

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**Σχολή Γεωπονικών Επιστημών**

**Δ. Φ. ΜΠΕΣΛΕΜΕΣ**

**«Ποσοτική αξιολόγηση συστημάτων χρήσης γης με ενεργειακά  
φυτά (*Sorghum bicolor*- *Zea mays*) σε δύο Θεσσαλικά εδάφη, με  
συμβατικές και μειωμένες εισροές»**



2013



**«Ποσοτική αξιολόγηση συστημάτων χρήσης γης με ενεργειακά φυτά (σόργο -  
αραβόσιτο) σε δύο Θεσσαλικά εδάφη, με συμβατικές και μειωμένες εισροές»**

### Τριμελής Συμβουλευτική επιτροπή:

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| <u>Ν. Δαναλάτος</u> (Επιβλέπων)   | Καθηγητής                                       |
| Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας            | <i>Γεωργία και Εφαρμοσμένη Φυσιολογία Φυτών</i> |
| <u>Π. Ευθυμιάδης</u> (Μέλος)      | Καθηγητής                                       |
| Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών     | <i>Γεωργία</i>                                  |
| <u>Γ. Ζαλίδης</u> (Μέλος)         | Καθηγητής                                       |
| Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/κης | <i>Ρύπανση και Υποβάθμιση Εδαφών</i>            |

### Επταμελής εξεταστική επιτροπή:

|  |   |
|--|---|
| <u>Ν. Δαναλάτος</u> (Επιβλέπων)            | Καθηγητής                                       |
| Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας                     | <i>Γεωργία και Εφαρμοσμένη Φυσιολογία Φυτών</i> |
| <u>Π. Ευθυμιάδης</u> (Μέλος)               | Καθηγητής                                       |
| Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών              | <i>Γεωργία</i>                                  |
| <u>Γ. Ζαλίδης</u> (Μέλος)                  | Καθηγητής                                       |
| Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/κης          | <i>Ρύπανση και Υποβάθμιση Εδαφών</i>            |
| <u>Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη</u> (Μέλος) | Καθηγήτρια                                      |
| Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας                     | <i>Αρδεύσεις, Στραγγίσεις, Υδραυλική</i>        |
| <u>Ι. Χα</u> (Μέλος)                       | Καθηγητής                                       |
| Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας                     | <i>Γενετική Βελτίωση Φυτών</i>                  |
| <u>Χ. Νάκας</u> (Μέλος)                    | Επ. Καθηγητής                                   |
| Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας                     | <i>Βιομετρία</i>                                |
| <u>Γ. Βλόντζος</u> (Μέλος)                 | Λέκτορας  |
| Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας                     | <i>Αγροτική Οικονομία</i>                       |

**Δημήτριος Φ. Μπεσλεμές**

**«Ποσοτική αξιολόγηση συστημάτων χρήσης γης με ενεργειακά  
φυτά (σόργο - αραβόσιτο) σε δύο Θεσσαλικά εδάφη, με συμβατικές  
και μειωμένες εισροές»**

**ISBN:**

**Δημήτριος Φ. Μπεσλεμές, 2013, «Ποσοτική αξιολόγηση συστημάτων χρήσης γης με ενεργειακά φυτά (σόργο - αραβόσιτο) σε δύο Θεσσαλικά εδάφη, με συμβατικές και μειωμένες εισροές», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Νέα Ιωνία Μαγνησίας.**

24 Προκαταρκτικές σελίδες, 219 Σελίδες, 24 Πίνακες, 43 Σχήματα, 10 Εικόνες, 369 Βιβλιογραφικές παραπομπές, 2 Παραρτήματα, 6 Δημοσιευμένες εργασίες.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της μελέτης αποτελεί η ποσοτική ανάλυση της αύξησης και ανάπτυξης, της παραγωγής σε βιομάζα, της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου και των παραμέτρων γύρω από αυτή (βασική απορρόφηση αζώτου, αποδοτικότητα απορρόφησης και αξιοποίησης αζώτου), σε συστήματα χρήσης γης καλλιεργειών αραβόσιτου και ινώδους σόργου για ενεργειακούς σκοπούς, κάτω από συμβατικές (ανόργανη λίπανση) και μειωμένες (καλλιέργειες κάλυψης με κουκιά) εισροές αζώτου. Για τον σκοπό αυτό διεξήχθησαν πειράματα σε συνθήκες αγρού, σε ένα αμμοπηλώδες και ένα αργιλώδες έδαφος για τρεις συνεχείς καλλιεργητικούς κύκλους, όπου σύμφωνα με ένα πλήρως τυχαίοποιημένο 4x3x3 πειραματικό σχέδιο υποδιαιρεμένων τεμαχίων, τέσσερις δόσεις ανόργανου αζώτου (0, 80, 160, 240 kg ha<sup>-1</sup>, για τον αραβόσιτο και 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>, για το ινώδες σόργο) συνδυάστηκαν με τρεις μεταχειρίσεις της καλλιέργειας κουκιών (χειμερινή καλλιέργεια κάλυψης, χλωρή λίπανση, μονοκαλλιέργεια), σε τρεις επαναλήψεις. Η παρακολούθηση των παραμέτρων της αύξησης των καλλιεργειών έγινε με συνεχείς διαδοχικές δειγματοληψίες καθ' όλη την διάρκεια ανάπτυξης των ενεργειακών καλλιεργειών, ενώ ο προσδιορισμός της τελικής παραγωγής σε βιομάζα και των παραμέτρων της αποδοτικότητας χρήσης αζώτου, έγινε με δειγματοληψία κατά την φυσιολογική ωρίμανση, κάθε έτους. Παράλληλα, διενεργήθηκαν δειγματοληψίες εδάφους για την μελέτη επιδράσεων των κουκιών στην εδαφική δομή, όπως και πειράματα υπολογισμού της διηθητικής ικανότητας του εδάφους, σε κάθε κύκλο εναλλαγής, ενώ αξιοποιώντας την διαθέσιμη βιβλιογραφία, επιχειρήθηκε μια σύγκριση των δύο συστημάτων (μονοκαλλιέργεια ενεργειακών φυτών - με καλλιέργεια κάλυψης κουκιών) ως προς την δυνητικά παραγόμενη ενέργεια, την καθαρή πρόσοδο και ως προς τις εκτιμώμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή της βιομάζας για κάθε σύστημα.

Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που διενεργήθηκαν, προκύπτει πως τα κουκιά (*Vicia faba* L.) αποτελούν πολύ καλή επιλογή για χρήση ως καλλιέργεια κάλυψης ή χλωρής λίπανσης, σε συστήματα μειωμένων εισροών αζώτου στις καλλιέργειες του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου, ως ψυχανθές κατάλληλο για εγκατάσταση και στους δύο εδαφικούς τύπους που εξετάστηκαν, με μεγάλη παραγωγικότητα σε σπόρο, αλλά και βιομάζα κατάλληλη για χρήση ως χλωρή λίπανση, κοντά στην άνθηση. Οι καλλιέργειες του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου που διαδέχτηκαν καλλιέργεια κουκιών παρουσίασαν μεγαλύτερη βασική απορρόφηση αζώτου και αυξημένο κλάσμα ανάκτησης του αζώτου της ανόργανης λίπανσης, και στους δύο εδαφικούς τύπους, καταλήγοντας σε υψηλότερες παραγωγές σε σπόρο ή ξηρή βιομάζα, και τα φυτά των τεμαχίων στα οποία είχε προηγηθεί καλλιέργεια κουκιών, επέδειξαν μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης σε ύψος, μεγαλύτερο τελικό ύψος, LAI και LAD, υψηλότερους ρυθμούς αφομοίωσης και τελικές παραγωγές σε ξηρή βιομάζα, σε όλες τις περιπτώσεις και για όλους τους συνδυασμούς εφαρμογής αζώτου, ανόργανου, οργανικού ή βιολογικής δέσμευσης. Οι καλλιέργειες κάλυψης φαίνεται να άσκησαν θετική επίδραση στα χαρακτηριστικά του εδάφους που μελετήθηκαν, ενισχύοντας την εδαφική δομή και μειώνοντας την διηθητική ικανότητα του αμμώδους εδάφους, ενώ αντιθέτως αύξησαν την διηθητική ικανότητα και χαλάρωσαν την εδαφική δομή στο αργιλώδες έδαφος. Φαίνεται πως μπορεί να συνεισφέρουν στην βελτίωση του ενεργειακού ισοζυγίου, με υψηλότερη απόδοση ενέργειας κάτω από μικρότερες ενεργειακές εισροές και ταυτόχρονα λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, από την χρήση βιομάζας των δύο ενεργειακών καλλιεργειών που μελετήθηκαν. Τέλος η πρακτική της χρήσης καλλιεργειών κάλυψης μπορεί να επιφέρει επιπρόσθετη καθαρή πρόσοδο, ειδικά στην περίπτωση που το προϊόν συγκομίζεται, συμβάλλοντας στην αύξηση του γεωργικού εισοδήματος από τις ενεργειακές καλλιέργειες.



## Πρόλογος και Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της συγγραφής της διδακτορικής μου διατριβής, είναι δύσκολο να προσπαθήσω να περιγράψω τα συναισθήματα που αφήνει το τέλος της επίπονης και συνάμα υπέροχης αυτής διαδρομής. Η χαρά και η ανακούφιση της υλοποίησης μιας προσπάθειας ετών, διαδέχεται την γλυκόπικρη αίσθηση που αφήνει κάθε ταξίδι που τελειώνει, φέρνοντας στο νου αναμνήσεις από όλες τις ξεχωριστές στιγμές που έζησα στην διάρκειά του. Είναι ξεκάθαρη όμως μέσα μου η ανάγκη, να ευχαριστήσω δημόσια όλους εκείνους τους ανθρώπους με τους οποίους μοιράστηκα τις αγωνίες, τις χαρές, τις απογοητεύσεις και τις μικρές ήττες και νίκες όλων αυτών των χρόνων, και που βοήθησαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στην αίσια έκβαση της μεγάλης αυτής περιπέτειας προς την γνώση. Ανάμεσά τους θα ήθελα να ξεχωρίσω ορισμένους, καθώς η συμβολή τους στην πραγματοποίηση της διατριβής μου ήταν επίσης ξεχωριστή.

Πρώτον από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου και επιβλέποντα της εργασίας αυτής Αν. Πρύτανη του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Νικόλαο Δαναλάτο, ο οποίος με παροτρύνε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και αποτέλεσε τον καθοδηγητή μου σε όλη την διάρκεια της διδακτορικής διατριβής. Καθηγητής μου από τον μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών, με ενέπνευσε να ασχοληθώ με την έρευνα, μοιράστηκε μαζί μου την ερευνητική και συγγραφική του πείρα και αποτέλεσε παράδειγμα προς μίμηση με την ακεραιότητα του χαρακτήρα του, την απλότητα της συμπεριφοράς του και τον μοναδικό τρόπο σκέψης του. Πάνω απ' όλα όμως θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την ευκαιρία που τόσο γενναιόδωρα μου έδωσε να ξεκινήσω την διδακτορική μου διατριβή, αλλά και την πραγματική στήριξη σε όλους τους τομείς που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια ολοκλήρωσής της. Επέδειξε στο πρόσωπό μου τόση εμπιστοσύνη και αγάπη, ώστε να έχω κερδίσει εκτός από έναν υπέροχο δάσκαλο και ένα σπάνιο φίλο.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Παναγιώτη Ευθυμιάδη, Καθηγητή Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, μέλος της τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, για την πολύτιμη στήριξη του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησεως αυτής της διατριβής, αλλά και πέρα από την συμβολή του στην παρούσα διατριβή, καθώς έθεσε τις επιστημονικές μου βάσεις γύρω από την γεωργία από τα προπτυχιακά μου χρόνια, συνεχίζοντας να είναι πολύτιμος αρωγός σε όλη την μεταπτυχιακή μου πορεία.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Γεώργιο Ζαλίδη, Καθηγητή Ρύπανσης και Υποβάθμισης Εδαφών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, μέλος της τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, για την ουσιαστική συμβολή του στην βελτίωση και

ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Η στήριξη που μου προσέφερε υπήρξε απλόχερη, η ανταπόκρισή του άμεση και συνοδευόταν πάντοτε με αίσθημα εμπιστοσύνης και καλοσύνης.

Θα ήταν παράλειψη να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Διευθύντρια του Εργαστηρίου εδαφολογίας του Π.Θ., Καθηγήτρια κα Ανθούλα Δημήρκου, και τον Αν. Διευθυντή του Ι.Χ.Τ.Ε. Λάρισας, Ερευνητή Α΄ κ. Δημήτριο Δημογιάννη, για την πολύτιμη βοήθεια τους, την παροχή του υλικοτεχνικού εξοπλισμού και τις ουσιώδεις επιστημονικές συμβουλές τους, χωρίς τα οποία το εδαφολογικό κομμάτι της διατριβής δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών του Π.Θ. για την παροχή υλικοτεχνικής υποστήριξης και για την βοήθεια τους όλο το διάστημα διεκπεραίωσης της διατριβής και ιδιαιτέρως την Δρ. Ελπινίκη Σκουφογιάννη για την συνεργασία στο πειραματικό κομμάτι και τον Δρ. Δημήτρη Μπαρτζιάλη που τόσο ανιδιοτελώς ανταποκρίθηκε σε όποια πρόκληση χρειάστηκε να αντιμετωπίσουμε όλα αυτά τα χρόνια.

Επίσης, δεν θα ήθελα να παραλείψω να ευχαριστήσω το προσωπικό της Γραμματείας του Μεταπτυχιακού του οικείου Τμήματος του Π.Θ. και ειδικά τον Δρ. Χρήστο Παπανικολάου, για την πολύτιμη διοικητική υποστήριξη.

Φυσικά, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Φώτη και Βασιλική που με σεβασμό στις επιλογές μου, συμπαραστάθηκαν όχι μόνο κατά την διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής αλλά και ολόκληρων των σπουδών μου και μου παρείχαν το απαραίτητο αίσθημα οικονομικής ασφάλειας, για την απρόσκοπτη ενασχόληση με την έρευνα. Εξίσου ευχαριστώ τους γονείς της συζύγου μου Λουκά και Γεωργία, τους οποίους η διαμονή μου κοντά τους κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών κατέστησε δεύτερους γονείς μου και που με περιέβαλαν με περισσή αγάπη και στήριξη σε αυτή μου την προσπάθεια. Θέλω ακόμη να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Γιάννη και τον αδερφό της συζύγου μου Αρχοντή, που στάθηκαν δίπλα μου πάντα, βοηθώντας με όποιο τρόπο μπορούσαν.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους πιο δικούς μου ανθρώπους, την οικογένειά μου. Πρώτα την αγαπημένη μου σύζυγο Δρ. Εύη Τίγκα, ακούραστο συνοδοιπόρο μου στη ζωή αλλά και την ακαδημαϊκή εξέλιξη, χωρίς την παρότρυνση, την εμπιστοσύνη και στήριξη της οποίας πολλές από τις αποφάσεις μου ίσως να είχαν παραμείνει απλά επιθυμίες. Και βέβαια, τον αγαπημένο μου υιό, τον μικρό μου Φώτη στον οποίο και αφιερώνω την διατριβή μου ως δείγμα της αγάπης μου αλλά και ως έμπρακτη συγνώμη, για τις ώρες πατρικού παιχνιδιού που του στέρησα καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησής της. Μόλις ενός έτους όταν ξεκίνησα το διδακτορικό μου, υπήρξε το μεγαλύτερο αντιζύγιο σε κάθε δυσκολία που χρειάστηκε να αντιμετωπίσω όλα αυτά τα χρόνια, δίνοντας μου ασύγκριτη χαρά και δύναμη μόνο και μόνο με την παρουσία του στην ζωή μου και την αγκαλιά μου.

*Ψαρεύοντας έρχεται η θάλασσα...*

(Οδ. Ελύτης)



*Στον μικρό μου Φώτη*



## Πίνακας Περιεχομένων:

|  |    |
|--|----|
| <b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>   |    |
| 1.1. Βιομάζα και παραγωγή ενέργειας.....   | 1  |
| 1.2. Ενεργειακές καλλιέργειες.....   | 4  |
| 1.2.1. <i>Zea mays</i> .....   | 8  |
| 1.2.2. <i>Sorghum bicolor</i> .....  | 10 |
| 1.3. Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα, προβληματισμοί και προοπτικές<br>γύρω από τις ενεργειακές καλλιέργειες και την βιοενέργεια..... | 12 |
| 1.3.1. Ο ρόλος των καλλιεργητικών πρακτικών.....   | 14 |
| 1.4. <i>Vicia faba</i> .....   | 17 |
| 1.4.1. Ο ρόλος των κουκιών στα γεωργικά συστήματα.....   | 17 |
| 1.4.2. Βιολογική δέσμευση αζώτου στα κουκιά.....   | 19 |
| 1.4.3. Επίδραση των κουκιών στην ακολουθούμενη καλλιέργεια.....  | 19 |
| 1.5. Ιδιαιτερότητες των γεωργικών συστημάτων με καλλιέργειες<br>κάλυψης ψυχανθών και ανάγκη διερεύνησής τους.....                  | 20 |
| 1.6. Σκοπός της μελέτης.....   | 23 |
| <b>2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ</b>  |    |
| 2.1. Πειραματικοί αγροί.....   | 25 |
| 2.2. Πειραματικό σχέδιο.....   | 27 |
| 2.3. Καλλιεργητική τεχνική και φροντίδες.....  | 29 |
| 2.3.1. <i>Vicia faba</i> .....   | 27 |
| 2.3.2. <i>Zea mays</i> .....   | 31 |
| 2.3.3. <i>Sorghum bicolor</i> .....  | 33 |
| 2.4. Μετρήσεις και υπολογισμοί.....  | 35 |
| 2.4.1. Πειράματα παρακολούθησης της αύξησης των καλλιεργειών.....  | 35 |
| 2.4.2. Πειράματα υπολογισμού του δυναμικού παραγωγής και της<br>αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου.....                              | 39 |
| 2.4.3. Πειράματα εκτίμησης της σταθερότητας της εδαφικής δομής.....  | 42 |
| 2.4.4. Πειράματα υπολογισμού της διηθητικότητας του εδάφους.....   | 45 |
| 2.4.5. Μετεωρολογικά δεδομένα.....   | 47 |
| <b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>  |    |
| 3.1. Μετεωρολογικά δεδομένα.....   | 49 |
| 3.2. Πειράματα παρακολούθησης της αύξησης (growth) των καλλιεργειών...   | 53 |
| 3.2.1. <i>Vicia faba</i> .....   | 53 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.2.1.1. Φύτρωμα και εγκατάσταση.....                                   | 54         |
| 3.2.1.2. Βλαστική περίοδος.....   | 54         |
| 3.2.1.3. Ανάπτυξη φυλλικής επιφάνειας.....                              | 57         |
| 3.3.1.4. Αναπαραγωγική περίοδος - παραγωγή ξηρής ουσίας.....            | 58         |
| 3.3.1.5. Παραγωγή σπόρου.....   | 60         |
| 3.2.2. <i>Zea mays</i> .....  | 61         |
| 3.2.2.1. Ύψος φυτών.....  | 61         |
| 3.2.2.2. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI).....                         | 66         |
| 3.2.2.3. Παραγωγή βιομάζας και σπόρου.....                              | 70         |
| 3.2.3. <i>Sorghum bicolor</i> .....                                     | 78         |
| 3.2.3.1. Ύψος φυτών.....  | 78         |
| 3.2.3.2. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI).....                         | 82         |
| 3.2.3.3. Παραγωγή βιομάζας .....  | 86         |
| <b>3.3. Πειράματα υπολογισμού του δυναμικού παραγωγής και της</b>       |            |
| <b>αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου.....</b>                            | <b>95</b>  |
| 3.3.1. <i>Zea mays</i> .....  | 95         |
| 3.3.1.1. Σχέση διαθέσιμου αζώτου - παραγωγής σπόρου και βιομάζας.....   | 95         |
| 3.3.1.2. Σχέση διαθέσιμου αζώτου – απορρόφησης αζώτου.....              | 102        |
| 3.3.1.3. Σχέση απορρόφησης αζώτου – παραγωγής σπόρου.....               | 108        |
| 3.3.2. <i>Sorghum bicolor</i> .....                                     | 112        |
| 3.3.2.1. Παραγωγή βιομάζας.....   | 112        |
| 3.3.2.2. Παραγωγή βιομάζας και διαθεσιμότητα αζώτου.....                | 116        |
| 3.3.2.3. Παραγωγή βιομάζας και NUE.....                                 | 119        |
| <b>3.4. Εκτίμηση παραγόμενης ενέργειας.....</b>                         | <b>128</b> |
| 3.4.1 <i>Zea mays</i> .....   | 130        |
| 3.4.2. <i>Sorghum bicolor</i> .....                                     | 135        |
| <b>3.5. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.....</b>                        | <b>139</b> |
| <b>3.6. Δομή και διηθητικότητα του εδάφους.....</b>                     | <b>144</b> |
| <b>3.7. Οικονομική ανάλυση σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης. ....</b> | <b>153</b> |
| <b>4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>   | <b>161</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>  | <b>165</b> |
| <b>SUMMARY.....</b>   | <b>187</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....</b>   | <b>189</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....</b>  | <b>203</b> |



## Κατάλογος Πινάκων:

- Πίνακας I.** Εθνική έκταση στην οποία καλλιεργείται αραβόσιτος ( $\geq 20.000$  ha), ποσοστό σε σχέση με την συνολική καλλιεργήσιμη έκταση και ενεργειακές εκροές..... **Σελ. 9**
- Πίνακας II.** Εύρος παραγωγής και ενεργειακό ισοζύγιο των κυριότερων ενεργειακών καλλιεργειών στην περιοχή της Μεσογείου.....**Σελ. 11**
- Πίνακας III.** Εδαφικές αναλύσεις των δύο πειραματικών αγρών (μέσοι όροι).....**Σελ.26**
- Πίνακας IV.** Ημερομηνίες σποράς και μετέπειτα φαινολογικών σταδίων για την καλλιέργεια του κουκιού, στις δύο περιοχές και τα τρία έτη.....**Σελ.29**
- Πίνακας V.** Αγρονομικά δεδομένα για την καλλιέργεια του αραβόσιτου στις δύο περιοχές και τα τρία έτη.....**Σελ.32**
- Πίνακας VI.** Ημερομηνίες σποράς και μετέπειτα φαινολογικών σταδίων για την καλλιέργεια του σόργου, στις δύο περιοχές και τα τρία έτη.....**Σελ.33**
- Πίνακας VII.** Ημερομηνίες διεξαγωγής δειγματοληψιών των τριών καλλιεργειών, στις δύο περιοχές και τα δύο έτη.....**Σελ.36**
- Πίνακας VIII.** Τιμές των παραμέτρων παρακολούθησης της αύξησης και ανάπτυξης της καλλιέργειας *Vicia faba*, στις δύο περιοχές και τα δύο έτη.....**Σελ.58**
- Πίνακας IX.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, παραγωγή σπόρου, ολικό απορροφημένο άζωτο και απορροφημένο άζωτο στον σπόρο της καλλιέργειας του αραβόσιτου σε αμμοπηλώδες έδαφος κατά το 2007, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.....**Σελ.96**
- Πίνακας X.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, παραγωγή σπόρου, ολικό απορροφημένο άζωτο και απορροφημένο άζωτο στον σπόρο της καλλιέργειας του αραβόσιτου σε αμμοπηλώδες έδαφος κατά το 2008, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.....**Σελ.97**
- Πίνακας XI.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, παραγωγή σπόρου, ολικό απορροφημένο άζωτο και απορροφημένο άζωτο στον σπόρο της καλλιέργειας του αραβόσιτου σε αμμοπηλώδες έδαφος κατά το 2009, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή

λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.....Σελ.98

**Πίνακες XII, XIII και XIV.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, παραγωγή σπόρου, ολικό απορροφημένο άζωτο και απορροφημένο άζωτο στον σπόρο της καλλιέργειας του αραβόσιτου σε αργιλώδες έδαφος κατά το 2007, 2008 και 2009, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.....Σελ.99-100

**Πίνακας XV.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, (συνολικής και βλαστών) και απορροφημένο άζωτο (συνολικό και βλαστών) της καλλιέργειας του ινόδου σόργου σε αμμοπηλώδες έδαφος κατά το 2007, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.....Σελ.113

**Πίνακας XVI.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, (συνολικής και βλαστών) και απορροφημένο άζωτο (συνολικό και βλαστών) της καλλιέργειας του ινόδου σόργου σε αργιλώδες έδαφος κατά το 2007, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.....Σελ.114

**Πίνακες XVII και XVIII.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας (συνολικής και βλαστών), και ολικό απορροφημένο άζωτο της καλλιέργειας του ινόδου σόργου σε αμμοπηλώδες (Τρίκαλα) και αργιλώδες (Σωτήριο) έδαφος κατά το 2008 και 2009, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.....Σελ.115

**Πίνακας XIX.** Φυσικό-χημικές ιδιότητες της βιοαιθανόλης .....Σελ.129

**Πίνακας XX.** Δείκτης εδαφικής αστάθειας β για τις τρεις μεταχειρίσεις με καλλιέργεια κάλυψης κουκιών (I= ενσωμάτωση στο έδαφος, H= συγκομισμένη καλλιέργεια και C= μονοκαλλιέργεια), σε αμμοπηλώδες και αργιλώδες έδαφος.....Σελ.144

**Πίνακας XXI.** Υδραυλική αγωγιμότητα (Ktr), απορροφητικότητα (S) και ρυθμός διήθησης (Inf. Rate), για τις τρεις μεταχειρίσεις με καλλιέργεια κάλυψης κουκιών (I= ενσωμάτωση στο έδαφος, H= συγκομισμένη καλλιέργεια και C= μονοκαλλιέργεια), σε αμμοπηλώδες και αργιλώδες έδαφος.....Σελ.149

**Πίνακας XXII.** Δαπάνες (€ha) της καλλιέργειας των κουκιών μέχρι την ενσωμάτωση και μέχρι και την συγκομιδή του καρπού, και οικονομική ανάλυση της καθαρής προσόδου..... Σελ.156

**Πίνακας XXIII.** Δαπάνες (€ha) της καλλιέργειας του αραβόσιτου και του ινόδου σόργου σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης (N0=0, N1=80, N2= 160, N3=240, kg N

ha-1 για την καλλιέργεια του αραβόσιτου και N0=0, N1=50, N2= 100, N3=150, kg N ha-1 για την καλλιέργεια του ινώδους σόργου)..... Σελ.156-157

**Πίνακας XXIV.** Καθαρή πρόσδοδος (€ha) της καλλιέργειας του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου, για τα διάφορα επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως και τις προμεταχειρίσεις με κουκιά (ενσωμάτωση (Incorp.), καλλιέργεια κάλυψης (Harvest), μάρτυρας (Control)) στην περιοχή Τρικάλων και Σωτηρίου... ..Σελ.158

### Κατάλογος Εικόνων:

- Εικόνα 1.** Πειραματικός αγρός στο Σωτήριο (αριστερά) και στα Τρίκαλα. (δεξιά).....Σελ.25
- Εικόνα 2.** Σπορά *Vicia faba* στο Σωτήριο (αριστερά) και στα Τρίκαλα (δεξιά).....Σελ.31
- Εικόνα 3.** Μετρητής φυλλικής επιφανείας LI-COR (LI-3000A).....Σελ.37
- Εικόνα 4.** Συσκευή υγρής κοσκίνισης (αριστερά) και δείγματα εδάφους έτοιμα για υγρή κοσκίνιση (δεξιά).....Σελ.44
- Εικόνα 5.** Διηθητικόμετρο διπλού δακτυλίου (αριστερά) και σχηματικά η τοποθέτησή του σε κάτοψη (δεξιά).....Σελ.46
- Εικόνα 6.** Ο μετεωρολογικός σταθμός στον πειραματικό αγρό του Σωτηρίου.....Σελ.48
- Εικόνα 7.** Η καλλιέργεια των κουκιών σε διάφορα στάδια ανάπτυξής της το 2008 (a= φύτρωμα, b= βλαστικό στάδιο, c= άνθηση, d= γέμισμα σπόρων).....Σελ.53
- Εικόνα 8.** Αραβόσιτος: Πειραματικός αγρός στα Τρίκαλα (πάνω), πειραματικός αγρός στο Σωτήριο (μέση), ανάπτυξη του υβριδίου μικρού βιολογικού κύκλου-ύψος 110cm σε 31 ΗΜΦ (κάτω αριστερά) και γέμισμα του σπόρου σε 82 ΗΜΦ (κάτω δεξιά). .....Σελ.77
- Εικόνα 9.** Ινώδες σόργο, η πορεία προς την ωρίμανση στους πειραματικούς αγρούς του Σωτηρίου (αριστερά) και των Τρικάλων (δεξιά).....Σελ.94
- Εικόνα 10.** Ταξικαρπία του ινώδους σόργου (*Sorghum bicolor*).....Σελ.127

## Κατάλογος Σχημάτων:

- Σχήμα 1.** Συμμετοχή στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, των βασικών πηγών (πετρέλαιο, κάρβουνο, αέριο, πυρηνική και ανανεώσιμες πηγές) και των ανανεώσιμων πηγών (βιοενέργεια, υδροηλεκτρική, γεωθερμική, αιολική, ηλιακή). .....**Σελ.2**
- Σχήμα 2.** Τελική διάταξη στον αγρό, σε δύο κύκλους καλλιέργειας.....**Σελ.28**
- Σχήμα 3.** Χρόνος των δειγματοληψιών για τις δύο περιοχές, σε σχέση με το χρόνο των υπολοίπων επεμβάσεων του πειραματικού σχεδίου και καθ' όλη τη διάρκεια του.....**Σελ.43**
- Σχήμα 4.** Θερμοκρασία και υετός (μέσες τιμές 10 ημερών) για το 2007 και τις δύο περιοχές (Τρίκαλα και Σωτήριο) και οι αντίστοιχοι κλιματικοί μέσοι (EMY 1955-2005).....**Σελ.50**
- Σχήμα 5.** Θερμοκρασία και υετός (μέσες τιμές 10 ημερών) για το 2008 και τις δύο περιοχές (Τρίκαλα και Σωτήριο) και οι αντίστοιχοι κλιματικοί μέσοι (EMY 1955-2005).....**Σελ.51**
- Σχήμα 6.** Θερμοκρασία και υετός (μέσες τιμές 10 ημερών) για το 2009 και τις δύο περιοχές (Τρίκαλα και Σωτήριο) και οι αντίστοιχοι κλιματικοί μέσοι (EMY 1955-2005).....**Σελ.52**
- Σχήμα 7.** Εποχική εξέλιξη των παραμέτρων αύξησης της καλλιέργειας *Vicia faba* στις δύο περιοχές, το 2008 (αριστερά) και το 2009 (δεξιά).....**Σελ.56**
- Σχήμα 8.** Χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0.05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.....**Σελ.62**
- Σχήμα 9.** Χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD

- σε  $P<0.05$ ) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.....**Σελ.63**
- Σχήμα 10.** Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P<0.05$ ) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.....**Σελ.66**
- Σχήμα 11.** Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P<0.05$ ) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.....**Σελ.69**
- Σχήμα 12.** Εξέλιξη της συνολικής παραγωγής βιομάζας (TDM) του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P<0.05$ ) ανάμεσα στους μέσους.....**Σελ.70**
- Σχήμα 13.** Εξέλιξη της συνολικής παραγωγής βιομάζας (TDM) του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P<0.05$ ) ανάμεσα στους μέσους.....**Σελ.73**
- Σχήμα 14.** Συνολική παραγωγή σπόρου αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup>, σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων και τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P<0.05$ ) ανάμεσα στους μέσους.....**Σελ.75**
- Σχήμα 15.** Χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C=

μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0.05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης..... **Σελ. 79**

**Σχήμα 16.** Χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0.05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης..... **Σελ. 81**

**Σχήμα 17.** Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0.05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.....**Σελ. 83**

**Σχήμα 18.** Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0.05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.....**Σελ.84**

**Σχήμα 19.** Εξέλιξη της παραγωγής βιομάζας των βλαστών και φύλων του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0.05) ανάμεσα στους μέσους.....**Σελ. 87**

**Σχήμα 20.** Εξέλιξη της συνολικής παραγωγής βιομάζας (TDM) του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι

- κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P < 0.05$ ) ανάμεσα στους μέσους.....**Σελ. 88**
- Σχήμα 21.** Εξέλιξη της παραγωγής βιομάζας των βλαστών και φύλων του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P < 0.05$ ) ανάμεσα στους μέσους.....**Σελ. 90**
- Σχήμα 22.** Εξέλιξη της συνολικής παραγωγής βιομάζας (TDM) του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P < 0.05$ ) ανάμεσα στους μέσους.....**Σελ. 92**
- Σχήμα 23.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2007. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ.105**
- Σχήμα 24.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2008. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ.106**
- Σχήμα 25.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ.107**
- Σχήμα 26.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2007. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ.108**
- Σχήμα 27.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2008. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων..... **Σελ. 109**
- Σχήμα 28.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες

- έδαφος, το 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ. 110**
- Σχήμα 29.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2007. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ. 117**
- Σχήμα 30.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2008. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ. 118**
- Σχήμα 31.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ. 120**
- Σχήμα 32.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2007. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ. 121**
- Σχήμα 33.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2008. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ. 123**
- Σχήμα 34.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.....**Σελ.126**
- Σχήμα 35.** Εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης ( $\text{lt ha}^{-1}$ ) από σπόρο αραβόσιτου το 2008 (δεξιά) και το 2009 (αριστερά), για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης ( $0,80,160$  και  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).....**Σελ.130**
- Σχήμα 36.** Εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης ( $\text{lt ha}^{-1}$ ) από το σύνολο της βιομάζας του αραβόσιτου το 2008 (δεξιά) και το 2009 (αριστερά), για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης ( $0,80,160$  και  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω). Το κατώτερο τμήμα των στηλών αντιπροσωπεύει την εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης από



- τους σπόρους και το ανώτερο την εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς από τα υπολείμματα της καλλιέργειας.....**Σελ. 133**
- Σχήμα 37.** Εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας ( $\text{GJ ha}^{-1}$ ) από τη βιομάζα του ινώδους σόργου το 2008 (δεξιά) και το 2009 (αριστερά), για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης ( $0,50,100$  και  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).....**Σελ. 136**
- Σχήμα 38.** Εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης ( $\text{lt ha}^{-1}$ ) από το σύνολο της βιομάζας του ινώδους σόργου το 2008 (δεξιά) και το 2009 (αριστερά), για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης ( $0,50,100$  και  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).....**Σελ. 138**
- Σχήμα 39.** Εκτιμώμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ( $\text{kg CO}_2 \text{ eq}/10^3 \text{ kg } \Xi.\text{O.}$ ) από το σπόρο (επάνω) και από το σύνολο της βιομάζας (κάτω) του αραβόσιτου το 2009, για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (δεξιά) και σε αργιλώδες έδαφος (αριστερά).....**Σελ. 141**
- Σχήμα 40.** Εκτιμώμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ( $\text{kg CO}_2 \text{ eq}/10^3 \text{ kg } \Xi.\text{O.}$ ) της βιομάζας του ινώδους σόργου το 2009, για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (δεξιά) και σε αργιλώδες έδαφος (αριστερά).....**Σελ. 143**
- Σχήμα 41.** Εποχική διακύμανση του δείκτη  $\beta$  για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (πάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).....**Σελ. 146**
- Σχήμα 42.** Μεταβολή του ρυθμού διήθησης ( $\text{Inf\_rate, cm h}^{-1}$ ) για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (πάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).....**Σελ. 148**
- Σχήμα 43.** Μεταβολή υδραυλικής αγωγιμότητας της ζώνης μετάδοσης του νερού ( $K_{it, \text{ cm min}^{-1}}$ ) για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (πάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).....**Σελ. 151**

## Συντομογραφίες:

|                     |   |
|---------------------|---|
| ΑΠΕ:                | Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας   |
| ΕΕ:                 | Ευρωπαϊκή Ένωση   |
| ΕΜΥ:                | Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία   |
| ΗΜΦ:                | Ημέρες μετά το φύτευμα  |
| Ξ.Ο.:               | Ξηρή ουσία  |
| Ο.Ο.:               | Οργανική ουσία  |
| ΦΕΒ:                | Φαινόμενο Ειδικό Βάρος  |
| ASL:                | Υψόμετρο ( <i>Above Sea Level</i> ), m  |
| CGR:                | Ρυθμός αύξησης της καλλιέργειας ( <i>Crop growth rate</i> ), $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ |
| CO <sub>2</sub> eq: | Ισοδύναμο του CO <sub>2</sub> , kg  |
| GHG:                | Αέρια του θερμοκηπίου ( <i>greenhouse gases</i> )   |
| GS1:                | <i>Growth stage 1</i> , βλαστική περίοδος   |
| GS2:                | <i>Growth stage 2</i> , αναπαραγωγική περίοδος  |
| HI:                 | Δείκτης συγκομιδής, %   |
| ΚΤΟΕ:               | Χιλιάδες τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου  |
| LAD:                | Διάρκεια της φυλλικής επιφάνειας ( <i>Leaf area duration</i> ), $\text{m}^2 \text{ day}$        |
| LAI:                | Δείκτης φυλλικής επιφάνειας ( <i>Leaf area index</i> ), $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$             |
| LDW:                | Ξηρό βάρος των φύλλων ( <i>Leaf dry weight</i> ), Kg  |
| LSD:                | Ελάχιστη σημαντική διαφορά ( <i>Least significant difference</i> )                              |
| LWR:                | Αναλογία βάρους των φύλλων ( <i>Leaf weight ratio</i> ), $\text{kg kg}^{-1}$                    |
| MTOE:               | Εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου   |
| NAR:                | Καθαρός ρυθμός αφομοίωσης ( <i>Net assimilation rate</i> ), $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  |
| NEB:                | Ισοζύγιο καθαρής ενέργειας ( <i>Net Energy Balance</i> )  |
| NHI:                | Δείκτης συγκομιδής του αζώτου ( <i>N harvest index</i> ), %                                     |
| ns:                 | Μη σημαντική ( <i>no significant</i> )  |
| NRf:                | Καθαρό κλάσμα ανάκτησης αζώτου ( <i>N recovery fraction</i> ), %                                |
| NUE:                | Αποδοτικότητα χρήσης του αζώτου ( <i>Nitrogen use efficiency</i> ), $\text{kg kg}^{-1}$         |
| NUpE:               | Αποδοτικότητα απορρόφησης αζώτου ( <i>N uptake efficiency</i> ), $\text{kg kg}^{-1}$            |
| NUtE:               | Αποδοτικότητα αξιοποίησης αζώτου ( <i>N utilization efficiency</i> ), $\text{kg kg}^{-1}$       |
| SLA:                | Ειδική φυλλική επιφάνεια ( <i>Specific leaf area</i> ), $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$            |
| TDM:                | Συνολική ξηρή βιομάζα ( <i>Total dry mater</i> ), Kg.   |



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

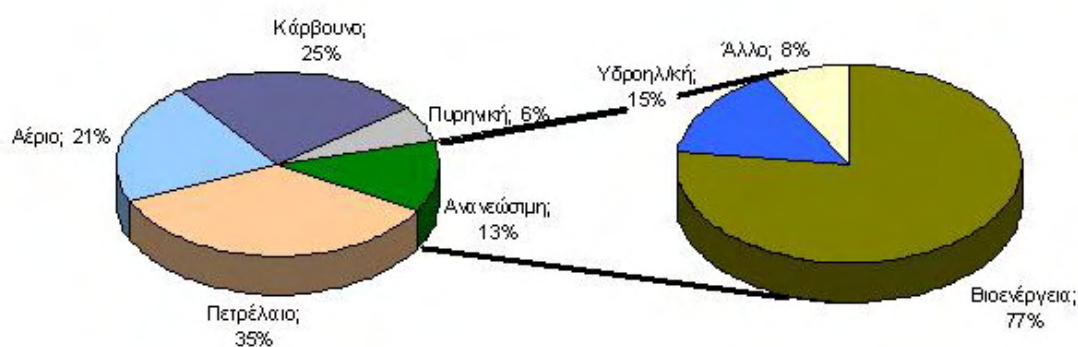
Τα συστήματα χρήσης γης γεωργικών δραστηριοτήτων, υπόκεινται σε διαρκείς μεταβολές παρακολουθώντας τόσο τις σύγχρονες τάσεις της γεωργίας, όσο και τις συνεχώς μεταβαλλόμενες κοινωνικό-οικονομικές ανάγκες. Οι παράγοντες αυτοί, αλλά και η ανησυχία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συμβατικών καυσίμων, την ασφάλεια ανεφοδιασμού και την επάρκεια των αποθεμάτων τους, έχουν διαμορφώσει τα τελευταία χρόνια, ένα διαρκώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ένταξη νέων καλλιεργειών για ενεργειακούς σκοπούς στις παραδοσιακές χρήσεις γης, αλλά και για την αξιοποίηση της παραγόμενης βιομάζας παραδοσιακών καλλιεργειών, καλά προσαρμοσμένων, για την παραγωγή ενέργειας.

### 1.1. Βιομάζα και παραγωγή ενέργειας.

Βιομάζα καλείται το φυτικό υλικό που παράγεται από την αντίδραση του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> με το νερό και την ηλιακή ενέργεια, μέσω της φωτοσύνθεσης, με δομικά στοιχεία τους υδρογονάνθρακες που προκύπτουν από την αντίδραση αυτή. Η ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται στους χημικούς δεσμούς των υδρογονανθράκων και εξάγεται από την βιομάζα με χημικές ή βιολογικές διαδικασίες, με παράλληλη οξείδωση του άνθρακα σε CO<sub>2</sub> και νερό, στοιχεία που είναι διαθέσιμα για την παραγωγή καινούργιας βιομάζας, σε μια κυκλική διαδικασία (McKendry, 2002). Η ενέργεια που παράγεται από την βιομάζα, κάτω από αυτό το πρίσμα, είναι αειφορική, συμβάλει στην βιώσιμη ανάπτυξη (Van den Broek, 2000), και έχει την δυνατότητα να αποτελέσει μία από τις κυρίαρχες πηγές ενέργειας στις αναπτυγμένες αλλά και στις υπό ανάπτυξη χώρες, με την παράλληλη συνεχή βελτίωση των τεχνολογιών μετατροπής (Hall and Scrase, 1998; Kartha and Larson, 2000; UNDP/WEC, 2001). Επίσης, η ενέργεια που παράγεται από την βιομάζα έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον λόγω των προοπτικών της σε θέματα ενεργειακής ασφάλειας, καθώς η πρώτη ύλη είναι διαθέσιμες σε τοπικό επίπεδο και η παραγωγή και μετατροπή τους είναι εφικτή χωρίς την ανάγκη υψηλών επενδύσεων, ενώ συνδυάζει και μια σειρά από άλλα πλεονεκτήματα όπως, θετική συμβολή στην προστασία των εδαφών από υποβάθμιση και δημιουργία νέων θέσεων εργασίας (Hoogwijk *et al.*, 2003). Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα όμως της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, σε σχέση με την ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα, είναι πως αποτελεί ανανεώσιμη πηγή και

συμβάλει στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας στην ατμόσφαιρα (Field *et al.*, 2007).

Πριν ακόμη την βιομηχανική επανάσταση, η ενέργεια από βιομάζα αποτελούσε την κυρίαρχη πηγή ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο (Fernandes *et al.*, 2007), ενώ ακόμη και σήμερα καλύπτει περίπου το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης, δηλαδή περίπου το ένα τρίτο της ενέργειας που παράγεται από πηγές εκτός των ορυκτών καυσίμων (Balat, 2011). Συνεισφέρει με ίση ενέργεια σε σχέση με τις άλλες δύο βασικές πηγές ενέργειας που δεν χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, την πυρηνική και την υδροηλεκτρική (EIA, 2007a) και με αρκετά περισσότερη ενέργεια από το σύνολο των υπολοίπων ανανεώσιμων πηγών (ηλιακή, αιολική, κ.ά.), που προς το παρόν ανέρχεται σε λιγότερο από 1% της παγκόσμιας κατανάλωσης (EIA, 2007b). Η βιομάζα μετατρέπεται σε δύο βασικά προϊόντα ενέργειας, α) ηλεκτρισμό/θερμότητα και β) στερεά/υγρά βιοκαύσιμα (McKendry, 2002), και παρότι τελευταία η προσοχή γύρω από την ενέργεια από βιομάζα εστιάζεται στην παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη και βιοντίζελ), τα προϊόντα αυτά καταλαμβάνουν μόνο το 2% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας από βιομάζα (Coyle, 2007), με την κατανομή του πιο πάνω ποσοστού ανάμεσα στις διάφορες χώρες να παρουσιάζει μεγάλη ανομοιομορφία.



**Σχήμα 1.** Συμμετοχή στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, των βασικών πηγών (πετρέλαιο, κάρβουνο, αέριο, πυρηνική και ανανεώσιμες πηγές) και των ανανεώσιμων πηγών (βιοενέργεια, υδροηλεκτρική, γεωθερμική, αιολική, ηλιακή).

(Πηγή: IEA Bioenergy, 2009)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει αναθέσει ένα σημαντικό ρόλο στην ενέργεια από βιομάζα (βιοενέργεια) ανάμεσα στις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), γιατί η βιομάζα είναι ΑΠΕ ήδη διαθέσιμη προς αξιοποίηση για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και θεωρείται ως σημαντική εναλλακτική πρόταση για την μείωση της ενεργειακής εξάρτησης της ΕΕ από εισαγόμενα καύσιμα (Berndes and Hansson, 2007). Ταυτόχρονα η παραγωγή της προωθείται λόγω των προοπτικών να συνεισφέρει και σε άλλους τομείς, όπως την οικονομία με την ανάπτυξη μία νέας εξαγωγικής βιομηχανίας και με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, αλλά και την γεωργία, με αξιοποίηση των νέων εκτάσεων μετά την διεύρυνση της ΕΕ για εγκατάσταση καλλιεργειών με προορισμό την παραγωγή ενέργειας. Ο σημαντικός ρόλος της βιοενέργειας φαίνεται και από την απόφαση να δικαιούνται οικονομικής ενίσχυσης τέτοιες καλλιέργειες σύμφωνα με την Κοινή Αγροτική Πολιτική της ΕΕ (EC, 2006a), ενώ ήδη από τον Δεκέμβριο του 2005 έχει τεθεί σε ισχύ ένα σχέδιο δράσης για την βιομάζα (Biomass Action Plan), που περιλαμβάνει μέτρα που διασφαλίζουν την χρήση της βιομάζας για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού και μεταφορών (EC, 2005a). Σύμφωνα με το σχέδιο δράσης και την αποτίμηση των αντίκτυπων, προωθείται το σενάριο όπου λίγο πάνω από τα τρία τέταρτα της συνολικής αύξησης της βιοενέργειας θα προέρχεται από στατικές εφαρμογές και το υπόλοιπο ένα τέταρτο από τον τομέα των μεταφορών. Στην ΕΕ-27, η βιομάζα συγκεντρώνει τα δύο τρίτα της ενέργειας από ΑΠΕ, δηλαδή περίπου το 4 % της καθαρής κατανάλωσης όλης της περιφέρειας, με τα βιοκαύσιμα να συνεισφέρουν περίπου το 0,5 % της συνολικής ενέργειας που δαπανάται σε μεταφορές, ενώ η συνολική διαθεσιμότητα της βιομάζας που πραγματικά μετατρέπεται σε ενέργεια ανέρχεται σε 314 ΜΤΟΕ (εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου), με προοπτική να ανέλθει σε 429 ΜΤΟΕ ως το 2020, ή τουλάχιστον σε 375 ΜΤΟΕ για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα του σεναρίου (Eurostat, 2010). Η αύξηση που επιδιώκεται είναι δυνατόν να επιτευχθεί είτε με την χρήση περισσότερων ευρωπαϊκών πόρων για παραγωγή βιομάζας, είτε με αύξηση των εισαγωγών (κυρίως σε βιοκαύσιμα), και καθώς οι δυνατότητες για παραγωγή βιομάζας διαφέρουν ανάμεσα στις χώρες μέλη, έχει προταθεί ακόμη και η ενδο-ευρωπαϊκή εμπορία τέτοιων μορφών βιοενέργειας, σε μια προσπάθεια να καλυφθεί ο συνολικός στόχος (Ericsson and Nilsson, 2006). Η Ελλάδα, όσο αφορά στην ενέργεια από βιομάζα, βρίσκεται λίγο πάνω από τον μέσο όρο που αναφέρθηκε για την ΕΕ-27, με ποσοστό 4,8 % επί της καθαρής συνολικής κατανάλωσης και με τα βιοκαύσιμα (κυρίως βιοντίζελ) να συνεισφέρουν το 0,54 % της συνολικής ενέργειας που

δαπανάται σε μεταφορές, ποσότητες που ανέρχονται σε 1.011 ΚΤΟΕ (χιλιάδες τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου) για την βιομάζα και 84 ΚΤΟΕ για το βιοντίζελ αντίστοιχα (CRES, 2007).

## 1.2. Ενεργειακές καλλιέργειες.

Οι διάφοροι τύποι βιομάζας μπορεί να χωριστούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: α) δασικά φυτά, β) ενεργειακές καλλιέργειες, γ) υδρόβια φυτά και άλγες και δ) κοπριές (McKendry, 2002). Ανάμεσα στις κατηγορίες αυτές, η πιο σημαντική φαίνεται να είναι οι ενεργειακές καλλιέργειες, δηλαδή καλλιέργειες φυτών υψηλής παραγωγικότητας που προορίζονται αποκλειστικά για χρήση σε ενεργειακές εφαρμογές, καθώς συνδυάζουν τα περισσότερα από τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν ως τώρα (Biomass Energy Centre, 2007). Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να χωριστούν με τη σειρά τους σε διάφορες υποκατηγορίες, ανάλογα με μια σειρά από χαρακτηριστικά τους ως προς τον τρόπο καλλιέργειας, τις φυσικές και ενεργειακές τους ιδιότητες, τον προσανατολισμό της χρήσης τους για συγκεκριμένες μορφές ενέργειας ή τεχνολογιών μετατροπής κ.ά.

Οι εγγενείς ιδιότητες των φυτών των ενεργειακών καλλιεργειών καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την επιλογή της τεχνολογίας μετατροπής και τις όποιες δυσκολίες μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια της διαδικασίας. Παρόμοια, η επιλογή της ενεργειακής καλλιέργειας και του τύπου της βιομάζας που παράγει, επηρεάζεται από τις ιδιαιτερότητες της παραγωγής συγκεκριμένων μορφών ενέργειας και στην ουσία η αλληλεπίδραση ανάμεσα σε αυτές τις δύο παραμέτρους, επιτρέπει την ευκαμψία των συστημάτων παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν τις ενεργειακές καλλιέργειες ως πρώτη ύλη. Από τις εγγενείς ιδιότητες των φυτών των ενεργειακών καλλιεργειών, το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν α) η περιεχόμενη υγρασία, β) η θερμιδική αξία, γ) η αναλογία δεσμευμένου άνθρακα και πτητικών, δ) το περιεχόμενο στάχτης/καταλοίπων, ε) το περιεχόμενο αλκαλικών μετάλλων και στ) η αναλογία κυτταρίνης/λιγνίνης, με τις πρώτες πέντε παραμέτρους να είναι σημαντικές για τις τεχνολογίες μετατροπής ξηρής βιομάζας (εξαέρωση, πυρόλυση, καύση), και την πρώτη και την τελευταία παράμετρο για τεχνολογίες μετατροπής υγρής βιομάζας (ζύμωση, διύλιση).

Για να χαρακτηριστεί μια καλλιέργεια ως κατάλληλη για ενεργειακούς σκοπούς θα πρέπει να συγκεντρώνει μια σειρά από χαρακτηριστικά, με σημαντικότερα ανάμεσα τους την υψηλή παραγωγικότητα (μέγιστη παραγωγή ξηρής

ουσίας ανά εκτάριο) και τις χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια, κόστος και θρεπτικά στοιχεία, ενώ επιθυμητά χαρακτηριστικά είναι επίσης η καλή προσαρμογή στις κλιματικές συνθήκες και το έδαφος της περιοχής εγκατάστασης, η χαμηλή κατανάλωση νερού (ειδικά σε περιοχές όπου το νερό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα), η ανταγωνιστικότητα στα ζιζάνια και η ανθεκτικότητα σε εχθρούς και ασθένειες (Saez *et al.*, 2000). Παράλληλα, για την επιτυχή εγκατάσταση μιας ενεργειακής καλλιέργειας σε μια περιοχή πρέπει να ληφθούν υπόψη παράμετροι όπως η εύκολη εισαγωγή της συγκεκριμένης καλλιέργειας στα υπάρχοντα συστήματα εναλλαγής καλλιεργειών, η ανταγωνιστικότητα του εισοδήματος που παρέχει έναντι των παραδοσιακών καλλιεργειών, το θετικό ενεργειακό ισοζύγιο (με έμφαση στην αναλογία εκροών/εισροών και στο καθαρό κέρδος, εκροές-εισροές), η αρμονικότητα των καλλιεργητικών τεχνικών με την βιώσιμη γεωργία, η διαθεσιμότητα γενετικού υλικού και η καταλληλότητα του μηχανολογικού εξοπλισμού (κυρίως για την συγκομιδή), έστω και αν είναι απαραίτητες μικρές τροποποιήσεις (Venturi and Venturi, 2003). Τέλος, η καλλιέργεια των ενεργειακών φυτών περιλαμβάνει και μια σειρά από περιβαλλοντικές παραμέτρους, δηλαδή η επιλογή της καλλιέργειας, η διαδικασία παραγωγής και το τελικό ενεργειακό προϊόν, θα πρέπει να είναι φιλικά προς το περιβάλλον, να κάνουν χρήση όσο δυνατόν λιγότερων πόρων και να επιτυγχάνουν την μέγιστη αποδοτικότητα αξιοποίησής τους, να ενέχουν όσο το δυνατόν λιγότερους κίνδυνους επιμόλυνσης και φυσικά να συνεισφέρουν στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (Barbanti *et al.*, 2006). Ειδικά για τις εκπομπές που σχετίζονται με την γεωργία, καθώς προκύπτουν από διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, η αποτίμηση των διαφόρων συστημάτων και γεωργικών πρακτικών απαιτεί διεξοδική ανάλυση των εκπομπών αυτών, ώστε να καλύπτεται ολόκληρη η παραγωγική διαδικασία και να συνυπολογίζεται ο κύκλος ζωής όλων γεωργικών εισροών (Flessa *et al.*, 2002). Διεξοδική ανάλυση χρήζει και η εκτίμηση των εκπομπών που προκύπτει από την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με το προϊόν των ενεργειακών καλλιεργειών, εξαιτίας της διαφορετικής επίδρασης στο αποτέλεσμα των αναλύσεων παραγόντων όπως ο τύπος της βιομάζας, η τεχνολογία μετατροπής ή το σύστημα αναφοράς, αν και γενικά σύμφωνα σε μελέτες για την αποδοτικότητα της αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων από βιομάζα στις διάφορες ειδικές ενεργειακές εφαρμογές (Kim and Dale, 2004a; Spatari *et al.*, 2005; Gnansounou *et al.*, 2009; Liska *et al.*, 2009; Stichnothe and Azapagic, 2009), προκύπτει πως όταν η αντικατάσταση γίνεται για την παραγωγή



ηλεκτρισμού και θερμότητας, κοστίζει γενικά λιγότερο και συμβάλει σε μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας στην ατμόσφαιρα, από ότι όταν η αντικατάσταση αφορά στην βενζίνη ή στο πετρέλαιο που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές, εξαιτίας μεγαλύτερων απωλειών ενέργειας κατά την μετατροπή της βιομάζας σε βιοκαύσιμο και μεγαλύτερων εισροών ενέργειας κατά την παραγωγή της βιομάζας, αλλά και κατά την μετατροπή σε βιοκαύσιμο (Gustavsson *et al.*, 1995; Kågeson, 2001).

Η πιο κοινή κατηγοριοποίηση των ενεργειακών καλλιεργειών ως τώρα, βασιζόταν στις χρήσεις της παραγόμενης βιομάζας, με τρεις κατευθύνσεις: 1) την παραγωγή βιοντίζελ, βασισμένη σε καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων, με εξαγωγή του ελαίου και εστεροποίησή του, 2) την παραγωγή βιοαιθανόλης, με ζύμωση καλλιεργειών πλούσιων σε σάκχαρα, άμυλο ή κυτταρίνη και 3) την παραγωγή βιομάζας με την καθαρή έννοια του όρου, από καλλιέργειες με υψηλή παραγωγή ξηρής ουσίας και την ενεργειακή εκμετάλλευσή της με καύση, πυρόλυση ή εξαέρωση (Venturi and Venturi, 2003).

1) Οι περισσότερες καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοντίζελ στην Ευρώπη είναι γνωστά φυτά που καλλιεργούνται και για διατροφικές χρήσεις. Από τις ετήσιες καλλιέργειες ξεχωρίζουν είδη όπως ο ηλίανθος (*Helianthus annuus* L.), η ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.) και η σόγια (*Glycine max* L.), καθώς και κάποια άλλα είδη της οικογένειας *Brassicaceae* και ειδικότερα είδη που ανήκουν στα γένη *Sinapis*, *Crambe*, *Brassica*, ενώ από τις πολυετείς καλλιέργειες ξεχωρίζουν η αγκινάρα (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* L.) και η αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus* var. *altilis* D.C.) (Mazzoncini *et al.*, 2002; Cosentino *et al.*, 2004; Cosentino *et al.*, 2005; Di Candilo *et al.*, 2005; Fernandez and Curt, 2005; Onofri *et al.*, 2005; Zanetti *et al.*, 2005; De Mastro *et al.*, 2006). Οι καλλιέργειες για την παραγωγή βιοντίζελ δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα καθώς καλλιεργούνται ήδη εδώ και πολλά χρόνια και οι καλλιεργητικές τεχνικές είναι πολύ καλά εμπεδωμένες, σε μεγάλο βαθμό μηχανοποιημένες, με τον απαραίτητο μηχανολογικό εξοπλισμό ήδη διαθέσιμο, ενώ δεν υπάρχουν προβλήματα στην μεταφορά και αποθήκευσή τους (Venturi and Venturi, 2003).

2) Για την παραγωγή βιοαιθανόλης χρησιμοποιούνται επίσης γνωστές καλλιέργειες φυτών που είχαν ως τώρα διατροφική χρήση και που συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες σακχάρων και αμύλου στα αποθηκευτικά τους όργανα. Στην

Ευρώπη ξεχωρίζουν οι καλλιέργειες του σιταριού (*Triticum* spp.), του αραβόσιτου (*Zea mays* L.), του γλυκού και του καρποδοτικού σόργου (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), και του ζαχαρότευτλου (*Beta vulgaris* L.), με το ενδιαφέρον των ερευνητών να επικεντρώνεται κυρίως στο σόργο, καθώς για τις υπόλοιπες καλλιέργειες υπάρχει αρκετή καλλιεργητική και ερευνητική εμπειρία (Foti and Cosentino, 2001; Venturi and Venturi, 2003; Cosentino *et al.*, 2007).

