερμοκρασίας πάρθηκαν και σε αριθμό ημερών και για τις δύο περιόδους περίπου από της 7:00 έως της 19:00 ανά μία ώρα έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι αντιπροσωπευτικότερες τιμές θερμοκρασίας φυτοκόμης, κυρίως των μη υδατικών καταπονούμενων υποτεμαχίων.

4.3 Συγκομιδή

Στη μελέτη μας, η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε όταν η σόγια είχε φτάσει στο στάδιο της φυσιολογικής ωρίμανσης και έχοντας σαν κριτήρια την απώλεια του πράσινου χρώματος των λοβών, αποκτώντας ένα κίτρινο χρώμα, καθώς και το κιτρίνισμα των φύλλων και την πτώση τους. Η συγκομιδή έγινε μετά την παρατήρηση των παραπάνω κριτηρίων, όταν είχαν πέσει σχεδόν όλα τα φύλλα και οι σπόροι είχαν γίνει σκληροί και χαράζονταν δύσκολα με το νύχι.

Η συγκομιδή έγινε με το χέρι και την κατάλληλη στιγμή, ώστε να αποφευχθούν απώλειες λόγω τινάγματος των σπόρων ύστερα από φαινόμενα εναλλαγής βροχόπτωσης και ζέστης.

Στην συγκομιδή επιλέχθηκαν τρία αντιπροσωπευτικά φυτά από κάθε μία από τις τρεις εσωτερικές γραμμές σποράς για το κάθε υποτεμάχιο (subplot).

4.3.1 Μετρήσεις στην συγκομιδή

Στην συγκομιδή πραγματοποιήθηκαν οι εξής μετρήσεις : υπολογισμός του ξηρού βάρους των στελεχών, του ξηρού βάρους των λοβών, του ξηρού βάρους του φυτού, ο αριθμός των λοβών, ο αριθμός των σπόρων/φυτό, το βάρος των σπόρων/φυτό σε (gr) και (kg). Κατόπιν δείγματα σπόρων φυτών από κάθε υποτεμάχιο μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Φυσιολογίας Θρέψεως και Διατροφής, του τμήματος επιστήμης Ζωικής Παραγωγής και Υδατοκαλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, όπου και προσδιορίστηκαν οι αζωτούχες πρωτεΐνες σε ποσοστό % ξηράς ουσίας και το ποσοστό % σε λάδι του σπόρου.

4.3.1.1 Ξηρό βάρος στελεχών

Μετά την συγκομιδή, ακολούθησε ξήρανση των φυτών σε ειδικούς κλιβάνους του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών ενώ η μέτρηση του ξηρού βάρους των στελεχών έγινε χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακριβείας.

4.3.1.2 Ξηρό βάρος λοβών

Για τον υπολογισμό του ξηρού βάρους των λοβών ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με το ξηρό βάρος των στελεχών (ξήρανση & ζύγισμα).

4.3.1.3 Ξηρό βάρος φυτού

Ο υπολογισμός του ξηρού βάρους του φυτού προέκυψε με την άθροιση των ξηρών βαρών των στελεχών και των λοβών.

4.3.1.4 Αριθμός λοβών

Στα φυτά που συλλέχτηκαν ανά δειγματοληψία για τις δύο ποικιλίες έγινε καταμέτρηση του αριθμού των λοβών με το χέρι.

4.3.1.5 Αριθμός σπόρων ανά φυτό

Μετά τον υπολογισμό του αριθμού των λοβών ακολούθησε η μέτρηση για τον αριθμό των σπόρων/φυτό. Η μέτρηση έγινε με την αφαίρεση των σπόρων από τους λοβούς και την καταμέτρησή τους με το χέρι. Συνήθως, κάθε λοβός περιείχε 2-3 σπόρους.

4.3.1.6 Βάρος σπόρων ανά φυτό

Για το βάρος των σπόρων/φυτό χρησιμοποιήθηκε ζυγαριά ακριβείας. Τα βάρη από τα ζυγίσματα εκφράστηκαν σε (gr) και σε (kg).

4.3.1.7 Αζωτούχες πρωτεΐνες

Οι μετρήσεις για τα ποσοστά των σπόρων σε αζωτούχες πρωτεΐνες και σε λάδι, το οποίο θα αναφερθεί παρακάτω, πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του τμήματος Ζωικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την μέτρηση των αζωτούχων πρωτεϊνών σε ποσοστό % ξηράς ουσίας ήταν ο προσδιορισμός ολικής πρωτεΐνης σύμφωνα με τη μέθοδο Kjeldahl Persson et al. (2008) κατόπιν χώνευσης των δειγμάτων με κατάλυτη Se σύμφωνα με τη μέθοδο του AOAC 2001.11 και την εφαρμογή AN 3001 της εταιρείας FOSS για τα μηχανήματα Block. Ο προσδιορισμός των αζωτούχων πρωτεϊνών έγινε σε δύο φάσεις. Η 1^η φάση περιλάμβανε την διαδικασία της καύσης, η οποία έγινε με τη συσκευή FOSS Digestor Labtec™ Line ενώ στην 2^η φάση έγινε η ανάλυση χρησιμοποιώντας τη συσκευή FOSS Kjeltac™ 8400.

4.3.1.8 Ελαιοπεριεκτικότητα

Ο προσδιορισμός της ελαιοπεριεκτικότητας των σπόρων σε ποσοστό % ξηράς ουσίας, έγινε με την συσκευή Soxtec Avanti 2055. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με εκχύλιση με πετρελαϊκό αιθέρα σύμφωνα με την μέθοδο AOAC 920.39 (Extraction of Crude Fat in animal Feed) προσαρμοσμένη στο πρωτόκολλο της εταιρείας FOSS (Application Note 3460 Rev.5.0).

4.4 Στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για τις δειγματοληψίες και την συγκομιδή.

Όλες οι μετρήσεις για τις δειγματοληψίες και την συγκομιδή εξετάστηκαν με την στατιστική μέθοδο ανάλυσης παραλλακτικότητας (ANOVA). Η ανάλυση παραλλακτικότητας (ANalysis Of VAriance – ANOVA) είναι μία στατιστική μέθοδος με την οποία η μεταβλητότητα που υπάρχει σ' ένα σύνολο δεδομένων διασπάται στις επιμέρους συνιστώσες της με στόχο την κατανόηση της σημαντικότητας των διαφορετικών πηγών προέλευσής της. Η ANOVA χρησιμοποιεί τους μέσους όρους από ένα σύνολο δεδομένων, για την εκτίμηση Μέσων Τετραγώνων. Υπολογίζει επίσης ένα μέσο τετράγωνο που εκτιμά το πειραματικό σφάλμα, δηλαδή τη διακύμανση που οφείλεται σε τυχαία αίτια (διαφορές μεταξύ των πειραματικών μονάδων που έχουν δεχθεί την ίδια επέμβαση). Στηριζόμενοι στο γεγονός, ότι η διάταξη που είχαμε ήταν αυτή των υποδιαϊρεμένων τεμαχίων (split plot design) εφαρμόστηκε διπαραγοντική ανάλυση παραλλακτικότητας (two way Factorial ANOVA) και εξετάστηκαν οι μέσες τιμές των παραμέτρων αν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 5% η και μεγαλύτερο (LSD)($p < 0.05$) ως προς τους παράγοντες ποικιλία (PR91M10-PR92B63), υδατική μεταχείριση (100%, 75%, 50%, 25% και 0%) και ως προς την συνδυαστική αλληλεπίδραση και των δύο παραγόντων (ποικιλία x υδατική μεταχείριση). Επιπλέον η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα JMP8.

4.4.1 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων του μοντέλου AquaCrop και του εμπειρικού μοντέλου.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο AquaCropv5.0. Η αξιολόγηση έγινε με μια επαναληπτική διαδικασία για δεδομένα όπως προτείνεται από την μεθοδολογία του AquaCrop. Οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων του AquaCrop με σημεία από την πειραματική καμπύλη αξιολογήθηκαν με τους στατιστικούς δείκτες που δίνει το μοντέλο AquaCrop (Raes et al. 2012) :

(α) Ο συντελεστής προσδιορισμού (Pearson correlation coefficient):

$$r^2 = \left[\frac{\sum (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum (O_i - \bar{O})^2 \sum (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2$$

(β) Μέσο σφάλμα τάσης (Mean bias error): $MBE = n^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)$

(γ) Η μεταβολή της κατανομής των διαφορών s_d^2 που εκφράζει την μεταβλητότητα της διαφοράς $(P - O)$ με το MBE: $s_d^2 = (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i - \text{MBE})^2$

(δ) Τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error): $\text{RMSE} = \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5}$

(ε) Μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error): $\text{MAE} = n^{-1} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i|$

(ζ) Δείκτης συμφωνίας Index of agreement, d , (Willmott, 1982):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i'| + |O_i'|)^2}, 0 \leq d \leq 1$$

Όπου n είναι το πλήθος των παρατηρήσεων. Τα P είναι οι πειραματικές τιμές της επιφανειακής ξηρής βιομάζας D-AGB που μετρήθηκαν κατά την καλλιεργητική περίοδο 2014-2015 για τις μεταχειρίσεις (100%, 75%, 50% και 25%). Τα O είναι οι προσομοιωμένες τιμές του μοντέλου, ενώ $P_i' = P_i - \bar{O}$ και $O_i' = O_i - \bar{O}$.

(η) Ο NRMSE που εκφράζεται:

$$\text{NRMSE} = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} 100$$

θεωρείται άριστος για τιμές κάτω του 10% ενώ όχι τόσο καλή σύγκριση για τιμές πάνω από 30%.

(θ) Ο EF που εκφράζεται:

$$\text{EF} = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2}$$

Ο δείκτης παίρνει τιμές από το μείον άπειρο έως το ένα, με την τιμή 1 να είναι το άριστο. Όσον αφορά την στατιστική ανάλυση του εμπειρικού μοντέλου που υπολογίζει την επιφανειακή ξηρή βιομάζα (D-AGB) από τους παραπάνω δείκτες χρησιμοποιήθηκαν οι εξής: Το Μέσο σφάλμα τάσης (Mean bias error), RMSE, Η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error), Το Μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error), Η μεταβολή της κατανομής των διαφορών, Ο Δείκτης συμφωνίας Index of agreement και τέλος ο συντελεστής συσχέτισης Pearson correlation coefficient (Fox, 1981; Willmott, 1982).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τις δειγματοληψίες

Στο παρακάτω κεφάλαιο παρουσιάζονται σε διαγράμματα οι μέσοι όροι μαζί με τις διασπορές των μετρήσεων που έγιναν στις δειγματοληψίες κατά την διάρκεια του πειράματος, για όλες τις μεταχειρίσεις και τις δύο ποικιλίες σόγιας αντίστοιχα.

Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των πινάκων και σχεδιαγραμμάτων του κεφαλαίου παρουσιάζονται στο παράρτημα.

5.1.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ANOVA για τις δειγματοληψίες της καλλιεργητικής περιόδου 2014

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.1.1.α κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2014 οι μέσες τιμές των παραμέτρων, που έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 5% η και υψηλότερο (LSD)($p < 0.05$) ως προς την συνδυαστική αλληλεπίδραση και των δύο παραγόντων (ποικιλία x υδατική μεταχείριση), είναι ο αριθμός φύλλων ανά φυτό, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας και το ολικό ξηρό βάρος φυτού για την δειγματοληψία 1.

Επίσης η συνδυαστική αλληλεπίδραση ποικιλία x υδατική μεταχείριση είχαν μικρότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές, για τις παραμέτρους δείκτης φυλλικής επιφάνειας και για το ολικό ξηρό βάρος φυτού, σε σχέση με τον αριθμό φύλλων ανά φυτό κατά την 1^η δειγματοληψία. Για τα υπόλοιπα στοιχεία ανάπτυξης του φυτού που εξετάστηκαν δεν προκύπτει στατιστικά σημαντική διαφορά για τη συνδυαστική αλληλεπίδραση ποικιλία x υδατική μεταχείριση.

Πίνακας 5.1.1.α Αποτελέσματα της ANOVA για τον αριθμό φύλλων ανά φυτό, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας και για το ολικό ξηρό βάρος φυτού, για τις δύο ποικιλίες σόγιας, για την καλλιεργητική περίοδο 2014 στη δειγματοληψία 1.

Ποικιλία	Υδατική Μεταχείριση	Αριθμός φύλλων ανά φυτό	LAI	Ολικό Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)
PR92B63	100%	5.83bcd	0.13ab	2.83bcd
	75%	6.42ab	0.13ab	2.86abcd
	50%	7.08a	0.16a	3.21abc
	25%	5.5bcd	0.11bc	2.51d

	0%	5.58bcd	0.12bc	2.7cd
PR91M10	100%	6.3abc	0.16a	3.39a
	75%	4.92de	0.12bc	3.15abc
	50%	4.92de	0.13ab	2.93abcd
	25%	5.3cd	0.14ab	3.25ab
	0%	4.08e	0.09c	2.58d
	C	***	ns	ns
	IRR	ns	ns	ns
	C x IRR	**	*	*

Υποσημείωση: C, ποικιλίες, IRR, υδατικές μεταχειρίσεις (100% πλήρως αρδευόμενα φυτά, 75% της πλήρης μεταχείρισης, 50% της πλήρης υδατικής μεταχείρισης, 25% της πλήρης υδατικής μεταχείρισης, 0% δεν αρδεύτηκαν καθόλου), ns (στατιστικά μη σημαντικό), στατιστικά σημαντικό, για * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Μεταχειρίσεις που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Κατά τις δειγματοληψίες 2 και 3 δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τη συνδυαστική αλληλεπίδραση και των δύο παραγόντων (ποικιλία x υδατική μεταχείριση), οπότε για την καλλιεργητική περίοδο 2014 εξετάστηκαν τα αποτελέσματα της 4^{ης} και τελευταίας δειγματοληψίας πριν τη συγκομιδή.

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.1.1.β κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2014 και την 4^η δειγματοληψία, οι μέσες τιμές των στοιχείων ανάπτυξης και παραγωγής, έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 5% (LSD)($P < 0.05$) ως προς τη συνδυαστική αλληλεπίδραση και των δύο παραγόντων (ποικιλία x υδατική μεταχείριση), για τον αριθμό φύλλων ανά φυτό, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, για το ξηρό βάρος στελεχών, για το ξηρό βάρος φύλλων, για το ξηρό βάρος φυτού, για το ξηρό βάρος λοβών και για τον αριθμό λοβών.

Επίσης η συνδυαστική αλληλεπίδραση ποικιλία x υδατική μεταχείριση έδειξε τη μικρότερη τιμή (p , value*** $p < 0.001$) για την παράμετρο ξηρό βάρος φυτού, σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους που έδειξαν τιμές p , value $p > 0.001$ κατά την 4^η δειγματοληψία.

Πίνακας ANOVA 2014 δειγματοληψία 4

Πίνακας 5.1.1.β. Αποτελέσματα της ANOVA για τον αριθμό φύλλων ανά φυτό, τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας, για το ξηρό βάρος στελεχών, για το ξηρό βάρος φύλλων, για το ξηρό βάρος φυτού, για το ξηρό βάρος λοβών και για τον αριθμό λοβών, για τις δύο ποικιλίες σόγιας, για την καλλιεργητική περίοδο 2014 στη δειγματοληψία 4.

Ποικιλία	Υδατική Μεταχείριση	Αριθμός Φύλλων Φυτού	LAI	Ξηρό Βάρος Στελεχών (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος φύλλων (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος φυτού (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος λοβών (γρ/φυτό)	Αριθμός λοβών
PR92B63	100%	42.67bc	2.32b	26.3bc	20.72bc	54.4bc	7.39d	94bc
	75%	60.17a	3.09a	41.4a	32.12a	89.09a	15.57b	141a
	50%	39.42c	2.01bc	34.8a	21.45bc	64.75b	8.51d	84bc
	25%	47.75b	1.82cd	34.14ab	22.91b	66.74b	9.69cd	87bc
	0%	48.58b	1.83cd	33.85ab	22.88b	65.14b	8.41d	85bc
PR91M10	100%	28.17d	1.43de	22.6cd	18.7bcd	64.77b	23.5a	114ab
	75%	26.75de	1.3ef	17.37d	17.22cde	53.56bc	18.97ab	85bc
	50%	19.75e	0.99ef	23.6cd	16.06cde	57.46bc	17.8ab	77c
	25%	23.42de	1.11ef	22.1cd	14.62de	56.59bc	19.87ab	100bc
	0%	25.67de	0.93f	16.3d	12.71e	44.25c	15.24bc	82bc
C		***	***	***	***	***	***	ns
IRR		*	**	ns	ns	ns	*	*
C x IRR		*	*	*	*	***	*	*

Υποσημείωση: C, ποικιλίες, IRR, υδατικές μεταχειρίσεις (100% πλήρως αρδευόμενα φυτά, 75% της πλήρους μεταχείρισης, 50% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 25% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 0% δεν αρδεύτηκαν καθόλου), ns (στατιστικά μη σημαντικό), στατιστικά σημαντικό για *p< 0.05, **p< 0.01, ***p< 0.001. Μεταχειρίσεις που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

5.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ANOVA για τις δειγματοληψίες της καλλιεργητικής περιόδου 2015

Αντίστοιχα σύμφωνα με τον πίνακα 5.1.2.α κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2015 οι μέσες τιμές των παραμέτρων, που έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 5% η και μεγαλύτερη (LSD)($p < 0.05$) ως προς τη συνδυαστική αλληλεπίδραση και των δύο παραγόντων (ποικιλία x υδατική μεταχείριση) είναι ο αριθμός φύλλων ανά φυτό, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας, το ξηρό βάρος στελεχών, το ξηρό βάρος φύλλων και το ολικό ξηρό βάρος φυτού για τη δειγματοληψία 1.

Κατά την πρώτη δειγματοληψία για την καλλιεργητική περίοδο 2015 η παράμετρος με τη μικρότερη τιμή p ήταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας(LSD)($p < 0.05$). Οι υπόλοιπες παράμετροι (αριθμός φύλλων ανά φυτό, το ξηρό βάρος στελεχών, το ξηρό βάρος φύλλων και το ολικό ξηρό βάρος φυτού), οι μέσες τιμές έδειξαν την μεγαλύτερη τιμή p ,(LSD),($p < 0.001$), για τη συνδυαστική αλληλεπίδραση και των δύο παραγόντων (ποικιλία x υδατική μεταχείριση).

Κατά την 2^η δειγματοληψία (Πίνακας 5.1.2.β) για την καλλιεργητική περίοδο του 2015, η μόνη παράμετρος που έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά, για τη συνδυαστική αλληλεπίδραση και των δύο παραγόντων (ποικιλία x υδατική μεταχείριση), ήταν το ύψος φυτού με στατιστικά σημαντική διαφορά (LSD)($p < 0.05$).

Όσον αφορά στην 3^η και 4^η δειγματοληψία πίνακας 5.1.2.γ και πίνακας 5.1.2.δ αντίστοιχα η μόνη παράμετρος που έδειξε τη μικρότερη τιμή p , για τη συνδυαστική αλληλεπίδραση και των δύο παραγόντων (ποικιλία x υδατική μεταχείριση), ήταν η παράμετρος ξηρό βάρος στελεχών με στατιστικά σημαντική διαφορά (LSD)($p < 0.05$).

Τέλος κατά την τρίτη δειγματοληψία να αναφέρουμε ότι, η ποικιλία PR92B63 δεν είχε αναπτύξει λοβούς ακόμη, οπότε στην στατιστική δοκιμασία ANOVA εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφορά οι μέσοι ως προς τη συνδυαστική αλληλεπίδραση και των δύο παραγόντων (ποικιλία x υδατική μεταχείριση) αλλά με μηδενικές τιμές για την ποικιλία.

Πίνακας 5.1.2.α Αποτελέσματα της ANOVA για τον αριθμό φύλλων ανά φυτό, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, το ξηρό βάρος στελεχών, το ξηρό βάρος φύλλων και το ολικό ξηρό βάρος φυτού, για τις δύο ποικιλίες σόγιας, για την καλλιεργητική περίοδο 2015 στη δειγματοληψία 1.

Ποικιλία	Υδατική Μεταχείριση	Αριθμός Φύλλων φυτού	LAI	Ξηρό Βάρος Στελεχών (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος φύλλων (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος φυτού (γρ/φυτό)
PR92B63	100%	5.33cd	0.13cde	0.78c	1.44cde	2.22d
	75%	7.17a	0.21a	1.05b	1.84ab	2.89b
	50%	5.33cd	0.13cde	0.67cd	1.29def	1.95de
	25%	5.92bc	0.15bcd	0.63cde	1.38cde	2de
	0%	4.67de	0.12e	0.48e	1.06f	1.54f
PR91M10	100%	6.5ab	0.165bc	1.27a	2.06a	3.33a
	75%	4.75de	0.169b	0.99b	1.61bc	2.6bc
	50%	3.75e	0.12de	0.72cd	1.22ef	1.94de
	25%	3.83e	0.12de	0.57de	1.21ef	1.78ef
	0%	4.58de	0.16bc	0.75cd	1.55bcd	2.3cd
	C	***	ns	**	ns	**
	IRR	**	**	***	ns	**
	C x IRR	***	**	***	***	***

Υποσημείωση: C, ποικιλίες, IRR, υδατικές μεταχειρίσεις (100% πλήρως αρδευόμενα φυτά, 75% της πλήρους μεταχείρισης, 50% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 25% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 0% δεν αρδεύτηκαν καθόλου), ns (στατιστικά μη σημαντικό), στατιστικά σημαντικό για * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Μεταχειρίσεις που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Πίνακας 5.1.2.β Αποτελέσματα της ANOVA για την παράμετρο ύψος φυτού, για τις δύο ποικιλίες σόγιας, για την καλλιεργητική περίοδο 2015 στη δειγματοληψία 2.

Ποικιλία	Υδατική Μεταχείριση	Ύψος Φυτού (cm)
PR92B63	100%	44.42ab
	75%	40.2c
	50%	40.1c
	25%	37.8d
	0%	33.2e
PR91M10	100%	45.3a
	75%	45ab
	50%	43.1b
	25%	39.3cd
	0%	38.4cd
	C	***
	IRR	***
	C x IRR	*

Υποσημείωση: C, ποικιλίες, IRR, υδατικές μεταχειρίσεις (100% πλήρως αρδευόμενα φυτά, 75% της πλήρους μεταχείρισης, 50% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 25% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 0% δεν αρδεύτηκαν καθόλου), ns (στατιστικά μη σημαντικό), στατιστικά σημαντικό για * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Μεταχειρίσεις που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Πίνακας 5.1.2.γ Αποτελέσματα της ANOVA για τον αριθμό φύλλων ανά φυτό, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, το ξηρό βάρος στελεχών, το ξηρό βάρος φύλλων, το ολικό ξηρό βάρος φυτού, το ξηρό βάρος λοβών και ο αριθμός λοβών, για τις δύο ποικιλίες σόγιας, για την καλλιεργητική περίοδο 2015 στην δειγματοληψία 3.

Ποικιλία	Υδατική Μεταχείριση	Αριθμός Φύλλων Φυτού	LAI	Ξηρό Βάρος Στελεχών (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος φύλλων (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος φυτού (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος λοβών (γρ/φυτό)	Αριθμός λοβών φυτού
PR92B63	100%	32.17b	1.98b	26.78ab	18.64b	45.42b	0	0
	75%	38.58a	2.67a	28.76a	25.07a	53.83a	0	0
	50%	27bc	1.53cd	14.74de	23.60cd	28.34d	0	0
	25%	24.17cd	1.13de	13.53ef	13.11cd	26.64de	0	0
	0%	22.67cd	0.92e	8.42g	9.29d	17.71f	0	0
PR91M10	100%	25.17cd	1.64bc	23.39bc	19.32b	44.79b	2.07a	21a
	75%	21.42cde	1.5cd	18.59cd	15.87bc	35.45c	0.99b	12b
	50%	23.33cd	1.17de	13efg	12.09cd	25.6de	0.52c	5c
	25%	16.67e	0.92e	9.74fg	10.47d	20.55ef	0.34cd	4c
	0%	19.67de	0.89e	10.16efg	11.57cd	21.98def	0.25cd	5c
C	***	***	**	*	**	***	***	
IRR	***	***	***	***	***	***	**	***
C x IRR	**	**	*	**	***	***	***	***

Υποσημείωση: C, ποικιλίες, IRR, υδατικές μεταχειρίσεις (100% πλήρως αρδευόμενα φυτά, 75% της πλήρους μεταχείρισης, 50% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 25% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 0% δεν αρδεύτηκαν καθόλου), ns (στατιστικά μη σημαντικό), στατιστικά σημαντικό για *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Μεταχειρίσεις που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Πίνακας 5.1.2.δ Αποτελέσματα της ANOVA για τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας, το ξηρό βάρος στελεχών, το ολικό ξηρό βάρος φυτού και το ξηρό βάρος λοβών, για τις δύο ποικιλίες σόγιας, για την καλλιεργητική περίοδο 2015 στη δειγματοληψία 4.

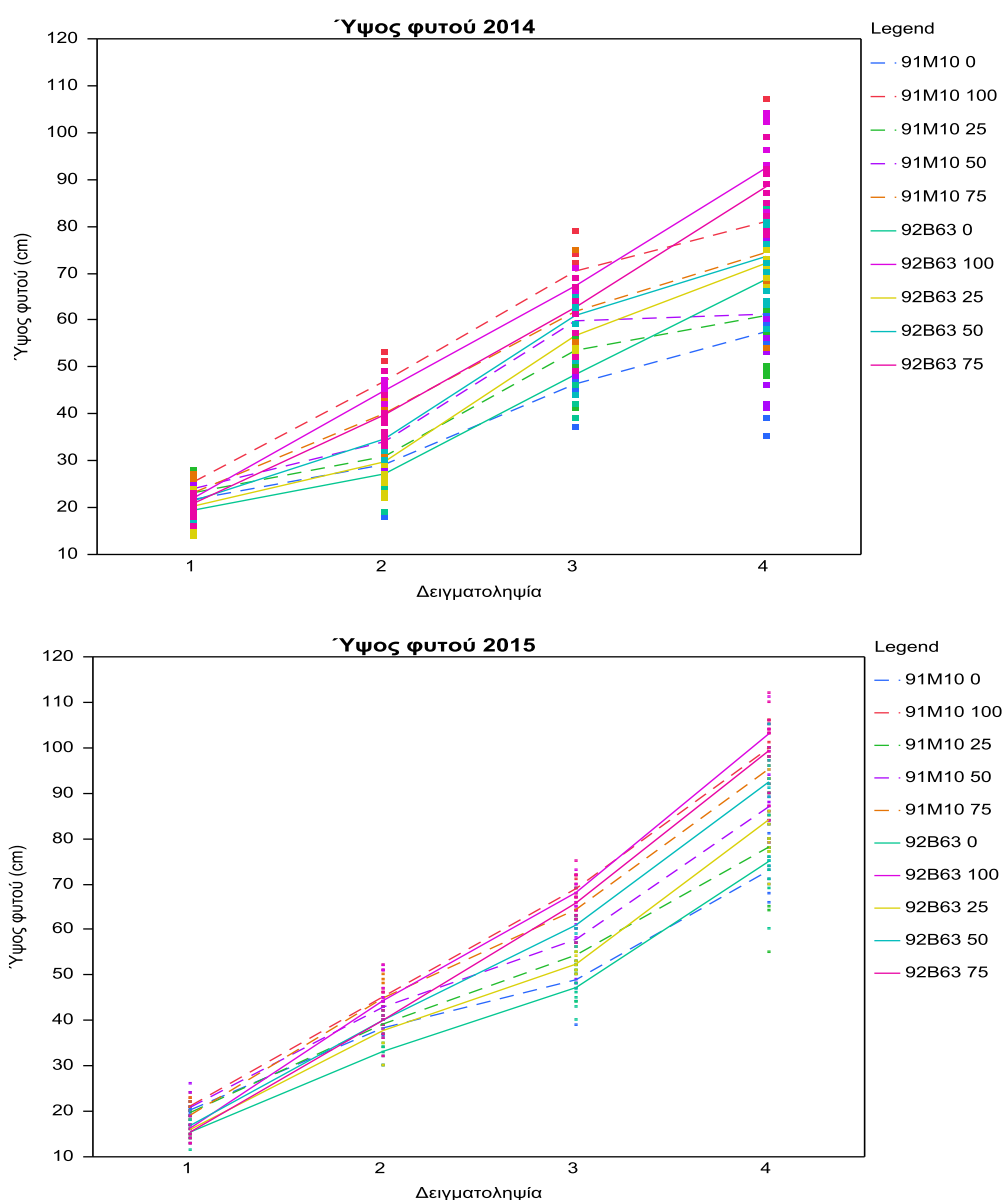
Ποικιλία	Υδατική Μεταχείριση	LAI	Ξηρό Βάρος Στελεχών (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος φυτού (γρ/φυτό)	Ξηρό Βάρος λοβών (γρ/φυτό)
PR92B63	100%	3.5bc	52.87ab	106.013b	11.92de
	75%	4.4a	60.32a	105.5b	8.99efg
	50%	3.9b	54.99a	97.74b	6.93fg
	25%	3.13cd	45.7bc	80.86cd	4.88gh
	0%	1.68f	24.81ef	43.63e	1.75h
PR91M10	100%	2.23e	41.01c	106.14b	34.39b
	75%	2.78d	59.83a	135.72a	42.9a
	50%	2.24e	39.53cd	93.24bc	24.58c
	25%	1.64fg	31.2de	67.32d	14.03d
	0%	1.21g	21.3f	48.80e	10.27def
C		***	***	ns	***
IRR		***	***	***	***
C x IRR		**	*	***	***

Υποσημείωση: C, ποικιλίες, IRR, υδατικές μεταχειρίσεις (100% πλήρως αρδευόμενα φυτά, 75% της πλήρους μεταχείρισης, 50% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 25% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 0% δεν αρδεύτηκαν καθόλου), ns (στατιστικά μη σημαντικό), στατιστικά σημαντικό για * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Μεταχειρίσεις που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

5.1.3 Ύψος φυτού

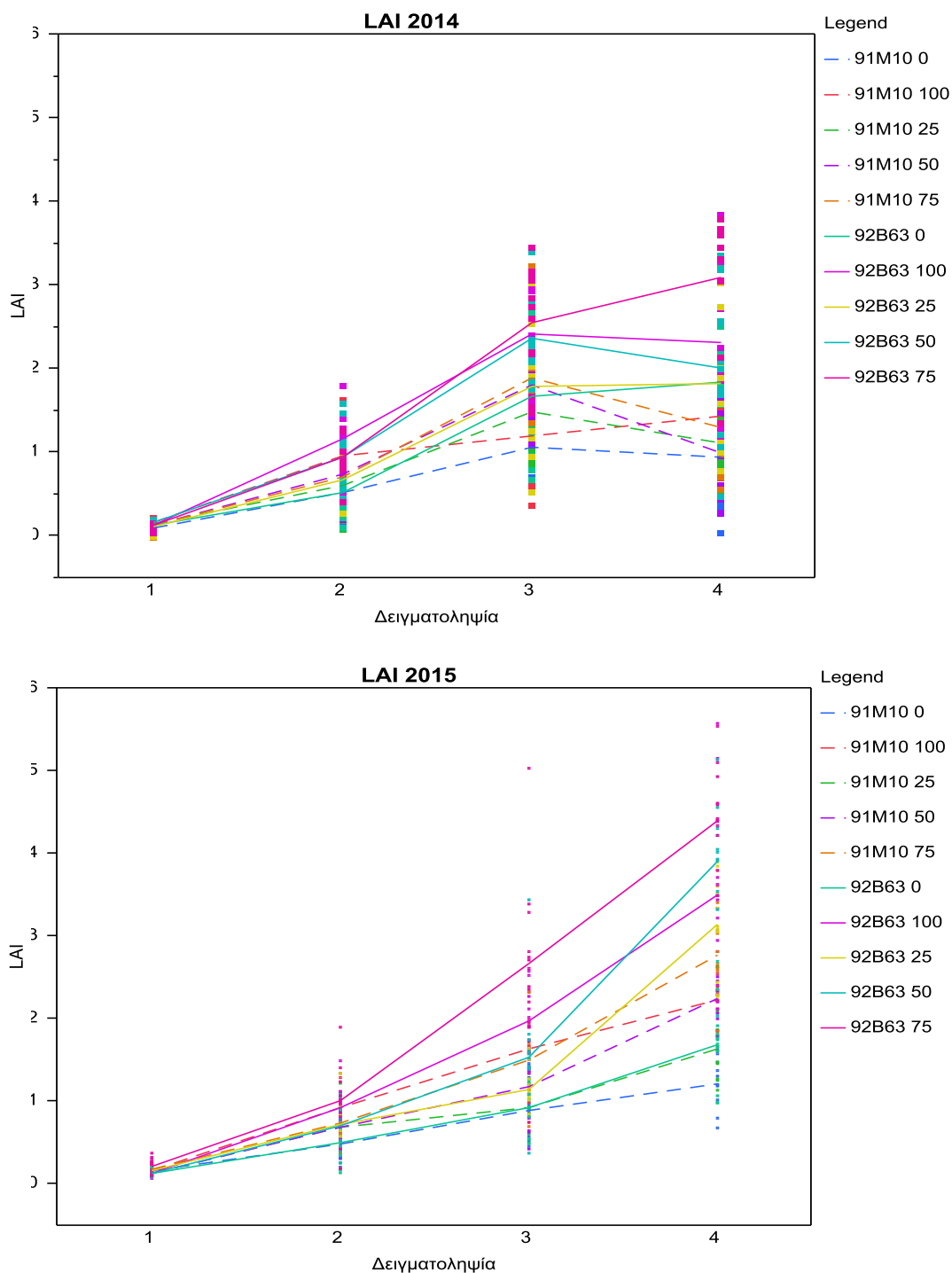
Όπως φαίνεται στην εικόνα 5.1.3 για την καλλιεργητική περίοδο 2014 και για το 2015, η πορεία του μέσου ύψους του φυτού για τις 4 δειγματοληψίες είναι αυξητική όσο μειώνεται η υδατική καταπόνηση των επεμβάσεων.