3) Από την πληθώρα των καλλιεργειών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιομάζας και μετά από μια πρώτη επιλογή που έγινε για την Ευρώπη στα τέλη της δεκαετίας του '90 μέσα από ειδικά ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα (FAIR CT96-2028, 2001; AIR CT92-0294, 1997; FAIR CT96-1704, 1998; AIR CT93-1089, 1999), το ενδιαφέρον έχει εστιαστεί κυρίως γύρω από το giant reed (*Arundo donax* L.), το μίσχανθο (*Miscanthus* spp.), το switchgrass (*Panicum virgatum* L.), την αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus* var. *altilis* D.C.), και το ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench) (Foti and Cosentino, 2001; Venturi and Bonari, 2004), ενώ υπάρχει και ενδιαφέρον γύρω από θαμνώδη είδη μικρού κύκλου (short rotation forestry), τα οποία όμως δεν έχουν ακόμη ενταχθεί στα συστήματα καλλιεργειών (Bonari, 2001, 2005; Bonari and Villani, 2004; Bonari *et al.*, 2005). Οι καλλιέργειες που έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον για παραγωγή βιομάζας έχουν πολύ υψηλές παραγωγές ξηρής ουσίας και μάλιστα ακόμη και οι μικρότερες συγκομιδές τους σε πειραματικό επίπεδο φτάνουν στο ίδιο περίπου επίπεδο του μέσου όρου συγκομιδής ξηρής ουσίας των παραδοσιακών καλλιεργειών (Venturi and Venturi, 2003).

Με την εξέλιξη των τεχνολογιών μετατροπής και ειδικότερα με την δυνατότητα παραγωγής βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς από λιγνοκυτταρινικές πρώτες ύλες, οι καλλιέργειες με υψηλή παραγωγικότητα σε ξηρή ουσία έχουν αποκτήσει μεγάλο ενδιαφέρον και για παραγωγή υγρών καυσίμων (Sanchez and Cardona, 2008), ενώ θα πρέπει να αναφερθεί και η αξιοποίηση αρκετών από τις ενεργειακές καλλιέργειες για παραγωγή βιοαερίου (Amon *et al.*, 2007), με σημαντική συμμετοχή στην συνολική ποσότητα της ενέργειας που παράγεται από την βιομάζα (στη ΕΕ-27 η συμμετοχή του βιοαερίου ήταν 7,5 MTOE (~7,8%) το 2008 (Eurostat, 2010)), όπως επίσης και η δυνατότητα αξιοποίησης στερεών βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών (π.χ. ηλεκτρικά τρένα) (Ohlrogge *et al.*, 2009). Όλες αυτές οι νέες τεχνολογίες και νέες χρήσεις επιτρέπουν την πολυχρηστική αξιοποίηση των περισσότερων ενεργειακών καλλιεργειών, καθιστώντας τις προσπάθειες απόλυτης κατηγοριοποίησης βάση των χρήσεων της παραγόμενης βιομάζας εξαιρετικά

δύσκολες, αλλά και προσωρινές τις όποιες ενδεικτικές κατηγορίες επιχειρηθεί να δημιουργηθούν.

Αντικείμενα της παρούσας μελέτης θα αποτελέσουν ο αραβόσιτος και το τινώδες σόργο, ως καλλιέργειες με προορισμό την παραγωγή βιομάζας για ενεργειακές εφαρμογές.

### 1.2.1. *Zea mays*.

Ο αραβόσιτος συγκεντρώνει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον σε σχέση με τις υπόλοιπες ενεργειακές καλλιέργειες, καθώς αποτελεί την κυρίαρχη πρώτη ύλη (μαζί με το ζαχαροκάλαμο) για την παραγωγή βιοαιθανόλης (Coyle, 2007), το πιο κοινό και διαδεδομένο βιοκαύσιμο (Singh *et al.*, 2010) και ταυτόχρονα την κυρίαρχη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου, και μάλιστα με τις υψηλότερες αποδόσεις στην Ευρώπη (Amon *et al.*, 2007). Η συμμετοχή της βιοαιθανόλης στην παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων ξεπερνά το 94% (RFA, 2007), καθώς πολλές χώρες προχωρούν σε αντικατάσταση τμήματος των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούν με βιοκαύσιμα, σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς. Στην ΕΕ, η ευρωπαϊκή οδηγία (2009/28/CE) επιβάλλει την συμμετοχή των βιοκαυσίμων σε ποσοστό 10% του συνόλου των καυσίμων των μεταφορών ως το 2020 (Rutz *et al.*, 2008; Xavier *et al.*, 2010).

Η επιλογή των καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης είναι ισχυρά συνδεδεμένη με τοπικούς κλιματικούς παράγοντες. Το 60 % της παγκόσμιας παραγωγής βιοαιθανόλης γίνεται με πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο σε χώρες της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής, με πρωτοπόρο την Βραζιλία, ενώ το υπόλοιπο 40 % από άλλες καλλιέργειες (Dufey, 2006), με την Βόρειο Αμερική να παράγει βιοαιθανόλη σχεδόν αποκλειστικά από αραβόσιτο, με ετήσια αύξηση της παραγωγής κατά 12,9 % από το 1998 έως σήμερα (Hattori and Morita, 2010) και την ΕΕ να χρησιμοποιεί ως βασική πρώτη ύλη αμυλούχους σπόρους (δημητριακά και αραβόσιτο), αλλά και καλλιέργειες όπως τα ζαχαρότευτλα και το γλυκό σόργο (Gonzalez-Garcia *et al.*, 2009; Mussatto *et al.*, 2010).

**Πίνακας I.** Εθνική έκταση στην οποία καλλιεργείται αραβόσιτος ( $\geq 20.000$  ha), ποσοστό σε σχέση με την συνολική καλλιεργήσιμη έκταση και ενεργειακές εκροές.

| Κράτος        | Έκταση<br>(ha $\times 10^3$ ) | Αροτραία γη<br>(%) | Εκροές ενεργ.<br>(GJ ha <sup>-1</sup> ) |
|---------------|-------------------------------|--------------------|---|
| Αλβανία       | 60                            | 10,34              | 35                                      |
| Αυστρία       | 185                           | 13,26              | 96                                      |
| Βέλγιο-Λουξ.  | 22                            | 2,82               | 102                                     |
| Βοσνία-Ερζεγ. | 199                           | 39,78              | 38                                      |
| Κροατία       | 377                           | 28,60              | 52                                      |
| Τσεχία        | 39                            | 1,25               | 63                                      |
| Γαλλία        | 1774                          | 9,69               | 89                                      |
| Γερμανία      | 363                           | 3,07               | 86                                      |
| Ελλάδα        | 212                           | 7,53               | 94                                      |
| Ουγγαρία      | 1088                          | 22,58              | 58                                      |
| Ιταλία        | 1025                          | 12,37              | 96                                      |
| Π.Γ.Δ.Μ.      | 39                            | 6,47               | 39                                      |
| Μολδαβία      | 407                           | 22,83              | 31                                      |
| Ολλανδία      | 14                            | 1,53               | 87                                      |
| Πολωνία       | 98                            | 0,69               | 57                                      |
| Πορτογαλία    | 176                           | 8,20               | 55                                      |
| Ρουμανία      | 3101                          | 33,35              | 30                                      |
| Ρωσία         | 644                           | 0,51               | 21                                      |
| Σλοβενία      | 47                            | 20,19              | 68                                      |
| Ισπανία       | 442                           | 3,08               | 92                                      |
| Ελβετία       | 22                            | 5,14               | 94                                      |
| Ουκρανία      | 1037                          | 3,13               | 28                                      |
| Γιουγκοσλαβία | 1326                          | 35,77              | 40                                      |

Πηγή: FAO, μέσοι όροι 5 ετών, 2006-2010.

Η βιοαιθανόλη που παράγεται με πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο, έχει υψηλό ισοζύγιο καθαρής ενέργειας (NEB), με μέσο όρο 9,3 που οφείλεται στην εύκολη ζύμωση των σακχάρων και την επαναχρησιμοποίηση των υπο-προϊόντων σαν πηγή ενέργειας κατά την διαδικασία μετατροπής (Macedo *et al.*, 2008), καθιστώντας το ζαχαροκάλαμο σαν την καλύτερη επιλογή ως πρώτη ύλη προερχόμενη από ενεργειακές καλλιέργειες. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες όμως βρίσκονται σε γεωγραφικό πλάτος όπου οι κλιματικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την καλλιέργεια του ζαχαροκάλαμου (κυρίως λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών και μικρότερης βροχόπτωσης), με αποτέλεσμα το ενδιαφέρον να έχει στραφεί στις καλλιέργειες των ζαχαρότευτλων και του γλυκού σόργου που αποτελούν πρώτες ύλες που επίσης παράγουν σακχαρώδη βιομάζα (Gonzalez-Garcia *et al.*, 2009). Δυστυχώς με τις ως τώρα τεχνολογίες μετατροπής, η NEB των συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης με πρώτη ύλη τα ζαχαρότευτλα είναι πολύ χαμηλή (1,22-1,6 (Malça and Freire, 2006;

Koga, 2008), ενώ στα ίδια χαμηλά επίπεδα κυμαίνεται και η NEB για τα συστήματα που χρησιμοποιούν το γλυκό σόργο, λόγω της χαμηλής απόδοσης σε σάκχαρα ανά μονάδα χρησιμοποιούμενης βιομάζας (Worley *et al.*, 1992; Monti and Venturi, 2003), αν και καταβάλλεται συνεχή προσπάθεια σε ερευνητικό επίπεδο για την βελτίωσή τους. Έτσι, η επιλογή της χρήσης των δημητριακών για την παραγωγή βιοαιθανόλης συνεχίζει να είναι ανταγωνιστική για τις περισσότερες χώρες της ΕΕ προς το παρόν, κυρίως καθώς ο ενεργειακός προσανατολισμός των καλλιεργειών επιτρέπει να αγνοούνται τα συνήθη ποιοτικά χαρακτηριστικά τους και να υιοθετούνται ποικιλίες και καλλιεργητικές τεχνικές που προάγουν μόνο τις υψηλές αποδόσεις και την βελτίωση του NEB (Balat *et al.*, 2008). Ανάμεσα στις αμυλούχες καλλιέργειες που προορίζονται για παραγωγή βιοαιθανόλης, επικρατεί μία ξεκάθαρη τάση (Πίνακας Ι) να προτιμώνται παραδοσιακά, τα C<sub>3</sub> φυτά (σιτάρι, κριθάρι) στις χώρες της βόρειας Ευρώπης και τα C<sub>4</sub> (αραβόσιτος) στις χώρες της κεντρικής και νότιας Ευρώπης, που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ηλιοφάνεια (McKendry, 2002). Τα C<sub>4</sub> φυτά συσσωρεύουν σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες ξηρής ουσίας στην βιομάζα που παράγουν και παρουσιάζουν καλύτερες προοπτικές ως πρώτη ύλη για ενεργειακή μετατροπή, καθιστώντας πρακτικά την καλλιέργεια του αραβόσιτου ως την μοναδική επιλογή για παραγωγή βιοαιθανόλης πρώτης γενιάς στις περιοχές της Μεσογείου, παρά τα σημαντικά μειονεκτήματα που εμφανίζει, όπως θα αναλυθούν στην συνέχεια.

### 1.2.2. *Sorghum bicolor*.

Το ινώδες σόργο είναι σίγουρα μία καλλιέργεια που χρήζει ενδιαφέροντος ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοενέργειας. Το *Sorghum bicolor*, μέλος της οικογένειας *Poaceae*, είναι τροπικής προέλευσης και ένα C<sub>4</sub> φυτό πολύ υψηλής φωτοσυνθετικής αποδοτικότητας, κάτω από κατάλληλες συνθήκες φωτός και θερμοκρασίας, καταδεικνύοντας μια πολύ καλή προοπτική για την παραγωγή βιομάζας (Dolciotti *et al.*, 1996). Η καταγωγή του βρίσκεται πιθανώς στη Αιθιοπία 5000 έως 7000 χρόνια πριν και καλλιεργείται σε 99 χώρες σε όλο τον κόσμο, καταλαμβάνοντας περίπου 44 εκατομμύρια εκτάρια γης, κυρίως σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές, όπου δεν είναι εφικτή η καλλιέργεια του αραβόσιτου.

Το ινώδες σόργο συγκεντρώνει μια σειρά από χαρακτηριστικά που καθιστούν την καλλιέργειά του για ενεργειακούς σκοπούς εξαιρετικά συμφέρουσα, ενώ φαίνεται να υπερτερεί από τις περισσότερες ενεργειακές καλλιέργειες σε όλους του τομείς (Πίνακας ΙΙ). Επειδή η καλλιέργεια του είναι ετήσια, κατέχει ένα σίγουρο

πλεονέκτημα έναντι των περισσότερων πολυετών ενεργειακών φυτών, που καθώς στην πλειοψηφία τους έχουν τροπική προέλευση, αντιμετωπίζουν δυσκολίες κατά την ξηρή θερινή περίοδο του Μεσογειακού περιβάλλοντος (Cosentino *et al.*, 2007). Την ίδια στιγμή πλεονεκτεί έναντι και των περισσότερων ετήσιων ενεργειακών φυτών (Venturi and Venturi 2008), καθώς έχει τις υψηλότερες παραγωγές σε χλωρή και ξηρή βιομάζα, με μεγάλους ρυθμούς συσσώρευσης ξηρής ουσίας (Cosentino *et al.*, 2007; Danalatos *et al.*, 2009; Beslemes *et al.*, 2012), είναι φιλικότερο στο περιβάλλον από την γεωπονική σκοπιά (Dalianis *et al.*, 1994) κυρίως λόγω των μικρών απαιτήσεων σε άζωτο (Duarte *et al.*, 2000; Cosentino *et al.*, 2008; Beslemes *et al.*, 2012) και νερό (Curt *et al.*, 2000; Sakellariou-Markantonaki and Papanikolaou, 2008; Danalatos *et al.*, 2009), ενώ έχει υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο (Cosentino *et al.*, 2002; Venturi and Venturi, 2003), που επειδή συνδυάζεται με μειωμένες εισροές, καταλήγει σε πολύ υψηλές αποδόσεις ενέργειας, πολύ υψηλό ισοζύγιο καθαρής ενέργειας και καθαρό ενεργειακό όφελος (Venturi and Venturi, 2003; Cosentino *et al.*, 2008). Το ινώδες σόργο είναι ένα φυτό πολύ καλά προσαρμοσμένο στις περιοχές τις νότιας Ευρώπης (Cosentino *et al.*, 2002; Venturi and Venturi, 2003), όπως και σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας (Dalianis *et al.*, 1994; Chatziathanassiou *et al.*, 1998) και τέλος ένα σημαντικό ειδικό πλεονέκτημα της καλλιέργειας είναι η εύκολη διαθεσιμότητα του σπόρου, ο οποίος παράγεται και σε διανέμεται στην ΕΕ, σε αντίθεση με αρκετά από τα τροπικά φυτά που χρησιμοποιούνται για ενεργειακούς σκοπούς (Lorenzoni *et al.*, 2005).

**Πίνακας II.** Εύρος παραγωγής και ενεργειακό ισοζύγιο των κυριότερων ενεργειακών καλλιεργειών στην περιοχή της Μεσογείου. (Οι εισροές ενέργειας έχουν εκτιμηθεί σε 13-25 και 8-22 GJ ha<sup>-1</sup> για τις ετήσιες και πολυετείς καλλιέργειες αντίστοιχα.)

| Καλλιέργεια  | Εύρος παραγωγής                 |                                | Ενεργ. Περιεχ. (GJ t <sup>-1</sup> ) | Ενεργειακό ισοζύγιο            |       |  |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------|--|
|              | Χλ. Βιομ. (t ha <sup>-1</sup> ) | Ξ. βιομ. (t ha <sup>-1</sup> ) |                                      | Απόδοση (GJ ha <sup>-1</sup> ) | NEB   | Εν. Όφελος (εκροές-εισροές) (GJ ha <sup>-1</sup> ) |
| Ινώδες σόργο | 50-100                          | 25-35                          | 16,7-16,9                            | 334-507                        | 13-39 | 309-494  |
| Γλυκό σόργο  | 50-100                          | 15-25                          | 16,7-16,9                            | 250-422                        | 10-32 | 225-409  |
| Κενάφ        | 70-100                          | 25-35                          | 15,5-16,3                            | 155-326                        | 6-25  | 130-313  |
| Κάναβη       | 25-35                           | 40-45                          | 16,0-18,0                            | 128-270                        | 5-20  | 103-257  |
| Μίσχανθος    | 40-70                           | 35-45                          | 17,6-17,7                            | 260-530                        | 12-66 | 238-522  |
| Giant reed   | 45-110                          | 35-40                          | 16,5-17,4                            | 240-600                        | 11-75 | 118-592  |
| Αγριαγκινάρα | 25-35                           | 40-45                          | 15,5-16,8                            | 155-252                        | 7-31  | 133-244  |
| Switchgrass  | 25-60                           | 35-45                          | 17,4-17,5                            | 174-435                        | 8-54  | 152-427  |

Πηγή: Cosentino *et al.*, 2008.

### **1.3. Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα, προβληματισμοί και προοπτικές γύρω από τις ενεργειακές καλλιέργειες και την βιοενέργεια.**

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα των ενεργειακών καλλιεργειών είναι στενά συνδεδεμένα με τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιοενέργειας που παράγεται από την εκμετάλλευση της βιομάζας τους και των τεχνολογικών ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζονται κατά την διαδικασία μετατροπής. Το κυριότερο σημείο στο οποίο υπερτερούν οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι σίγουρα η αειφορική παραγωγή, καθώς αποτελούνται από ένα ευρύ σύνολο, φυτικά είδη του οποίου μπορούν να καλλιεργηθούν απρόσκοπτα σε κάθε σημείο της γης, ενώ η ποικιλομορφία της παραγόμενης βιομάζας και οι διαθέσιμες τεχνολογίες επιτρέπουν την μετατροπή σε κάθε είδος ενέργειας και καυσίμων, ικανοποιώντας διαφορετικές ανάγκες (Saidur *et al.*, 2011), διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ενεργειακή αυτάρκεια. Η βιοενέργεια που παράγεται έχει θεωρητικά ισοσκελισμένο ισοζύγιο εκπομπών CO<sub>2</sub>, οπότε συμβάλει στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, συγκρινόμενη με την ενέργεια από ορυκτά καύσιμα (Menichetti and Otto, 2009; Magar *et al.*, 2011), και οι ενεργειακές καλλιέργειες, με σωστή διαχείριση, μπορούν να βελτιώσουν υποβαθμισμένα εδάφη (Tilman *et al.*, 2006) και την βιοποικιλότητα προβληματικών περιοχών (Baum *et al.*, 2009). Ταυτόχρονα προάγουν την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής εγκατάστασης, με την δημιουργία θέσεων εργασίας και την εξασφάλιση γεωργικού εισοδήματος στους καλλιεργητές, ενώ συμβάλουν θετικά σε μια ολόκληρη σειρά από περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά ζητήματα (Sims *et al.*, 2006).

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν αρκετές ανησυχίες και προβληματισμοί γύρω από τις ενεργειακές καλλιέργειες και την βιοενέργεια που παράγεται από την βιομάζα, εξαιτίας της γης και των πόρων που απαιτούνται για την παραγωγή της και της χαμηλής ενεργειακής απόδοσης των ως τώρα χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών μετατροπής, ειδικά σε ότι αφορά στα υγρά βιοκαύσιμα. Για παράδειγμα, στην ΕΕ η ζήτηση σε βιοαιθανόλη ανήλθε το 2010 σε 12,7 δις λίτρα, με την εγχώρια δυνατότητα παραγωγής να περιορίζεται σε μόλις 2 δις λίτρα ανά έτος (Zarzycki and Polska, 2007), μία δυσαναλογία που σημαίνει πως για καλυφθεί η ζήτηση από πρώτες ύλες που θα καλλιεργούνται εντός της ΕΕ, θα χρειαστεί περίπου το 13% της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης να αφιερωθεί στις ενεργειακές καλλιέργειες (Magar *et al.*,

2011). Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται ειδικά για την παραγωγή βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς, προέρχονται όπως ήδη αναφέρθηκε από καλλιέργειες οι οποίες αποτελούν παραδοσιακά τροφές για τον άνθρωπο και τα ζώα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένας επικίνδυνος ανταγωνισμός τροφής-ενέργειας ως προς την διαθεσιμότητα γης (Gray *et al.*, 2006; Bacovsky *et al.*, 2010), που συνεπάγεται αυξήσεις στις τιμές των παραγόμενων προϊόντων (Gonzalez-Garcia *et al.*, 2009; Mussatto *et al.*, 2010; Xavier *et al.*, 2010), κοινωνικές αναταραχές και αλλαγή των διατροφικών συνηθειών σε αναπτυσσόμενες οικονομίες, με πιθανό αποτέλεσμα την αναστολή στην εξέλιξη της βιομηχανίας της βιοενέργειας (Naylor *et al.*, 2007).

Παράλληλα, το NEB των περισσότερων συστημάτων παραγωγής υγρών βιοκαυσίμων είναι όπως ήδη περιγράφηκε πολύ μικρό, εξαιτίας των μεγάλων εισροών ενέργειας που απαιτούνται όχι μόνο για την χρήση των τρεχουσών τεχνολογιών μετατροπής, αλλά και για την παραγωγή των πρώτων υλών από ενεργειακές καλλιέργειες. Χαρακτηριστική είναι η εικόνα που παρουσιάζει η βιοαιθανόλη πρώτης γενιάς που παράγεται από αραβόσιτο, με την παγκόσμια παραγωγή σε σπόρο να ανέρχεται σε 700 εκατομμύρια τόνους (USDA, 2010), που αν μετατρέποταν ολόκληρη σε βιοαιθανόλη, με τις σημερινές τεχνολογίες, θα επαρκούσε για την κάλυψη μόλις του 6% της παγκόσμιας ζήτησης σε υγρά καύσιμα (BP, 2010), ενώ η ενέργεια που θα χρειαζόταν για την μετατροπή θα άγγιζε το 80-90% της ενέργειας της παραγόμενης βιοαιθανόλης (Farrell *et al.*, 2006; Hill *et al.*, 2006), που τελικά θα οδηγούσε σε μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το ορυκτά καύσιμα, μόλις κατά 1% (Field *et al.*, 2007).

Η βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης θα μπορούσε να προέλθει μέσα από την συμβολή της επιστήμης και της έρευνας στην βελτίωση των τεχνολογιών μετατροπής της βιομάζας και στον τρόπο παραγωγής της (Hattori and Morita, 2010). Ένα σημαντικό βήμα στον τεχνολογικό τομέα προς αυτή την κατεύθυνση, αποτελεί η ανάπτυξη της τεχνολογίας παραγωγής βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς από λιγνοκυτταρινικές πρώτες ύλες, η οποία θα επιτρέπει ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή των πρώτων υλών, θα αποδεσμεύει μεγάλο ποσοστό των καλλιεργήσιμων εκτάσεων από την παραγωγή ενέργειας και θα μειώνει τον ανταγωνισμό τροφής-ενέργειας (Rutz *et al.*, 2008; Bacovsky *et al.*, 2010), αναμένεται να τεθεί σε εφαρμογή σε εμπορική κλίμακα όμως μετά το 2015-2020 (Bacovsky *et al.*, 2010; Duer and Christensen, 2010). Τεχνολογικές εξελίξεις με μεγάλη συμβολή στο NEB των συστημάτων μετατροπής αποτελούν οι μονάδες συνδυασμένης



παραγωγής ενέργειας-θέρμανσης (combined heating power unit, CHP), οι τεχνολογίες ανακύκλωσης των μέσων ζύμωσης και οι νέες μέθοδοι βιοκατάλυσης, χημικής και θερμικής επεξεργασίας της βιομάζας (Alvarado-Morales *et al.*, 2009), χωρίς όμως να παρέχουν λύση στα υπόλοιπα προβλήματα.

### 1.3.1. Ο ρόλος των καλλιεργητικών πρακτικών.

Σημαντική βελτίωση στα προβλήματα που υπάρχουν γύρω από τις ενεργειακές καλλιέργειες και την παραγόμενη βιοενέργεια, μπορεί σίγουρα να προέλθει με την μεγιστοποίηση της παραγωγής των καλλιεργειών και/ή την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων εισροών κατά την καλλιέργειά τους, με τον συνδυασμό των προσπαθειών ανάμεσα σε ερευνητικούς τομείς όπως η βιοτεχνολογία, η γενετική, η γεωπονία και η μηχανολογία. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να επαναπροσδιοριστεί ο ρόλος των ενεργειακών καλλιεργειών και των χρήσεων γης στο σύστημα παραγωγής ενέργειας, με προσεκτικότερη επιλογή ως προς το ποια ενεργειακή καλλιέργεια θα πρέπει να καλλιεργηθεί, που θα πρέπει να καλλιεργείται και με ποιο τρόπο (Hattori and Morita, 2010). Έχουν ήδη αναφερθεί οι έρευνες που διεξήγαγε η ΕΕ ως προς την επιλογή των καταλληλότερων καλλιεργειών για ενεργειακές εφαρμογές στις διάφορες περιοχές της, βάση των επιθυμητών χαρακτηριστικών και της καταλληλότητας για εγκατάσταση, των κυριότερων φυτών υψηλής απόδοσης σε βιομάζα. Από την άλλη πλευρά, η μεγιστοποίηση της παραγωγής επιχειρείται κυρίως με την δημιουργία αποδοτικότερων ποικιλιών και υβριδίων και την βελτίωση σε τομείς όπως η εκμετάλλευση της ακτινοβολίας, η φωτοσυνθετική ικανότητα, η αποδοτικότητα των αρδεύσεων, των θρεπτικών κ.ά. (Sims *et al.*, 2006).

Στο άλλο σκέλος, βρίσκεται η προσπάθεια ελαχιστοποίησης των εισροών ενέργειας, με την έρευνα να επικεντρώνεται στην ένταξη των ενεργειακών καλλιεργειών σε συστήματα καλλιέργειας μειωμένων εισροών και την προώθηση καλλιεργητικών πρακτικών που συμβάλουν προς αυτή την κατεύθυνση. Αρκετές παραδοσιακές πρακτικές έχουν υιοθετηθεί για την εξοικονόμηση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και οι οποίες γενικά θεωρούνται φιλικότερες προς το περιβάλλον, όπως η συγκαλλιέργεια, η αμειψισπορά, η μειωμένη κατεργασία του εδάφους (Tilman *et al.*, 2006), με την μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας να επιτυγχάνεται από τις τεχνικές που αποσκοπούν στην μείωση των εισροών ανόργανου αζώτου, όπως οι καλλιέργειες κάλυψης με ψυχανθή (Crews and Peoples, 2004; Jensen *et al.*, 2010),

καλλιέργειες δηλαδή ψυχανθών που καλλιεργούνται κατά την χειμερινή περίοδο πριν την καλλιέργεια των ενεργειακών φυτών και που είτε συγκομίζονται αφού ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο, συνεισφέροντας στο έδαφος το άζωτο βιολογικής δέσμευσης από τα φυμάτια των ριζών τους, είτε ενσωματώνονται στο έδαφος ως χλωρή λίπανση (συνήθως κοντά στην άνθηση), συνεισφέροντας και οργανικό άζωτο. Η ανόργανη αζωτούχος λίπανση είναι υπεύθυνη για την κατανάλωση του μεγαλύτερου μέρους της ενέργειας που δαπανάται στις αροτραίες καλλιέργειες, φτάνοντας έως και το 50% των συνολικών ενεργειακών εισροών (Reed *et al.*, 1986; Kuesters and Lammel, 1999), καθώς το άζωτο αποτελεί το βασικότερο και πιο ενεργοβόρο θρεπτικό στοιχείο σε καλλιέργειες όπως ο αραβόσιτος (Kim and Dale, 2004a,b). Ενδεικτικά στον αραβόσιτο, απαιτείται ενέργεια από 1,99 έως 2,66 MJ/kg παραγόμενης βιομάζας, εκ των οποίων το 30% δαπανάται για την ανόργανη αζωτούχο λίπανση (Pimentel, 2002), ενέργεια που θα μπορούσε να εξοικονομηθεί με την παροχή αζώτου βιολογικής δέσμευσης ή οργανικής προέλευσης, από ψυχανθή. Η εναλλακτική αυτή στην παροχή αζώτου συγκεντρώνει μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς είναι ανανεώσιμη, καθαρή και περιβαλλοντολογικά φιλικότερη από ότι τα βιομηχανικά αζωτούχα λιπάσματα (Giller, 2001; Jensen and Hauggaard – Nielsen, 2003), ενώ την ίδια στιγμή δεν απαιτεί ορυκτή ενέργεια για την παρασκευή, μεταφορά και διασπορά της, όπως τα βιομηχανικά αζωτούχα λιπάσματα (Smil, 2001) και δεν ενέχει κινδύνους για το περιβάλλον και την υγεία από πιθανή νιτρορύπανση (Peoples *et al.*, 2004).

Οι καλλιέργειες κάλυψης με ψυχανθή και η χλωρή λίπανση με ψυχανθή είναι ευρέως αποδεκτές ως πρακτικές που συμβάλουν στην αειφορία των γεωργικών συστημάτων (Crews and Peoples, 2005), λόγω της ανανεώσιμης φύσης του αζώτου που παρέχουν, της αυξημένης παραγωγικότητας του όλου συστήματος, καθώς και της μεγαλύτερης αποδοτικότητας αξιοποίησης του φωτός, του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από τη ακολουθούμενη καλλιέργεια (Willey, 1979) και ταυτόχρονα παρέχουν μια σειρά από άλλα πλεονεκτήματα όπως μεγαλύτερη αξιοπιστία του συστήματος από χρονιά σε χρονιά (Helenius, 1990), καλύτερη ποιότητα βιομάζας (Prithiviraj, 2000) και έλεγχο των ζιζανίων (Bilalis, 2003), πλεονεκτήματα που μπορούν να μεταφραστούν σε ενεργειακό κέρδος. Σε αμμώδη εδάφη, τα πλεονεκτήματα των καλλιεργειών κάλυψης με ψυχανθή συνδυάζονται με την αποφυγή του κινδύνου επιφανειακής διάβρωσης και διατήρησης της οργανικής ουσίας του εδάφους σε αποδεκτά επίπεδα, ειδικά όταν γίνεται χρήση τους ως χλωρή

λίπανση (Kosmas *et al.*, 2000; Salmeron-Miranda *et al.*, 2007), επιτρέποντας την ένταξη «φτωχών» εδαφών ή εδαφών με φθίνουσα γονιμότητα σε συστήματα χρήσης γης για ενεργειακούς σκοπούς, χωρίς την ανάγκη εφαρμογής μεγάλων ποσοτήτων ανόργανων λιπασμάτων για την διατήρηση της παραγωγής σε υψηλά επίπεδα. Η προοπτική της αξιοποίησης των εδαφών αυτών ή εγκαταλειμμένων εδαφών ή εδαφών ακατάλληλων για την παραγωγή τροφίμων, θα μπορούσε να συμβάλει στην αύξηση της παραγωγής βιοενέργειας, μέσα από την αύξηση της διαθέσιμης γης για την καλλιέργεια των ενεργειακών φυτών, αλλά και να συμβάλει στην μείωση του ανταγωνισμού ενέργειας-τροφίμων (Rutz *et al.*, 2008; Hattori and Morita, 2010).

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης θα αποτελέσουν τα κουκιά, ως καλλιέργεια κάλυψης και χλωρής λίπανσης ψυχανθούς, στα συστήματα των ενεργειακών καλλιεργειών του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου.

#### 1.4. *Vicia faba*.

Τα κουκιά (*Vicia faba* L.) ανήκουν στα ψυχανθή και καλλιεργούνται σε όλες τις χώρες του κόσμου για την παραγωγή καρπών (όσπρια), ή την χρήση ως χλωρή λίπανση. Πρόκειται για φυτό ιθαγενές στην λεκάνη της Μεσογείου, στην οποία καλλιεργείται εδώ και 8-10.000 χρόνια (Zohary and Hopf, 2000), καθώς αποτελεί σημαντική καλλιέργεια σε ήπια, ζεστά κλίματα και υποτροπικές περιοχές. Είναι σπουδαία πηγή τροφής στις αναπτυσσόμενες χώρες, πλούσια σε πρωτεΐνη, και καταναλώνεται τόσο από τον άνθρωπο, όσο και από τα κτηνοτροφικά ζώα (Duke, 1981). Η καλλιέργεια των κουκιών είναι καλύτερα κατανεμημένη στον παγκόσμιο χάρτη από ότι των άλλων ψυχανθών, και η συνολική έκταση που καταλαμβάνουν ήταν 2,6 εκατομμύρια ha το 2006, με μεγαλύτερη παραγωγό χώρα την Κίνα, ακολουθούμενη από την Αιθιοπία και την ΕΕ, ενώ η μέση παγκόσμια παραγωγή για το 2006 ανήλθε σε 1,8 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2008).

##### 1.4.1. Ο ρόλος των κουκιών στα γεωργικά συστήματα.

Τα κουκιά συνεισφέρουν στην βιωσιμότητα των γεωργικών συστημάτων μέσω: 1) της ικανότητάς τους να παρέχουν άζωτο (N) στο σύστημα μέσα από βιολογική δέσμευση ατμοσφαιρικού N<sub>2</sub>, 2) της παροχής ποικιλομορφίας στο σύστημα, που οδηγεί σε μείωση των ζιζανίων, εχθρών και ασθενειών και πιθανώς σε αύξηση της βιο-ποικιλότητας, 3) της μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας ορυκτής προέλευσης κατά την καλλιεργητική διαδικασία και 4) της παροχής τροφής και ζωοτροφών, πλούσιων σε πρωτεΐνες (Jensen *et al.*, 2010). Αποτελούν άριστη επιλογή για συστήματα αμειψισπορών ή για χρήση ως καλλιέργεια κάλυψης, και η ένταξη τους σε τέτοια συστήματα συμβάλει σε πολύ μεγάλο βαθμό ώστε στην ακολουθούμενη καλλιέργεια να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας ορυκτής προέλευσης και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Nemecek *et al.*, 2008; Peoples *et al.*, 2009b), καθώς και να γίνεται καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων (έδαφος, θρεπτικά στοιχεία-ειδικά το εδαφικό άζωτο, φως, νερό) (Willey, 1979; Martin and Snaydon, 1982; Bulson *et al.*, 1997; Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2008), ενώ μπορεί να βελτιωθεί η σταθερότητα της παραγωγής (Jensen, 1986a) και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του σπόρου (Gooding *et al.*, 2007).

Τα κουκιά μπορούν να καλλιεργηθούν άνετα μετά από καλλιέργειες σόργου και αραβόσιτου, εκμεταλλευόμενα το διαθέσιμο νερό που απομένει (Pala *et al.*, 1994)

σε περιοχές όπου το νερό δεν αποτελεί πρόβλημα, ή να ακολουθηθούν από ξηρικές καλλιέργειες (π.χ. σιτάρι), όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο νερό. Μπορούν να σπαρθούν από νωρίς τον χειμώνα έως την άνοιξη, παρέχοντας ευελιξία ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, τον τύπο εδάφους και τα συστήματα στα οποία εντάσσονται (Jensen *et al.*, 2010). Σε περιοχές με ήπιες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του χειμώνα και βαριά αργιλώδη εδάφη που είναι δύσκολο να καλλιεργηθούν την άνοιξη, συνήθως σπέρνονται τον χειμώνα, καθώς ωριμάζουν γρήγορα και αξιοποιούν την διαθέσιμη υγρασία του εδάφους, ενώ σε περιοχές με ελαφριά εδάφη και αυξημένες βροχοπτώσεις, μπορούν να σπαρθούν νωρίς την άνοιξη, καθώς αξιοποιούν το νερό των βροχοπτώσεων, δίνοντας μεγάλες παραγωγές, με τις νέες διαθέσιμες ανοιξιάτικες ποικιλίες μάλιστα να ωριμάζουν πιο γρήγορα από τις αντίστοιχες της χειμερινής σποράς (PGRO, 2008).

Η χρήση των κουκιών σαν καλλιέργεια χλωρής λίπανσης μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την τελική παραγωγή των δημητριακών ή και άλλων καλλιεργειών (Wani *et al.*, 1994). Η ενσωμάτωση των 5–13 t ha<sup>-1</sup> ξηρής ουσίας που παράγουν, ως χλωρή λίπανση, αποτελεί εισροή μεγάλης ποσότητας οργανικού N και άνθρακα (C) στο έδαφος, η οποία μακροπρόθεσμα διεγείρει σημαντικά την μικροβιακή βιομάζα C και N, ενισχύει την γονιμότητα του εδάφους, επηρεάζει θετικά την δομή και την υδατοπερατότητα του εδάφους, βελτιώνει την παροχή ανόργανου N και αυξάνει την δυνητική παραγωγή των ακολουθούμενων καλλιεργειών, σε σχέση με τα συστήματα μονοκαλλιέργειας που βασίζονται αποκλειστικά στην ανόργανη αζωτούχο λίπανση (Wani *et al.*, 1991; Jensen *et al.*, 2010).

#### 1.4.2. Βιολογική δέσμευση αζώτου στα κουκιά.

Όπως και τα υπόλοιπα ψυχανθή, τα κουκιά παρέχουν μια σημαντική οικολογική συνδρομή στα γεωργικά συστήματα, μέσα από την ικανότητά τους να δεσμεύουν συμβιωτικά το ατμοσφαιρικό N<sub>2</sub>. Η συνδρομή στα διαθέσιμα αποθέματα N για την καλλιέργεια που ακολουθεί τα κουκιά, μπορεί να προέλθει από το μη χρησιμοποιημένο ανόργανο N του εδάφους από τα κουκιά (καθώς χρησιμοποιούν το N συμβιωτικής δέσμευσης για την ανάπτυξή τους), από το N της ριζο-εναπόθεσης που απομένει μετά την ανάπτυξή τους, από το N των υπέργειων οργανικών υπολειμμάτων της καλλιέργειας και από το N που βρίσκεται στα οζίδια των ριζών. Είναι πολύ σημαντικό να μπορεί να προσδιοριστεί το καθαρό ποσό του N που συνολικά παρέχεται στην επόμενη καλλιέργεια, ώστε να ρυθμιστεί κατάλληλα το

επίπεδο της ανόργανης λίπανσης που θα εφαρμοστεί, ενώ το ποσό του N που προέρχεται καθαρά από την συμβιωτική σχέση των κουκιών και των ριζόβιων βακτηριδίων του εδάφους, καθορίζεται από την σχετική εξάρτηση της καλλιέργειας στην δέσμευση ατμοσφαιρικού N<sub>2</sub> για την αύξηση και ανάπτυξη της και το συνολικό συσσωρευμένο N κατά την διάρκεια του βιολογικού κύκλου. Η δημιουργία όμως μιας λειτουργικής συμβιωτικής σχέσης ανάμεσα στα φυτά των κουκιών και των ριζόβιων βακτηρίων του εδάφους εξαρτάται από μια σειρά περιβαλλοντικών παραγόντων και εφαρμοζόμενων καλλιεργητικών πρακτικών και είναι δύσκολο να εκτιμηθεί ακριβώς (Jensen *et al.*, 2010), θα πρέπει όμως να αναφερθεί πως υπάρχει μια σημαντικά μεγαλύτερη ικανότητα στα κουκιά να στηρίζονται στο N βιολογικής δέσμευσης για την ανάπτυξή τους, αλλά και να δεσμεύουν σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες ατμοσφαιρικού N<sub>2</sub> σε σχέση με τα υπόλοιπα ψυχανθή (Hardarson and Atkins, 2003). Η ποσότητες αυτές του ατμοσφαιρικού N<sub>2</sub> δεσμευμένου από καλλιέργειες κουκιών, ανέρχονται σε παγκόσμια κλίμακα σε 290,000 t N κάθε χρόνο, έναντι 22 εκατομμυρίων t N που δεσμεύουν στο σύνολό τους όλα τα υπόλοιπα ψυχανθή, συμπεριλαμβανομένης της σόγιας (Herridge *et al.*, 2008).

#### 1.4.3. Επίδραση των κουκιών στην ακολουθούμενη καλλιέργεια.

Τα κουκιά μπορεί να βελτιώσουν την οικονομική αξία της καλλιέργειας που τα ακολουθεί, ενισχύοντας το δυναμικό παραγωγής και/ή αυξάνοντας την συγκέντρωση πρωτεϊνών στο σπόρο (Lopez-Bellido *et al.*, 1998). Η αυξημένη διαθεσιμότητα ανόργανου N στο έδαφος μετά την καλλιέργεια κουκιών και η αυξημένη απορρόφηση N που εμφανίζει η επόμενη καλλιέργεια, μπορεί να προέλθει όπως ήδη αναφέρθηκε από την μικρή εκμετάλλευση του εδαφικού N από τα κουκιά σε σύγκριση με άλλες καλλιέργειες (Turpin *et al.*, 2002), την αποδέσμευση N από υπέργεια ή υπόγεια υπολείμματα και από την επίδραση του ευμετάβλητου N των ψυχανθών στην ισορροπία μεταξύ των διαδικασιών ορυκτοποίησης και κινητοποίησης του N από την εδαφική μικροβιακή βιομάζα (Rochester *et al.*, 2001; Peoples *et al.*, 2009a). Γενικά, τα φυτικά υπολείμματα των ψυχανθών έχουν μεγάλο N περιεχόμενο, και με τις διεργασίες αποδόμησή τους, έως και 50% του N αυτού μπορεί να είναι διαθέσιμο στην επόμενη καλλιέργεια μέσα σε μόλις δύο μήνες μετά την ενσωμάτωσή τους στο έδαφος (Kirchmann and Bergqvist 1989). Παράλληλα, τα κουκιά παρέχουν πλεονεκτήματα που δεν είναι άμεσα συνδεδεμένα με το N, όπως μείωση των αγρωστωδών ζιζανίων, λιγότερες προσβολές από εχθρούς και ασθένειες,

βελτίωση της εδαφικής δομής και της κίνησης του εδαφικού νερού (Rochester *et al.*, 2001; Kirkegaard *et al.*, 2008; Peoples *et al.*, 2009a,b), ενώ συμβάλουν ουσιαστικά στην διέγερση της μικροβιακής δραστηριότητας και την αύξηση της ποικιλότητας του μικροβιακού πληθυσμού του εδάφους (Lupwayi and Kennedy, 2007), κυρίως γιατί απελευθερώνουν μοριακό υδρογόνο ( $H_2$ ) ως παραπροϊόν κατά την βιολογική δέσμευση  $N_2$  στα συμβιωτικά οζίδια (Dong *et al.*, 2003).

### **1.5. Ιδιαιτερότητες των γεωργικών συστημάτων με καλλιέργειες κάλυψης ψυχανθών και ανάγκη διερεύνησής τους.**

Η ένταξη της καλλιέργειας των κουκιών στα γεωργικά συστήματα έχει αποτελέσει το αντικείμενο αρκετών μελετών (π.χ. McEwen *et al.*, 1989; Pare *et al.*, 1993; Rochester *et al.*, 2001; Lopez-Bellido *et al.*, 2007; Walley *et al.*, 2007), παρόλα αυτά φαίνεται να συνεχίζει να υπάρχει ένα σοβαρό κενό επιστημονικής γνώσης, γύρω από το ποιες καλλιεργητικές πρακτικές μπορούν να δημιουργήσουν το ευνοϊκότερο περιβάλλον για την ακολουθούμενη καλλιέργεια (Jensen *et al.*, 2010), αλλά και τον τρόπο με τον οποίο η ίδια η καλλιέργεια των κουκιών, επιδρά στην αύξηση και ανάπτυξη (και τελικά την παραγωγικότητα) της καλλιέργειας που την διαδέχεται, πριν και κατά τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου της, και σε ποιο βάθος χρόνου (Crozet and Fustec, 2006; Peoples *et al.*, 2009a, b). Η διάρκεια των θετικών επιδράσεων των κουκιών ως καλλιέργεια κάλυψης ή ο απαιτούμενος χρόνος για την έκφρασή τους δεν έχουν μελετηθεί αρκετά, καθώς συχνά υπερσκελίζονται από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας που ακολουθεί, και κυρίως από την προτίμηση καλλιεργειών με μεγάλο βιολογικό κύκλο, ώστε να μπορούν να εκμεταλλευτούν το N που ορυκτοποιείται αργά στην καλλιεργητική περίοδο (Jensen *et al.*, 2010). Παρόλα αυτά φαίνεται πως η θετική επίδραση των ψυχανθών στην παραγωγικότητα του αραβόσιτου, εκφράζεται ξεκάθαρα μετά από τριετές κύκλο καλλιέργειας, σε σχέση με την συνεχή μονοκαλλιέργεια (π.χ. Pare *et al.*, 1993), ενώ έχουν παρατηρηθεί αυξήσεις έως 12 % στην παραγωγή σπόρου μετά από δύο κύκλους καλλιέργειας κάλυψης με κουκιά, από ότι με την καλλιέργεια να βασίζεται μόνο στην ανόργανη λίπανση (π.χ. Wright, 1990).

Την ίδια στιγμή, για να είναι δυνατή η αποδοτικότερη αξιοποίηση των καλλιεργειών κάλυψης ψυχανθών, είναι απαραίτητο να εκτιμηθούν μια σειρά από

οικο-φυσιολογικές παραμέτρους της ακολουθούμενης καλλιέργειας, όπως η τελική παραγωγή ξηρής ουσίας και η χρήση του αζώτου. Οι πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή ξηρής ουσίας και τον επιμερισμό του ρυθμού συσσώρευσης αλλά και των τελικών συγκεντρώσεων ξηρή ουσίας ανάμεσα στα κλάσματα των διαφόρων φυτικών οργάνων, θα επέτρεπαν καλύτερη ανάλυση και ευκολότερη αντίληψη των επιδράσεων των ψυχανθών και ταυτόχρονα μεγαλύτερη κατανόηση ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας τέτοιων συστημάτων (Williams *et al.*, 1996). Από την άλλη πλευρά σε ότι αφορά στη χρήση του αζώτου, οι άντληση των απαραίτητων πληροφοριών μπορεί να γίνει μέσω του προσδιορισμού της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου (N-use efficiency), και των δύο βασικών συνιστωσών της, την αποδοτικότητα απορρόφησης του αζώτου (N-uptake efficiency) και την αποδοτικότητα αξιοποίησης του αζώτου (N-utilization efficiency) (Moll *et al.*, 1983). Η αποδοτικότητα απορρόφησης του αζώτου αναφέρεται στην ποσότητα του N που απορροφούν τα φυτά, σε σχέση με το διαθέσιμο εδαφικό N, ενώ η αποδοτικότητα αξιοποίησης του αζώτου, ποσοτικοποιεί τον όγκο της συνολικής βιομάζας που παράγει το φυτό ανά μονάδα απορροφημένου N. Η απορρόφηση N στην διάρκεια του βιολογικού κύκλου, αντανακλά αρκετά καθαρά την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών, καθώς η παραγωγή ξηρή βιομάζας επικρατεί σε βαθμό επιρροής της συγκέντρωσης N στους ιστούς, ενώ η αξιοποίηση του N δέχεται τις επιρροές της μεταφοράς, καταμερισμού και μετακίνησης του N στο φυτό και τους ιστούς του, όπως επίσης και τις επιρροές από τις ειδικές μεταβολικές διεργασίες σε μοριακό επίπεδο (Masclaux *et al.*, 2001).

Επίσης θα πρέπει να τονιστεί, πως στις μελέτες που έχουν γίνει, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην καλλιέργεια που ακολουθεί τα κουκιά, δείχνοντας πολύ έντονα την χαμηλή προτεραιότητα που δίνεται στην συγκέντρωση πληροφοριών που θα βοηθούσαν στην βελτίωση της ανάπτυξης και σταθεροποίησης της παραγωγικότητας της ίδιας της καλλιέργειας των κουκιών, και που θα συντελούσε στην μεγιστοποίηση των ευεργετικών επιδράσεων που παρέχει (Jensen *et al.*, 2010). Ακόμα όμως και στην συζήτηση και αξιολόγηση των θετικών επιδράσεων που έχουν ως τώρα αναφερθεί, δεν έχει δοθεί αρκετή σημασία στους παράγοντες εκτός του N, που μπορεί να συμβάλουν όμως στην αυξημένη διαθεσιμότητα ή απορρόφηση του N, παράγοντες όπως είναι χαρακτηριστικά του εδάφους που ευνοούν για παράδειγμα την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, ή την κίνηση του N, καθώς οι μεταβολές στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους συνήθως δεν εξετάζονται σε μελέτες



του δυναμικού παραγωγής καλλιεργειών (Nyamadzawo *et al.*, 2007). Τέτοιου είδους πληροφορίες έχουν μεγάλη περιβαλλοντική αξία, καθώς η υπερβολική χρήση ανόργανων αζωτούχων λιπασμάτων έχει δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα ρύπανσης με επικίνδυνα χημικά στο έδαφος, τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα πολλών περιοχών, εξαιτίας εγγενών υδραυλικών ιδιοτήτων των διαφόρων εδαφών (π.χ. στα αμμώδη εδάφη λόγω, διήθησης νιτρικών σε βαθύτερα στρώματα και στα αργιλώδη εδάφη, λόγω επιφανειακής απορροής νιτρικών) (Sequi and Vittori-Antisari 1989). Η ποσοτικοποίηση της απορρόφησης του εδαφικού N (βασική απορρόφηση) ή/και η δυνατότητα αντικατάστασης ποσοτήτων ανόργανου N με οργανικό βάση αυτής, θα επέτρεπαν την καλύτερη κατανόηση της δυναμικής του N κάτω από διάφορες συνθήκες και καλλιεργητικές πρακτικές, καθώς η απορρόφηση από τα φυτά είναι η μεγαλύτερη εκροή των αποθεμάτων του N στο έδαφος, ενώ η ποσότητα που δεν προσλαμβάνεται μπορεί να αποτελέσει πιθανούς ρύπους (Salmeron-Miranda *et al.*, 2007).

## 1.6. Σκοπός της μελέτης.

Λαμβάνοντας υπόψη όσα αναφέρθηκαν ως τώρα, βασικό στόχο της μελέτης αποτελεί η ποσοτική ανάλυση της παραγωγής σε βιομάζα, της αποδοτικότητας της χρήσης του αζώτου και των παραμέτρων γύρω από αυτή (βασική απορρόφηση αζώτου, αποδοτικότητα της απορρόφησης και της αξιοποίησης αζώτου), σε συστήματα χρήσης γης καλλιεργειών αραβόσιτου και ινώδους σόργου για ενεργειακούς σκοπούς, κάτω από συμβατικές (ανόργανη λίπανση) και μειωμένες (καλλιέργειες κάλυψης με κουκιά) εισροές αζώτου, σε δύο διαφορετικούς εδαφικούς τύπους. Η αξιοποίηση των πληροφοριών αποσκοπεί να συνδράμει τις προσπάθειες ορθολογικής ανόργανης αζωτούχου λίπανσης για οικονομικά βιώσιμη, περιβαλλοντικά ασφαλή και γενικότερα αειφορική παραγωγή των ενεργειακών καλλιεργειών, αλλά και στην έρευνα γύρω από το αν και κατά πόσο υφίσταται βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης των ανόργανων λιπασμάτων στα συστήματα με καλλιέργειες κάλυψης ψυχανθών, σε δύο κοινά εδάφη της Ελλάδας και της Μεσογείου γενικότερα.

Αναπόσπαστο κομμάτι της παρούσας έρευνας αποτελεί η αξιολόγηση της επίδρασης της ανόργανης λίπανσης στην αύξηση και ανάπτυξη δύο πολύ δυναμικών ενεργειακών καλλιεργειών με μεγάλες προοπτικές, όταν εντάσσονται ή όχι, σε συστήματα με μειωμένες εισροές για μια περίοδο τριών καλλιεργητικών κύκλων. Εξετάζονται οι περισσότερες από τις παραμέτρους παρακολούθησης της αύξησης των δύο ενεργειακών καλλιεργειών σε σύγκριση ανάμεσα στα παραδοσιακά συστήματα μονοκαλλιέργειας και στα συστήματα με καλλιέργειες κάλυψης με κουκιά, ως μια στρατηγική που μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη διαχείριση του αζώτου στα αγροοικοσυστήματα και στην μείωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με το άζωτο. Οι βασικές παράμετροι της αύξησης παρακολουθούνται και για την ίδια την καλλιέργεια των κουκιών, με στόχο την συλλογή πληροφοριών που θα μπορούν να βελτιώσουν την επιτυχή εγκατάσταση και ανάπτυξη των φυτών σε καθένα από τους δύο εδαφικούς τύπους, για τους οποίους εξετάζεται παράλληλα αν παρουσιάστηκε μεταβολή σε εδαφικές ιδιότητες, όπως η δομή και η διηθητικότητα, κάτω από την επίδραση της καλλιέργειας των κουκιών.

Τέλος, αξιοποιώντας την διαθέσιμη βιβλιογραφία, επιχειρείται μια προέκταση της σύγκρισης των δύο συστημάτων γεωργικών πρακτικών (μονοκαλλιέργεια ενεργειακών φυτών - με καλλιέργεια κάλυψης κουκιών) ως προς την δυνητικά

παραγόμενη ενέργεια κάτω από τις διάφορες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας, ως προς τις εκτιμώμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή της βιομάζας για κάθε σύστημα γεωργικής πρακτικής και μια σύγκριση σε οικονομικά μεγέθη, αξιοποιώντας τα πειραματικά δεδομένα για το ύψος παραγωγής όλων των προ-μεταχειρίσεων και επιπέδων N λίπανσης, σε μια προσπάθεια να αναδειχθούν τα όποια περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα των συστημάτων μειωμένων εισροών.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

### 2.1. Πειραματικοί αγροί.

Η διεξαγωγή των πειραμάτων έγινε σε πραγματικές συνθήκες αγρού, για τρία συνεχόμενα έτη από το 2007 έως το 2009. Η περιοχή της έρευνας επικεντρώνεται σε δύο διαφορετικές περιοχές της κεντρικής Θεσσαλίας με παρόμοια κλιματολογικά χαρακτηριστικά, αλλά διαφορετικούς εδαφικούς τύπους. Η εγκατάσταση του ενός εκ των δύο πειραματικών αγρών έγινε στην περιοχή των Τρικάλων (Καριές) (συντεταγμένες: 39°32'17.08"N, 21°46'19.17"E, υψόμετρο 120 m ASL), με ασβεστούχο αμμοπηλώδες έδαφος (Typic Xerofluvent) (USDA, 1975; Soil Survey Staff, 2010), νεαρής ηλικίας, σχηματισμένο από πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις. Η εγκατάσταση του δεύτερου πειραματικού αγρού, έγινε στην περιοχή του Σωτηρίου Λάρισας (συντεταγμένες: 39°30'02.85"N, 22°42'50.37"E, υψόμετρο 60 m ASL), σε αργιλώδες έδαφος (Vertisol) (USDA, 1975; Soil Survey Staff, 2010).



**Εικόνα 1.** Πειραματικός αγρός στο Σωτήριο (αριστερά) και στα Τρίκαλα (δεξιά).

Κατά την επιλογή των πειραματικών αγρών δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε τα τεμάχια που θα επιλέγονταν για να χρησιμοποιηθούν για την διεξαγωγή των πειραμάτων να εξασφαλίζουν το μέγιστο βαθμό ομοιομορφίας και ομοιογενείας του εδάφους, για να αποκλειστούν φαινόμενα παραλλακτικότητας από παράγοντες εκτός του πειραματικού σχεδίου και παράλληλα να είναι δυνατός ο σχεδιασμός του πειράματος με χρήση πειραματικών τεμαχίων μικρής έκτασης. Για τους πιο πάνω λόγους διενεργήθηκαν 10 τυχαίες δειγματοληψίες εδάφους σε βάθος 0-20 cm και 10 δειγματοληψίες σε βάθος 20-40 cm, σε καθένα από τους επιλεγμένους αγρούς, τα αποτελέσματα των οποίων επιβεβαίωσαν την ζητούμενη ομοιομορφία και ομοιογένεια του εδάφους καθώς δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P>0,05$ ) ανάμεσα στους μέσους. Οι μέσοι όροι των εδαφικών αναλύσεων συνοψίζονται στον Πίνακα III. Και οι δύο περιοχές (Τρίκαλα, Σωτήριο) χαρακτηρίζονται από σχετικά επιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα, με το επίπεδο του υπογείου ύδατος να κυμαίνεται από 200 έως 250cm κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στις αρχές της άνοιξης και σε μεγαλύτερο βάθος στην συνέχεια, κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

**Πίνακας III:** Εδαφικές αναλύσεις των δύο πειραματικών αγρών (μέσοι όροι).

|                             | Άμμος (%) | Αργίλος (%) | Ιλύς (%) | pH  | O.O. (%) | Ec (μS/cm) | CaCO <sub>3</sub> (%) | N (mg/kg) | P (mg/kg) | K (mg/kg) |
|-----------------------------|-----------|-------------|----------|-----|----------|------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| <u>Τρίκαλα</u><br>(0-20cm)  | 60        | 22          | 18       | 7,5 | 1,36     | 251,2      | 11,6                  | 2,48      | 9,6       | 230,9     |
| <u>Τρίκαλα</u><br>(20-40cm) | 62        | 22          | 20       | 7,7 | 1,62     | 255,3      | 12,9                  | 2,56      | 10,1      | 248,7     |
| <u>Σωτήριο</u><br>(0-20cm)  | 7         | 63          | 30       | 8,1 | 1,81     | 300,5      | 6,6                   | 3,51      | 8,7       | 470,7     |
| <u>Σωτήριο</u><br>(20-40cm) | 3         | 62          | 35       | 7,9 | 1,79     | 310,8      | 5,7                   | 3,62      | 9,4       | 488,5     |

Εκτός των δειγματοληψιών που προαναφέρθηκαν, πραγματοποιήθηκαν σε καθένα από τους πειραματικούς αγρούς από τέσσερις δειγματοληψίες σε τυχαία σημεία και σε βάθος μέχρι 1m για την εκτίμηση των εδαφικών οριζόντων, και τέσσερις δειγματοληψίες εδάφους στην φυσική του δομή, με τον ειδικό μεταλλικό δακτύλιο, για τον προσδιορισμό του Φαινόμενου Ειδικού Βάρους (Φ.Ε.Β.), ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχει ικανοποιητική ομοιομορφία και ως προς τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Για την εκτίμηση της διηθητικής ικανότητας (infiltration, I), και μέσω αυτής, εκτίμηση και της απορροφητικότητας (sorptivity, S) και της υδραυλικής αγωγιμότητας (hydraulic conductivity, K), έγιναν πειράματα με τη χρήση

διηθητικόμετρου διπλών ομόκεντρων κυλίνδρων σε τέσσερα τυχαία σημεία του κάθε πειραματικού αγρού, με παράλληλη λήψη δειγμάτων για τον προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας (βλ. Κεφ. 2.4.4). Τα αποτελέσματα των πιο πάνω δειγματοληψιών και πειραμάτων δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P>0,05$ ) και η ομοιομορφία των πειραματικών τεμαχίων κρίθηκε ικανοποιητική ως προς όλα τα χαρακτηριστικά που αποτελούν το αντικείμενο μελέτης κατά την εγκατάσταση και συνέχιση του πειράματος. Τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών αυτών, παρουσιάζονται στα κεφάλαια που ακολουθούν

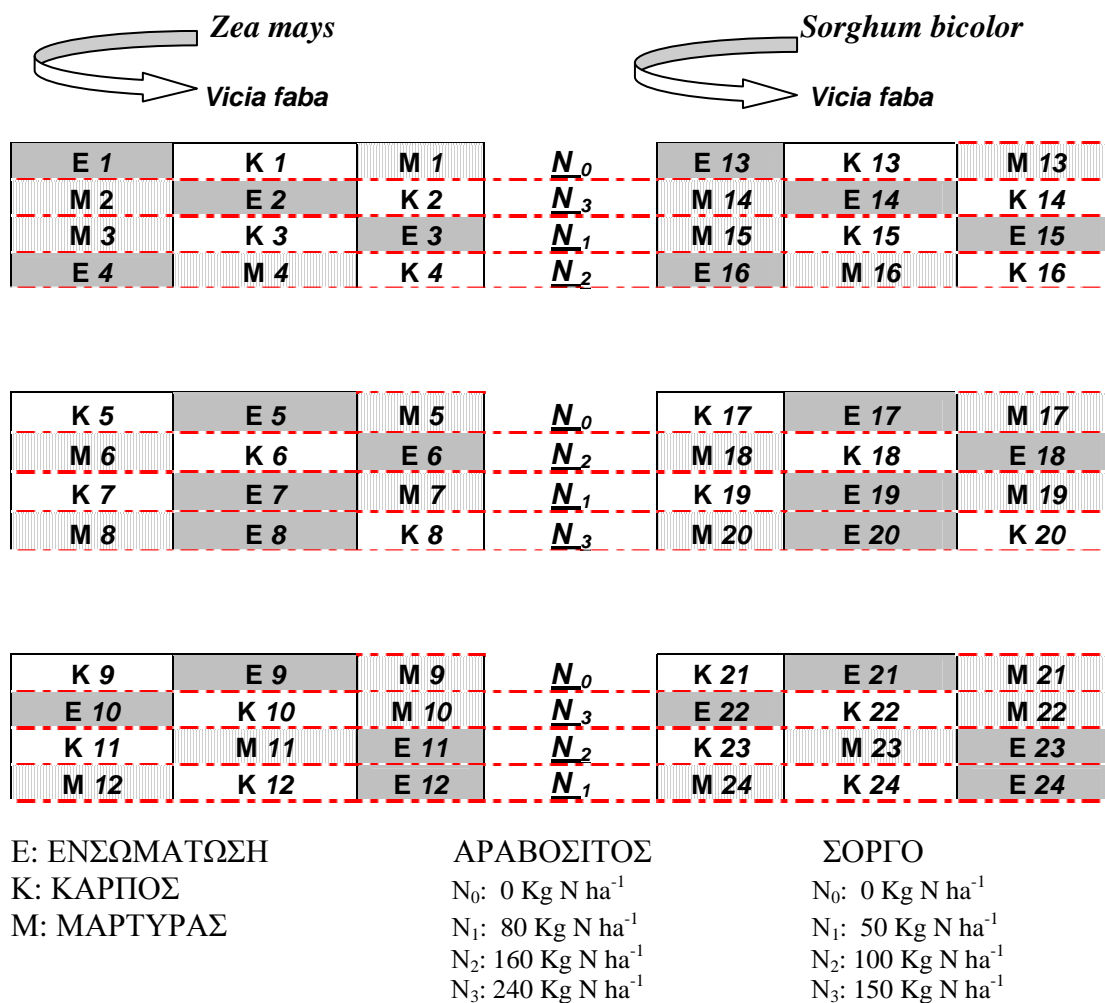
Τα πειραματικά τεμάχια μετά από βαθιά άροση και στη συνέχεια κατεργασία με δισκοσβάρνα, προετοιμάστηκαν για την χάραξη του πειραματικού σχεδίου, διαθέτοντας κατάλληλη σποροκλίνη για το ψυχανθές, με έδαφος καλά κοκκοποιημένο, ισοπεδωμένο και με ικανοποιητική υγρασία.

## 2.2. Πειραματικό σχέδιο.

Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε, είναι το Σχέδιο Υποδιαιρεμένων Τεμαχίων (Split plot design)  $4 \times 3 \times 3$ , όπου στα κύρια πειραματικά τεμάχια εφαρμόζονται τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης, και στα υποτεμάχια εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές ως προς το ψυχανθές, σε τρεις επαναλήψεις. Το ειδικό πειραματικό σχέδιο που επιλέχθηκε, επιτρέπει τόσο την μελέτη της σχετικής σπουδαιότητας όλων των παραγόντων, αλλά και την απαιτούμενη ευελιξία, καθώς ορισμένες πειραματικές επεμβάσεις απαιτούν μεγαλύτερη έκταση στον αγρό από ότι κάποιες άλλες.

Αναλυτικά, μετά την ορθογώνιση έκτασης  $19,5 \times 39$  m, ο πειραματικός αγρός διαιρέθηκε σε έξι τμήματα  $9 \times 12$  m, ένα για κάθε επανάληψη, με διαδρόμους  $1,5$  m ανάμεσά τους και κάθε επανάληψη διαιρέθηκε σε τέσσερα ίσα κύρια τεμάχια  $9 \times 3$  m και τρία ίσα υποτεμάχια  $3 \times 3$  m, δίνοντας συνολικά 12 υποτεμάχια σε κάθε επανάληψη. Στα κύρια τεμάχια έγινε με πλήρη τυχαιοποίηση η κατανομή των τεσσάρων επιπέδων αζωτούχου λίπανσης που εφαρμόστηκε κατά την καλλιέργεια των ενεργειακών φυτών όπου, για τον αραβόσιτο  $N_0=0$  Kg N ha<sup>-1</sup> (αντιστοιχεί στο μάρτυρα, χωρίς αζωτούχο λίπανση),  $N_1=80$ ,  $N_2=160$  και  $N_3=240$  Kg N ha<sup>-1</sup>, ενώ για το σόργο τα  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  και  $N_3$  ισούνται με 0, 50, 100 και 150 Kg N ha<sup>-1</sup> αντίστοιχα. Ομοίως με πλήρη τυχαιοποίηση στο καθένα από τα υποτεμάχια, καθορίστηκε ποια θα ήταν η προμεταχείριση με το ψυχανθές όπου, Μ είναι τα υποτεμάχια μάρτυρας

(χωρίς καλλιέργεια ψυχανθούς), Ε είναι τα υποτεμάχια στα οποία έγινε ενσωμάτωση του ψυχανθούς στο έδαφος (χλωρή λίπανση), στο στάδιο του 50% της άνθησης και Κ τα υποτεμάχια στα οποία το ψυχανθές συγκομίστηκε ως ξεχωριστή καλλιέργεια για την παραγωγή καρπού (καλλιέργεια κάλυψης), αφού ολοκλήρωσε τον βιολογικό κύκλο.



**Σχήμα 2.** Τελική διάταξη στον αγρό, σε δύο κύκλους καλλιέργειας.

Στο Σχήμα 2. φαίνεται η τελική διάταξη στον αγρό του πειράματος που έχει τρεις επαναλήψεις για κάθε ένα από τα δύο ενεργειακά φυτά, την προμεταχείριση με το ψυχανθές ως υπο-επέμβαση, στην πρώτη φάση του κύκλου του πειράματος, και το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης ως κύρια επέμβαση, στη δεύτερη φάση του κύκλου του πειράματος, όπου γίνεται και η καλλιέργεια των ενεργειακών φυτών.

## 2.3. Καλλιεργητική τεχνική και φροντίδες.

### 2.3.1. *Vicia faba*.

Η σπορά του ψυχανθούς *Vicia faba* cv Extra Precoce (μη γενετικά τροποποιημένη υπερπρώιμη, μεγαλόσπερμη ποικιλία βρώσιμων κουκιών, με βάρος 1000 σπόρων που κυμαίνεται από 1400 έως 1600 gr) έγινε μετά από έλεγχο της βλαστικής ικανότητας του σπόρου στο εργαστήριο με σχετικό πείραμα (τα αποτελέσματα του οποίου ήταν απολύτως ικανοποιητικά: 90-95% βλαστικότητα), με την χρήση της κλασικής σπαρτικής μηχανής που χρησιμοποιείται για την σπορά των σιτηρών, σε αποστάσεις φύτευσης μεταξύ των γραμμών 25 cm και επί των γραμμών περίπου 15 cm και βάθος σποράς 3-5 cm. Η ποσότητα σπόρου που χρησιμοποιήθηκε ήταν 120-150 kg ha<sup>-1</sup>, επιτυγχάνοντας πυκνότητα φυτών 20-25 φυτά/m<sup>2</sup>. Οι ημερομηνίες σποράς και των μετέπειτα φαινολογικών σταδίων της καλλιέργειας για κάθε χρόνο διεξαγωγής των πειραμάτων και για τον καθένα από τους πειραματικούς αγρούς, συνοψίζονται στον Πίνακα IV.

**Πίνακας IV.** Ημερομηνίες σποράς και μετέπειτα φαινολογικών σταδίων για την καλλιέργεια του κουκιού, στις δύο περιοχές και τα τρία έτη.

| <i>Vicia faba</i> | Τρίκαλα |       |       | Σωτήριο |          |          |
|-------------------|---------|-------|-------|---------|----------|----------|
|                   | 2007    | 2008  | 2009  | 2007    | 2008     | 2009     |
| Σπορά             | 10/02   | 10/02 | 20/01 | 08/02   | 05/12/07 | 19/12/08 |
| Φύτρωμα (50%)     | 03/03   | 08/03 | 21/02 | 08/03   | 05/01    | 02/01    |
| Άνθηση (50%)      | 27/04   | 05/05 | 23/04 | 03/05   | 06/04    | 01/04    |
| Σχ. λοβών (50%)   | 11/05   | 16/05 | 13/06 | 15/05   | 23/04    | 20/04    |
| Συγκομιδή         | 06/06   | 30/05 | 04/06 | 05/06   | 18/05    | 23/05    |

Αμέσως μετά το φύτρωμα του 80% των σπόρων και πριν τα φυτά ξεπεράσουν το ύψος των 5 cm, έγινε καταστροφή των νεαρών φυτών στα τεμάχια του μάρτυρα, ενώ τα φυτά των υπολοίπων τεμαχίων συνέχισαν την ανάπτυξή τους, μετά από την μηχανική καταστροφή των ζιζανίων με σκάλισμα, κατά τόπους και όπου αυτό χρειαζόταν, καθώς σε κανένα από τους πειραματικούς αγρούς δεν παρουσιάστηκε έντονο πρόβλημα από ζιζάνια κατά την χειμερινή περίοδο. Η καλλιέργεια των κουκιών αφέθηκε βροχοδίαιτη και στις δύο περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ικανοποιητικά επίπεδα βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης,



και δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα στρες στα φυτά λόγω έλλειψης νερού ή μακροστοιχείων κατά τη διάρκεια των τριών ετών διεξαγωγής των πειραμάτων. Στην καλλιέργεια του ψυχανθούς δεν εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση, καθώς οι μεγαλόσπερμες ποικιλίες των κουκιών περιέχουν στα αποθέματα του σπόρου ως και  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$  όταν έχουν σπαρθεί σε πυκνή φύτευση, άζωτο που είναι σημαντικό στην υποστήριξη της πρώιμης ανάπτυξης των φυτών, εωσότου σχηματιστούν και αρχίσουν να είναι λειτουργικά τα φυμάτια στις ρίζες, περίπου 10-12 ημέρες μετά την βλάστηση του σπόρου (Jensen *et al.*, 2010). Στα τεμάχια που προορίζονταν για μελέτη της επίδρασης της χλωρής λίπανσης, πραγματοποιήθηκε ενσωμάτωση των φυτών στο έδαφος με χρήση φρέζας, όταν το 50% των φυτών βρισκόταν στο στάδιο της άνθησης (>5 άνθη ανοιχτά ανά ροζέτα). Για τον προσδιορισμό του χλωρού και ξηρού βάρους των φυτών που ενσωματώθηκαν, πραγματοποιήθηκε κοπή των φυτών σε τρεις επαναλήψεις, εμβαδού  $1\text{m}^2$  και ζύγιση του βάρους τους πριν και μετά την αποξήρανσή τους σε κλίβανο θερμού αέρα, στους  $\pm 70^\circ \text{C}$ , μέχρι να προκύπτουν ίσα βάρη κατά την ζύγιση (2-3 ημέρες). Αντίστοιχα, στα τεμάχια που προορίζονταν για μελέτη της επίδρασης της αμειψισποράς (καλλιέργεια κάλυψης), τα φυτά ολοκλήρωσαν τον βιολογικό τους κύκλο και συγκομίστηκαν με θερισμό. Για τον προσδιορισμό του ύψους παραγωγής πραγματοποιήθηκε ομοίως, κοπή των φυτών σε τρεις επαναλήψεις, εμβαδού  $1\text{m}^2$  και ζύγιση του βάρους των τμημάτων του φυτού μετά τον διαχωρισμό τους (φύλλα, βλαστός, λοβοί και σπέρματα), πριν και μετά την αποξήρανσή τους σε κλίβανο θερμού αέρα, ομοίως στους  $\pm 70^\circ \text{C}$ , μέχρι να προκύπτουν ίσα βάρη κατά την ζύγιση (2-3 ημέρες).

Μετά την συγκομιδή του ψυχανθούς οι πειραματικοί αγροί προετοιμάστηκαν ώστε να εγκατασταθεί η επίσπορη καλλιέργεια των ενεργειακών φυτών. Τα εργαλεία της κατεργασίας του εδάφους επιλέχθηκαν βάση των εδαφών, των καιρικών συνθηκών και του είδους και της ποσότητας των φυτικών υπολειμμάτων. Έτσι χρησιμοποιήθηκε καλλιεργητής και δισκοσβάρνα, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο ομοιόμορφη κατανομή των φυτικών υπολειμμάτων στο κατεργαζόμενο βάθος και δημιουργία κατάλληλης σποροκλίνης. Ακολούθησε η επαναχάραξη του πειραματικού σχεδίου, λαμβάνοντας μέριμνα ώστε τα πειραματικά τεμάχια του β' κύκλου, να ταυτίζονται με αυτά του α' κύκλου.

Η ίδια διαδικασία σε ότι αφορά την καλλιεργητική τεχνική και φροντίδες, ακολουθήθηκε όμοια και στα τρία έτη διεξαγωγής των πειραμάτων.



**Εικόνα 2.** Σπορά *Vicia faba* στο Σωτήριο (αριστερά) και στα Τρίκαλα (δεξιά).

### 2.3.2. *Zea mays*.

Η σπορά του αραβοσίτου *Zea mays* cv PR36k67 (υβρίδιο μικρού βιολογικού κύκλου, FAO 430, φυσιολογική ωρίμανση 105 ημέρες) έγινε με σπαρτική μηχανή ακριβείας πνευματικού τύπου, σε αποστάσεις φύτευσης 75 cm μεταξύ των γραμμών, 18-20 cm επί των γραμμών και βάθος σποράς 2-3 cm, επιτυγχάνοντας πυκνότητα φύτευσης 5-6 φυτά/m, και αφού είχε προηγηθεί έλεγχος της βλαστικής ικανότητας του σπόρου στο εργαστήριο με σχετικό πείραμα (τα αποτελέσματα του οποίου ήταν απολύτως ικανοποιητικά: 95-100% βλαστικότητα). Οι ημερομηνίες σποράς και των μετέπειτα φαινολογικών σταδίων της καλλιέργειας για κάθε χρόνο διεξαγωγής των πειραμάτων και για τον καθένα από τους πειραματικούς αγρούς, συνοψίζονται στον Πίνακα V. Μετά την σπορά έγινε η εφαρμογή της βασικής λίπανσης με 50 kg P ha<sup>-1</sup> και 50 K ha<sup>-1</sup> σε όλα τα υποτεμάχια, ενώ η εφαρμογή της αζωτούχου λίπανσης έγινε μόνο στα υποτεμάχια που προέβλεπε το πειραματικό σχέδιο και στις ανάλογες δόσεις. Για να αποφευχθούν οι κίνδυνοι έκπλυσης του αζώτου σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους, αλλά και για να γίνει καλύτερη αξιοποίηση του λιπάσματος (Martin *et al.*, 1994; Mullen *et al.*, 2003), η εφαρμογή του αζώτου έγινε σε δύο δόσεις, με 80 kg N ha<sup>-1</sup> σαν βασική λίπανση, και την εφαρμογή της δεύτερης δόσης κατά την διάρκεια του βλαστικού σταδίου, όταν τα φυτά απέκτησαν ύψος 50 cm, με επιπλέον 80 και 160 kg N ha<sup>-1</sup>, στα κατάλληλα υποτεμάχια (N<sub>2</sub> και N<sub>3</sub> αντίστοιχα).

Ακολούθως και μετά την εφαρμογή της βασικής λίπανσης, έγινε μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων με ελαφρύ σκάλισμα, κυρίως στα υποτεμάχια του μάρτυρα, καθώς στα υποτεμάχια όπου υπήρχε χειμερινή καλλιέργεια του ψυχανθούς η παρουσία ζιζανίων ήταν σχεδόν ανύπαρκτη, επιβεβαιώνοντας τα πλεονεκτήματα της αμειψισποράς με ψυχανθή ως προς τον περιορισμό των ζιζανίων. Καθολική

ζιζανιοκτονία ειδικά με την χρήση χημικών σκευασμάτων δεν κρίθηκε απαραίτητη σε καμία από τις περιοχές και σε καμία χρονιά.

**Πίνακας V.** Αγρονομικά δεδομένα για την καλλιέργεια του αραβοσίτου στις δύο περιοχές και τα τρία έτη.

| <i>Zea mays</i> | Τρίκαλα      |              |              | Σωτήριο |         |         |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------|---------|---------|
|                 | 2007         | 2008         | 2009         | 2007    | 2008    | 2009    |
| Σπορά           | 10/06        | 19/06        | 15/06        | 18/06   | 09/06   | 13/06   |
| Φύτρωμα 50%     | 17/06        | 25/06        | 22/06        | 25/06   | 15/06   | 23/06   |
| Άνθηση 50%      | 20/08        | 19/08        | 21/08        | 17/08   | 19/08   | 20/08   |
| Φυσ. ωρίμανση   | 20/09        | 16/09        | 18/09        | 15/09   | 13/09   | 22/09   |
| Συγκομιδή       | 11/10        | 15/10        | 06/10        | 08/10   | 10/10   | 01/10   |
| Αρδεύσεις       | 6            | 6            | 5            | 7       | 7       | 6       |
| Μέθοδος         | καταιονισμός | καταιονισμός | καταιονισμός | στάγδην | στάγδην | στάγδην |
| Συν. άρδευση    | 400 mm       | 400mm        | 350mm        | 450mm   | 450mm   | 400mm   |

Η καλλιέργεια του αραβοσίτου έγινε κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες διαθεσιμότητας νερού, και πραγματοποιήθηκαν αρδεύσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα (10-15 ημέρες) καλύπτοντας το 80-100% της εξατμισοδιαπνοής. Στον πειραματικό αγρό των Τρικάλων, η άρδευση έγινε με τεχνητή βροχή, ενώ στον πειραματικό του Σωτηρίου, η άρδευση έγινε με σταγόνες, σε υπέργειο δίκτυο. Ο αριθμός των αρδεύσεων και τα συνολικά επίπεδα άρδευσης για κάθε περιοχή και κάθε έτος, παρουσιάζονται στον Πίνακα IV. Κατά την διάρκεια της καλλιέργειας του αραβοσίτου δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα στρες στα φυτά λόγω έλλειψης νερού ή μακροστοιχείων κατά τη διάρκεια των τριών ετών διεξαγωγής των πειραμάτων.

Τέλος, όταν τα φυτά ολοκλήρωσαν τον βιολογικό τους κύκλο, έγινε μηχανική συλλογή του υπέργειου τμήματος της καλλιέργειας με θεριζοαλωνιστική μηχανή (η υγρασία του σπόρου κατά τον θερισμό μετρήθηκε σε 15-17%), ενώ τα υπολείμματα της καλλιέργειας, καθώς και το υπόγειο μέρος, έμειναν στον αγρό και ενσωματώθηκαν στο έδαφος κατά την αναστροφή του εδάφους με βαθιά άροση.

Όπως προαναφέρθηκε και για την καλλιέργεια των κουκιών, η ίδια διαδικασία σε ότι αφορά την καλλιεργητική τεχνική και φροντίδες και του αραβοσίτου, ακολουθήθηκε όμοια και στα τρία έτη διεξαγωγής των πειραμάτων.

### 2.3.3. *Sorghum bicolor*.

Η σπορά του ινώδους σόργου *Sorghum bicolor* cv H133, (υβρίδιο πρώιμης/μέσης ωρίμανσης), έγινε ταυτόχρονα με την σπορά του αραβοσίτου με σπартική μηχανή ακριβείας πνευματικού τύπου, σε αποστάσεις φύτευσης 75 cm μεταξύ των γραμμών, 15-17 cm επί των γραμμών και βάθος σποράς 2-3 cm, επιτυγχάνοντας πυκνότητα φύτευσης 12-15 φυτά/m<sup>2</sup>, και αφού είχε προηγηθεί έλεγχος της βλαστικής ικανότητας του σπόρου στο εργαστήριο με σχετικό πείραμα (τα αποτελέσματα του οποίου ήταν απολύτως ικανοποιητικά: 90-95% βλαστικότητα). Οι ημερομηνίες σποράς και των μετέπειτα φαινολογικών σταδίων της καλλιέργειας για κάθε χρόνο διεξαγωγής των πειραμάτων και για τον καθένα από τους πειραματικούς αγρούς, συνοψίζονται στον Πίνακα VI. Όπως και στην καλλιέργεια του αραβοσίτου, μετά την σπορά έγινε η εφαρμογή της βασική λίπανσης με 50 kg P ha<sup>-1</sup> και 50 K ha<sup>-1</sup> σε όλα τα υποτεμάχια, ενώ η εφαρμογή της αζωτούχου λίπανσης έγινε μόνο στα υποτεμάχια που προέβλεπε το πειραματικό σχέδιο και στις ανάλογες δόσεις. Η εφαρμογή του αζώτου έγινε και στην καλλιέργεια του σόργου σε δύο δόσεις, με 50 kg N ha<sup>-1</sup> σαν βασική λίπανση, και την εφαρμογή της δεύτερης δόσης κατά την διάρκεια του βλαστικού σταδίου, όταν τα φυτά απέκτησαν ύψος 50 cm, με επιπλέον 50 και 100 kg N ha<sup>-1</sup>, στα κατάλληλα υποτεμάχια (N<sub>2</sub> και N<sub>3</sub> αντίστοιχα).

**Πίνακας VI.** Ημερομηνίες σποράς και μετέπειτα φαινολογικών σταδίων για την καλλιέργεια του σόργου, στις δύο περιοχές και τα τρία έτη.

|                        | Τρίκαλα |       |       | Σωτήριο |       |       |
|------------------------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
| <i>Sorghum bicolor</i> | 2007    | 2008  | 2009  | 2007    | 2008  | 2009  |
| Σπορά                  | 10/06   | 19/06 | 15/06 | 18/06   | 09/06 | 13/06 |
| Φύτρωμα (50%)          | 17/06   | 25/06 | 22/06 | 25/06   | 15/06 | 25/06 |
| Άνθηση (50%)           | 08/09   | 15/09 | 10/09 | 11/09   | 13/09 | 12/09 |
| Φυσ. ωρίμανση          | 06/10   | 12/10 | 10/10 | 12/10   | 09/10 | 14/10 |
| Συγκομιδή              | 08/10   | 15/10 | 12/10 | 14/10   | 11/10 | 16/10 |

Και στα τεμάχια που σπάρθηκαν με σόργο, μετά την εφαρμογή της βασικής λίπανσης έγινε μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων με ελαφρύ σκάλισμα, κατά τόπους και όπου αυτό χρειαζόταν, καθώς το σόργο παρουσιάζει πολύ γρήγορους ρυθμούς αύξησης και είναι πολύ ανταγωνιστικό φυτό απέναντι στα ζιζάνια. Καθολική ζιζανιοκτονία ειδικά με τη χρήση χημικών σκευασμάτων δεν κρίθηκε απαραίτητη σε καμία από τις περιοχές και σε καμία χρονιά.

Η καλλιέργεια του σόργου έγινε επίσης κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες διαθεσιμότητας νερού, και πραγματοποιήθηκαν αρδεύσεις ταυτόχρονα με τις αρδεύσεις για τον αραβόσιτο, καλύπτοντας το 80-100% της εξατμισοδιαπνοής, με τις ίδιες τεχνικές, επίπεδα και ημερομηνίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα IV. Κατά την διάρκεια της καλλιέργειας του σόργου δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα στρες στα φυτά λόγω έλλειψης νερού ή μακροστοιχείων κατά τη διάρκεια κάποιου από τα τρία έτη διεξαγωγής των πειραμάτων.

Όταν η καλλιέργεια έφτασε στο στάδιο της φυσιολογικής ωρίμανσης, έγινε μηχανική συλλογή του υπέργειου τμήματος της καλλιέργειας με θερισμό, ενώ τα υπολείμματα της καλλιέργειας, καθώς και το υπόγειο μέρος όπως και στην περίπτωση του αραβοσίτου, έμειναν στον αγρό και ενσωματώθηκαν στο έδαφος κατά την αναστροφή του εδάφους με βαθιά άροση.

Όπως προαναφέρθηκε και για τις καλλιέργειες των άλλων φυτών, η ίδια διαδικασία σε ότι αφορά την καλλιεργητική τεχνική και φροντίδες και του σόργου, ακολουθήθηκε όμοια και στα τρία έτη διεξαγωγής των πειραμάτων.

## 2.4. Μετρήσεις και υπολογισμοί.

Η επίδραση της χειμερινής καλλιέργειας των κουκιών και των επιπέδων εφαρμοζόμενης λίπανσης στις καλλιέργειες του αραβοσίτου και του σόργου, αλλά και στις εδαφικές ιδιότητες, πραγματοποιήθηκε με την διεξαγωγή επαναλαμβανόμενων πειραμάτων, τα οποία λόγω της ανομοιομορφίας ως προς την ακολουθούμενη μεθοδολογία, τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς, παρουσιάζονται το καθένα ξεχωριστά στην συνέχεια.

### 2.4.1. Πειράματα παρακολούθησης της αύξησης των καλλιεργειών.

Κατά κανόνα η αύξηση συνδέεται στενά με την ανάπτυξη, και αυτός είναι ο λόγος που ο όρος «ανάπτυξη» συχνά χρησιμοποιείται για να εκφράσει την αύξηση της καλλιέργειας. Αναγνωρίζοντας τη διαφορά μεταξύ αύξησης (growth) και ανάπτυξης (development) μιας καλλιέργειας, με την μεν πρώτη να αφορά στην αύξηση σε βάρος ή όγκο του συνόλου της φυτομάζας ή των διαφόρων φυτικών οργάνων, η δε δεύτερη να ορίζεται ως το πέρασμα από διαδοχικά φαινολογικά στάδια (χαρακτηρίζεται από τη σειρά και το ρυθμό εμφάνισης των βλαστικών και των αναπαραγωγικών φυτικών οργάνων που αποτελούνται από διάφορους ιστούς με εξειδικευμένες λειτουργίες), πραγματοποιήθηκαν διαδοχικές δειγματοληψίες για την παρακολούθηση της αύξησης (growth) και της παραγωγής υπέργειας βιομάζας, τόσο στις καλλιέργειες του αραβοσίτου και του σόργου, αλλά και στην καλλιέργεια των κουκιών. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν αρχικά κατά το δεύτερο έτος (2008) εγκατάστασης των καλλιεργειών, σε μια προσπάθεια να περιοριστούν πιθανές αλλοιώσεις των αποτελεσμάτων από την παρουσία υπολειμματικού αζώτου στο έδαφος κατά το πρώτο έτος εγκατάστασης των πειραματικών αγρών (2007), και επαναλήφθηκαν κατά το τρίτο έτος (2009), με κύριο στόχο την επαλήθευση ή όχι των αποτελεσμάτων. Οι ημερομηνίες διεξαγωγής των δειγματοληψιών και των τριών καλλιεργειών, στις δύο περιοχές και για τα δύο έτη, παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα VII.

**Πίνακας VII.** Ημερομηνίες διεξαγωγής δειγματοληψιών των τριών καλλιεργειών, στις δύο περιοχές και τα δύο έτη.

|                   | Τρίκαλα |        |        |        | Σωτήριο |        |        |        |
|-------------------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
|                   | 2008    |        | 2009   |        | 2008    |        | 2009   |        |
| <i>Vicia faba</i> | 25/03,  | 14/04, | 21/03, | 31/03, | 06/03,  | 23/03, | 03/03, | 18/03, |
|                   | 26/04,  | 08/05, | 09/04, | 23/04, | 09/04,  | 25/04, | 01/04, | 15/04, |
|                   | 18/05,  | 27/05  | 10/05, | 02/06  | 08/05,  | 18/05, | 27/04, | 10/05, |
|                   |         |        |        | 26/05  |         | 21/05  |        |        |
| <i>Zea mays</i>   | 12/07,  | 25/07, | 09/07, | 21/07, | 09/07,  | 24/07, | 09/07, | 20/07, |
|                   | 06/08,  | 19/08, | 08/08, | 21/08, | 05/08,  | 19/08, | 02/08, | 07/09, |
|                   | 02/09,  | 16/09, | 04/09, | 18/09, | 01/09,  | 13/09, | 22/09, | 01/10  |
|                   | 15/10   |        | 06/10  |        | 10/10   |        |        |        |
| <i>Sorghum</i>    | 12/07,  | 25/07, | 09/07, | 17/07, | 11/07,  | 24/07, | 09/07, | 24/07, |
| <i>bicolor</i>    | 06/08,  | 19/08, | 14/08, | 27/08, | 05/08,  | 18/08, | 08/08, | 26/08, |
|                   | 02/09,  | 15/09, | 10/09, | 27/09, | 01/09,  | 13/09, | 12/09, | 27/07, |
|                   | 29/09,  | 15/10  | 12/10  |        | 27/09,  | 11/10  | 16/10  |        |

Για την καλλιέργεια των κουκιών οι διαδοχικές δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν περίπου κάθε δεκαπενθήμερο, για την παρακολούθηση της αύξησης της καλλιέργειας και τη συλλογή δεδομένων που να αφορούν στην παραγωγή σπόρου και στη συνολική παραγόμενη βιομάζα, αλλά και στην βιομάζα που ενσωματώθηκε στο έδαφος στα υποτεμάχια που εφαρμόστηκε ως χλωρή λίπανση, χωρίς να ακολουθήσουν συγκρίσεις μέσω όρων, καθόσον τα δείγματα δεν προέρχονταν από διαφορετικές προμεταχειρίσεις. Για τις καλλιέργειες των δύο ενεργειακών φυτών, οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν ομοίως κάθε περίπου 10-15 ημέρες, ακολουθώντας το πειραματικό σχέδιο ως προς τις τρεις προμεταχειρίσεις με το ψυχανθές (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης και μάρτυρας), και μόνο ως προς τις δύο από τις τέσσερις προμεταχειρίσεις για το επίπεδο αζωτούχου λίπανσης, και ειδικότερα για την μέγιστη τιμή (240 kg N ha<sup>-1</sup> για τον αραβόσιτο και 150 kg N ha<sup>-1</sup> για το ινώδες σόργο) και την μηδενική τιμή (μάρτυρας), ώστε να μελετηθεί η επίδραση του ψυχανθούς στην ανάπτυξη των ενεργειακών τόσο κατά την απουσία αζωτούχου λίπανσης, όσο και κατά την σύμφωνα με τις συνήθειες πρακτικές για τις δύο καλλιέργειες (αραβόσιτος, σόργο) μέγιστη δοσολογία εφαρμογής αζωτούχου λίπανσης.

Τα σημεία των δειγματοληψιών ήταν διασκορπισμένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται ο επηρεασμός της κάθε δειγματοληψίας από τις προηγούμενες και η συλλογή των φυτών έγινε από έκταση  $1\text{m}^2$ , με θερισμό του υπέργειου τμήματος στο ύψος του εδάφους. Αφού γινόταν μέτρηση του ύψους των φυτών, τα φυτά διαιρούνταν στα διάφορα φυτικά όργανα (στέλεχος, φύλλα, όργανα καρποφορίας, σπόρος) και τα επιμέρους κλάσματα ζυγίζονταν χωρά στο χωράφι. Στην συνέχεια τα δείγματα αποξηραίνονταν σε κλίβανο θερμού αέρα στους  $\pm 90^\circ\text{C}$  εωσότου προκύπτουν ίσα βάρη κατά την ζύγιση (2-4 ημέρες), και ζυγίζονταν ξανά ώστε να υπολογιστούν τα ξηρά βάρη για κάθε φυτικό όργανο. Για τις καλλιέργειες του αραβοσίτου και του σόργου και για τα τελευταία στάδια της ανάπτυξης και λόγω του μεγάλου όγκου των δειγμάτων, γινόταν υπο-δειγματοληψία με επιλογή ενός αντιπροσωπευτικού φυτού το οποίο μετά την διαίρεση στα φυτικά όργανα, οδηγούταν για ξήρανση στον κλίβανο και από τις μετρήσεις του υπο-δείγματος ως προς τα ξηρά βάρη του κάθε φυτικού οργάνου, προέκυπταν οι εκτιμήσεις για το συνολικό δείγμα, με αναγωγή βάση της αναλογίας χλωρό/ξηρό βάρος που μετρήθηκε για το κάθε φυτικό κλάσμα. Επίσης, για τις καλλιέργειες του αραβοσίτου και του σόργου, τα ελάσματα των πλήρως εκπτυγμένων φύλλων καθώς και το εξωτερικό τμήμα του ελάσματος των μη πλήρως εκπτυγμένων φύλλων, συνυπολογίστηκαν στο κλάσμα των φωτοσυνθετικά ενεργών φύλλων των οποίων μετρήθηκε η φυλλική επιφάνεια. Και για τις τρεις καλλιέργειες (κουκί, αραβόσιτος, σόργο), οι μετρήσεις της επιφάνειας των φωτοσυνθετικά ενεργών φύλλων έγιναν με τη χρήση το ίδιου μετρητή επιφάνειας LI-COR (Εικόνα 3) που είναι κατάλληλα εφοδιασμένος με αυτόματη ταινία κύλισης των φύλλων (LI-3000A).



**Εικόνα 3.** Μετρητής φυλλικής επιφάνειας LI-COR (LI-3000A).



Με βάση τις μετρήσεις της φυλλικής επιφάνειας και του ξηρού βάρους των πράσινων φύλλων, υπολογίστηκε η ειδική φυλλική επιφάνεια (Specific leaf area, SLA,  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ ), που αντιπροσωπεύει την συνολική φυλλική επιφάνεια ανά μονάδα ξηρού βάρους της φυλλικής μάζας και μέσω αυτής, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf area index, LAI,  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) μέσω της Εξίσωσης (1):

$$LAI = SL * SLA * 10^{-4}, \quad (1)$$

όπου  $SL$  είναι το ξηρό βάρος των (πράσινων) φύλλων ( $\text{g m}^{-2}$ ).

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) αποτελεί την πιο ουσιαστική μεταβλητή στα δυναμικά μοντέλα ρυθμού αύξησης και τις λειτουργικές αναλύσεις του (Radford, 1967; Monteith, 1977; Jones and Kiniry, 1986; Tei *et al.*, 1996; Costa *et al.*, 1997).

Επίσης υπολογίστηκε η αναλογία βάρους των φύλλων (Leaf weight ratio, LWR,  $\text{kg kg}^{-1}$ ) βάση του τύπου:

$$LWR = \frac{LDW}{TDM}, \quad (2)$$

όπου  $LDW$  = Ξηρό βάρος των φύλλων (Leaf dry weight), Kg

$TDM$  = Συνολική ξηρή βιομάζα (Total dry mater), Kg.

Ο ρυθμός αύξησης των καλλιεργειών (Crop growth rate, CGR,  $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ) και ο καθαρός ρυθμός αφομοίωσης (Net assimilation rate, NAR,  $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ) υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους τύπους του Beadle (1987), όπως αυτοί περιγράφονται στις Εξισώσεις (3) και (4):

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}, \quad (3)$$

όπου  $W_2$  = ξηρό βάρος βιομάζας ανά  $\text{m}^{-2}$ , κατά την δεύτερη κοπή

$W_1$  = ξηρό βάρος βιομάζας ανά  $\text{m}^{-2}$ , κατά την πρώτη κοπή

$t_2$  = ο χρόνος που πραγματοποιήθηκε η δεύτερη κοπή (σε ημέρες)

$t_1$  = ο χρόνος που πραγματοποιήθηκε η πρώτη κοπή (σε ημέρες)

$$NAR = \frac{TDM}{LAD}, \quad (4)$$

όπου  $TDM$  = Συνολική ξηρή βιομάζα (Total dry mater), g

$LAD$ = Διάρκεια της φυλλικής επιφάνειας (Leaf area duration),  $m^2$  day, όπως αυτή ορίζεται από τους Power *et al.* (1967) στην Εξίσωση (5):

$$LAD = (LAI_1 + LAI_2) / 2 * (t_2 - t_1), \quad (5)$$

όπου  $LAI_1$ = leaf area index στον χρόνο  $t_1$

$LAI_2$ = leaf area index στον χρόνο  $t_2$

$t_1$ = ο χρόνος της πρώτης παρατήρησης

$t_2$ = ο χρόνος της δεύτερης παρατήρησης.

Η εξέλιξη των πιο πάνω παραμέτρων παρακολούθησης της αύξησης και παραγωγής βιομάζας όλων των καλλιεργειών, απεικονίζεται στα αντίστοιχα διαγράμματα, στην κλίμακα ημερών του Ιουλιανού ημερολογίου (Julian days, JD). Όλα δεδομένα που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν, υποβλήθηκαν σε ανάλυση της διασποράς (ANOVA) ακολουθώντας το πειραματικό σχέδιο, με την χρήση του υπολογιστικού λογισμικού SPSS17, ενώ για τον εντοπισμό των στατιστικά σημαντικών διαφορών ανάμεσα στους μέσους για τις καλλιέργειες του αραβοσίτου και του σόργου, χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Least significant difference,  $LSD_{0.05}$ ) (Steel and Torrie, 1982).

2.4.2. Πειράματα υπολογισμού του δυναμικού παραγωγής και της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου.

Και για τα δύο ενεργειακά φυτά (αραβόσιτος, σόργο) πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες κάθε χρόνο και σε κάθε περιοχή, σε ένα τετραγωνικό μέτρο ( $1 m^2$ ) των δυο κεντρικών γραμμών σποράς κάθε υπο-τεμαχίου, λίγο πριν την συγκομιδή της καλλιέργειας, για τον υπολογισμό της συνολικής παραγόμενης βιομάζας και την εκτίμηση της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου (Nitrogen use efficiency, NUE). Τα φυτά κοπήκαν στο επίπεδο του εδάφους, ζυγιστήκαν στον αγρό και επιλέχθηκε ένα αντιπροσωπευτικό φυτό από κάθε δειγματοληψία, στο οποίο μετρήθηκε το ύψος και το χλωρό βάρος. Έγινε διαχωρισμός των φύλλων-βλαστού και καρπού, στα φυτά του αραβόσιτου και των φύλλων από τον βλαστό στα φυτά του σόργου και αφού ζυγιστήκαν τα χλωρά βάρη του κάθε φυτικού κλάσματος χωριστά, τοποθετήθηκαν για ξήρανση σε κλίβανους θερμού αέρα σε θερμοκρασία  $\pm 70^\circ C$ , έως ότου προκύπτουν ίσα βάρη κατά την ζύγιση (2-4 ημέρες). Στα δείγματα ζυγίστηκαν τα τελικά ξηρά βάρη από τα οποία έγιναν οι αναγωγές στο  $1m^2$ , βάση της αναλογίας

χλωρό/ξηρό βάρος που μετρήθηκε για το κάθε φυτικό κλάσμα. Ακολούθως, στα αποξηραμένα δείγματα των φύλλων-βλαστού και καρπού του αραβόσιτου και των φύλλων και βλαστού του σόργου, έγινε προετοιμασία με λιοτρίβηση (μέγεθος κόκκων < 1mm) για να γίνει ανάλυση για το ολικό άζωτο με την μέθοδο Kjeldahl (Nelson and Sommers, 1973). Η απορρόφηση του αζώτου (N uptake) εκτιμήθηκε πολλαπλασιάζοντας τα ξηρά βάρη των δειγμάτων επί τις συγκεντρώσεις του αζώτου που προέκυψαν από τις αναλύσεις των φυτικών ιστών με τη μέθοδο Kjeldahl.

Η αποδοτικότητα χρήσης του αζώτου (Nitrogen use efficiency, NUE) μπορεί να οριστεί ως η παραγωγή σπόρου ή βιομάζας, ανά μονάδα διαθέσιμου αζώτου (N) στο έδαφος (συμπεριλαμβανομένου του υπολειμματικού N στο έδαφος και των εισροών N μέσω λίπανσης), ή αλλιώς ως η οικονομικά μέγιστη παραγωγή ανά μονάδα αζώτου που εφαρμόστηκε, απορροφήθηκε, ή χρησιμοποιήθηκε από το φυτό για την παραγωγή σπόρου ή ιστού (Moll *et al.*, 1983). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η NUE μπορεί να διαιρεθεί σε δύο συνιστώσες: την αποδοτικότητα απορρόφησης αζώτου (N uptake efficiency, NUpE), δηλαδή την ικανότητα του φυτού να απορροφά άζωτο από το έδαφος ως νιτρικά ή αμμωνιακά ιόντα και την αποδοτικότητα αξιοποίησης αζώτου (N utilization efficiency, NUtE), δηλαδή την ικανότητα του φυτού να χρησιμοποιεί το άζωτο για την παραγωγή σπόρου ή ιστού. Όταν η παραγωγή ξηρής βιομάζας ή η παραγωγή σπόρου, πολλαπλασιαστεί με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις αζώτου στους φυτικούς ιστούς, τα αποτελέσματα αποτελούν μετρήσεις της απορρόφησης του θρεπτικού στοιχείου και εκφρασμένα σε μονάδες αφομοίωσης ή απορρόφησης γίνονται χρήσιμοι δείκτες για την εκτίμηση της μείωσης της γονιμότητας του εδάφους, που προκαλείται από την παραγωγή φυτικής βιομάζας (Miller *et al.*, 2003).

Οι ακόλουθες παράμετροι της αποδοτικότητας του αζώτου, υπολογίστηκαν για κάθε επέμβαση τόσο για τον αραβόσιτο, όσο και για το σόργο:

α) *αποδοτικότητα απορρόφησης αζώτου* (N uptake efficiency, NUpE;  $\text{kg kg}^{-1}$ ), ως η αναλογία της συνολικής ποσότητας αζώτου που απορροφήθηκε από το φυτό προς την ποσότητα αζώτου που εφαρμόστηκε.

β) *αποδοτικότητα αξιοποίησης αζώτου* (N utilization efficiency, NUtE;  $\text{kg kg}^{-1}$ ), ως η αναλογία της ποσότητας του σπόρου που παρήχθη προς τη συνολική ποσότητα του αζώτου που απορροφήθηκε από το φυτό.

γ) ο δείκτης συγκομιδής του αζώτου (N harvest index, NHI; %), ως η αναλογία του αζώτου του σπόρου προς τη συνολική ποσότητα του αζώτου που απορροφήθηκε από το φυτό.

δ) η αποδοτικότητα χρήσης του αζώτου, ως έκφραση της φυσιολογίας φυτών (N use (physiological) efficiency, NUE;  $\text{kg kg}^{-1}$ ), ως η αναλογία της (παραγωγή στο  $N_x$  - παραγωγή στο  $N_0$ ) προς (N που απορροφήθηκε στο  $N_x$  - N που απορροφήθηκε στο  $N_0$ ).

ε) το καθαρό κλάσμα ανάκτησης αζώτου (N recovery fraction, NRf; %), ως η αναλογία του (N που απορροφήθηκε στο  $N_x$  - N που απορροφήθηκε στο  $N_0$ ) προς το N που εφαρμόστηκε στο  $N_x$ .

Η πιο πάνω ορολογία για τους ορισμούς και υπολογισμούς της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου, ακολουθεί τους Moll *et al.* (1982), Pierce and Rice (1988), Huggins and Pan (1993), Sowers *et al.* (1994), Lopez-Belido and Lopez-Belido (2001) και Fageria and Baligar (2005).

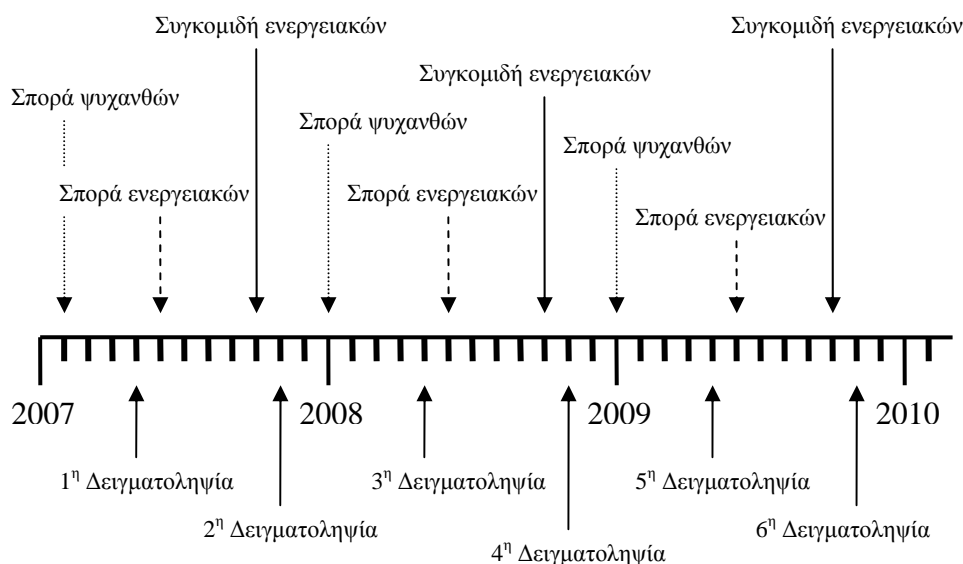
Όλα τα δεδομένα που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν, υποβλήθηκαν σε ανάλυση της διασποράς (ANOVA) ακολουθώντας το πειραματικό σχέδιο, με την χρήση του υπολογιστικού λογισμικού SPSS17, ενώ για τον εντοπισμό των στατιστικά σημαντικών διαφορών ανάμεσα στους μέσους, χρησιμοποιήθηκε και εδώ το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Least significant difference, LSD σε  $P < 0,05$  και  $P < 0,01$ ). Τα δεδομένα παρουσιάζονται σε διαγραμματική απεικόνιση με χρήση των τρι-τεταρτημοριακών διαγραμμάτων (three quadrant diagrams, Van Keulen, 1982; De Wit, 1992), καθώς με την χρήση των διαγραμμάτων αυτών, η ανταπόκριση του δυναμικού παραγωγής στην εισροή θρεπτικών στοιχείων παρουσιάζεται με τρόπο που γίνεται εύκολα αντιληπτή, ενώ την ίδια στιγμή η «αγρονομική ανταπόκριση» (παραγωγή έναντι δόσης) αναλύεται στα συστατικά που την καθορίζουν: α) τη σχέση μεταξύ απορρόφησης θρεπτικού στοιχείου και ύψους παραγωγής, η οποία καθορίζεται κυρίως από τη φυσιολογία του φυτού και β) τη σχέση μεταξύ εισροών (δόση) και απορρόφησης, που καθορίζεται από διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στο έδαφος.

#### 2.4.3. Πειράματα εκτίμησης της σταθερότητας της εδαφικής δομής.

Η διάβρωση του εδάφους επηρεάζεται κυρίως από την αντίσταση των συσσωματωμάτων των αδρανών υλικών του εδάφους, απέναντι στις διαβρωτικές δυνάμεις της βροχόπτωσης και της κίνησης του νερού. Αυτή είναι και η σπουδαιότητα των δομικών αυτών μονάδων του εδάφους, οι οποίες επιδεικνύουν μεγάλες αντιστάσεις στις διαβρωτικές κινήσεις του νερού. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της σταθερότητας της εδαφικής δομής, ο συντελεστής εδαφικής αστάθειας  $\beta$  (instability index, Valmis *et al.*, 1988), που είναι δείκτης της ως προς το νερό σχετικής σταθερότητας των συσσωματωμάτων των αδρανών υλικών του εδάφους, και βασίζεται σε μια σχετικά γρήγορη μέθοδο υπολογισμού με αξιόπιστα αποτελέσματα. Ο δείκτης  $\beta$  έχει χρησιμοποιηθεί με άριστα αποτελέσματα σε ανάλογες μελέτες (Flouri *et al.*, 1990; Dimoyiannis *et al.*, 1998; Argyrokastritis *et al.*, 2002; Valmis *et al.*, 2005).

Τα πειράματα διενεργήθηκαν και στις δύο περιοχές των Τρικάλων και του Σωτηρίου, ώστε να μελετηθεί η επίδραση του ψυχανθούς και στους δύο εδαφικούς τύπους. Τα πειραματικά τεμάχια ήταν μικρής έκτασης ( $1 \text{ m}^2$ ) για να αποκλειστεί η επίδραση άλλων παραγόντων διάβρωσης και σταθερά οριοθετημένα στο κέντρο τυχαίων υποτεμαχίων των τριών επεμβάσεων του ψυχανθούς (C είναι τα υποτεμάχια μάρτυρας (χωρίς καλλιέργεια ψυχανθούς), I είναι τα υποτεμάχια στα οποία έγινε ενσωμάτωση του ψυχανθούς στο έδαφος (χλωρή λίπανση), στο στάδιο του 50% της άνθησης και H τα υποτεμάχια στα οποία το ψυχανθές συγκομίστηκε ως ξεχωριστή καλλιέργεια για την παραγωγή καρπού (καλλιέργεια κάλυψης)) και στα οποία ακολούθησε η καλλιέργεια του σόργου. Τα πειραματικά τεμάχια παρέμειναν σταθερά κατά την διάρκεια και των τριών ετών για τον πειραματικό αγρό των Τρικάλων, καθώς και για τον πειραματικό αγρό του Σωτηρίου, σε τρεις επαναλήψεις. Για την εκτίμηση της αρχικής ευστάθειας της εδαφικής δομής, δεν έγιναν ξεχωριστές δειγματοληψίες αλλά χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τα υποτεμάχια του μάρτυρα, καθώς καμία επέμβαση δεν είχε πραγματοποιηθεί στα υποτεμάχια αυτά πριν την έναρξη των κύκλων των επεμβάσεων και δειγματοληψιών, και ως εκ τούτου αντικατοπτρίζουν την αρχική κατάσταση του εδάφους. Στο Σχήμα 3. απεικονίζεται διαγραμματικά ο χρόνος των δειγματοληψιών για τις δύο περιοχές, σε σχέση με το χρόνο των υπολοίπων επεμβάσεων του πειραματικού σχεδίου και καθ' όλη τη διάρκεια του. Συνολικά διενεργήθηκαν 6 δειγματοληψίες στον πειραματικό των Τρικάλων (αμμώδες έδαφος) και 5 στον πειραματικό του Σωτηρίου (αργιλώδες

έδαφος), για κάθε μία από τις επεμβάσεις με το ψυχανθές, σε τρεις επαναλήψεις. Είναι εμφανής η επαναληψιμότητα των δειγματοληψιών ως προς το χρόνο διενέργειάς τους, καθώς η ευστάθεια της εδαφικής δομής παρουσιάζει έντονη εποχική διακύμανση (Valmis *et al.*, 2005).



**Σχήμα 3.** Χρόνος των δειγματοληψιών για τις δύο περιοχές, σε σχέση με το χρόνο των υπολοίπων επεμβάσεων του πειραματικού σχεδίου και καθ' όλη τη διάρκεια του.

Ο υπολογισμός του συντελεστή εδαφικής αστάθειας  $\beta$ , έγινε ακολουθώντας την τυπική μεθοδολογία (Valmis *et al.*, 1988). Τα δείγματα εδάφους, βάρους 0,5 kg, συλλέχθηκαν στον αγρό με το έδαφος στην φυσική του κατάσταση και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για αεροξήρανση. Στη συνέχεια υπέστησαν κοσκίνισμα μέχρι διαμέτρου 2,0-4,7 mm, για να υποβληθούν στη συνέχεια σε υγρό κοσκίνισμα με την χρήση κατάλληλης συσκευής. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε (Εικόνα 4), διαθέτει δύο μπρούντζινα κόσκινα διαμέτρου 70 mm (με οπές πλέγματος 0,25 mm), που βυθίζονται σε δύο αντίστοιχα δοχεία που περιέχουν 208 cm<sup>3</sup> το καθένα, με ρυθμό 72 παλινδρομικών καθέτων κινήσεων το λεπτό (16,5 mm εύρος παλινδρόμησης). Τα κόσκινα τοποθετούνται σε κατάλληλη θέση στο μηχανισμό, ώστε το πλέγμα τους να βρίσκεται σε ύψος 13 mm πάνω από την επιφάνεια του νερού, κατά το ανώτατο σημείο της κάθε παλινδρόμησης. Για τον καθορισμό της ευστάθειας έναντι του νερού, 10 g των αεροξηραμένων δειγμάτων μεγέθους 2,0-4,7 mm τοποθετούνται σε καθένα από τα δύο μπρούντζινα κόσκινα και βυθίζονται στο νερό σε βάθος περίπου 5 mm για 3 λεπτά, για να γίνει διαβροχή τους. Μετά την

διαβροχή, ακολουθεί παλινδρομική βύθιση για 4 λεπτά, και η ξηρή μάζα των συσσωματωμάτων που παραμένει στο πλέγμα των κόσκινων, αφού ζυγιστεί, αποδομείται στο μέγεθος άμμου ( $\geq 0.25$  mm) με χρήση διασπαρτικού μέσου. Ο υπολογισμός του συντελεστή εδαφικής αστάθειας  $\beta$  γίνεται βάση της Εξίσωσης (6):

$$\beta = \frac{1}{2} [\log(W_a - W_s) - \log(W_a - W_k - W_s)] \quad (6)$$

όπου  $W_a$ = η ξηρή μάζα του αρχικού δείγματος εδάφους (g),

$W_s$ = η ξηρή μάζα των αδρανών υλικών μεγέθους άμμου ( $\geq 0.25$  mm) (g),

$W_k$ = η ξηρή μάζα του υλικού που πέρασε το πλέγμα του κόσκινου κατά την αρχική διαβροχή (3 λεπτά) και την υγρή κοσκίνιση (4 λεπτά) (g).

Τα ξηρά βάρη των πιο πάνω μαζών, μετρήθηκαν μετά από ξήρανση των δειγμάτων σε κλίβανο και στους 105 °C, για 24 ώρες.

Ο συντελεστής  $\beta$  κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών μεταξύ 0 και 1. Σε αυξανόμενες τιμές του  $\beta$ , η αστάθεια των συσσωματωμάτων των αδρανών υλικών του εδάφους αυξάνεται και αντιστρόφως, με την μέγιστη τιμή 1 να αντιστοιχεί σε απόλυτα ασταθή εδαφική δομή και την ελάχιστη τιμή 0, σε απόλυτα σταθερή.

Όλα δεδομένα που υπολογίστηκαν, υποβλήθηκαν σε ανάλυση της διασποράς (ANOVA) ακολουθώντας το πειραματικό σχέδιο, με την χρήση του υπολογιστικού λογισμικού SPSS17, ενώ για τον εντοπισμό των στατιστικά σημαντικών διαφορών ανάμεσα στους μέσους, χρησιμοποιήθηκε και εδώ το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Least significant difference,  $LSD_{0.05}$ ).



**Εικόνα 4.** Συσκευή υγρής κοσκίνισης (αριστερά) και δείγματα εδάφους έτοιμα για υγρή κοσκίνιση (δεξιά).

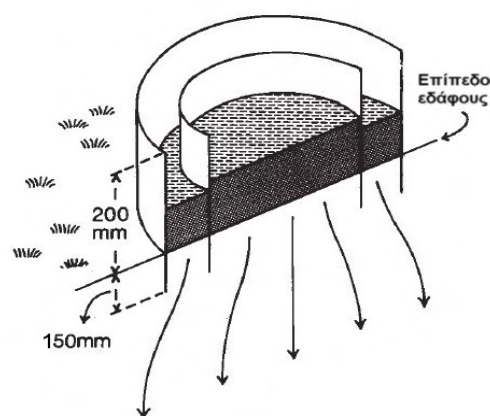
#### 2.4.4. Πειράματα υπολογισμού της διηθητικότητας του εδάφους.

Ο ρυθμός διήθησης (Infiltration rate,  $I$ ) και οι βασικές παράμετροι της διηθητικότητας, απορροφητικότητα (sorptivity,  $S$ ) και υδραυλική αγωγιμότητα (hydraulic conductivity,  $K$ ), των δύο διαφορετικών εδαφικών τύπων, των δύο πειραματικών αγρών (Τρίκαλα, Σωτήριο), υπολογίστηκαν ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία και για τα δύο εδάφη, με επαναλήψεις καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος (2007-2009). Οι μετρήσεις έγιναν σε τρεις επαναλήψεις, σε τυχαία υποτεμάχια των τριών επεμβάσεων του ψυχανθούς ( $M$  είναι τα υποτεμάχια μάρτυρας (χωρίς καλλιέργεια ψυχανθούς),  $E$  είναι τα υποτεμάχια στα οποία έγινε ενσωμάτωση του ψυχανθούς στο έδαφος (χλωρή λίπανση), στο στάδιο του 50% της άνθησης και  $K$  τα υποτεμάχια στα οποία το ψυχανθές συγκομίστηκε ως ξεχωριστή καλλιέργεια για την παραγωγή καρπού (καλλιέργεια κάλυψης)) και στα οποία ακολούθησε η καλλιέργεια του σόργου. Ο χρόνος των δειγματοληψιών για τις δύο περιοχές, σε σχέση με το χρόνο των υπολοίπων επεμβάσεων του πειραματικού σχεδίου, συμπίπτει με τον χρόνο διενέργειας των δειγματοληψιών για τον υπολογισμό της σταθερότητας της εδαφικής δομής (καθώς οι δύο αυτές ιδιότητες του εδάφους είναι στενά συνδεδεμένες και επηρεάζονται εξίσου από την διαδοχή καλλιεργειών (Kwesiga and Coe, 1994; Kiere, 1995; Levy and Miller, 1997), και παρουσιάζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 2. Συνολικά διενεργήθηκαν 6 μετρήσεις στον πειραματικό των Τρικάλων (αμμώδες έδαφος) και 5 στον πειραματικό του Σωτηρίου (αργιλώδες έδαφος), για κάθε μία από τις επεμβάσεις με το ψυχανθές, σε τρεις επαναλήψεις.

Ο υπολογισμός του ρυθμού διήθησης, έγινε με τη χρήση διηθητοκομέτρων διπλού δακτυλίου (double ring infiltrometers), αποτελούμενα από δύο ομόκεντρους δακτυλίους, βαθμονομημένους με κλίμακα (mm) για την ανάγνωση της στάθμης του νερού (Εικόνα 5). Ο ρυθμός πτώσης της στάθμης του νερού μετρείται στον εσωτερικό δακτύλιο, και η στάθμη του νερού διατηρείται περίπου στο ίδιο ύψος τόσο στον εσωτερικό όσο και στον εξωτερικό δακτύλιο, ώστε να περιορίζεται η οριζόντια και πλευρική κίνηση του νερού στον εσωτερικό δακτύλιο. Η διάμετρος του εσωτερικού δακτυλίου είναι 300 mm και του εξωτερικού 560 mm, ενώ το ύψος και των δύο δακτυλίων είναι 350 mm, κατασκευασμένοι από 12 mm ατσάλι, με ακονισμένη την κάτω τους πλευρά για να εισέρχονται με ευκολία ακόμη και σε συμπαγές έδαφος. Με την βοήθεια λαστιχένιου σφυριού για να μην παραμορφώνονται, οι δακτύλιοι οδηγούνται σε βάθος περί τα 150 mm μέσα στο έδαφος, το οποίο προηγουμένως έχει καθαριστεί από φυτικά υπολείμματα, και μετά από διαβρογή του εδάφους



περιμετρικά του εξωτερικού δακτυλίου, γίνεται η πλήρωση με νερό πρώτα του εξωτερικού δακτυλίου και μετά του εσωτερικού, μέχρι στάθμης 300 mm, με την ποσότητα του νερού να ποντίζεται ακαριαία.