Επίσης είναι εμφανές ότι και για τις δύο χρονιές κατά την 3η και 4η δειγματοληψία η πιο όψιμη ποικιλία PR92B63 εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές από την PR91M10 ενώ δεν ισχύει το ίδιο και για τις δειγματοληψίες 1 και 2. Αυτό οφείλεται στην πρωιμότητα της PR91M10 και στην πιο όψιμη συμπεριφορά της PR92B63.



Σχεδιάγραμμα 5.1.3 Απεικόνιση των υδατικών μεταχειρίσεων συναρτήσει του ύψους των φυτών για τις τέσσερις δειγματοληψίες και για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63). Τα σχεδιαγράμματα αφορούν στις καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015.

5.1.4 Φυλλική επιφάνεια (LAI)



Σχεδιάγραμμα 5.1.4 Απεικόνιση των υδατικών μεταχειρίσεων συναρτήσει του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI) για τις τέσσερις δειγματοληψίες και για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63).

Τα σχεδιαγράμματα αφορούν στις καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015.

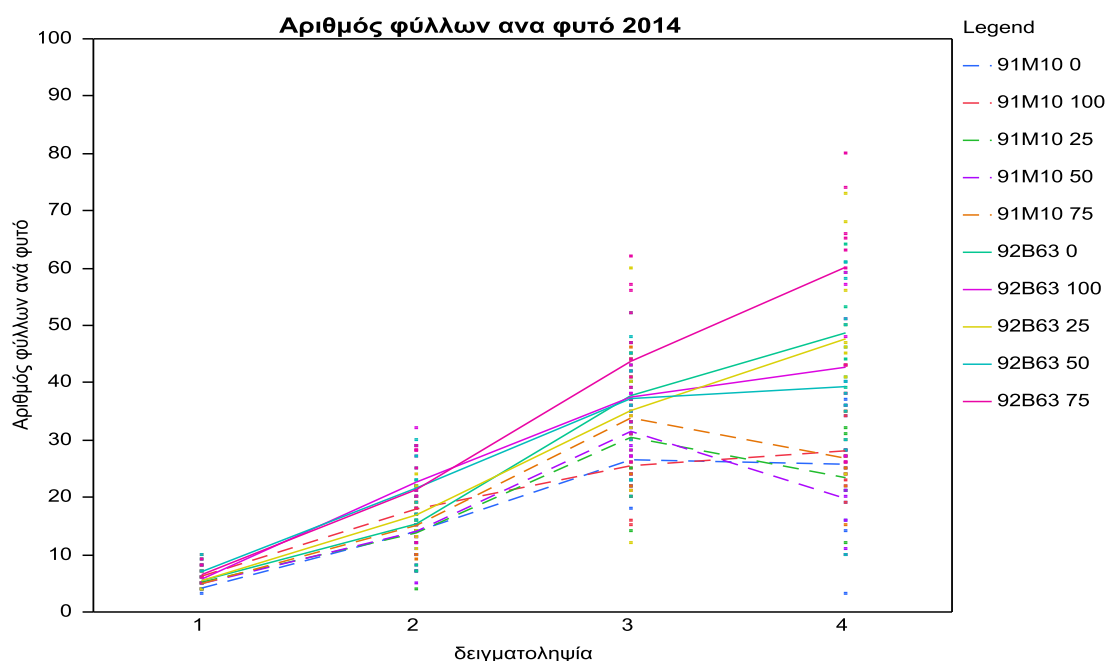
Κατά την τρίτη δειγματοληψία όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα 5.1.4 είναι φανερή η κυριαρχία του όψιμου υβριδίου PR92B63 έναντι του πρώιμου PR91M10 στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας από την 2η δειγματοληψία και έπειτα δηλαδή μετά τις 16/7.

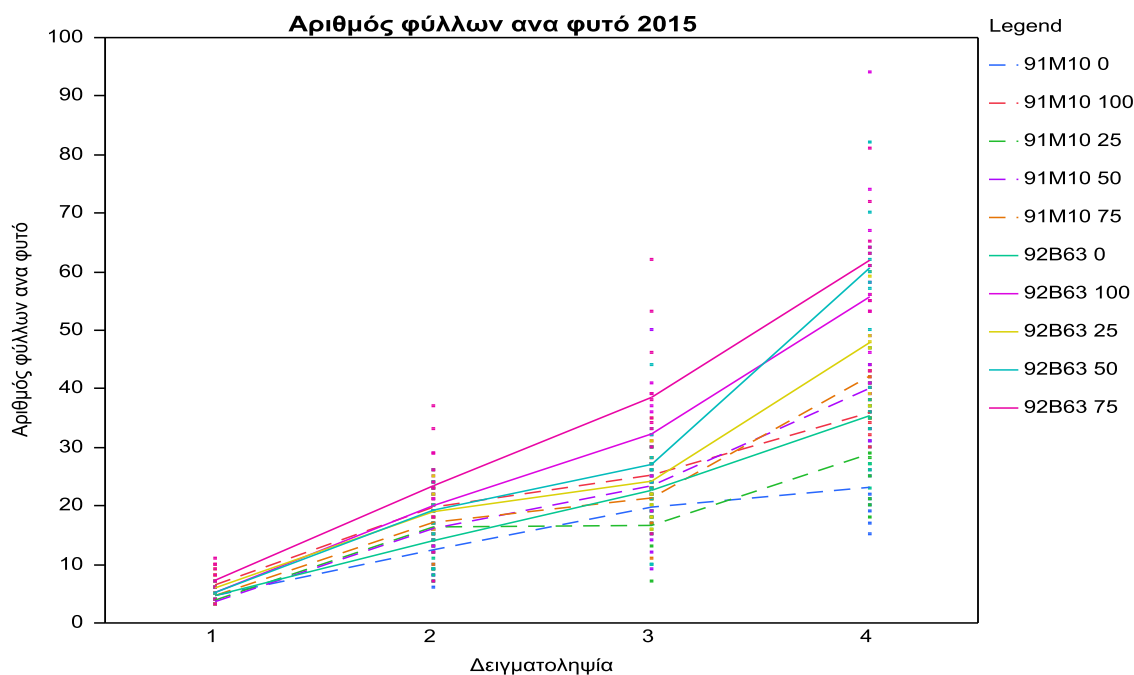
Ακόμη είναι εμφανές ότι όσο αυξάνεται η υδατική καταπόνηση στις μεταχειρίσεις τόσο μειώνεται ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους και για τις δύο ποικιλίες. Αντίθετα σημειώνεται ότι η μεταχείριση 100% δεν ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά σε όλες τις περιπτώσεις.

Συγκεκριμένα για την όψιμη ποικιλία PR92B63 και για τις καλλιεργητικές περιόδους 2014 και 2015 για όλες τις δειγματοληψίες εκτός από τη 2η του 2014, δείχνει να διαφέρει σημαντικά από την 75% μεταχείριση στη μέτρηση του LAI το οποίο δεν φαίνεται να επηρεάζει αντίστοιχα τα στοιχεία παραγωγής (παράρτημα), όπως λογικά θα περιμέναμε. Αντίστοιχα η πιο πρώιμη ποικιλία PR91M10 εμφανίζει την ίδια συμπεριφορά μόνο κατά την 3η δειγματοληψία του 2014 και την τέταρτη του 2015.

5.1.5 Αριθμός φύλλων

Στο σχεδιάγραμμα 5.1.5 απεικονίζεται ο αριθμός φύλλων ανά φυτό για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους και τις δύο ποικιλίες. Είναι εμφανές πως η PR92B63 έχει περισσότερα φύλλα ανά φυτό και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους έναντι της PR91M10.





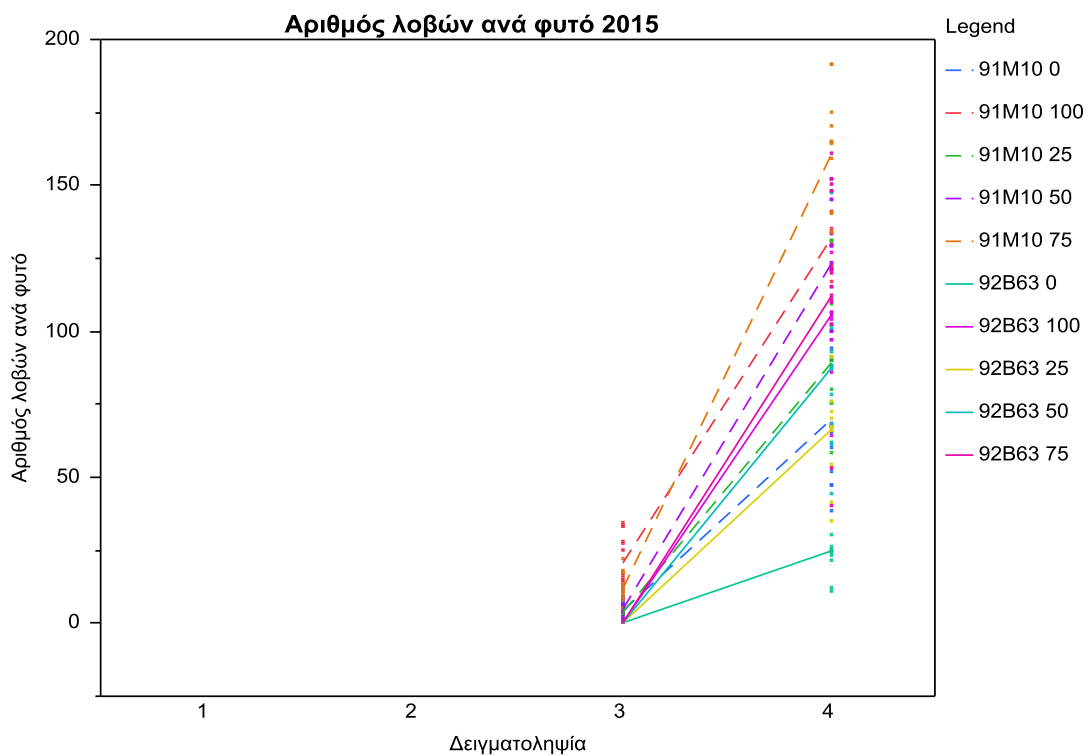
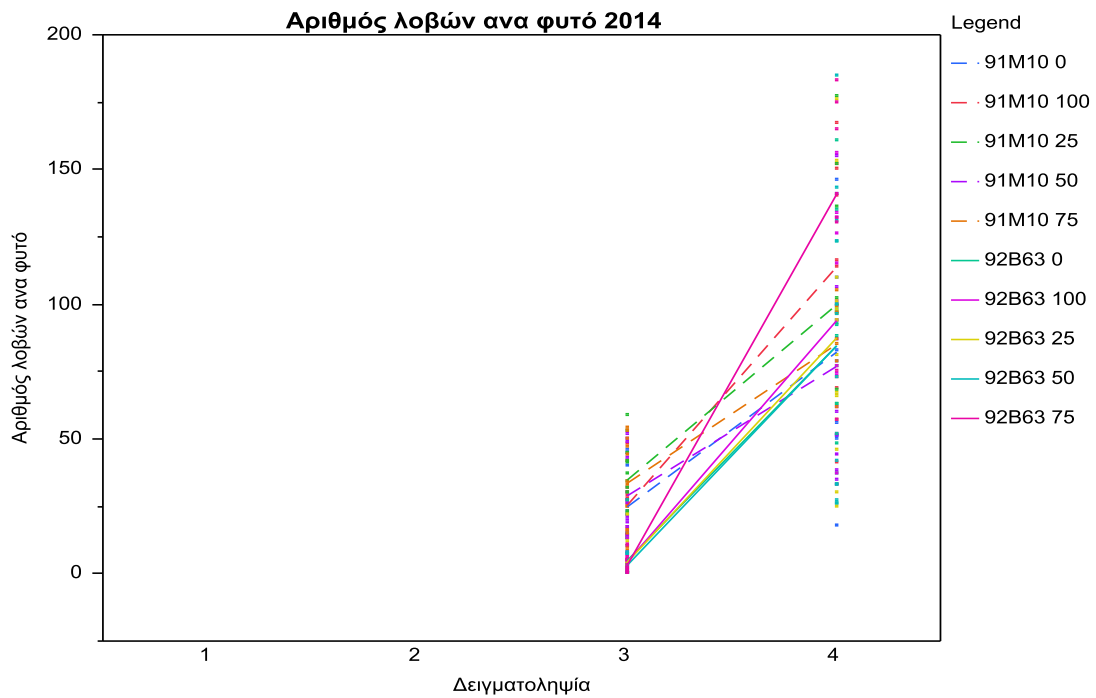
Σχεδιάγραμμα 5.1.5 Απεικόνιση των υδατικών μεταχειρίσεων συναρτήσει του αριθμού φύλλων του φυτού για τις τέσσερις δειγματοληψίες και για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63).

Τα σχεδιαγράμματα αφορούν στις καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015.

5.1.6 Αριθμός λοβών

Ο αριθμός των λοβών μετρήθηκε μόνο στις δειγματοληψίες 3^η και 4^η διότι στις προηγούμενες δειγματοληψίες δεν είχαν σχηματιστεί ακόμα οι λοβοί. Έτσι, στο διάγραμμα 5.1.6 παρουσιάζεται η διαφορά του αριθμού των λοβών. Παρατηρούμε ότι ο αριθμός των λοβών τόσο στην 3^η δειγματοληψία για την καλλιεργητική περίοδο 2014 όσο και στην 4^η δειγματοληψία και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους για την πρώιμη ποικιλία PR91M10, είναι αρκετά μεγαλύτερος από την όψιμη ποικιλία PR92B63.

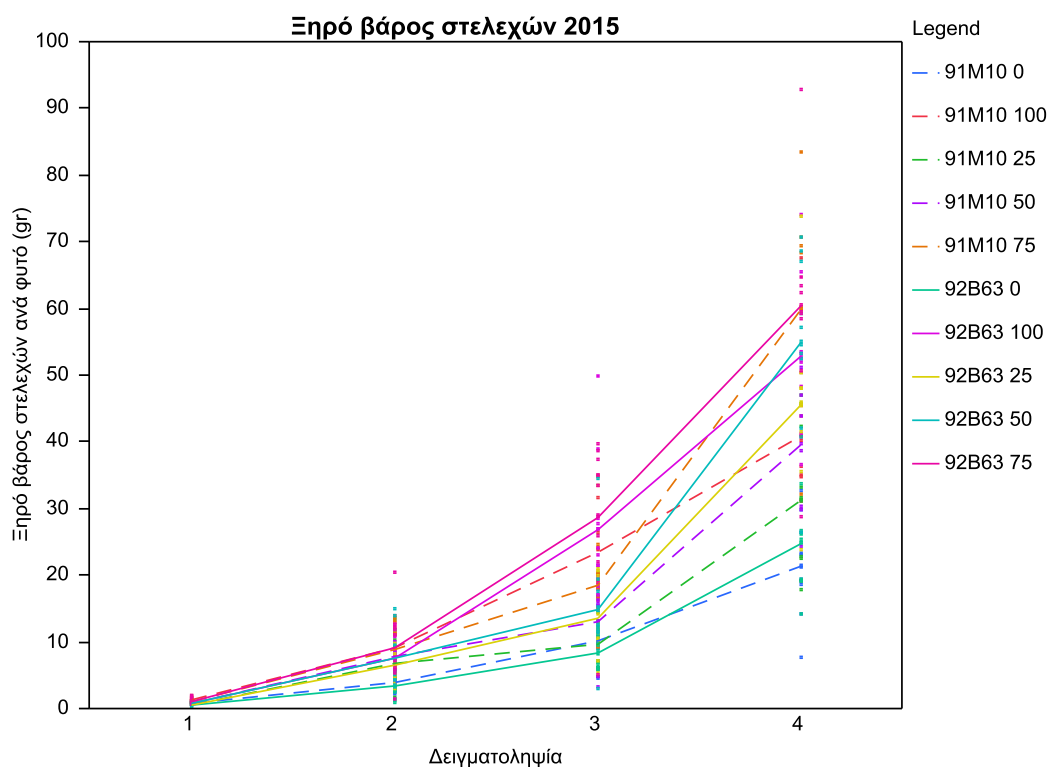
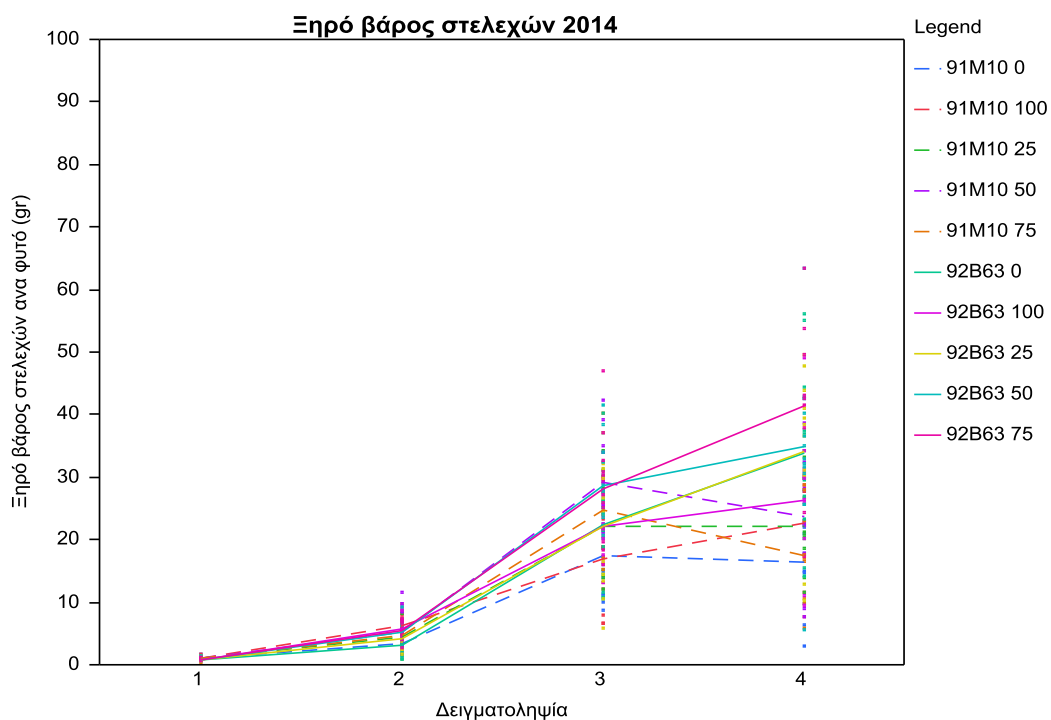
Να σημειώσουμε ότι για την καλλιεργητική περίοδο 2015 και στην δειγματοληψία 3 δεν εμφανίστηκαν λοβοί για την PR92B63 η οποία εμφάνισε και τη μεγαλύτερη παραγωγή σε σπόρο και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους.



Σχεδιάγραμμα 5.1.6 Απεικόνιση των υδατικών μεταχειρίσεων συναρτήσει του αριθμού λοβών του φυτού για τις δειγματοληψίες 3 και 4 για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63).

Τα σχεδιαγράμματα αφορούν τις καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015

5.1.7 Ξηρό βάρος στελεχών



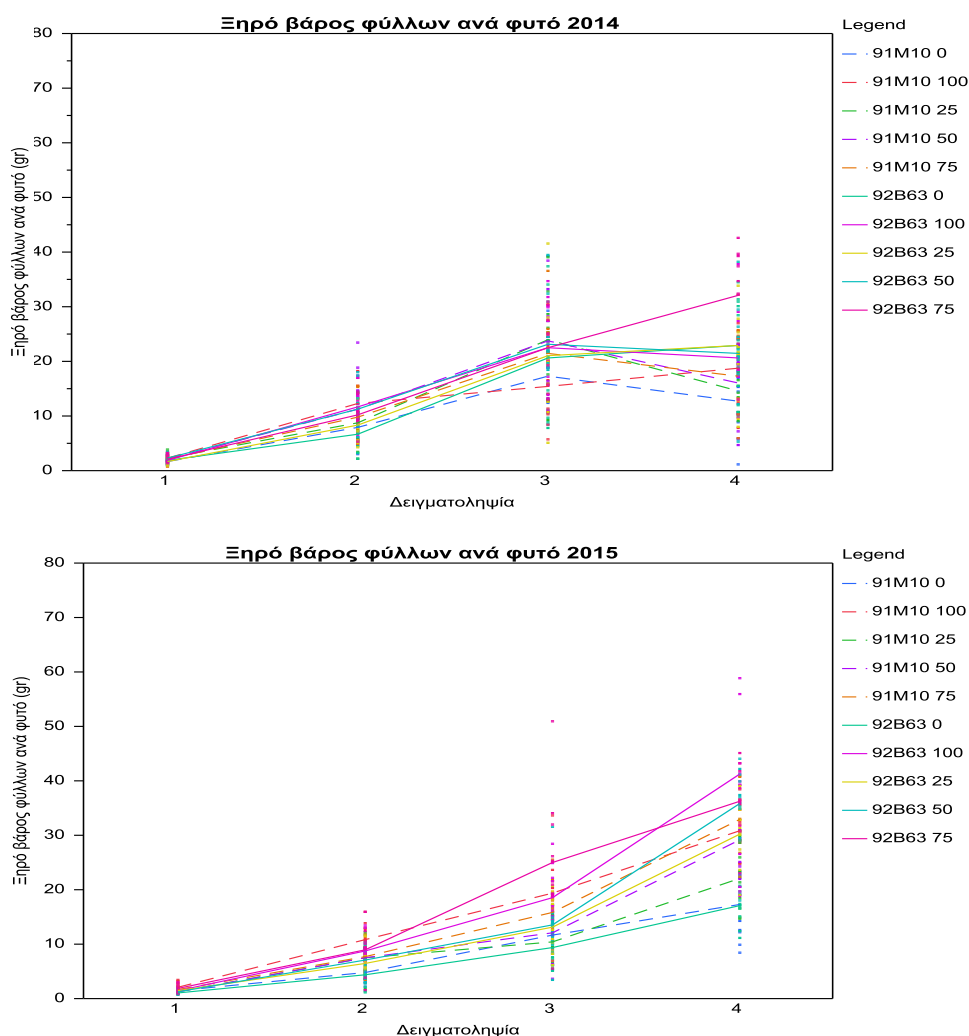
Σχεδιάγραμμα 5.1.7 Απεικόνιση των υδατικών μεταχειρίσεων συναρτήσει του ξηρού βάρους του στελέχους του φυτού για όλες τις δειγματοληψίες και για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63).

Τα σχεδιαγράμματα αφορούν τις καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015.

Στο σχεδιάγραμμα 5.1.7 απεικονίζεται η εξέλιξη του ξηρού βάρους των στελεχών στις τέσσερις δειγματοληψίες και για τα δύο έτη και τις δύο ποικιλίες. Όπως και για τον αριθμό των φύλλων ανά φυτό και τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), έτσι και εδώ παρατηρούμε μια διαφοροποίηση του ξηρού βάρους των στελεχών ανά φυτό για την 75% μεταχείριση για την όψιμη ποικιλία PR92B63 και ιδιαίτερα μετά την 3η δειγματοληψία.

Να σημειώσουμε επίσης ότι με την αύξηση της υδατικής καταπόνησης δεν μειώνεται απαραίτητα το ξηρό βάρος των στελεχών. Αυτό διακρίνεται έντονα στην 3η δειγματοληψία του 2014 και για τις μεταχειρίσεις 100%, 75%, 50% και των δύο ποικιλιών.

5.1.8 Ξηρό βάρος φύλλων

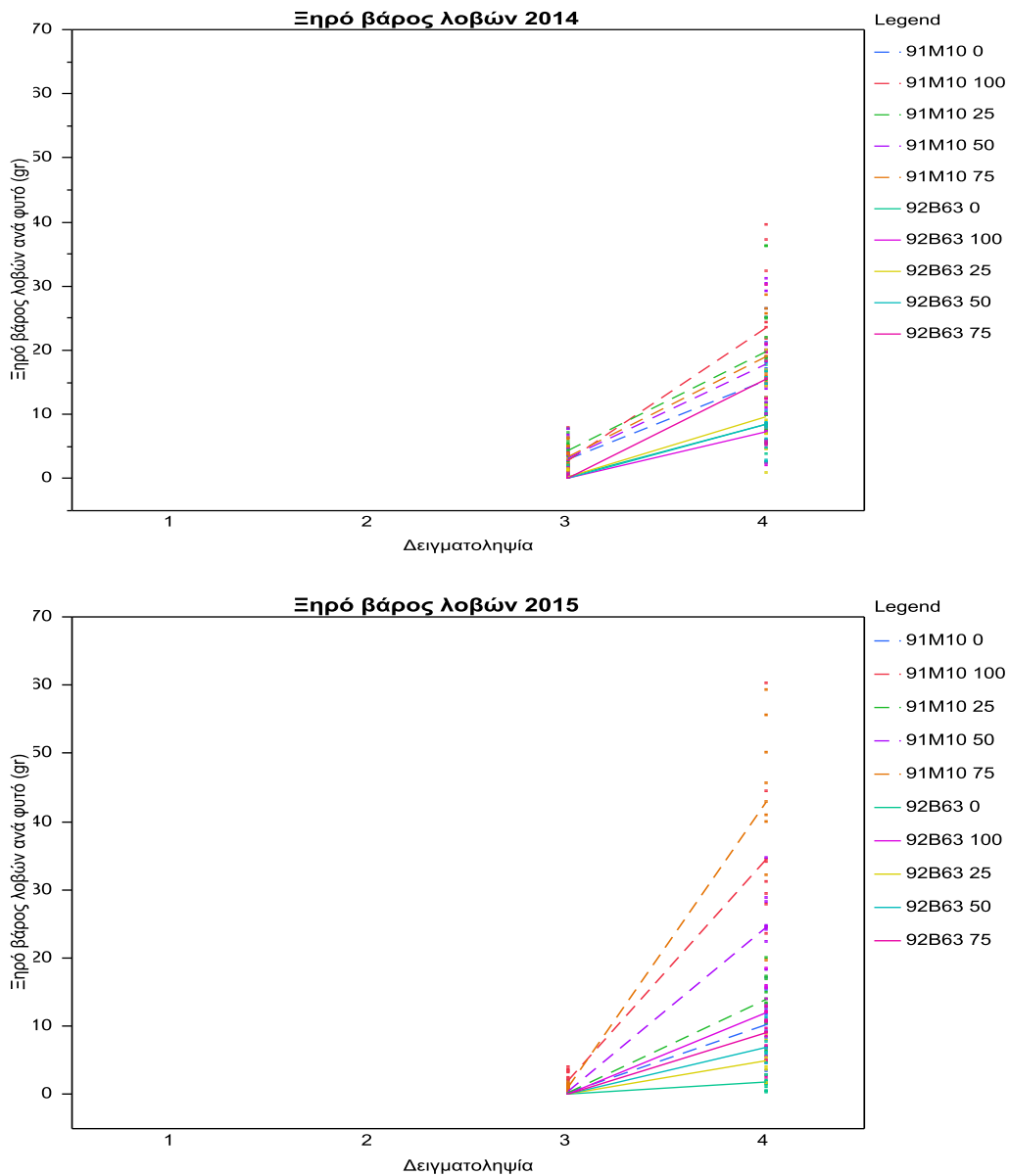


Σχεδιάγραμμα 5.1.8 Απεικόνιση των υδατικών μεταχειρίσεων συναρτήσει του ξηρού βάρους των φύλλων του φυτού για όλες τις δειγματοληψίες και για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63).

Τα σχεδιαγράμματα αφορούν τις καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015.

Στο σχεδιάγραμμα 5.1.8 φαίνεται η διακύμανση του ξηρού βάρους των φύλλων ανά φυτό. Παρατηρούμε ότι επαναλαμβάνεται όπως και προηγουμένως η διαφορά της όψιμης ποικιλίας PR92B63 ειδικότερα μετά την 3η δειγματοληψία και τη διαφοροποίηση της 75% μεταχείρισης της ίδιας ποικιλίας στην 3η δειγματοληψία για το 2015 και στην 4η δειγματοληψία του 2014.