**Εικόνα 5.** Διηθητικόμετρο διπλού δακτυλίου (αριστερά) και σχηματικά η τοποθέτησή του σε κάτοψη (δεξιά).

Ο ρυθμός διήθησης του νερού στον εσωτερικό δακτύλιο, εκτιμήθηκε από τις μετρήσεις της πτώσης της στάθμης του νερού στον δακτύλιο αυτό, σε διαστήματα των 1, 1, 1, 2, 2, 5, 5, 10, 15 λεπτών (min). Από τα δεδομένα αυτά, υπολογίστηκε ο ρυθμός διήθησης του εδάφους και μέσω αυτού και ακολουθώντας ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, οι παράμετροι της διηθητικότητας, δηλαδή η απορροφητικότητα (sorptivity,  $S$ ) και η υδραυλική αγωγιμότητας (hydraulic conductivity,  $K$ ), εφαρμόζοντας την Εξίσωση 7, που αποτελεί μία τροποποίηση της γνωστής εξίσωσης του Philip (1957a,b), όπως την εισηγήθηκε ο Danalatos, 1993.

$$I = S t^{-1/2} + K_{tr} t + d \quad (7)$$

όπου  $I$ = ο αθροιστικός ρυθμός διήθησης ( $\text{cm min}^{-1}$ ),

$S$ = η απορροφητικότητα του εδάφους ( $\text{cm min}^{-1/2}$ ), εκτιμημένη ως συνάρτηση της εδαφικής υγρασίας,

$K_{tr}$ = η υδραυλική αγωγιμότητα ( $\text{cm min}^{-1}$ ) της ζώνης μετάδοσης κίνησης του νερού (transmission zone), εκτιμημένη ως συνάρτηση της εδαφικής σύστασης,

$t$ = ο χρόνος (min) και

$d$ = σταθερά που προστίθεται στην αρχική εξίσωση του Philip για να αποτιμήσει την επίδραση των αλλοιώσεων κατά τα αρχικά στάδια της διήθησης (λόγω επιφανειακών ρωγμών, κλπ).

Παράλληλα με την διεξαγωγή των μετρήσεων για την διηθητικότητα και για κάθε μέτρηση, έγινε εδαφοληψία αδιατάρακτων δειγμάτων εκτός του εξωτερικού δακτυλίου σε βάθος 0-60 mm, για τον προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας. Η συλλογή των δειγμάτων έγινε με χρήση δακτυλίου διαμέτρου 70 mm και τα δείγματα δεν εμφάνισαν σημάδια διατάραξης, ακόμη και κατά τους φθινοπωρινούς μήνες που το βρεγμένο αμμώδες έδαφος είχε πολύ χαλαρή δομή. Ο προσδιορισμός της εδαφικής υγρασίας έγινε με ζύγιση των δειγμάτων πριν και μετά την εισαγωγή τους σε κλίβανο (105 °C) για 24 ώρες.

Όλα δεδομένα που υπολογίστηκαν, υποβλήθηκαν σε ανάλυση της διασποράς (ANOVA) ακολουθώντας το πειραματικό σχέδιο, με τη χρήση του υπολογιστικού λογισμικού SPSS17, ενώ για τον εντοπισμό των στατιστικά σημαντικών διαφορών ανάμεσα στους μέσους, χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Least significant difference,  $LSD_{0.05}$ ).

#### 2.4.5. Μετεωρολογικά δεδομένα.

Για τον πειραματικό αγρό της περιοχής του Σωτηρίου, η παρακολούθηση των μετεωρολογικών δεδομένων γινόταν με ωριαία καταγραφή τους από πλήρως αυτοματοποιημένο αγρο-μετεωρολογικό σταθμό (scientact: mod. imetos), εγκατεστημένο στα όρια του πειραματικού αγρού (Εικόνα 6), εξοπλισμένο με τους κατάλληλους αισθητήρες για την καταγραφή της θερμοκρασίας αέρα, θερμοκρασίας εδάφους, υετού, σχετικής υγρασίας, ηλιοφάνειας και έντασης ανέμου. Ο έλεγχος της λειτουργίας γινόταν σε κάθε επίσκεψη στον πειραματικό αγρό, και η ανάκτηση των μετεωρολογικών δεδομένων από το καταγραφικό (data logger) γινόταν κάθε τρεις μήνες. Για τον πειραματικό αγρό της περιοχής των Τρικάλων, τα αντίστοιχα δεδομένα και για το διάστημα διεξαγωγής των πειραμάτων, αποκτήθηκαν μετά από σχετική αίτηση του εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY), η οποία έχει σε λειτουργία μετεωρολογικό σταθμό στην περιοχή των Καρυών Τρικάλων, σε απόσταση μόλις 200 μέτρων από τον πειραματικό αγρό. Η καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων από την EMY στον συγκεκριμένο μετεωρολογικό

σταθμό γίνεται σε οκτάωρη βάση. Τα μετεωρολογικά δεδομένα επεξεργάστηκαν με το λογισμικό υπολογιστικών φύλλων Excel και παρουσιάζονται ως μέσοι όροι δεκαημέρων για την θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ένταση ανέμου και ηλιοφάνεια και ως αθροιστικές τιμές δεκαημέρων για τον υετό. Από την ΕΜΥ αποκτήθηκαν επίσης μετεωρολογικά δεδομένα για την θερμοκρασία (μέση μηνιαία τιμή) και τον υετό (αθροιστική μηνιαία τιμή) και για τις δύο περιοχές και για το διάστημα 1955-2005, για τον υπολογισμό των αντίστοιχων κλιματικών μέσων.



**Εικόνα 6.** Ο μετεωρολογικός σταθμός στον πειραματικό αγρό του Σωτηρίου.

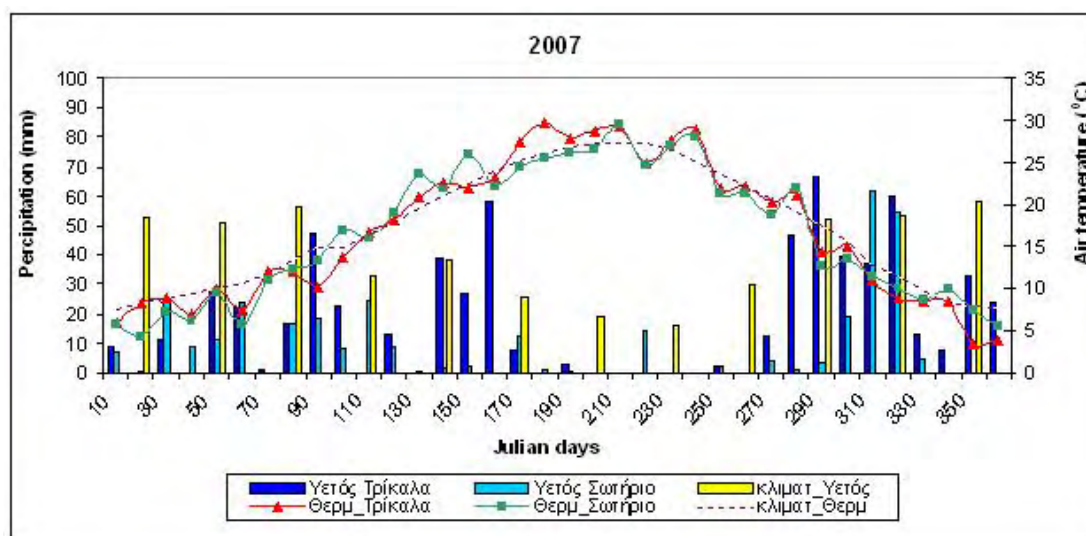
### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 3.1. Μετεωρολογικά δεδομένα.

Γενικά, και οι δύο περιοχές χαρακτηρίζονται από τυπικό Μεσογειακό κλίμα, με ζεστό και ξηρό καλοκαίρι και υγρό και κρύο χειμώνα. Από την μελέτη των δεδομένων που συλλέχθηκαν ή αποκτήθηκαν, προκύπτει πως οι δύο περιοχές δεν παρουσίασαν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους, ως προς κάποιο από τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά που παρακολούθηθηκαν κατά την διάρκεια των τριών ετών διεξαγωγής των πειραμάτων, καθώς βρίσκονται και οι δύο στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλικής κοιλάδας. Τα Σχήματα 3, 4 και 5 απεικονίζουν γραφικά την μέση θερμοκρασία αέρα και τον συνολικό υετό και για τις δύο περιοχές, για τα έτη 2007, 2008 και 2009 αντίστοιχα, ενώ εκτός από την ετήσια παρακολούθηση των μετεωρολογικών δεδομένων, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εποχική τους ανάλυση, καθώς η καλλιέργεια του ψυχανθούς γίνεται κατά την περίοδο χειμώνας-άνοιξη ενώ των ενεργειακών (αραβόσιτος, σόργο) κατά την περίοδο καλοκαίρι-φθινόπωρο.

Για το 2007, και για την περίοδο της καλλιέργειας του ψυχανθούς (Ιανουάριος-Μάιος), η μέση θερμοκρασία και στις δύο περιοχές ήταν 13°C, ενώ η συνολική βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη για τη περιοχή των Τρικάλων (237,7 mm στα Τρίκαλα, έναντι 157,37 mm στο Σωτήριο), αλλά ικανοποιητική για τις ανάγκες της καλλιέργειας, καθώς δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα στρες των φυτών από έλλειψη νερού. Η σχετική υγρασία κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα και για τις δύο περιοχές (61,2 % Τρίκαλα και 60,8% Σωτήριο, αντίστοιχα), καθώς και η μέση ηλιοφάνεια (165,1 Wm<sup>-2</sup> Τρίκαλα και 168,4 Wm<sup>-2</sup> Σωτήριο, αντίστοιχα). Για την περίοδο καλλιέργειας των ενεργειακών (Ιούνιος-Οκτώβριος), η μέση θερμοκρασία παρέμεινε σε παρόμοια επίπεδα και για τις δύο περιοχές (24,2 °C για τα Τρίκαλα και 23,9 °C για το Σωτήριο), ενώ η συνολική βροχόπτωση κατά την περίοδο αναγκών των καλλιεργειών ήταν μεγαλύτερη για την περιοχή των Τρικάλων (170,9 mm στα Τρίκαλα, έναντι 75,6 mm στο Σωτήριο), με αποτέλεσμα οι καλλιέργειες να χρειαστούν λιγότερη άρδευση στα Τρίκαλα. Η σχετική υγρασία και η μέση ηλιοφάνεια κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα και για τις δύο περιοχές, με τιμές 50,4% και 235,4 Wm<sup>-2</sup>, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται στα Σχ. 4 και 5, οι συνεχείς βροχοπτώσεις τον Δεκέμβριο του 2007 και τον Ιανουάριο του 2008 στην περιοχή των

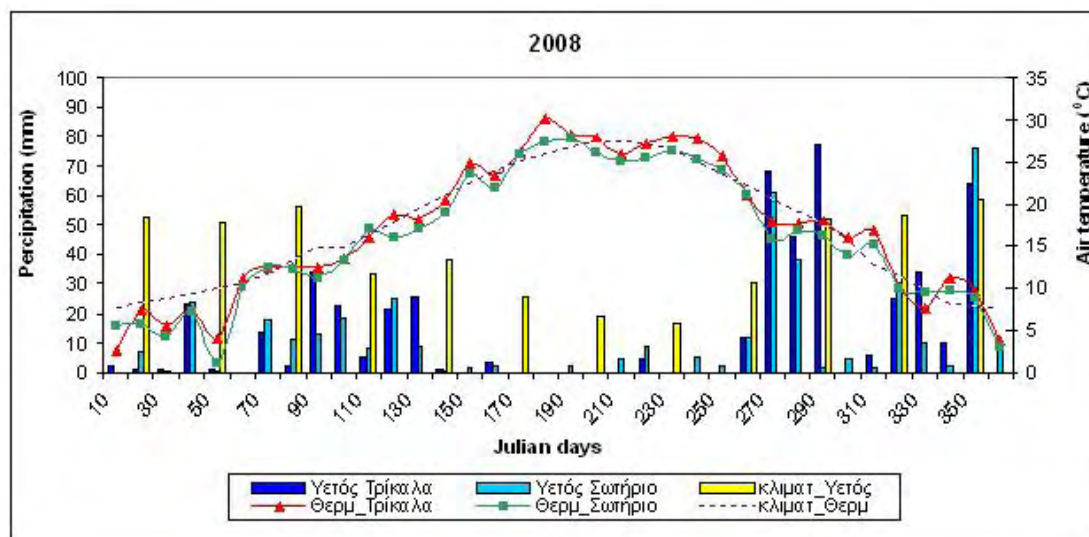
Τρικάλων, δεν επέτρεψαν την πρόιμη σπορά των κουκιών (όπως στην περιοχή του Σωτηρίου), η οποία έγινε στις αρχές του Φεβρουαρίου του 2008.



**Σχήμα 4.** Θερμοκρασία και υετός (μέσες τιμές 10 ημερών) για το 2007 και τις δύο περιοχές (Τρίκαλα και Σωτήριο) και οι αντίστοιχοι κλιματικοί μέσοι (EMY 1955-2005).

Κατά την διάρκεια του επόμενου έτους (2008) και για την περίοδο καλλιέργειας του ψυχανθούς, η μέση θερμοκρασία και η συνολική βροχόπτωση κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα και για τις δύο περιοχές ( $12,4^{\circ}\text{C}$  για τα Τρίκαλα και  $11,7^{\circ}\text{C}$  για το Σωτήριο και  $154,5\text{ mm}$  στα Τρίκαλα, έναντι  $136,8\text{ mm}$  στο Σωτήριο, αντίστοιχα), αν και η σχετική υγρασία ήταν μεγαλύτερη για την περιοχή των Τρικάλων, αγγίζοντας την μέση τιμή  $68,3\%$ , έναντι  $60,3\%$  για την περιοχή του Σωτηρίου. Η συνολική ποσότητα βροχόπτωσης κάλυψε τις ανάγκες τις καλλιέργειας και στις δύο περιοχές, καθώς ούτε κατά το έτος αυτό παρατηρήθηκαν φαινόμενα στρες των φυτών από έλλειψη νερού, ενώ η μέση ηλιοφάνεια ήταν αυξημένη σε σχέση με το προηγούμενο έτος ( $182,14\text{ Wm}^{-2}$ ). Για την περίοδο καλλιέργειας των ενεργειακών, η μέση θερμοκρασία παρέμεινε σε παρόμοια επίπεδα και για τις δύο περιοχές ( $24^{\circ}\text{C}$  για τα Τρίκαλα και  $23,6^{\circ}\text{C}$  για το Σωτήριο), ενώ η συνολική βροχόπτωση όπως και στο προηγούμενο έτος, κατά την περίοδο αναγκών των καλλιεργειών ήταν μεγαλύτερη για την περιοχή των Τρικάλων ( $211,4\text{ mm}$  στα Τρίκαλα, έναντι  $143,2\text{ mm}$  στο Σωτήριο) με αποτέλεσμα να χρειαστεί λιγότερη άρδευση στα Τρίκαλα. Η σχετική υγρασία ήταν χαμηλότερη στην περιοχή του Σωτηρίου ( $46,6\%$ ) από την περιοχή των Τρικάλων ( $57,8\%$ ), και η μέση ηλιοφάνεια ήταν μεγαλύτερη από αυτή του 2007 και για τις δύο περιοχές, αγγίζοντας την μέση

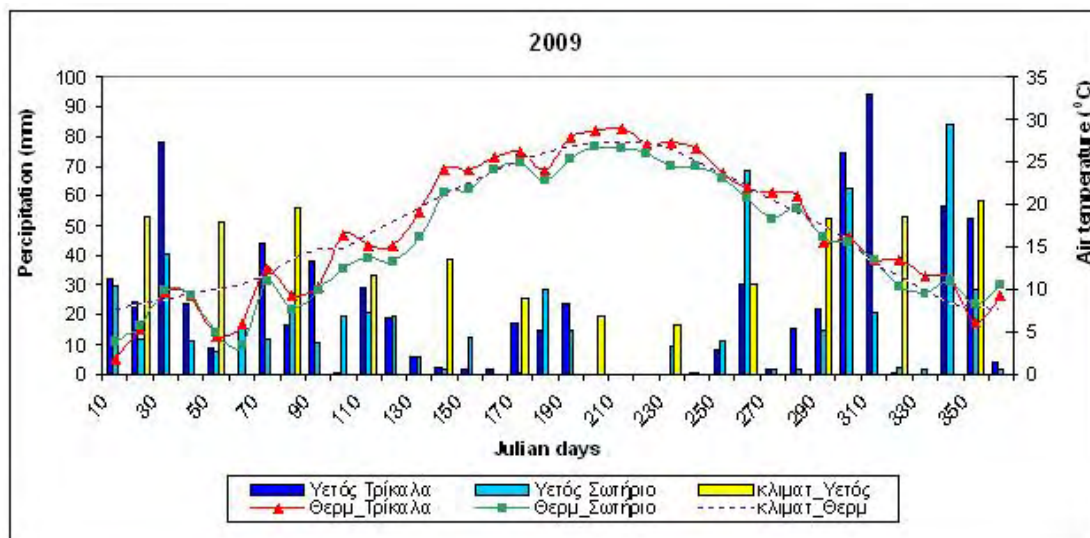
τιμή των  $278,8 \text{ Wm}^{-2}$ . Όπως φαίνεται στα Σχ. 5 και 6, οι συνεχείς βροχοπτώσεις τον Δεκέμβριο του 2008 και τον Ιανουάριο του 2009 στην περιοχή των Τρικάλων επαναλήφθηκαν όπως και κατά το προηγούμενο έτος, όμως αυξημένες βροχοπτώσεις υπήρξαν και στην περιοχή του Σωτηρίου κατά τον Δεκέμβριο του 2008, με αποτέλεσμα η σπορά των κουκιών να καθυστερήσει και στις δύο περιοχές (βλ. Κεφάλαιο 2-Πίνακας III).



**Σχήμα 5.** Θερμοκρασία και νετός (μέσες τιμές 10 ημερών) για το 2008 και τις δύο περιοχές (Τρίκαλα και Σωτήριο) και οι αντίστοιχοι κλιματικοί μέσοι (EMY 1955-2005).

Για το 2009, η περίοδος χειμónας-άνοιξη χαρακτηρίστηκε από αυξημένες βροχοπτώσεις και σχετική υγρασία, σε σχέση με τα προηγόμενα έτη, και για τις δύο περιοχές. Στην περιοχή των Τρικάλων η συνολική βροχόπτωση έφτασε τα  $322,5 \text{ mm}$  και στην περιοχή του Σωτηρίου τα  $240,6 \text{ mm}$ , ενώ η σχετική υγρασία κυμάνθηκε στο 70% και στις δύο περιοχές. Η μέση θερμοκρασία καταγράφηκε σε παρόμοια επίπεδα με τα προηγόμενα έτη ( $12,2^\circ\text{C}$  για τα Τρίκαλα και  $11,8^\circ\text{C}$  για το Σωτήριο), η μέση ηλιοφάνεια όμως ήταν μειωμένη, σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος, ( $144,09 \text{ Wm}^{-2}$ ). Παρόμοια μείωση στην ηλιοφάνεια καταγράφηκε και κατά την περίοδο της καλλιέργειας των ενεργειακών ( $201,06 \text{ Wm}^{-2}$  για τα Τρίκαλα και  $207,23 \text{ Wm}^{-2}$  για το Σωτήριο, αντίστοιχα) καθώς όπως φαίνεται στο Σχ. 6 υπήρξαν αυξημένες βροχοπτώσεις κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του 2009, με την συνολική βροχόπτωση να κυμαίνεται στα  $210 \text{ mm}$  και για τις δύο περιοχές. Παρόλο που η μέση θερμοκρασία και η σχετική υγρασία κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα με το 2008 ( $24,1^\circ\text{C}$  και  $23,5^\circ\text{C}$  στα Τρίκαλα και Σωτήριο, αντίστοιχα), η μείωση της ηλιοφάνειας

και οι συχνές καλοκαιρινές βροχοπτώσεις, επηρέασαν αρκετά την φαινολογία, ανάπτυξη και συνολική παραγωγή των καλλιεργειών του αραβόσιτου και του σόργου, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των πειραμάτων παρακολούθησης της αύξησης των καλλιεργειών για το έτος αυτό, και που παρουσιάζονται στην συνέχεια.

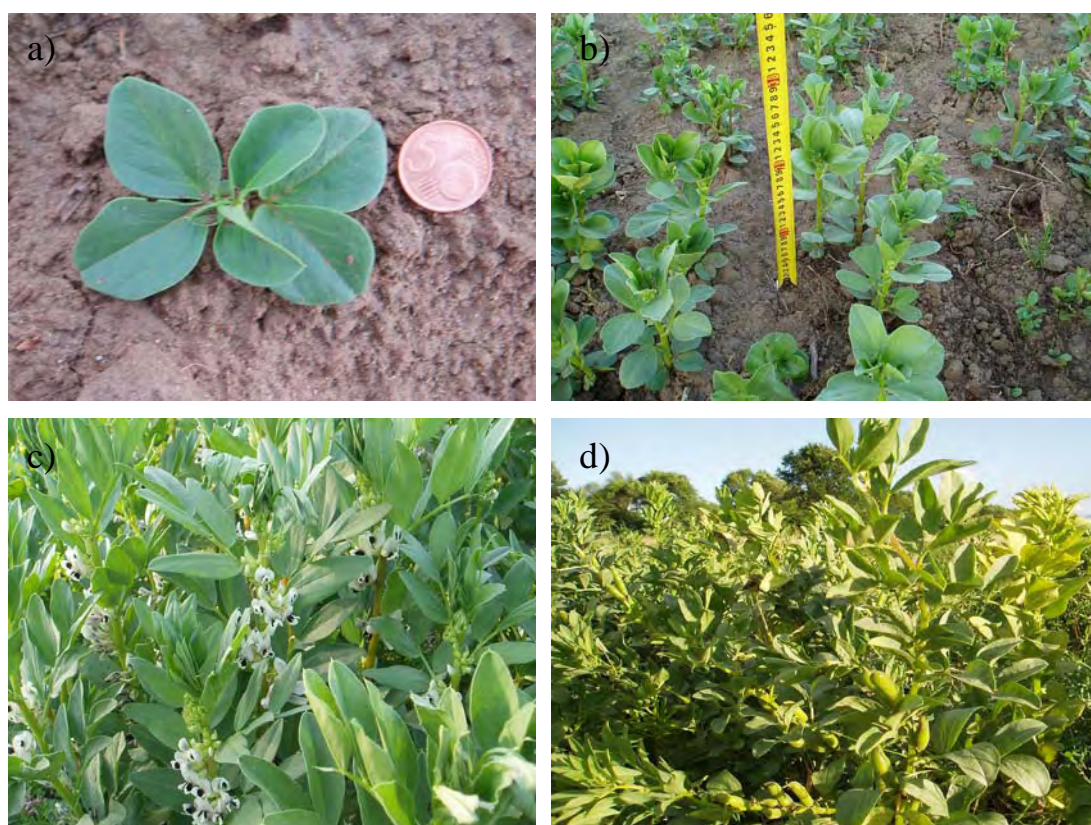


**Σχήμα 6.** Θερμοκρασία και υετός (μέσες τιμές 10 ημερών) για το 2009 και τις δύο περιοχές (Τρίκαλα και Σωτήριο) και οι αντίστοιχοι κλιματικοί μέσοι (EMY 1955-2005).

## 3.2. Πειράματα παρακολούθησης της αύξησης (growth) των καλλιέργειών.

### 3.2.1. *Vicia faba*

Η εποχική εξέλιξη των παραμέτρων της αύξησης για την καλλιέργεια των κουκιών, παρακολούθηθηκε και στις δύο περιοχές κατά την διάρκεια του δεύτερου και τρίτου έτους (2008 και 2009) διεξαγωγής των πειραμάτων, με σκοπό την συλλογή δεδομένων για την καλλιέργεια και στους δύο εδαφικούς τύπους, που να αφορούν στην αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας, στην συνολική παραγωγή βιομάζας και σπόρου, αλλά και στα διαθέσιμα επίπεδα βιομάζας που μπορούν να ενσωματωθούν στο έδαφος κατά την χρήση ως χλωρή λίπανση. Οι πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον ανάπτυξης της καλλιέργειας και ειδικότερα σχετικά με τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά των δύο περιοχών και τις κλιματολογικές συνθήκες των δύο ετών, έχουν ήδη παρουσιαστεί στα αντίστοιχα προηγούμενα κεφάλαια.



**Εικόνα 7.** Η καλλιέργεια των κουκιών σε διάφορα στάδια ανάπτυξής της το 2008 (a= φύτευμα, b= βλαστικό στάδιο, c= άνθηση, d= γέμισμα σπόρων).



### 3.2.1.1. Φύτρωμα και εγκατάσταση.

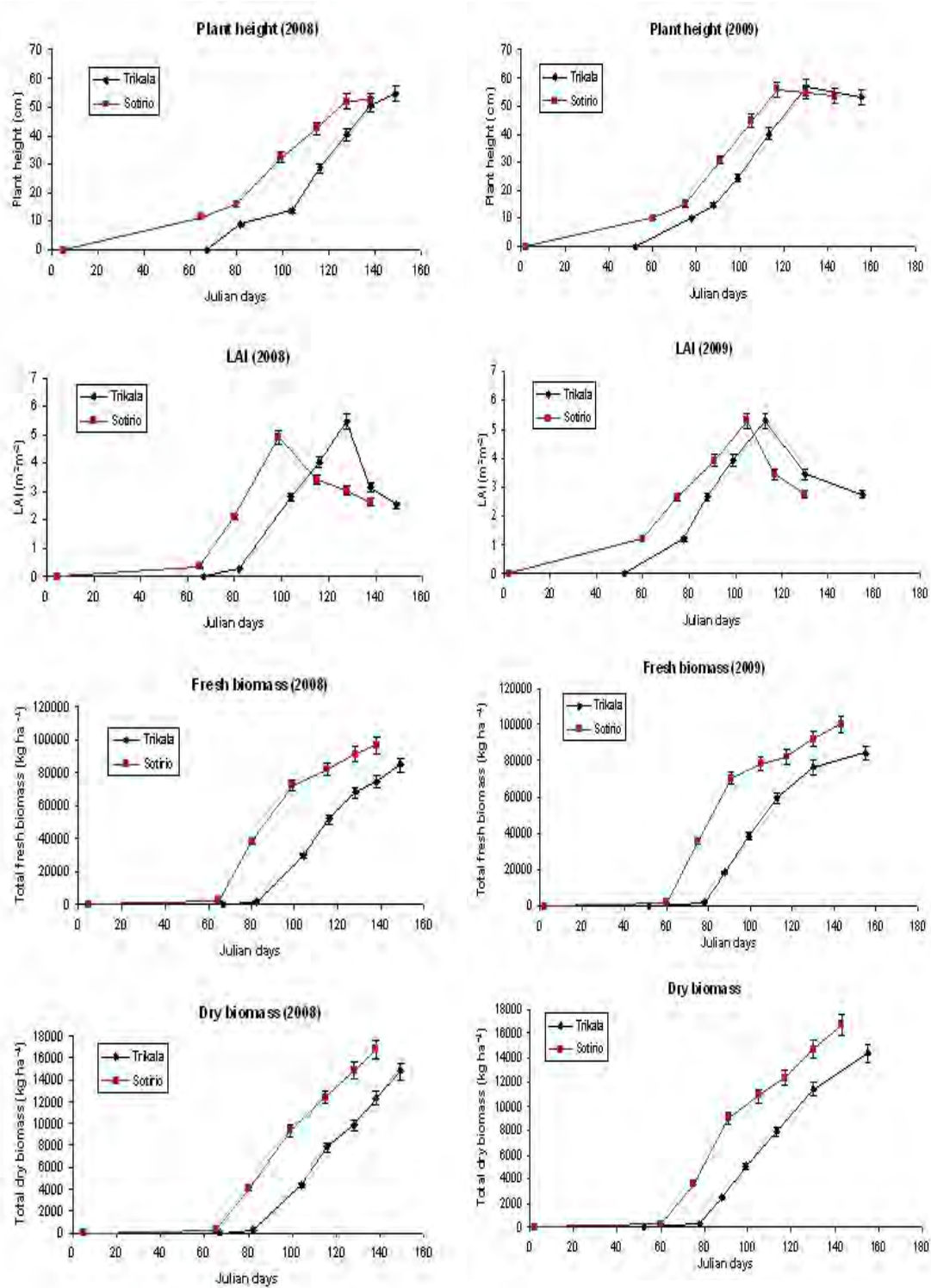
Η βλάστηση του σπόρου και η αρχική αύξηση των φυτών του κουκιού σχετίζεται κυρίως με την θερμοκρασία και πιο συγκεκριμένα με την θερμοκρασία ημέρας, εκτός των περιπτώσεων απουσίας νερού, το οποίο αποτελεί τον βασικό περιοριστικό παράγοντα βλάστησης (Dantuma and Thomson, 1983). Γενικά, η βλαστικότητα του σπόρου και ο βαθμός εγκατάστασης της καλλιέργειας, επηρεάζονται από τις κλιματικές συνθήκες (Amato *et al.*, 1992) ή την κακή ποιότητα του σπόρου (Pilbeam *et al.*, 1990). Στα Μεσογειακά κλίματα όπου συνήθως δεν καταγράφονται πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά τους χειμερινούς μήνες, η θνησιμότητα του σπόρου είναι μικρή, επιτρέποντας ένα μέσο ποσοστό φυτρώματος γύρω στο 75% (Loss *et al.*, 1998). Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα VIII σε καμία από τις δύο περιοχές και σε κανένα έτος δεν υπήρξαν προβλήματα κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, ανεξάρτητα από την ημερομηνία σποράς, καθώς όλοι οι πιο πάνω παράγοντες ήταν ικανοποιητικοί (βλαστικότητα σπόρου, εδαφική υγρασία, θερμοκρασία) επιτυγχάνοντας μία μέση πυκνότητα φυτών 20 φυτά/m<sup>2</sup>.

### 3.2.1.2. Βλαστική περίοδος

Στα πρώτα στάδια της βλαστικής περιόδου, επικρατεί μία γραμμική σχέση ανάμεσα στην συσσώρευση ξηρής ουσίας και τον αριθμό των φυτών ανά τετραγωνικό μέτρο. Υψηλές πυκνότητες φυτών, προάγουν μεγαλύτερο LAI και τιμές παραγόμενης ξηρής ουσίας, αν και οι δείκτες σχετικής αύξησης παραμένουν ίδιοι. Αργότερα, καθώς ο ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών για φως και άλλους πόρους αυξάνει, η σχέση αυτή παύει να είναι γραμμική και γίνεται ασυμπτωτική. (Lopez-Bellido *et al.*, 2005). Η πυκνότητα των φυτών που επιβίωσαν και εισέρχονται στην βλαστική περίοδο, επηρεάζει τον αριθμό των βλαστών ανά φυτό και την τελική παραγωγή, καθώς η ανάπτυξη των πλευρικών βλαστών λειτουργεί ως αντισταθμιστικός παράγοντας στην χαμηλή πυκνότητα. Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου και οι καιρικές συνθήκες κατά την περίοδο αυτή, επηρεάζουν επίσης τον αριθμό βλαστών ανά φυτό, αφού σε μια μεγαλύτερης διάρκειας περίοδο και με κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης, τα φυτά έχουν τον χρόνο και τους πόρους να αντισταθμίσουν την χαμηλή πυκνότητα, με την ανάπτυξη πλευρικών βλαστών, καταλήγοντας τελικά και σε αντιστάθμιση της συνολικής παραγωγής (Lopez-Bellido *et al.*, 2005). Γενικά η αύξηση κατά την περίοδο αυτή, σε ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες, περιορίζεται μόνο από τον ανταγωνισμό μεταξύ των φυτών για φως, ενώ

στις Μεσογειακές ξηροθερμικές συνθήκες, μπορεί να περιοριστεί και από την απουσία βροχοπτώσεων (Loss *et al.*, 1998).

Κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου στην περιοχή των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος) το μέγιστο ύψος των φυτών του κουκιού ήταν 54,5 cm το 2008 (αρχές Μαΐου) και 56,5 cm το 2009 (τέλη Απριλίου), ενώ οι αντίστοιχοι ρυθμοί αύξησης (CGR-GS1) για την περίοδο αυτή, ήταν 25,9 gr m<sup>-2</sup> και 25,72 gr m<sup>-2</sup>. Τα φυτά της καλλιέργειας στην περιοχή του Σωτηρίου (αργιλώδες έδαφος) έφτασαν σε παρόμοια ύψη (52,33 cm αρχές Απριλίου του 2008, και 55,86 cm αρχές Απριλίου του 2009), αλλά με μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης ειδικά κατά το 2009 (30,25 gr m<sup>-2</sup>), πιθανώς λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων του συγκεκριμένου εδάφους και των αυξημένων βροχοπτώσεων του συγκεκριμένου έτους, καταλήγοντας τελικά και σε μεγαλύτερα επίπεδα παραγωγής. Από το Σχ. 7 φαίνεται χαρακτηριστικά πως ο ρυθμός αύξησης καθ' ύψος των φυτών, παρέμεινε χαμηλός κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών, για να αυξηθεί στην συνέχεια (αρχές Μαρτίου) μαζί με την αύξηση της θερμοκρασίας.



Σχήμα 7. Εποχική εξέλιξη των παραμέτρων αύξησης της καλλιέργειας *Vicia faba* στις δύο περιοχές, το 2008 (αριστερά) και το 2009 (δεξιά).

### 3.2.1.3. Ανάπτυξη φυλλικής επιφάνειας.

Η ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας στα κουκιά, εξαρτάται κυρίως από την θερμοκρασία (θερμοκρασία ημέρας και νύχτας), την διαθεσιμότητα νερού και την πυκνότητα των φυτών (Poulain *et al.*, 1986). Ο μέγιστος LAI επιτυγχάνεται στην διάρκεια της άνθησης και μέχρι την αρχή του γεμίσματος του σπόρου, και αποτελεί τον καλύτερο δείκτη έκφρασης των διαφορών της αύξησης για την καλλιέργεια (Coelho and Pinto, 1989). Ο LAI επηρεάζεται από την πυκνότητα των φυτών και τον γονότυπο, αυξάνεται με την αύξηση των εισροών, ενώ η διαθεσιμότητα του νερού παραμένει ο βασικός παράγοντας ελέγχου της ανάπτυξης των βλαστών και των φύλλων (Dantuma and Thomson, 1983). Η αύξηση του LAI στην καλλιέργεια του κουκιού έχει συνδεθεί και με επιτάχυνση της ωρίμανσης της καλλιέργειας (Stringi *et al.*, 1986; Amato *et al.*, 1992).

Στο Σχήμα 7 απεικονίζεται γραφικά η εξέλιξη του LAI και για τις δύο περιοχές, για τα δύο έτη. Και στις δύο περιοχές ο LAI αυξήθηκε γρήγορα κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου, ειδικά μετά το τέλος των χαμηλών θερμοκρασιών του χειμώνα, φτάνοντας την μέγιστη τιμή (LAI<sub>max</sub>) κατά την ανθοφορία. Οι τιμές αυτές ήταν μεγαλύτερες για την περιοχή των Τρικάλων (5,46 mm<sup>-2</sup> το 2008 και 5,27 mm<sup>-2</sup> το 2009, έναντι 4,89 και 4,79 mm<sup>-2</sup> για το Σωτήριο αντίστοιχα), πιθανώς λόγω της όψιμης σποράς, οπότε και μεγαλύτερης διαθέσιμης ηλιοφάνειας στις αρχές Μαΐου, σε σχέση με τις αρχές Απριλίου, ημερομηνίες που καταγράφηκαν οι μέγιστες τιμές του LAI για τις δύο περιοχές αντίστοιχα. Ο μεγαλύτερος LAI οδήγησε σε επιτάχυνση της ωρίμανσης της καλλιέργειας στην περιοχή των Τρικάλων, όχι όμως και σε μεγαλύτερη παραγωγή σπόρου, η οποία προάγεται από μικρότερο LAI (Dantuma and Thomson, 1983). Μετά την ανθοφορία, ο LAI παρουσίασε πτώση, καθώς τα αφομοιωμένα θρεπτικά στοιχεία, κατευθύνονται για το γέμισμα του σπόρου και όχι για την προαγωγή βλάστησης και καινούργιων φύλλων.

Η διάρκεια της φυλλικής επιφάνειας (LAD) κυμάνθηκε σε παρόμοιες τιμές και στις δύο περιοχές (Πίνακας VIII) και δεν αποτελεί δείκτη της αναμενόμενης παραγωγής, καθώς επηρεάζει την αύξηση κατά τα πρώτα στάδια της βλαστικής περιόδου, αλλά δεν υπάρχει συσχέτιση του από εκεί και έπειτα, ούτε με το γέμισμα του σπόρου, ούτε και με την συνολική παραγωγή σπόρου (Pilbeam *et al.*, 1991).

Η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) υπολογίστηκε σε παρόμοιες τιμές και για τα δύο έτη στην κάθε περιοχή, με μέση τιμή 230 cm<sup>2</sup> gr<sup>-1</sup> στην καλλιέργεια του πειραματικού των Τρικάλων και 213 cm<sup>2</sup> gr<sup>-1</sup> στην καλλιέργεια του πειραματικού του

Σωτηρίου. Η διαφορά αυτή είναι πιθανό να προέκυψε λόγω των περισσότερων βροχοπτώσεων στην περιοχή των Τρικάλων, που συνεπάγονται μειωμένα επίπεδα ηλιοφάνειας, καθώς τα φυτά των κουκιών αντιδρούν στην αυξημένη σκίαση με παραγωγή φύλλων μεγαλύτερης επιφάνειας (Kasim and Dennett, 1986).

**Πίνακας VIII.** Τιμές των παραμέτρων παρακολούθησης της αύξησης και ανάπτυξης της καλλιέργειας *Vicia faba*, στις δύο περιοχές και τα δύο έτη.

| <i>Vicia faba</i>   | Τρίκαλα  |          | Σωτήριο  |          |
|---|----------|----------|----------|----------|
|   | 2008     | 2009     | 2008     | 2009     |
| Ημερομ. σποράς  | 10/02/08 | 20/01/08 | 05/12/07 | 12/12/08 |
| Αριθμός φυτών ανά m <sup>2</sup>                            | 20±2     | 20±2     | 20±2     | 22±2     |
| Max ύψος φυτών (cm)   | 54,5     | 56,5     | 52,33    | 55,86    |
| SLA (cm <sup>2</sup> gr <sup>-1</sup> )                     | 232      | 229      | 211      | 215      |
| LAI <sub>max</sub> (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )        | 5.46     | 5.27     | 4.89     | 4.79     |
| LAD (days)  | 274      | 282      | 275      | 292      |
| CGR-GS1 (g m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup> | 25.9     | 25.72    | 28.1     | 30.25    |
| CGR-GS2 (g m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup> | 18.4     | 16.96    | 18.9     | 18.23    |
| NAR (g m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )                  | 5.41     | 5.11     | 6.11     | 5.72     |
| Συν. χλωρή βιομάζα (kg ha <sup>-1</sup> )                   | 85032    | 84201    | 96668    | 100064   |
| Συν. Ξ.Ο. -GS1 (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>          | 9862     | 7877     | 9349     | 9025     |
| Συν. Ξ.Ο. -GS2 (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>          | 14832    | 14428    | 16804    | 16721    |
| Αριθμός λοβών / φυτό  | 17±2     | 17±2     | 18±2     | 18±2     |
| Αρ. σπερμάτων / φυτό  | 5±2      | 5±2      | 5±2      | 5±2      |
| Συν. σπόρος (kg ha <sup>-1</sup> )                          | 4165     | 4362     | 4079     | 4805     |
| HI (%)  | 28.08    | 30.23    | 24.27    | 28.74    |

<sup>a</sup> GS1: Growth stage 1= βλαστική περίοδος

<sup>b</sup> GS2: Growth stage 2= αναπαραγωγική περίοδος

#### 3.3.1.4. Αναπαραγωγική περίοδος - παραγωγή ξηρής ουσίας.

Η ανθοφορία, το γέμισμα και η ωρίμανση των λοβών, είναι φάσεις μεγάλης διάρκειας στην καλλιέργεια των κουκιών και στις Μεσογειακές συνθήκες επιμηκύνονται επιπλέον με πρόωμη σπορά (Adisarwanto and Knight, 1997). Κατά την διάρκεια της φάσης αυτής παρατηρείται πτώση ανθών αλλά και λοβών, εξαιτίας εγγενών, περιβαλλοντικών και καλλιεργητικών παραγόντων. Στα κουκιά η

διαθεσιμότητα των αποθεμάτων θρεπτικών στοιχείων, είναι κρισιμότερης σημασίας κατά τον σχηματισμό των λοβών, παρά κατά το γέμισμα του σπόρου, καθώς ο ανταγωνισμός για τα διαθέσιμα αφομοιωμένα θρεπτικά κατά την μικρή αλλά κρίσιμη αυτή φάση (αρχή σχηματισμού λοβών) αποτελεί τον κύριο παράγοντα επηρεασμού της τελικής παραγωγής σε σπόρο (Baker *et al.*, 1984).

Η συσσώρευση ξηρής ουσίας ανά τετραγωνικό μέτρο, χαρακτηρίζεται από ένα αργό ρυθμό αρχικά, για να αυξηθεί στην συνέχεια απότομα ως την άνθηση και την αρχή του γεμίσματος των λοβών, οπότε και αποκτά την μέγιστη τιμή όπως αναφέρθηκε προηγουμένως κατά την περιγραφή της βλαστικής περιόδου (Σχ. 7). Με την έναρξη της αναπαραγωγικής περιόδου ο ρυθμός αύξησης της καλλιέργειας ελαττώνεται έως τη συγκομιδή, εξαιτίας της πτώσης των γηρασμένων φύλλων και της μείωσης της ξηρής ουσίας των φύλλων, βλαστών και λοβών, καθώς τα αφομοιωμένα θρεπτικά στοιχεία κατευθύνονται αποκλειστικά στο σπόρο (Stutzel and Aufhammer, 1992). Επιπλέον στα κουκιά, η μισή περίπου ποσότητα της δυνητικά παραγομένης ξηρής ουσίας καταναλώνεται μέσω της αναπνοής, και η απώλεια αυτή μεγαλώνει με την γήρανση των φύλλων, καθώς η φωτοσύνθεση στο στάδιο αυτό δεν επαρκεί για την αντιστάθμισή της (McCree, 1986). Ο ρυθμός αύξησης της καλλιέργειας (CGR-GS2) που υπολογίστηκε κατά το στάδιο αυτό, ήταν σαφώς μικρότερος από αυτόν της βλαστικής περιόδου (βλ. Πίνακα VIII), και ήταν περίπου σταθερός ανεξάρτητα την περιοχή ή το έτος, με μια μέση τιμή για την περίοδο αυτή,  $18,5 \text{ gr m}^{-2}$ . Αντίθετα ο καθαρός ρυθμός αφομοίωσης (NAR) ήταν μεγαλύτερος στην περιοχή του Σωτηρίου κατά την διάρκεια και των δύο ετών ( $6,11 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  το 2008 και  $5,73 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  το 2009, έναντι  $5,41$  και  $5,11 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  αντίστοιχα για τα Τρίκαλα), ακολουθώντας τον μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης της καλλιέργειας (CGR-GS1) της βλαστικής περιόδου που υπολογίστηκε για την καλλιέργεια του πειραματικού στο Σωτήρι. Η αύξηση αυτή πιθανώς οφείλεται στο συνδυασμό των καλών συνθηκών ανάπτυξης, της πρώιμης σποράς και της μεγαλύτερης καλλιεργητικής περιόδου, παράμετροι οι οποίοι προάγουν αυξημένους ρυθμούς συσσώρευσης ξηρής ουσίας στα φυτά του κουκιού (Donald, 1963).

Τα διαθέσιμα ποσά ξηρής βιομάζας που ήταν διαθέσιμα για ενσωμάτωση στο έδαφος στην αρχή της αναπαραγωγικής περιόδου παρουσιάζονται στον Πίνακα VIII, και αποτελούν ενδεικτικές τιμές, καθώς η αξιοποίηση της καλλιέργειας ως χλωρή λίπανση μπορεί να γίνει σε διάφορες χρονικές στιγμές, με αποτέλεσμα τα διαθέσιμα ποσά της βιομάζας να μεταβάλλονται αναλόγως. Από την άλλη πλευρά, το συνολικό

ποσό της παραγομένης ξηρής βιομάζας κατά την συγκομιδή της καλλιέργειας αποτελεί πιο αξιόπιστο δείκτη, τα αποτελέσματα του οποίου αντανακλούν την χαμηλότερη περιεκτικότητα του αμμώδους εδάφους της περιοχής των Τρικάλων σε θρεπτικά στοιχεία, καθώς οι παραγωγές ήταν χαμηλότερες από την περιοχή του Σωτηρίου (14600 kg ha<sup>-1</sup> στα Τρίκαλα έναντι 16750 kg ha<sup>-1</sup> στο Σωτήριο) και στα δύο έτη.

#### 3.3.1.5. Παραγωγή σπόρου.

Η καλλιέργεια του κουκιού παρουσιάζει μια σημαντική και όχι εύκολα προβλέψιμη μεταβλητότητα στην παραγωγή σπόρου από χρονιά σε χρονιά, η οποία εξαρτάται από μία σειρά παραγόντων. Ο πιο σημαντικός παράγοντας, ειδικά κάτω από βροχοδίαιτες συνθήκες καλλιέργειας (π.χ. Μεσογειακά κλίματα), παραμένουν οι κλιματικές συνθήκες και βασικότερα η βροχοπτώση από την ανθοφορία ως την συγκομιδή, ή τα διαθέσιμα επίπεδα νερού κατά την περίοδο αυτή (Tonev, 1995). Η παραγωγή του σπόρου επηρεάζεται επίσης από την καλλιεργούμενη ποικιλία και μάλιστα σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ό,τι από τις κλιματικές συνθήκες, με τις μεγαλόσπερμες ποικιλίες (*equina*) να δίνουν μεγαλύτερες παραγωγές από τις μικρόσπερμες (*minor*) ποικιλίες (Lopez-Bellido *et al.* 2005), καθώς και από την ημερομηνία σποράς, όπου γενικά στα Μεσογειακά κλίματα, η πρόωμη σπορά εξασφαλίζει μεγαλύτερη διάρκεια τόσο της βλαστικής, όσο και της αναπαραγωγικής περιόδου, με αποτέλεσμα μεγαλύτερα και πιο εύρωστα φυτά και τελικά μεγαλύτερη παραγωγή σπόρου (Marcellos and Constable, 1986).

Η συνολική παραγωγή σπόρου στον πειραματικό των Τρικάλων κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα και στα δύο έτη (4165 kg ha<sup>-1</sup> το 2008 και 4362 kg ha<sup>-1</sup> το 2009 αντίστοιχα), ενώ στην περιοχή του Σωτηρίου η παραγωγή ήταν αρκετά μεγαλύτερη το 2009 (4805 kg ha<sup>-1</sup>), απ' ό,τι το 2008 (4079 kg ha<sup>-1</sup>), πιθανώς λόγω των αυξημένων επιπέδων διαθέσιμου νερού εξαιτίας των μεγαλύτερων βροχοπτώσεων του συγκεκριμένου έτους.

Ο δείκτης συγκομιδής (HI) κυμάνθηκε σε ένα εύρος τιμών από 24,27% έως 30,23% καθώς επηρεάζεται έντονα από τις κλιματικές συνθήκες και ειδικότερα από το διαθέσιμο νερό, η επάρκεια του οποίου προάγει την ανάπτυξη βλάστησης έναντι της παραγωγή σπόρου, προκαλώντας την πτώση των τιμών του. Γενικά η καλλιέργεια των κουκιών έχει ως άνω όριο του HI μια τιμή περί το 50% (Coelho and Pinto, 1989; Katyar and Singh, 1990; Pilbeam and Hebblethwaite, 1990).

Ο αριθμός των λοβών ανά φυτό ή ανά βλαστό του φυτού, αποτελεί τον πιο βασικό και αξιόπιστο παράγοντα εκτίμησης της αναμενόμενης συνολικής παραγωγής και εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των φυτών ανά τετραγωνικό μέτρο (Pilbeam *et al.*, 1991). Στις δύο περιοχές η πυκνότητα των φυτών ήταν περίπου η ίδια με αποτέλεσμα και ο αριθμός των λοβών ανά φυτό να μην διαφέρει από περιοχή σε περιοχή ή από έτος σε έτος, με μια μέση τιμή  $18 \pm 2$  λοβοί ανά φυτό. Από την άλλη πλευρά, τόσο ο αριθμός των σπερμάτων ανά φυτό, όσο και το μέσο βάρος των σπερμάτων, αν και μπορεί να επηρεαστεί σε ένα μικρό βαθμό από εξωγενείς παράγοντες, καθορίζεται κυρίως από τον γονότυπο (Lopez-Bellido *et al.*, 2005). Και τα δύο χαρακτηριστικά αυτά, καθορίζουν και επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τη συνολική παραγωγή σπόρου και για την καλλιεργούμενη ποικιλία των πειραμάτων, εμφάνισαν σταθερές μέσες τιμές ( $5 \pm 2$  σπέρματα/λοβό και  $1,3 \pm 0,3$  gr, αντίστοιχα), χωρίς να επηρεαστούν από τον τύπο του εδάφους, το μικροκλίμα της περιοχής, ή την μεταβολή των κλιματικών συνθηκών από έτος σε έτος.

### 3.2.2. *Zea mays*

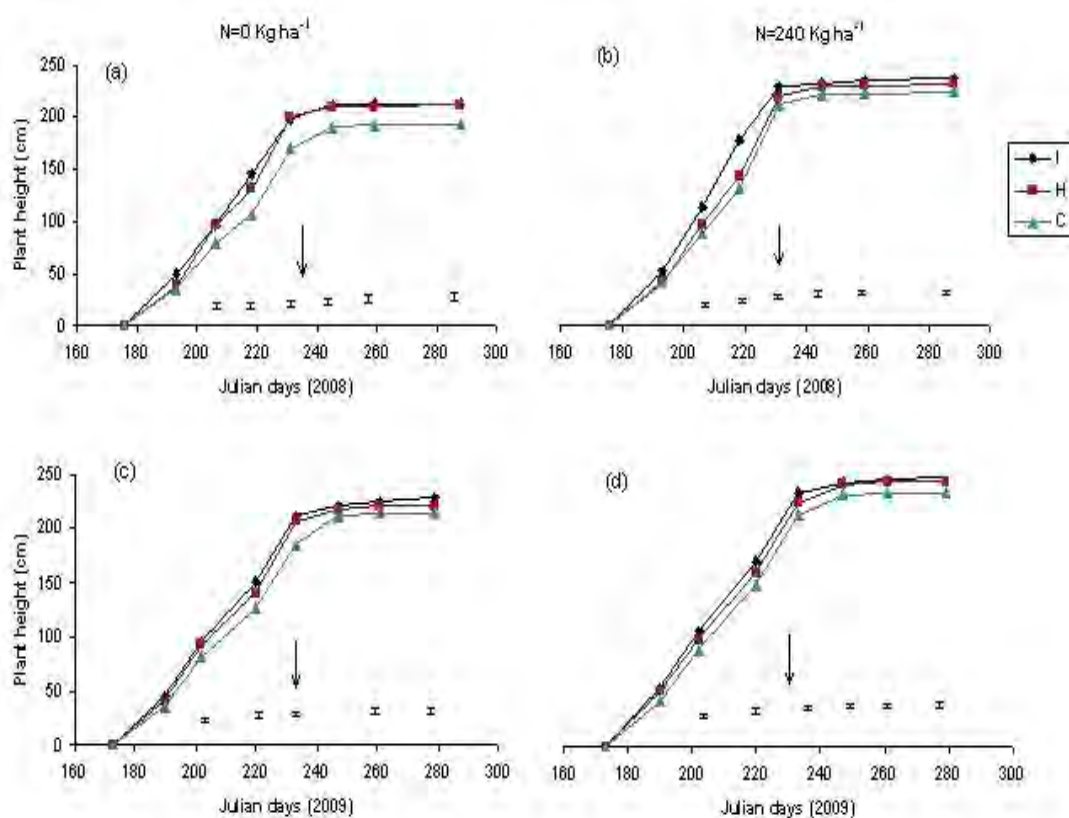
Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως η επίδραση της καλλιέργειας κάλυψης του ψυχανθούς, ήταν στατιστικά σημαντική ( $P < 0,05$ ) σε όλες τις μετρημένες ή υπολογισμένες παραμέτρους της αύξησης του αραβοσίτου, και για τους δύο εδαφικούς τύπους και τα δύο έτη, τόσο στα τεμάχια που εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση, όσο και στα τεμάχια που δεν εφαρμόστηκε, ενώ δεν παρουσιάστηκαν αλληλεπιδράσεις ψυχανθές x λίπανση ( $P > 0,05$ ).

#### 3.2.2.1. Ύψος φυτών.

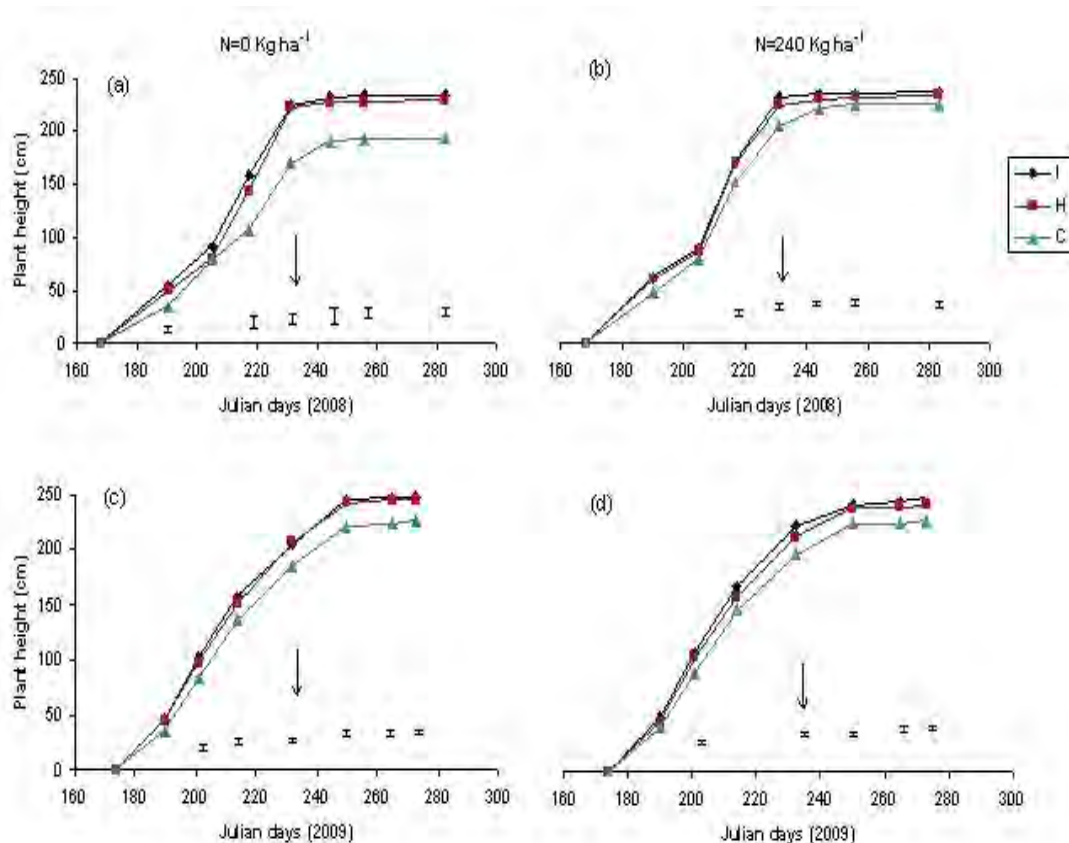
Η ανάλυση της αύξησης του αραβοσίτου, έτσι όπως αντικατοπτρίζεται από τους μέσους του ύψους των φυτών για κάθε επέμβαση, απεικονίζεται στα Σχ. 8 και Σχ. 9. Αρχικά το 2008, και για ένα διάστημα 15-20 ημερών μετά το φύτευμα (ΗΜΦ), τα φυτά σε όλες τις επεμβάσεις, ακόμα και του μάρτυρα αναπτύχθηκαν με παρόμοιους ρυθμούς αύξησης καθ' ύψος, ανεξάρτητα της προμεταχείρισης με ψυχανθές ή αζωτούχου λίπανσης. Η ομοιομορφία στην αρχική αύξηση ήταν αναμενόμενη, καθώς κατά τις πρώτες τρεις εβδομάδες μετά το φύτευμα, τα φυτά του αραβοσίτου απορροφούν ανόργανο άζωτο από το έδαφος με ρυθμό μικρότερο του  $0,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , με αποτέλεσμα να μην γίνεται αξιοποίηση του τυχόν πλεονάζοντος υπάρχοντος αζώτου (Blackmer *et al.*, 1989; Magdoff, 1991; Binford *et al.*, 1992a;



Schröder *et al.*, 1993; Torbert *et al.*, 1993; Schröder, 1999). Οι ρυθμοί αύξησης καθ' ύψος ήταν αρκετά υψηλοί ( $2,45-2,94 \text{ cm d}^{-1}$ ) για το στάδιο της εγκατάστασης της καλλιέργειας (ανάπτυξη του ριζικού συστήματος), και μπορούν να αποδοθούν στους εξαιρετικά γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης του συγκεκριμένου υβριδίου μικρού βιολογικού κύκλου που χρησιμοποιήθηκε. Τα φυτά του αραβοσίτου είχαν μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης καθ' ύψος στο αμμοπηλώδες έδαφος ( $2,90 \text{ cm d}^{-1}$ ) παρά στο αργιλώδες ( $2,61 \text{ cm d}^{-1}$ ) κατά το διάστημα της εγκατάστασης, γεγονός που ίσως να οφείλεται στην πιο εύκολη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος στο αμμοπηλώδες έδαφος, κατά την πρώιμη αυτή φάση.



**Σχήμα 8.** Χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$  (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P<0,05$ ) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.



**Σχήμα 9.** Χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.

Από τη περίοδο αυτή και έπειτα, η προμεταχείριση με προηγούμενη καλλιέργεια κουκιών, επηρέασε σημαντικά το ύψος των φυτών στα τεμάχια χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης, το οποίο συνέχισε να αυξάνεται σχεδόν γραμμικά ως την άνθηση (60-65 ΗΜΦ), με μεγαλύτερους ρυθμούς για τα φυτά που αναπτύσσονταν σε τεμάχια όπου είχε προηγηθεί η καλλιέργεια των κουκιών (3,5-4 cm d<sup>-1</sup>), σε σχέση με τα τεμάχια του μάρτυρα (2,5-3 cm d<sup>-1</sup>), και στους δύο εδαφικούς τύπους, παρά το γεγονός της μικρότερης αύξησης που παρατηρήθηκε στην περιοχή του Σωτηρίου για ένα μικρό διάστημα (αρχές Ιουλίου), εξαιτίας μειωμένης ηλιοφάνειας. Παρόμοιες διαφορές στον ρυθμό αύξησης καθ' ύψος ανάμεσα στα φυτά που αναπτύσσονταν σε τεμάχια όπου είχε προηγηθεί η καλλιέργεια των κουκιών και σε τεμάχια του μάρτυρα, παρατηρήθηκαν και για τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση. Οι αντίστοιχοι ρυθμοί αύξησης ήταν αρκετά μεγαλύτεροι (5-5,5

cm d<sup>-1</sup> με προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθούς και 3,5-4 cm d<sup>-1</sup> χωρίς προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθούς), ειδικά μετά την εφαρμογή και της δεύτερης δόσης του λιπάσματος (20 ΗΜΦ), όταν τα φυτά είχαν ήδη αποκτήσει ύψος 50 cm, καθώς τα νεαρά φυτά του αραβοσίτου χρειάζονται επαρκή ποσότητα αζώτου για την ανεμπόδιστη ανάπτυξή τους (Magdoff, 1991; Blackmer and Schepers, 1996; Varvel *et al.*, 1997; Schröder, 1999). Οι σχετικά μεγάλες απαιτήσεις σε άζωτο τόσο σύντομα στον βιολογικό κύκλο, οφείλονται κυρίως στο περιορισμένο αρχικά ριζικό σύστημα (Schröder *et al.*, 1996a), και εξηγούν την θετική ανταπόκριση των φυτών του αραβοσίτου στην βασική λίπανση (Van Dijk and Brouwer, 1998; Schröder *et al.*, 1999)., ανταπόκριση που αντικατοπτρίζεται μέσα και από τους υψηλότερους ρυθμούς αύξησης καθ' ύψος που παρατηρήθηκαν.

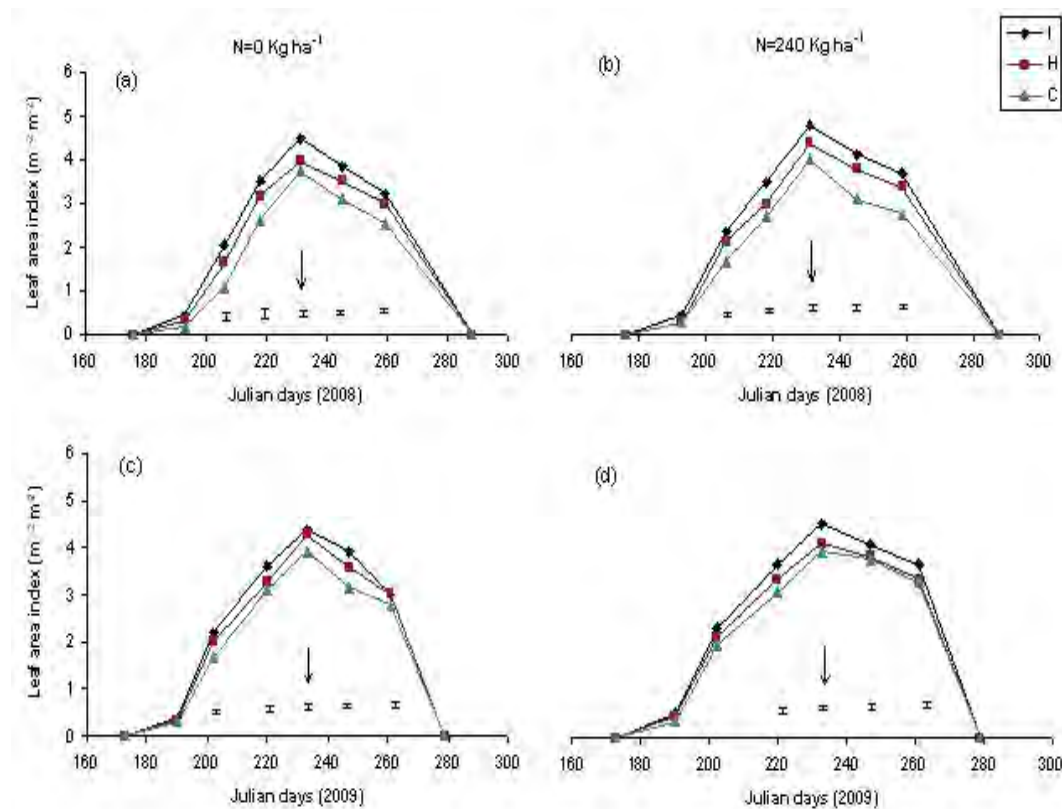
Τα αποτελέσματα και η ξεκάθαρη υπεροχή των φυτών των τεμαχίων στα οποία προηγήθηκε καλλιέργεια κουκιών πριν την σπορά του αραβοσίτου, επιβεβαιώθηκαν και με τις μετρήσεις του επόμενου έτους (2009) και στους δύο εδαφικούς τύπους. Ειδικά στην περιοχή του Σωτηρίου, ο ρυθμός αύξησης καθ' ύψος δεν παρουσίασε την καθυστέρηση που είχε εμφανίσει στο προηγούμενο έτος κατά τη διάρκεια των πρώτων εβδομάδων της ανάπτυξης της καλλιέργειας, και παρουσίασε αυξημένες μέσες τιμές (5,8 cm d<sup>-1</sup>) σε σχέση με την περιοχή των Τρικάλων (4,6 cm d<sup>-1</sup>), αντικατοπτρίζοντας την μεγαλύτερη παραγωγική δυνατότητα του συγκεκριμένου εδάφους. Οι διαφορές στους ρυθμούς αύξησης ανάμεσα στα φυτά που αναπτύσσονταν σε τεμάχια όπου είχε προηγηθεί η καλλιέργεια των κουκιών και στα τεμάχια του μάρτυρα, διατηρήθηκαν όπως και το προηγούμενο έτος μέχρι την άνθηση, καταλήγοντας σε μεγαλύτερο τελικό ύψος ως και την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου. Το μέγιστο ύψος το εμφάνισαν τα φυτά των τεμαχίων στα οποία έγινε συνδυασμός χλωρής λίπανσης των κουκιών και εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης και στους δύο εδαφικούς τύπους (235 cm και 251 cm στο αμμοπηλώδες έδαφος το 2008 και 2009, αντίστοιχα και 235 cm και 252 cm στο αργιλώδες έδαφος το 2008 και 2009, αντίστοιχα), ενώ το μικρότερο τελικό ύψος εμφάνισαν τα φυτά των τεμαχίων του μάρτυρα, επίσης και στους δύο εδαφικούς τύπους, στα οποία δεν έγινε εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης αλλά και δεν προηγήθηκε χειμερινή καλλιέργεια των κουκιών (193 cm και 215 cm στο αμμοπηλώδες έδαφος το 2008 και 2009, αντίστοιχα και 227 cm και 238 cm στο αργιλώδες έδαφος το 2008 και 2009, αντίστοιχα).

Και στα δύο έτη διεξαγωγής των πειραμάτων παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση (P<0,05) της προμεταχείρισης με ψυχανθές στο τελικό ύψος των φυτών και

στις δύο περιοχές, πιθανώς εξαιτίας του μεγαλύτερου ρυθμού αύξησης που παρουσίασαν τα φυτά των τεμαχίων αυτών κατά το βλαστικό στάδιο. Στο στάδιο αυτό, η αμειψισπορά ή χλωρή λίπανση με ψυχανθή μπορεί να αποδώσει τόσο άζωτο στην ακολουθούμενη καλλιέργεια του αραβοσίτου, ώστε να μην χρειάζεται καθόλου επιπλέον λίπανση, αλλά η ποσότητα αυτή του αζώτου σπάνια λαμβάνεται υπόψη, εν μέρει επειδή η πηγή αυτή του αζώτου δεν μπορεί εύκολα να ανιχνευτεί ή να μετρηθεί κατά την στιγμή της σποράς του αραβοσίτου (Magdoff, 1991; Roth *et al.*, 1992; Whitmore *et al.*, 1992; Bundy and Andraski, 1993; Morris *et al.*, 1993). Η εφαρμογή επιπλέον αζωτούχου λίπανσης, στα τεμάχια που είχαν προηγουμένως καλλιεργηθεί με κουκιά, επηρέασε το τελικό ύψος των φυτών μόνο στο αμμοπηλώδες έδαφος, ενώ στο αργιλώδες δεν υπήρξε σημαντική επίδραση ( $P>0,05$ ). Το γεγονός αυτό ίσως να οφείλεται τελικά όχι στην διαθέσιμη ποσότητα του αζώτου ή στην καλύτερη αξιοποίησή της από την καλλιέργεια, αλλά στην καλύτερη αξιοποίηση των αρδεύσεων, καθώς στο αργιλώδες έδαφος έγιναν με επιφανειακή σταγόνα (ενώ στο αμμοπηλώδες με τεχνητή βροχή), μέθοδο με μεγαλύτερη αποδοτικότητα χρήσης του νερού (water use efficiency; Hanks, 1983; Gordon *et al.*, 1995; Montovani *et al.*, 1995), ειδικά για μια καλλιέργεια σαν τον αραβόσιτο που είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην έλλειψη νερού σε αρκετά στάδια της ανάπτυξής (Rhoads and Bennet, 1990; Pandey *et al.*, 2000; NeSmith and Ritchie, 1992a,b; Otegui *et al.*, 1995). Αντιθέτως, στατιστικά σημαντικές διαφορές δεν προέκυψαν ανάμεσα στους μέσους του ρυθμού αύξησης ή του ύψους των φυτών του αραβοσίτου (μέσο ή τελικό) για τις δύο προμεταχειρίσεις με το ψυχανθές ( $P>0,05$ ), σε κανέναν εδαφικό τύπο και σε κανένα από τα δύο έτη, υποδηλώνοντας πως τόσο η χλωρή λίπανση, όσο και η καλλιέργεια κάλυψης με κουκιά, έχουν εξίσου θετική επίδραση στα πιο πάνω χαρακτηριστικά του ύψους των φυτών του αραβοσίτου.

### 3.2.2.2. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI).

Το Σχ. 10 απεικονίζει την εξέλιξη του LAI της καλλιέργειας του αραβοσίτου στην περιοχή των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος), κάτω από όλες τις μεταχειρίσεις και για τα δύο παρακολουθούμενα έτη.



**Σχήμα 10.** Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) του αραβοσίτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.

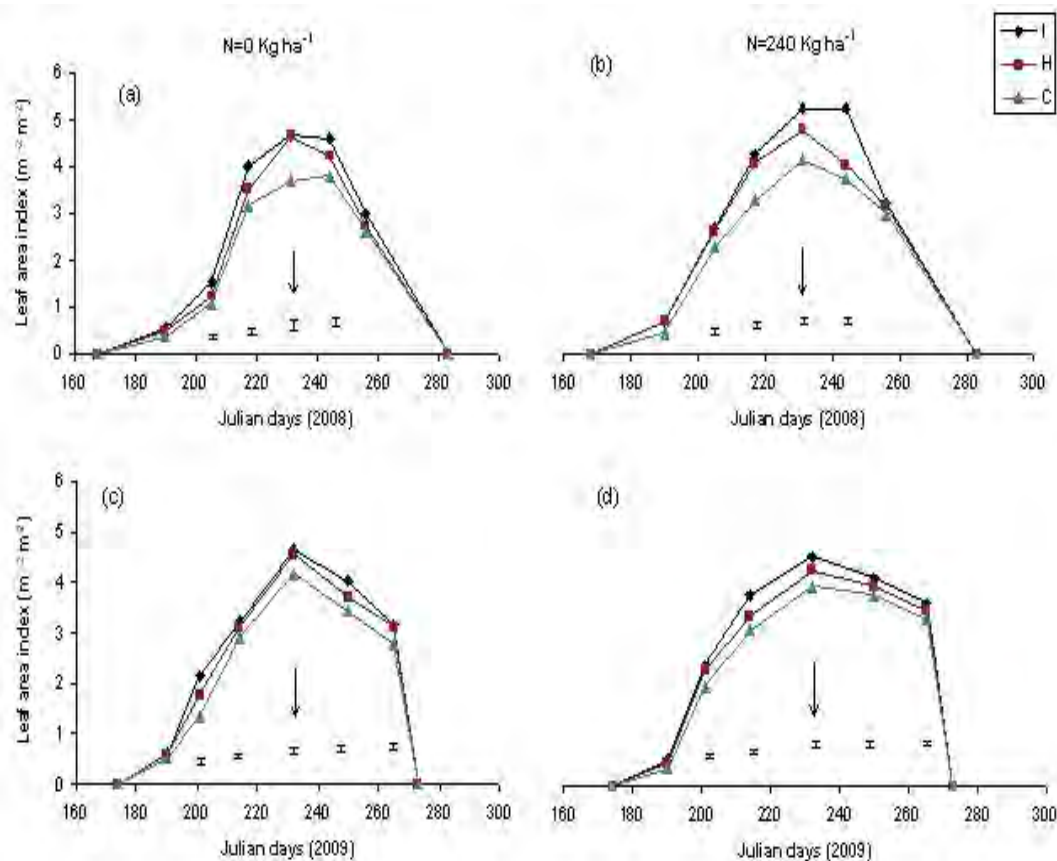
Είναι εμφανές πως μετά από μία αρχική βραδεία φάση (10-15 ΗΜΦ) της εγκατάστασης των φυτών (ανάπτυξη ριζικού συστήματος), η καλλιέργεια παρουσίασε ταχύτερη αύξηση του LAI, συμβαδίζοντας με την πολύ γρήγορη ανάπτυξη των φυτών, καθώς όπως προαναφέρθηκε το υβρίδιο που χρησιμοποιήθηκε είναι μικρού βιολογικού κύκλου. Κατά την περίοδο αυτή, υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (P<0,05) ανάμεσα στις καλλιεργητικές τεχνικές (προηγούμενη καλλιέργεια με κουκιά, εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης), με τα φυτά των τεμαχίων στα οποία προηγήθηκε καλλιέργεια ψυχανθών να εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές του LAI από τα

φυτά των τεμαχίων του μάρτυρα, είτε με εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης είτε όχι, καθ' όλη την διάρκεια της καλλιέργειας και ειδικότερα τα φυτά των τεμαχίων στα οποία τα κουκιά ενσωματώθηκαν στο έδαφος ως χλωρή λίπανση. Η καλλιέργεια στα τεμάχια αυτά απέκτησε κλειστή φυλλοστοιβάδα ( $LAI > 3$ ) πιο γρήγορα, κατά 8-9 ημέρες σε σχέση με τα τεμάχια του μάρτυρα, ακόμη και στις επεμβάσεις με αζωτούχο λίπανση, η εφαρμογή της οποίας δεν επηρέασε το χρόνο που η καλλιέργεια απέκτησε κλειστή φυλλοστοιβάδα (35 ΗΜΦ για τα τεμάχια με χλωρή λίπανση και 44 ΗΜΦ για τα τεμάχια του μάρτυρα, αντίστοιχα), επηρέασε όμως τις μέγιστες τιμές του LAI. Στην περίοδο της άνθησης το 2008, οι τιμές αυτές ήταν  $4,51 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ ,  $4,01 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  και  $3,76 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  για τις τρεις προμεταχειρίσεις (χλωρή λίπανση, κάλυψη και μάρτυρας αντίστοιχα) χωρίς εφαρμογή αζώτου, και  $4,84 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ ,  $4,42 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  και  $4,04 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  για τις τρεις προμεταχειρίσεις με εφαρμογή  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Το επόμενο έτος (2009) οι αντίστοιχες τιμές ήταν  $4,37 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ ,  $4,25 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  και  $3,92 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  για τις τρεις προμεταχειρίσεις (χλωρή λίπανση, κάλυψη και μάρτυρας αντίστοιχα) χωρίς εφαρμογή αζώτου, και  $4,61 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ ,  $4,17 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  και  $4,01 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  για τις τρεις προμεταχειρίσεις με εφαρμογή  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ , επιβεβαιώνοντας την θετική επίδραση του αζώτου (ανόργανου ή μέσω της βιολογικής δέσμευσης των ψυχανθών) στην μέγιστη τιμή του LAI. Οι διαφορές αυτές διατηρήθηκαν και μετά την άνθηση, ως την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου των φυτών, παρά την πτώση των τιμών του LAI κατά την αναπαραγωγική περίοδο, λόγω της ανακατεύθυνσης των αφομοιωμένων θρεπτικών στο γέμισμα του σπόρου.

Το Σχ. 11 απεικονίζει αντίστοιχα την εξέλιξη του LAI της καλλιέργειας του αραβοσίτου στην περιοχή του Σωτηρίου (αργιλώδες έδαφος), κάτω από όλες τις μεταχειρίσεις και για τα δύο παρακολουθούμενα έτη. Και στο αργιλώδες έδαφος η εξέλιξη του LAI ήταν παρόμοια με αυτή που παρουσίασε η καλλιέργεια στο αμμοπηλώδες έδαφος, με εξαίρεση την επιμήκυνση της βραδείας φάσης κατά 10 ημέρες περίπου, στα τεμάχια στα οποία δεν εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση το 2008, πιθανώς λόγω της μειωμένης ηλιοφάνειας και θερμοκρασίας της περιόδου αυτής στην συγκεκριμένη περιοχή κι αυτό γιατί στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του αραβοσίτου, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας αυξάνει εκθετικά κυρίως ως συνάρτηση της θερμοκρασίας (Farre *et al.*, 2000). Μετά την περίοδο αυτή, η καλλιέργεια παρουσίασε γρήγορη αύξηση του LAI και σημαντική επίδραση ( $P < 0,05$ ) των καλλιεργητικών μεθόδων (προηγούμενη καλλιέργεια με κουκιά, εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης) στις τιμές του, όπως και στην καλλιέργεια στο αμμοπηλώδες

έδαφος. Η καλλιέργεια απέκτησε κλειστή φυλλοστοιβάδα ( $LAI > 3$ ) στις 44 ΗΜΦ στα τεμάχια χωρίς λίπανση, ανεξάρτητα της προμεταχείρισης με ψυχανθές, ενώ στα τεμάχια που εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση, η προμεταχείριση με ψυχανθές επιτάχυνε την κλειστή φυλλοστοιβάδα κατά 9-10 ημέρες (34 ΗΜΦ για την χλωρή λίπανση, 35 ΗΜΦ για την καλλιέργεια κάλυψης και 44 ΗΜΦ για το μάρτυρα). Η διαφορά αυτή φαίνεται να οφείλεται στον διαφορετικό εδαφικό τύπο, καθώς στα αμμώδη εδάφη η χλωρή λίπανση με ψυχανθή είναι ικανή να εξισώσει γρήγορα την ανόργανη λίπανση και έτσι επηρεάζει παρόμοια την εξέλιξη του LAI ακόμη και στα πρώτα στάδια του βιολογικού κύκλου του αραβόσιτου (Cherr *et al.*, 2007), ενώ γενικά (όπως ισχύει και για το αργιλώδες έδαφος) ο συνδυασμός οργανικής και ανόργανης λίπανσης ασκεί εντονότερη επίδραση στην αύξηση, παραγωγή και φωτοσύνθεση των φυτών του αραβόσιτου, με χαμηλότερες τιμές του LAI για τα φυτά που αναπτύσσονται μόνο με οργανική ή μόνο με ανόργανη λίπανση (Efthimiadou *et al.*, 2010). Όπως φαίνεται στο Σχ. 11 (b) και (c), τα τεμάχια που δέχτηκαν συνδυασμό οργανικής και ανόργανης λίπανσης εμφάνισαν τις μεγαλύτερες τιμές του LAI και στα δύο έτη των πειραμάτων ( $5,28 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  το 2008 και  $4,58 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  το 2009 αντίστοιχα), ενώ τα τεμάχια του μάρτυρα εμφάνισαν τις μικρότερες ( $3,72 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  το 2008 και  $4,02 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  το 2009 αντίστοιχα).

Η παροχή αζώτου, είτε ανόργανου με την εφαρμογή του λιπάσματος, είτε οργανικού μέσω των ψυχανθών, επηρέασε σημαντικά ( $P < 0,05$ ) και την διάρκεια της φυλλικής επιφάνειας (LAD), με παρόμοια αποτελέσματα και για τους δύο εδαφικούς τύπους και για τα δύο έτη. Η LAD το διάστημα της άνθησης, καθώς οι περισσότερες μελέτες υποδεικνύουν το διάστημα αυτό ως το πιο κρίσιμο για τον αραβόσιτο (NeSmith and Ritchie, 1992a), εμφάνισε τις μεγαλύτερες τιμές για τα τεμάχια που δέχτηκαν συνδυασμό οργανικής και ανόργανης λίπανσης (100,89 days έναντι 86,65 days για το μάρτυρα στα Τρίκαλα και 110,88 days έναντι 98,07 days για το μάρτυρα στο Σωτήριο, αντίστοιχα), αλλά πολύ υψηλές τιμές παρουσίασαν και τα τεμάχια με προμεταχείριση ψυχανθών, χωρίς επιπλέον λίπανση (94,24 days για την χλωρή λίπανση και 81,89 days για την καλλιέργεια κάλυψης έναντι 75,24 days για το μάρτυρα στα Τρίκαλα και 106,89 days για την χλωρή λίπανση και 100,17 days για την καλλιέργεια κάλυψης έναντι 93,03 days για το μάρτυρα στο Σωτήριο, αντίστοιχα).



**Σχήμα 11.** Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.

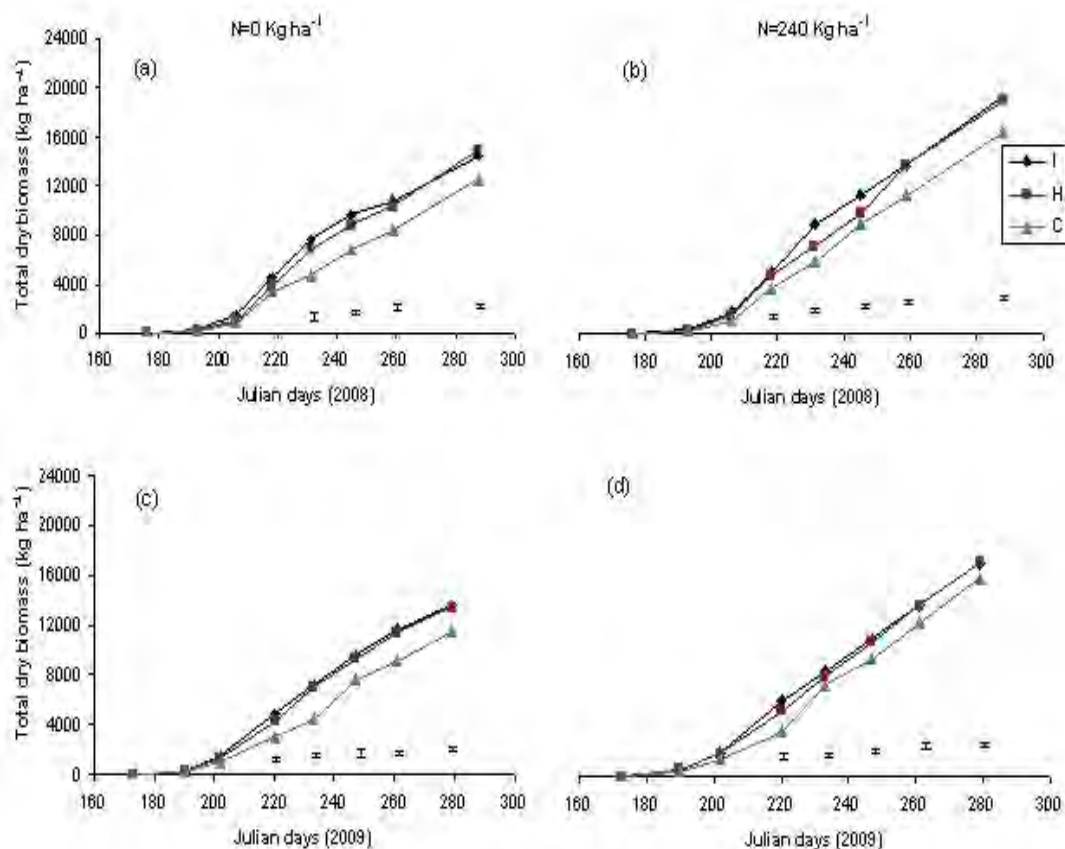
Οι διαφορές αυτές κατά την απώλεια φυλλικής επιφάνειας, όπως και οι διαφορές κατά την ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας, έχουν αντίκτυπο στην παραγωγή της καλλιέργειας, σύμφωνα με τον αντίκτυπο της ανασχεσης της ηλιακής ακτινοβολίας, αφού η αποδοτικότητα με την οποία αξιοποιείται από το φυτό η προσλαμβανόμενη ακτινοβολία αυτή για την παραγωγή βιομάζας, εξαρτάται από το διαθέσιμο άζωτο στα φύλλα (Muchow, 1988). Η παροχή αζώτου (ανόργανου ή οργανικού) επηρεάζει τόσο την ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας, όσο και την γήρανση των φύλλων, και επαγωγικά την πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας από την καλλιέργεια (Eik and Hanway, 1965; Lemcoff and Loomis, 1986). Έτσι, η



φωτοσυνθετική δραστηριότητα της φυλλοστοιβάδας και μέσω αυτής η αποδοτικότητα αξιοποίησης της ακτινοβολίας, ποικίλει αναλόγως του διαθέσιμου αζώτου στα φύλλα κατά το βλαστικό στάδιο (Sinclair and Horie, 1989; Muchow and Sinclair, 1994), ενώ κατά το αναπαραγωγικό, το άζωτο μετακινείται από τα φύλλα και το βλαστό προς το σπόρο (Swank *et al.*, 1982; Ta and Weiland, 1992), με αποτέλεσμα την μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων (Muchow and Sinclair, 1994).

### 3.2.2.3. Παραγωγή βιομάζας και σπόρου.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν σημαντική επίδραση ( $P < 0,05$ ) των επεμβάσεων της προμεταχείρισης με καλλιέργεια κουκιών αλλά και της εφαρμογής αζωτούχου λίπανσης, στην συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας, η εξέλιξη της οποίας απεικονίζεται σχηματικά στα Σχ. 12 και 13 για τους δύο εδαφικούς τύπους.



**Σχήμα 12.** Εξέλιξη της συνολικής παραγωγής βιομάζας (TDM) του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες

έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P < 0,05$ ) ανάμεσα στους μέσους.

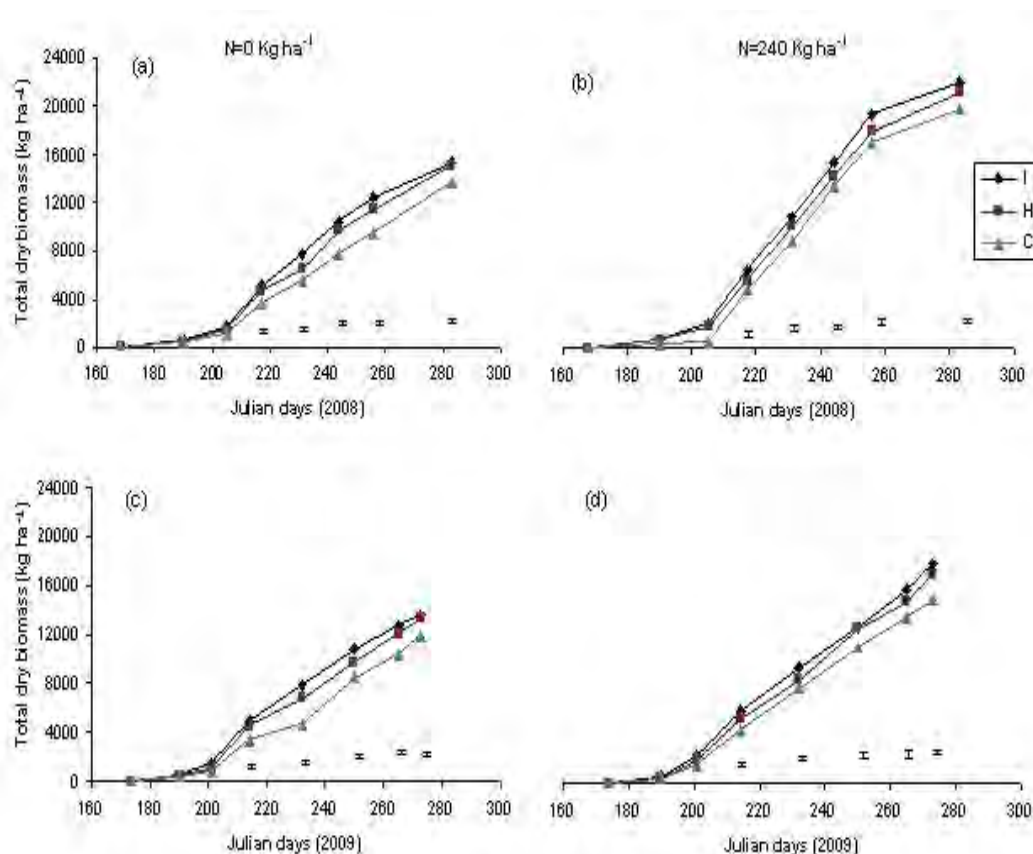
Στον πειραματικό αγρό των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος) και κατά το πρώτο έτος διεξαγωγής των μετρήσεων, τα φυτά του αραβοσίτου ξεκίνησαν την συσσώρευση ξηρής ουσίας με μικρό ρυθμό ( $8-10 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ) για ένα διάστημα 2-2,5 εβδομάδων, κατά το οποίο δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές ( $P > 0,05$ ) ανάμεσα στους μέσους για τις διαφορετικές επεμβάσεις, όπως συνέβη και για την αύξηση καθ' ύψος και προφανώς για τους ίδιους λόγους. Μετά το διάστημα αυτό της ολοκλήρωσης της εγκατάστασης των φυτών και το πέρασμα της καλλιέργειας στο βλαστικό στάδιο (15-20 ΗΜΦ), ο ρυθμός αύξησης της καλλιέργειας (CGR) παρουσίασε ραγδαία άνοδο, με εμφανείς τις επιδράσεις των επεμβάσεων στις τιμές του, οι οποίες εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P < 0,05$ ) τόσο για την προμεταχείριση με ψυχανθές, όσο και για την εφαρμογή λίπανσης. Και στις δύο μεταχειρίσεις ως προς την λίπανση, οι τιμές του CGR ήταν υψηλότερες όταν έγινε χλωρή λίπανση με κουκιά ( $26,08 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  χωρίς επιπλέον λίπανση και  $30,58 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  με επιπλέον λίπανση), ακολουθούμενες από την χρήση ως καλλιέργεια κάλυψης ( $24,88 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  χωρίς επιπλέον λίπανση και  $27,13 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  με επιπλέον λίπανση), ενώ τις μικρότερες τιμές εμφάνισαν τα τεμάχια του μάρτυρα ( $20,63 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  χωρίς επιπλέον λίπανση και  $23,23 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  με επιπλέον λίπανση), με αυξημένο CGR στα τεμάχια που δέχτηκαν επιπλέον αζωτούχο λίπανση σε κάθε περίπτωση. Όπως φαίνεται από το Σχ.12 (a) και (b), οι διαφορές που προαναφέρθηκαν, διατηρήθηκαν και στην συνέχεια κατά την αναπαραγωγική φάση και οι τιμές του CGR αν και μικρότερες, παρέμειναν σχετικά υψηλές καθώς το υβρίδιο που χρησιμοποιήθηκε ολοκληρώνει τον βιολογικό κύκλο σε μόλις 105 ΗΜΦ. Τα αποτελέσματα του επόμενου έτους (2009, Σχ. 12 (c) και (d)) επιβεβαίωσαν τις επιδράσεις της προμεταχείρισης με κουκιά και τις εφαρμογές επιπλέον αζώτου στις τιμές του CGR, οι οποίες παρουσίασαν παρόμοια διακύμανση και διαφορές. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν είναι σε συμφωνία με τις διαφορές που εμφάνισε ο LAI ανάμεσα στις προμεταχειρίσεις, και οφείλονται κυρίως σε αυτές τις διαφορές ακριβώς, καθώς η συσσώρευση βιομάζας εξαρτάται από την ανάσχεση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας από την φυλλοστοιβάδα και την αποδοτικότητα με την οποία η ακτινοβολία αυτή αξιοποιείται για την παραγωγή ξηρής ουσίας (Monteith, 1977; Muchow, 1988). Για τις καλλιέργειες σε συνθήκες αγρού, η πτώση στις τιμές του CGR συχνά εμφανίζεται ως ένδειξη της πτώσης του διαθέσιμου αζώτου και

προκύπτει από την μείωση της ακτινοβολίας που μπορεί να απορροφήσει η φυλλοστοιβάδα ή από την μειωμένη αποδοτικότητα με την οποία μπορεί να αξιοποιήσει την προσλαμβανόμενη ακτινοβολία για παραγωγή ξηρής ουσίας ή από τον συνδυασμό και των αυτών παραγόντων (Muchow and Davis, 1988).

Η διατήρηση των διαφορών του CGR, του LAI και της LAD μέχρι την φυσιολογική ωρίμανση, είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ανάλογων διαφορών στην συνολική παραγωγή βιομάζας (TDM), η οποία παρουσίασε επίσης σημαντικές διαφορές ( $P < 0,05$ ) ανάμεσα στους μέσους των μεταχειρίσεων. Η βιομάζα κατά την φυσιολογική ωρίμανση, εξαρτάται από την ανάπτυξη και διατήρηση της φυλλικής επιφάνειας, της δραστηριότητας της φυλλοστοιβάδας όπως αυτή καθορίζεται από το διαθέσιμο άζωτο στα φύλλα κατά την διάρκεια του βιολογικού κύκλου και από την ίδια την διάρκεια του βιολογικού κύκλου (Muchow, 1988). Είναι ξεκάθαρο μέσα από την επίδραση αυτών των παραγόντων πώς αντιδρά ο αραβόσιτος στα διάφορα επίπεδα παροχής αζώτου, είτε αυτό προέρχεται από το ψυχανθές, είτε από ανόργανη λίπανση και πώς τα επίπεδα αυτά επηρεάζουν εκτός από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και την συνολική παραγωγή βιομάζας (Liu and Wiatrak, 2011). Η παραγωγή αυτή κυμάνθηκε σε κοντινές τιμές για τις δύο προμεταχειρίσεις με ψυχανθές, αρκετά υψηλότερες όμως σε σχέση με τον αντίστοιχο μάρτυρα, τόσο με εφαρμογή, όσο και χωρίς ανόργανη λίπανση. Το 2008 η μέση TDM χωρίς επιπλέον λίπανση ήταν  $14500 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια που είχε προηγηθεί καλλιέργεια ψυχανθών, έναντι  $12500 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια του μάρτυρα, ενώ το 2009 οι αντίστοιχες τιμές ήταν  $13500$  και  $11500 \text{ kg ha}^{-1}$ . Η επιπλέον παροχή αζώτου προκάλεσε αύξηση των τιμών της TDM που διαμορφώθηκαν για το 2008 στα  $19500 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια που είχε προηγηθεί καλλιέργεια ψυχανθών, έναντι  $16800 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια του μάρτυρα, και το 2009 στα  $16300$  και  $15200 \text{ kg ha}^{-1}$ , αντίστοιχα. Οι χαμηλότερες τιμές το 2009 αντικατοπτρίζουν το αποτέλεσμα των χαμηλότερων τιμών σε όλα τα χαρακτηριστικά της αύξησης για το συγκεκριμένο έτος, όπως αυτά αναλύθηκαν στις αντίστοιχες παραγράφους. Γενικά, αν και το άζωτο μέσω της βιολογικής δέσμευσης των ψυχανθών έδωσε αυξημένη παραγωγή, δεν κατάφερε να αντισταθμίσει την παραγωγή με εφαρμογή  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ , καθώς ο αραβόσιτος παρουσιάζει μεγάλη ανταπόκριση στην παροχή αζώτου (Sims *et al.*, 1998; Ma *et al.*, 2005; Uribe-larrea *et al.*, 2009).

Ανάλογα αποτελέσματα για τον CGR και την TDM παρατηρήθηκαν και στον πειραματικό αγρό του Σωτηρίου (αργιλώδες έδαφος). Η καλλιέργεια παρουσίασε αρχικά μία βραδεία φάση χωρίς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους μέσους

( $P>0,05$ ) για το ίδιο διάστημα των 15-20 ΗΜΦ (εγκατάσταση-ανάπτυξη ριζικού συστήματος), στην συνέχεια όμως ο CGR επηρεάστηκε ( $P<0,05$ ) από τις μεταχειρίσεις τόσο της καλλιέργειας των κουκιών, όσο και της λίπανσης, όπως και στο αμμοπηλώδες έδαφος. Οι τιμές του CGR ήταν και στις δύο μεταχειρίσεις ως προς την λίπανση και πάλι υψηλότερες όταν έγινε χλωρή λίπανση με κουκιά ( $27,54 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  χωρίς επιπλέον λίπανση και  $33,42 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  με επιπλέον λίπανση), ακολουθούμενες από την χρήση ως καλλιέργεια κάλυψης ( $27,38 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  χωρίς επιπλέον λίπανση και  $32,83 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  με επιπλέον λίπανση), ενώ τις μικρότερες τιμές εμφάνισαν τα τεμάχια του μάρτυρα ( $21,30 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  χωρίς επιπλέον λίπανση και  $29,17 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  με επιπλέον λίπανση). Οι τιμές του CGR στα τεμάχια που δέχτηκαν επιπλέον αζωτούχο λίπανση ήταν μεγαλύτερες και στο αργιλώδες έδαφος και αρκετά πιο υψηλές από το ότι στο αμμοπηλώδες για όλες τις μεταχειρίσεις, πιθανώς εξαιτίας της καλύτερης αξιοποίησης των αρδεύσεων, όπως ήδη παρουσιάστηκε.

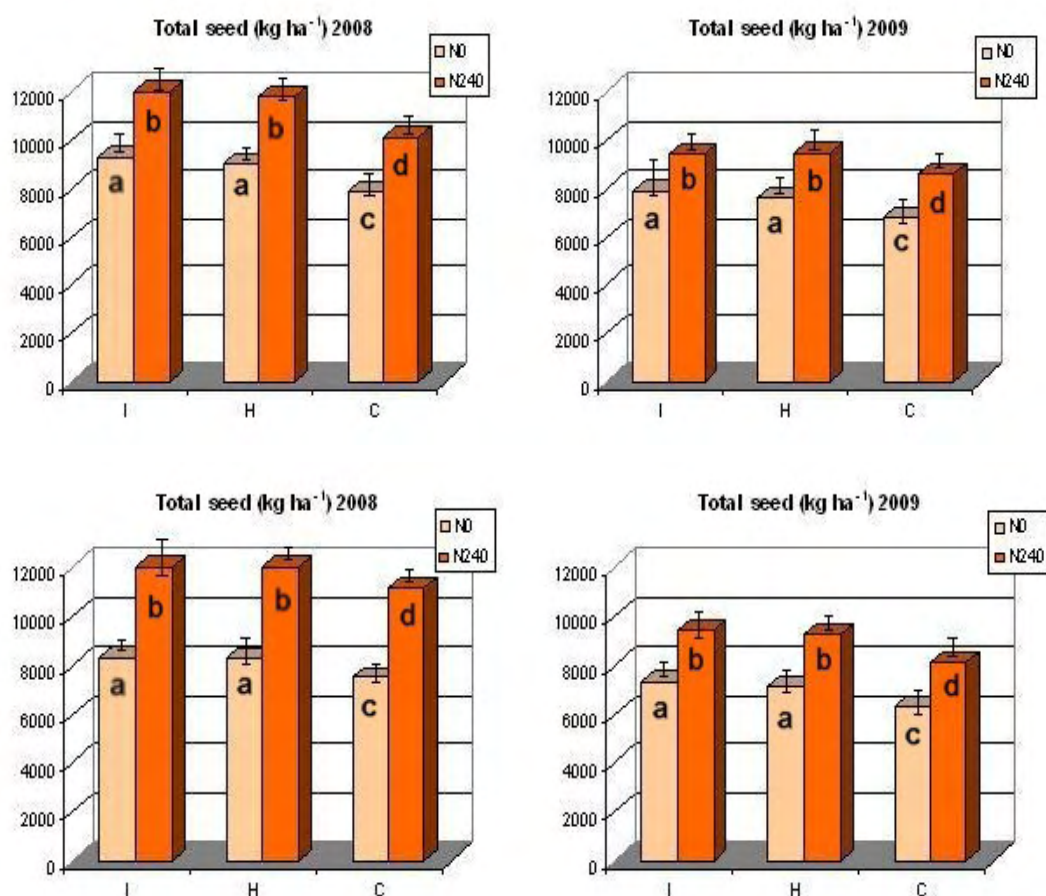


**Σχήμα 13.** Εξέλιξη της συνολικής παραγωγής βιομάζας (TDM) του αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες

έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P < 0,05$ ) ανάμεσα στους μέσους.

Παρά τις διαφορές στις τιμές του CGR ανάμεσα στην χρήση των κουκιών ως χλωρή λίπανση και ως καλλιέργεια κάλυψης, δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους μέσους για τις δύο τεχνικές ( $P > 0,05$ ), όπως φαίνεται και από την τελική παραγωγή της TDM (Σχ.13), η οποία διαμορφώθηκε σε παρόμοια επίπεδα και στο αργιλώδες έδαφος, καθιστώντας και τις δύο καλλιεργητικές τεχνικές εξίσου αποδοτικές στην αύξηση της παραγόμενης βιομάζας του αραβόσιτου. Αντιθέτως, η εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης επηρέασε σημαντικά την TDM ( $P < 0,05$ ), οι τιμές τις οποίας ήταν το 2008 χωρίς επιπλέον λίπανση,  $15300 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια που είχε προηγηθεί καλλιέργεια ψυχανθών, έναντι  $13700 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια του μάρτυρα, και με εφαρμογή λίπανσης,  $22500 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια που είχε προηγηθεί καλλιέργεια ψυχανθών, έναντι  $20300 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια του μάρτυρα, αντίστοιχα. Το 2009 οι αντίστοιχες τιμές ήταν και στην περιοχή του Σωτηρίου χαμηλότερες (για τους λόγους που προαναφέρθηκαν για την περιοχή των Τρικάλων), και κυμάνθηκαν χωρίς επιπλέον λίπανση, σε  $13600 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια που είχε προηγηθεί καλλιέργεια ψυχανθών, έναντι  $11900 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια του μάρτυρα, και με εφαρμογή λίπανσης, σε  $16900 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια που είχε προηγηθεί καλλιέργεια ψυχανθών, έναντι  $14200 \text{ kg ha}^{-1}$  στα τεμάχια του μάρτυρα, αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί πως ούτε σε αυτό τον εδαφικό τύπο, δεν κατάφερε το άζωτο μέσω της βιολογικής δέσμευσης των ψυχανθών να αντισταθμίσει την παραγωγή με εφαρμογή  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ , παρά την αυξημένη παραγωγή των τεμαχίων στα οποία είχε προηγηθεί καλλιέργεια κουκιών, επιβεβαιώνοντας πως για την καλλιέργεια του αραβόσιτου αύξηση της παροχής αζώτου σημαίνει και αύξηση της παραγωγής (Mullins *et al.*, 1998; Halvorson *et al.*, 2006).

Η τελική παραγωγή του σπόρου για όλες τις μεταχειρίσεις και για τα δύο έτη, στις δύο περιοχές, απεικονίζεται στο Σχ.14 και είναι εμφανές πως ακολουθεί την TDM και εμφανίζει ανάλογες διαφορές ανάμεσα στους μέσους. Η εφαρμοζόμενη λίπανση επηρέασε σημαντικά ( $P < 0,05$ ) την τελική παραγωγή σπόρου, όπως και η καλλιέργεια του ψυχανθούς, χωρίς όμως να προκύψουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P > 0,05$ ) ανάμεσα στην ενσωμάτωση του ψυχανθούς ως χλωρή λίπανση ή την χρήση του ως καλλιέργεια κάλυψης, τόσο στο αμμοπηλώδες έδαφος, όσο και στο αργιλώδες, παρά μόνο σε σχέση με τον αντίστοιχο μάρτυρα.



**Σχήμα 14.** Συνολική παραγωγή σπόρου αραβόσιτου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup>, σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων και τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους.

Οι αυξημένες παραγωγές σπόρου των τεμαχίων που δέχτηκαν μεγαλύτερες εισροές αζώτου, είτε ανόργανου είτε μέσω της βιολογικής δέσμευσης των κουκιών, οφείλονται στην σχετική συμβολή της μεγαλύτερης απορρόφησης αζώτου από τα φυτά και της μετακίνησης του αζώτου αυτού, από τα φύλλα στον σπόρο, κατά την αναπαραγωγική περίοδο (Swank *et al.*, 1982; Muchow, 1988). Η μετακίνηση αυτή και οι απαιτήσεις του σπόρου, συχνά υπερβαίνουν την απορρόφηση που μπορεί να γίνει από το φυτό (Hanway, 1962a; Roy and Wright, 1974; Smith and Myers, 1978; Swank *et al.*, 1982), και συνεπώς η τελική παραγωγή σε σπόρο συνδέεται με τρεις παράγοντες, δηλαδή την διατήρηση της απορρόφησης του αζώτου και της φωτοσυνθετικής ικανότητας (άρα και της συσσώρευσης ξηρής ουσίας) κατά την

διάρκεια γεμίσματος του σπόρου και από την ίδια την διάρκεια της φάσης αυτής. Σε πολλά φυτά, όταν υπάρχει περίσσεια κατά την απορρόφηση αζώτου, γίνεται αποθήκευση της επιπλέον ποσότητας στα χυμοτόπια και το άζωτο αυτό χρησιμεύει ως οσμωτικό αλλά και ως πηγή ανόργανου αζώτου όταν χρειαστεί (McIntyre, 1997; Crawford and Glass, 1998). Στον αραβόσιτο, οι χυμοτοπικές δεξαμενές γεμίζουν στην διάρκεια του βλαστικού σταδίου, για να προωθήσουν τα αποθέματα στην συνέχεια στον σπόρο, συμβάλλοντας στο γέμισμα του σπόρου κατά την περίοδο αυτή (Teyker *et al.*, 1989; Plenet and Lemaire, 1999). Από τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό πόσο στενά είναι συνδεδεμένη η αυξημένη εισροή αζώτου με την τελική παραγωγή σπόρου και μάλιστα όχι μόνο στην μετά την άνθηση περίοδο, αλλά καθ' όλη την διάρκεια του βιολογικού κύκλου του αραβόσιτου. Η αύξηση στην παραγωγή σπόρου που παρατηρήθηκε στα τεμάχια με προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθούς, μπορεί να αποδοθεί στην μεγαλύτερη εισροή αζώτου μέσω της βιολογικής δέσμευσης, ακολουθούμενης από την ορυκτοποίηση των φυτικών υπολειμμάτων της καλλιέργειας (Onim *et al.*, 1990; Wortmann *et al.*, 1994; Peoples *et al.*, 1995). Η αύξηση αυτή, όπως και για την TDM, δεν κατάφερε να αντισταθμίσει την παραγωγή με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup>, σε κανένα από τους δύο εδαφικούς τύπους και σε κανένα από τα δύο έτη των παρατηρήσεων.

Ο δείκτης συγκομιδής (HI) της καλλιέργειας δεν παρουσίασε αντίστοιχες διαφορές ανάμεσα στους μέσους (P>0,05) και παρέμεινε σε παρόμοια επίπεδα ανεξάρτητα από την προμεταχείριση με ψυχανθές ή από την εφαρμογή επιπλέον αζώτου, εμφανίζοντας λίγο μεγαλύτερες τιμές για την καλλιέργεια στο αμμοπηλώδες έδαφος και στα δύο έτη διεξαγωγής των πειραμάτων (56-57%), σε σχέση με τις τιμές για την καλλιέργεια στο αργιλώδες έδαφος (53-54%). Η απουσία επίδρασης των επιπέδων αζώτου στον HI αλλά και οι μεγαλύτερες τιμές του στο αμμοπηλώδες έδαφος, φαίνεται να οφείλονται στο ότι η διακύμανση του αζώτου που παρέχεται στον αραβόσιτο, εκφράζεται μέσω της ανάλογης διακύμανσης της παραγόμενης βιομάζας και όχι με μεταβολή του HI (Muchow, 1994).



**Εικόνα 8.** Αραβόσιτος: Πειραματικός αγρός στα Τρίκαλα (πάνω), πειραματικός αγρός στο Σωτήριο (μέση), ανάπτυξη του υβριδίου μικρού βιολογικού κύκλου-ύψος 110cm σε 31 ΗΜΦ (κάτω αριστερά) και γέμισμα του σπόρου σε 82 ΗΜΦ (κάτω δεξιά).



### 3.2.3. *Sorghum bicolor*

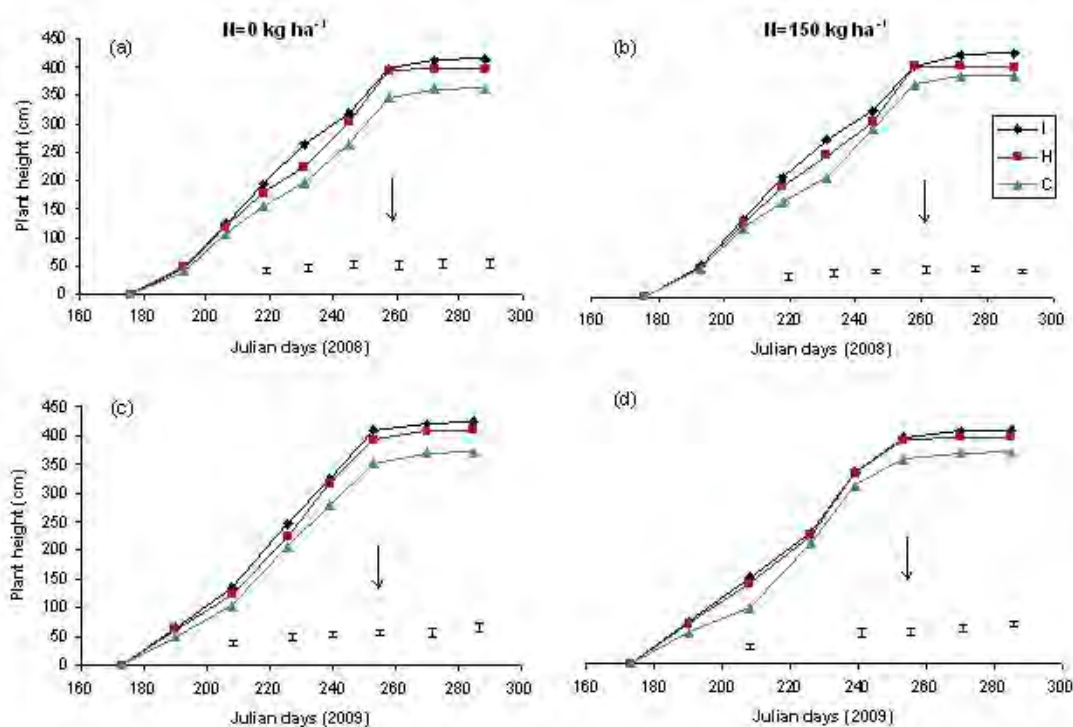
Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως η επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης με ψυχανθή, ήταν στατιστικά σημαντική ( $P < 0,05$ ) σε όλες τις μετρημένες ή υπολογισμένες παραμέτρους της αύξησης του ινώδους σόργου, και για τους δύο εδαφικούς τύπους και τα δύο έτη, τόσο στα τεμάχια που εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση, όσο και στα τεμάχια που δεν εφαρμόστηκε, ενώ δεν παρουσιάστηκαν αλληλεπιδράσεις ψυχανθές x λίπανση ( $P > 0,05$ ).

#### 3.2.3.1. Ύψος φυτών.

Η ανάλυση της αύξησης του ινώδους σόργου, έτσι όπως αντικατοπτρίζεται από τους μέσους του ύψους των φυτών για κάθε καλλιεργητική πρακτική στην περιοχή των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος), απεικονίζεται στο Σχ. 15. Όπως και στον αραβόσιτο, η καλλιέργεια άρχισε το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης μετά από μια μικρή αρχική βραδεία περίοδο εγκατάστασης (ανάπτυξη ριζικού συστήματος) κατά τις πρώτες 7-10 ημέρες μετά το φύτευμα (ΗΜΦ). Από την περίοδο αυτή και έπειτα, οι πρακτικές της χρήσης των κουκιών ως καλλιέργεια κάλυψης, επηρέασαν σημαντικά ( $P < 0,05$ ) το ύψος των φυτών, το οποίο συνέχισε να αυξάνει σχεδόν γραμμικά, με μεγαλύτερο ρυθμό για τα φυτά των τεμαχίων στα οποία εφαρμόστηκαν οι συγκεκριμένες πρακτικές (  $5,2 \text{ cm d}^{-1}$  για τις καλλιέργειες κάλυψης και  $4,6 \text{ cm d}^{-1}$  για την μονοκαλλιέργεια, αντίστοιχα), φτάνοντας σε πολύ μεγάλα ύψη των 410 και 397 cm (82-84 ΗΜΦ) σε τεμάχια στα οποία δεν έγινε καθόλου ανόργανη λίπανση με άζωτο, το 2008 (Σχ. 15 (a)). Το επόμενο έτος (2009), τα φυτά των τεμαχίων των καλλιεργειών κάλυψης είχαν αποκτήσει κατά το τέλος της βλαστικής φάσης (73-75 ΗΜΦ) ένα μέσο ύψος των 310 cm, έναντι 270 cm για τα φυτά των τεμαχίων στα οποία δεν προηγήθηκε καλλιέργεια ψυχανθών, ακόμη και χωρίς εισροές ανόργανου αζώτου, για να αποκτήσουν κατά την άνθηση (83-85 ΗΜΦ) το τελικό ύψος των 420 και 370 cm για την χλωρή λίπανση και μονοκαλλιέργεια αντίστοιχα, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα του προηγούμενου έτους (Σχ. 15 (c)).

Και για τα δύο έτη των παρατηρήσεων, τα φυτά στα οποία χορηγήθηκε πλήρης αζωτούχος λίπανση, κατέληξαν σε μεγαλύτερα τελικά ύψη κατά μέσο όρο 15-20 cm σε σχέση με τα φυτά των αντιστοίχων τεμαχίων χωρίς λίπανση, πιθανώς λόγω υψηλότερων ρυθμών αύξησης κατά την διάρκεια της αρχικής περιόδου της εγκατάστασης των φυτών, καθώς ο ρυθμός αύξησης καθ' ύψος κατά την διάρκεια της

βλαστικής φάσης, δεν επηρεάστηκε από την εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης. Κατά την φάση της εγκατάστασης των φυτών και της πρώιμης ανάπτυξης του ριζικού συστήματος, ο μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης είναι απόλυτα συνδεδεμένος με τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα αζώτου, καθώς η ίδια η ανάπτυξη και επέκταση των ριζών στα φυτά του σόργου, μπορεί να θεωρηθεί συνάρτηση της διαθεσιμότητας του ριζικού αζώτου (επίπεδα του αζώτου στους ιστούς των ριζών) (Gastal *et al.*, 1992; Gastal and Nelson, 1994; Hirose *et al.*, 1996). Ωστόσο, πέρα από την μικρή επίδραση της αζωτούχου λίπανσης, υπήρξε σημαντική θετική επίδραση ( $P < 0,05$ ) και των πρακτικών καλλιέργειας κάλυψης στον ρυθμό αύξησης καθ' ύψος αλλά και στο τελικό ύψος ανάμεσα στα φυτά των τεμαχίων που δέχτηκαν πλήρη αζωτούχο λίπανση και στα δύο έτη (Σχ. 15 (b) και (d)), με τα φυτά των τεμαχίων του συνδυασμού χλωρής λίπανσης και ανόργανης λίπανσης να εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές σε όλα τα χαρακτηριστικά του ύψους.

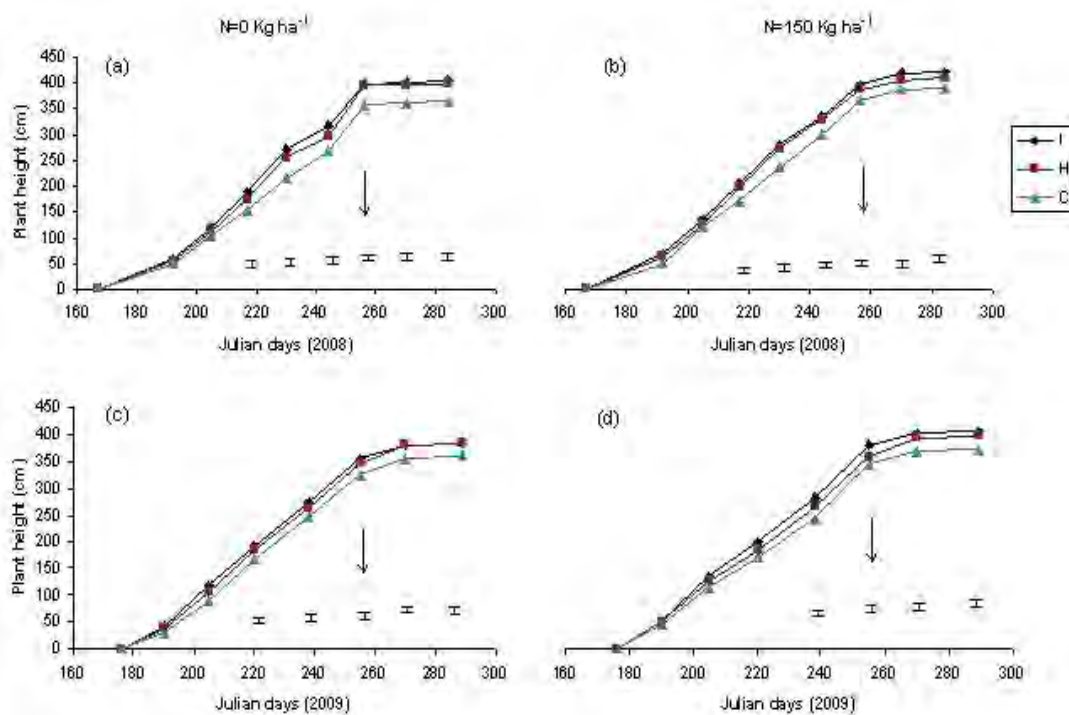


**Σχήμα 15.** Χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P < 0,05$ ) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.

Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και στην περιοχή του Σωτηρίου (αργιλώδες έδαφος), με την αρχική βραδεία φάση της εγκατάστασης των φυτών (8-10 ΗΜΦ) επίσης παρούσα και με τα φυτά του ινώδους σόργου να παρουσιάζουν αργούς ρυθμούς αύξησης καθ' ύψος ( $2,4-2,6 \text{ cm d}^{-1}$ ) για όλες τις επεμβάσεις, ακόμη και του μάρτυρα, κατά την διάρκειά της. Και σ' αυτό τον εδαφικό τύπο στην συνέχεια και ως την άνθηση (88-90 ΗΜΦ), το ύψος των φυτών αυξήθηκε σχεδόν γραμμικά με μεγαλύτερους ρυθμούς για τα φυτά των τεμαχίων με προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθών (π.χ.  $5,5 \text{ cm d}^{-1}$  για την χλωρή λίπανση, έναντι  $4,7 \text{ cm d}^{-1}$  για τον μάρτυρα), για να καταλήξουν σε μεγάλο τελικό μέσο ύψος των 400 cm (έναντι 360 cm για τον μάρτυρα), σε τεμάχια χωρίς εισροές ανόργανου αζώτου, το 2008 (Σχ. 16 (a)). Τα φυτά των τεμαχίων στα οποία εφαρμόστηκε και πλήρης αζωτούχος λίπανση και προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθών, αναπτύχθηκαν με ακόμη μεγαλύτερους ρυθμούς σε ύψος, ειδικά μετά την εφαρμογή και της δεύτερης δόσης (25 ΗΜΦ) και απέκτησαν ακόμη μεγαλύτερο μέσο ύψος, φτάνοντας τα 418, 407 και 386 cm για την χλωρή λίπανση, την συγκομισμένη καλλιέργεια κάλυψης και τον μάρτυρα, αντίστοιχα (Σχ. 16 (b)).