5.1.9 Ξηρό βάρος λοβών ανά φυτό

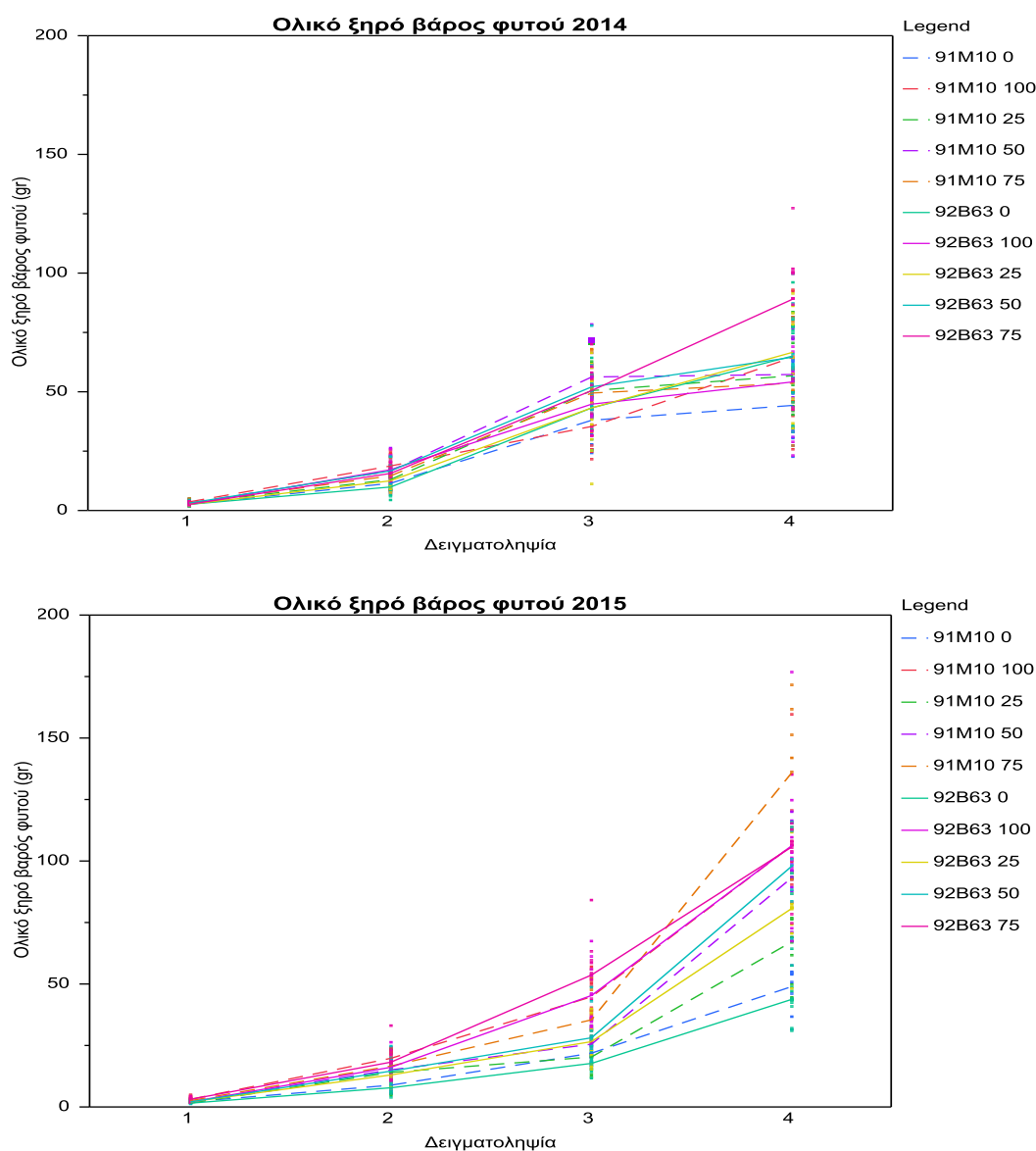


Σχεδιάγραμμα 5.1.9 Απεικόνιση των υδατικών μεταχειρίσεων συναρτήσει του ξηρού βάρους των λοβών του φυτού για όλες τις δειγματοληψίες και για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63).

Τα σχεδιαγράμματα αφορούν στις καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015.

Το ξηρό βάρος των λοβών μετρήθηκε μόνο στις δειγματοληψίες 3^η και 4^η διότι στις προηγούμενες δειγματοληψίες δεν είχαν σχηματιστεί ακόμα οι λοβοί. Στο διάγραμμα 5.1.9 απεικονίζεται αυτή η διακύμανση του βάρους των λοβών ανά φυτό σε γραμμάρια. Παρατηρούμε ότι το ξηρό βάρος των λοβών τόσο στην 3^η για την καλλιεργητική περίοδο 2014 όσο και στην 4^η δειγματοληψία και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους για την πρώιμη ποικιλία PR91M10, είναι αρκετά μεγαλύτερος από την όψιμη ποικιλία PR92B63. Να σημειώσουμε ότι παρόμοια συμπεριφορά έδειξε και ο αριθμός λοβών ανά φυτό.

5.1.10 Ολικό ξηρό βάρος φυτού



Σχεδιάγραμμα 5.1.10 Απεικόνιση των υδατικών μεταχειρίσεων συναρτήσει του ξηρού βάρους του φυτού για όλες τις δειγματοληψίες και για τις δύο ποικιλίες σόγιας (PR91M10, PR92B63).

Τα σχεδιαγράμματα αφορούν τις καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015.

Στο σχεδιάγραμμα 5.1.10 παρουσιάζεται το ολικό ξηρό βάρος του φυτού ανά δειγματοληψία, όπως αυτό προέκυψε από το άθροισμα των ξηρών βαρών των στελεχών, των φύλλων και των λοβών. Όπως φαίνεται και στο σχεδιάγραμμα για τις πρώτες δύο δειγματοληψίες δεν φάνηκαν ιδιαίτερες διακυμάνσεις για τις ποικιλίες-μεταχειρίσεις-καλλιεργητικές περιόδους.

Στην 3η δειγματοληψία για την καλλιεργητική περίοδο 2014 όσον αφορά στην παράμετρο ολικό ξηρό βάρος φυτού, με την αύξηση της υδατικής καταπόνησης δεν μειώνεται απαραίτητα το ξηρό βάρος των στελεχών σχεδιάγραμμα (5.1.7). Αυτό διακρίνεται έντονα για τις μεταχειρίσεις 100%, 75%, 50% και των δύο ποικιλιών. Επίσης Παρατηρούμε ότι επαναλαμβάνεται όπως και προηγουμένως η διαφορά της όψιμης ποικιλίας PR92B63 ειδικότερα μετά την 3η δειγματοληψία και τη διαφοροποίηση της 75% μεταχείρισης της ίδιας ποικιλίας στην 3η δειγματοληψία για το 2015 και στην 4η δειγματοληψία του 2014.

Επίσης είναι ευδιάκριτο, ότι για την παράμετρο ολικό ξηρό βάρος φυτού στην 4η δειγματοληψία του 2015 η 75% της πιο πρώιμης ποικιλίας PR91M10 εμφανίζει μεγαλύτερη τιμή από αυτής της όψιμης ποικιλίας PR92B63.

Τέλος είναι ευδιάκριτο, ότι στην πλειονότητα τους οι παράμετροι για την τρίτη και κυρίως για την τέταρτη δειγματοληψία έδειξαν μεγαλύτερο εύρος τιμών των μετρήσεών τους για την καλλιεργητική περίοδο του 2015 από αυτή του 2014. Αυτό οφείλεται στο ότι η καλλιεργητική περίοδος του 2015 ήταν αισθητά πιο υγρή από αυτή του 2014.

5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τη συγκομιδή

Τα αποτελέσματα της υπέργειας ξηρής βιομάζας, της παραγωγής σε σπόρο, καθώς και ποιοτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου σπόρου απεικονίζονται στους πίνακες 5.2.α και 5.2.β για τις καλλιεργητικές περιόδους 2014 και 2015 αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τους πίνακες 5.2.α και 5.2.β οι διαφορές ανάμεσα στις υδατικές μεταχειρίσεις ήταν στατιστικά σημαντικές για 0.001 επίπεδο εμπιστοσύνης για τις παραμέτρους υπέργεια ξηρή βιομάζα, παραγωγή σε σπόρο, παραγωγή σε αζωτούχες πρωτεΐνες και παραγωγή σε λάδι, για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015). Επίσης διαφορές ανάμεσα στις υδατικές μεταχειρίσεις έδωσε η παράμετρος ποσοστό αζωτούχων πρωτεϊνών σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 για την καλλιεργητική περίοδο 2015, ενώ η επίδραση ποσοστό σε λάδι ήταν μη σημαντική και για τις καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015). Τέλος η συνδυαστική αλληλεπίδραση ποικιλίαυδατική μεταχείριση είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για όλες τις μετρομημένες παραμέτρους και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015).

Πίνακας 5.2.α Αποτελέσματα της ANOVA για την υπέργεια ξηρή βιομάζα, απόδοση σε σπόρο και ποιοτικά χαρακτηριστικά του σπόρου και για τις δύο ποικιλίες σόγιας για την καλλιεργητική περίοδο 2014.

Ποικιλία	Υδατική Μεταχείριση	Υπέργεια Ξηρή βιομάζα (t/ha)	Ξηρό βάρος σπόρων (t/ha)	Συγκέντρωση αζωτούχων πρωτεϊνών (%)	Περιεκτικότητα Λαδιού (%)	Παραγωγή αζωτούχων πρωτεϊνών (t/ha)	Παραγωγή λαδιού (t/ha)
PR92B63	100%	10.5 a	5.30a	35.0de	20.4 de	1.86a	1.08a
	75%	7.81 b	3.82b	34.4 f	20.5cd	1.31b	0.79b
	50%	6.79 c	3.37c	34.5f	20.7 c	1.16bc	0.70c
	25%	4.41 e	2.14e	34.7 ef	20.3 e	0.74e	0.43e
	0%	3.94 f	1.77ef	33.0g	21.5 a	0.59fg	0.38ef
PR91M10	100%	7.01 c	3.11 c	36.1 c	21.1 b	1.12c	0.66c
	75%	6.02 d	2.56 d	36.6 b	20.9 b	0.94d	0.54d
	50%	4.99 e	2.06 e	37.4 a	20.4 de	0.77e	0.42e
	25%	4.38 e	2.02 e	36.1 c	20.5 cde	0.73ef	0.41e
	0%	3.29 f	1.53 f	35.4 d	21.0 b	0.55g	0.32f
	C	***	***	***	**	***	***
	IRR	***	***	ns	ns	***	***
	C x IRR	***	***	***	***	***	***

Υποσημείωση: C, ποικιλίες, IRR, υδατικές μεταχειρίσεις (100% πλήρως αρδευόμενα φυτά, 75% της πλήρους μεταχείρισης, 50% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 25% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 0% δεν αρδεύτηκαν καθόλου), ns (στατιστικά μη σημαντικό), στατιστικά σημαντικό για * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Μεταχειρίσεις που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

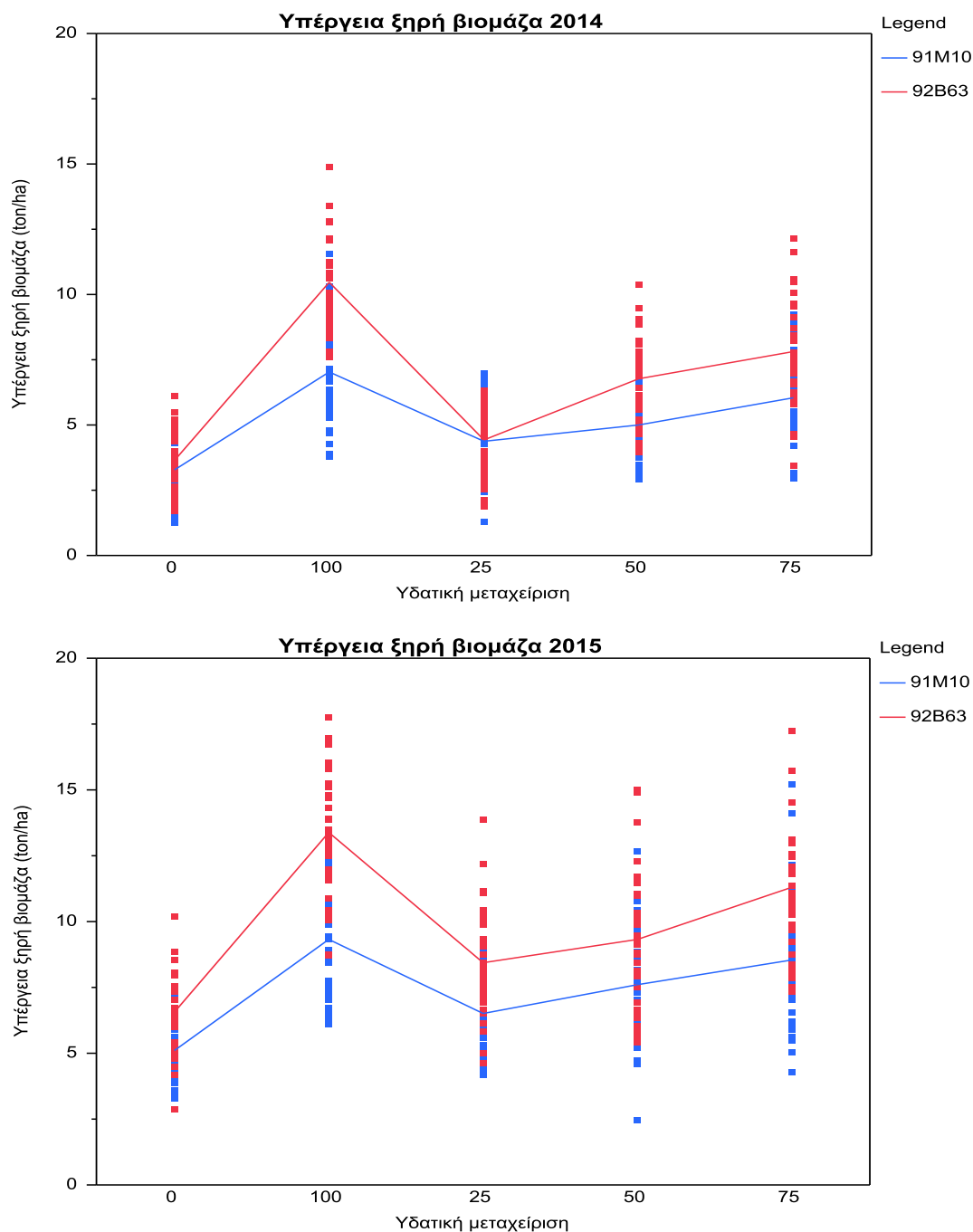
Πίνακας 5.2.β Αποτελέσματα της ANOVA για την υπέργεια ξηρή βιομάζα, απόδοση σε σπόρο και ποιοτικά χαρακτηριστικά του σπόρου και για τις δύο ποικιλίες σόγιας για την καλλιεργητική περίοδο 2015.

Ποικιλία	Υδατική Μεταχείριση	Υπέργεια Ξηρή βιομάζα (t/ha)	Ξηρό βάρος σπόρων (t/ha)	Συγκέντρωση αζωτούχων πρωτεϊνών (%)	Περιεκτικότητα Λαδιού (%)	Παραγωγή αζωτούχων πρωτεϊνών (t/ha)	Παραγωγή λαδιού (t/ha)
PR92B63	100%	13.4 a	6.77a	38.2b	18.3f	2.58a	1.24a
	75%	11.3b	6.06b	39.0a	18.1 g	2.36a	1.10b
	50%	9.51c	4.70c	38.9a	17.9 h	1.83b	0.84d
	25%	8.43cd	4.52cd	37.4 d	18.9e	1.69bc	0.85d
	0%	6.97e	3.33f	36.5e	18.8 e	0.91e	0.47f
PR91M10	100%	9.31c	4.87c	38.5b	20.0 d	1.88b	0.97c
	75%	8.54cd	4.67c	37.8c	20.2c	1.76b	0.94cd
	50%	7.60d	4.07d	37.4 d	20.6 b	1.52cd	0.84d
	25%	6.53e	3.46e	37.7 cd	20.3 c	1.31d	0.70e
	0%	5.09f	2.42f	36.5 e	20.9 a	0.88e	0.51f
C		***	***	***	**	***	***
IRR		***	***	*	ns	***	***
C x IRR		***	***	***	***	***	***

Υποσημείωση: C, ποικιλίες, IRR, υδατικές μεταχειρίσεις (100% πλήρως αρδευόμενα φυτά, 75% της πλήρους μεταχείρισης, 50% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 25% της πλήρους υδατικής μεταχείρισης, 0% δεν αρδεύτηκαν καθόλου), ns (στατιστικά μη σημαντικό), στατιστικά σημαντικό για * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Μεταχειρίσεις που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

5.2.1 Υπέργεια ξηρή βιομάζα

Όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα 5.2.1 η ποικιλία PR92B63 και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) έβγαλε μεγαλύτερες τιμές για την παράμετρο υπέργεια ξηρή βιομάζα από αυτές της PR91M10. Επίσης είναι εμφανές ότι, το 2015 και οι δύο ποικιλίες έδειξαν μεγαλύτερες τιμές από αυτές του 2014.



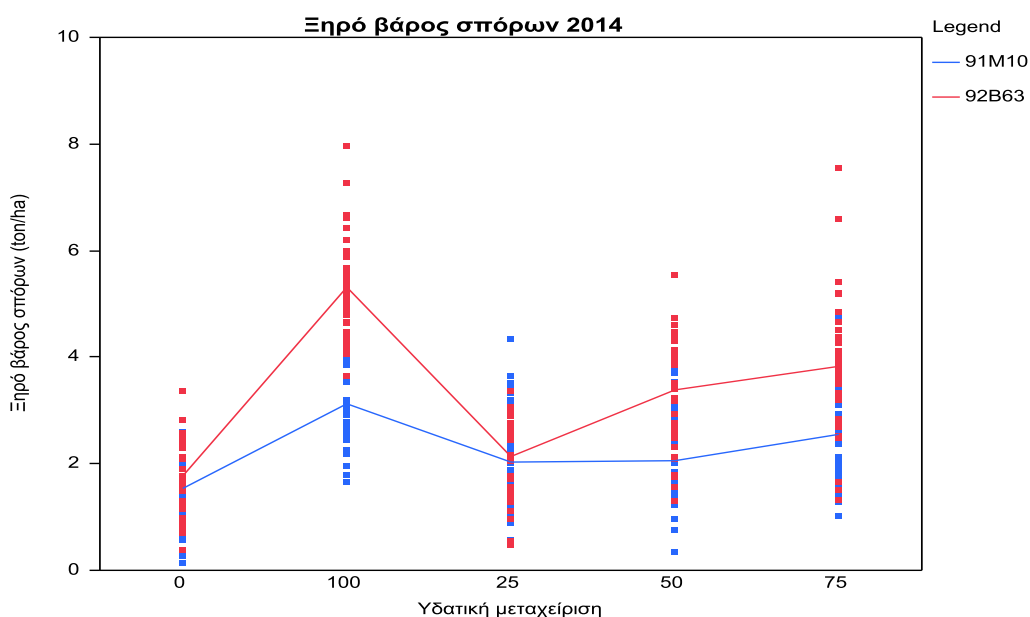
Σχεδιάγραμμα 5.2.1 Συσχέτιση υδατικής μεταχείρισης και υπέργειας ξηρής βιομάζας (ton/ha) για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) και ποικιλίες (PR92B63-PR91M10).

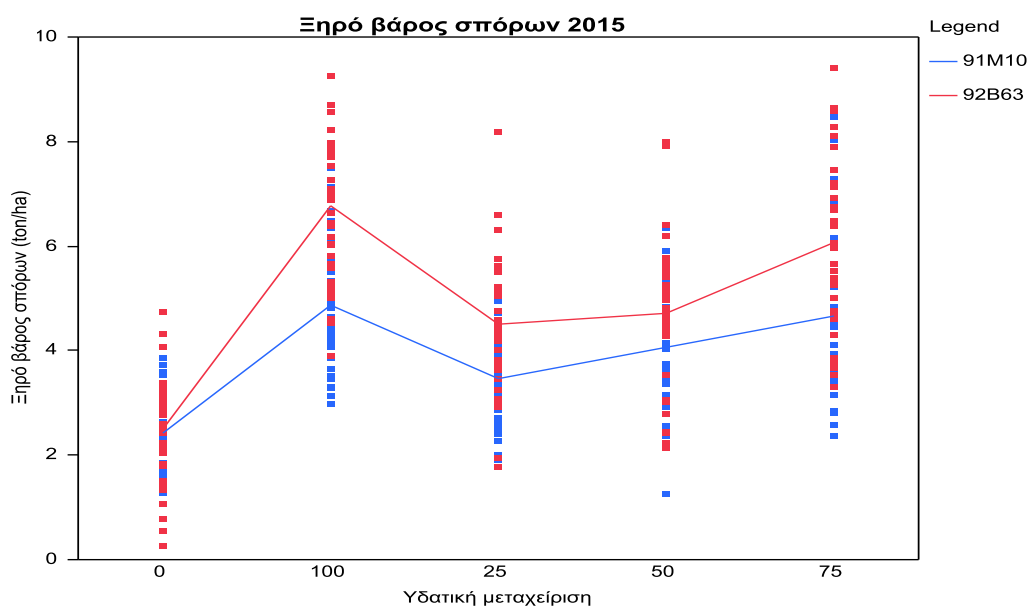
Οι μετρημένες τιμές της υπέργειας ξηρής βιομάζας για το υβρίδιο PR92B63 κυμάνθηκαν από 3.94 έως 10.5 ton/ha και από 6.97 έως 13.4 ton/ha για το 2014 και το 2015 αντίστοιχα. Ενώ για το υβρίδιο PR91M10 κυμάνθηκαν από 3.29 έως 7.01 ton/ha και 5.09 έως 9.31 ton/ha για το 2014 και 2015 αντίστοιχα. Η μηδενική μεταχείριση μείωσε την υπέργεια ξηρή βιομάζα σε σχέση με την 100% μεταχείριση, για το υβρίδιο PR92B63, κατά 63% και 48% για το 2014 και 2015 αντίστοιχα. Αντίστοιχα για το υβρίδιο PR91M10 μειώθηκε κατά 53% και 45% για τις καλλιεργητικές περιόδους 2014 και 2015.

5.2.2 Ξηρό βάρος σπόρων

Σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα 5.2.2 η ποικιλία PR92B63 και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) έβγαλε μεγαλύτερες τιμές για την παράμετρο ξηρό βάρος σπόρων από αυτές της PR91M10. Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα της έρευνας των Bellaloui και Mengistu (2008) οι οποίοι επεσήμαναν ότι διαφορετικές ποικιλίες αντιδρούν διαφορετικά σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Επίσης είναι εμφανές ότι, το 2015 και οι δύο ποικιλίες έδειξαν μεγαλύτερες αποδόσεις από αυτές του 2014.

Οι τιμές του ξηρού βάρους των σπόρων για το υβρίδιο PR92B63 κυμάνθηκαν από 1.77 για την μηδενική μεταχείριση, έως 5.30 ton/ha για την 100% υδατική μεταχείριση και από 3.33 έως 6.77 ton/ha για το 2014 και το 2015 αντίστοιχα. Όμοια για το υβρίδιο PR91M10 κυμάνθηκαν από 1.53 έως 3.11 ton/ha και 2.42 έως 4.87 ton/ha για το 2014 και 2015 αντίστοιχα (πίνακες 5.2.α και 5.2.β).





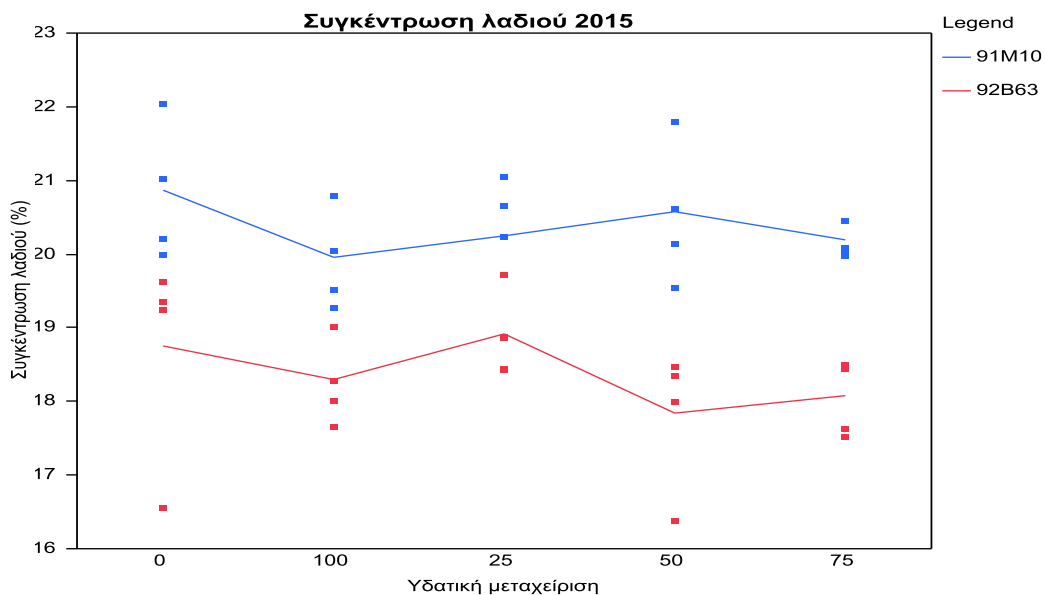
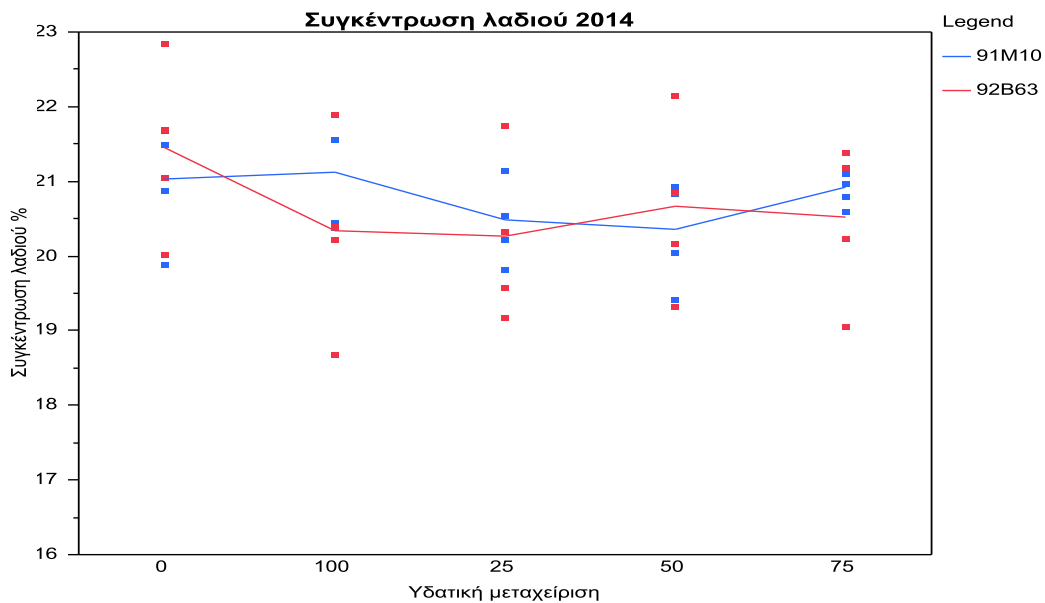
Σχεδιάγραμμα 5.2.2, Συσχέτιση υδατικής μεταχείρισης και ξηρό βάρος σπόρων (ton/ha) για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) και ποικιλίες (PR92B63-PR91M10).

Συγκριτικά με την μηδενική υδατική μεταχείριση οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις αύξησαν σημαντικά το ξηρό βάρος σπόρων. Για την ποικιλία PR92B63 και για το 2014 οι μειώσεις στο ξηρό βάρος των σπόρων ήταν 67, 60, 36 και 28% για τις υδατικές μεταχειρίσεις 0%, 25%, 50% και 75% αντίστοιχα συγκριτικά με την 100% μεταχείριση, ενώ για την ποικιλία PR91M10 οι αντίστοιχες μειώσεις στο ξηρό βάρος των σπόρων ήταν 51, 35, 34 και 18%.

Όμοια για την καλλιεργητική περίοδο 2015, οι μειώσεις στην παραγωγή ήταν 51, 33, 31 και 11% για την PR92B63 και 50, 29, 16 και 4% για την PR91M10, για τις 0, 25, 50 και 75% υδατικές μεταχειρίσεις αντίστοιχα.

5.2.3 Συγκέντρωση λαδιού

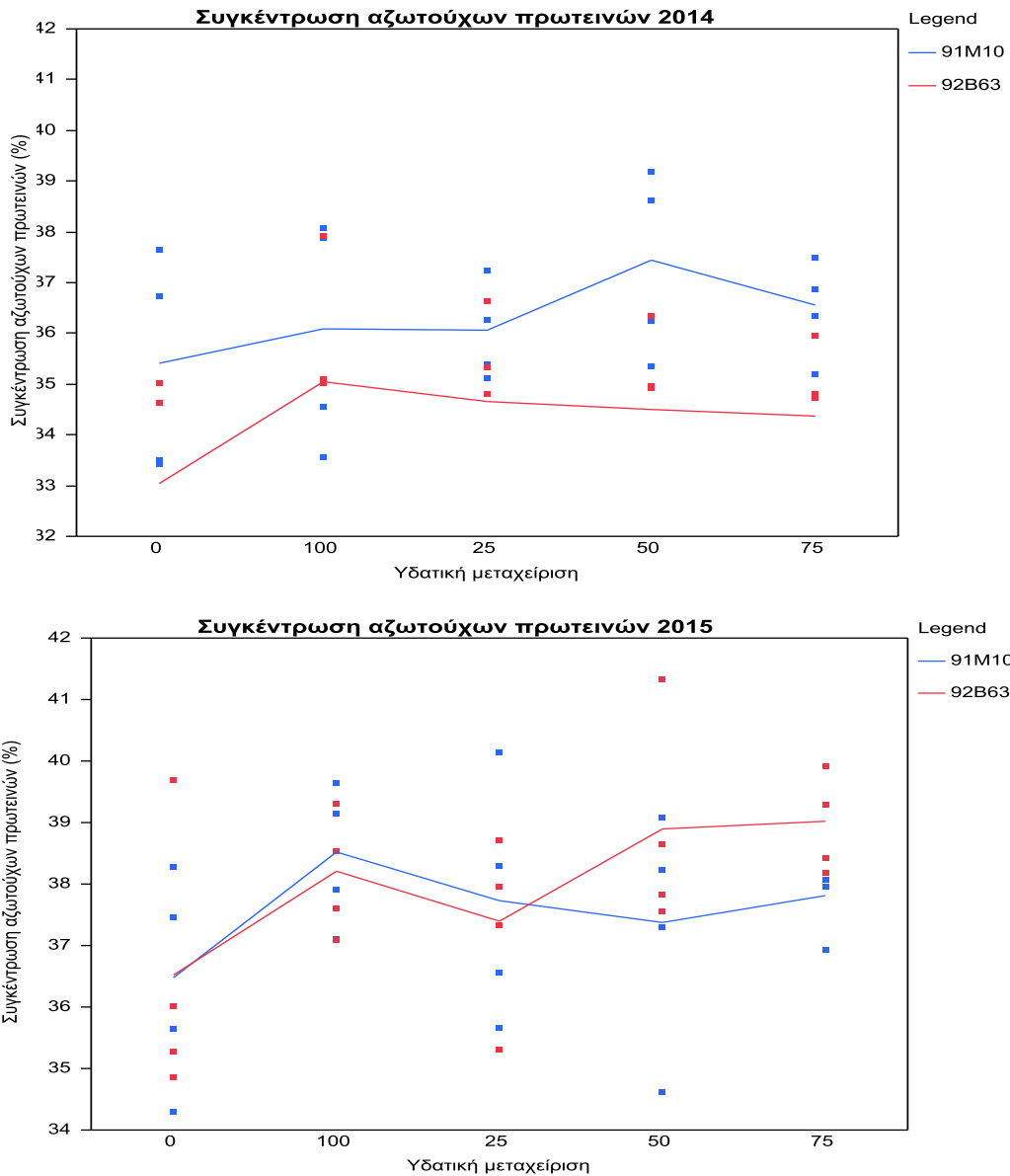
Η συγκέντρωση σε λάδι στο σπόρο έδειξε αναντιστοιχία ανάμεσα στις υδατικές μεταχειρίσεις. Οι τιμές για την συγκέντρωση σε λάδι κυμάνθησαν από 17.9% έως 21.5% για τις δύο ποικιλίες και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (πίνακες 5.2.α και 5.2.β). Αυτή η συμπεριφορά της καλλιέργειας της σόγιας είναι σημαντική καθώς η σόγια σαν φυτό δείχνει αντοχή ως προς την υδατική καταπόνηση, όσον αφορά στη συγκέντρωση λαδιού στον παραγόμενο σπόρο. Ενώ το 2014 οι δύο ποικιλίες είχαν παρόμοια συμπεριφορά, το 2015 έδειξε διαφορά μεταξύ των δύο ποικιλιών.



Σχεδιάγραμμα 5.2.3 Συσχέτιση υδατικής μεταχείρισης και συγκέντρωσης λαδιού (%), για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) και ποικιλίες (PR92B63-PR91M10).