Η ξεκάθαρη ανωτερότητα αύξησης σε ύψος των φυτών των τεμαχίων με προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθών σε σχέση με τα φυτά των τεμαχίων της μονοκαλλιέργειας, παρατηρήθηκε και κατά το επόμενο έτος (2009). Ακόμη και κατά την αρχική περίοδο της εγκατάστασης των φυτών του ινώδους σόργου (ανάπτυξη ριζικού συστήματος), καταγράφηκε θετική επίδραση των ψυχανθών στον μέσο ρυθμό αύξησης καθ' ύψος ( $2,7 \text{ cm d}^{-1}$  έναντι  $2 \text{ cm d}^{-1}$  για τον μάρτυρα), πιθανώς λόγω καλύτερης και ευκολότερης ανάπτυξης των ριζών στα τεμάχια που υπήρξε συνεχή καλλιέργεια κουκιών κατά την χειμερινή περίοδο καθώς τα ψυχανθή βελτιώνουν ορισμένες από τις εδαφικές ιδιότητες (Peoples *et al.*, 2009), όπως θα παρουσιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο. Τα φυτά των τεμαχίων με καλλιέργεια κάλυψης απέκτησαν ένα μέσο ύψος των 350 cm, χωρίς αζωτούχο λίπανση κατά την βλαστική φάση (78-80 ΗΜΦ), έναντι 320 cm για τα φυτά των τεμαχίων του αντίστοιχου μάρτυρα, για να καταλήξουν σε τελικά ύψη κατά την άνθηση (88-90 ΗΜΦ) των 400 και 370 cm για τα φυτά των τεμαχίων με προηγούμενη και χωρίς προηγούμενη καλλιέργεια κουκιών αντίστοιχα, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα του προηγούμενου έτους και για το αργιλώδες έδαφος (Σχ. 16 (c)). Αξίζει να σημειωθούν οι χαμηλότεροι μέσοι ρυθμοί αύξησης που επέδειξαν τα φυτά όλων των τεμαχίων και επεμβάσεων κατά την διάρκεια της βλαστικής φάσης το 2009 ( $5,2 \text{ cm d}^{-1}$  με καλλιέργεια κάλυψης και  $4,4$

cm d<sup>-1</sup> για μονοκαλλιέργεια), εξαιτίας των καιρικών συνθηκών κατά την περίοδο αυτή (μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας).



**Σχήμα 16.** Χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 240 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.

Και στα δύο έτη διεξαγωγής των πειραμάτων, όπως και στο αμμοπηλώδες έδαφος, τα φυτά που δέχτηκαν πλήρη λίπανση απέκτησαν μεγαλύτερο τελικό ύψος (κατά μέσο όρο 15-20 cm υψηλότερα), πιθανώς λόγω μεγαλύτερων ρυθμών αύξησης κατά την διάρκεια της αρχικής περιόδου της εγκατάστασης των φυτών, όπως προαναφέρθηκε, καθώς ο ρυθμός αύξησης καθ' ύψος κατά την διάρκεια της βλαστικής φάσης, δεν επηρεάστηκε από την εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης. Οι καλλιέργειες κάλυψης επέδρασαν θετικά (P<0,05) στον ρυθμό αύξησης καθ' ύψος και στο τελικό ύψος των φυτών και στα φυτά των τεμαχίων που δέχτηκαν πλήρη αζωτούχο λίπανση και στα δύο έτη (Σχ. 16 (b) και (d)), ενώ αντιθέτως δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα ύψη (μέσο ή τελικό) των φυτών των τεμαχίων που η καλλιέργεια κάλυψης ενσωματώθηκε στο έδαφος ή

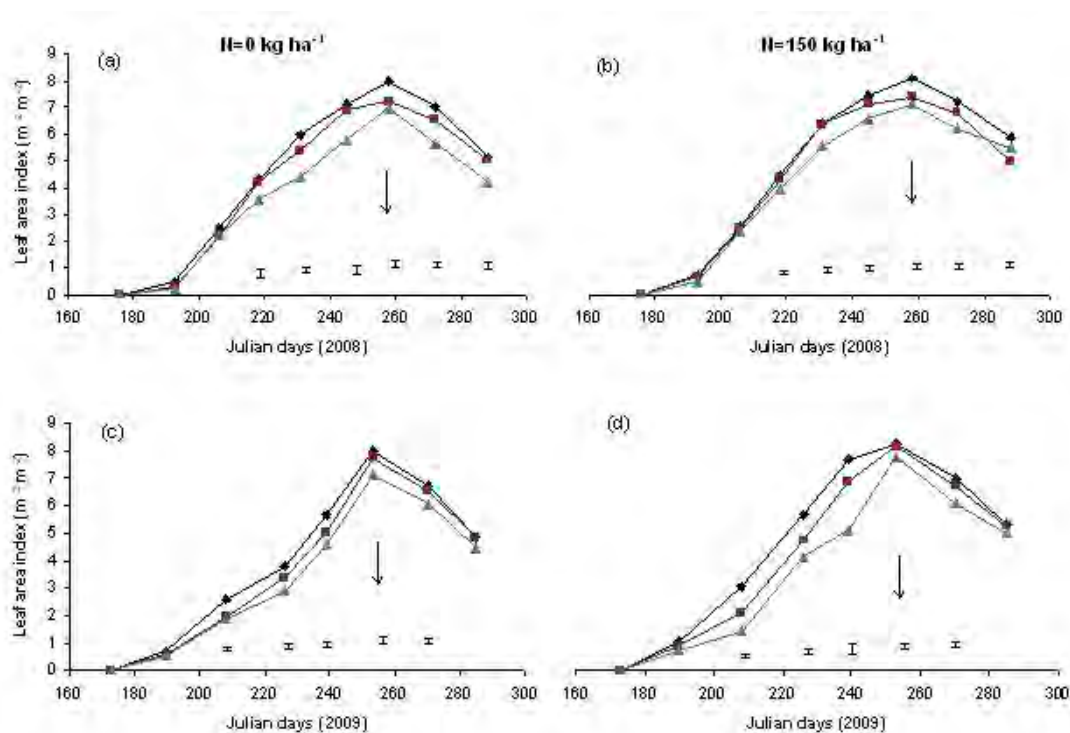
συγκομίστηκε, υποδηλώνοντας πως και οι δύο πρακτικές έχουν παρόμοια επίδραση όσον αφορά στο ύψος των φυτών του ινώδους σόργου.

### 3.2.3.2. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI).

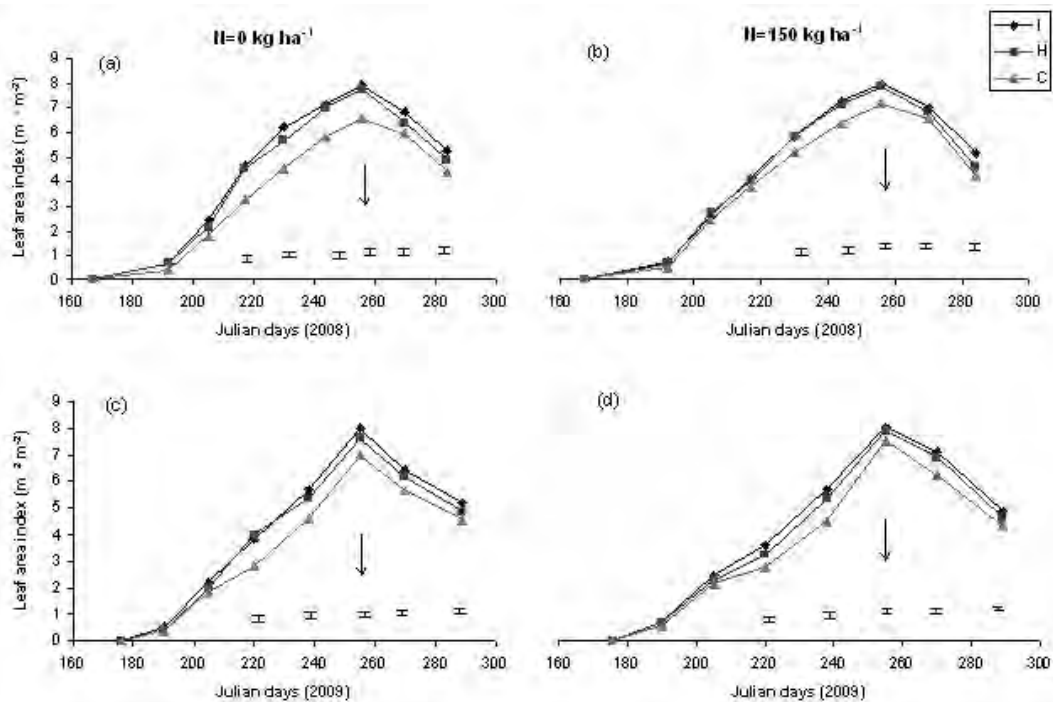
Η εξέλιξη του LAI κάτω από τις διάφορες καλλιεργητικές τεχνικές και επίπεδα λίπανσης, για όλη της περίοδο της ανάπτυξης του ινώδους σόργου σε αμμώδες έδαφος το 2008 και 2009, απεικονίζεται στο Σχ. 17. Η ανάπτυξη και επέκταση της φυλλικής επιφάνειας είναι μεγάλης σπουδαιότητας για την πρόσληψη του φωτός και την φωτοσύνθεση και ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα διανομής των αφομοιωμένων συστατικών για την παραγωγή καινούργιων φύλλων και την αναλογία παραγόμενης φυλλικής επιφάνειας προς τη μονάδα ξηρής ουσίας φύλλων. Μελέτες για το σόργο θεωρούν μέγιστη την αφομοίωση όταν ο LAI αποκτά τιμές πάνω από 4-5, ενώ τιμές σχετικά μικρότερες από 3 χαρακτηρίζουν ανοιχτή φυλλοστοιβάδα και σημαντικές απώλειες της δυνητικά ικανής ακτινοβολίας για φωτοσύνθεση (Sakellariou-Makrantonaki *et al.*, 2007).

Από το Σχ. 17 μπορεί να παρατηρηθεί πως ο LAI των φυτών που αναπτυχθήκαν σε τεμάχια που είχε προηγηθεί καλλιέργεια κουκιών ήταν πάντα μεγαλύτερος από των φυτών στα τεμάχια μονοκαλλιέργειας, και για τις δύο καλλιεργητικές περιόδους και ανεξάρτητα από τις αζωτούχες εισροές. Στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους μέσους ( $P < 0,05$ ) υπήρξαν για τις προμεταχειρίσεις με ψυχανθή, τόσο όταν εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση όσο και όταν δεν εφαρμόστηκε, κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου (15-75 ΗΜΦ) και πριν οι μέσοι αποκτήσουν τις μέγιστες τιμές. Και στα δύο έτη διεξαγωγής των πειραμάτων, ο LAI αυξήθηκε γρήγορα κατά την περίοδο αυτή για να αποκτήσει τις μέγιστες τιμές με την αρχή της ανθοφορίας, όπως συμβαίνει στις πιο πολλές καλλιέργειες (Stone *et al.*, 2001), μέγιστες τιμές που διαμορφώθηκαν σε  $8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  και  $7-7,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , για τα φυτά των τεμαχίων με καλλιέργεια κάλυψης και μονοκαλλιέργεια αντίστοιχα. Από την ανθοφορία και έπειτα, παρουσιάστηκε μείωση του LAI, καθώς τα αφομοιωμένα θρεπτικά κατευθύνονται στα αναπαραγωγικά όργανα για να υποστηρίξουν την παραγωγή του σπόρου, με τις ίδιες διαδικασίες που περιγράφηκαν για τον αραβόσιτο. Στο σόργο η ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας ωστόσο, ανταποκρίνεται καλύτερα στην παροχή αζώτου απ' ότι στον αραβόσιτο και οι τιμές του LAI είναι αρκετά μεγαλύτερες, παρά την παρόμοια απορρόφηση αζώτου ανάμεσα στα δύο είδη, και αυτό συμβαίνει κυρίως εξαιτίας της μεγαλύτερης

διάρκειας της βλαστικής περιόδου του σόργου και της μεγαλύτερης πυκνότητας φυτών που δημιουργούν τα δευτερεύοντα στελέχη (Muchow, 1986). Η πιο στενή σχέση ανάμεσα στον LAI και τα επίπεδα αζώτου, φαίνεται και από την μεγαλύτερη πτώση που παρουσιάζουν οι τιμές του LAI στο σόργο σε σχέση με τον αραβόσιτο κατά την περίοδο γεισίματος του σπόρου, πτώση που σχετίζεται με την πιο γρήγορη γήρανση των φύλλων και την μεγαλύτερη μείωση των συγκεντρώσεων αζώτου στα φύλλα και που είναι πιο έκδηλη όσο πιο χαμηλά είναι τα επίπεδα του χορηγούμενου αζώτου στην καλλιέργεια (Σχ. 17 (a) και (c)). Συνολικά, η καλλιέργεια είχε κλειστή φυλλοστοιβάδα ( $LAI > 3$ ) για 70 ημέρες κατά μέσο όρο, με την ανόργανη λίπανση να επιταχύνει τον χρόνο κατά τον οποίο η καλλιέργεια απέκτησε κλειστή φυλλοστοιβάδα κατά 8-10 ημέρες, αν και οι μέγιστες τιμές του LAI δεν επηρεαστήκαν σημαντικά από την εφαρμογή επιπλέον αζώτου.



**Σχήμα 17.** Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= γλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε  $P < 0,05$ ) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.



**Σχήμα 18.** Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους, και τα βέλη σηματοδοτούν την αρχή της άνθησης.

Ανάλογα αποτελέσματα καταγράφηκαν και στο αργιλώδες έδαφος όπως αυτά εμφανίζονται στο Σχ. 18. Και στον εδαφικό τύπο αυτό, ο LAI των φυτών που αναπτύχθηκαν σε τεμάχια με προηγούμενη καλλιέργεια κάλυψης κουκιών, ήταν μεγαλύτερος από τα αντίστοιχα τεμάχια του μάρτυρα σε κάθε περίπτωση. Στατιστικά σημαντικές διαφορές (P<0,05) προέκυψαν για την διάρκεια της βλαστικής περιόδου (15-80 ΗΜΦ) ανάμεσα στις προμεταχειρίσεις με ψυχανθή και τους μάρτυρες, ανεξάρτητα την εφαρμογή λίπανσης, καθώς στο σόργο η αύξηση της φυλλικής επιφάνειας είναι βασικά συνάρτηση της θερμοκρασίας, και επηρεάζεται από την απορρόφηση αζώτου μόνο όταν η συγκέντρωση των αφομοιωμένων θρεπτικών στα φύλλα μειωθεί σε βαθμό που να μην μπορεί να διατηρήσει μια συγκέντρωση της τάξης των 1,0 g N m<sup>-2</sup> (Monteith and Scott, 1982). Και στα δύο παρατηρούμενα έτη, ο LAI παρουσίασε ταχύτερη αύξηση μετά από την εγκατάσταση της καλλιέργειας μέχρι την άνθηση, όταν και απέκτησε τις μέγιστες τιμές των 8 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> στα τεμάχια που είχε προηγηθεί καλλιέργεια κάλυψης, χωρίς όμως να επηρεαστούν οι μέγιστες

τιμές από την εφαρμογή ή όχι επιπλέον λίπανσης στα τεμάχια αυτά. Αντίθετα, η εφαρμογή ανόργανου αζώτου, επηρέασε σημαντικά ( $P < 0,05$ ) τις μέγιστες τιμές του LAI στα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας ( $7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  χωρίς και  $7,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  με εφαρμογή ανόργανης λίπανσης, αντίστοιχα), καταδεικνύοντας τα φυτικά υπολείμματα των ψυχανθών ως μια επαρκή και ιδιαίτερος επιθυμητή πηγή αζώτου (Bremer and van Kessel, 1992; Haynes *et al.*, 1993), ικανή να καλύψει τις απαιτήσεις της καλλιέργειας, ειδικά σε φυτά σαν το σόργο, εξαιτίας των σχετικά μικρών αναγκών του σε άζωτο (Duarte *et al.*, 2000).

Η γρήγορη αύξηση του LAI που προαναφέρθηκε, είχε ως αποτέλεσμα το ικανοποιητικό κλείσιμο της φυλλοστοιβάδας αρκετά νωρίς (45 ΗΜΦ) και για τις δύο μεταχειρίσεις ως προς την ανόργανη λίπανση, αν και υπήρξε μια μικρή επίδραση στις εκτιμώμενες τιμές του LAI κατά την πρώιμη φάση της εγκατάστασης των φυτών (Σχ. 18 (b) και (d)) και με βάση την ομοιομορφία αυτή, έχει περισσότερο ενδιαφέρον να καθαριστεί ο χρόνος που διατηρήθηκε η κλειστή φυλλοστοιβάδα, δηλαδή που οι τιμές του LAI παρέμειναν μεγαλύτερες του 3 και 5. Ο συνολικός χρόνος για τα τεμάχια που έγινε χλωρή λίπανση με κουκιά ήταν 79 και 55 ημέρες, για τα τεμάχια που η καλλιέργεια κάλυψης συγκομίστηκε ήταν 76 και 52 ημέρες και για τα τεμάχια του μάρτυρα 61 και 39 ημέρες αντίστοιχα. Η διαφορές αυτές, μικρότερες ή μεγαλύτερες, έδωσαν στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τεμάχια με προηγούμενη καλλιέργεια κουκιών την δυνατότητα να επιτύχουν μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης και τελική παραγωγή σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά στα τεμάχια του μάρτυρα, κάτω από ίδια επίπεδο εισροών αζώτου, καθώς οι διαφορές στην ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας κατά το βλαστικό στάδιο αλλά και στις απώλειές της κατά το αναπαραγωγικό στάδιο, ασκούν επίδραση στην τελική παραγωγή, σύμφωνα με την ασκούμενη επίδραση της απορρόφησης της ακτινοβολίας. Η απορρόφηση αυτή αυξάνει υπερβολικά έως τιμές 3-5 για τον LAI, αλλά από εκεί και έπειτα επηρεάζεται ελάχιστα από όποια περαιτέρω αύξηση του LAI. Παρόμοια, η αποδοτικότητα χρήσης της προσλαμβανομένης ακτινοβολίας για την παραγωγή βιομάζας, μπορεί να εξαρτάται από την συγκέντρωση του αζώτου στα φύλλα, αλλά ο ρυθμός φωτοσύνθεσης αυξάνει μαζί με τη συγκέντρωση αυτή σχεδόν γραμμικά μέχρι μία κρίσιμη τιμή, πάνω από την οποία παραμένει σταθερός ως μέγιστος ρυθμός φωτοσύνθεσης (Lugg and Sinclair, 1981; Wong *et al.*, 1985). Μπορεί λοιπόν να συμπεραθεί πως η αντικατάσταση της ανόργανης λίπανσης από το άζωτο της βιολογικής δέσμησης των κουκιών, δεν εμπεριέχει το ρίσκο της ανοιχτής φυλλοστοιβάδας (που θα

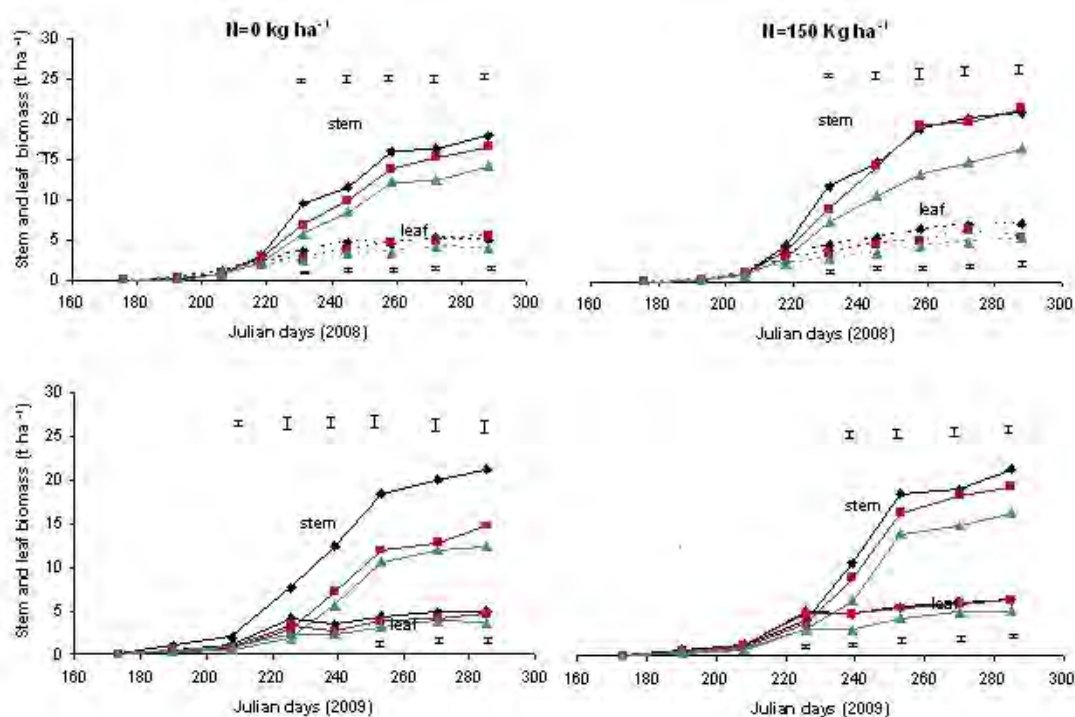


μπορούσε να οδηγήσει σε αξιοσημείωτη μείωση της επισυσσώρευσης θρεπτικών και της τελικής παραγωγής βιομάζας), και θα πρέπει να λογίζεται ως βιώσιμη πρακτική, ακόμα και κάτω από ξηροθερμικές συνθήκες.

### 3.2.3.3. Παραγωγή βιομάζας.

Τόσο η καλλιέργεια κάλυψης με κουκιά όσο και η ανόργανη λίπανση, είχαν σημαντικές επιδράσεις ( $P < 0,05$ ) στην παραγωγή βιομάζας του σόργου κατά την διάρκεια της ανάπτυξης στο αμμοπηλώδες έδαφος αλλά και στην τελική παραγωγή, όπως φαίνεται στα Σχ. 19 και 20. Η καλλιέργεια εμφάνισε μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης (CGR) κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου ως το τέλος της άνθησης για τα τεμάχια της χλωρής λίπανσης και τα τεμάχια που η χλωρή λίπανση συνδυάστηκε με πλήρη ανόργανη λίπανση ( $320$  και  $230 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  για τα τεμάχια με χλωρή λίπανση με κουκιά και για τα τεμάχια του μάρτυρα αντίστοιχα, χωρίς ανόργανη λίπανση και  $370$  και  $270 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  για τα τεμάχια με χλωρή λίπανση με κουκιά και για τα τεμάχια του μάρτυρα αντίστοιχα, με ανόργανη λίπανση). Οι υψηλές τιμές του CGR που εμφανίζει το ινώδες σόργο κατά την βλαστική περίοδο, μπορούν να αποδοθούν στην εξοικονόμηση των αφομοιωμένων θρεπτικών πριν την απαρχή του αδελφώματος και στην άριστη αξιοποίηση των αποθεμάτων αυτών για την παραγωγή των ενεργοβόρων δομικών στοιχείων (δευτερεύοντες βλαστοί) στην συνέχεια (Charles-Edwards, 1984). Στην διάρκεια του γεμίσματος των σπόρων ως την φυσιολογική ωρίμανση, ο CGR συνέχισε με μικρότερες τιμές ( $110$  και  $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  για τα τεμάχια με χλωρή λίπανση με κουκιά και για τα τεμάχια του μάρτυρα αντίστοιχα, χωρίς ανόργανη λίπανση και  $130$  και  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  για τα τεμάχια με χλωρή λίπανση με κουκιά και για τα τεμάχια του μάρτυρα αντίστοιχα, με ανόργανη λίπανση), αλλά καταγράφηκαν παρόμοιες διαφορές ως προς την συσσώρευση ξηρής ουσίας ανάμεσα στους μέσους των επεμβάσεων, καθώς στην διάρκεια της αναπαραγωγικής φάσης στο σόργο, απαιτείται μία ελάχιστη τιμή εισροών αφομοιωμένων θρεπτικών, ικανή να καθυστερήσει εκτός από την γήρανση των φύλλων και την γήρανση των δευτερευόντων βλαστών που συμβαίνει κατά την φάση αυτή (Charles-Edwards, 1984), η οποία φαίνεται να υπερκαλύφθηκε από τα υπολείμματα των ψυχανθών. Τα ξηρά βάρη των βλαστών και των φύλλων επηρεάστηκαν ελαφρώς από την εφαρμογή ανόργανου αζώτου, ενώ προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P < 0,05$ ) για όλη την διάρκεια του βιολογικού κύκλου ανάμεσα στις πρακτικές των καλλιεργειών κάλυψης και της

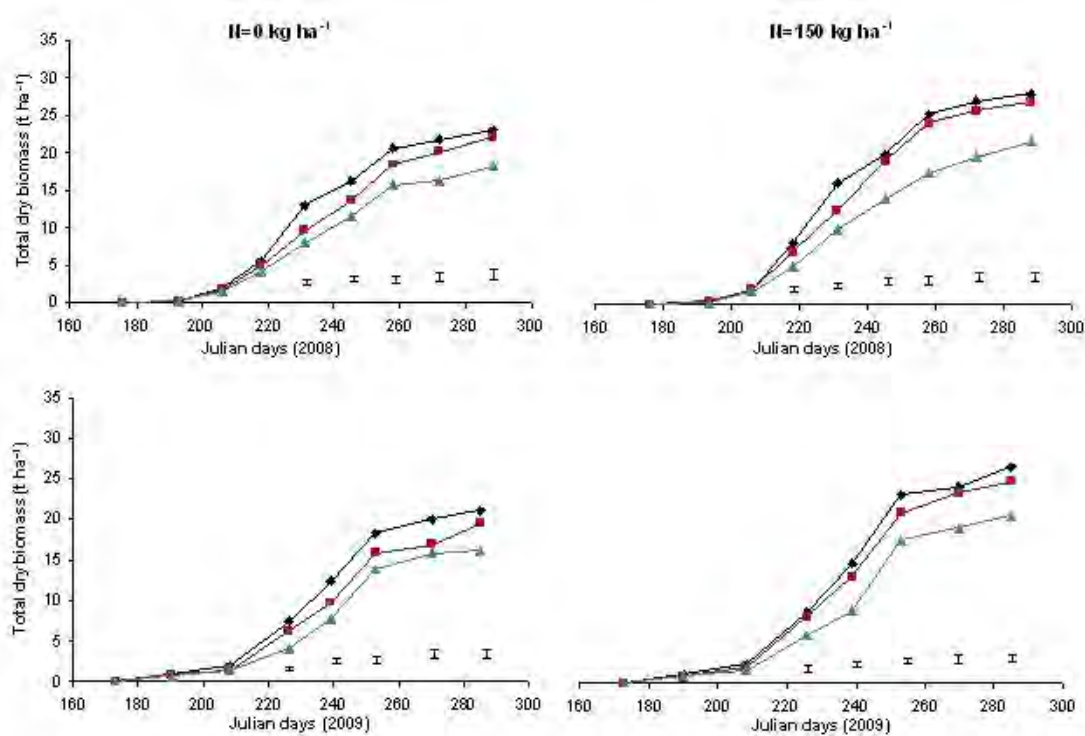
μονοκαλλιέργειας για τον CGR τόσο των βλαστών όσο και των φύλλων ξεχωριστά. Ωστόσο η αναλογία του ξηρού βάρους των βλαστών προς τη συνολική βιομάζα παρέμεινε ανεπηρέαστη από τις διάφορες επεμβάσεις και διατήρησε τιμές γύρω στο 77% και για τα δύο έτη (Σχ. 19), υποδεικνύοντας πως οι παράγοντες έτος, ανόργανη λίπανση και οργανική λίπανση δεν επηρεάζουν τον επιμερισμό της βιομάζας κατά τον βιολογικό κύκλο του σόργου, όπως καταγράφεται και σε άλλες μελέτες (Danalatos, 1993; Masclaux *et al.*, 2001).



**Σχήμα 19.** Εξέλιξη της παραγωγής βιομάζας των βλαστών και φύλλων του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους.

Η τελική συγκομιδή έγινε στην φυσιολογική ωρίμανση για κάθε έτος (120-130 ΗΜΦ) και η παραγωγικότητα του ινώδους σόργου ήταν σημαντικά υψηλότερη για τα τεμάχια των καλλιεργειών κάλυψης. Η συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας το 2008, διακυμάνθηκε από 19,8 σε 26,5 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια του μάρτυρα, από 22 σε 30,4 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια που η καλλιέργεια κάλυψης συγκομίστηκε και από 24,1 σε 32,3 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια που η καλλιέργεια κάλυψης ενσωματώθηκε στο έδαφος, με

εφαρμογή ή όχι ανόργανου αζώτου αντίστοιχα (Σχ. 20) και αναλογικά, η συνολική μέση ξηρή παραγωγή βλαστών διακυμάνθηκε από 17,1 σε 22,3 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια του μάρτυρα και από 20,2 σε 28,1 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια των καλλιεργειών κάλυψης. Η συγκομισμένη βιομάζα του επόμενου έτους (2009), επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα του 2008, καθώς προέκυψαν παρόμοιες διαφορές ανάμεσα στους μέσους των επεμβάσεων, αν και τα επίπεδα παραγωγής του συγκεκριμένου έτους ήταν μειωμένα, εξαιτίας των κλιματικών συνθηκών (όπως έχει ήδη περιγραφεί στα κεφάλαια του αραβόσιτου).

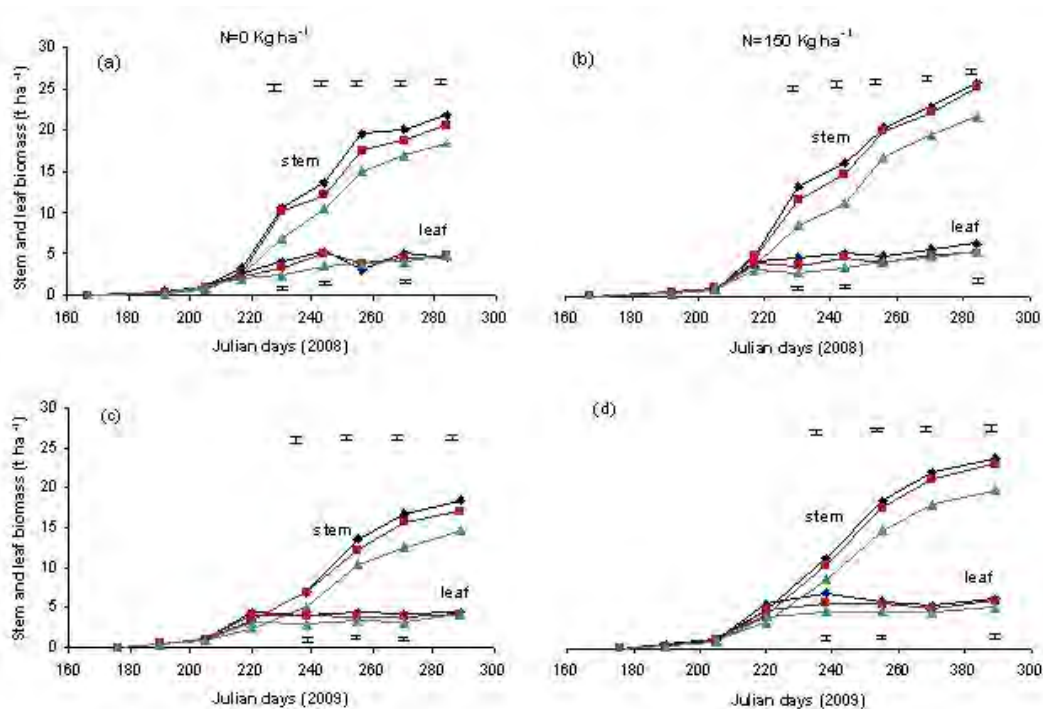


**Σχήμα 20.** Εξέλιξη της συνολικής παραγωγής βιομάζας (TDM) του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= γλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους.

Από τα αποτελέσματα των δύο ετών, προκύπτει πως ακόμη και στα σχετικά φτωχά αμμοπηλώδη εδάφη μπορεί να παραχθούν ικανοποιητικά επίπεδα βιομάζας για το ινώδες σόργο, χωρίς την ανάγκη εφαρμογής ανόργανου αζώτου, αν γίνει αντικατάσταση του απαραίτητου αζώτου με αυτό που παρέχουν τα ψυχανθή μέσω

βιολογικής δέσμευσης. Ο μεγαλύτερος ρυθμός συσσώρευσης ξηρής ουσίας που παρατηρήθηκε για τις πρακτικές της καλλιέργειας κάλυψης με κουκιά και που οδήγησε τελικά και σε μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας στα τεμάχια που εφαρμόστηκαν αυτές οι πρακτικές, φαίνεται να είναι αποτέλεσμα του αρχικά μεγαλύτερου LAI και της μεγαλύτερης διάρκειας της φυλλικής επιφάνειας, αν η φυλλική επιφάνεια θεωρηθεί ως το κυρίαρχο χαρακτηριστικό που καθορίζει το κλάσμα της ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από την φυλλοστοιβάδα. Η μεγαλύτερη ποσότητα των ιστών των φύλλων, προφανώς επηρεάζει θετικά και στα φυτά του σόργου την φωτοσυνθετική τους ικανότητα (Gutschick, 1988), όπως προκύπτει αναλογικά με τα χαρακτηριστικά των παραμέτρων της αύξησης, οι οποίες εκτιμούν την αποδοτικότητα των οργάνων αφομοίωσης στην παραγωγή βιομάζας. Από την άλλη πλευρά, η διακύμανση της ξηρής βιομάζας ανάμεσα στα τεμάχια των καλλιεργειών κάλυψης και της μονοκαλλιέργειας, ίσως επηρεάστηκε και από την καλύτερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών του σόργου κατά τα αρχικά στάδια της ανάπτυξης, καθώς τα ψυχανθή βελτιώνουν την εδαφική δομή και διατηρούν την οργανική ουσία σε αποδεκτά επίπεδα στα αμμώδη εδάφη (Salmeron – Miranda *et al.*, 2007).

Οι χαμηλές παραγωγές του τρίτου έτους διεξαγωγής των πειραμάτων (2009), αντικατοπτρίζουν και την χαμηλή εγγενή γονιμότητα του συγκεκριμένου εδάφους, καθώς ακόμη και όταν εφαρμόστηκε η μέγιστη δοσολογία ανόργανης λίπανσης (150 kg N ha<sup>-1</sup>), δεν ακολούθησε θεαματική αύξηση της παραγωγής, παρά την θετική επίδραση που ασκήθηκε στις παραμέτρους της παρακολούθησης της αύξησης. Η σημαντική επίδραση αυτή της ανόργανης λίπανσης, όπως και του συνδυασμού ανόργανης και χλωρής λίπανσης στο ύψος των φυτών, στην αύξηση της φυλλικής επιφάνειας και στην επέκταση του χρόνου διατήρησής της, υποδεικνύει πως παρότι η καλλιέργεια του σόργου έχει χαμηλές απαιτήσεις σε άζωτο (γεγονός που την καθιστά πολύ πλεονεκτική καλλιέργεια σε συστήματα εναλλαγής καλλιεργειών με ψυχανθή), αυξημένες εισροές αζώτου προάγουν την παραγωγή νέων φύλλων και επιμηκύνουν την διάρκεια ζωής τους.



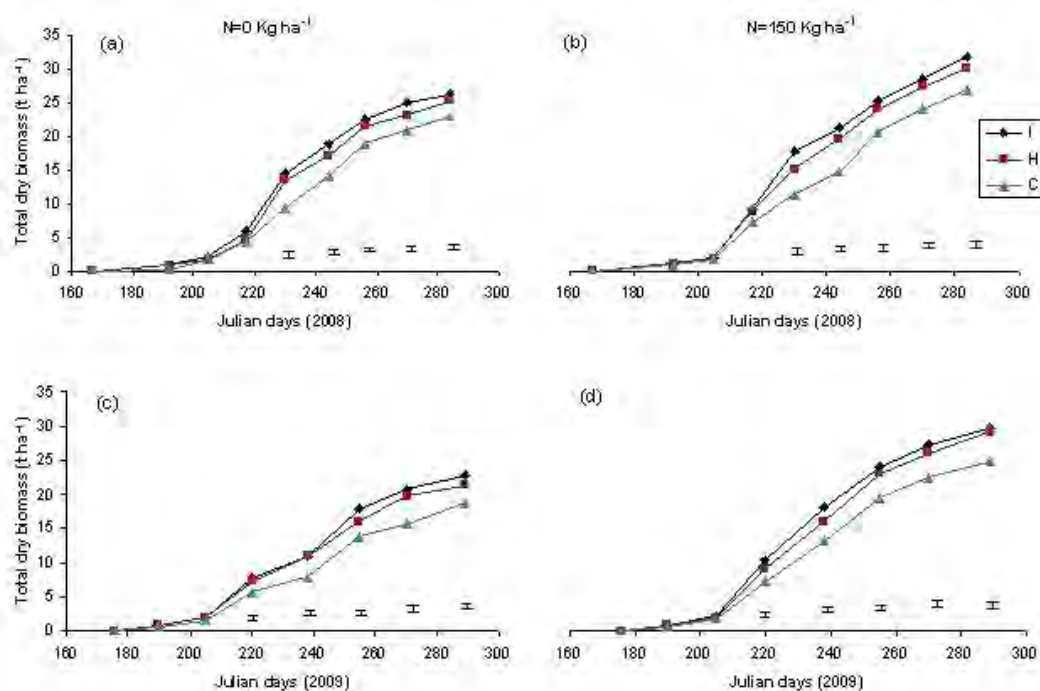
**Σχήμα 21.** Εξέλιξη της παραγωγής βιομάζας των βλαστών και φύλων του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= χλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους.

Η αντίστοιχη εξέλιξη της συνολικής ξηρής ουσίας (υπέργειο τμήμα) της καλλιέργειας του ινώδους σόργου σε αργιλώδες έδαφος, σε ανταπόκριση των πρακτικών καλλιεργειών κάλυψης με κουκιά και της ανόργανης λίπανσης, παρουσιάζεται διαγραμματικά στα Σχ. 21 και 22. Και εδώ μπορεί να παρατηρηθεί πως τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε τεμάχια με προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθών, επέδειξαν μεγαλύτερους ρυθμούς συσσώρευσης βιομάζας σε σχέση με τα φυτά των τεμαχίων της μονοκαλλιέργειας, καταδεικνύοντας την σαφή ανωτερότητα (P<0,05) των πρακτικών αυτών, κάτω από ισόποσες εισροές αζώτου, στην αύξηση και παραγωγικότητα της καλλιέργειας του ινώδους σόργου. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στο επιπλέον άζωτο που παρέχουν τα ψυχανθή μέσω της βιολογικής δέσμησης (Unkovich and Pate, 2000; Hardarson and Atkins, 2003; Herridge *et al.*, 2008; Peoples *et al.*, 2009a; Beslemes *et al.*, 2011), αλλά και στο άζωτο που προέρχεται από τα υπολείμματα των καλλιεργειών των ψυχανθών (τα οποία γενικά έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο και μπορούν να αποδώσουν ως και 50% του αζώτου αυτού, μέσα σε διάρκεια μόλις δύο μηνών από την ενσωμάτωσή τους στο

έδαφος (Kirchmann and Bergqvist, 1989)), σε συνδυασμό με την πολύ καλή αποδοτικότητα χρήσης αζώτου (πάνω από  $100 \text{ g g}^{-1}$ ) του σόργου (Gardner *et al.*, 1994).

Ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής ξηρής βιομάζας καταγράφηκε όπως και στο αμμοπηλώδες έδαφος κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου ως το τέλος της άνθησης για τα τεμάχια με συνδυασμό ανόργανης και χλωρής λίπανσης ( $352 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  και  $245 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  για τα τεμάχια με χλωρή λίπανση με κουκιά και για τα τεμάχια του μάρτυρα αντίστοιχα, χωρίς ανόργανη λίπανση και  $387 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  και  $302 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  για τα τεμάχια με χλωρή λίπανση με κουκιά και για τα τεμάχια του μάρτυρα αντίστοιχα, με ανόργανη λίπανση). Οι τιμές αυτές του CGR χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης, είναι εξαιρετικά υψηλές και ίσως θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη σε μελλοντικές μελέτες καλλιεργητικών συστημάτων με μειωμένες εισροές. Στην συνέχεια και κατά την διάρκεια της περιόδου γεμίσματος του σπόρου ως την φυσιολογική ωρίμανση, ο CGR παρουσίασε μείωση ( $140$  και  $105 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  για τα τεμάχια με χλωρή λίπανση με κουκιά και για τα τεμάχια του μάρτυρα αντίστοιχα, χωρίς ανόργανη λίπανση και  $230$  και  $154 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  για τα τεμάχια με χλωρή λίπανση με κουκιά και για τα τεμάχια του μάρτυρα αντίστοιχα, με ανόργανη λίπανση), αλλά παρόμοιες διαφορές ως προς την συσσώρευση ξηρής ουσίας, ανάμεσα στους μέσους των επεμβάσεων, καταγράφηκαν και στην περίπτωση του αργιλώδους εδάφους (Σχ. 22). Η μείωση του ρυθμού αύξησης στα τελευταία στάδια της ανάπτυξης, μπορεί να αποδοθεί στην γήρανση των φύλλων, όπως και στις αυξημένες απώλειες της αναπνοής, που δεν μπορούν να αντισταθμιστούν από την συσσώρευση θρεπτικών, αφού μειώνεται τόσο η απορρόφηση αζώτου από τα φύλλα (Charles-Edwards *et al.*, 1987 ; Hirose *et al.*, 1988; Lemaire *et al.*, 1991), αλλά και τα επίπεδα αζώτου στους ιστούς των φύλλων, ως αποτέλεσμα της αυξημένης αλληλοσκίασης και της μετακίνησης του αζώτου από τα παλαιότερα φύλλα στα νέα καθώς το φυτό προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τον ρυθμό φωτοσύνθεσης. Ειδικά στο σόργο και σε ήπια κλίματα, η μετακίνηση αυτή του αζώτου αντισταθμίζεται μερικώς από αυξημένη διανομή αζώτου και προς τον βλαστό, έτσι ώστε η ολική απορρόφηση αζώτου να παραμένει γραμμική συνάρτηση του LAI, και η μείωση του CGR να είναι όσο γίνεται μικρότερη (Hirose and Werger, 1987a, 1994). Αντίθετα, η παρατηρούμενη αυξημένη συσσώρευση ξηρής ουσίας των τεμαχίων των καλλιεργειών κάλυψης, φαίνεται να είναι αποτέλεσμα του αρχικά μεγαλύτερου LAI

και της μεγαλύτερης διάρκειας της φυλλικής επιφάνειας, όπως αναλύθηκε και για την αύξηση της καλλιέργειας στο αμμοπηλώδες έδαφος.



**Σχήμα 22.** Εξέλιξη της συνολικής παραγωγής βιομάζας (TDM) του ινώδους σόργου για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (I= γλωρή λίπανση, H= καλλιέργεια κάλυψης, C= μάρτυρας), χωρίς εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης (αριστερά) και με εφαρμογή 150 kg N ha<sup>-1</sup> (δεξιά), σε αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο), το 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (όπου εμφανίζονται) υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (LSD σε P<0,05) ανάμεσα στους μέσους.

Η τελική συγκομιδή έγινε στην φυσιολογική ωρίμανση για κάθε έτος (125-135 ΗΜΦ) και η παραγωγικότητα του ινώδους σόργου ήταν σημαντικά υψηλότερη για τα τεμάχια των καλλιεργειών κάλυψης. Η συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας το 2008, διακυμάνθηκε από 23,05 σε 27,44 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια του μάρτυρα, από 25,2 σε 30,75 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια που η καλλιέργεια κάλυψης συγκομίστηκε και από 26,32 σε 32,54 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια που η καλλιέργεια κάλυψης ενσωματώθηκε στο έδαφος, με εφαρμογή και χωρίς εφαρμογή ανόργανου αζώτου αντίστοιχα (Σχ. 22) και αναλογικά, η συνολική ξηρή παραγωγή βλαστών διακυμάνθηκε από 18,36 σε 22,01 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια του μάρτυρα και από 21,76 σε 26,12 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια των καλλιεργειών κάλυψης. Τα αποτελέσματα του επόμενου έτους (2009) επιβεβαίωσαν

τις διαφορές ανάμεσα στους μέσους των επεμβάσεων, παρά την χαμηλότερη παραγωγικότητα του συγκεκριμένου έτους (Σχ. 22), ενώ οι παραγωγές που συγκομίστηκαν το 2008, είναι συγκρινόμενες με παραγωγές που έχουν μετρηθεί σε άλλες περιοχές της Ελλάδας (26,1–35,3 t ha<sup>-1</sup>, Alexoroulou *et al.*, 2000) και άλλων Μεσογειακών περιοχών (Κεντρική Ισπανία: 16–40 t ha<sup>-1</sup>, Curt *et al.*, 1995; Γαλλία: 25 t ha<sup>-1</sup>, Tayot *et al.*, 1995; Νότιο Ιταλία: 30,4 t ha<sup>-1</sup> Perniola *et al.*, 1996), όπως περιγράφονται στην σχετική βιβλιογραφία για καλλιέργεια του σόργου κάτω από συνθήκες πλήρους δυνητικής ανάπτυξης και μπορούν να εξηγηθούν με τον συνδυασμό του αζώτου που παρέχουν τα ψυχανθή μέσω της βιολογικής δέσμευσης και των άριστων κλιματικών συνθηκών για την ανάπτυξη του ινώδους σόργου, ενός είδους C4, με μεγάλη αποδοτικότητα φωτοσύνθεσης, που κάτω από κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και φωτός μπορεί να παράγει υψηλούς ρυθμούς συσσώρευσης ξηρής ουσίας (Dolciotti *et al.*, 1998).

Τα ξηρά βάρη των βλαστών και των φύλλων επηρεάστηκαν όπως και για το αμμοπηλώδες έδαφος ελαφρώς από την εφαρμογή ανόργανου αζώτου, ενώ προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για όλη την διάρκεια του βιολογικού κύκλου ανάμεσα στις πρακτικές των καλλιεργειών κάλυψης και της μονοκαλλιέργειας για τον CGR τόσο των βλαστών όσο και των φύλλων ξεχωριστά. Ωστόσο η αναλογία του ξηρού βάρους των βλαστών προς τη συνολική βιομάζα και σε αυτόν τον τύπο εδάφους παρέμεινε ανεπηρέαστη από τις διάφορες επεμβάσεις και διατήρησε τιμές γύρω στο 82% και για τα δύο έτη (Σχ. 21), υποδεικνύοντας πως ούτε ο παράγοντας εδαφικός τύπος επηρεάζει τον επιμερισμό της βιομάζας κατά τον βιολογικό κύκλο του σόργου, ο οποίος διατηρείται σε επίπεδα της τάξης του 80% βλαστός προς συνολική βιομάζα, κατά την συγκομιδή στην φυσιολογική ωρίμανση (Dolciotti *et al.*, 1996, 1998).





**Εικόνα 9.** Ινώδες σόργο, η πορεία προς την ωρίμανση στους πειραματικούς αγρούς του Σωτηρίου (αριστερά) και των Τρικάλων (δεξιά).

### 3.3. Πειράματα υπολογισμού του δυναμικού παραγωγής και της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου.

#### 3.3.1. *Zea mays*.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως τόσο οι μεταχειρίσεις με καλλιέργειες κάλυψης κουκιών σε όλα τα επίπεδα λίπανσης, όσο και τα ίδια τα επίπεδα της εφαρμοζόμενης ανόργανης αζωτούχου λίπανσης, είχαν σημαντικές επιδράσεις ( $P < 0,05$ ) στην συνολική παραγωγή σπόρου και βιομάζας της ακολουθούμενης καλλιέργειας του αραβοσίτου, στο ποσό του απορροφημένου αζώτου από την καλλιέργεια και στο καθαρό κλάσμα ανάκτησης αζώτου (N recovery fraction, NRF), και στους δύο εδαφικούς τύπους, κατά την διάρκεια του δεύτερου (2008) και τρίτου (2009) έτους διεξαγωγής των πειραμάτων. Κατά την διάρκεια του πρώτου (2007) έτους διεξαγωγής των πειραμάτων, δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P > 0,05$ ) ανάμεσα στους μέσους της παραγωγής σπόρου και βιομάζας, για καμία από τις μεταχειρίσεις, ενώ για τις παραμέτρους του απορροφημένου αζώτου διαφορές υπήρξαν μόνο για την εφαρμογή της μέγιστης δόσης λίπανσης, πιθανώς λόγω ύπαρξης υπολειπόμενου αζώτου στο έδαφος από τις εφαρμογές ανόργανης αζωτούχου λίπανσης προηγούμενων ετών. Επίσης, σε κανέναν από τους δύο εδαφικούς τύπους και σε κανένα από τα τρία έτη των πειραμάτων δεν παρουσιάστηκαν αλληλεπιδράσεις καλλιέργεια κάλυψης χ επίπεδο λίπανσης για καμία από τις παραμέτρους που παρουσιάζονται στην συνέχεια.

#### 3.3.1.1. Σχέση διαθέσιμου αζώτου - παραγωγής σπόρου και βιομάζας.

Στον πειραματικό αγρό των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος), όπως προαναφέρθηκε, δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P > 0,05$ ) στις παραγωγές του σπόρου και της συνολικής βιομάζας του αραβοσίτου κατά το πρώτο έτος (2007) των πειραμάτων, ούτε ανάμεσα στις μεταχειρίσεις με ψυχανθές, ούτε και ανάμεσα στα επίπεδα λίπανσης, πιθανώς λόγω της ύπαρξης υπολειπόμενου αζώτου στο έδαφος, με μοναδική εξαίρεση την παραγωγή σπόρου ανάμεσα στα τεμάχια του μάρτυρα και τα τεμάχια που έγινε χλωρή λίπανση με κουκιά χωρίς επιπλέον παροχή ανόργανου αζώτου. Όπως φαίνεται στον Πίνακα ΙΧ και στο Σχ. 23 (quadrant I), οι παραγωγές του σπόρου και τις συνολικής βιομάζας κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα για όλες τις μεταχειρίσεις, αν και διαφάνηκε μία τάση μεγαλύτερων παραγωγών κάτω από μεγαλύτερη διαθεσιμότητα αζώτου, προερχόμενου είτε από τα ψυχανθή, είτε από

λίπανση, είτε από συνδυασμό και των δύο. Η παραγωγή του σπόρου για το συγκεκριμένο έτος θα μπορούσε να συνοψιστεί σε μια μέση τιμή των 11,83 t ha<sup>-1</sup> και της συνολικής βιομάζας αντίστοιχα σε 19,86 t ha<sup>-1</sup>.

**Πίνακας IX.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, παραγωγή σπόρου, ολικό απορροφημένο άζωτο και απορροφημένο άζωτο στον σπόρο της καλλιέργειας του αραβόσιτου σε αμμοπηλώδες έδαφος κατά το 2007, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

| Τρίκαλα 2007   |   |        |        |                  |         |  |        |                  |  |
|----------------|---|--------|--------|------------------|---------|--|--------|------------------|--|
|                | Χλ.Λιπ.                                     | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ. | Κάλυψη                                       | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> |  |
|                | Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |        |        |                  |         | Ξ.Ο. Σπόρου (t ha <sup>-1</sup> )            |        |                  |  |
| N <sub>0</sub> | 19,65                                       | 17,25  | 18,12  | ns <sup>b</sup>  | 11,61   | 9,80   | 10,38  | 1,81*            |  |
| N <sub>1</sub> | 20,38                                       | 18,84  | 20,21  | ns <sup>b</sup>  | 12,63   | 11,46  | 12,00  | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>2</sub> | 22,49                                       | 20,57  | 18,78  | ns <sup>b</sup>  | 12,88   | 13,25  | 11,57  | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>3</sub> | 20,19                                       | 21,68  | 20,94  | ns <sup>b</sup>  | 12,38   | 12,68  | 11,27  | ns <sup>b</sup>  |  |
| M.O.           | 20,68                                       | 19,38  | 19,51  | ns <sup>b</sup>  | 12,38   | 11,79  | 11,31  | ns <sup>b</sup>  |  |
|                | Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                  |         | Απορροφημένο N Σπόρου (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |                  |  |
| N <sub>0</sub> | 219,60                                      | 181,81 | 174,30 | ns <sup>b</sup>  | 146,99  | 122,98                                       | 123,32 | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>1</sub> | 244,64                                      | 208,32 | 204,78 | ns <sup>b</sup>  | 163,56  | 147,50                                       | 141,33 | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>2</sub> | 281,04                                      | 249,60 | 194,99 | 86,05*           | 178,51  | 179,02                                       | 134,14 | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>3</sub> | 277,87                                      | 275,37 | 214,79 | ns <sup>b</sup>  | 193,35  | 189,98                                       | 128,39 | ns <sup>b</sup>  |  |
| M.O.           | 255,79                                      | 228,78 | 197,21 | 58,57*           | 170,60  | 159,87                                       | 131,80 | 38,80*           |  |

N<sub>0</sub>: 0, N<sub>1</sub>: 80, N<sub>2</sub>: 160, N<sub>3</sub>: 240 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>a</sup> LSD: least significant deference σε P<0,05(\*) και P<0,01(\*\*)

<sup>b</sup> ns: no significant (μη σημαντική)

Αντίθετα, στα δύο έτη που ακολούθησαν, καταγράφηκαν σημαντικές αυξήσεις στην παραγωγή σπόρου όπως και στην συνολική βιομάζα στα τεμάχια όπου υπήρξε μεγαλύτερη διαθεσιμότητα αζώτου. Κατά το 2008 (Πίνακας X και Σχ. 24 - quadrant I), καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές (P<0,05) στην παραγωγή του σπόρου ανάμεσα στο μάρτυρα και τις μεταχειρίσεις με καλλιέργειες κάλυψης, σε όλα τα επίπεδα της ανόργανης λίπανσης αλλά ακόμη και στα τεμάχια που δεν έγινε καθόλου λίπανση. Σημαντικές ήταν και οι διαφορές στην παραγωγή σπόρου ανάμεσα στα ίδια τα επίπεδα της εφαρμοζόμενης ανόργανης λίπανσης, ενώ και για την συνολική ξηρή βιομάζα εντοπίστηκαν οι ανάλογες σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους μέσους των επεμβάσεων, τόσο για τις καλλιέργειες κάλυψης όσο και για τα επίπεδα λίπανσης. Την μεγαλύτερη παραγωγή σε σπόρο και βιομάζα εμφάνισαν τα τεμάχια στα οποία έγινε χλωρή λίπανση (12,24 t ha<sup>-1</sup> σπόρου και 19,66 t ha<sup>-1</sup> βιομάζα αντίστοιχα, σε συνδυασμό με την μέγιστη δοσολογία ανόργανου αζώτου) και την μικρότερη τα τεμάχια του μάρτυρα (7,82 t ha<sup>-1</sup> σπόρου και 12,43 t ha<sup>-1</sup> βιομάζα αντίστοιχα, χωρίς παροχή οργανικού ή ανόργανου αζώτου), χωρίς σημαντικές

διαφορές ωστόσο ως προς το ύψος της παραγωγής ανάμεσα στις δύο πρακτικές διαχείρισης της καλλιέργειας κάλυψης των κουκιών, καταδεικνύοντας και τις δύο πρακτικές εξίσου αποδοτικές στην βελτίωση της παραγωγής της ακολουθούμενης καλλιέργειας του αραβόσιτου.

**Πίνακας X.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, παραγωγή σπόρου, ολικό απορροφημένο άζωτο και απορροφημένο άζωτο στον σπόρο της καλλιέργειας του αραβόσιτου σε αμμοπηλώδες έδαφος κατά το 2008, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

| Τρίκαλα 2008   |   |        |        |                  |  |        |        |                  |
|----------------|---|--------|--------|------------------|--|--------|--------|------------------|
|                | Χλ.Λιπ.                                     | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ                                       | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> |
|                | Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |        |        |                  | Ξ.Ο. Σπόρου (t ha <sup>-1</sup> )            |        |        |                  |
| N <sub>0</sub> | 14,59                                       | 14,91  | 12,43  | 2,48*            | 9,22   | 8,99   | 7,82   | 1,17*            |
| N <sub>1</sub> | 17,22                                       | 15,34  | 14,93  | 2,29*            | 10,71  | 9,57   | 8,75   | 1,97*            |
| N <sub>2</sub> | 18,29                                       | 18,40  | 15,81  | ns <sup>b</sup>  | 11,58  | 11,31  | 9,56   | 1,75*            |
| N <sub>3</sub> | 19,66                                       | 19,48  | 16,90  | 2,57*            | 12,24  | 11,77  | 10,19  | 1,58*            |
| M.O.           | 17,44                                       | 17,03  | 15,02  | 2,42*            | 10,94  | 10,41  | 9,08   | 1,33*            |
|                | Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                  | Απορροφημένο N Σπόρου (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                  |
| N <sub>0</sub> | 138,96                                      | 127,63 | 94,03  | 44,93*           | 102,38                                       | 98,17  | 69,97  | 28,20*           |
| N <sub>1</sub> | 147,19                                      | 134,92 | 115,75 | 31,44**          | 111,94                                       | 104,07 | 86,54  | 17,53*           |
| N <sub>2</sub> | 165,74                                      | 164,92 | 123,13 | 41,75*           | 122,13                                       | 121,38 | 93,38  | 27,00*           |
| N <sub>3</sub> | 194,05                                      | 180,72 | 134,88 | 45,84*           | 138,96                                       | 127,46 | 101,43 | 37,53*           |
| M.O.           | 161,48                                      | 152,04 | 116,95 | 35,09**          | 118,85                                       | 112,77 | 87,83  | 24,94**          |

N<sub>0</sub>: 0, N<sub>1</sub>: 80, N<sub>2</sub>: 160, N<sub>3</sub>: 240 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>a</sup>LSD: least significant deference σε P<0,05(\*) και P<0,01(\*\*)

<sup>b</sup>ns: no significant (μη σημαντική)

Το επόμενο έτος (2009), τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την υπεροχή της χρήσης καλλιεργειών κάλυψης στην παραγωγή σπόρου και της συνολικής βιομάζας, σε όλα τα επίπεδα της εφαρμοζόμενης ανόργανης λίπανσης αζώτου, όπως επίσης και την μεγάλη ανταπόκριση που παρουσιάζει ο αραβόσιτος στο διαθέσιμο άζωτο, ως προς την παραγωγικότητά του. Το συγκεκριμένο έτος (Πίνακας XI και Σχ. 25 - quadrant I) η παραγωγή ήταν μειωμένη σε σχέση με το 2008 εξαιτίας των κλιματολογικών συνθηκών όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, για όλες τις επεμβάσεις και τους συνδυασμούς τους, οι διαφορές όμως που προέκυψαν επιβεβαίωσαν τα αποτελέσματα και την θετική επίδραση τόσο των ψυχανθών όσο και της εφαρμογής ανόργανου αζώτου. Και πάλι οι μεγαλύτερες παραγωγές σπόρου αλλά και βιομάζας καταγράφηκαν στα τεμάχια με προηγούμενη καλλιέργεια κουκιών και οι μικρότερες στα τεμάχια του μάρτυρα για όλα τα επίπεδα αζώτου, οι οποίες παραγωγές παρουσίασαν αυξήσεις που ακολούθησαν την αύξηση στο εφαρμοζόμενο ανόργανο άζωτο, αλλά ωστόσο δεν εξισώθηκαν ανάμεσα στα τεμάχια με

προηγούμενη καλλιέργεια κουκιών και τεμάχια του μάρτυρα ούτε και για την μέγιστη δοσολογία των 240 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Πίνακας XI.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, παραγωγή σπόρου, ολικό απορροφημένο άζωτο και απορροφημένο άζωτο στον σπόρο της καλλιέργειας του αραβόσιτου σε αμμοπηλώδες έδαφος κατά το 2009, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

| Τρίκαλα 2009   |   |        |        |                  |         |  |       |                  |  |
|----------------|---|--------|--------|------------------|---------|--|-------|------------------|--|
|                | Χλ.Λιπ.                                     | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ. | Κάλυψη                                       | Μαρτ. | LSD <sup>a</sup> |  |
|                | Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |        |        |                  |         | Ξ.Ο. Σπόρου (t ha <sup>-1</sup> )            |       |                  |  |
| N <sub>0</sub> | 13,61                                       | 13,42  | 11,45  | 1,96**           | 7,91    | 7,59   | 6,82  | 1,09*            |  |
| N <sub>1</sub> | 14,83                                       | 14,77  | 13,18  | 1,59*            | 8,80    | 8,57   | 7,73  | 0,84*            |  |
| N <sub>2</sub> | 15,16                                       | 15,38  | 13,95  | 1,20*            | 8,94    | 8,90   | 8,15  | 0,75*            |  |
| N <sub>3</sub> | 16,24                                       | 16,37  | 15,19  | 1,05**           | 9,39    | 9,49   | 8,56  | 0,84**           |  |
| M.O.           | 14,96                                       | 14,98  | 13,44  | 1,51**           | 8,76    | 8,64   | 7,81  | 0,83**           |  |
|                | Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                  |         | Απορροφημένο N Σπόρου (kg ha <sup>-1</sup> ) |       |                  |  |
| N <sub>0</sub> | 114,29                                      | 105,60 | 90,94  | 14,65*           | 75,00   | 71,61  | 60,73 | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>1</sub> | 131,49                                      | 120,51 | 99,73  | 20,78*           | 84,65   | 82,23  | 68,04 | 14,18*           |  |
| N <sub>2</sub> | 142,81                                      | 136,52 | 107,01 | 29,52*           | 92,97   | 90,05  | 70,96 | 19,09**          |  |
| N <sub>3</sub> | 165,18                                      | 155,94 | 118,36 | 37,58**          | 110,32  | 107,64                                       | 73,07 | 34,57**          |  |
| M.O.           | 138,45                                      | 129,64 | 104,01 | 25,63**          | 90,74   | 87,88  | 68,20 | 19,68**          |  |

N<sub>0</sub>: 0, N<sub>1</sub>: 80, N<sub>2</sub>: 160, N<sub>3</sub>: 240 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>a</sup>LSD: least significant deference σε P<0,05(\*) και P<0,01(\*\*)

<sup>b</sup>ns: no significant (μη σημαντική)

Ανάλογα ήταν τα αποτελέσματα και στον πειραματικό αγρό του Σωτηρίου (αργιλώδες έδαφος), όπου για το πρώτο έτος (2007) η πιθανή ύπαρξη υπολειπόμενου αζώτου από εφαρμογές λιπάνσεων προηγούμενων ετών, δεν επέτρεψε την ανίχνευση στατιστικά σημαντικών διαφορών ανάμεσα στους μέσους των επεμβάσεων, όπως και στην περίπτωση του πειραματικού των Τρικάλων (Πίνακας XII και Σχ. 26-quadrant D). Για την παραγωγή του σπόρου ωστόσο, η χρήση της καλλιέργειας κάλυψης ως χλωρή λίπανση εμφάνισε σημαντικά (P<0,05) μεγαλύτερη παραγωγή κατά μέσο όρο (11,39 kg ha<sup>-1</sup>) από το πρώτο έτος, αν και γενικά σε όλα τα επίπεδα λίπανσης η παραγωγή κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα, με μέση τιμή 10,65 kg ha<sup>-1</sup>, όπως και η συνολική βιομάζα (μέση τιμή 19,61 kg ha<sup>-1</sup>), κάτω από τις διαφορετικές επεμβάσεις με καλλιέργεια κάλυψης ψυχανθούς.

Αντίθετα και όπως και για την περίπτωση του αμμοπηλώδους εδάφους, το επόμενο έτος (2008) καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές (P<0,05) ανάμεσα στους μέσους της παραγωγής σπόρου και βιομάζας για τις καλλιέργειες κάλυψης και τα τεμάχια του μάρτυρα σε όλα τα επίπεδα ανόργανης λίπανσης, όπως και ανάμεσα στα επίπεδα της ανόργανης λίπανσης, με μεγαλύτερες παραγωγές για τα τεμάχια στα

οποία εφαρμόστηκε μεγαλύτερη δόση ανόργανου αζώτου, και μέγιστη παραγωγή για τα τεμάχια στα οποία εφαρμόστηκε συνδυασμός ανόργανου αζώτου και καλλιέργειας κάλυψης (Πίνακας XIII και Σχ. 27-quadrant I). Ούτε στον αργιλώδη εδαφικό τύπο υπήρξαν σημαντικές διαφορές ως προς το ύψος της παραγωγής ανάμεσα στις δύο πρακτικές διαχείρισης της καλλιέργειας κάλυψης των κουκιών, καταδεικνύοντας και τις δύο πρακτικές εξίσου αποδοτικές στην βελτίωση της παραγωγής της ακολουθούμενης καλλιέργειας του αραβόσιτου και στο αργιλώδες έδαφος. Οι μετρήσεις του 2009 (Πίνακας XIV και Σχ. 28-quadrant I), επιβεβαίωσαν και στο αργιλώδες έδαφος τα αποτελέσματα του προηγούμενου έτους, καθώς καταγράφηκαν οι ίδιες διαφορές ανάμεσα στους μέσους των επεμβάσεων.

**Πίνακες XII, XIII και XIV.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, παραγωγή σπόρου, ολικό απορροφημένο άζωτο και απορροφημένο άζωτο στον σπόρο της καλλιέργειας του αραβόσιτου σε αργιλώδες έδαφος κατά το 2007, 2008 και 2009, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

| Σωτήριο 2007   |   |        |        | Πίνακας XII      |  |        |        |                  |
|----------------|---|--------|--------|------------------|--|--------|--------|------------------|
|                | Χλ.Λιπ.                                     | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ.                                      | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> |
|                | Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |        |        |                  | Ξ.Ο. Σπόρου (t ha <sup>-1</sup> )            |        |        |                  |
| N <sub>0</sub> | 18,12                                       | 18,32  | 17,11  | ns <sup>b</sup>  | 9,86   | 10,86  | 8,50   | ns <sup>b</sup>  |
| N <sub>1</sub> | 20,44                                       | 19,87  | 18,78  | ns <sup>b</sup>  | 12,20  | 10,53  | 9,68   | ns <sup>b</sup>  |
| N <sub>2</sub> | 21,19                                       | 21,68  | 19,88  | ns <sup>b</sup>  | 11,76  | 12,18  | 9,76   | ns <sup>b</sup>  |
| N <sub>3</sub> | 20,34                                       | 19,92  | 19,73  | ns <sup>b</sup>  | 11,72  | 10,56  | 10,23  | ns <sup>b</sup>  |
| M.O.           | 20,02                                       | 19,95  | 18,87  | ns <sup>b</sup>  | 11,39  | 11,04  | 9,54   | 1,84*            |
|                | Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                  | Απορροφημένο N Σπόρου (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                  |
| N <sub>0</sub> | 216,56                                      | 211,51 | 185,36 | ns <sup>b</sup>  | 140,46                                       | 142,13 | 104,90 | ns <sup>b</sup>  |
| N <sub>1</sub> | 274,03                                      | 267,84 | 221,94 | ns <sup>b</sup>  | 183,07                                       | 158,42 | 127,37 | ns <sup>b</sup>  |
| N <sub>2</sub> | 303,09                                      | 297,31 | 231,82 | 71,28*           | 183,53                                       | 189,62 | 127,95 | ns <sup>b</sup>  |
| N <sub>3</sub> | 306,45                                      | 292,92 | 243,71 | ns <sup>b</sup>  | 193,02                                       | 170,58 | 147,19 | ns <sup>b</sup>  |
| M.O.           | 275,04                                      | 267,39 | 220,71 | 46,67*           | 175,02                                       | 165,19 | 126,85 | 38,33            |

| Σωτήριο 2008   |   |        |        | Πίνακας XIII     |  |        |       |                  |
|----------------|---|--------|--------|------------------|--|--------|-------|------------------|
|                | Χλ.Λιπ.                                     | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ.                                      | Κάλυψη | Μαρτ. | LSD <sup>a</sup> |
|                | Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |        |        |                  | Ξ.Ο. Σπόρου (t ha <sup>-1</sup> )            |        |       |                  |
| N <sub>0</sub> | 15,33                                       | 15,13  | 13,42  | 1,71*            | 8,32   | 8,27   | 7,42  | 0,85*            |
| N <sub>1</sub> | 19,88                                       | 18,87  | 17,38  | ns <sup>b</sup>  | 10,27  | 9,81   | 9,17  | 1,09*            |
| N <sub>2</sub> | 21,36                                       | 19,33  | 19,69  | 1,66*            | 11,66  | 10,91  | 9,68  | 1,22*            |
| N <sub>3</sub> | 22,42                                       | 21,68  | 20,33  | 1,34*            | 12,50  | 12,38  | 10,54 | 1,84**           |
| M.O.           | 19,75                                       | 18,75  | 17,71  | 2,04*            | 10,69  | 10,34  | 9,20  | 1,14**           |
|                | Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                  | Απορροφημένο N Σπόρου (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |       |                  |
| N <sub>0</sub> | 123,08                                      | 114,28 | 100,64 | 22,44*           | 85,30  | 81,88  | 72,56 | 12,74*           |
| N <sub>1</sub> | 143,11                                      | 139,35 | 120,37 | ns <sup>b</sup>  | 101,22                                       | 98,44  | 87,06 | 14,17*           |
| N <sub>2</sub> | 164,77                                      | 159,32 | 134,24 | 30,52*           | 118,89                                       | 115,25 | 95,16 | 23,72*           |
| N <sub>3</sub> | 181,05                                      | 172,33 | 138,73 | 33,60*           | 129,54                                       | 124,41 | 98,58 | 25,83*           |
| M.O.           | 153,00                                      | 146,32 | 123,49 | 22,82**          | 108,74                                       | 104,99 | 88,34 | 16,66**          |

| Σωτήριο 2009   |   |        | Πίνακας XIV |                  |  |        |       |                  |
|----------------|---|--------|-------------|------------------|--|--------|-------|------------------|
|                | Χλ.Λιπ.                                     | Κάλυψη | Μαρτ.       | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ.                                      | Κάλυψη | Μαρτ. | LSD <sup>a</sup> |
|                | Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |        |             |                  | Ξ.Ο. Σπόρου (t ha <sup>-1</sup> )            |        |       |                  |
| N <sub>0</sub> | 13,65                                       | 13,27  | 11,84       | 1,43**           | 7,29   | 7,08   | 6,24  | 0,84**           |
| N <sub>1</sub> | 14,72                                       | 14,12  | 12,59       | 1,53**           | 8,12   | 7,85   | 6,95  | 0,90**           |
| N <sub>2</sub> | 15,86                                       | 15,55  | 13,72       | 1,83*            | 8,94   | 8,90   | 7,73  | 1,17*            |
| N <sub>3</sub> | 16,94                                       | 16,19  | 14,14       | 2,05**           | 9,39   | 9,25   | 8,07  | 1,18**           |
| M.O.           | 15,29                                       | 14,78  | 13,07       | 1,71**           | 8,44   | 8,27   | 7,25  | 1,02**           |
|                | Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |             |                  | Απορροφημένο N Σπόρου (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |       |                  |
| N <sub>0</sub> | 114,87                                      | 105,23 | 90,44       | 14,79*           | 73,32  | 64,80  | 53,92 | 10,89*           |
| N <sub>1</sub> | 136,02                                      | 133,64 | 104,10      | 29,54**          | 85,19  | 82,41  | 63,24 | 19,17**          |
| N <sub>2</sub> | 159,47                                      | 149,26 | 113,61      | 35,65**          | 98,09  | 96,49  | 70,35 | 26,13**          |
| N <sub>3</sub> | 177,96                                      | 168,12 | 123,42      | 44,70**          | 108,34                                       | 104,75 | 81,02 | 23,73**          |
| M.O.           | 147,08                                      | 139,06 | 107,89      | 31,17**          | 91,24  | 87,11  | 67,13 | 19,98**          |

N<sub>0</sub>: 0, N<sub>1</sub>: 80, N<sub>2</sub>: 160, N<sub>3</sub>: 240 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>a</sup>LSD: least significant deference σε P<0,05(\*) και P<0,01(\*\*)

<sup>b</sup>ns: no significant (μη σημαντική)

Τα αποτελέσματα στο σύνολό τους, επιβεβαιώνουν την θετική επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης με ψυχανθή στην παραγωγικότητα του αραβόσιτου, ανεξάρτητα από την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης ή όχι, την δοσολογία του ανόργανου αζώτου και τον εδαφικό τύπο. Οι καλλιέργειες κάλυψης επηρεάζουν πολλούς παράγοντες και ανάμεσά τους και τις αποδόσεις του αραβόσιτου, μέσω της επίδρασης που ασκούν στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων (Baldock and Musgrave, 1980) και ειδικά του αζώτου (Bolton *et al.*, 1976) για το οποίο η συμβολή τους είναι τόσο μεγάλη που μπορεί να διαχωριστεί από τα υπόλοιπα πλεονεκτήματα και καλείται «επίδραση συμβολής αζώτου» (Bullock, 1992). Τα πλεονεκτήματα των καλλιεργειών κάλυψης, ισχύουν ακόμη και σε μεγάλες δοσολογίες εφαρμοζόμενου επιπλέον αζώτου (Crookston *et al.*, 1991), αν και εκφράζονται καλύτερα κατά τις βέλτιστες δοσολογίες λίπανσης και μπορούν να οριστούν ως οι διαφορές ανάμεσα στις μέγιστες παρατηρούμενες ή αναμενόμενες αποδόσεις του αραβόσιτου σε μονοκαλλιέργεια και τις αντίστοιχες αποδόσεις όταν έχει προηγηθεί καλλιέργεια κάλυψης. Ο αραβόσιτος όταν ακολουθεί καλλιέργειες ψυχανθών εμφανίζει βελτιωμένη ανάπτυξη και επέκταση του ριζικού συστήματος, η οποία ασκεί θετικές επιδράσεις στην απορρόφηση των θρεπτικών και του νερού (Scholte, 1987; Huiskamp and Lamers, 1992; Van Zeeland *et al.*, 1999), και οι πρακτικές αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν για την απόκτηση συγκρίσιμων αν όχι υψηλότερων αποδόσεων, με χρήση λιγότερων λιπασμάτων. Η δυνατότητα αυτή ακριβώς είναι που αντικατοπτρίζεται από την διαφορετική ανταπόκριση του αραβόσιτου στην αζωτούχο λίπανση, όπως καταγράφεται ανάμεσα στην μονοκαλλιέργεια και ως ακολουθούμενη καλλιέργεια ψυχανθών (Peterson and Varvel, 1989; Varvel and Peterson, 1990; Lory

*et al.*, 1995b; Omay *et al.*, 1998). Επιπλέον και ειδικά για την περίπτωση που η καλλιέργεια κάλυψης χρησιμοποιείται ως χλωρή λίπανση, η πρακτική αυτή μπορεί να αντισταθμίσει την απόδοση του αραβόσιτου σε σπόρο ακόμη και με την μισή εφαρμοζόμενη δόση ανόργανης λίπανσης (Bunch, 1995), όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα και για τους δύο εδαφικούς τύπους.

Ταυτόχρονα, έχουν καταγραφεί ποικίλες αντιδράσεις του αραβόσιτου στα επίπεδα της αζωτούχου λίπανσης (π.χ. Hanway, 1962b; Karlen *et al.*, 1987) και που οφείλονται στις κλιματολογικές, εδαφολογικές και γονοτυπικές διαφορές ανάμεσα στις περιοχές και τα έτη. Γενικά, ο αραβόσιτος παρουσιάζει αυξημένες αποδόσεις σε σπόρο με αυξανόμενη παροχή αζώτου, αν και ακόμη και κατά την περίοδο γεμίσματος του σπόρου, παρατηρείται μεγαλύτερη συσσώρευση βιομάζας στα φυτικά μέρη εκτός του σπόρου παρά στον σπόρο, για μεγάλες δόσεις παρεχόμενου αζώτου (Muchow, 1988). Οι αυξήσεις που προκύπτουν στις αποδόσεις σε σπόρο με αυξημένη παροχή αζώτου, οφείλονται περισσότερο στην αύξηση του αριθμού των σπόρων, παρά τις αυξήσεις που μπορεί να παρουσιαστούν στο μέγεθος των σπόρων κατά την φυσιολογική ωρίμανση και συνδέονται με την σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο γέμισμα του σπόρου και της διαθεσιμότητας αζώτου κατά την περίοδο της άνθησης, μιας περιόδου κρίσιμης για την μετατόπιση των αφομοιωμένων συστατικών από τα φύλλα στους σπάδικες (Neumann-Andersen *et al.*, 2002). Την ίδια στιγμή, τα επίπεδα αζώτου στα φυτά του αραβόσιτου δύο εβδομάδες πριν την άνθηση φαίνεται να είναι καθοριστικής σημασίας για τον σχηματισμό των σπαδικών, ο οποίος εξαρτάται άμεσα από τα επίπεδα του διαθέσιμου αζώτου κατά την φάση αυτή της φυτικής ανάπτυξης (Below, 1987). Σύμφωνα με τα παραπάνω, υπάρχει μια σαφή σχέση της παραγωγής με τα επίπεδα διαθέσιμου ή παρεχόμενου αζώτου, η διακύμανση της οποίας καθορίζεται από γενετικούς κυρίως παράγοντες για χαμηλά επίπεδα αζώτου (Le Gouis *et al.*, 2000), αλλά που επιτρέπει την προσαρμογή του αραβόσιτου σε συστήματα μειωμένων εισροών, ειδικά αν το απαραίτητο άζωτο διασφαλιστεί μέσω της βιολογικής δέσμευσης των ψυχανθών (Muruli and Paulsen, 1981; Laffite and Edmeades, 1994; Bänziger *et al.*, 1997; Bertin and Gallais, 2000).

Αξίζει να σημειωθεί πως επειδή τα φυτά του αραβόσιτου παρουσιάζουν την ίδια ανταπόκριση στην αυξημένη διαθεσιμότητα αζώτου και κατά τα προ της άνθησης στάδια της ανάπτυξης (Sims *et al.*, 1998; Ma *et al.*, 2005; Uribe-larrea *et al.*, 2009), ο δείκτης συγκομιδής (HI) της καλλιέργειας δεν παρουσίασε αντίστοιχες διαφορές ανάμεσα στους μέσους ( $P>0,05$ ) και παρέμεινε σε παρόμοια επίπεδα



ανεξάρτητα από την προμεταχείριση με ψυχανθές ή από την εφαρμογή επιπλέον αζώτου, εμφανίζοντας λίγο μεγαλύτερες τιμές για την καλλιέργεια στο αμμοπηλώδες έδαφος και στα δύο έτη διεξαγωγής των πειραμάτων (60% το 2008 και 58% το 2009, αντίστοιχα), σε σχέση με τις τιμές για την καλλιέργεια στο αργιλώδες έδαφος (55% το 2008 και 53% το 2009, αντίστοιχα). Η απουσία επίδρασης των επιπέδων αζώτου στον ΗΙ αλλά και οι μεγαλύτερες τιμές του στο αμμοπηλώδες έδαφος, φαίνεται να οφείλονται στο ότι η διακύμανση του αζώτου που παρέχεται στον αραβόσιτο, εκφράζεται μέσω της ανάλογης διακύμανσης της παραγόμενης βιομάζας και όχι με μεταβολή του ΗΙ (Muchow, 1994).

### 3.3.1.2. Σχέση διαθέσιμου αζώτου – απορρόφησης αζώτου.

Το απορροφημένο άζωτο (N-uptake) είναι το γινόμενο του πολλαπλασιασμού της βιομάζας  $\times$  το ποσοστό του αζώτου στους φυτικούς ιστούς και η παραλλακτικότητα των τιμών του εξαρτάται από τον βαθμό συσχέτισης των δύο αυτών παραγόντων. Κατά την άνθηση του αραβόσιτου, κάτω από χαμηλές εισροές αζώτου, υπάρχει ισχυρή αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην παραγωγικότητα και στο ποσοστό αζώτου στους ιστούς (φαινόμενο διαλύματος), με αποτέλεσμα την μείωση της παραλλακτικότητας του απορροφημένου αζώτου που ελέγχεται από γενετικούς παράγοντες (Gallais and Hirel, 2004). Έως την άνθηση όμως, ο αραβόσιτος λειτουργεί ως τυπικό κτηνοτροφικό φυτό, για τα οποία η πιο πάνω αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην παραγωγή και στο ποσοστό αζώτου στους ιστούς παρατηρείται σε μικρότερο βαθμό (Lemaire and Gastal, 1997), ενώ στην συνέχεια κατά την ωριμότητα, η παρατηρούμενη μικρή παραλλακτικότητα του ολικού απορροφημένου αζώτου για χαμηλές εισροές αζώτου, καταδεικνύει πως υπάρχει κάποιος περιοριστικός παράγοντας ανάμεσα στην διαθεσιμότητα του αζώτου στο έδαφος και στην ικανότητα του φυτού να το απορροφά. Αντίθετα με ότι ισχύει για χαμηλές εισροές, σε υψηλές εισροές αζώτου παρατηρείται μεγάλη μεταβλητότητα του απορροφημένου αζώτου, χωρίς αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην παραγωγή και του ποσοστό αζώτου στους ιστούς (Gallais and Hirel, 2004).

Σε αντιστοιχία με τα δεδομένα αυτά, στην περιοχή των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος) το 2007, υπήρξαν σημαντικές διαφορές ( $P < 0,05$ ) για το ολικό απορροφημένο άζωτο ανάμεσα στον μάρτυρα και στα τεμάχια στα οποία έγινε χλωρή λίπανση με κουκιά (μεγαλύτερες εισροές οργανικού αζώτου) και όχι για τα τεμάχια στα οποία η καλλιέργεια του ψυχανθούς συγκομίστηκε, ενώ σημαντικές διαφορές

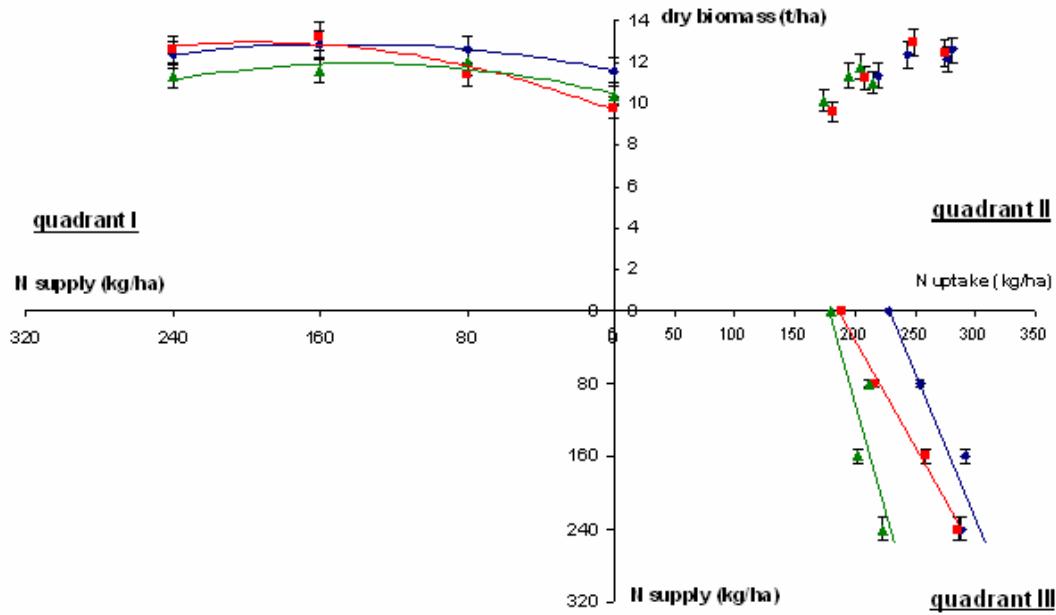
ανάμεσα στα επίπεδα λίπανσης παρατηρήθηκαν μόνο για τις υψηλές εισροές των 160 και 240 kg N ha<sup>-1</sup> (Πίνακας IX). Κατά το επόμενο έτος των παρατηρήσεων (2008), υπήρξε θετική επίδραση στο ολικό απορροφημένο άζωτο και από τις δύο μεταχειρίσεις των καλλιεργειών κάλυψης, ενώ οι διαφορές ανάμεσα στα επίπεδα λίπανσης εμφάνισαν σημαντικές διαφορές ακόμη και για μέτριες εισροές των 80 kg N ha<sup>-1</sup> (Πίνακας X), καθώς ελαττώθηκε η επίδραση του όποιου υπολειπόμενου αζώτου στο έδαφος στα αποτελέσματα των παρατηρήσεων, όπως επαληθεύτηκε και με τα αποτελέσματα του τρίτου έτους (2009), κατά το οποίο καταγράφηκαν ανάλογες σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις με καλλιέργειες κάλυψης και στα επίπεδα των εισροών αζώτου (Πίνακας XI). Ανάλογα με το ολικό απορροφημένο άζωτο ήταν τα αποτελέσματα σε ότι αφορά στην σημαντικότητα των επεμβάσεων και για το απορροφημένο άζωτο από τον σπόρο στα αντίστοιχα έτη διεξαγωγής των πειραμάτων (Πίνακας IX, X και XI), καθώς στον αραβόσιτο το 45-65% του αζώτου του σπόρου παρέχεται από προϋπάρχον άζωτο στους βλαστούς και τα φύλλα (προ της άνθησης) και το υπόλοιπο 35-55% προέρχεται από την απορρόφηση που γίνεται μετά την άνθηση (Ta and Weiland, 1992; Rajcan and Tollenaar, 1999; Gallais and Coque, 2005). Πειράματα για την ανταπόκριση του αραβόσιτου στην ανόργανη λίπανση, έχουν επιδείξει θετική σχέση ανάμεσα στην τελική παραγωγή και στα ποσοστά αζώτου των νεαρών φυτών (Binford *et al.*, 1992b) όπως και στα ποσοστά αζώτου των φύλλων του σπάρδικα, στο στάδιο της άνθησης (Cerrato and Blackmer, 1991; Soltanpour *et al.*, 1995).

Στην περιοχή του Σωτηρίου (αργιλώδες έδαφος), υπήρξαν σημαντικές επιδράσεις ( $P < 0,05$ ) ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις των καλλιεργειών κάλυψης και τα τεμάχια του μάρτυρα, από το πρώτο έτος, τόσο για το ολικό απορροφημένο άζωτο, όσο και για το απορροφημένο άζωτο από τον σπόρο, αλλά και σε αυτόν τον εδαφικό τύπο σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα επίπεδα λίπανσης παρατηρήθηκαν μόνο για τις υψηλές εισροές των 160 και 240 kg N ha<sup>-1</sup> (Πίνακας XII). Στην διάρκεια των δύο επόμενων ετών, και οι καλλιέργειες κάλυψης και τα επίπεδα εφαρμογής ανόργανου αζώτου είχαν σημαντική θετική επίδραση ( $P < 0,05$ ) στο απορροφημένο άζωτο (ολικό και σπόρου), με τις μεγαλύτερες διαφορές να καταγράφονται στα τεμάχια με τις μεγαλύτερες εισροές, δηλαδή στα τεμάχια με συνδυασμό χλωρής λίπανσης και 240 kg N ha<sup>-1</sup> (Πίνακας XIII και XIV), αν και το 2009 οι τιμές ήταν μικρότερες, σε αντιστοιχία με τις μικρότερες τιμές της ολικής βιομάζας και των αποδόσεων σε σπόρο του συγκεκριμένου έτους. Το κλάσμα του ολικού απορροφημένου αζώτου που

βρίσκεται στο υπέργειο τμήμα του φυτού του αραβοσίτου, εξαρτάται εξάλλου από περιβαλλοντικούς και καλλιεργητικούς παράγοντες, και συνεπώς το ποσοστό του αζώτου στους υπέργειους ιστούς μεταβάλλεται αρκετά, με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται ανάλογα και οι τιμές του ολικού απορροφημένου αζώτου από 50 kg N ha<sup>-1</sup> έως 300 kg N ha<sup>-1</sup> (Cartagena *et al.*, 1995; Bänzinger *et al.*, 1999; Bilalis *et al.*, 2005; Fageria and Baligar, 2005). Εκτός αυτού στον αραβόσιτο, η συσσώρευση και επομένως τα ποσοστά του αζώτου στους υπέργειους φυτικούς ιστούς, μεταβάλλονται και κατά την διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης, με την συσσώρευση του αζώτου να αυξάνει γρήγορα μετά το στάδιο των τεσσάρων φύλλων ως την άνθηση (Mengel, 1995), και τα μεγαλύτερα ποσοστά αζώτου στους ιστούς να εμφανίζονται στην αρχή του σταδίου γεμίσματος των σπόρων (Kramer *et al.*, 2002 και Pommel *et al.*, 2006). Οι διαφορές αυτές επηρεάζουν τις τελικές αποδόσεις σε σπόρο, οι οποίες αν και ελέγχονται γονοτυπικά, εμφανίζουν σημαντική αλληλεπίδραση ανάμεσα στον γονότυπο και τα επίπεδα εισροών αζώτου, ενώ είναι το ποσό του απορροφημένου αζώτου που εξηγεί αυτήν ακριβώς την επίδραση (Le Gouis *et al.*, 2000).

Η γνώση των βιοχημικών και μοριακών μηχανισμών που ελέγχουν την απορρόφηση, συσσώρευση και ανακύκλωση του αζώτου μπορεί να είναι ακόμη αποσπασματική (Mickelson *et al.*, 2003), ωστόσο η σχέση ανάμεσα στο απορροφημένο άζωτο και το παρεχόμενο οργανικό ή ανόργανο άζωτο στην καλλιέργεια, αντανακλά την αποδοτικότητα της εφαρμοζόμενης λίπανσης. Όπως η ποσότητα του απορροφημένου αζώτου σε σχέση με το διαθέσιμο άζωτο στο έδαφος, εκφράζεται από την αποδοτικότητα της απορρόφησης αζώτου (N-uptake efficiency), η αποδοτικότητα της εφαρμοζόμενης λίπανσης εκφράζεται από το κλάσμα ανάκτησης του αζώτου (N recovery fraction, NRF; %), που μπορεί να υπολογιστεί ως η αναλογία του (N που απορροφήθηκε στο N<sub>x</sub> - N που απορροφήθηκε στο N<sub>0</sub>) προς το N που εφαρμόστηκε στο N<sub>x</sub>, και παρουσιάζεται σχηματικά για κάθε περιοχή και κάθε έτος στο τεταρτημόριο III (quadrant III) των Σχ. 23, 24, 25, 26, 27 και 28, από την κλίση των αντίστοιχων γραμμών τάσης, με τον κάθετο άξονα. Τα σημεία τομής με τον οριζόντιο άξονα (άξονας x) αντιπροσωπεύουν την βασική απορρόφηση (base uptake), δηλαδή την απορρόφηση αζώτου χωρίς επιπλέον εισροές, η οποία είναι συνδεδεμένη με την ετήσια ορυκτοποίηση του αζώτου και συνεπώς αποτελεί έκφραση της εγγενούς γονιμότητας του συγκεκριμένου εδάφους.

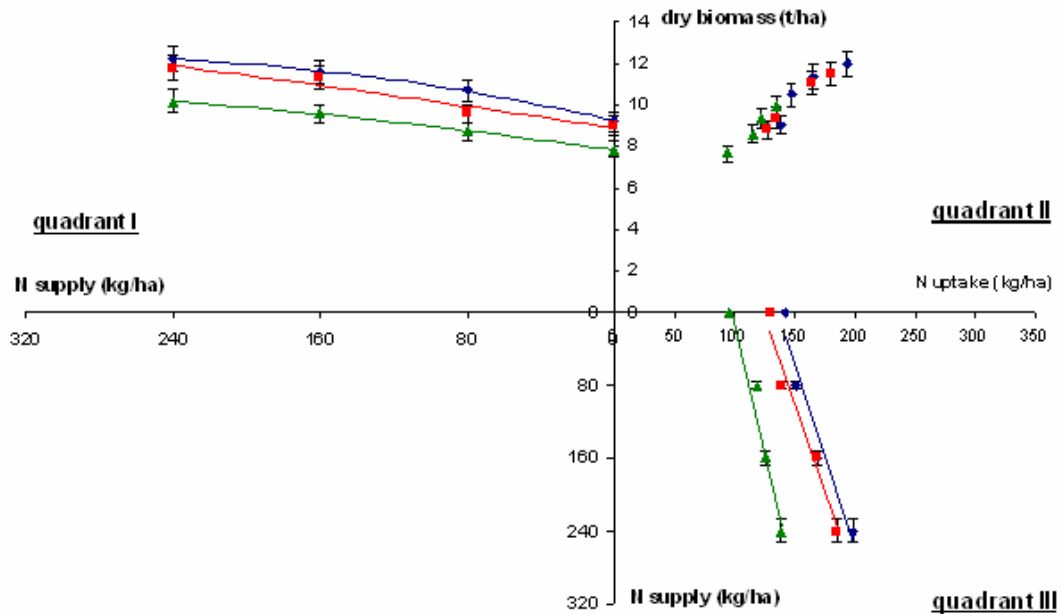
### Zea mays-Trikala area-2007



**Σχήμα 23.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2007. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Για το αμμοπηλώδες έδαφος, τα τεμάχια με καλλιέργειες κάλυψης παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές βασικής απορρόφησης αζώτου από ότι τα τεμάχια του μάρτυρα χωρίς προηγούμενη καλλιέργεια κάλυψης κατά το 2007 (Πίνακας IX, Σχ. 23- quadrant III), αν και ούτε σε αυτή την παράμετρο διαπιστώθηκε σημαντικότητα ανάμεσα στις διαφορές για το συγκεκριμένο έτος. Αντιθέτως, στο επόμενο έτος (2008) η επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης στην βασική απορρόφηση του αζώτου ήταν σημαντική ( $P < 0,05$ ), με τα τεμάχια στα οποία έγινε αξιοποίηση ως χλωρή λίπανση της καλλιέργειας των κουκιών να εμφανίζουν  $44,93 \text{ kg N ha}^{-1}$  περισσότερο βασικό απορροφημένο άζωτο και τα τεμάχια στα οποία η καλλιέργεια κάλυψης συγκομίστηκε να εμφανίζουν  $23,35 \text{ kg N ha}^{-1}$  περισσότερο βασικό απορροφημένο άζωτο, σε σχέση με τα τεμάχια του μάρτυρα (Πίνακας X, Σχ. 24- quadrant III). Και το επόμενο έτος (2009) καταγράφηκαν ανάλογες διαφορές και σημαντική επίδραση στην βασική απορρόφηση, με τις αντίστοιχες τιμές να κυμαίνονται σε  $33,60 \text{ kg N ha}^{-1}$  για την χλωρή λίπανση και  $14,66 \text{ kg N ha}^{-1}$  περισσότερο βασικό απορροφημένο άζωτο για την συγκομισμένη καλλιέργεια των κουκιών (Πίνακας XI, Σχ. 25- quadrant III).

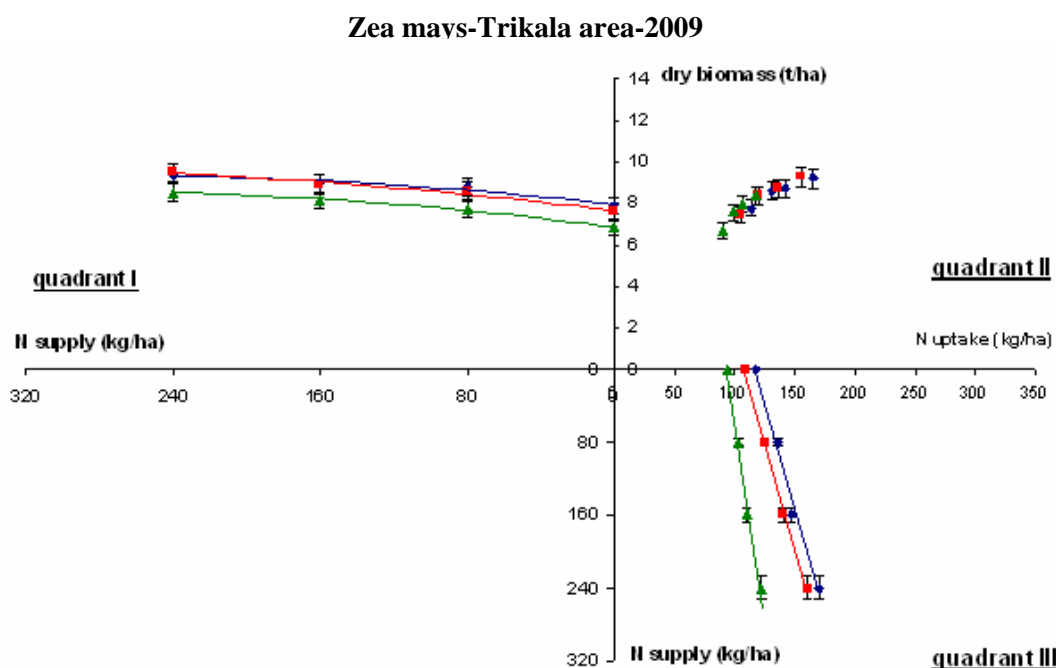
### Zea mays-Trikala area-2008



**Σχήμα 24.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2008. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Παρόμοια θετική επίδραση ασκήθηκε και στο αργιλώδες έδαφος, με μεγαλύτερες τιμές στην βασική απορρόφηση του αζώτου από την καλλιέργεια του αραβόσιτου να καταγράφονται από το πρώτο έτος (2007) για τα τεμάχια με προηγούμενη καλλιέργεια κουκιών και με τα τεμάχια που εφαρμόστηκε χλωρή λίπανση να εμφανίζουν μεγαλύτερη βασική απορρόφηση, χωρίς ωστόσο να μπορεί να ανιχνευτεί σημαντικότητα ανάμεσα στις διαφορές για το συγκεκριμένο έτος (Πίνακας XII, Σχ. 26-quadrant III). Όπως και στο αμμοπηλώδες έδαφος, στα δύο έτη που ακολούθησαν, οι επιδράσεις των καλλιεργειών κάλυψης ήταν σημαντικές ( $P < 0,05$ ) και οι τιμές του επιπλέον αζώτου που ορυκτοποιήθηκε ήταν  $22,44 \text{ kg N ha}^{-1}$  και  $13,64 \text{ kg N ha}^{-1}$  το 2008 (για την χλωρή λίπανση και την συγκομιδή της καλλιέργειας κάλυψης, αντίστοιχα), και  $24,43 \text{ kg N ha}^{-1}$  και  $14,79 \text{ kg N ha}^{-1}$  το 2009 (για την χλωρή λίπανση και την συγκομιδή της καλλιέργειας κάλυψης, αντίστοιχα). Οι τιμές αυτές είναι λίγο μικρότερες από τις αντίστοιχες για το αμμοπηλώδες έδαφος, καθώς η καθαρή ορυκτοποίηση κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ποικίλει και κυμαίνεται από  $0,25$  σε  $1,50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ , ανάλογα τις καιρικές συνθήκες, τον εδαφικό τύπο και των συνθηκών που επικρατούν στο έδαφος, όπως επίσης και του τρόπου διαχείρισης των υπολειμμάτων αλλά και της φύσης των ίδιων των καλλιεργειών κάλυψης (Greenwood *et al.*, 1985; Magdoff, 1991; Bundy and

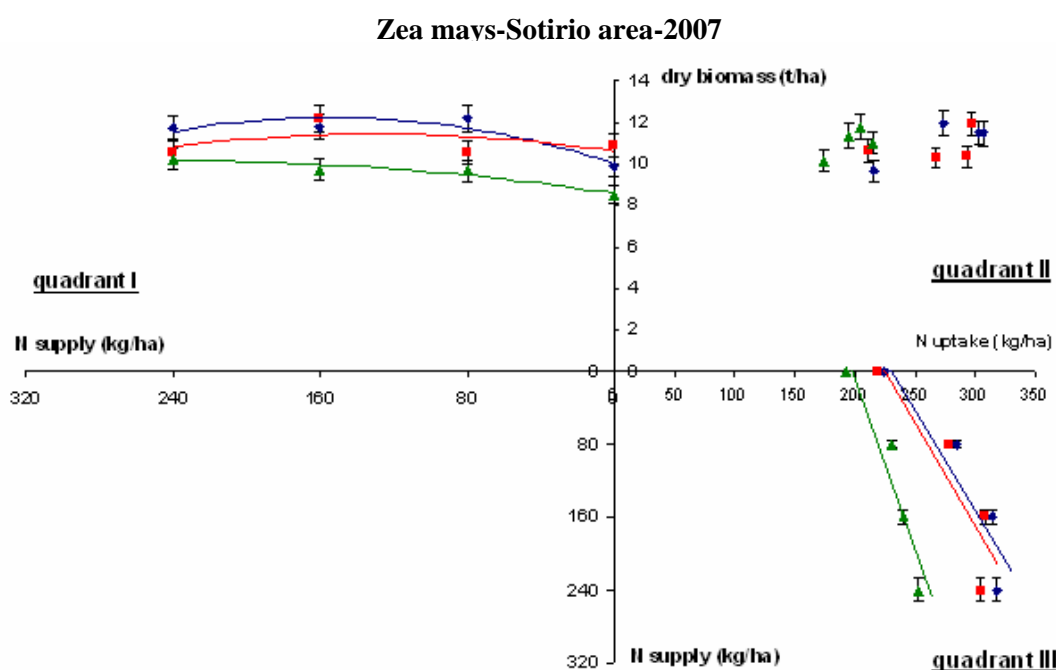
Andraski, 1993; Schröder *et al.*, 1996b, 1998; Schröder, 1999). Ανεξάρτητα πάντως από τον τύπο του εδάφους, οι δύο μεταχειρίσεις της καλλιέργειας κάλυψης εμφάνισαν μεταξύ τους μια σταθερή διαφορά σε όλα τα έτη διεξαγωγής των πειραμάτων, με την χλωρή λίπανση να εμφανίζει μεγαλύτερη βασική απορρόφηση αζώτου από την ακολουθούμενη καλλιέργεια του αραβόσιτου της τάξης των 10 kg N ha<sup>-1</sup> σε σχέση με την συγκομισμένη καλλιέργεια των κουκιών, εξαιτίας της αξιοποίησης μέρους του οργανικού αζώτου του υπέργειου μέρους των φυτών που ενσωματώθηκαν στο έδαφος.



**Σχήμα 25.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Αντίστοιχη με την θετική επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης του ψυχανθούς στην βασική απορρόφηση του αζώτου, ήταν και η επίδραση στο κλάσμα ανάκτησης του αζώτου (N recovery fraction, NRF; %), όπου για το αμμοπηλώδες έδαφος οι μέσες τιμές παρουσίασαν σημαντική αύξηση από 15-20 % για τα τεμάχια του μάρτυρα, σε 30 % για τα τεμάχια με προηγούμενη καλλιέργεια κουκιών, ανεξάρτητα από τον τρόπο διαχείρισης της καλλιέργειας κάλυψης, ενώ για το αργιλώδες έδαφος καταγράφηκε αντίστοιχη θετική επίδραση με τις τιμές ανάκτησης του αζώτου για τα τεμάχια με προηγούμενη καλλιέργεια κουκιών να είναι ακόμη πιο υψηλές (30-35 %) σε σχέση με τα τεμάχια του μάρτυρα. Η ανάκτηση του αζώτου

είναι αποτέλεσμα της ισορροπίας ανάμεσα στην απορρόφηση από την καλλιέργεια και της μικροβιακής δραστηριότητας των διαφόρων εδαφικών τύπων. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να αξιοποιείται ως τμήμα της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου (NUE) της καλλιέργειας, το οποίο εκφράζει την εδαφική δομή, τις κλιματικές συνθήκες και τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις εδαφολογικές και βακτηριολογικές διεργασίες (Walley *et al.*, 2002; Burger and Jackson, 2004), και των πηγών του οργανικού ή ανόργανου παρεχομένου αζώτου (Schulten and Schnitzer, 1998).

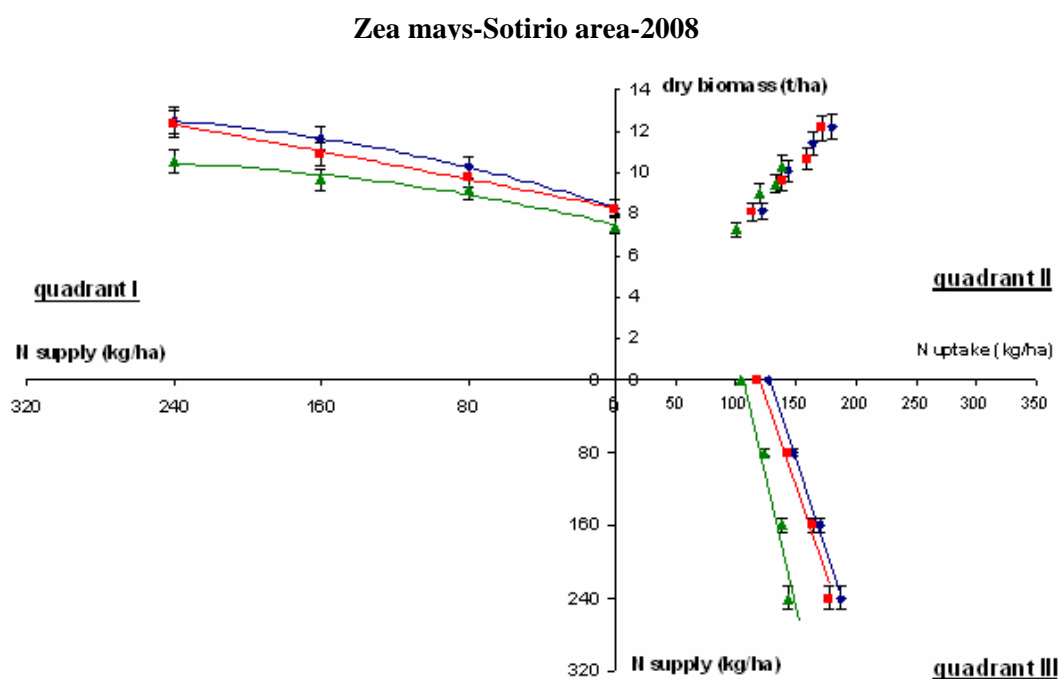


**Σχήμα 26.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2007. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

### 3.3.1.3. Σχέση απορρόφησης αζώτου – παραγωγής σπόρου.

Η αποδοτικότητα αξιοποίησης του αζώτου (N utilization efficiency, NUtE;  $\text{kg kg}^{-1}$ ), εκφράζει την ποσότητα του σπόρου που παράγεται ανά μονάδα απορροφημένου αζώτου, και επηρεάζεται από την μετακίνηση, καταμερισμό και αναδιανομή του αζώτου ανάμεσα στα φυτικά μέρη ή κύτταρα, όπως καθορίζουν συγκεκριμένες μεταβολικές διεργασίες σε κυτταρικό επίπεδο (Sattelmacher *et al.*, 1994; Engels and Marschner, 1995; Masclaux *et al.*, 2001). Στην φυσιολογία φυτών, η αναλογία αυτή εκφράζεται από την αποδοτικότητα χρήσης του αζώτου (N use

(physiological) efficiency, NUE;  $\text{kg kg}^{-1}$ ), ως η αναλογία της (παραγωγή στο  $N_x$  - παραγωγή στο  $N_0$ ) προς ( $N$  που απορροφήθηκε από τον σπόρο στο  $N_x$  -  $N$  που απορροφήθηκε στο  $N_0$ ), και παρουσιάζεται διαγραμματικά από τις κλίσεις των καμπυλών του τεταρτημορίου II (quadrant II) των Σχ. 23, 24, 25, 26, 27 και 28, για τις αντίστοιχες περιοχές και έτη.

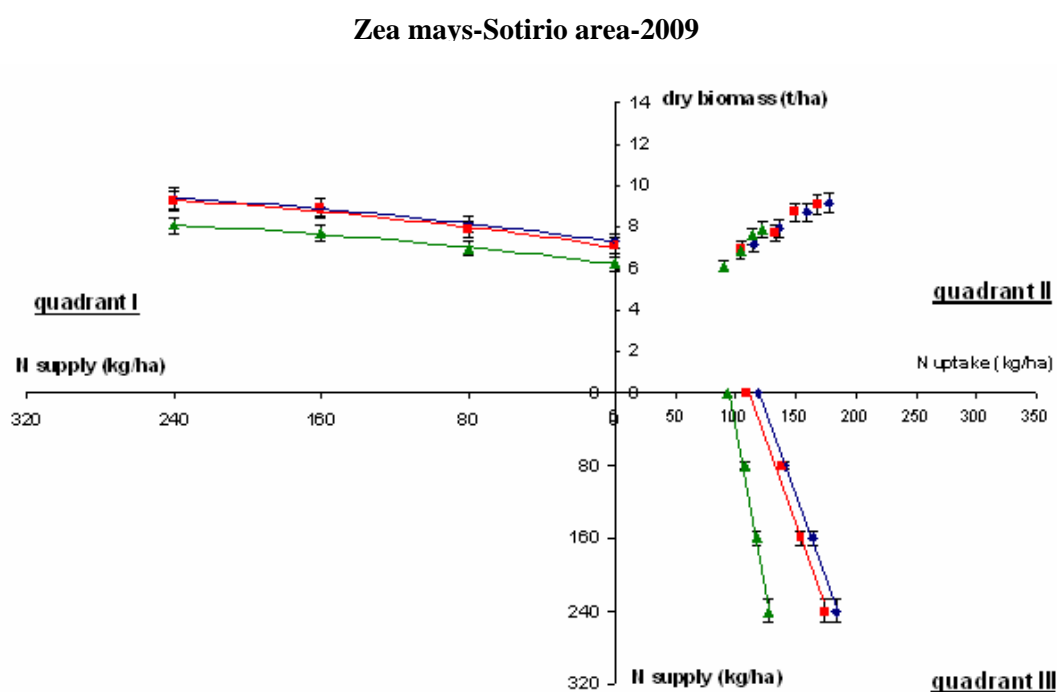


**Σχήμα 27.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2008. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Στην περιοχή των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος) η NUE κυμάνθηκε από  $48 \text{ kg kg}^{-1}$  για το 2007, σε  $55 \text{ kg kg}^{-1}$  για το 2008 και  $56 \text{ kg kg}^{-1}$  για το 2009, ενώ στην περιοχή του Σωτηρίου οι αντίστοιχες τιμές ήταν  $43 \text{ kg kg}^{-1}$  για το 2007,  $54 \text{ kg kg}^{-1}$  για το 2008 και  $55 \text{ kg kg}^{-1}$  για το 2009. Οι τιμές αυτές εμφανίζουν μεγάλη ομοιομορφία ανάμεσα στους δύο εδαφικούς τύπους αφού η NUE καθορίζεται κυρίως γονοτυπικά, παρουσιάζουν όμως μια μικρή διακύμανση από έτος σε έτος καταδεικνύοντας πιθανή αλληλεπίδραση γονότυπος x έτος. Ανάλογη διακύμανση παρουσιάστηκε και ανάμεσα στα επίπεδα ανόργανης λίπανσης, όπου στις μεγάλες εφαρμοζόμενες δόσεις η NUE παρουσίασε μικρή μείωση ( $4\text{-}5 \text{ kg kg}^{-1}$ ), όπως και για τα επίπεδα οργανικής λίπανσης, όπου αντίστοιχη μικρή μείωση καταγράφηκε για την εφαρμογή χλωρής λίπανσης ( $4\text{-}5 \text{ kg kg}^{-1}$ ). Οι αλληλεπιδράσεις αυτές γονότυπος x



αζωτούχος λίπανση, αντανακλούν διαφορές στην ανταπόκριση του αραβόσιτου στο παρεχόμενο άζωτο και έχουν παρατηρηθεί σε αρκετές μελέτες (Beauchamp *et al.*, 1976; Pollmer *et al.*, 1979; Balko and Russell, 1980a; Reed *et al.*, 1980; Russell, 1984; Moll *et al.*, 1987; Bertin and Gallais, 2000) και σε ότι αφορά την μειούμενη θετική επίδραση της χρήσης καλλιεργειών κάλυψης σε αυξανόμενα επίπεδα λίπανσης, καταδεικνύουν πως μόνο με αύξηση των επιπέδων λίπανσης μπορεί να αντισταθμιστούν τα μειονεκτήματα της μονοκαλλιέργειας, ή με άλλα λόγια πως οι αντίστοιχες αποδόσεις σε συστήματα με καλλιέργεια κάλυψης μπορούν να επιτευχθούν με μικρότερη δόση λίπανσης (Nevens and Reheul, 2001).



**Σχήμα 28.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του αραβόσιτου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Οι αλληλεπιδράσεις αυτές απεικονίζονται ευκρινώς και στα τεταρτημόρια II των αντίστοιχων διαγραμμάτων, όπου για το αμμοπηλώδες έδαφος το 2008 (Σχ. 25) και το αργιλώδες έδαφος το 2008 (Σχ.27) και το 2009 (Σχ.28), παρατηρείται γραμμική σχέση ανάμεσα στο απορροφημένο άζωτο και την παραγωγή σε σπόρο, γραμμικότητα που είναι συνδεδεμένη με μικρές συγκεντρώσεις αζώτου στους φυτικούς ιστούς κάτω από συνθήκες στέρησης, και υποδηλώνουν πως δεν

επιτεύχθηκε η μέγιστη δυνατή παραγωγή (Lopez-Bellido and Lopez-Bellido, 2001), ενώ παράλληλα καθορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις σε άζωτο και την μέγιστη NUE, για συγκεκριμένη παραγωγή σπόρου (Muchow, 1998). Αντίθετα, για το αμμοπηλώδες έδαφος το 2007 (Σχ. 23) και το 2009 (Σχ. 24) και το αργιλώδες έδαφος το 2007 (Σχ. 26), οι παραγωγικότητες ήταν κοντά στις μέγιστες για την κάθε περιοχή και το αντίστοιχο έτος, καθώς με αυξανόμενη εφαρμογή αζώτου (οργανικού ή ανόργανου) η NUE παρέκκλιε από την γραμμικότητα, σηματοδοτώντας μεγάλες συγκεντρώσεις αζώτου στους φυτικούς ιστούς (πολυτελής ανάπτυξη). Η απορρόφηση αζώτου σε υπερβολή της απαραίτητης ποσότητας για τον προσδιορισμό της βέλτιστης απόδοσης σε σπόρο, έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες τιμές της NUE από την αντίστοιχη μέγιστη τιμή για το συγκεκριμένο επίπεδο παραγωγής και σχετίζεται με την αυξημένη συγκέντρωση αζώτου στους βλαστούς και τον σπόρο που προαναφέρθηκε (Muchow, 1998).

Μια ακόμη παράμετρος που παρουσιάζει ενδιαφέρον στα δημητριακά είναι ο δείκτης συγκομιδής του αζώτου (N harvest index, NHI; %), που ορίζεται ως η αναλογία του αζώτου του σπόρου προς τη συνολική ποσότητα του αζώτου που απορροφήθηκε από το φυτό. Ο NHI αντικατοπτρίζει το πρωτεϊνικό περιεχόμενο του σπόρου και συνεπώς την διατροφική του ποιότητα (Sinclair, 1998), οι μελέτες όμως που έχουν επιχειρήσει να προσδιορίσουν την γενετική βάση της σύνθεσης του σπόρου, έχουν καταλήξει πως οι επιδράσεις των καλλιεργητικών τεχνικών αναχαιτίζονται από μια φαινομενικά αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ της απόδοσης και του πρωτεϊνικού περιεχομένου του σπόρου στα περισσότερα δημητριακά (Simmonds, 1995), συμπεριλαμβανομένου και του αραβόσιτου (Feil *et al.*, 1990). Σε αντιστοιχία με τον δείκτη συγκομιδής της καλλιέργειας (HI), δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές επιδράσεις ( $P > 0,05$ ) των επιπέδων λίπανσης και των καλλιεργειών κάλυψης στις τιμές του NHI, οι οποίες εμφάνισαν διακύμανση μόνο από έτος σε έτος και από περιοχή σε περιοχή. Για την περιοχή των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος) οι τιμές αυτές ήταν 67%, 72% και 66% για το 2007, 2008 και 2009 αντίστοιχα, ενώ για την περιοχή του Σωτηρίου οι αντίστοιχες τιμές ήταν 64%, 71% και 62%. Η διακύμανση που καταγράφηκε δείχνει πως ο NHI αν και φαίνεται να τελεί υπό γονοτυπικό έλεγχο (Moll *et al.*, 1982; Dhugga and Waines, 1989), δέχεται επιδράσεις και από παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν το εύρος της μετακίνησης των προ της άνθησης αφομοιωμένων συστατικών και αζώτου προς το σπόρο (Muchow, 1988).

### 3.3.2. *Sorghum bicolor*

Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως τόσο οι μεταχειρίσεις με καλλιέργειες κάλυψης κουκιών σε όλα τα επίπεδα λίπανσης, όσο και τα ίδια τα επίπεδα της εφαρμοζόμενης ανόργανης αζωτούχου λίπανσης, είχαν σημαντικές επιδράσεις ( $P < 0,05$  και  $P < 0,01$ ) στην συνολική παραγωγή βιομάζας της ακολουθούμενης καλλιέργειας του ινώδους σόργου, στο ποσό του απορροφημένου αζώτου από την καλλιέργεια και στο καθαρό κλάσμα ανάκτησης αζώτου (N recovery fraction, NRf), και στους δύο εδαφικούς τύπους, κατά την διάρκεια του δεύτερου (2008) και τρίτου (2009) έτους διεξαγωγής των πειραμάτων. Κατά την διάρκεια του πρώτου (2007) έτους διεξαγωγής των πειραμάτων, δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους μέσους της παραγωγής βιομάζας, για καμία από τις μεταχειρίσεις με ψυχανθή, ενώ για τις παραμέτρους του απορροφημένου αζώτου, σημαντικές διαφορές υπήρξαν για το αμμοπηλώδες έδαφος μόνο ανάμεσα στην εφαρμογή χλωρής λίπανσης και τον μάρτυρα και για το αργιλώδες έδαφος μόνο για διαφορές μεγαλύτερες των  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  στην δοσολογία της επιπλέον αζωτούχου λίπανσης, πιθανώς λόγω ύπαρξης υπολειπόμενου αζώτου στο έδαφος από τις εφαρμογές ανόργανης λίπανσης προηγούμενων ετών. Επίσης, σε κανέναν από τους δύο εδαφικούς τύπους και σε κανένα από τα τρία έτη των πειραμάτων δεν παρουσιάστηκαν αλληλεπιδράσεις καλλιέργεια κάλυψης x επίπεδο λίπανσης για καμία από τις παραμέτρους που παρουσιάζονται στην συνέχεια.