5.2.4 Συγκέντρωση αζωτούχων πρωτεϊνών

Το ποσοστό σε αζωτούχες πρωτεΐνες για την ποικιλία PR92B63 κυμάνθηκε από 33% για την 0% μεταχείριση έως 35% για την 100% μεταχείριση για το 2014 και από 36.5% (0%) έως 39% (75%) για το 2015. Για την ποικιλία PR91M10 η συγκέντρωση των αζωτούχων πρωτεϊνών κυμάνθηκε από 35.4% (0% μεταχείριση) έως 37.4% (50% μεταχείριση) για το 2014 και από 36.5% (0% μεταχείριση) έως 38.5% (100% μεταχείριση) για το 2015 (πίνακες 5.2.α και 5.2.β).



Σχεδιάγραμμα 5.2.4 Συσχέτιση υδατικής μεταχείρισης και συγκέντρωσης αζωτούχων πρωτεϊνών (%), για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) και ποικιλίες (PR92B63-PR91M10).

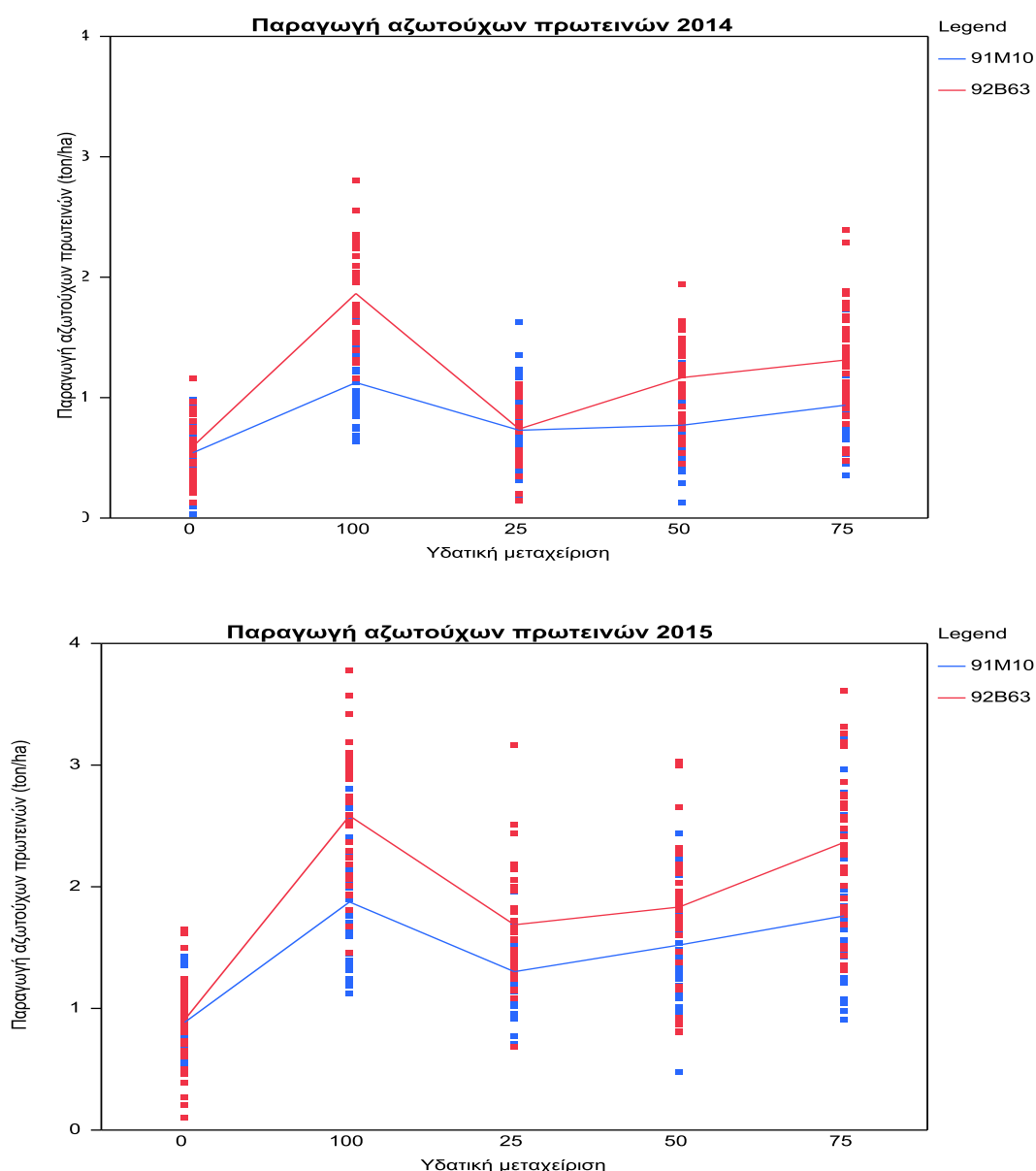
Η μηδενική μεταχείριση (0%) κατά μέσο όρο είχε 5.5% χαμηλότερη συγκέντρωση αζωτούχων πρωτεϊνών από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, οπότε η εφαρμογή της άρδευσης γενικά αύξησε και το ποσοστό αζωτούχων πρωτεϊνών.

Τα αποτελέσματα για την συγκέντρωση αζωτούχων πρωτεϊνών συμφωνούν με αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών Specht et al. (2001), Kimnak et al. (2010) και Kresonić et al. (2017), οι οποίοι σημείωσαν πως η συγκέντρωση σε πρωτεΐνες είναι ευαίσθητη στην υδατική καταπόνηση.

Αντίθετα αποτελέσματα επίσης έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία Candogan et al. (2013).

5.2.5 Παραγωγή αζωτούχων πρωτεϊνών

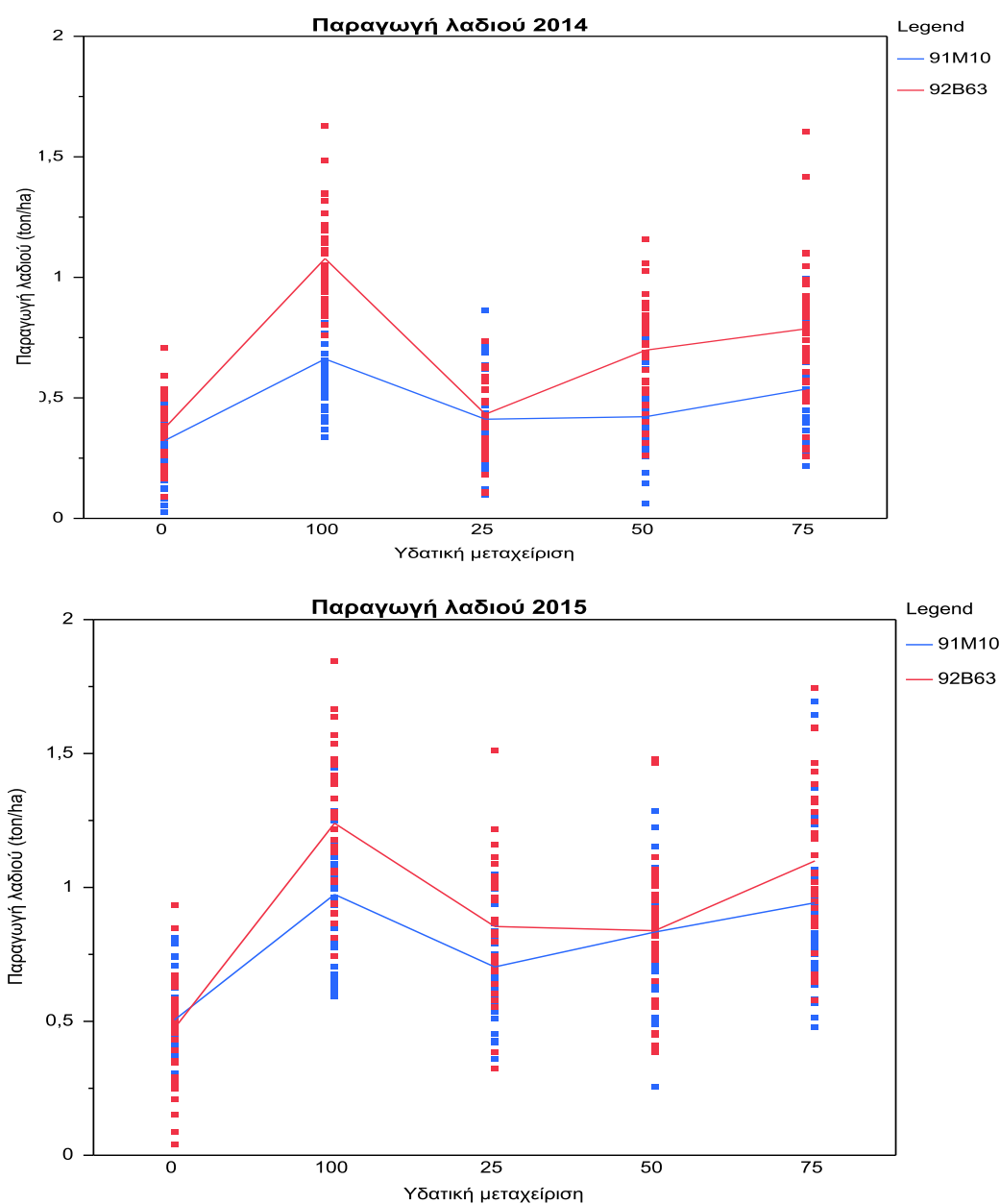
Οι εργαστηριακά προσδιορισμένες τιμές παραγωγής αζωτούχων πρωτεϊνών για το 2014 και το 2015 και για την ποικιλία PR92B63 κυμάνθηκε από 0.59 έως 1.86 (ton/ha) και από 0.91 έως 2.58 ton/ha αντίστοιχα. Ενώ για την ποικιλία PR91M10 ήταν μεταξύ 0.55 έως 1.12 ton/ha και από 0.88 έως 1.88 ton/ha για τα έτη 2014 και 2015 αντίστοιχα. Παρόμοια αυξητικά αποτελέσματα έχουν αναφερθεί στο παρελθόν επίσης στην περιοχή της Τουρκίας από τους (Candogan et al. 2013).



Σχεδιάγραμμα 5.2.5 Συσχέτιση υδατικής μεταχείρισης και παραγωγής αζωτούχων πρωτεϊνών (ton/ha), για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) και ποικιλίες (PR92B63-PR91M10).

5.2.6 Παραγωγή λαδιού

Όσον αφορά στην παραγωγή λαδιού οι τιμές για τα έτη 2014 και 2015 για την ποικιλία PR92B63 έλαβαν τιμές από 0.38 έως 1.08 ton/ha και από 0.47 έως 1.24 ton/ha αντίστοιχα, ενώ για την ποικιλία PR91M10 έλαβαν τιμές από 0.32 έως 0.66 ton/ha και από 0.51 έως 0.97 ton/ha για το 2014 και 2015 αντίστοιχα. Την υψηλότερη και χαμηλότερη τιμή έλαβαν η 100% και 0% υδατική μεταχείριση αντίστοιχα και για τις δύο χρονιές και για τις δύο ποικιλίες.



Σχεδιάγραμμα 5.2.6 Συσχέτιση υδατικής μεταχείρισης και παραγωγής λαδιού (ton/ha), για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) και ποικιλίες (PR92B63-PR91M10).

5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τον δείκτη υδατικής καταπόνησης (CWSI).

Για τη μελέτη του (CWSI) ήταν απαραίτητη η γνώση των εξής παραμέτρων: η σχετική υγρασία στα (2,0 m), RH(%), η θερμοκρασία του αέρα στο (1,5m), $T_a(^{\circ}\text{C})$ και η θερμοκρασία φυτοκόμης $T_c(^{\circ}\text{C})$. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό που υπάρχει στον αγρό για την καταγραφή των μικρομετεωρολογικών παρατηρήσεων.

5.3.1 Προσδιορισμός των εξισώσεων της άνω και κάτω οριογραμμής του CWSI.

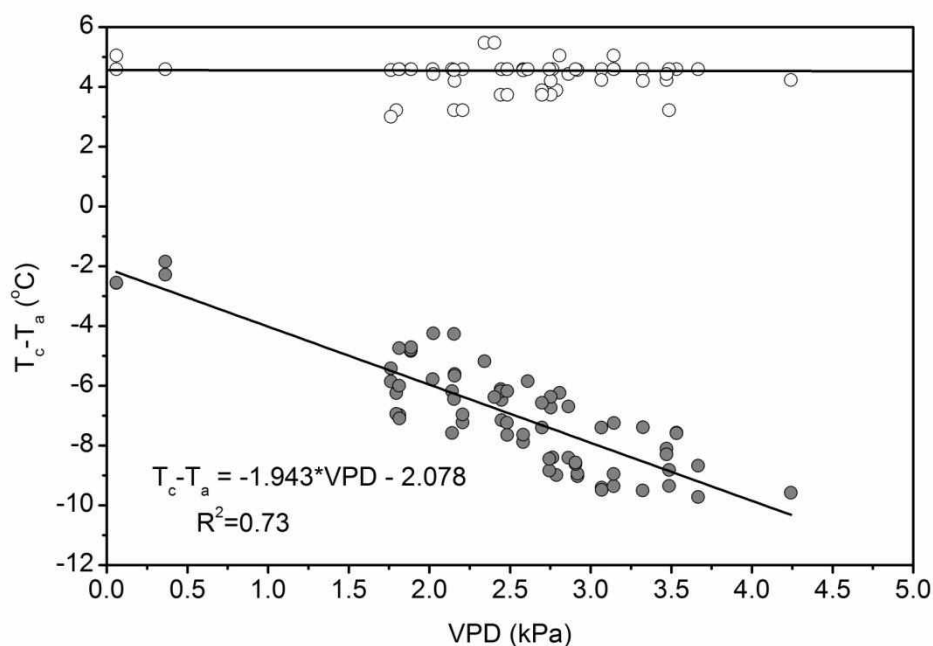
Σύμφωνα με το υποκεφάλαιο 2.2, στο σχεδιάγραμμα 5.3.1.1 απεικονίζονται οι άνω και κάτω οριογραμμές που απαιτούνται για τον υπολογισμό του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI. Οι εξισώσεις της άνω $[(T_c - T_a)ul]$ (5.3.1.1) και κάτω οριογραμμής $[(T_c - T_a)ll]$ (5.3.1.2) αντίστοιχα υπολογίστηκαν ως εξής:

$$[(T_c - T_a)ul] = + 4.59 \quad (n=69) \quad (5.3.1.1)$$

και

$$[(T_c - T_a)ll] = -1.943VPD - 2.078 \quad (n=69, R^2 = 0.73, P<0.001) \quad (5.3.1.2)$$

Ο προσδιορισμός τόσο της άνω οριογραμμής (εξίσωση, 5.3.1.1), όσο και της κάτω οριογραμμής (εξίσωση, 5.3.1.1), έγινε λαμβάνοντας υπόψη συγκεντρωτικά δεδομένα και των δύο καλλιεργητικών περιόδων 2014-2015. Στο σχεδιάγραμμα 5.3.1.1 η άνω οριογραμμή δείχνει τη μέση διαφορά θερμοκρασίας φυτοκόμης και αέρα ($T_c - T_a$) των πλήρως καταπονημένων (0%) τεμαχίων και των δύο ποικιλιών και καλλιεργητικών περιόδων. Αντίστοιχα στο σχεδιάγραμμα 5.3.1.1 η κάτω οριογραμμή δείχνει τις διαφορές θερμοκρασίας φυτοκόμης και αέρα ($T_c - T_a$) των μη υδατικά καταπονούμενων (100%) τεμαχίων όπως αυτή διακυμάνθηκε με τις μεταβολές του ελλείμματος κορεσμού της ατμόσφαιρας σε νερό (VPD).



Σχεδιάγραμμα 5.3.1.1 απεικόνιση άνω και κάτω οριογραμμής για τον υπολογισμό του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI.

Σύμφωνα με την εξίσωση (5.3.1.1) η άνω οριογραμμή αντιπροσωπεύεται από την μέση τιμή 4.59 °C για τις δύο ποικιλίες και καλλιεργητικές περιόδους. Σε παλαιότερες εργασίες για το φυτό σόγια, όπως αυτές των Payero και Irmak (2006) και των Candogan et al. (2013) αντίστοιχα, ως άνω οριογραμμή προτείνονται οι τιμές 2.77 °C και 3.2°C.

Ο σταθερός όρος της εξίσωσης της κάτω οριογραμμής είναι (-2.078), (εξίσωση 5.3.1.2). Αντίστοιχα ο Idso (1982) πρότείνει την τιμή 1.44 , ο Nielsen (1990) την τιμή 2.51, οι Payero και Irmak(2006) την τιμή 1.874 και τέλος οι Candogan et al. (2013) πρότείνουν την τιμή 0.6499 για το φυτό σόγια.

Αντίθετα με την σύγκριση των υπόλοιπων παραμέτρων της άνω και κάτω οριογραμμής η κλίση της κάτω οριογραμμής (-1.943),(εξίσωση 5.3.1.2) ήταν αρκετά κοντά με τις τιμές των υπολοίπων συγγραφέων Idso (1982),(-1,34), Nielsen (1990),(-2.02), Payero and Irmak(2006),(-1.95) και Candogan et al. (2013),(-1.8549).

5.3.2 Διακύμανση του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI

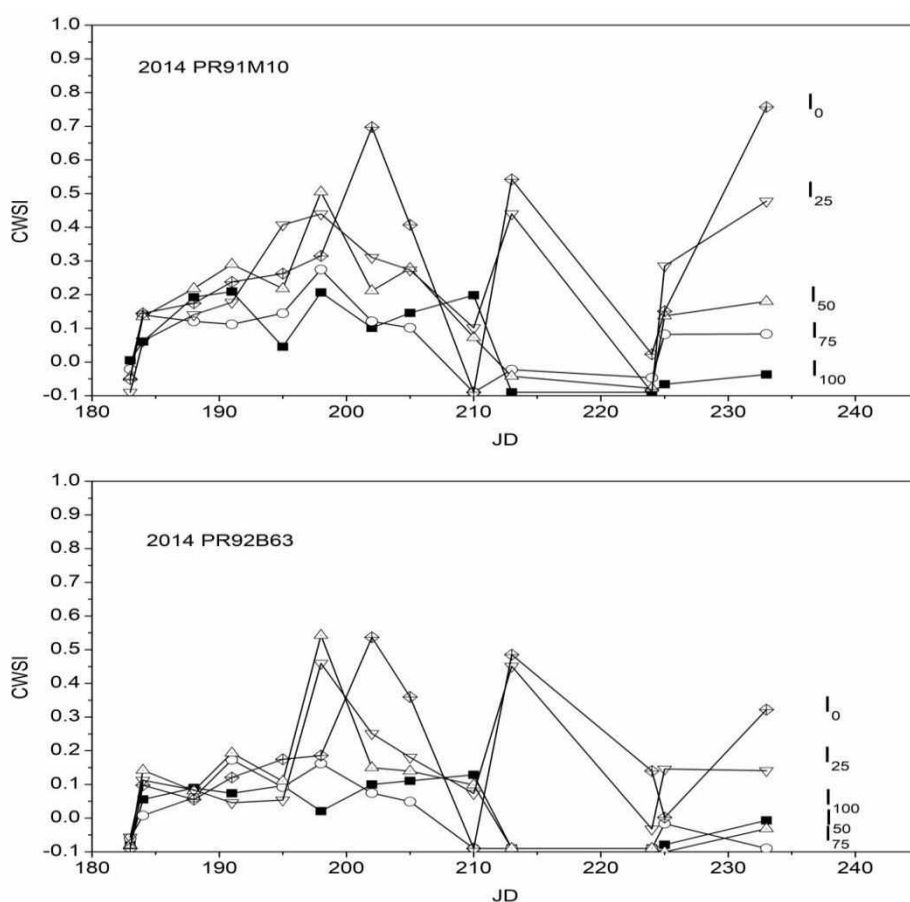
Η διακύμανση του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI συναρτήσε των ιουλιανών ημερών (Julian Days, JD), για τις διάφορες υδατικές μεταχειρίσεις (100%, 75%, 50%, 25% και 0%), τις δύο ποικιλίες (PR91M10-PR92B63) κατά την διάρκεια των δύο καλλιεργητικών περιόδων απεικονίζεται στα σχεδιαγράμματα 5.3.2.1 και 5.3.2.2 αντίστοιχα.

Γενικά οι τιμές του CWSI αυξήθηκαν με αύξηση της υδατικής καταπόνησης (σχήματα 5.3.2.1 και 5.3.2.2) και υπήρξαν ημερήσιες μεταβολές του δείκτη για όλες τις μεταχειρίσεις. Σύμφωνα με τα σχήματα 5.3.2.1 και 5.3.2.2 η μέγιστη τιμή

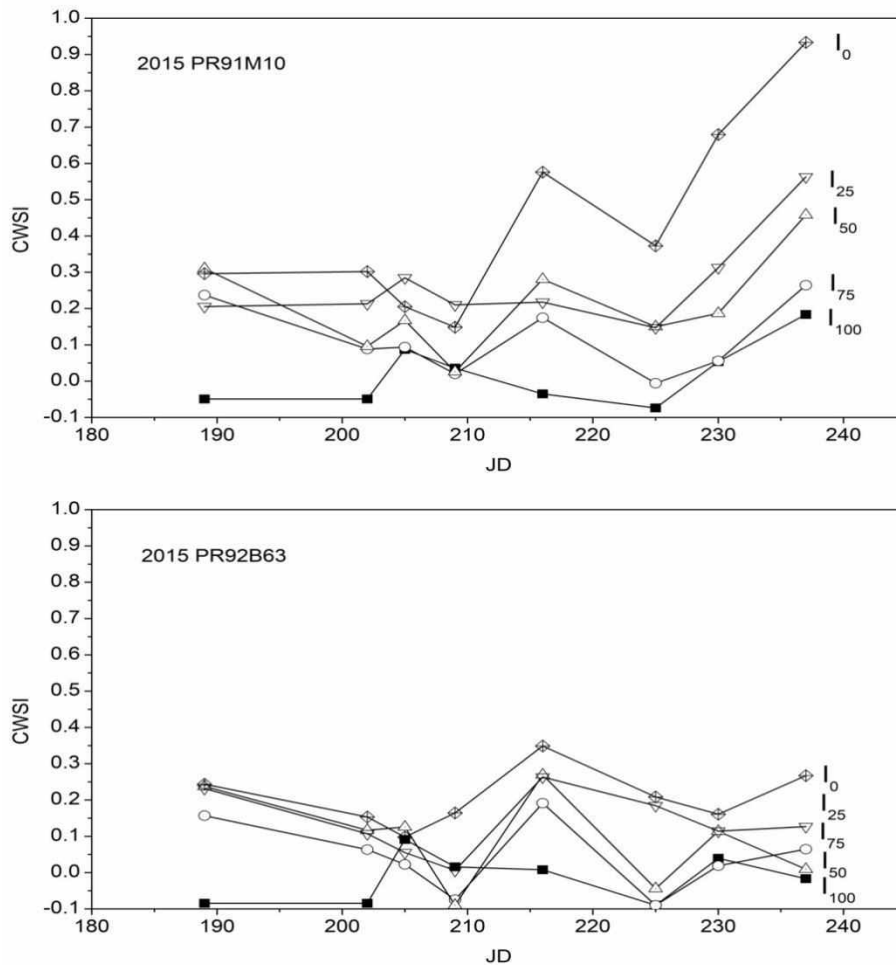
που εμφανίστηκε για την μη καταπονημένη μεταχείριση (100%) του CWSI ήταν 0.21. Για τις υπόλοιπες υδατικές μεταχειρίσεις και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) αντίστοιχα οι τιμές του CWSI έφτασαν το 0.28 και 0.26 για την 75%, το 0.54 και 0.46 για την 50%, το 0.48 και 0.56 για την 25% μεταχείριση.

Τέλος είναι εμφανές πως η πιο πρώιμη ποικιλία PR91M10 εμφάνισε μεγαλύτερες τιμές CWSI από την PR92B63 για όλες της υδατικές μεταχειρίσεις, πράγμα το οποίο είναι δείκτης της ευαισθησίας της ποικιλίας στην υδατική καταπόνηση για τις τοπικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής, το οποίο φαίνεται και στις τελικές αποδόσεις κατά τη συγκομιδή (υποκεφάλαιο 5.2).

Για την διακύμανση του CWSI παρατηρούμε ότι εμφανίστηκαν αρνητικές τιμές και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015, σχήματα 5.3.2.1 και 5.3.2.2). Στο παρελθόν από την βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί πάλι αρνητικές τιμές από διάφορους συγγραφείς Yazar et al. (1999), Yuan et al. (2004), da Silva και Rao(2005), Emekli et al. (2007), Gontia και Tiwari (2008), Ünlü et al. (2011), Candogan et al. (2013), Durigon και van Lier (2013), Taghvaeian et al. (2014) και DeJonge et al. (2015). Ο Nielsen (1990) ανέφερε ότι αυτό οφείλεται στην διασπορά των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για να εξαχθεί η κάτω οριογραμμή.



Σχήμα 5.3.2.1 Διακύμανση του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI στο χρόνο εκφρασμένο σε Ιουλιανές ημέρες (JD), κατά την καλλιεργητική περίοδο 2014 .



Σχήμα 5.3.2.2 Διακύμανση του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI εκφρασμένο σε Ιουλιανές μέρες (JD), κατά την καλλιεργητική περίοδο 2015 .

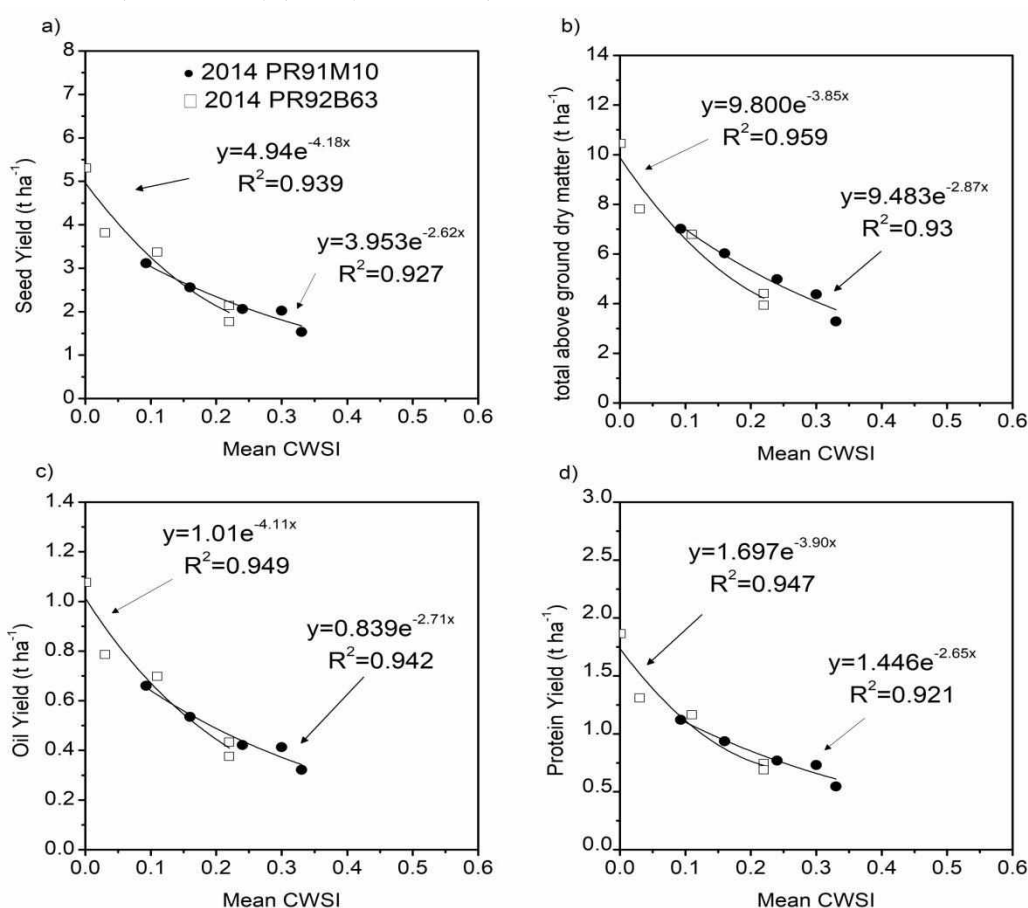
5.3.3 Σχέσεις παραγωγής του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI με τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής.

Για την κάθε καλλιεργητική περίοδο (2014-2015) ξεχωριστά υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές του δείκτη υδατικής καταπόνησης (CWSI) της περιόδου. Έπειτα αυτές οι μέσες τιμές του CWSI απεικονίστηκαν συναρτήσει της απόδοσης σε σπόρο (seed yield), της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (above ground dry biomass, D-AGB), της παραγωγής σε πρωτεΐνες (protein yield) και της παραγωγής σε λάδι (oil yield) στα σχήματα 5.3.3.1 a-d, για την καλλιεργητική περίοδο 2014 και 5.3.3.2 a-d, για την καλλιεργητική περίοδο 2015 αντίστοιχα.

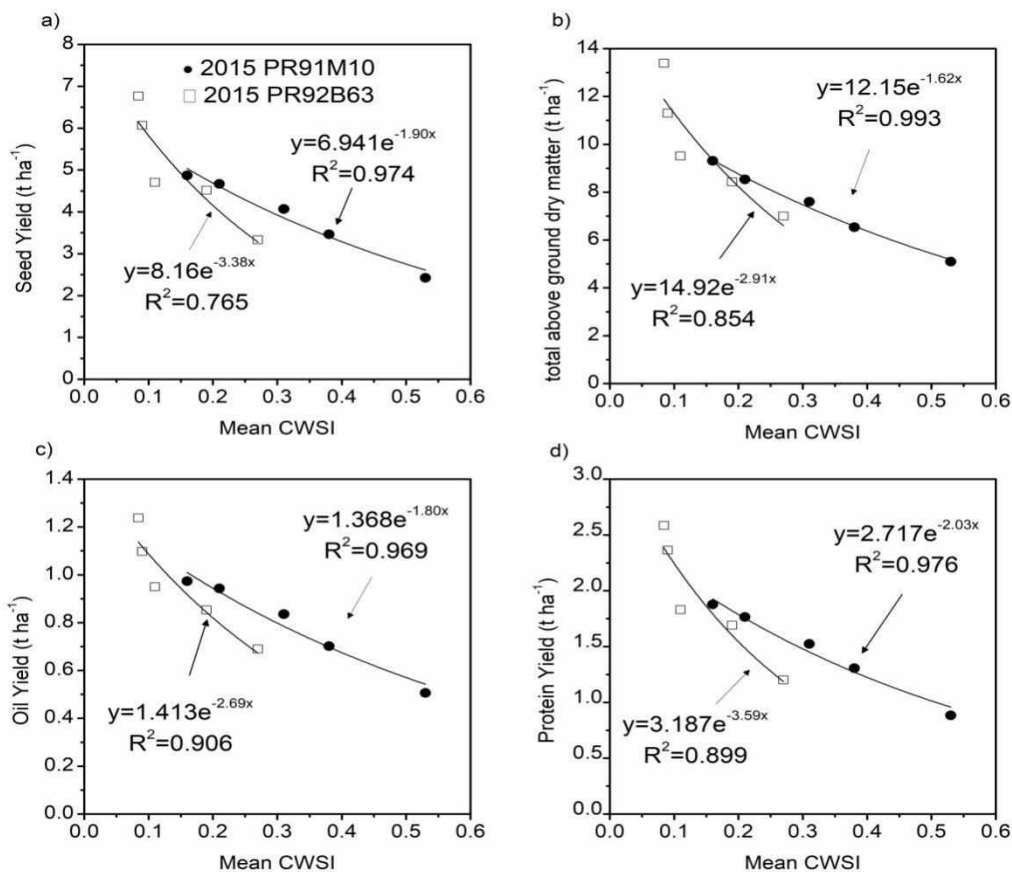
Οι μέσες τιμές του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI (mean CWSI) και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015) για την ποικιλία PR92B63 ήταν 0.04, 0.06, 0.11, 0.20 και 0.25 για τις μεταχειρίσεις 100%, 75%, 50%, 25% και 0% αντίστοιχα. Επίσης οι ίδιες μέσες τιμές του δείκτη υδατικής καταπόνησης για την ποικιλία PR91M10 ήταν 0.12, 0.18, 0.27, 0.34 και 0.43 αντίστοιχα για τις μεταχειρίσεις

100%, 75%, 50%, 25% και 0%. Από την σύγκριση των δύο ομάδων μέσω τιμών είναι εμφανές πως η ποικιλία PR91M10 έδειξε μεγαλύτερες μέσες τιμές του δείκτη υδατικής καταπόνησης από αυτές της PR92B63.

Σύμφωνα με τα σχήματα 5.3.3.1 και 5.3.3.2 διακρίνεται ότι, όσο η υδατική καταπόνηση αυξάνεται τόσο μεγαλώνει και ο CWSI και τόσο η απόδοση σε σπόρο, η επιφανειακή ξηρή βιομάζα, η παραγωγή πρωτεϊνών και η παραγωγή σε λάδι μειώνεται. Όλες οι συναρτήσεις παραγωγής που περιγράφουν αυτήν τη σχέση του CWSI με τα στοιχεία παραγωγής ήταν εκθετικές της μορφής $y = a \cdot \exp(-b \cdot x)$ με υψηλούς συντελεστές προσαρμογής που έλαβαν τιμές από 0.836 έως 0.993. Συγκρίνοντας όλες τις σχέσεις παραγωγής και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους και για τις δύο ποικιλίες παρατηρούμε ότι οι τιμές της παραμέτρου b των εκθετικών συναρτήσεων που αφορούν στην κλίση της καμπύλης είναι μεγαλύτερες για την ποικιλία PR92B63 από αυτές για την ποικιλία PR91M10 γεγονός που δείχνει ότι μπορεί η ποικιλία PR92B63 να δίνει μεγαλύτερες παραγωγές από αυτές της PR91M10 αλλά έχει μικρότερη προσαρμοστικότητα σε συνθήκες έλλειψης νερού από την ποικιλία PR91M10.



Σχήμα 5.3.3.1 Απεικόνιση συναρτήσεων παραγωγής των μέσων τιμών του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI (mean CWSI) με την απόδοση σε σπόρο (seed yield, a), την επιφανειακή ξηρή βιομάζα (above ground dry biomass, b), την παραγωγή σε πρωτεΐνες (protein yield, c) και την παραγωγή σε λάδι (oil yield, d) για την καλλιεργητική περίοδο 2014.



Σχήμα 5.3.3.2 Απεικόνιση συναρτήσεων παραγωγής των μέσων τιμών του δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI (meanCWSI) με την απόδοση σε σπόρο (seed yield, a), την επιφανειακή ξηρή βιομάζα (above ground dry biomass, b), την παραγωγή σε πρωτεΐνες (protein yield, c) και την παραγωγή σε λάδι (oil yield, d) για την καλλιεργητική περίοδο 2015.

Παρόμοιες σχέσεις έχουν αναφερθεί για τις αποδόσεις σπόρων και πρωτεϊνών από τους Candogan et al. (2013). Σε αντίθεση με αυτή την έρευνα, οι Kirnak et al. (2010) δημιούργησαν μια γραμμική συνάρτηση μεταξύ της ποσότητας νερού που χρησιμοποιήθηκε και της απόδοσης σε σπόρο. Επιπλέον οι Kresović et al. (2017) βρήκαν πολυωνυμικές σχέσεις μεταξύ των χρησιμοποιούμενων ποσοτήτων νερού άρδευσης της συγκέντρωσης του σπόρου σε πρωτεΐνη και της παραγόμενης ποσότητας λαδιού, ενώ τέλος οι O'Shaughnessy et al. (2011) ανέφεραν μια σημαντική αντίστροφη συνάρτηση μεταξύ των εμπειρικών τιμών CWSI και της παραγωγής της σόγιας.

5.4 Υπολογισμός της μέσης αεροδυναμικής αντίστασης r_{ap} και της μέσης αντίστασης της καλλιέργειας r_{cp} για μη υδατικώς καταπονούμενα φυτά σόγιας στην κεντρική Ελλάδα.

Οι Ο' Toole και Real (1986) χρησιμοποιώντας παραλλαγή του ενεργειακού ισοζυγίου σε μία επιφάνεια και με παραμέτρους του πειραματικού δείκτη υδατικής καταπόνησης CWSI κατέληξαν σε μια μεθοδολογία υπολογισμού της μέσης αεροδυναμικής αντίστασης $\overline{r_{ap}}$ και της μέσης αντίστασης της καλλιέργειας $\overline{r_{cp}}$ για μη υδατικώς καταπονούμενα φυτά (κεφάλαιο 2.5).

Στην εργασία υπολογίστηκαν οι τιμές των μέσων αντιστάσεων $\overline{r_{ap}}$ εξίσωση (3.7.1.5) και $\overline{r_{cp}}$ εξίσωση (2.5.8) για μη υδατικώς καταπονούμενη καλλιέργεια σόγιας (100%, μεταχείριση) και για δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014, 2015) οι οποίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 5.4 Παρουσίαση των τιμών της μέσης αεροδυναμικής αντίστασης $\overline{r_{ap}}$ και της μέσης αντίστασης της καλλιέργειας $\overline{r_{cp}}$ ανά καλλιεργητική περίοδο (2014-2015).

Καλλιεργητική περίοδος	$\overline{r_{ap}}$ (sec /m)	$\overline{r_{cp}}$ (sec /m)
2014	14.9	66.5
2015	9	22.9

Στο παρελθόν εργασίες για την αεροδυναμική αντίσταση έχουν γίνει από τους Pereira et al. (1999), Dercas και Liakatas (1999). Επίσης με την ίδια μεθοδολογία όπως περιγράφεται παραπάνω έχει εξεταστεί η φασολιά (*Phaseolus vulgaris* L.) (Ο' Toole και Hatfield 1983), φυτό που ανήκει και αυτό στην οικογένεια των ψυχανθών.

Οι τιμές που βρήκαν οι Ο' Toole και Hatfield (1983) για την φασολιά ήταν $\overline{r_{ap}} = 16.4$ sec/m και $\overline{r_{cp}} = 43.4$ sec/m οι οποίες πλησιάζουν αυτές του πίνακα 5.4 κυρίως για την καλλιεργητική περίοδο 2014 για το φυτό σόγια.

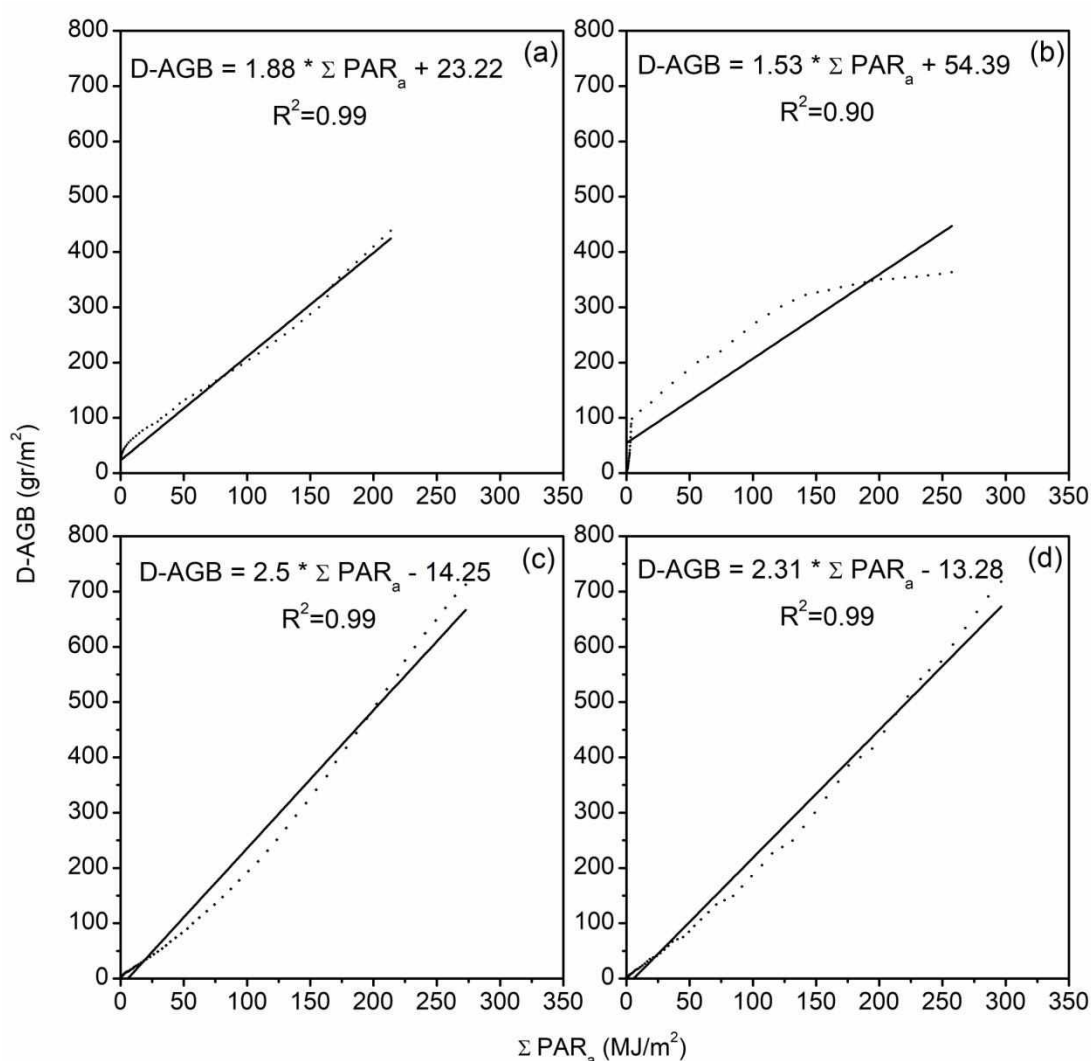
5.4.1 Υπολογισμός των RUE-WUE

Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μη καταπονημένων φυτών ενώ ως μέγιστη πραγματική εξατμοδιαπνοή σε ημερήσιο βήμα, χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα του υπολογιστικού μοντέλου ISAREG. Αντίστοιχη εργασία για την καλλιέργεια γλυκού σόργου στην περιοχή της Ιταλίας έχει διεξαχθεί από τους Mastrorilli et al. (1995).

Το σχήμα 5.4.1.1 απεικονίζει τις σχέσεις της επιφανειακής ξηρής βιομάζας με το αθροιστικό κομμάτι της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας που απορρο-

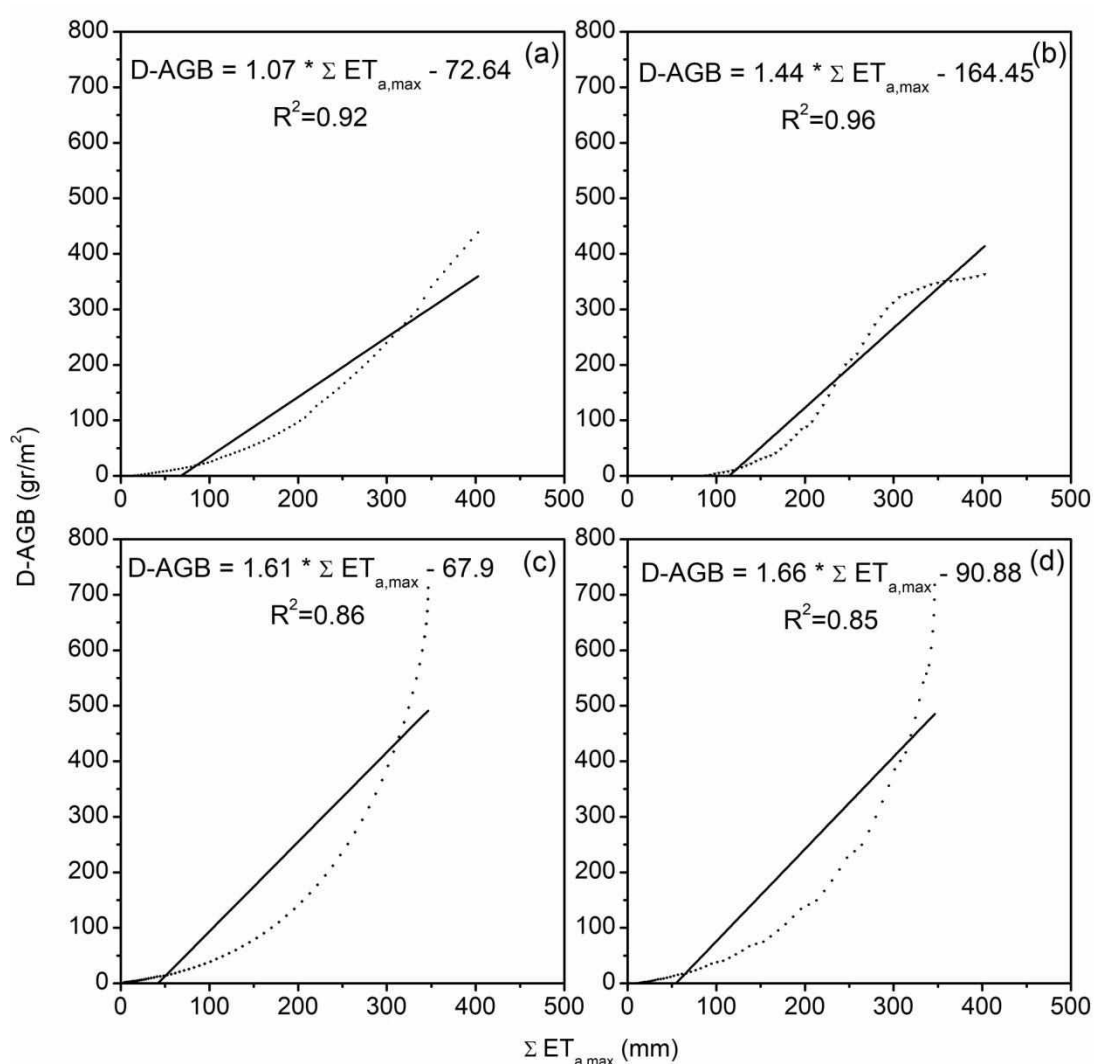
φάει η φυτοκόμη. Επίσης απεικονίζονται οι κλίσεις των ευθειών, που είναι ο συντελεστής αξιοποίησης της ακτινοβολίας RUE. Οι κλίσεις των ευθειών είναι μεγαλύτερες για το έτος 2015 από το 2014 που σημαίνει ότι και οι δύο ποικιλίες είχαν καλύτερη απορρόφηση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας για το 2015 από το 2014. Επίσης και οι τιμές για την ποικιλία PR91M10 είναι μεγαλύτερες από αυτές της PR92B63, πράγμα που δείχνει την προωμότητα της PR91M10 σε σχέση με την PR92B63.

Όλες οι τιμές της RUE (1.88 gr/MJ για την PR91M10-2014, 1.53 gr/MJ για την PR92B63-2014, 2.5 gr/MJ για την PR91M10-2015, 2.31 gr/MJ για την PR92B63-2015) είναι μεταξύ των τιμών 1.32-2.52 gr/MJ, όπως αναφέρθηκε για την καλλιέργεια της σόγιας από τους Sinclair και Muchow (1999).



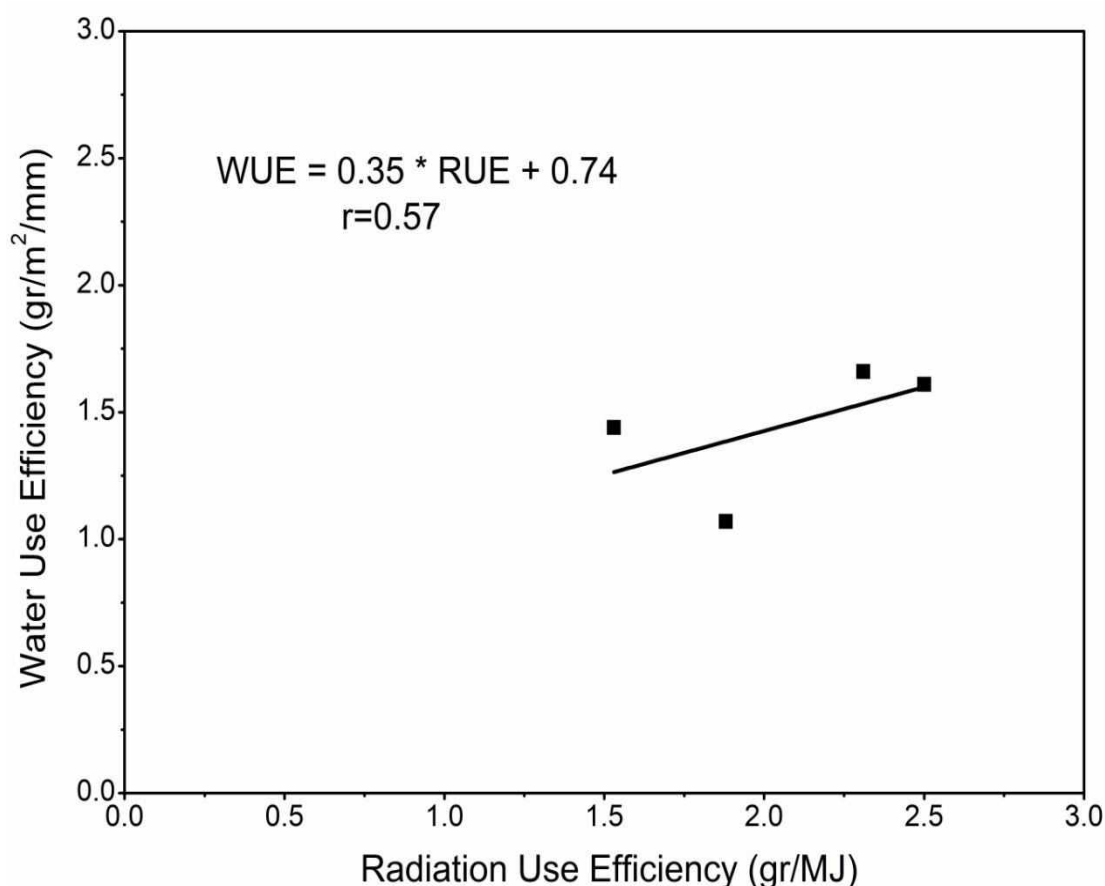
Σχήμα 5.4.1.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων επιφανειακής ξηρής βιομάζας συναρτήσει της αθροιστικής αφομοιωμένης φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας από την φυτοκόμη. Το a) απεικονίζει τα αποτελέσματα για την ποικιλία PR91M10 και για το έτος 2014, το b) για την ποικιλία PR92B63 για το έτος 2014, το c) για την ποικιλία PR91M10 και το έτος 2015 και τέλος το d) για την ποικιλία PR92B63 και το έτος 2015.

Στο σχήμα 5.4.1.2 παρουσιάζεται η σχέση της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB) με την αθροιστική μέγιστη πραγματική εξατμοδιαπνοή. Να σημειώσουμε ότι η αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού (WUE) δείχνει παρόμοια συμπεριφορά με τον συντελεστή αξιοποίησης της ακτινοβολίας στην διακύμανση των ετών. Δηλαδή για την καλλιεργητική περίοδο του 2015 έδειξε μεγαλύτερες τιμές από αυτήν του 2014. Μεταξύ των ποικιλιών παρατηρήθηκε αντίστροφη στις τιμές σε σχέση με αυτές του RUE. Η ποικιλία PR92B63 και για τα δύο έτη έλαβε τιμές μεγαλύτερες από την ποικιλία PR91M10. Οι τιμές που έλαβε η αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού ήταν από 1.07 - 1.66 (gr/m²/mm). Παρόμοιες τιμές έχουν αναφερθεί και σε άλλες εργασίες για το φυτό σόγια Cooper et al. (1987), Caviglia et al. (2004).



Σχήμα 5.4.1.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων επιφανειακής ξηρής βιομάζας συναρτήσει της αθροιστικής μέγιστης πραγματικής εξατμοδιαπνοής. Το a) απεικονίζει τα αποτελέσματα για την ποικιλία PR91M10 και για το έτος 2014, το b) για την ποικιλία PR92B63 για το έτος 2014, το c) για την ποικιλία PR91M10 και το έτος 2015 και τέλος το d) για την ποικιλία PR92B63 και το έτος 2015.

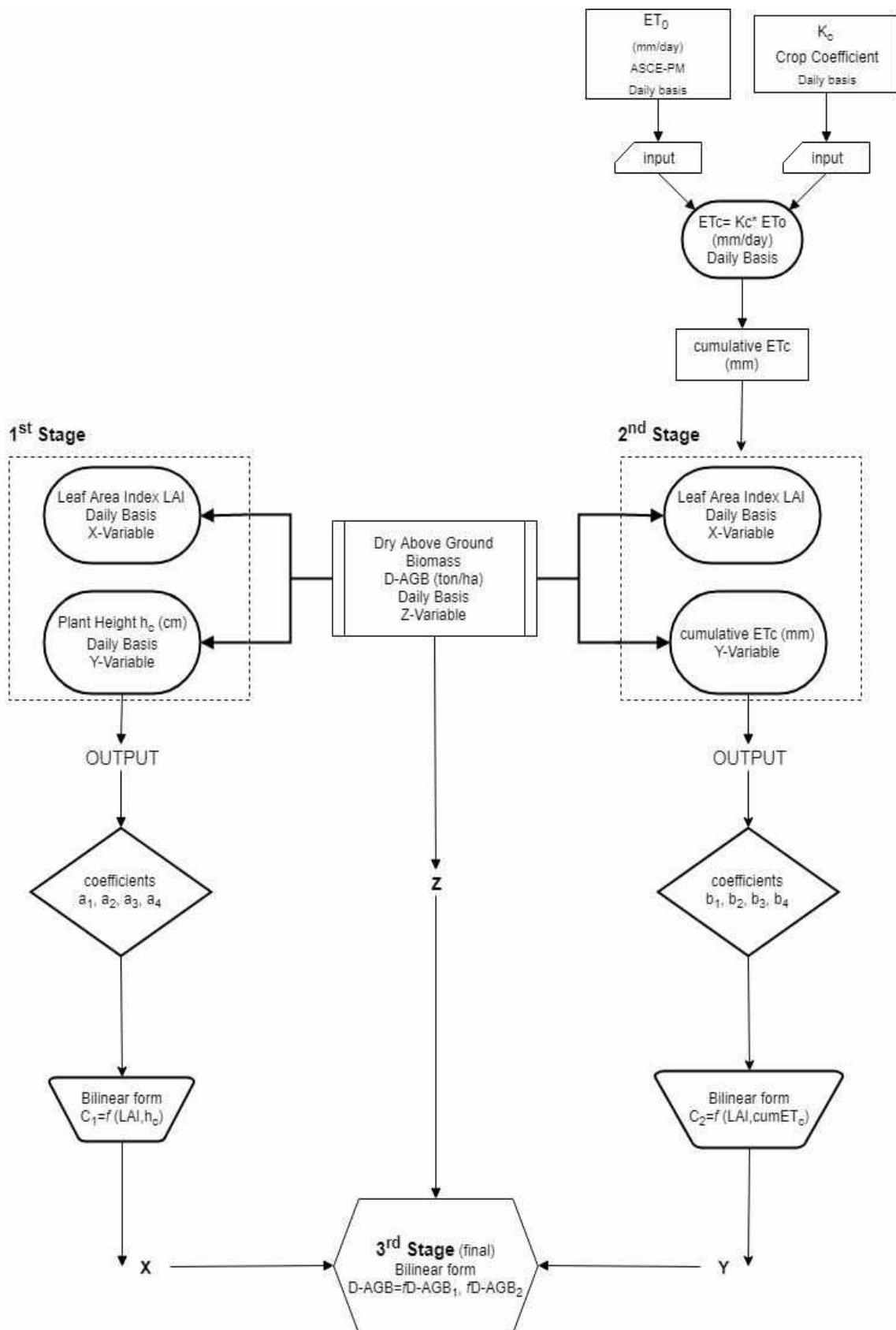
Τέλος στο σχήμα 5.4.1.3 απεικονίζεται η σχέση της αποτελεσματικότητας χρήσης του νερού με τον συντελεστή αξιοποίησης της ακτινοβολίας όπως προκύπτει και για τις δύο ποικιλίες PR91M10, PR92B63 και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους 2014,2015. Μεγαλώνοντας η αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού αυξάνονται οι ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης της φυτοκόμης άρα αυξάνεται ο συντελεστής αξιοποίησης της ακτινοβολίας Dercas και Liakatas (2007).



Σχήμα 5.4.1.3 Παρουσίαση της αποτελεσματικότητας χρήσης του νερού WUE (gr/m²/mm) με τον συντελεστή αξιοποίησης της ακτινοβολίας RUE (gr/MJ).

5.5 Προσέγγιση ενός νέου εμπειρικού μοντέλου εκτίμησης της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB) σε ημερήσια βάση.

Η διαδικασία υπολογισμού της νέας εμπειρικής σχέσης (Alexandris και Kerkides 2003; Alexandris et al. 2006; Vamvakoulas et al. 2020), περιλαμβάνει τρία στάδια από τα οποία καθορίζονται οι συντελεστές των πολυωνύμων και παρουσιάζεται συνοπτικά στο διάγραμμα ροής του σχήματος 5.5.1.



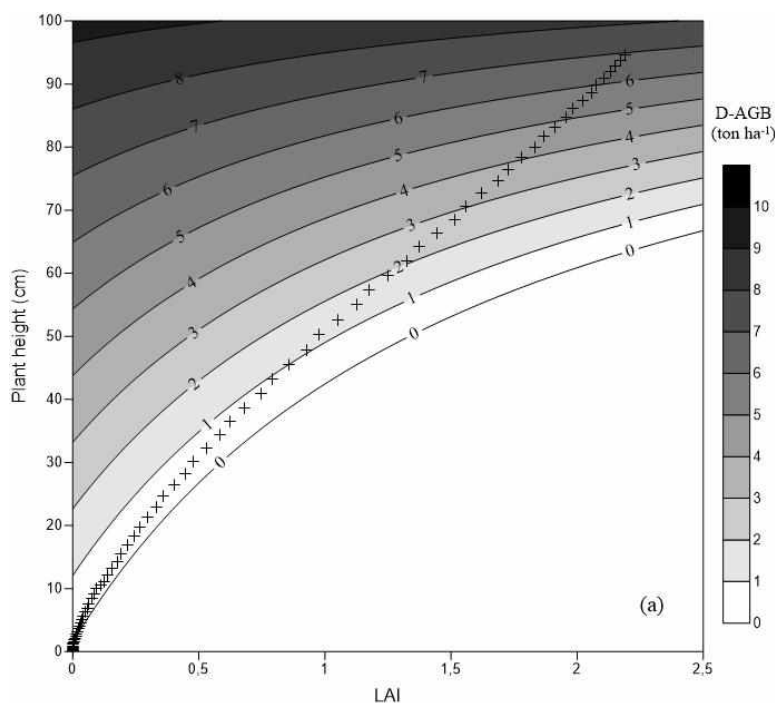
Σχήμα 5.5.1. Διάγραμμα ροής της διαδικασίας προσδιορισμού της νέας εμπειρικής σχέσης.

Κατά το πρώτο στάδιο η πολυωνυμική σχέση έδωσε την επιφανειακή ξηρή βιομάζα (D-AGB) σαν συνάρτηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) και του ύψους φυτοκόμης (h_c) με την μορφή της εξίσωσης (5.5.1), εκτιμώντας τους τέσσερις άγνωστους συντελεστές a_i , $i=1,2,3,4$.

$$C_1 = a_1 + a_2 \cdot h_c + a_3 \cdot LAI + a_4 \cdot LAI \cdot h_c \quad (5.5.1)$$

Όπου $a_1 = -0.143$, $a_2 = 0.095$, $a_3 = -6.33$, $a_4 = 0.058$ και C_1 η επιφανειακή ξηρή βιομάζα (ton/ha).

Οι γραμμές ίσης D-AGB όπως προκύπτουν από την εξίσωση (5.5.1) του σταδίου 1 εμφανίζονται στο σχήμα 5.5.2a, συμπεριλαμβανομένων και των σημείων κατανομής της πειραματικής καμπύλης της D-AGB.

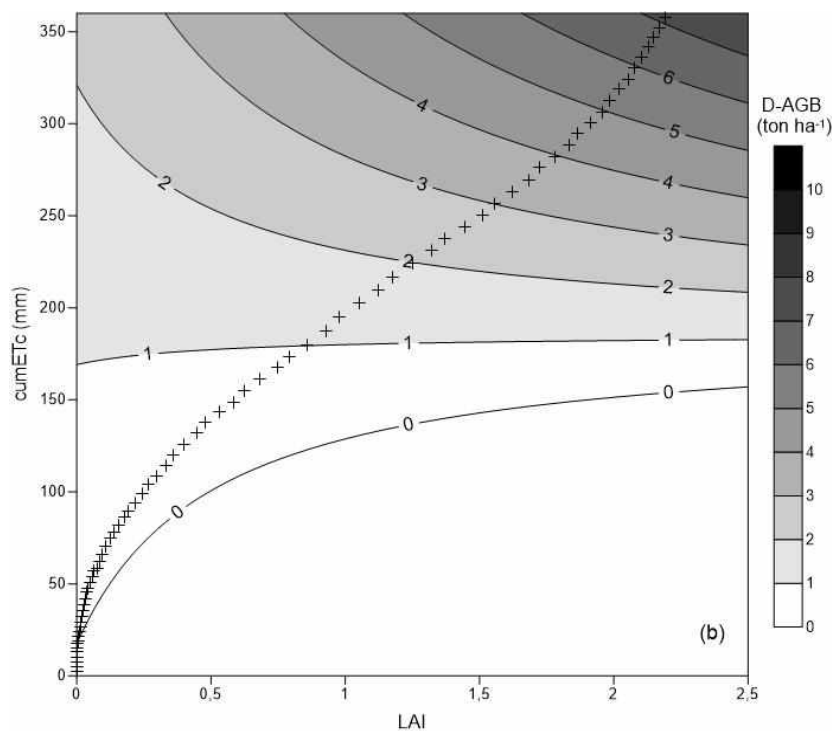


Σχήμα 5.5.2a Γραμμές ίσης D-AGB, εξίσωση (5.5.1), $D-AGB=f(LAI, h_c)$.

Το δεύτερο στάδιο ακολουθεί ακριβώς την ίδια διαδικασία με το πρώτο εισάγοντας την αθροιστική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας ($cumET_c$) στην θέση του ύψους φυτοκόμης (h_c) και περιγράφεται από την εξίσωση 5.5.2 αντίστοιχα

$$C_2 = b_1 + b_2 \cdot cumET_c + b_3 \cdot LAI + b_4 \cdot LAI \cdot cumET_c \quad (5.5.2)$$

Όπου $b_1 = -0.115$, $b_2 = 0.0066$, $b_3 = -2.4$, $b_4 = 0.0129$ και C_2 η επιφανειακή ξηρή βιομάζα (ton/ha) και η αντίστοιχη γραφική απεικόνιση της 5.5.2 είναι αυτή του σχήματος (5.5.2b).

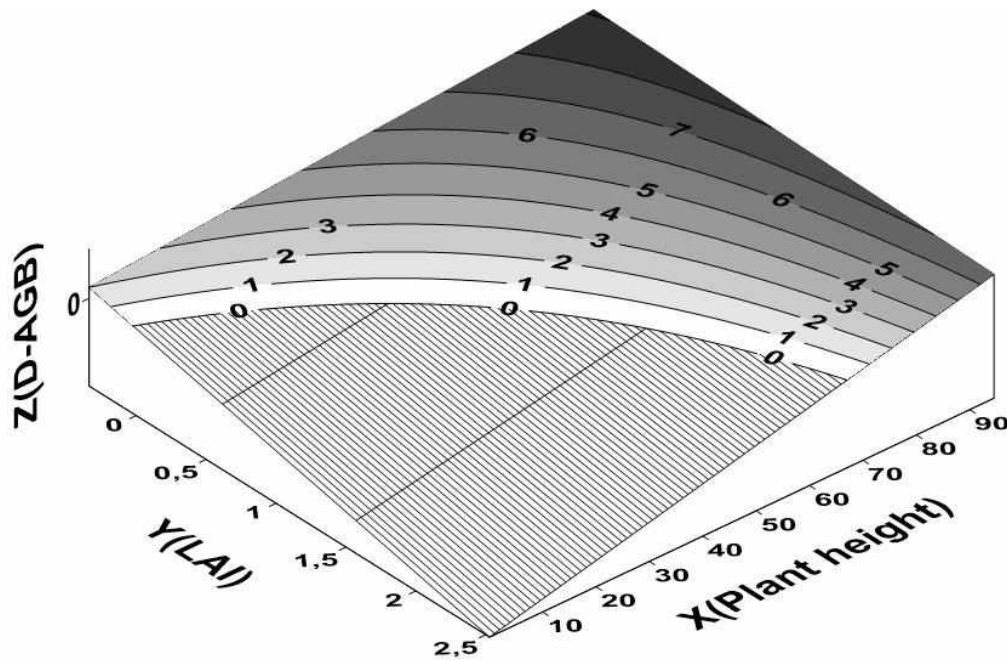


Σχήμα 5.5.2b. Γραμμές ίσης D-AGB, εξίσωση (5.5.2), $D-AGB=f(LAI, cumET_c)$.

Κατά το τελευταίο στάδιο επαναλαμβάνεται εκ νέου ανάλυση (Bilinear form) με μεταβλητές τα C_1 και C_2 των δύο σχέσεων (5.5.1) και (5.5.2) αντίστοιχα δίνοντας μια νέα σχέση (5.5.3) που είναι συνάρτηση και των τριών παραμέτρων (LAI, h_c , cumET_c). Η προκύπτουσα εξίσωση (5.5.3) αποτελεί τελικά μια νέα εμπειρική προσέγγιση εκτίμησης της επιφανειακής ξηρής βιομάζας για το φυτό σόγια.

$$D-AGB(\text{ton/ha}) = m_1 + m_2 \cdot C_2 + m_3 \cdot C_1 + m_4 \cdot C_1 \cdot C_2 \quad (5.5.3)$$

Όπου $m_1=0.0082$, $m_2=1.11$, $m_3=-0.12$, $m_4=0.0032$.



Σχήμα 5.5.3 Χωρική γραφική απεικόνιση (3D) της γενικής σχέσης (2.1.1) (bilinear surface regression) όπως προσαρμόστηκε για τις φυτικές παραμέτρους του πειράματος. Το ύψος φυτού υπολογίζεται σε εκατοστά cm και η επιφανειακή ξηρή βιομάζα σε τόνους ανά εκτάριο ton/ha.

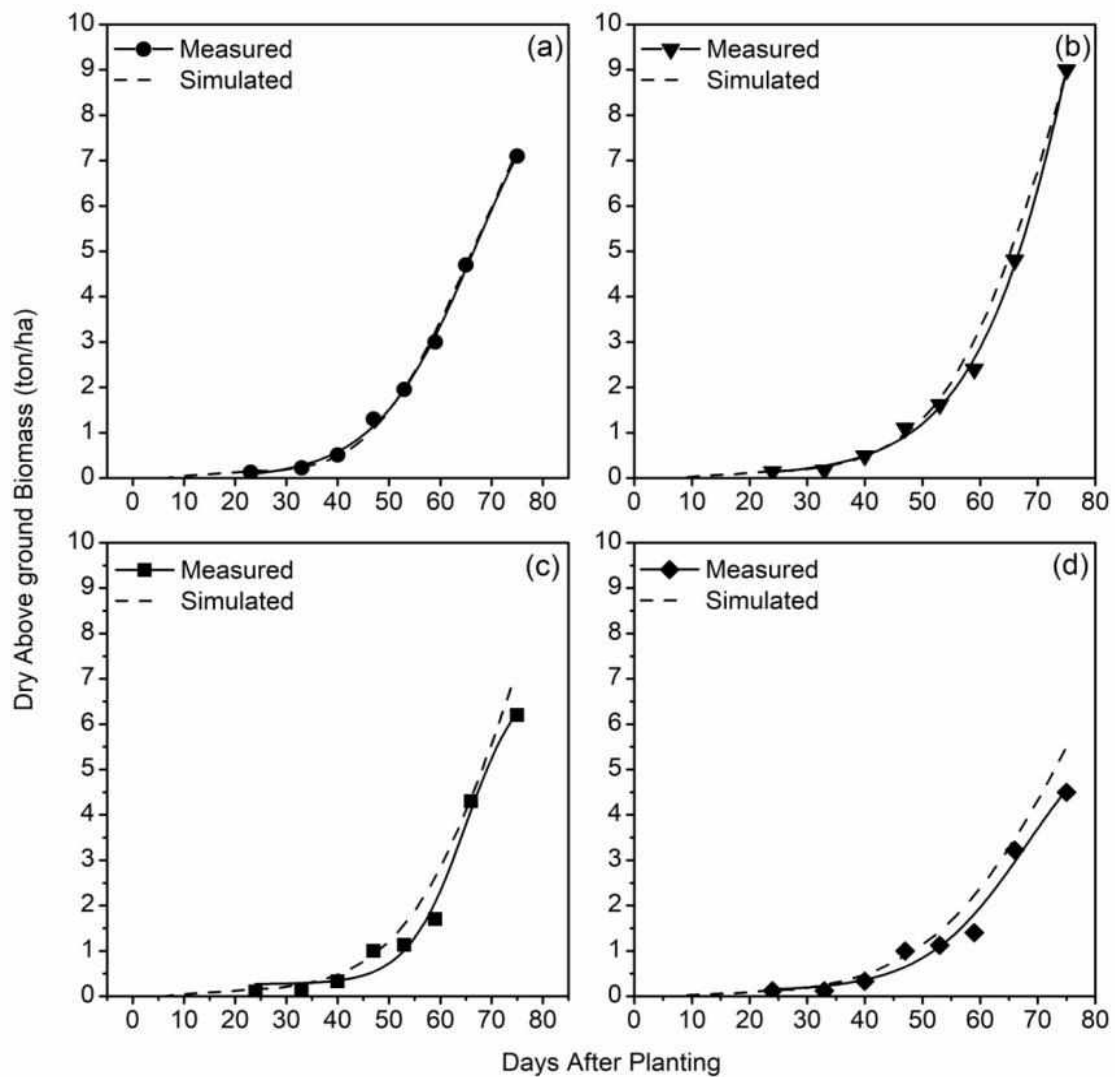
5.5.1 Προσαρμογή και επαλήθευση του νέου εμπειρικού μοντέλου εκτίμησης της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB) για την καλλιέργεια σόγιας στην κεντρική Ελλάδα.

Σύμφωνα με το υποκεφάλαιο 5.5 στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσαρμογής και επαλήθευσης της νέας εμπειρικής σχέσης για τον ημερήσιο υπολογισμό της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB) για το φυτό σόγια.

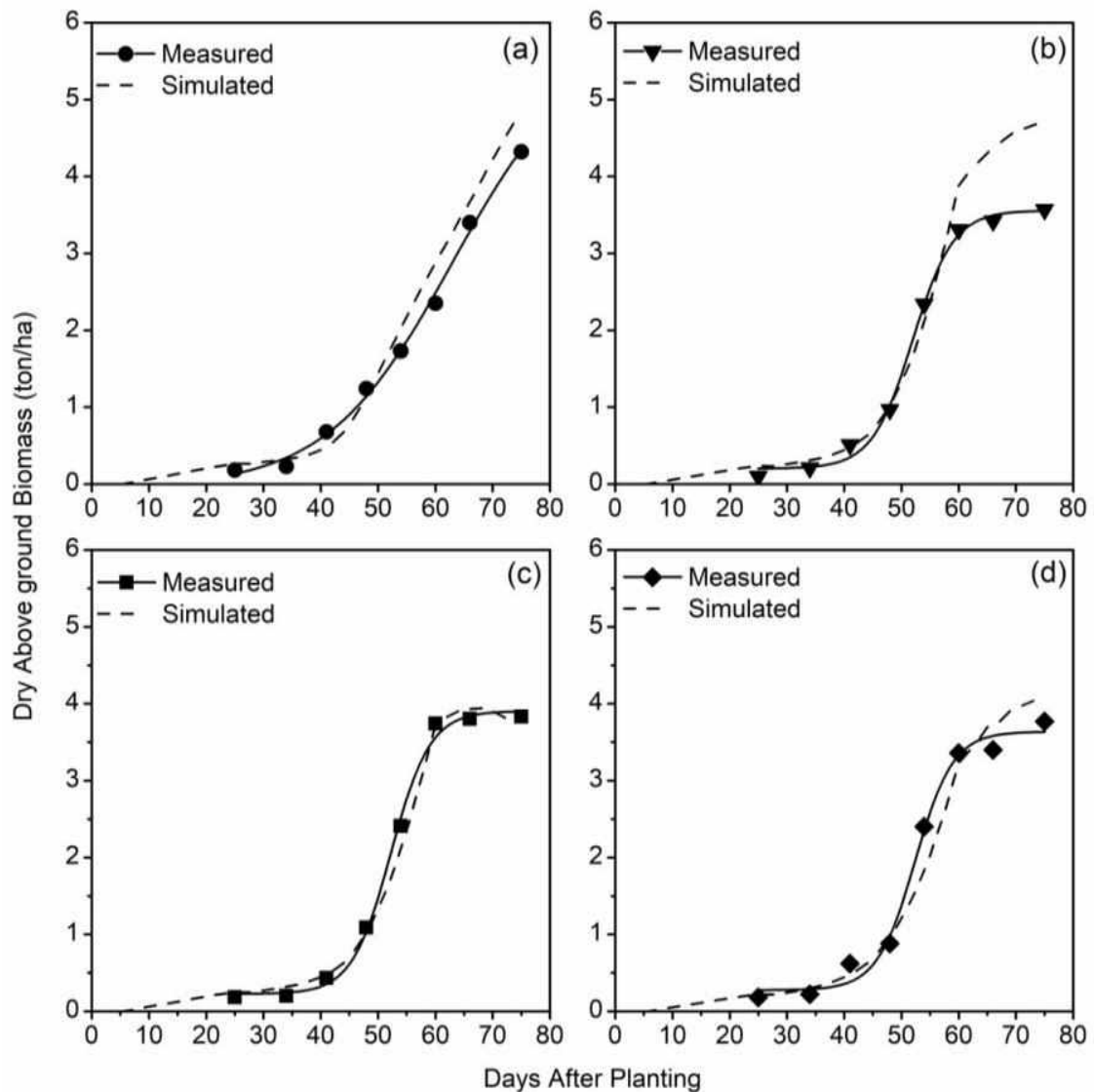
Για την δημιουργία αυτής της νέας εμπειρικής σχέσης χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Surfer 11 και Origin Pro 8.5 και μελετήθηκε η πιο πρόωμη από τις δύο ποικιλίες η PR91M10, για μη καταπονημένης υδατικά φυτά (μεταχείριση 100%) και για την καλλιεργητική περίοδο 2015, έτσι ώστε να εξαχθούν αντιπροσωπευτικότερα αποτελέσματα για τις τιμές των παραμέτρων των τριών σταδίων.

Αφού προσδιορίστηκαν οι συντελεστές για την νέα εξίσωση, έπειτα επαληθεύτηκε η ισχύς της για τις 75%, 50% και 25% υδατικές μεταχειρίσεις της καλλιεργη-

τικής περιόδου 2015 (σχήμα 5.5.1.1) και για τις μεταχειρίσεις 100%, 75%, 50% και 25% της ίδιας ποικιλίας (PR91M10) της καλλιεργητικής περιόδου 2014 (σχήμα 5.5.1.2). Λόγω οικονομίας έκτασης της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων δεν αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης, όσον αφορά στην παρούσα μελέτη, η 0% μεταχείριση όπως επίσης και η μελέτη της πιο όψιμης ποικιλίας PR92B63.



Σχήμα 5.5.1.1 Απεικόνιση της σχέσης ανάμεσα στην επιφανειακή ξηρή βιομάζα (D-AGB),(ton/ha) και των ημερών μετά την σπορά (DAP) για την καλλιεργητική περίοδο 2015 και την ποικιλία PR91M10. Τα υπο-σχήματα (a),(b),(c) και (d) απεικονίζουν αντίστοιχα τις μεταχειρίσεις 100%, 75%, 50%, 25%.



Σχήμα 5.5.1.2 Απεικόνιση της σχέσης ανάμεσα στην επιφανειακή ξηρή βιομάζα (D-AGB),(ton/ha) και των ημερών μετά την σπορά (DAP) για την καλλιεργητική περίοδο 2014 και την ποικιλία PR91M10. Τα υπο-σχήματα (a),(b),(c) και (d) απεικονίζουν αντίστοιχα τις μεταχειρίσεις 100%, 75%, 50%, 25%.

Στο σχήμα 5.5.1.1.a παρατηρούμε ότι η καμπύλη της πρόβλεψης του μοντέλου και η πειραματικά καθορισμένη καμπύλη συμπίπτουν για την υδατική μεταχείριση 100% και την καλλιεργητική περίοδο 2015. Αυτό συμβαίνει γιατί για αυτά τα πειραματικά δεδομένα προσαρμόστηκε το μοντέλο. Όσον αφορά στα υπόλοιπα σχήματα της καλλιεργητικής περιόδου 2015 δηλαδή τα 5.5.1.1.b, c και d απεικονίζουν τις υπόλοιπες υδατικές μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την επαλήθευση του μοντέλου και παρατηρούμε ότι οι προβλέψεις του μοντέλου ήταν εξαιρετικές και για τις τρεις υπόλοιπες μεταχειρίσεις 75%, 50% και 25%.

Για την καλλιεργητική περίοδο 2014 (σχήμα 5.5.1.2) όπου όλες οι μεταχειρίσεις (100%, 75%, 50%, 25%) χρησιμοποιήθηκαν για την επαλήθευση του μοντέλου έδειξαν εξαιρετική προσαρμογή. Συγκεκριμένα από το σχήμα 5.5.1.2.a στην 100% μεταχείριση και για την 75 μέρα μετά την σπορά (DAP) το μοντέλο προέβλεψε 4.951 ton/ha D-AGB ενώ από την πειραματική καμπύλη μετρήθηκε 4.385 ton/ha. Μία μικρή απόκλιση ανάμεσα στην πρόβλεψη του μοντέλου και στην πειραματικά μετρούμενη καμπύλη ήταν μετά την 58η ημέρα μετά την σπορά (DAP) για την 75% και την 25% μεταχείριση.

5.5.2 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση έδειξε πολύ καλή σχέση τόσο, στην αλληλοσυσχέτιση - συνδιακύμανση κατά τα δύο πρώτα στάδια παλινδρόμησης στην εξαγωγή του μοντέλου, όσο και στη σχέση των καμπυλών προσομοίωσης με την πειραματική καμπύλη.

Ειδικότερα οι Πίνακες 5.5.2.1 και 5.5.2.2 δείχνουν την συσχέτιση - συνδιακύμανση των παραγόντων που εισέρχονται στο πρώτο και το δεύτερο στάδιο εξαγωγής του μοντέλου αντίστοιχα.

Πίνακας 5.5.2.1 Συσχέτιση - συνδιακύμανση των παραγόντων (LAI, h_c , D-AGB) του πρώτου σταδίου.

	LAI	h_c	D-AGB
Συσχέτιση παραγόντων			
LAI	1.000	0.996	0.957
h_c	0.996	1.000	0.935
D-AGB	0.957	0.935	1.000
Συνδιακύμανση παραγόντων			
LAI	0.614	25.637	1.613
h_c	25.637	1080.251	66.108
D-AGB	1.613	66.108	4.626

Πίνακας 5.5.2.2 Συσχέτιση - συνδιακύμανση των παραγόντων (LAI, cumET_c, D-AGB) του δεύτερου σταδίου.

	LAI	cumET _c	D-AGB
Συσχέτιση παραγόντων			
LAI	1.000	0.987	0.957
cumET _c	0.987	1.000	0.929
D-AGB	0.957	0.929	1.000
Συνδιακύμανση παραγόντων			
LAI	0.614	86.497	1.613
cumET _c	86.497	12505.448	223.44
D-AGB	1.613	223.44	4.626

Ισχυρή συσχέτιση έδειξαν και οι τρεις παράγοντες (LAI, h_c και cumET_c) με την ξηρή επιφανειακή βιομάζα (D-AGB), (όλες οι τιμές του δείκτη συσχέτισης είναι πάνω από 0.92, πίνακες 5.5.2.1 και 5.5.2.2). Να επισημανθεί ότι την ισχυρότερη συσχέτιση, με το δείκτη συσχέτισης να φτάνει 0.996, την είχε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας LAI και το ύψος φυτού h_c .

Η σχέση των καμπύλων προσομοίωσης με την πειραματική καμπύλη και τα αποτελέσματα της 1:1 ανάλυσης καθώς και τα επιμέρους στοιχεία της ευθείας που περνάει από την αρχή των αξόνων (κλίση b , και το τετράγωνο του δείκτη συσχέτισης r^2) απεικονίζονται στον πίνακα 5.5.2.3. και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους 2014-2015.

Πίνακας 5.5.2.3 Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων συσχέτισης της ημερήσιας επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB), της προσομοιωμένης με την πειραματική καμπύλη μετρήσεων.

Μεταχειρίσεις	Κλίση b	MBE	RMSE	MAE	s_d^2	d	r^2
2015, (N=75)							
75%	1.113	0.239	0.450	0.262	0.640	0.998	0.986
50%	1.073	0.315	0.498	0.371	1.010	0.996	0.966
25%	1.347	0.446	0.678	0.490	1.990	0.988	0.978
2014, (N=75)							
100%	1.213	0.226	0.380	0.245	0.539	0.997	0.992
75%	1.211	0.393	0.579	0.414	1.522	0.994	0.974
50%	1.008	0.211	0.378	0.321	0.485	0.998	0.965
25%	1.092	0.323	0.585	0.449	1.143	0.994	0.920

MBE, Μέσο σφάλμα τάσης (Mean bias error); RMSE, Τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error); MAE, Μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error); s_d^2 Η μεταβολή της κατανομής των διαφορών; d , Δείκτης συμφωνίας Index of agreement; r^2 , Συντελεστής συσχέτισης (Pearson's correlation Coefficient).

5.6 Αποτελέσματα αξιολόγησης του μοντέλου AquaCrop από πειραματικά δεδομένα καλλιέργειας σόγιας στην κεντρική Ελλάδα.

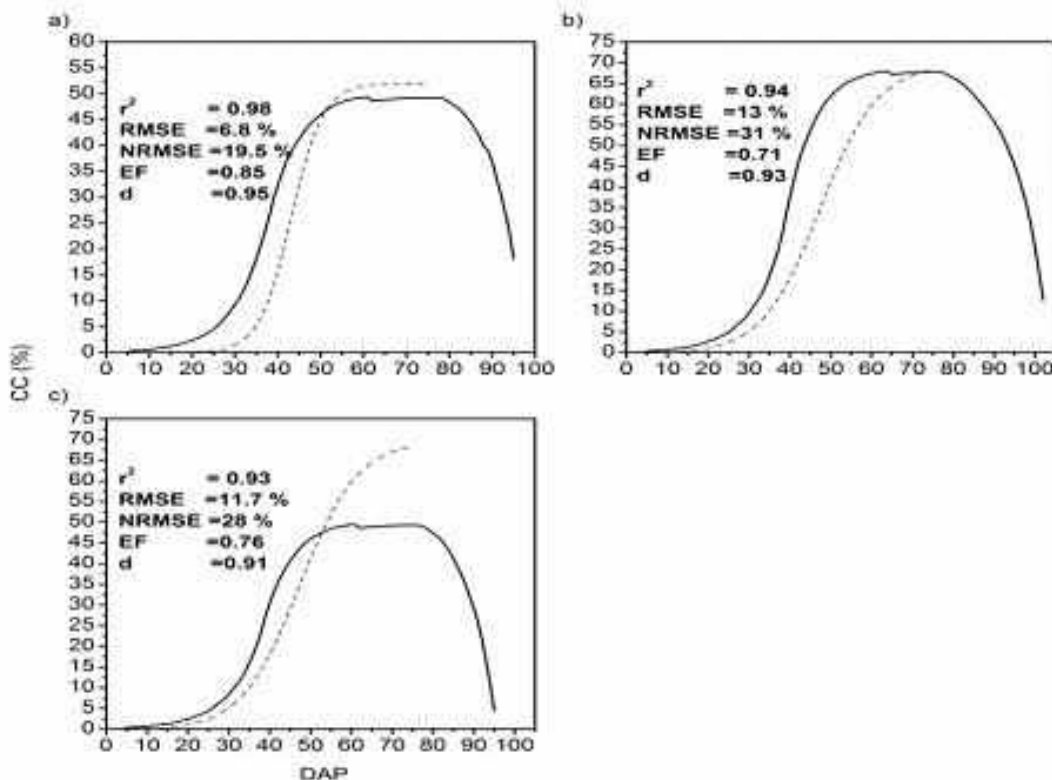
Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα αξιολόγησης του μοντέλου AquaCrop για ένα πρώιμο υβρίδιο σόγιας (PR91M10) για μη καταπονημένη υδατικά καλλιέργεια και δύο καλλιεργητικές χρονιές (2014,2015) στην κεντρική Ελλάδα, όπως παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 2.3.

Στον πίνακα 5.6.1 παρουσιάζονται οι φυτικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους αντίστοιχα (2014-2015). Στο σχήμα 5.6.1 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το μοντέλο AquaCrop τείνει να υπερεκτιμήσει μέχρι την 50 ημέρα μετά την φύτευση (DAP) και έπειτα να υποεκτιμήσει το ποσοστό φυτοκάλυψης και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους. Σε παρόμοια αποτελέσματα έχουν καταλήξει και οι (Adeboye et al., 2017). Επίσης υπερεκτιμάει έως την 50 ημέρα μετά την σπορά (DAP) το ποσοστό φυτοκάλυψης (CC), όταν το μοντέλο έτρεξε για την καλλιεργητική περίοδο 2015 με φυτικές παραμέτρους της καλλιεργητικής περιόδου 2014 (Σχήμα 5.6.1,c). Από τους πέντε στατιστικούς συντελεστές οι (r^2 ,EF,d) δίνουν πολύ καλή συσχέτιση για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (2014-2015). Οι στατιστικοί δείκτες RMSE και NRMSE δεν δίνουν καλή συσχέτιση, αυτό οφείλεται στον σχετικά μικρό αριθμό των δειγματοληψιών.

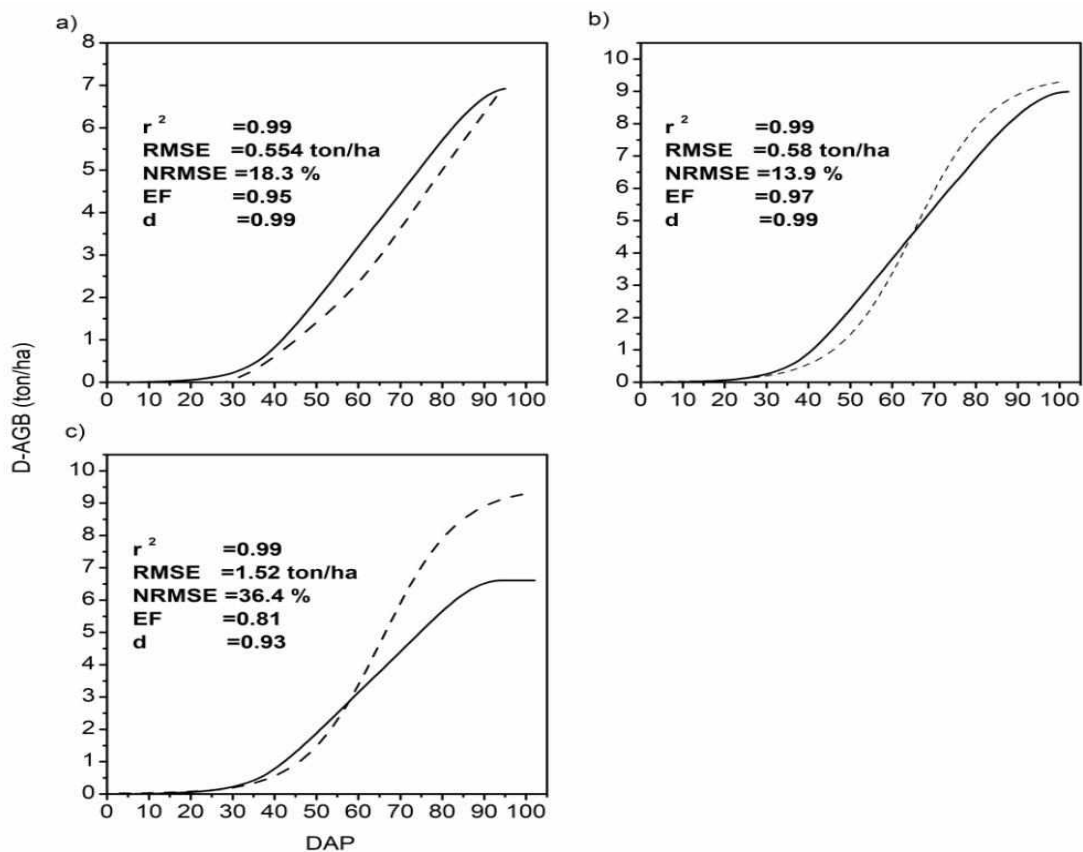
Πίνακας 5.6.1 Φυτικές παράμετροι του μοντέλου AquaCrop για την καλλιεργητική περίοδο 2014-2015.

PR91M10	2014	2015	Μονάδες
Χαμηλότερο όριο θερμοκρασίας ανάπτυξης της καλλιέργειας	10	10	(°C)
Υψηλότερο όριο θερμοκρασίας ανάπτυξης της καλλιέργειας	30	30	(°C)
Αρχικό στάδιο φυτοκάλυψης (CC ₀)	0.33	0.33	%
Συντελεστής ανάπτυξης της φυτοκόμης (CGC)	13.5	13.6	ημέρα ⁻¹
Συντελεστής μείωσης της ανάπτυξης της φυτοκόμης (CDC)	20	28	ημέρα ⁻¹
Συντελεστής μέγιστης διαπνοής της καλλιέργειας	1.1	1.1	
Μείωση του συντελεστή της καλλιέργειας αφού φτάσει στο CC _x (μέγιστη ανάπτυξη φυτοκόμης)	0.32	0.32	%
Συντελεστής παραγωγής ρυθμισμένος για το CO ₂ και το ET ₀	17	17	g m ⁻²
Ανώτερο όριο για την διακοπή της ανάπτυξης της φυτοκόμης	0.25	0.25	
Κατώτερο όριο για την διακοπή της ανάπτυξης της φυτοκόμης	0.55	0.55	
Αυξητικός συντελεστής καταπόνησης φυλλώματος	3	3	
Ανώτερο όριο για το κλείσιμο των στοματίων	0.5	0.5	
Ανώτατο όριο εξάντλησης του εδαφικού νερού στο στάδιο γήρανσης της φυτοκόμης	0.85	0.85	

Συντελεστής καμπύλης καταπόνησης των στοματίων	3	3	
Συντελεστής καμπύλης καταπόνησης της φυτοκόμης	3	3	
Συντελεστής που περιγράφει την θετική επίδραση στον HI στο στάδιο γεμίσματος των σπόρων	small	small	
Συντελεστής που περιγράφει την αρνητική επίδραση στον HI στο στάδιο γεμίσματος των σπόρων	small	small	
Μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση του δείκτη συγκομιδής (HI)	15	15	%
Μέγιστος συντελεστής της καλλιέργειας ρυθμισμένος στην αύξηση της φυτοκόμης (K_{cb})	1.15	1.15	
Διάρκεια από την σπορά μέχρι την βλάστηση του σπόρου	6	5	Ημέρες
Διάρκεια από την σπορά μέχρι την έναρξη της άνθισης	47	47	Ημέρες
Διάρκεια της άνθισης	29	35	Ημέρες
Χρόνος από την σπορά μέχρι την έναρξη της γήρανσης της καλλιέργειας	79	78	Ημέρες
Χρόνος από την σπορά μέχρι την ωρίμανση	95	100	Ημέρες
Διάρκεια συνεισφοράς στον δείκτη συγκομιδής (HI)	44	49	Ημέρες
Ελάχιστο βάθος ενεργού ριζοστρώματος	0.3	0.3	m
Μέγιστο βάθος ενεργού ριζοστρώματος	0.7	0.7	m



Σχήμα 5.6.1. Απεικόνιση της συσχέτισης της φυτοκάλυψης (CC,%) σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (DAP) για τις καλλιεργητικές περιόδους 2014 (a), 2015(b)και για αποτελέσματα του μοντέλου όπως έτρεξε για την καλλιεργητική περίοδο 2015 με φυτικές παραμέτρους της καλλιεργητικής περιόδου 2014 (c). Όπου (--) η πειραματική καμπύλη και (—) τα αποτελέσματα του μοντέλου.



Σχήμα 5.6.2. Απεικόνιση της συσχέτισης της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB, ton/ha) σε σχέση με τις ημέρες μετά τη σπορά (DAP) για τις καλλιεργητικές περιόδους 2014 (a), 2015(b)και για αποτελέσματα του μοντέλου όπως έτρεξε για την καλλιεργητική περίοδο 2015 με φυτικές παραμέτρους της καλλιεργητικής περιόδου 2014 (c). Όπου (--) η πειραματική καμπύλη και (-) τα αποτελέσματα του μοντέλου.

Στο σχήμα 5.6.2 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το μοντέλο AquaCrop υπερεκτιμά την επιφανειακή ξηρή βιομάζα για την καλλιεργητική περίοδο 2014 (σχήμα 5.6.2α). Ενώ για την καλλιεργητική περίοδο 2015 (σχήμα 5.6.2(b)) και για αποτελέσματα του μοντέλου όπως έτρεξε για την καλλιεργητική περίοδο 2015 με φυτικές παραμέτρους της καλλιεργητικής περιόδου 2014 (σχήμα 5.6.2(c)), μέχρι την 60 DAP υπερεκτιμάει τα πειραματικά δεδομένα και μετά την 60 DAP τα πειραματικά δεδομένα υποτιμώνται .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα διατριβή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από ένα πετυχημένο διετές πείραμα (2014,2015) υπό συνθήκες αγρού στην περιοχή της Κωπαΐδας. Στην συγκεκριμένη περιοχή, εδώ και πολλές δεκαετίες η καλλιέργεια και πώληση των παραγόμενων προϊόντων αποτελεί κύρια πηγή εισοδήματος για τους κατοίκους της περιοχής. Το φυτικό υλικό υπό εξέταση ήταν δύο ποικιλίες η PR91M10 και PR92B63 του φυτού σόγιας *Glycinemax (L)*, που υποβλήθηκαν σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης τεσσάρων επιπέδων, συναρτήσεως του μάρτυρα που αρδεύτηκε με το 100% της εξατμοδιαπνοής καλλιέργειας. Όλες οι προσπαρτικές διαδικασίες έγιναν με την συνήθη τεχνική με γεωργικό ελκυστήρα, ενώ η σπορά τα ξεβοτανίσματα και όλες οι δειγματοληψίες όπως και η τελική συγκομιδή έγιναν με το χέρι και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους.

Στον πειραματικό αγρό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στην περιοχή της Κωπαΐδας και σε απόσταση 100 m από το πειραματικό τεμάχιο βρίσκεται αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος λειτουργεί σύμφωνα με το προτεινόμενο από τον FAO πρωτόκολλο και του οποίου οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Οι μετρήσεις που έγιναν στα φυτά της σόγιας ήταν απευθείας μετρήσεις όπως αριθμός φύλλων, ύψος φυτού, ξηρό βάρος στελεχών, ξηρό βάρος φύλλων, ολικό ξηρό βάρος φυτού, ξηρό βάρος και αριθμός λοβών, ξηρό βάρος σπόρων, θερμοκρασίες φυτοκόμης, αλλά και παράμετροι που προήλθαν από περαιτέρω επεξεργασία του σπόρου στο εργαστήριο όπως συγκέντρωση λαδιού του σπόρου, συγκέντρωση αζωτούχων πρωτεϊνών, παραγωγή αζωτούχων πρωτεϊνών, παραγωγή λαδιού η από υπολογισμό λαμβάνοντας υπόψη και τις αποστάσεις φύτευσης, όπως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας LAI.

Έγινε αποτύπωση των αποτελεσμάτων με σχήματα και πίνακες και η στατιστική τους επεξεργασία με την στατιστική ανάλυση της διακύμανσης ANOVA, όπου και έγινε η συσχέτιση των μέσων για την συνδυαστική αλληλεπίδραση ποικιλία x υδατική μεταχείριση.

Υπολογίστηκε ο δείκτης CWSI και απεικονίστηκε η ημερήσια μεταβολή του κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Επίσης προσδιορίστηκε η μορφή και απεικονίστηκαν οι συναρτήσεως παραγωγής του δείκτη με ποιοτικές και ποσοτικές παραμέτρους της παραγωγής για δύο ποικιλίες διαφορετικής ωρίμανσης του φυτού σόγιας.

Με την χρήση των πειραματικά προσδιορισμένων συντελεστών a και b και με την εφαρμογή μίας ήδη υπάρχουσας μεθοδολογίας (Monteith, 1973, O' Toole και Real, 1986), υπολογίστηκε η μέση αεροδυναμική αντίσταση $\overline{r_{ap}}$ και η μέση αντίσταση της καλλιέργειας $\overline{r_{cp}}$ για μη υδατικά καταπονούμενα φυτά σόγιας.

Ακόμη προσαρμόστηκε και αξιολογήθηκε ένα νέο εμπειρικό μοντέλο που είχε αναπτυχθεί για την πρόβλεψη της εξατμοδιαπνοής αναφοράς (ET_0) στο παρελθόν (Alexandris και Kerkides 2003) και χρησιμοποιεί γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας (LAI , h_c) και την αθροιστική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας ($cumET_c$), ως δεδομένα εισαγωγής για την πρόβλεψη της ημερήσιας διακύμανσης της επιφανειακής ξηρής βιομάζας μιας καλλιέργειας (D-AGB).

Επίσης έγινε παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσαρμογής, στατιστικής ανάλυσης και επαλήθευσης αυτής της νέας εμπειρικής σχέσης για τον ημερήσιο υπολογισμό της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB) για το φυτό σόγια.

Τέλος από τα υπάρχοντα πειραματικά στοιχεία βαθμονομήθηκε και αξιολογήθηκε το μοντέλο AquaCrop του διεθνούς οργανισμού γεωργίας και τροφίμων FAO σε τοπικές συνθήκες όπου και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα.

Η καινοτομία της παρούσας διατριβής έγκειται στο ότι: α) Η ποιότητα των παραμέτρων που μετρήθηκαν οδήγησαν σε υπολογισμό συναρτήσεων παραγωγής δύο ποικιλιών του φυτού σόγιας με πολύ καλή συσχέτιση. β) Για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης CWSI ως κριτήριο για την συσχέτιση δύο ποικιλιών σόγιας στην Ελλάδα και ειδικότερα στην περιοχή της Κωπαΐδας. Επίσης με αυτή την διαδικασία επετεύχθη να αποτυπωθεί ότι η πιο πρώιμη ποικιλία PR91M10 με χαμηλότερες παραγωγές από την πιο όψιμη PR92B63 δείχνει μικρότερη ευαισθησία σε διάφορα επίπεδα υδατικής καταπόνησης. γ) Με την χρήση των συντελεστών της κάτω οριογραμμής του CWSI για πρώτη φορά για το φυτό σόγια υπολογίστηκαν η μέση αεροδυναμική αντίσταση $\overline{r_{ap}}$ και η μέση αντίσταση της καλλιέργειας $\overline{r_{cp}}$ για μη υδατικά καταπονούμενα φυτά στην περιοχή. δ) Αναπτύχθηκε ένα καινούριο εμπειρικό μοντέλο το οποίο με δεδομένα τρεις παραμέτρους που μπορούν να μετρηθούν χωρίς καταστροφικές δειγματοληψίες υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια την ημερήσια διακύμανση της επιφανειακής ξηρής βιομάζας (D-AGB). ε) Τέλος, προσαρμόστηκε και αξιολογήθηκε ένα ελεύθερο λογισμικό από τον FAO με πολλές δυνατότητες για το φυτό σόγια στην κεντρική Ελλάδα.

Εν κατακλείδι κρίνοντας όλα τα προηγούμενα μπορούν να επισημανθούν οι παρακάτω προτάσεις:

- Δεδομένου ότι οι συναρτήσεις παραγωγής μεταξύ του CWSI και των στοιχείων παραγωγής έδειξαν υψηλό ποσοστό συσχέτισης αλλά ήταν και διαφορετικές ανάμεσα στην καλλιεργητική περίοδο 2014 και 2015, κρίνεται αναγκαίο περαιτέρω πειραματισμός ώστε ο δείκτης υδατικής καταπόνησης CWSI να αποτελέσει εργαλείο πρόβλεψης της τελικής ποσοτικής και ποιοτικής παραγωγής σε σπόρο και επιφανειακής ξηρής βιομάζας της καλλιέργειας σόγιας στην κεντρική Ελλάδα αλλά και εργαλείο για τον σχεδιασμό των αρδεύσεων.
- Αναφορικά με την ανάπτυξη του εμπειρικού μοντέλου πρόβλεψης της ημερήσιας μεταβολής της επιφανειακής ξηρής βιομάζας D-AGB προτείνεται πειραματισμός και σε άλλες περιοχές και για μεγαλύτερο εύρος πειραματικών τιμών του D-AGB ώστε να εξεταστούν οι παράμετροι του μοντέλου ως προς την καταλληλότητα τους. Επίσης κρίνεται σκόπιμο με την ίδια διαδικασία η δημιουργία πιο πολύπλοκων αλγορίθμων που να συμπεριλαμβάνουν και άλλες παραμέτρους του συστήματος έδαφος - φυτό - ατμόσφαιρα για την εξαγωγή και άλλων παραμέτρων έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικότερος ο αλγόριθμος.
- Στην πράξη η χρήση ενός μοντέλου όπως είναι το AquaCrop, το οποίο θεωρείται εύκολο στην χρήση του, απαιτεί ιδιαίτερες και αρκετά μεγάλες σε αριθμό παρατηρήσεις των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Συνεπώς η εκτέλεση σεναρίων σχετικών με τη χρήση του μοντέλου χρειάζεται ακριβή διαχείριση των σταδίων που ακολουθούνται για την απόκτηση πειραματικών δεδομένων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισαγωγής σ' αυτό. Οπότε λαμβάνοντας υπόψη τους στατιστικούς δείκτες που χρησιμοποιεί το μοντέλο, κρίνεται αναγκαίο να γίνουν και άλλα παρόμοια πειράματα για το φυτό σόγια με μεγαλύτερο αριθμό δειγματοληψιών και σε μεγαλύτερη έκταση.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abi Saab, M.T., Albrizio, R., Nangia, V., Karam, F. and Roupael, Y., 2014. Developing scenarios to assess sunflower and soybean yield under different sowing dates and water regimes in the Bekaa valley (Lebanon): Simulations with Aquacrop. *International Journal of Plant Production*, 8(4), pp.457-482.
- Adeboye, O.B., Schultz, B., Adekalu, K.O. and Prasad, K., 2016. Impact of water stress on radiation interception and radiation use efficiency of soybeans (*Glycine max* L. Merr.) in Nigeria. *Brazilian Journal of Science and Technology*, 3(1), pp.1-21.
- Adeboye, O.B., Schultz, B., Adekalu, K.O. and Prasad, K., 2017. Modelling of response of the growth and yield of soybean to full and deficit irrigation by using Aquacrop. *Irrigation and drainage*, 66(2), pp.192-205. <https://doi.org/10.1002/ird.2073>
- Alexandris, S. and Kerkides, P., 2003. New empirical formula for hourly estimations of reference evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 60(3), pp.157-180. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00172-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00172-5)
- Alexandris, S., Kerkides, P. and Liakatas, A., 2006. Daily reference evapotranspiration estimates by the "Copais" approach. *Agricultural Water Management*, 82(3), pp.371-386. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.08.001>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, Italy, 20.
- Alves, I. and Pereira, L.S., 2000. Non-water-stressed baselines for irrigation scheduling with infrared thermometers: a new approach. *Irrigation Science*, 19(2), pp.101-106. <https://doi.org/10.1007/s002710050007>
- Argyrokastritis, I.G., Papastylianou, P.T. and Alexandris, S., 2015. Leaf water potential and crop water stress index variation for full and deficit irrigated cotton in Mediterranean conditions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, pp.463-470. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.054>
- Bellaloui, N. and Mengistu, A., 2008. Seed composition is influenced by irrigation regimes and cultivar differences in soybean. *Irrigation Science*, 26(3), pp.261-268. <https://doi.org/10.1007/s00271-007-0091-y>
- Brevedan, R.E. and Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science*, 43(6), pp.2083-2088. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.2083>
- Candogan, B.N., Sincik, M., Buyukcangaz, H., Demirtas, C., Goksoy, A.T. and Yazgan, S., 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in sub-humid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 118, pp.113-121. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.021>

Caviglia, O.P., Sadras, V.O. and Andrade, F.H., 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean. *Field Crops Research*, 87(2-3), pp.117-129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.10.002>

Cooper, P.J.M., Gregory, P.J., Tully, D. and Harris, H.C., 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Experimental agriculture*, 23(2), pp.113-158. <https://doi.org/10.1017/S001447970001694X>

da Silva, B.B. and Rao, T.R., 2005. The CWSI variations of a cotton crop in a semi-arid region of Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, 62(4), pp.649-659. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.01.017>

DeJonge, K.C., Taghvaeian, S., Trout, T.J. and Comas, L.H., 2015. Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Agricultural water management*, 156, pp.51-62. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.023>

Dercas, N. and Liakatas, A., 1999. Sorghum water loss in relation to irrigation treatment. *Water resources management*, 13(1), pp.39-57. <https://doi.org/10.1023/A:1008026119228>

Dercas, N. and Liakatas, A., 2007. Water and radiation effect on sweet sorghum productivity. *Water resources management*, 21(9), pp.1585-1600. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9115-2>

Doorenbos, J. and Pruitt, W.O., 1977. *FAO Irrigation and drainage Paper 24: crop water requirements*. FAO, Roma, 156.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. *Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, Italy.

Draper, N.R. and Smith, H., 1998. *Applied regression analysis* (Vol. 326). John Wiley & Sons.

Durigon, A. and van Lier, Q.D.J., 2013. Canopy temperature versus soil water pressure head for the prediction of crop water stress. *Agricultural water management*, 127, pp.1-6. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.05.014>

Emekli, Y., Bastug, R., Buyuktas, D. and Emekli, N.Y., 2007. Evaluation of a crop water stress index for irrigation scheduling of bermudagrass. *Agricultural water management*, 90(3), pp.205-212. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.03.008>

Evet, S.R. and Tolk, J.A., 2009. Introduction: Can water use efficiency be modeled well enough to impact crop management?. *Agronomy Journal*, 101(3), pp.423-425. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0038xs>

FAO FAOSTAT 2018. *Crop Statistics*, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

Flénet, F., Kiriya, J.R., Board, J.E., Westgate, M.E. and Reicosky, D.C., 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. *Agronomy Journal*, 88(2), pp.185-190.

<https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800020011x>

Fox, M.S., 1988. An organizational view of distributed systems. In *Readings in distributed artificial intelligence* (pp. 140-150). Morgan Kaufmann.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-934613-63-7.50015-2>

Gallier, J. and Gallier, J.H., 2000. *Curves and surfaces in geometric modeling: theory and algorithms*. Morgan Kaufmann.

Gardner, B.R., Blad, B.L. and Watts, D.G., 1981. Plant and air temperatures in differentially-irrigated corn. *Agricultural Meteorology*, 25, pp.207-217.

[https://doi.org/10.1016/0002-1571\(81\)90073-X](https://doi.org/10.1016/0002-1571(81)90073-X)

Gontia, N.K. and Tiwari, K.N., 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural water management*, 95(10), pp.1144-1152. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.04.017>

Gosse, G., Chartier, M., Varlet-Grancher, C. and Bonhomme, R., 1982. Interception du rayonnement utile à la photosynthèse chez la luzerne: variations et modélisation. *Agronomie*, 2(6), pp.583-588.

Hiler, E.A. and Clark, R.N., 1971. Stress day index to characterize effects of water stress on crop yields. *Transactions of the ASAE*, 14(4), pp.757-761. doi: 10.13031/2013.38384

Hope, A.S. and Jackson, R.D., 1989. EARLY MORNING CANOPY TEMPERATURES FOR EVALUATING WATER STRESS IN A WHEAT CROP 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 25(5), pp.1009-1014.

<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1989.tb05414.x>

Howell, T.A., Hatfield, J.L., Yamada, H. and Davis, K.R., 1984. Evaluation of cotton canopy temperature to detect crop water stress. *Transactions of the ASAE*, 27(1), pp.84-0088. doi: 10.13031/2013.32740

Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D. and Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, 101(3), pp.448-459.

<https://doi.org/10.2134/agronj2008.0218s>

Idso S.B., Jackson R. D., Pinter P.J. Jr., Reginato R.J., Hatfield J.L., 1981 a. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.*124:45.

Idso S.B., Jackson R. D., Pinter P.J. Jr., Reginato R.J., Hatfield J.L., 1981 b. Measuring yield - plant water potential depressions in alfalfa by means of Infrared thermometry. *Agron.J.*73: 826.

- Idso, S.B., Jackson, R.D. and Reginato, R.J., 1978. Extending the " degree day" concept of plant phenological development to include water stress effects. *Ecology*, 59(3), pp.431-433. <https://doi.org/10.2307/1936570>
- Idso, S.B., Reginato, R.J. and Jackson, R.D., 1977. An equation for potential evaporation from soil, water, and crop surfaces adaptable to use by remote sensing. *Geophysical research letters*, 4(5), pp.187-188. <https://doi.org/10.1029/GL004i005p00187>
- Idso, S.B., 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, 27(1-2), pp.59-70. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(82\)90020-6](https://doi.org/10.1016/0002-1571(82)90020-6)
- Jackson, R.D., 1982. Canopy temperature and crop water stress. *Adv. Irrig.* 1: 43–85. doi: 10.1016. B978-0-12-024301-3.50009-5.
- Jackson, R.D., Hatfield, J.L., Reginato, R.J., Idso, S.B. and Pinter Jr, P.J., 1983. Estimation of daily evapotranspiration from one time-of-day measurements. *Agricultural Water Management*, 7(1-3), pp.351-362. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(83\)90095-1](https://doi.org/10.1016/0378-3774(83)90095-1)
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Ehrlert, W.L., 1977. Crop temperature reveals stress. *Crops and Soils*, 29(8).
- Jackson, R.D., Reginato, R.J. and Idso, S., 1977. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. *Water resources research*, 13(3), pp.651-656. <https://doi.org/10.1029/WR013i003p00651>
- Jackson, R.D., Kustas, W.P. and Choudhury, B.J., 1988. A reexamination of the crop water stress index. *Irrigation science*, 9(4), pp.309-317. <https://doi.org/10.1007/BF00296705>
- Jackson, R.D. and Idso, S.B., 1969. Ambient Temperature Effects in Infrared Thermometry 1. *Agronomy Journal*, 61(2), pp.324-325. <https://doi.org/10.2134/agronj1969.00021962006100020044x>
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter Jr, P.J., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water resources research*, 17(4), pp.1133-1138. <https://doi.org/10.1029/WR017i004p01133>
- Jensen, M.E. and Haise, H.R., 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 89(4), pp.15-41. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0000287>
- Jensen, M.E. and Wright, J.L., 1978. The role of evapotranspiration models in irrigation scheduling. *Transactions of the ASAE*, 21(1), pp.82-0087. doi: 10.13031/2013.35254
- Jones, J.W., Mishoe, K.J., Wilkerson, G.G. and Jagtap, S.S., 1986. SOYGRO v. 5.3: Soybean crop growth and yield model, IBSNAT version. Technical documentation, University of Florida, Gainesville.

- Kariyama, I.D., 2014. Simulations Of The Potential Yields Of Jenguma Soybean Variety In The Upper West Region Using Aquacrop Model. *International journal of scientific & technology research*, 3, pp.5-101.
- Katerji N., J.W, van Hoorn, A. Hamdy and M. Mastrorilli, 2003, *Agr. Water Manage.* 64, 37.
- Kiniry, J.R., Jones, C.A., O'toole, J.C., Blanchet, R., Cabelguenne, M. and Spanel, D.A., 1989. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. *Field Crops Research*, 20(1), pp.51-64. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(89\)90023-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(89)90023-3)
- Kirnak, H., Dogan, E. and Turkoglu, H., 2010. Effect of drip irrigation intensity on soybean seed yield and quality in the semi arid Harran plain, Turkey. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (4), pp.1208-1217.
- Kresović, B., Gajić, B., Tapanarova, A. and Dugalić, G., 2017. Yield and chemical composition of soybean seed under different irrigation regimes in the Vojvodina region. *Plant Soil and Environment*, 63(1), pp.34-39. DOI: 10.17221/673/2016-PSE
- Kumudini, S., Godoy, C.V., Board, J.E., Omielan, J. and Tollenaar, M., 2008. Mechanisms involved in soybean rust-induced yield reduction. *Crop Science*, 48(6), pp.2334-2342. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.01.0009>
- Lebourgeois, V., Chopart, J.L., Bégué, A. and Le Mezo, L., 2010. Towards using a thermal infrared index combined with water balance modelling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. *Agricultural Water Management*, 97(1), pp.75-82. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.013>
- Liu, X., Rahman, T., Yang, F., Song, C., Yong, T., Liu, J., Zhang, C. and Yang, W., 2017. PAR interception and utilization in different maize and soybean intercropping patterns. *PloS one*, 12(1), p.e0169218. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169218>
- Mastrorilli, M., Katerji, N., Rana, G. and Steduto, P., 1995. Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies. *Industrial Crops and Products*, 3(4), pp.253-260. [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(94\)00002-G](https://doi.org/10.1016/0926-6690(94)00002-G)
- Monteith, J.L., 1973. *Principles of environmental physics* Edward Arnold. London, 214p.
- Monteith, J.L., 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 281(980), pp.277-294. <https://doi.org/10.1098/rstb.1977.0140>
- Muchow, R.C., Robertson, M.J. and Pengelly, B.C., 1993. Radiation-use efficiency of soybean, mugbean and cowpea under different environmental conditions. *Field Crops Research*, 32(1-2), pp.1-16. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90017-H](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90017-H)
- Nakayama, F.S. and Reginato, R.J., 1982. Simplifying neutron moisture meter calibration. <https://dx.doi.org/10.1097/00010694-198201000-00008>

Nielsen, D.C., 1990. Scheduling irrigations for soybeans with the crop water stress index (CWSI). *Field Crops Research*, 23(2), pp.103-116. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(90\)90106-L](https://doi.org/10.1016/0378-4290(90)90106-L)

O'shaughnessy, S.A., Evett, S.R., Colaizzi, P.D. and Howell, T.A., 2011. Using radiation thermography and thermometry to evaluate crop water stress in soybean and cotton. *Agricultural Water Management*, 98(10), pp.1523-1535. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.05.005>

O'toole, J.C. and Hatfield, J.L., 1983. Effect of Wind on the Crop Water Stress Index Derived by Infrared Thermometry 1. *Agronomy Journal*, 75(5), pp.811-817. <https://doi.org/10.2134/agronj1983.00021962007500050019x>

O'Toole, J.C. and Real, J.G., 1986. Estimation of Aerodynamic and Crop Resistances from Canopy Temperature 1. *Agronomy journal*, 78(2), pp.305-310. <https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800020019x>

Paredes, P., Wei, Z., Liu, Y., Xu, D., Xin, Y., Zhang, B. and Pereira, L.S., 2015. Performance assessment of the FAO AquaCrop model for soil water, soil evaporation, biomass and yield of soybeans in North China Plain. *Agricultural Water Management*, 152, pp.57-71. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.12.007>

Payero, J.O. and Irmak, S., 2006. Variable upper and lower crop water stress index baselines for corn and soybean. *Irrigation Science*, 25(1), pp.21-32. <https://doi.org/10.1007/s00271-006-0031-2>

Pengelly, B.C., Blamey, F.P.C. and Muchow, R.C., 1999. Radiation interception and the accumulation of biomass and nitrogen by soybean and three tropical annual forage legumes. *Field Crops Research*, 63(2), pp.99-112. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00029-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00029-5)

Pereira, L.S., Teodoro, P.R., Rodrigues, P.N., Teixeira, J.L., 2003. Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. In: Rossi, G., Cancelliere, A., Pereira, L.S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, pp. 161-180.

Pereira, L.S., Perrier, A., Allen, R.G. and Alves, I., 1999. Evapotranspiration: concepts and future trends. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 125(2), pp.45-51. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1999\)125:2\(45\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1999)125:2(45))

Persson, J.A., M., Wennerholm, S., O' Halloran 2008. *Handbook for kjeldahl digestion*. Foss, Dk-3400 Hilleroed, Denmark. pp.84.

Pinter, P. and Reginato, R.J., 1982. A Thermal Infrared Technique for Monitoring Cotton Water Stress and Scheduling Irrigations e. *Transactions of the ASAE*, 25(6), pp.1651-1655. doi: 10.13031/2013.33783

Raes D, Steduto P, Hsiao TC, Fereres E. 2012. *AquaCrop—Reference Manual*. Available at: <http://www.fao.org>

- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2009. AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and soft ware description. *Ag. Journal*, 101, 438-447.
- Reginato, R.J., 1983. Field quantification of crop water stress. *Transactions of the ASAE*, 26(3), pp.772-0775. doi: 10.13031/2013.34021
- Reginato, R.J. and Howe, J., 1985. Irrigation scheduling using crop indicators. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 111(2), pp.125-133. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1985\)111:2\(125\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1985)111:2(125))
- Reginato, R.J. and Garrot Jr, D.J., 1987, August. Irrigation scheduling with the crop water stress index. In western cotton production conf. Summary Proc., Phoenix, AZ. Cotton Growers Assoc., Memphis, TN (pp. 7-10).
- Sinclair, T.R. and Muchow, R.C., 1999. Radiation use efficiency. *Advances in agronomy*, 65, pp.215-265. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60914-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60914-1)
- Singer, J.W., Meek, D.W., Sauer, T.J., Prueger, J.H. and Hatfield, J.L., 2011. Variability of light interception and radiation use efficiency in maize and soybean. *Field Crops Research*, 121(1), pp.147-152. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.12.007>
- Smith, M. 1992. CROPWAT—A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. FAO, Rome.
- Souza, P.J.D.O.P.D., Ribeiro, A., Rocha, E.J.P.D., Farias, J.R.B., Loureiro, R.S., Bispo, C.C. and Sampaio, L., 2009. Solar radiation use efficiency by soybean under field conditions in the Amazon region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, pp.1211-1218. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000001>
- Specht, J.E., Chase, K., Macrander, M., Graef, G.L., Chung, J., Markwell, J.P., Germann, M., Orf, J.H. and Lark, K.G., 2001. Soybean response to water: a QTL analysis of drought tolerance. *Crop science*, 41(2), pp.493-509. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412493x>
- Steduto P., T. Hsiao, E. Fereres, D. Raes, 2012. Yield Response to Water, FAO Irrigation and Drainage paper No 66, Rome, Italy, pp. 500.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. and Fereres, E., 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), pp.426-437. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0139s>
- Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2012. AquaCrop: concepts, rationale and operation. In: Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D., *Crop Yield Response to Water*, FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 66. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. pp. 17-49.
- Taghvaeian, S., Comas, L., DeJonge, K.C. and Trout, T.J., 2014. Conventional and simplified canopy temperature indices predict water stress in sunflower. *Agricultural water management*, 144, pp.69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.06.003>

- Tetens, O., 1930. Über einige meteorologische Begriffe. *Z. geophys*, 6, pp.297-309.
- Thom, A.S. and Oliver, H.R., 1977. On Penman's equation for estimating regional evaporation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103(436), pp.345-357. <https://doi.org/10.1002/qj.49710343610>
- Ünlü, M., Kanber, R., Kapur, B., Tekin, S. and Koç, D.L., 2011. The crop water stress index (CWSI) for drip irrigated cotton in a semi-arid region of Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 10(12), pp.2258-2273.
- Vamvakoulas, C, Alexandris,S and Argyrokastritis,I, 2019. Dry Above Ground Biomass for a Soybean Crop Using an Empirical Model in Greece. 12th EFITA International Conference Rhodes Island pp.138-143.
- Vamvakoulas, C., Alexandris, S. and Argyrokastritis, I., 2020. Dry Above Ground Biomass for a Soybean Crop Using an Empirical Model in Greece. *Energies*, 13(1), p.201. <https://doi.org/10.3390/en13010201>
- Vamvakoulas, C., Argyrokastritis, I., Papastylianou, P., Papatheohari, Y. and Alexandris, S., 2020. Crop water stress index relationship with soybean seed, protein and oil yield under varying irrigation regimes in a Mediterranean environment. *Israel Journal of Plant Sciences*, 67(3-4), pp.181-193. <https://doi.org/10.1163/22238980-bja10013>
- Van Bavel, C.H.M., Fritschen, L.J. and Reeves, W.E., 1963. Transpiration by sudan-grass as an externally controlled process. *Science*, 141(3577), pp.269-270. DOI: 10.1126/science.141.3577.269-a
- Van Bavel, C.H.M., and Ehrlert, W.L., 1968. Water loss from a sorghum field and stomatal control. *Agron. J.* 60:84-86.
- Varlet-Grancher C., Raymond Bonhomme. Application aux couvertsvegetaux des lois de rayonnementen milieu diffusant, 1979. II - Interception de l'energie solaire par une culture. *Annales Agronomiques*, 30, pp.1-26. {hal-02732721}
- Wallace, J.S., 1995. Towards a coupled light partitioning and transpiration model for use in intercrops and agroforestry. In: Sinoquet H, Cruz P (eds) *Ecophysiology of tropical intercropping*. INRA Editions, Paris, pp 153–162.
- Wanjura, D.F., Hatfield, J.L. and Upchurch, D.R., 1990. Crop water stress index relationships with crop productivity. *Irrigation Science*, 11(2), pp.93-99. <https://doi.org/10.1007/BF00188445>
- Weiss, E.A., 2000. *Oilseed Crops*. Blackwell Publishing Limited, London, UK.
- Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11), pp.1309-1313. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)063%3C1309:SCOTEO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063%3C1309:SCOTEO%3E2.0.CO;2)

Wright, J.L. and Jensen, M.E., 1978. Development and evaluation of evapotranspiration models for irrigation scheduling. Transactions of the ASAE, 21(1), pp.88-0091. doi: 10.13031/2013.35255

Yazar, A., Howell, T.A., Dusek, D.A. and Copeland, K.S., 1999. Evaluation of crop water stress index for LEPA irrigated corn. Irrigation Science, 18(4), pp.171-180. <https://doi.org/10.1007/s002710050059>

Yuan, G., Luo, Y., Sun, X. and Tang, D., 2004. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain. Agricultural Water Management, 64(1), pp.29-40. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00193-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00193-8)

Αλεξανδρής, Σ., 2003. Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων εκτίμησης εξατμισοδιαπνοής κάτω από ελληνικές συνθήκες (Doctoral dissertation, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής. Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής).

Αργυροκαστρίτης Ι. ,2013 Προγραμματισμός της άρδευσης και αποκρίση των καλλιεργειών στο νερό, Γ.Π.Α. Εργαστήριο Υδραυλικής, Διδακτικές σημειώσεις, σελ.18.

Αργυροκαστρίτης Ι., Σ. Φραγκίστα, Χ. Βαμβακούλας, Θ. Δαμιανίδης, Σ. Αλεξανδρής και Π. Παπαστυλιανού, 2009. Μεταβολή του δείκτη υδατικής καταπόνησης δύο ποικιλιών ηλίανθου υπό συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, Θεσσαλονίκη σ. 107-114.

Αργυροκαστρίτης,Ι., ΠαπαθεοχάρηΓ., ΑλεξανδρήςΣ., ΠανταζήΑ., ΜανδαράκαΙ. 2013. Ανάπτυξη παραγωγή και μεταβολή του δείκτη υδατικής καταπόνησης δύο υβριδίων ηλίανθου υπό συνθήκες πλήρους και ελλειμματικής άρδευσης. Πρακτικά 8ου Εθνικού Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, Βόλος σ.187-191.

Βαμβακούλας, Χ, Αργυροκαστρίτης, Ι, 2019. Προσδιορισμός της αεροδυναμικής αντίστασης και της αντίστασης φυτού από τη θερμοκρασία της επιφάνειας των φύλλων για μια πλήρως αρδευόμενη καλλιέργεια Σόγιας στην κεντρική Ελλάδα. 14^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης Βόλος.

Βαμβακούλας, Χ, Αργυροκαστρίτης, Ι, Παπαθεοχάρη, Γ, Αλεξανδρής, Σ, 2015. Επίδραση της πλήρους και ελλειμματικής άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή δύο ποικιλιών Σόγιας. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ε.Γ.Μ.Ε. Θεσσαλονίκη σ.11-16.

Βαμβακούλας, Χ, Αργυροκαστρίτης, Ι, Παπαθεοχάρη,Γ, και Αλεξανδρής, Σ, 2017. Αξιολόγηση του μοντέλου AquaCrop από πειραματικά δεδομένα καλλιέργειας Σόγιας στην κεντρική Ελλάδα. 10^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ε.Γ.Μ.Ε. Αθήνα σ.234-241.

Κοσμάς Κ, Βασιλείου Π, Δολοπούλου Χ, Γουβαλά Θ, 2015, Εδαφολογική μελέτη αγροκτήματος κωπαΐδας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Μπιλάλης Δ., Παπαστυλιανού Π.θ., Τραυλός Η.Σ., 2019, Γεωργία φυτά μεγάλης καλλιέργειας, εκδόσεις Πεδίο.

Προγράμματα

Surfer Version 11, Surface Mapping Systems, Golden software inc.

Microcal Origin Pro version 8.5, Microcal software inc.

Jmp version 9.1.3, SAS Institute.

Σελίδες στο Διαδίκτυο

Soybean Growth Stages | Integrated Crop Management (iastate.edu)

Variety Testing: Soybeans in Illinois Index (illinois.edu)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Δειγματοληψία 1^η 2/7/2014

2014 PR91M10	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	25,3	2,934	0,847	0,2	0,057	0,016	1,1	0,290	0,084	2,3	0,795	0,230	3,4	0,848	0,245	6	2,188	0,632
75%	23,3	2,527	0,730	0,1	0,043	0,013	1,0	0,292	0,084	2,2	0,683	0,197	3,2	0,819	0,236	5	1,240	0,358
50%	23,9	2,234	0,645	0,1	0,043	0,013	0,9	0,194	0,056	2,0	0,576	0,166	2,9	0,598	0,173	5	0,900	0,260
25%	23,1	3,288	0,949	0,1	0,052	0,015	1,0	0,200	0,058	2,2	0,783	0,226	3,2	0,833	0,240	5	1,497	0,432
0%	21,8	2,480	0,716	0,1	0,039	0,011	0,9	0,274	0,079	1,6	0,558	0,161	2,6	0,564	0,163	4	0,793	0,229

2014 PR92B63	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	22,1	1,505	0,434	0,1	0,032	0,009	0,9	0,115	0,033	1,9	0,390	0,113	2,8	0,439	0,127	6	0,937	0,271
75%	20,8	2,038	0,588	0,1	0,042	0,012	0,8	0,167	0,048	2,0	0,618	0,178	2,9	0,674	0,195	6	1,240	0,358
50%	21,4	2,065	0,596	0,2	0,057	0,017	0,9	0,201	0,058	2,3	0,746	0,215	3,2	0,725	0,209	7	1,881	0,543
25%	20,3	2,871	0,829	0,1	0,039	0,011	0,8	0,240	0,069	1,7	0,629	0,182	2,5	0,534	0,154	6	1,243	0,359
0%	19,5	1,784	0,515	0,1	0,030	0,009	0,8	0,145	0,042	1,9	0,418	0,121	2,7	0,469	0,135	6	1,165	0,336

Δειγματοληψία 2^η 17/7/2014

2014 PR91M10	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	47,1	4,033	1,164	0,9	0,315	0,091	6,3	1,928	0,557	12,2	3,615	1,043	18,5	4,221	1,218	18	5,107	1,474
75%	40,1	4,870	1,406	0,7	0,228	0,066	4,8	1,435	0,414	9,8	3,341	0,965	14,6	4,355	1,257	15	4,055	1,171
50%	34,2	5,750	1,660	0,7	0,502	0,145	5,2	3,237	0,935	11,2	6,320	1,825	16,4	5,748	1,659	14	7,224	2,085
25%	31,0	5,063	1,462	0,6	0,251	0,072	4,4	2,060	0,595	8,8	3,605	1,041	13,2	3,619	1,045	14	4,933	1,424
0%	29,3	4,355	1,257	0,5	0,197	0,057	3,4	1,204	0,347	8,0	3,082	0,890	11,4	3,281	0,947	14	4,010	1,158

2014 PR92B63	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	45,1	3,988	1,151	1,2	0,352	0,102	5,8	1,911	0,552	11,6	2,938	0,848	17,4	4,136	1,194	23	6,092	1,759
75%	39,8	4,407	1,272	0,9	0,228	0,066	5,5	1,389	0,401	10,3	2,370	0,684	15,7	2,099	0,606	21	4,495	1,298
50%	34,7	2,270	0,655	0,9	0,360	0,104	5,2	1,716	0,495	11,2	3,531	1,019	16,4	3,639	1,050	22	5,160	1,490
25%	29,8	4,668	1,347	0,7	0,228	0,066	4,3	1,645	0,475	8,3	2,784	0,804	12,6	3,298	0,952	17	3,728	1,076
0%	27,2	3,810	1,100	0,5	0,203	0,059	3,2	1,548	0,447	6,8	2,632	0,760	10,0	3,724	1,075	15	4,673	1,349

Δειγματοληψία 3^η 29/7/2014

2014 PR91M10	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβίων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων			Αριθμός λοβίων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	70,58	6,65	1,92	1,2	0,568	0,164	16,9	8,305	2,397	15,5	6,986	2,017	2,888	2,174	0,628	35,3	10,586	3,056	25	8,262	2,385	25	11,874	3,428
75%	61,75	8,78	2,53	1,9	0,602	0,174	24,8	7,342	2,120	21,4	6,768	1,954	3,390	1,901	0,549	49,7	11,011	3,179	34	7,554	2,181	34	15,835	4,571
50%	59,75	7,25	2,09	1,8	0,532	0,153	29,0	7,474	2,157	23,8	6,944	2,005	3,298	2,208	0,637	56,2	11,840	3,418	32	7,128	2,058	29	15,598	4,503
25%	53,42	6,79	1,96	1,5	0,423	0,122	22,1	7,689	2,220	24,0	8,130	2,347	4,328	2,061	0,595	50,4	9,965	2,877	31	8,618	2,488	35	15,555	4,490
0%	46,33	4,81	1,39	1,1	0,561	0,162	17,4	8,391	2,422	17,3	8,935	2,579	3,072	1,586	0,458	37,8	11,198	3,233	27	7,180	2,073	25	12,785	3,691

2014 PR92B63	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβίων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων			Αριθμός λοβίων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	67,4	4,166	1,203	2,4	0,574	0,166	22,2	5,116	1,477	22,6	8,287	2,392	0,170	0,232	0,067	44,9	8,951	2,584	38	6,961	2,009	4	3,655	1,055
75%	62,6	6,097	1,760	2,5	0,677	0,195	28,2	8,550	2,468	22,4	6,289	1,815	0,112	0,217	0,063	50,7	12,450	3,594	44	11,307	3,264	3	3,175	0,917
50%	61,0	7,804	2,253	2,4	0,431	0,124	28,7	6,537	1,887	23,2	6,387	1,844	0,140	0,229	0,066	52,1	10,035	2,897	37	7,481	2,160	3	3,099	0,895
25%	56,7	4,539	1,310	1,8	0,709	0,205	22,1	9,852	2,844	20,9	9,322	2,691	0,344	0,524	0,151	43,3	16,447	4,748	35	12,930	3,732	5	6,431	1,857
0%	48,3	6,110	1,764	1,7	0,658	0,190	22,5	9,057	2,615	20,6	9,900	2,858	0,249	0,602	0,174	43,4	10,920	3,152	38	10,056	2,903	5	7,884	2,276

Δειγματοληψία 4^η 12/8/2014

2014 PR91M10	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων			Αριθμός λοβών		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	81,17	11,38	3,29	1,4	0,423	0,122	22,6	7,213	2,082	18,7	6,033	1,742	23,497	10,005	2,888	64,8	19,964	5,763	28	6,752	1,949	114	37,249	10,753
75%	74,42	8,68	2,51	1,3	0,410	0,118	17,4	6,794	1,961	17,2	6,088	1,757	18,968	5,636	1,627	53,6	14,682	4,238	27	5,767	1,665	85	14,257	4,116
50%	61,42	14,47	4,18	1,0	0,447	0,129	23,6	9,180	2,650	16,1	7,203	2,079	17,802	8,808	2,543	57,5	16,292	4,703	20	6,440	1,859	77	39,098	11,287
25%	61,00	8,63	2,49	1,1	0,271	0,078	22,1	7,482	2,160	14,6	3,955	1,142	19,873	9,453	2,729	56,6	15,305	4,418	23	6,708	1,936	100	39,775	11,482
0%	57,42	10,88	3,14	0,9	0,521	0,150	16,3	8,036	2,320	12,7	6,896	1,991	15,242	6,923	1,999	44,3	15,992	4,617	26	11,130	3,213	82	38,966	11,249

2014 PR92B63	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων			Αριθμός λοβών		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	92,5	8,660	2,500	2,3	0,750	0,216	26,3	10,361	2,991	20,7	7,846	2,265	7,388	3,412	0,985	54,4	17,541	5,064	43	10,574	3,053	94	36,392	10,505
75%	88,4	7,217	2,083	3,1	0,687	0,198	41,4	12,035	3,474	32,1	8,523	2,460	15,572	6,726	1,942	89,1	21,943	6,334	60	13,933	4,022	141	42,209	12,185
50%	73,7	8,478	2,447	2,0	0,849	0,245	34,8	13,326	3,847	21,4	8,237	2,378	8,509	4,829	1,394	64,8	17,515	5,056	39	14,100	4,070	84	53,522	15,450
25%	72,2	5,734	1,655	1,8	0,706	0,204	34,1	12,325	3,558	22,9	8,424	2,432	9,688	5,560	1,605	66,7	19,737	5,698	48	13,765	3,974	87	45,549	13,149
0%	68,7	6,840	1,975	1,8	0,624	0,180	33,9	13,927	4,020	22,9	8,062	2,327	8,412	5,062	1,461	65,1	19,662	5,676	49	8,969	2,589	85	41,271	11,914

Συγκομιδή PR91M10 5/9/2014

2014	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
PR91M10	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	246	62,574	20,858	119	35,139	11,713	34,3	11,196	3,732	37,8	7,634	2,545	57,128	14,607	4,869	68,6	46,268	13,356
75%	236	50,695	16,898	120	23,049	7,683	29,9	11,019	3,673	38,3	5,484	1,828	59,782	10,470	3,490	67,2	44,345	12,801
50%	215	55,315	18,438	99	23,950	7,983	21,7	7,775	2,592	29,7	9,579	3,193	46,638	13,850	4,617	51,3	35,121	10,138
25%	208	84,680	28,227	97	36,728	12,243	17,8	6,860	2,287	27,5	12,703	4,234	44,433	19,600	6,533	46,7	33,600	9,700
0%	161	58,487	19,496	78	28,603	9,534	11,9	5,510	1,837	19,1	7,887	2,629	31,636	12,777	4,259	32,6	22,726	6,561

2014	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
PR91M10	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	380	89,163	29,721	176	44,602	14,867	36,0	15,913	5,304	52,5	14,697	4,899	83,333	23,473	7,824	89,5	63,194	18,243
75%	243	99,315	33,105	118	46,825	15,608	34,7	12,216	4,072	35,3	13,961	4,654	57,702	22,126	7,375	69,3	46,035	13,289
50%	149	55,244	18,415	74	23,107	7,702	38,6	10,726	3,575	21,4	9,424	3,141	34,558	13,213	4,404	54,8	38,122	11,005
25%	184	99,583	33,194	86	43,676	14,559	22,1	10,389	3,463	26,2	15,024	5,008	41,188	22,641	7,547	47,5	35,445	10,232
0%	185	79,787	26,596	81	30,458	10,153	15,5	5,208	1,736	24,1	10,024	3,341	38,524	15,324	5,108	40,5	28,173	8,133

2014	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
PR91M10	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	316	82,499	27,500	145	40,340	13,447	33,1	12,477	4,159	46,8	12,274	4,091	71,438	19,006	6,335	78,4	51,608	14,898
75%	204	69,897	23,299	122	49,185	16,395	30,3	8,811	2,937	32,3	12,717	4,239	52,977	19,935	6,645	62,4	43,924	12,680
50%	221	72,787	24,262	104	34,041	11,347	24,8	12,014	4,005	34,9	11,069	3,690	52,818	17,262	5,754	58,2	39,413	11,378
25%	206	78,882	26,294	98	40,045	13,348	17,8	5,421	1,807	28,7	12,181	4,060	44,310	19,454	6,485	46,6	34,861	10,063
0%	146	67,884	22,628	68	29,305	9,768	15,2	6,652	2,217	19,6	10,400	3,467	30,668	15,598	5,199	34,4	24,763	7,149

2014	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
PR91M10	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	348	66,017	22,006	155	33,519	11,173	29,6	7,380	2,460	49,7	12,953	4,318	75,852	18,220	6,073	79,1	51,058	14,739
75%	336	102,265	34,088	144	38,016	12,672	24,3	7,917	2,639	47,6	17,001	5,667	71,853	23,192	7,731	72,1	48,848	14,101
50%	263	75,533	25,178	125	42,699	14,233	22,5	5,808	1,936	37,7	12,709	4,236	57,790	19,472	6,491	60,2	39,555	11,419
25%	275	93,497	31,166	126	40,429	13,476	16,4	5,752	1,917	38,9	16,656	5,552	58,684	23,337	7,779	56,3	38,987	11,255
0%	197	53,612	17,871	88	23,627	7,876	11,1	3,621	1,207	29,2	7,784	2,595	42,823	11,402	3,801	40,5	26,422	7,628

Συγκομιδή PR92B63 22/9/2014

2014 PR92B63	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	474	91,464	30,488	232	38,781	12,927	43,0	4,919	1,640	80,9	14,264	4,755	115,398	20,314	6,771	118,8	74,677	21,557
75%	286	120,396	40,132	162	60,041	20,014	34,8	8,417	2,806	50,0	23,369	7,790	75,762	32,418	10,806	83,0	59,213	17,093
50%	271	104,311	34,770	144	41,609	13,870	28,9	7,533	2,511	39,6	15,227	5,076	60,552	21,588	7,196	67,1	45,308	13,079
25%	256	94,711	31,570	139	29,720	9,907	23,2	7,329	2,443	37,3	9,820	3,273	59,383	14,406	4,802	62,0	40,144	11,589
0%	148	47,990	15,997	74	26,229	8,743	11,8	4,524	1,508	18,7	6,684	2,228	29,873	10,647	3,549	31,3	21,029	6,071

2014 PR92B63	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	481	105,854	35,285	224	46,138	15,379	44,2	8,894	2,965	88,2	19,055	6,352	122,840	26,291	8,764	125,3	81,050	23,397
75%	349	99,594	33,198	160	56,011	18,670	35,6	9,214	3,071	54,6	18,683	6,228	81,443	24,439	8,146	87,8	56,471	16,302
50%	357	90,403	30,134	169	42,551	14,184	25,9	8,982	2,994	51,4	14,221	4,740	77,184	21,392	7,131	77,3	51,820	14,959
25%	202	67,362	22,454	89	38,405	12,802	14,7	5,209	1,736	28,7	13,077	4,359	44,110	18,578	6,193	44,1	32,004	9,239
0%	157	50,408	16,803	72	19,987	6,662	11,1	4,807	1,602	20,0	7,826	2,609	31,567	11,532	3,844	32,0	21,593	6,233

2014 PR92B63	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	433	60,854	20,285	209	29,275	9,758	38,5	2,739	0,913	69,6	9,350	3,117	101,984	13,283	4,428	105,3	64,770	18,697
75%	391	160,505	53,502	181	66,461	22,154	28,6	9,301	3,100	60,7	23,316	7,772	87,696	32,788	10,929	87,2	59,743	17,246
50%	406	93,873	31,291	173	57,469	19,156	26,2	8,755	2,918	57,9	13,594	4,531	85,184	20,101	6,700	83,6	54,265	15,665
25%	233	93,379	31,126	118	45,111	15,037	17,5	6,161	2,054	32,3	13,199	4,400	48,442	19,765	6,588	49,5	34,272	9,893
0%	263	74,918	24,973	122	33,182	11,061	17,7	5,057	1,686	35,1	9,875	3,292	52,514	14,485	4,828	52,6	34,047	9,828

2014 PR92B63	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	522	96,363	32,121	239	40,388	13,463	45,1	9,047	3,016	79,5	10,876	3,625	116,210	16,678	5,559	121,0	74,807	21,595
75%	422	70,092	23,364	199	33,782	11,261	31,5	8,759	2,920	63,7	15,323	5,108	93,044	20,371	6,790	93,4	59,853	17,278
50%	387	87,241	29,080	174	35,154	11,718	25,6	6,447	2,149	53,5	15,112	5,037	77,693	19,835	6,612	77,5	50,602	14,608
25%	200	80,584	26,861	97	37,075	12,358	13,6	5,418	1,806	30,2	13,499	4,500	43,773	19,439	6,480	43,0	29,328	8,466
0%	213	59,123	19,708	110	26,262	8,754	15,3	3,763	1,254	32,4	7,405	2,468	48,263	11,076	3,692	47,7	30,190	8,715

Δειγματοληψία 1^η 2/7/2015

2015 PR91M10	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	21,1	1,621	0,468	0,2	0,057	0,017	1,3	0,379	0,109	2,1	0,740	0,214	3,3	0,899	0,260	7	1,784	0,515
75%	19,2	2,823	0,815	0,2	0,047	0,014	1,0	0,255	0,074	1,6	0,431	0,124	2,6	0,492	0,142	5	1,138	0,329
50%	20,8	2,454	0,708	0,1	0,030	0,009	0,7	0,152	0,044	1,2	0,320	0,092	1,9	0,372	0,108	4	0,622	0,179
25%	19,7	1,557	0,449	0,1	0,018	0,005	0,6	0,139	0,040	1,2	0,213	0,061	1,8	0,199	0,058	4	0,577	0,167
0%	20,3	0,783	0,226	0,2	0,028	0,008	0,7	0,149	0,043	1,5	0,276	0,080	2,3	0,285	0,082	5	0,793	0,229

2015 PR92B63	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	16,3	2,015	0,582	0,1	0,032	0,009	0,8	0,144	0,041	1,4	0,238	0,069	2,2	0,206	0,059	5	0,651	0,188
75%	15,5	1,567	0,452	0,2	0,093	0,027	1,1	0,423	0,122	1,8	0,732	0,211	2,9	0,952	0,275	7	2,517	0,726
50%	16,8	1,850	0,534	0,1	0,033	0,009	0,7	0,180	0,052	1,3	0,332	0,096	2,0	0,406	0,117	5	0,985	0,284
25%	16,0	1,348	0,389	0,2	0,044	0,013	0,6	0,218	0,063	1,4	0,365	0,105	2,0	0,511	0,148	6	1,782	0,514
0%	15,5	2,105	0,608	0,1	0,022	0,006	0,5	0,102	0,030	1,1	0,212	0,061	1,5	0,238	0,069	5	1,073	0,310

Δειγματοληψία 2^η 16/7/2015

2015 PR91M10	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	45,3	3,229	0,932	0,9	0,250	0,072	9,1	2,655	0,766	10,8	3,099	0,894	19,9	3,912	1,129	20	4,053	1,170
75%	45,0	3,015	0,870	0,7	0,281	0,081	8,7	3,733	1,078	7,8	3,040	0,878	16,5	4,250	1,227	17	4,988	1,440
50%	43,1	3,232	0,933	0,7	0,154	0,044	7,7	1,863	0,538	7,5	1,938	0,559	15,2	2,570	0,742	16	3,745	1,081
25%	39,3	2,741	0,791	0,7	0,293	0,084	6,8	3,392	0,979	7,5	3,265	0,943	14,3	5,100	1,472	16	5,468	1,579
0%	38,4	3,054	0,881	0,5	0,210	0,061	4,0	1,854	0,535	4,9	2,096	0,605	8,9	2,877	0,830	12	3,965	1,145

2015 PR92B63	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	44,4	4,358	1,258	0,9	0,240	0,069	7,5	2,578	0,744	8,8	2,396	0,692	16,3	4,227	1,220	20	4,064	1,173
75%	40,2	3,713	1,072	1,0	0,452	0,131	9,1	4,862	1,403	9,0	3,817	1,102	18,1	6,182	1,785	24	8,263	2,385
50%	40,1	2,275	0,657	0,7	0,244	0,071	7,6	4,153	1,199	7,0	2,491	0,719	14,6	4,861	1,403	19	4,877	1,408
25%	37,8	3,407	0,983	0,7	0,228	0,066	6,4	2,481	0,716	6,6	2,180	0,629	13,0	3,504	1,011	19	3,630	1,048
0%	33,2	2,480	0,716	0,5	0,292	0,084	3,5	2,134	0,616	4,4	2,597	0,750	7,9	3,365	0,971	14	5,510	1,591

Δειγματοληψία 3^η 28/7/2015

2015 PR91M10	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων			Αριθμός λοβών		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	69,00	2,52	0,73	1,6	0,376	0,109	23,4	7,125	2,057	19,3	5,376	1,552	2,073	1,274	0,368	44,8	8,487	2,450	25	3,070	0,886	21	10,718	3,094
75%	64,42	3,06	0,88	1,5	0,434	0,125	18,6	6,457	1,864	15,9	4,948	1,428	0,989	0,437	0,126	35,4	8,097	2,337	21	5,248	1,515	12	5,143	1,485
50%	57,75	5,15	1,49	1,2	0,435	0,126	13,0	5,382	1,554	12,1	4,833	1,395	0,522	0,419	0,121	25,6	5,541	1,600	23	10,815	3,122	5	4,582	1,323
25%	54,42	5,55	1,60	0,9	0,310	0,089	9,7	3,292	0,950	10,5	4,003	1,156	0,344	0,524	0,151	20,6	5,599	1,616	17	4,292	1,239	4	3,420	0,987
0%	49,08	3,63	1,05	0,9	0,298	0,086	10,2	3,816	1,102	11,6	4,198	1,212	0,249	0,602	0,174	22,0	5,326	1,537	20	2,741	0,791	5	2,968	0,857

2015 PR92B63	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων			Αριθμός λοβών		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	68,1	2,712	0,783	2,0	0,362	0,105	26,8	9,325	2,692	18,6	4,797	1,385	0	0	0	45,4	11,670	3,369	32	6,658	1,922	0	0	0
75%	65,9	5,178	1,495	2,7	1,006	0,290	28,8	9,908	2,860	25,1	10,943	3,159	0	0	0	53,8	13,621	3,932	39	11,704	3,379	0	0	0
50%	61,1	3,175	0,917	1,5	0,709	0,205	14,7	7,383	2,131	13,6	6,466	1,866	0	0	0	28,3	8,998	2,598	27	8,045	2,322	0	0	0
25%	52,5	2,355	0,680	1,1	0,253	0,073	13,5	5,334	1,540	13,1	4,703	1,358	0	0	0	26,6	8,788	2,537	24	5,638	1,628	0	0	0
0%	47,3	4,868	1,405	0,9	0,240	0,069	8,4	1,985	0,573	9,3	2,580	0,745	0	0	0	17,7	3,206	0,926	23	5,280	1,524	0	0	0

Δειγματοληψία 4^η 13/8/2015

2015 PR91M10	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβίων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων			Αριθμός λοβίων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	100,08	3,63	1,05	2,2	0,239	0,069	41,0	9,104	2,628	30,7	3,756	1,084	34,394	9,843	2,841	106,1	19,525	5,636	36	3,618	1,044	132	11,368	3,282
75%	95,25	8,64	2,49	2,8	0,464	0,134	59,8	13,165	3,800	33,0	5,321	1,536	42,897	10,286	2,969	135,7	21,623	6,242	42	5,306	1,532	161	20,120	5,808
50%	86,92	5,07	1,46	2,2	0,295	0,085	39,5	8,485	2,449	29,1	4,284	1,237	24,577	4,804	1,387	93,2	14,993	4,328	40	4,880	1,409	124	14,369	4,148
25%	78,08	10,91	3,15	1,6	0,408	0,118	31,2	9,801	2,829	22,1	5,375	1,552	14,033	3,393	0,979	67,3	16,590	4,789	29	7,259	2,096	89	24,217	6,991
0%	72,92	4,78	1,38	1,2	0,288	0,083	21,3	6,657	1,922	17,2	5,476	1,581	10,270	3,840	1,109	48,8	9,933	2,867	23	5,813	1,678	70	21,502	6,207

2015 PR92B63	Ύψος φυτού (cm/φυτό)			LAI			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φύλλων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβίων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)			Αριθμός φύλλων			Αριθμός λοβίων		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	103,1	3,370	0,973	3,5	1,091	0,315	52,9	9,696	2,799	41,2	20,361	5,878	11,92	3,94	1,14	106,0	27,140	7,835	56	16,108	4,650	105	27	8
75%	99,3	8,700	2,512	4,4	0,618	0,178	60,3	14,118	4,075	36,2	5,971	1,724	8,99	2,92	0,84	105,5	15,930	4,599	62	9,391	2,711	112	36	10
50%	92,6	7,740	2,234	3,9	0,751	0,217	55,0	12,019	3,470	35,8	6,847	1,977	6,93	2,25	0,65	97,7	14,726	4,251	61	10,104	2,917	88	26	7
25%	84,3	7,899	2,280	3,1	0,579	0,167	45,7	11,363	3,280	30,3	5,245	1,514	4,88	1,96	0,57	80,9	14,719	4,249	48	6,699	1,934	67	17	5
0%	75,0	7,520	2,171	1,7	0,513	0,148	24,8	7,051	2,035	17,1	4,727	1,365	1,75	1,39	0,40	43,6	9,958	2,875	35	7,561	2,183	25	13	4

Συγκομιδή PR91M10 9/9/2015

2015 PR91M10	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	394	78,486	26,162	181	55,258	18,419	34,8	8,541	2,847	73,9	18,733	6,244	99,558	21,869	7,290	100,7	65,394	18,878
75%	414	117,167	39,056	166	40,668	13,556	30,3	10,251	3,417	66,5	25,939	8,646	89,510	32,718	10,906	89,9	65,206	18,823
50%	348	101,677	33,892	131	27,007	9,002	31,8	10,505	3,502	68,5	13,397	4,466	96,697	25,065	8,355	96,4	65,252	18,837
25%	285	70,123	23,374	153	26,538	8,846	24,3	7,094	2,365	47,9	13,977	4,659	71,396	14,484	4,828	71,7	46,214	13,341
0%	224	77,235	25,745	103	17,342	5,781	19,3	7,292	2,431	33,3	9,290	3,097	51,490	12,333	4,111	53,1	35,443	10,232

2015 PR91M10	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	427	113,793	37,931	155	30,116	10,039	40,3	13,633	4,544	77,7	10,031	3,344	100,673	20,330	6,777	105,8	69,342	20,017
75%	355	135,662	45,221	149	26,988	8,996	31,1	8,898	2,966	69,2	17,778	5,926	99,303	35,983	11,994	97,8	69,745	20,134
50%	364	139,409	46,470	146	41,356	13,785	23,1	6,565	2,188	57,1	24,111	8,037	72,332	20,005	6,668	71,6	48,721	14,064
25%	306	99,968	33,323	126	34,959	11,653	24,4	6,426	2,142	57,4	14,658	4,886	67,578	17,519	5,840	69,0	45,369	13,097
0%	243	60,225	20,075	127	23,959	7,986	20,5	6,174	2,058	36,4	13,072	4,357	53,380	14,644	4,881	55,4	37,208	10,741

2015 PR91M10	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	418	128,673	42,891	190	38,918	12,973	37,2	9,086	3,029	75,9	23,208	7,736	111,384	28,631	9,544	111,4	73,747	21,289
75%	314	121,497	40,499	156	60,885	20,295	31,7	8,025	2,675	75,4	24,011	8,004	97,510	19,311	6,437	96,9	62,252	17,971
50%	356	47,584	15,861	161	38,324	12,775	26,7	8,129	2,710	60,9	16,424	5,475	87,641	23,312	7,771	85,7	58,116	16,777
25%	329	30,561	10,187	130	33,066	11,022	23,8	4,846	1,615	52,2	7,443	2,481	80,361	17,273	5,758	78,1	49,742	14,359
0%	263	67,151	22,384	108	34,485	11,495	21,3	2,469	0,823	38,1	11,096	3,699	56,162	15,487	5,162	58,1	37,574	10,847

2015 PR91M10	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	404	110,581	36,860	181	48,816	16,272	37,6	8,513	2,838	64,8	16,467	5,489	96,919	25,985	8,662	100,9	66,439	19,179
75%	407	124,224	41,408	170	60,004	20,001	33,1	11,113	3,704	69,0	21,595	7,198	99,663	29,887	9,962	99,5	68,826	19,868
50%	351	63,032	21,011	159	45,462	15,154	29,8	8,118	2,706	57,5	8,657	2,886	88,187	18,242	6,081	88,5	56,981	16,449
25%	311	71,586	23,862	133	25,561	8,520	23,6	9,033	3,011	50,2	12,649	4,216	76,549	18,778	6,259	75,1	47,522	13,719
0%	237	84,497	28,166	114	22,051	7,350	22,0	6,149	2,050	37,6	9,726	3,242	61,558	13,529	4,510	62,6	40,048	11,561

Συγκομιδή PR92B63 25/9/2015

2015 PR92B63	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	520	75,879	25,293	260	61,824	20,608	56,0	17,299	5,766	98,9	19,505	6,502	137,979	28,456	9,485	145,5	95,294	27,509
75%	446	150,926	50,309	245	61,752	20,584	46,3	12,547	4,182	86,4	21,416	7,139	132,872	26,169	8,723	134,4	85,717	24,744
50%	385	163,227	54,409	196	60,260	20,087	40,2	13,943	4,648	71,5	15,894	5,298	93,629	33,244	11,081	100,4	71,080	20,519
25%	354	74,386	24,795	199	34,465	11,488	34,5	4,400	1,467	63,4	14,867	4,956	94,941	16,621	5,540	97,1	60,656	17,510
0%	189	98,065	32,688	172	57,853	19,284	31,6	8,016	2,672	33,1	18,685	6,228	64,472	16,643	5,548	72,1	45,888	13,247

2015 PR92B63	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	528	84,554	28,185	275	49,829	16,610	60,8	15,097	5,032	103,3	25,645	8,548	142,126	39,055	13,018	152,2	97,100	28,030
75%	471	126,528	42,176	251	73,291	24,430	55,1	16,290	5,430	104,5	23,423	7,808	123,558	42,064	14,021	134,0	88,507	25,550
50%	352	89,144	29,715	196	67,617	22,539	54,1	24,194	8,065	64,3	18,831	6,277	115,314	27,740	9,247	127,1	83,268	24,037
25%	345	78,859	26,286	187	29,077	9,692	30,3	9,546	3,182	70,8	28,760	9,587	94,447	22,020	7,340	93,6	60,051	17,335
0%	281	63,555	21,185	189	33,649	11,216	47,3	10,943	3,648	36,4	9,745	3,248	69,251	22,006	7,335	87,4	55,917	16,142

2015 PR92B63	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	557	159,773	53,258	266	41,198	13,733	61,3	9,856	3,285	97,9	24,439	8,146	142,818	23,591	7,864	153,1	93,836	27,088
75%	538	122,081	40,694	224	69,933	23,311	43,9	13,757	4,586	84,5	27,419	9,140	116,897	27,191	9,064	120,6	75,936	21,921
50%	421	100,929	33,643	194	65,947	21,982	38,9	15,364	5,121	79,3	29,649	9,883	89,800	30,093	10,031	96,6	64,865	18,725
25%	390	143,800	47,933	201	74,325	24,775	39,7	9,569	3,190	64,2	16,277	5,426	94,076	41,700	13,900	100,3	71,727	20,706
0%	198	65,945	21,982	173	36,905	12,302	33,1	13,105	4,368	42,7	18,931	6,310	54,614	21,597	7,199	65,8	43,912	12,676

2015 PR92B63	Αριθμός σπόρων ανά φυτό			Αριθμός λοβών ανά φυτό			Ξηρό βάρος στελέχους (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος λοβών και σπόρων (gr/φυτό)			Ξηρό βάρος φυτού (gr/φυτό)		
	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.	MEAN	ST DEV.	ST ERR.
100%	610	126,842	42,281	297	46,872	15,624	55,3	19,194	6,398	105,8	24,006	8,002	147,043	34,006	11,335	151,8	97,876	28,254
75%	467	132,664	44,221	218	64,224	21,408	41,7	13,229	4,410	88,5	22,478	7,493	117,784	34,590	11,530	119,6	78,724	22,726
50%	384	132,530	44,177	182	34,505	11,502	34,8	11,047	3,682	67,2	21,290	7,097	91,987	24,880	8,293	95,1	62,009	17,900
25%	374	108,515	36,172	181	39,616	13,205	31,8	3,883	1,294	72,6	13,958	4,653	86,281	24,564	8,188	88,5	57,193	16,510
0%	219	77,188	25,729	168	50,657	16,886	27,5	5,369	1,790	38,0	9,930	3,310	64,926	17,347	5,782	69,3	44,389	12,814

Σχέσεις στοιχείων ανάπτυξης και παραγωγής

ORIGINALITY REPORT

24%
SIMILARITY INDEX

24%
INTERNET SOURCES

12%
PUBLICATIONS

11%
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet Source	2%
2	old.egme.gr Internet Source	2%
3	dspace.aua.gr Internet Source	1%
4	ir.lib.uth.gr Internet Source	1%
5	hellanicus.lib.aegean.gr Internet Source	1%
6	ikee.lib.auth.gr Internet Source	1%
7	univendspace.univen.ac.za Internet Source	1%
8	Christos Vamvakoulas, Ioannis Argyrokastritis, Panayiota Papastylianou, Yolanda Papatheohari, Stavros Alexandris. "Cropwater stress index relationship with soybean seed, protein and oil yield under varying irrigation	1%