#### 3.3.2.1. Παραγωγή βιομάζας.

Για το ινώδες σόργο, όπως και για τον αραβόσιτο, διαπιστώθηκαν αυξήσεις στην ολική παραγωγή ξηρής βιομάζας και στο κλάσμα ξηρής βιομάζας από τους βλαστούς των φυτών, για τις δύο πρακτικές μεταχείρισης των καλλιεργειών κάλυψης των κουκιών σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια. Οι αυξήσεις αυτές κατά το πρώτο έτος των παρατηρήσεων (2007) δεν παρουσίασαν σημαντικότητα ( $P > 0,05$ ) για την επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης σε κανένα από τους δύο εδαφικούς τύπους (Πίνακας XV και XVI), ενώ για την επίδραση του επιπέδου της ανόργανης λίπανσης, μόνο στο αργιλώδες έδαφος οι διαφορές ανάμεσα στους μέσους ήταν σημαντικές, για δοσολογίες που ξεπερνούσαν τα  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  επιπλέον παροχής. Αντίθετα στα δύο έτη που ακολούθησαν, τα αποτελέσματα εμφάνισαν σημαντικές διαφορές ( $P < 0,01$ ) ανάμεσα στους μέσους για την συνολική βιομάζα αλλά και το κλάσμα της βιομάζας

από τους βλαστούς, τόσο για όλες τις μεταχειρίσεις των καλλιεργειών κάλυψης σε όλα τα επίπεδα λίπανσης, όσο και για τα ίδια τα επίπεδα λίπανσης μεταξύ τους.

**Πίνακας XV.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, (συνολικής και βλαστών) και απορροφημένο άζωτο (συνολικό και βλαστών) της καλλιέργειας του ινώδους σόργου σε αμμοπηλώδες έδαφος κατά το 2007, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

| Τρίκαλα 2007   |   |        |        |                  |         |   |        |                  |  |
|----------------|---|--------|--------|------------------|---------|---|--------|------------------|--|
|                | Χλ.Λιπ.                                     | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ. | Κάλυψη  | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> |  |
|                | Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |        |        |                  |         | Ξ.Ο. Βλαστοί (t ha <sup>-1</sup> )            |        |                  |  |
| N <sub>0</sub> | 29,84                                       | 28,22  | 27,55  | ns <sup>b</sup>  | 21,66   | 20,14   | 19,76  | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>1</sub> | 32,52                                       | 31,04  | 27,76  | ns <sup>b</sup>  | 23,74   | 22,23   | 19,88  | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>2</sub> | 30,29                                       | 30,00  | 26,60  | ns <sup>b</sup>  | 21,83   | 21,85   | 19,24  | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>3</sub> | 30,43                                       | 31,60  | 28,96  | ns <sup>b</sup>  | 21,78   | 23,26   | 20,45  | ns <sup>b</sup>  |  |
| M.O.           | 30,77                                       | 30,22  | 27,72  | ns <sup>b</sup>  | 22,25   | 21,87   | 19,84  | ns <sup>b</sup>  |  |
|                | Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                  |         | Απορροφημένο N Βλαστών (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |                  |  |
| N <sub>0</sub> | 301,30                                      | 285,04 | 260,06 | ns <sup>b</sup>  | 174,76  | 151,58  | 143,02 | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>1</sub> | 324,35                                      | 293,50 | 268,26 | ns <sup>b</sup>  | 198,18  | 166,99  | 148,39 | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>2</sub> | 315,39                                      | 293,90 | 255,44 | ns <sup>b</sup>  | 181,65  | 180,45  | 150,18 | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>3</sub> | 321,02                                      | 323,39 | 276,14 | ns <sup>b</sup>  | 191,74  | 191,07  | 147,77 | ns <sup>b</sup>  |  |
| M.O.           | 315,52                                      | 298,96 | 265,10 | 50,41*           | 186,58  | 172,53  | 147,34 | 39,24*           |  |

N<sub>0</sub>: 0, N<sub>1</sub>: 50, N<sub>2</sub>: 100, N<sub>3</sub>: 150 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>a</sup>LSD: least significant deference σε P<0,05(\*) και P<0,01(\*\*)

<sup>b</sup>ns: no significant (μη σημαντική)

Για το αμμοπηλώδες έδαφος (Τρίκαλα), η συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας το 2007, αν και εμφάνισε αυξητική τάση για αυξημένη παροχή οργανικού ή ανόργανου αζώτου, κυμάνθηκε γύρω από μια μέση τιμή των 29,57 t ha<sup>-1</sup> και η ξηρή βιομάζα των βλαστών γύρω από τους 21,32 t ha<sup>-1</sup>, αντίστοιχα (Πίνακας XV). Τα επόμενα έτη (2008 και 2009), η παραγωγικότητα σε ξηρή βιομάζα των τεμαχίων με προηγούμενη καλλιέργεια κουκιών εμφάνισε μια διαφορά σε σχέση με τα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας που άγγιξε τους 5,5 t ha<sup>-1</sup>, με μέση παραγωγή 25 t ha<sup>-1</sup>, που θα θεωρούταν ικανοποιητική ακόμη και για εδάφη υψηλής γονιμότητας στην περιοχή μελέτης (Πίνακας XVII). Για το αργιλώδες έδαφος (Σωτήριο) η θετική επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης έγινε εμφανής επίσης από το δεύτερο έτος των παρατηρήσεων, καθώς για το 2007, όπως και για το αμμοπηλώδες έδαφος δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές στην παραγωγή ξηρής βιομάζας, που κατέγραψε μια μέση τιμή των 28,30 t ha<sup>-1</sup>, ενώ το 2008 η αντίστοιχη παραγωγή ήταν 29,68 t ha<sup>-1</sup> και 28,07 t ha<sup>-1</sup> για την εφαρμογή χλωρής λίπανσης και την συγκομισμένη καλλιέργεια των κουκιών και μόλις 25,33 t ha<sup>-1</sup> για τα τεμάχια χωρίς προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθών (Πίνακας XVI). Παρά την μειωμένη παραγωγή του τρίτου

έτους (οφειλόμενη σε κλιματικές συνθήκες που έχουν αναλυθεί σε προηγούμενα κεφάλαια), διατηρήθηκε μια μέση διαφορά της τάξης των 4,4 t ha<sup>-1</sup> ανάμεσα στις πρακτικές των καλλιεργειών κάλυψης και της μονοκαλλιέργειας του ινώδους σόργου, η μικρότερη τιμή της οποίας σε σχέση με την διαφορά που παρατηρήθηκε στο αμμοπηλώδες έδαφος αντανάκλα την καλύτερη κατάσταση από άποψη γονιμότητας του συγκεκριμένου εδαφικού τύπου.

**Πίνακας XVI.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας, (συνολικής και βλαστών) και απορροφημένο άζωτο (συνολικό και βλαστών) της καλλιέργειας του ινώδους σόργου σε αργιλώδες έδαφος κατά το 2007, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

| Σωτήριο 2007   |   |        |        |                  |         |   |        |                  |  |
|----------------|---|--------|--------|------------------|---------|---|--------|------------------|--|
|                | Χλ.Λιπ.                                     | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ. | Κάλυψη  | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> |  |
|                | Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |        |        |                  |         | Ξ.Ο. Βλαστοί (t ha <sup>-1</sup> )            |        |                  |  |
| N <sub>0</sub> | 22,49                                       | 26,39  | 26,97  | ns <sup>b</sup>  | 16,99   | 20,01   | 20,18  | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>1</sub> | 29,25                                       | 29,61  | 24,14  | 5,11*            | 22,30   | 22,99   | 17,75  | 4,54*            |  |
| N <sub>2</sub> | 29,52                                       | 29,53  | 29,36  | ns <sup>b</sup>  | 22,05   | 22,39   | 22,46  | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>3</sub> | 29,72                                       | 31,73  | 31,05  | ns <sup>b</sup>  | 22,28   | 23,94   | 24,09  | ns <sup>b</sup>  |  |
| M.O.           | 27,74                                       | 29,31  | 27,87  | ns <sup>b</sup>  | 20,91   | 22,33   | 21,12  | ns <sup>b</sup>  |  |
|                | Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                  |         | Απορροφημένο N Βλαστών (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |                  |  |
| N <sub>0</sub> | 226,14                                      | 262,63 | 267,08 | ns <sup>b</sup>  | 141,55  | 159,30  | 169,13 | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>1</sub> | 287,13                                      | 285,55 | 233,09 | ns <sup>b</sup>  | 181,06  | 183,07  | 133,32 | 47,75*           |  |
| N <sub>2</sub> | 294,13                                      | 295,25 | 279,62 | ns <sup>b</sup>  | 183,83  | 186,46  | 178,88 | ns <sup>b</sup>  |  |
| N <sub>3</sub> | 312,65                                      | 325,91 | 283,72 | ns <sup>b</sup>  | 193,55  | 193,55  | 184,60 | ns <sup>b</sup>  |  |
| M.O.           | 280,01                                      | 292,33 | 265,88 | ns <sup>b</sup>  | 174,99  | 180,59  | 166,48 | ns <sup>b</sup>  |  |

N<sub>0</sub>: 0, N<sub>1</sub>: 50, N<sub>2</sub>: 100, N<sub>3</sub>: 150 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>a</sup> LSD: least significant deference σε P<0,05(\*) και P<0,01(\*\*)

<sup>b</sup> ns: no significant (μη σημαντική)

Σε αντιστοιχία με την ολική ξηρή βιομάζα, κατά το δεύτερο και τρίτο έτος των παρατηρήσεων, το κλάσμα της βιομάζας των βλαστών εμφάνισε παρόμοιες σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα τεμάχια με καλλιέργειες κάλυψης και τα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας, και για τους δύο εδαφικούς τύπους (Πίνακας XVII και XVIII). Παρά τις διαφορές αυτές όμως, η αναλογία της ξηρής βιομάζας των βλαστών προς την ολική ξηρή βιομάζα δεν επηρεάστηκε από τις μεταχειρίσεις με καλλιέργειες κάλυψης ψυχανθών σε κανένα από τα επίπεδα λίπανσης και διατήρησε σταθερές τιμές των 77% για το αμμοπηλώδες έδαφος και 80% για το αργιλώδες και στα δύο έτη (2008 και 2009), καταδεικνύοντας πως οι παράμετροι έτος, ανόργανη λίπανση και μεταχείριση με καλλιέργεια ψυχανθούς, δεν επηρεάζουν τον επιμερισμό της βιομάζας κατά τον βιολογικό κύκλο του ινώδους σόργου, όπως έχει καταγραφεί και

σε αντίστοιχες παλαιότερες και πρόσφατες μελέτες (Danalatos, 1993; Masclaux *et al.*, 2001; Beslemes *et al.*, 2012).

**Πίνακες XVII και XVIII.** Παραγωγή ξηρής βιομάζας (συνολικής και βλαστών), και ολικό απορροφημένο άζωτο της καλλιέργειας του ινώδους σόργου σε αμμοπηλώδες (Τρίκαλα) και αργιλώδες (Σωτήριο) έδαφος κατά το 2008 και 2009, για τις τρεις μεταχειρίσεις με ψυχανθή (χλωρή λίπανση, καλλιέργεια κάλυψης, μάρτυρας) και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

| Τρίκαλα                                     | 2008    |        |        |                  | 2009    |        |        |                  |
|---|---------|--------|--------|------------------|---------|--------|--------|------------------|
|   | Χλ.Λιπ. | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ. | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> |
| Ξ.Ο. Βλαστοί (t ha <sup>-1</sup> )          |         |        |        |                  |         |        |        |                  |
| N <sub>0</sub>                              | 17,89   | 16,48  | 14,28  | 2,20**           | 16,31   | 14,78  | 12,40  | 2,38**           |
| N <sub>1</sub>                              | 20,16   | 18,04  | 15,81  | 4,35**           | 18,11   | 18,85  | 14,39  | 3,72**           |
| N <sub>2</sub>                              | 20,52   | 19,75  | 16,05  | 3,70**           | 19,56   | 18,86  | 15,77  | 3,09**           |
| N <sub>3</sub>                              | 20,99   | 21,49  | 16,58  | 4,41**           | 21,33   | 19,50  | 16,39  | 3,11*            |
| M.O.  | 19,89   | 18,94  | 15,68  | 3,26**           | 18,83   | 17,99  | 14,74  | 3,26**           |
| Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |         |        |        |                  |         |        |        |                  |
| N <sub>0</sub>                              | 23,08   | 22,06  | 18,12  | 3,93**           | 21,21   | 19,51  | 16,14  | 3,37**           |
| N <sub>1</sub>                              | 25,02   | 24,30  | 20,03  | 4,27**           | 23,67   | 24,17  | 18,49  | 5,18**           |
| N <sub>2</sub>                              | 27,03   | 25,98  | 21,03  | 4,95**           | 25,54   | 24,27  | 20,26  | 4,01**           |
| N <sub>3</sub>                              | 28,07   | 27,04  | 21,88  | 5,15**           | 27,77   | 25,93  | 21,50  | 4,43*            |
| M.O.  | 25,80   | 24,84  | 20,27  | 4,58**           | 24,55   | 23,47  | 19,09  | 4,37**           |
| Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |         |        |        |                  |         |        |        |                  |
| N <sub>0</sub>                              | 173,46  | 151,91 | 87,03  | 64,88**          | 156,33  | 136,35 | 84,95  | 19,98*           |
| N <sub>1</sub>                              | 193,36  | 182,06 | 113,35 | 68,71**          | 195,65  | 171,13 | 113,52 | 24,52**          |
| N <sub>2</sub>                              | 238,63  | 226,93 | 139,27 | 87,65**          | 233,15  | 205,54 | 136,46 | 69,08**          |
| N <sub>3</sub>                              | 295,99  | 256,58 | 150,78 | 39,41**          | 272,50  | 235,68 | 150,05 | 36,83**          |
| M.O.  | 225,36  | 204,37 | 122,61 | 20,99**          | 214,41  | 187,17 | 121,25 | 27,24**          |

N<sub>0</sub>: 0, N<sub>1</sub>: 50, N<sub>2</sub>: 100, N<sub>3</sub>: 150 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>a</sup> LSD: least significant deference σε P<0,05(\*) και P<0,01(\*\*)

<sup>b</sup> ns: no significant (μη σημαντική)

| Σωτήριο                                     | 2008    |        |        |                  | 2009    |        |        |                  |
|---|---------|--------|--------|------------------|---------|--------|--------|------------------|
|   | Χλ.Λιπ. | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> | Χλ.Λιπ. | Κάλυψη | Μαρτ.  | LSD <sup>a</sup> |
| Ξ.Ο. Βλαστοί (t ha <sup>-1</sup> )          |         |        |        |                  |         |        |        |                  |
| N <sub>0</sub>                              | 21,76   | 20,56  | 18,37  | 2,20**           | 18,46   | 17,13  | 14,61  | 2,52**           |
| N <sub>1</sub>                              | 22,99   | 21,50  | 22,44  | ns <sup>b</sup>  | 19,83   | 20,17  | 16,96  | 2,87**           |
| N <sub>2</sub>                              | 25,27   | 24,09  | 21,19  | 2,90**           | 22,72   | 21,57  | 18,51  | 3,06**           |
| N <sub>3</sub>                              | 26,13   | 25,53  | 22,01  | 3,52**           | 24,12   | 23,54  | 20,13  | 3,42**           |
| M.O.  | 24,04   | 22,92  | 20,50  | 2,42**           | 21,26   | 20,60  | 17,55  | 3,05**           |
| Ξ.Ο. Σύνολο (t ha <sup>-1</sup> )           |         |        |        |                  |         |        |        |                  |
| N <sub>0</sub>                              | 26,27   | 25,19  | 23,05  | 2,15**           | 22,81   | 21,39  | 18,78  | 2,61**           |
| N <sub>1</sub>                              | 28,39   | 26,77  | 25,07  | ns <sup>b</sup>  | 25,02   | 25,16  | 21,44  | 3,58**           |
| N <sub>2</sub>                              | 31,53   | 29,43  | 26,17  | 3,26**           | 28,52   | 27,07  | 23,25  | 3,82**           |
| N <sub>3</sub>                              | 32,53   | 30,87  | 27,02  | 3,85**           | 30,42   | 29,76  | 25,40  | 4,36**           |
| M.O.  | 29,68   | 28,06  | 25,33  | 2,74**           | 26,70   | 25,85  | 22,22  | 3,63**           |
| Ολικό Απορροφημένο N (kg ha <sup>-1</sup> ) |         |        |        |                  |         |        |        |                  |
| N <sub>0</sub>                              | 173,63  | 156,89 | 105,32 | 51,57**          | 176,15  | 159,90 | 94,58  | 65,32**          |
| N <sub>1</sub>                              | 213,01  | 192,21 | 136,57 | 55,64**          | 222,52  | 183,04 | 118,60 | 39,47**          |
| N <sub>2</sub>                              | 267,93  | 244,88 | 167,04 | 77,84**          | 265,36  | 227,87 | 146,36 | 37,48*           |
| N <sub>3</sub>                              | 302,55  | 273,24 | 176,39 | 29,30**          | 301,45  | 272,80 | 169,20 | 28,65**          |
| M.O.  | 239,28  | 216,81 | 146,33 | 22,47**          | 241,37  | 210,90 | 132,19 | 30,47**          |

N<sub>0</sub>: 0, N<sub>1</sub>: 50, N<sub>2</sub>: 100, N<sub>3</sub>: 150 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>a</sup> LSD: least significant deference σε P<0,05(\*) και P<0,01(\*\*)

<sup>b</sup> ns: no significant (μη σημαντική)

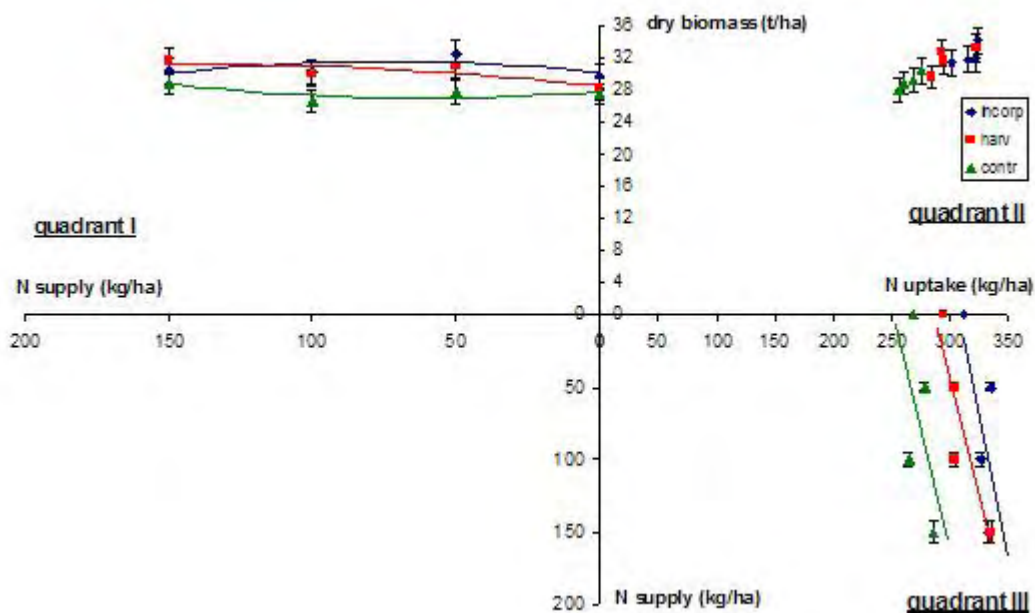
### 3.3.2.2. Παραγωγή βιομάζας και διαθεσιμότητα αζώτου.

Στο ινώδες σόργο όπως και στις περισσότερες ετήσιες καλλιέργειες, η αύξηση και ανάπτυξη των φυτών διέρχεται από δύο χαρακτηριστικές και διακριτές φάσεις, την βλαστική και την αναπαραγωγική και γενικά κατά την βλαστική φάση, χρειάζονται επαρκής φυλλική επιφάνεια, λειτουργικό ριζικό σύστημα και διαθεσιμότητα των βασικών μακροστοιχείων για την υποστήριξη της μέγιστης παραγωγής βιομάζας.

Η ύπαρξη υπολειμματικού αζώτου και στους δύο πειραματικούς αγρούς κατά το πρώτο έτος των παρατηρήσεων (2007), φαίνεται χαρακτηριστικά στα Σχ. 29 και 32 quadrant I, όπου ανεξάρτητα από τη δοσολογία της εφαρμοζόμενης αζωτούχου λίπανσης σε όλες τις μεταχειρίσεις με καλλιέργεια κάλυψης και στα τεμάχια του μάρτυρα, η συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας διατηρήθηκε σε παρόμοια επίπεδα, και μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις (για μέτρια λίπανση), παρουσίασε και μικρή μείωση. Αντιθέτως στα δύο επόμενα έτη, η ανταπόκριση του ινώδους σόργου στο εφαρμοζόμενο ανόργανο άζωτο έγινε εμφανής, καθώς η συσσώρευση ξηρής ουσίας στο σόργο αυξάνει για αυξημένες εισροές αζώτου (Muchow, 1988) και η παραλλακτικότητα στην παραγωγή βιομάζας με την οποία εκφράζεται η ανταπόκριση αυτή στην αζωτούχο λίπανση, σχετίζεται με διαφορές ανάμεσα στην ικανότητα του κάθε εδαφικού τύπου να παρέχει το διαθέσιμο άζωτο και στην αποδοτικότητα ανάκτησης της εφαρμοζόμενης λίπανσης (Muchow, 1998).

Όπως απεικονίζεται στα Σχ. 30 και 31 quadrant I, η χαμηλή γονιμότητα του αμμοπηλώδους εδάφους αντικατοπτρίζεται από τις χαμηλές βασικές (control) παραγωγές του δεύτερου και τρίτου έτους (18,12 και 16,14 t ha<sup>-1</sup> συνολικής ξηρής βιομάζας το 2008 και 2009 αντίστοιχα), ενώ ακόμη και όταν εφαρμόστηκε μεγάλη δοσολογία ανόργανης λίπανσης (150 kg N ha<sup>-1</sup>) η αύξηση που σημειώθηκε στην παραγωγή βιομάζας δεν ήταν αρκετή ώστε να εξισώσει τις παραγωγές του πειραματικού στο Σωτήριο (αργιλώδες έδαφος), καθώς η μέγιστη παραγωγή σε συνολική ξηρή βιομάζα περιορίστηκε σε 21,89 t ha<sup>-1</sup>.

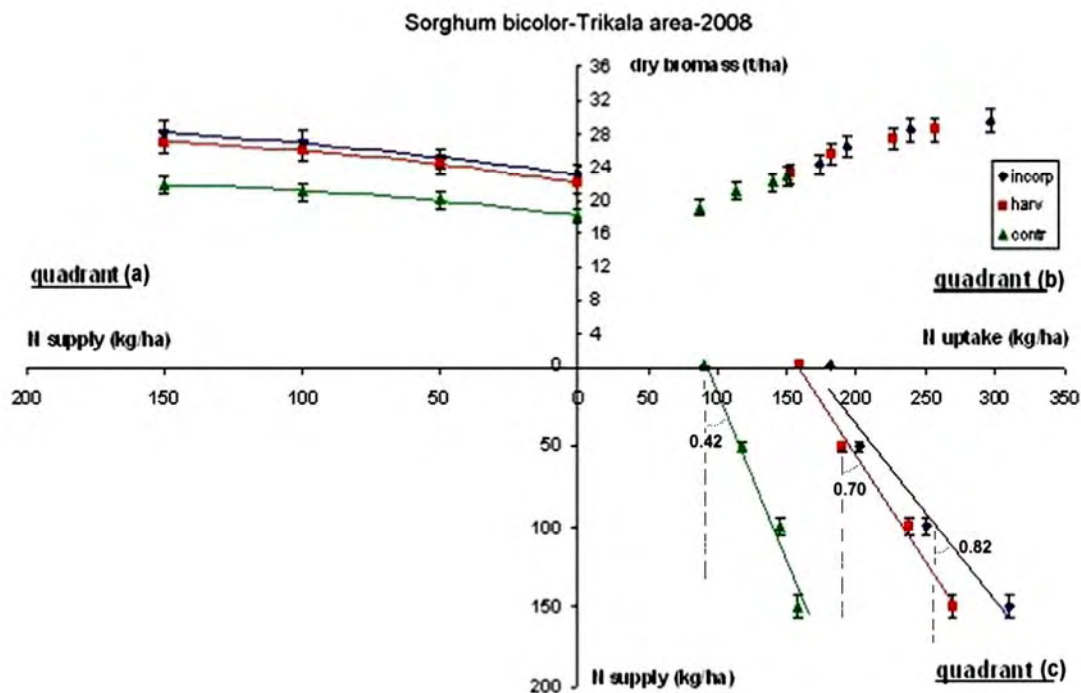
### Sorghum bicolor-Trikala area-2007



**Σχήμα 29.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2007. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Στα Σχ. 30 και 31 φαίνεται επίσης η αύξηση των επιπέδων παραγωγής ξηρής βιομάζας με την χρήση των καλλιιεργειών κάλυψης των κουκιών, τα οποία κυμάνθηκαν από 22 έως 28 t ha<sup>-1</sup> για την εφαρμογή ως χλωρή λίπανση και από 19,5 έως 27,7 t ha<sup>-1</sup> όταν η καλλιέργεια κάλυψης συγκομίστηκε, ανάλογα του επιπέδου εφαρμοζόμενης λίπανσης. Ειδικά στις περιπτώσεις αξιοποίησης της καλλιέργειας του ψυχανθούς ως χλωρή λίπανση, η αύξηση σε όλες τις επεμβάσεις ήταν θεαματική, καθώς ήταν δυνατή η παραγωγή 23,08 t ha<sup>-1</sup> συνολικής ξηρής βιομάζας χωρίς ανόργανες εισροές αζώτου, ενώ η μέγιστη παραγωγή που καταγράφηκε έφτασε τους 28 t ha<sup>-1</sup>, όπως προαναφέρθηκε.





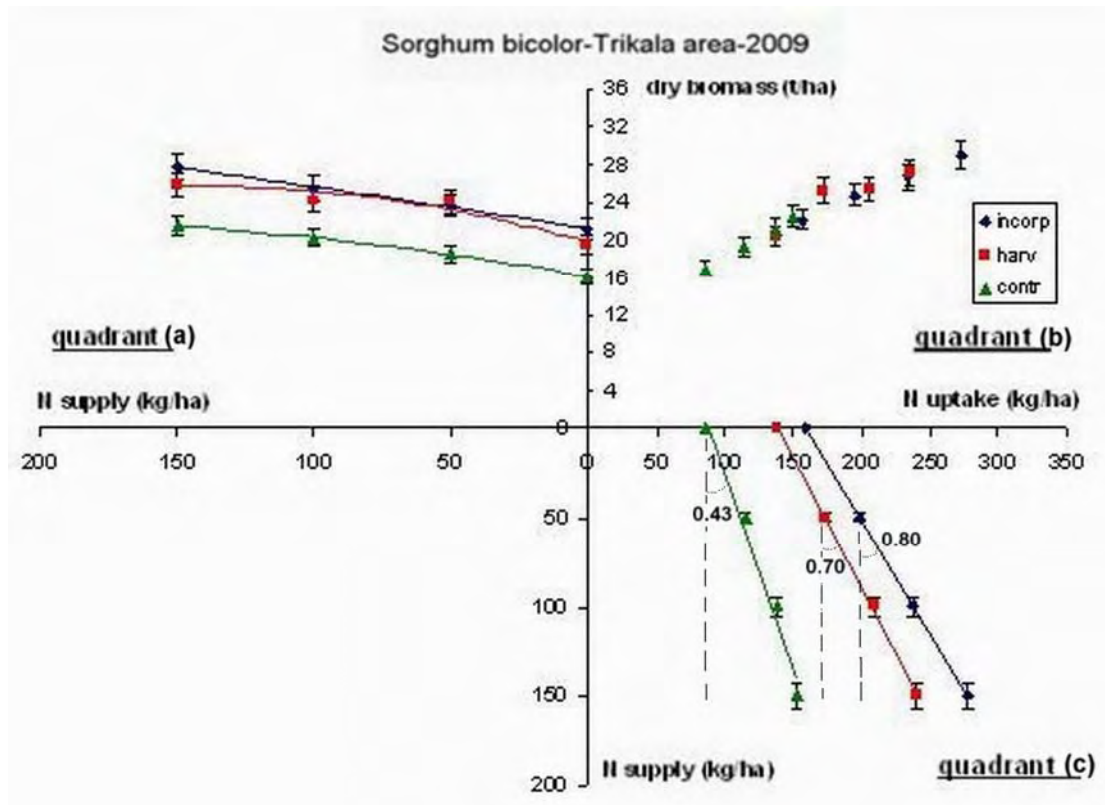
**Σχήμα 30.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2008. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Οι βασικές (control) παραγωγές, δηλαδή οι παραγωγές χωρίς ανόργανες εισροές αζώτου, ήταν χαμηλές και στην περίπτωση του αργιλώδους εδάφους ( $23,05$  και  $18,78 \text{ t ha}^{-1}$ , για το 2008 και 2009 αντίστοιχα), ενώ με εφαρμογή μέτριας λίπανσης των  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  ως βασική στην σπορά και άλλων  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  όταν τα φυτά απέκτησαν ύψος περίπου  $50 \text{ cm}$ , η παραγωγή βιομάζας κυμάνθηκε από  $23,25$  έως  $31,53 \text{ t ha}^{-1}$ , ανάλογα την μεταχείριση με ψυχανθή και με σημαντικά ( $P < 0,01$ ) μεγαλύτερες παραγωγές για τις μεταχειρίσεις με καλλιέργεια κάλυψης σε όλες τις περιπτώσεις. Αντιστάθμιση των θετικών επιδράσεων των καλλιεργειών κάλυψης από την λίπανση δεν σημειώθηκε ούτε όταν χορηγήθηκε μεγάλη δοσολογία ανόργανου αζώτου ( $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), καθώς η συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας για την μονοκαλλιέργεια κατέγραψε μέγιστη τιμή τους  $25,33 \text{ t ha}^{-1}$ , έναντι των  $32,53 \text{ t ha}^{-1}$ , στα τεμάχια που εφαρμόστηκε χλωρή λίπανση με κουκιά. Ειδικά σε αυτές τις επεμβάσεις της χλωρής λίπανσης, όπως φαίνεται στα Σχ. 33 και 34 quadrant I, αύξηση που σημειώθηκε ήταν μεγάλη σε όλα τα επίπεδα συμπληρωματικής λίπανσης, ενώ ικανοποιητική ήταν και η βασική παραγωγή των τεμαχίων αυτών, αφού  $26,27 \text{ t ha}^{-1}$  ξηρής βιομάζας συγκομίστηκαν χωρίς την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης. Οι μέγιστες παραγωγές έφτασαν τους  $32,53 \text{ t ha}^{-1}$  για την μέγιστη δοσολογία λίπανσης,

αλλά πολύ υψηλές παραγωγές σημειώθηκαν και για μέτρια επίπεδα λίπανσης ( $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) σε συνδυασμό με την χλωρή λίπανση των κουκιών ( $31,53 \text{ t ha}^{-1}$ ), ενώ ανάλογα αποτελέσματα καταγράφηκαν και στις επεμβάσεις όπου η καλλιέργεια κάλυψης συγκομίστηκε, με την παραγωγή της ξηρής βιομάζας του ινώδους σόργου να κυμαίνεται από  $25,20$  έως  $30,97 \text{ t ha}^{-1}$ , ανάλογα του επιπέδου συμπληρωματικής λίπανσης, παραγωγές αρκετά υψηλότερες από τις αντίστοιχες των επεμβάσεων χωρίς προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθούς και για το ίδιο επίπεδο λίπανσης, που κυμάνθηκαν από  $23,05$  έως  $27,02 \text{ t ha}^{-1}$  για το 2008 και από  $18,7$  έως  $25,40 \text{ t ha}^{-1}$  για το 2009, αντίστοιχα.

### 3.3.2.3. Παραγωγή βιομάζας και NUE.

Η αποδοτικότητα χρήσης του αζώτου (NUE) ορίζεται ως η παραγωγή σπόρου ή βιομάζας ανά μονάδα διαθέσιμου αζώτου στο έδαφος (συμπεριλαμβανομένου του υπολειμματικού αζώτου που μπορεί να υπάρχει στο έδαφος και του αζώτου που εφαρμόζεται με λιπάσματα), καθώς επίσης και ως η μέγιστη οικονομικά παραγωγή ανά μονάδα αζώτου που εφαρμόζεται, απορροφάται ή αξιοποιείται από το φυτό για να παράξει σπόρο ή φυτικό ιστό (Moll *et al.*, 1983). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η NUE μπορεί να διαχωριστεί σε δύο διεργασίες: α) την αποδοτικότητα απορρόφησης (uptake efficiency – NU<sub>p</sub>E, δηλαδή την ικανότητα του φυτού να προσλαμβάνει το άζωτο από το έδαφος ως νιτρικά ή αμμωνιακά ιόντα) και β) την αποδοτικότητα αξιοποίησης (utilization efficiency – NU<sub>t</sub>E, δηλαδή την ικανότητα του φυτού να χρησιμοποιεί το άζωτο για την παραγωγή σπόρου ή φυτικού ιστού). Όταν η ξηρή ουσία πολλαπλασιαστεί με την συγκέντρωση αζώτου που περιέχει, το γινόμενο που προκύπτει αποτελεί μέτρηση του απορροφημένου αζώτου και εκφρασμένο σε μονάδες απορρόφησης γίνεται ένας χρήσιμος δείκτης της εδαφικής γονιμότητας που σχετίζεται με τα επίπεδα παραγωγικότητας, καθώς η τάση συσσώρευσης του αζώτου στα φυτά ακολουθεί την τάση συσσώρευσης ξηρής ουσίας (Miller *et al.*, 2003).

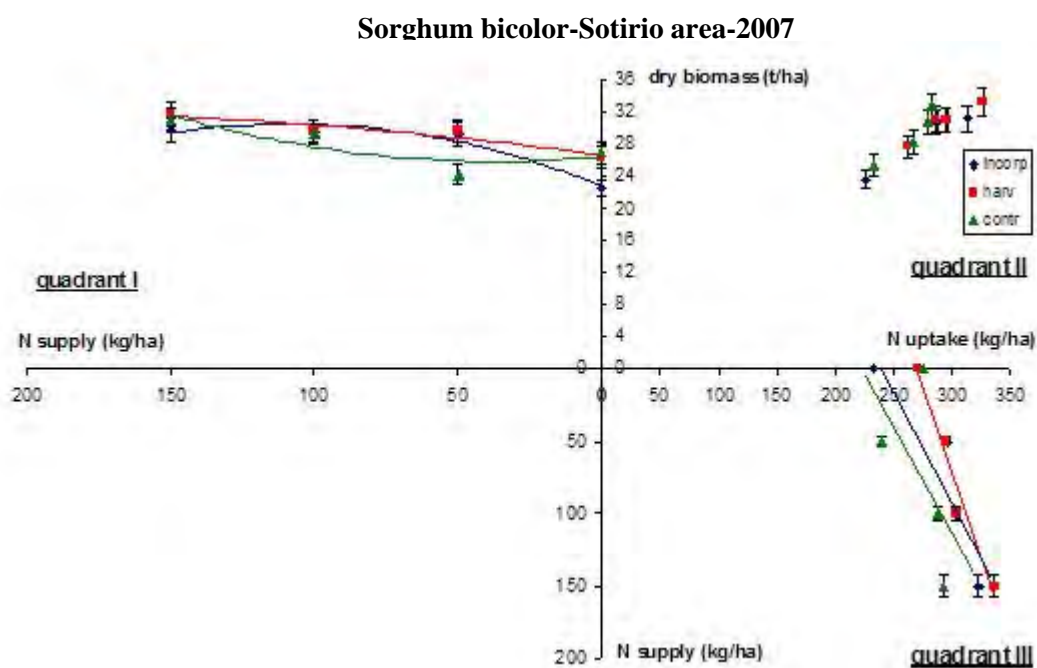


**Σχήμα 31.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αμμοπηλώδες έδαφος, το 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

α) Σχέση παροχής – απορρόφησης αζώτου.

Στο ινώδες σόργο, η συγκέντρωση αζώτου διέπεται από μια σημαντική πτωτική τάση κατά την διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης των φυτών, η οποία ενώ μπορεί να ξεπεράσει τα  $40 \text{ g N kg}^{-1}$  ξηρής ουσίας στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης, καταλήγει σε λιγότερο από  $10 \text{ g N kg}^{-1}$  ξηρής ουσίας στην αναπαραγωγική φάση και λόγω της διαδικασίας αυτής, η συγκέντρωση αζώτου για αυξανόμενη ξηρή βιομάζα εμφανίζει αντίστοιχα χαρακτηριστική πτωτική καμπύλη (Barbanti *et al.*, 2006). Η σχέση ανάμεσα στο απορροφημένο άζωτο και το παρεχόμενο οργανικό ή ανόργανο άζωτο στην καλλιέργεια, αντανακλά την αποδοτικότητα της εφαρμοζόμενης λίπανσης και ενώ η ποσότητα του απορροφημένου αζώτου σε σχέση με το διαθέσιμο άζωτο στο έδαφος, εκφράζεται από την αποδοτικότητα της απορρόφησης αζώτου (N-uptake efficiency), η αποδοτικότητα της εφαρμοζόμενης λίπανσης εκφράζεται από το κλάσμα ανάκτησης του αζώτου (N recovery fraction, NRF; %), που μπορεί να υπολογιστεί ως η αναλογία του (N που απορροφήθηκε στο  $N_x$  - N που απορροφήθηκε στο  $N_0$ ) προς το N που εφαρμόστηκε στο  $N_x$ , και παρουσιάζεται σχηματικά για κάθε

περιοχή και κάθε έτος στο τεταρτημόριο III (quadrant III) των Σχ. 29, 30, 31, 32, 33 και 34, από την κλίση των αντίστοιχων γραμμών τάσης, με τον κάθετο άξονα. Τα σημεία τομής με τον οριζόντιο άξονα (άξονας x) αντιπροσωπεύουν την βασική απορρόφηση (base uptake), δηλαδή την απορρόφηση αζώτου χωρίς επιπλέον εισροές, η οποία είναι συνδεδεμένη με την ετήσια ορυκτοποίηση του αζώτου και συνεπώς αποτελεί έκφραση της εγγενούς γονιμότητας του συγκεκριμένου εδάφους.



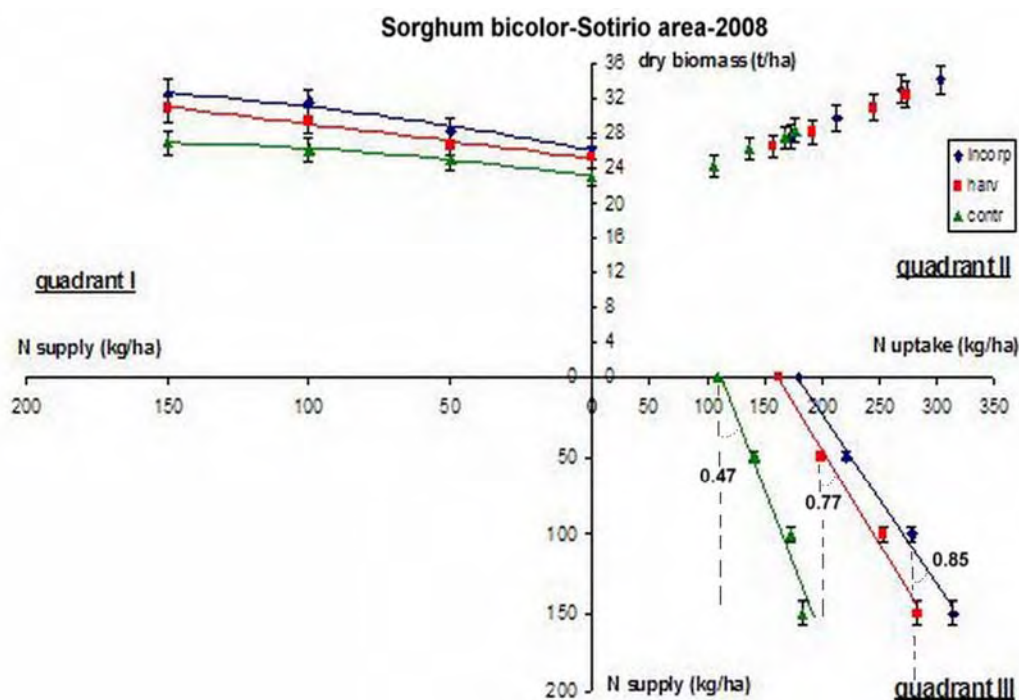
**Σχήμα 32.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2007. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Για το αμμοπηλώδες έδαφος και κατά το πρώτο έτος (2007) των μετρήσεων, η βασική απορρόφηση αζώτου ήταν  $260 \text{ kg N ha}^{-1}$  για τα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας έναντι 285 και  $301 \text{ kg N ha}^{-1}$  για τα τεμάχια των δύο μεταχειρίσεων με καλλιέργεια κάλυψης (Σχ. 29 quadrant III), τιμές που αν και αρκετά μεγαλύτερες, δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Το συγκεκριμένο έτος δεν καταγράφηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην απορρόφηση του αζώτου (ολική ή του κλάσματος των στελεχών) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις με ψυχανθές σε κανένα επίπεδο ανόργανης λίπανσης αλλά ούτε και ανάμεσα στα ίδια τα επίπεδα λίπανσης, εκτός από τις διαφορές ανάμεσα στην εφαρμογή χλωρής λίπανσης με την μονοκαλλιέργεια (Πίνακας XV).

Κατά το επόμενο έτος (2008), η βασική απορρόφηση αζώτου από μόλις  $87 \text{ kg N ha}^{-1}$  για τα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας, κυμάνθηκε σε  $152$  έως  $173 \text{ kg N ha}^{-1}$  για τα τεμάχια των δύο μεταχειρίσεων με καλλιέργεια κάλυψης (Σχ. 30 quadrant III), αύξηση που θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως επιπλέον ορυκτοποίηση  $65 \text{ kg N ha}^{-1}$  και  $86 \text{ kg N ha}^{-1}$  αντίστοιχα για τις επεμβάσεις της συγκομισμένης καλλιέργειας και της χλωρής λίπανσης, καθώς η καθαρή ορυκτοποίηση κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, όπως έχει ήδη αναφερθεί μπορεί να κυμανθεί αντίστοιχα από  $0,25$  έως  $1,50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$  ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές και εδαφολογικές συνθήκες, την φύση και την διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων των καλλιεργειών κάλυψης, και το είδος της καλλιέργειας κάλυψης (Greenwood *et al.*, 1985; Magdoff, 1991; Bundy and Andraski, 1993; Schröder *et al.*, 1996b; Schröder *et al.*, 2000). Παρά τις μικρότερες τιμές για την βασική απορρόφηση (σε αντιστοιχία με τις μικρότερες τιμές και για την παραγόμενη βιομάζα) κατά το τρίτο έτος (2009), όπως φαίνεται στον Πίνακα XVII και το Σχ. 31 quadrant III ( $85$ ,  $136$  και  $156 \text{ kg N ha}^{-1}$  για την μονοκαλλιέργεια, την συγκομιδή και την ενσωμάτωση της καλλιέργειας των κουκιών αντίστοιχα), οι διαφορές ανάμεσα σε μεταχειρίσεις με καλλιέργεια κάλυψης ή μονοκαλλιέργεια ως προς την βασική απορρόφηση αζώτου διατηρήθηκαν σε υψηλά επίπεδα ( $51 \text{ kg N ha}^{-1}$  και  $71 \text{ kg N ha}^{-1}$  αντίστοιχα για τις επεμβάσεις της συγκομισμένης καλλιέργειας και της χλωρής λίπανσης) επιβεβαιώνοντας την ευεργετική συμβολή της καλλιέργειας κάλυψης με κουκιά στα επίπεδα του διαθέσιμου αζώτου, σε φτωχά εδάφη.

Για το ολικό απορροφημένο άζωτο και σε αντιστοιχία με τα δεδομένα για τον αραβόσιτο, στην περιοχή των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος) το 2007, υπήρξαν σημαντικές διαφορές ( $P < 0,05$ ) ανάμεσα στον μάρτυρα και στα τεμάχια στα οποία έγινε χλωρή λίπανση με κουκιά (μεγαλύτερες εισροές οργανικού αζώτου) και όχι για τα τεμάχια στα οποία η καλλιέργεια του ψυχανθούς συγκομίστηκε, ενώ για τις διαφορές ανάμεσα στα επίπεδα λίπανσης δεν παρατηρήθηκαν σημαντικότητες (Πίνακας XV). Κατά το επόμενο έτος των παρατηρήσεων (2008), υπήρξε θετική επίδραση στο ολικό απορροφημένο άζωτο και από τις δύο μεταχειρίσεις των καλλιεργειών κάλυψης, ενώ οι διαφορές ανάμεσα στα επίπεδα λίπανσης εμφάνισαν σημαντικές διαφορές ( $P < 0,05$ ) ακόμη και για μέτριες εισροές των  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Πίνακας XVII), καθώς ελαττώθηκε η επίδραση του όποιου υπολειπόμενου αζώτου στο έδαφος στα αποτελέσματα των παρατηρήσεων, όπως επαληθεύτηκε και με τα αποτελέσματα του τρίτου έτους (2009), κατά το οποίο καταγράφηκαν ανάλογες

σημαντικές διαφορές ( $P < 0,01$ ) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις με καλλιέργειες κάλυψης και σε όλα τα επίπεδα των εισροών αζώτου (Πίνακας XVII).



**Σχήμα 33.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2008. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Η υποψία ύπαρξης υπολειμματικού αζώτου στο έδαφος κατά το πρώτο έτος (2007) των μετρήσεων φαίνεται να επιβεβαιώνεται και από τα δεδομένα για το αργιλώδες έδαφος, καθώς η βασική απορρόφηση αζώτου ήταν  $267 \text{ kg N ha}^{-1}$  για τα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας έναντι  $226$  και  $262 \text{ kg N ha}^{-1}$  για τα τεμάχια των δύο μεταχειρίσεων με καλλιέργεια κάλυψης (Πίνακας XVI, Σχ. 32 quadrant III), χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Αντίθετα στα δύο επόμενα έτη (Πίνακας XVIII, Σχ. 33 και 34 quadrant III) η βασική απορρόφηση αζώτου από το έδαφος διακυμάνθηκε παρόμοια με την διακύμανση που καταγράφηκε για το αμμοπηλώδες έδαφος, με τιμές  $105$ ,  $157$  και  $174 \text{ kg N ha}^{-1}$  για την μονοκαλλιέργεια, την συγκομιδή και την ενσωμάτωση της καλλιέργειας των κουκιών αντίστοιχα το 2008, καταδεικνύοντας πως επιπλέον  $52 \text{ kg N ha}^{-1}$  και  $69 \text{ kg N ha}^{-1}$  μπορεί να ορυκτοποιήθηκαν για τις επεμβάσεις της συγκομισμένης καλλιέργειας και της χλωρής λίπανσης το δεύτερο χρόνο, όπως επίσης  $65 \text{ kg N ha}^{-1}$  και  $81 \text{ kg N ha}^{-1}$  αντίστοιχα τον τρίτο χρόνο (Πίνακας XVIII), επιβεβαιώνοντας την ευεργετική

συμβολή της καλλιέργειας κάλυψης με κουκιά στα επίπεδα του διαθέσιμου αζώτου, και σε αυτόν τον εδαφικό τύπο.

Το ολικό απορροφημένο άζωτο, όπως και το κλάσμα του απορροφημένου αζώτου στους βλαστούς του ινώδους σόργου, δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τις επεμβάσεις με ψυχανθή ή από τα επίπεδα της εφαρμοζόμενης ανόργανης λίπανσης κατά το πρώτο έτος (2007). Αντίθετα, όπως και για το αμμώδες έδαφος κατά το επόμενο έτος των παρατηρήσεων (2008), υπήρξε θετική επίδραση στο ολικό απορροφημένο άζωτο και από τις δύο μεταχειρίσεις των καλλιεργειών κάλυψης, ενώ οι διαφορές ανάμεσα στα επίπεδα λίπανσης εμφάνισαν σημαντικές διαφορές ( $P < 0,01$ ) ακόμη και για μέτριες εισροές των  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Πίνακας XVIII), όπως επαληθεύτηκε με τα αποτελέσματα του τρίτου έτους (2009), κατά το οποίο καταγράφηκαν ανάλογες σημαντικές διαφορές ( $P < 0,01$ ) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις με καλλιέργειες κάλυψης και σε όλα τα επίπεδα των εισροών αζώτου (Πίνακας XVIII).

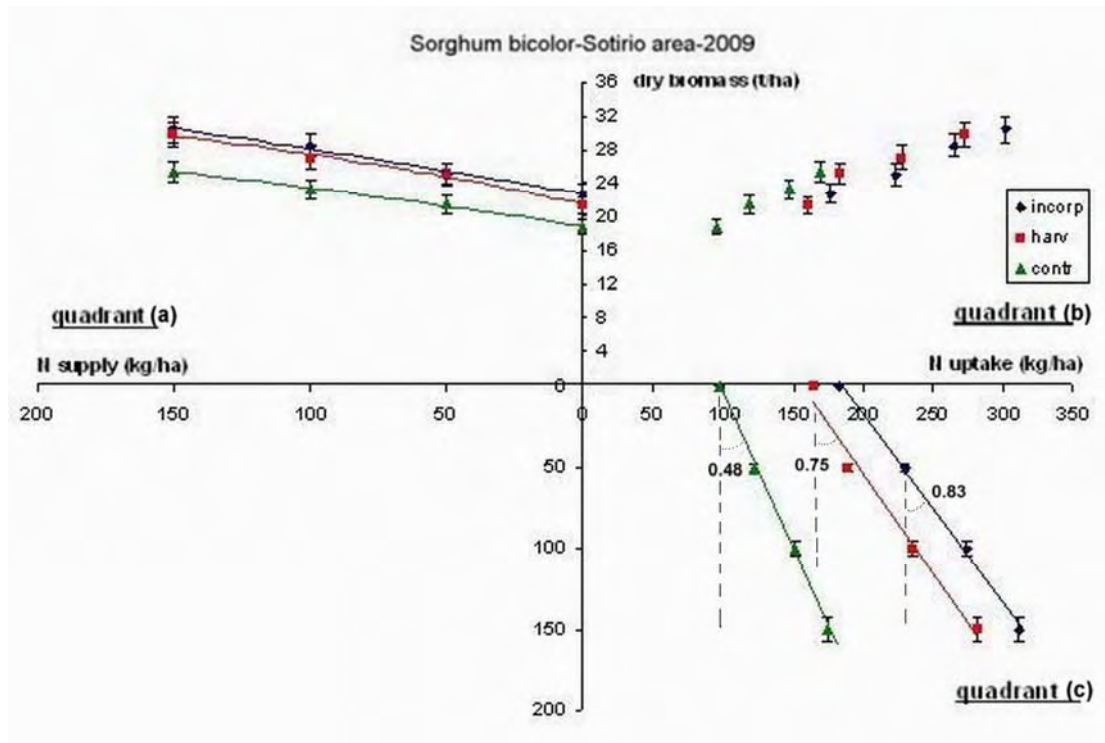
Εκτός από το ολικό απορροφημένο άζωτο και την βασική απορρόφηση αζώτου, σημαντική ήταν η επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης και στο κλάσμα ανάκτησης του αζώτου (NRf), οι τιμές του οποίου πρακτικά διπλασιάστηκαν κατά το δεύτερο έτος, αφού εκτινάχθηκαν από 42% για την μονοκαλλιέργεια σε 82% για τα τεμάχια με καλλιέργεια κάλυψης στο αμμώδες έδαφος (Σχ. 30 quadrant III), και από 47% σε 86% αντίστοιχα για το αργιλώδες έδαφος (Σχ. 33 quadrant III), καθώς το ινώδες σόργο είναι ένα C4 φυτό με πολύ μεγάλη αποδοτικότητα φωτοσύνθεσης και κάτω από κατάλληλες συνθήκες σε φως και θερμοκρασία, έχει την ικανότητα να μετατρέπει την υψηλή διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, σε υψηλή απορροφητικότητα των στοιχείων αυτών (Dolciotti *et al.* 1996). Παρόμοια θετική επίδραση καταγράφηκε και κατά το τρίτο έτος (2009) όταν το NRf παρουσίασε αύξηση από 43% στα τεμάχια του μάρτυρα σε 78% στα τεμάχια που έγινε χλωρή λίπανση με κουκιά για το αμμοπηλώδες έδαφος, και από 48% σε 83% στα αντίστοιχα τεμάχια για το αργιλώδες έδαφος, επιβεβαιώνοντας την συμβολή της συγκεκριμένης πρακτικής διαχείρισης της καλλιέργειας κάλυψης στην βελτίωση του NRf. Την ίδια χρονιά, διαπιστώθηκε αύξηση του NRf κατά περίπου 30% και στους δύο εδαφικούς τύπους και όταν η καλλιέργεια κάλυψης συγκομίστηκε πριν την σπορά του ινώδους σόργου, καταγράφοντας ιδιαίτερα υψηλές τιμές (σε σχέση με τις αντίστοιχες των τεμαχίων του μάρτυρα), που υπολογίστηκαν σε 70% για το αμμώδες έδαφος και 75% για το αργιλώδες, και καταδεικνύουν πως και αυτή η πρακτική διαχείρισης της καλλιέργειας κάλυψης έχει μεγάλη συμβολή στην αύξηση του NRf. Η αύξηση αυτή

είναι ιδιαίτερης σημασίας για τα αμμώδη εδάφη, καθώς οι μεγάλες τιμές του NRf, δηλαδή της ανάκτησης του εφαρμοζόμενου ανόργανου αζώτου, συνεπάγονται μικρότερο ρίσκο έκπλυσης ή διήθησης νιτρικών σε βαθύτερους εδαφικούς ορίζοντες, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ρύπανσης των υπόγειων υδάτων με επιβλαβή χημικά για το περιβάλλον, ενώ η ενίσχυση του NRf συντέλεσε στην αύξηση του ολικού απορροφημένου αζώτου από τα φυτά του ινώδους σόργου, η οποία άγγιξε τιμές έως και  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  για τον συνδυασμό της μέγιστης δοσολογίας ανόργανου N και οργανικού N μέσω της χλωρής λίπανσης. Κι αυτό γιατί η ανάκτηση του εφαρμοζόμενου λιπάσματος, είναι αποτέλεσμα της ισορροπίας μεταξύ της απορρόφησης του N από την καλλιέργεια και της αποδέσμευσης N από τις μικροβιακές διεργασίες στο έδαφος, οι οποίες και διαφέρουν ανάμεσα στους διαφορετικούς εδαφικούς τύπους, και συνεπώς η έννοια της NUE και των εκφράσεών της θα πρέπει να λογίζεται και ως συνάρτηση της εδαφικής δομής, των κλιματικών συνθηκών και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του εδάφους και των διεργασιών των βακτηρίων (Walley *et al.*, 2002; Burger and Jackson, 2004) και φυσικά ως συνάρτηση της φύσης των οργανικών ή ανόργανων αζωτούχων εισροών (Schulten and Schnitzer, 1998).

#### β) Σχέση παραγωγής – αξιοποίησης αζώτου.

Η αποδοτικότητα αξιοποίησης του αζώτου (N utilization efficiency – NUtE) ποσοτικοποιεί το ύψος της παραγόμενης βιομάζας ανά μονάδα απορροφημένου αζώτου. Η NUtE υπολογίστηκε ως η αναλογία της συνολικής ξηρής βιομάζας προς το ολικό απορροφημένο άζωτο από τα φυτά του ινώδους σόργου και απεικονίζεται διαγραμματικά από την κλίση των καμπύλων στα διαγράμματα του τεταρτημόριου II (quadrant II) των Σχ. 29-34, με μέση τιμή  $60 \text{ kg}$  ξηρής βιομάζας ανά  $\text{kg N}$  απορροφημένου για την περιοχή των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος) και  $62 \text{ kg}$  ξηρής βιομάζας ανά  $\text{kg N}$  απορροφημένου για την περιοχή του Σωτηρίου (αργιλώδες έδαφος). Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που υπολογίστηκαν για τον αραβόσιτο, καθώς στο σόργο η συσσώρευση αζώτου τείνει να είναι μεγαλύτερη από τον αραβόσιτο σε όλα τα επίπεδα εφαρμοζόμενης λίπανσης (Muchow, 1988), εμφάνισαν όμως παρόμοιες διακυμάνσεις από έτος σε έτος και διαφορές ανάμεσα στις εισροές, εξαιτίας παρόμοιων μηχανισμών αξιοποίησης του αζώτου και συνεπώς ανταπόκρισης στο χορηγούμενο άζωτο που αναλύθηκαν για τον αραβόσιτο.





**Σχήμα 34.** Τρι-τεταρτημοριακό διάγραμμα της ανταπόκρισης της παραγωγής του ινώδους σόργου στα επίπεδα λίπανσης και στις καλλιέργειες κάλυψης, σε αργιλώδες έδαφος, το 2009. Οι κάθετες μπάρες αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση των μέσων.

Από τα διαγράμματα είναι εμφανές πως για το αργιλώδες έδαφος (Σχ. 33 και 34 quadrant II) προκύπτουν γραμμικές σχέσεις της συνολικής ξηρής βιομάζας προς το ολικό απορροφημένο άζωτο, που είναι συνδεδεμένες με μικρές συγκεντρώσεις αζώτου στους φυτικούς ιστούς κάτω από συνθήκες στέρησης, και υποδηλώνουν πως δεν επιτεύχθηκε η μέγιστη δυνατή παραγωγή. Για την ακρίβεια, παραγωγές μεγαλύτερες των  $32,5 \text{ t ha}^{-1}$  θα μπορούσαν να επιτευχθούν σε εδάφη υψηλής γονιμότητας στην περιοχή, αλλά αν συνυπολογιστεί η εξάντληση του εδάφους του πειραματικού αγρού μετά την αδιάκοπη καλλιέργεια για τρία συνεχόμενα έτη χωρίς αζωτούχες εισροές, γίνεται σαφής η ευεργετική συμβολή της καλλιέργειας κάλυψης των ψυχανθών στην βελτίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων του εδάφους που συντέλεσαν τελικά στην δυνατότητα υψηλής παραγωγικότητας.

Αντίθετα, παραγωγές της τάξης των  $28 \text{ t ha}^{-1}$  σε ξηρή βιομάζα για το ινώδες σόργο θα πρέπει να θεωρηθούν ως δυνατά μέγιστες για την περιοχή των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος), όπως προκύπτει από τα Σχ. 30 και 31 quadrant II, όπου για αυξανόμενη εφαρμογή αζώτου (οργανικού ή ανόργανου) η NUtE παρέκκλιε από

την γραμμικότητα, σηματοδοτώντας μεγάλες συγκεντρώσεις αζώτου στους φυτικούς ιστούς (πολυτελής ανάπτυξη), για τις επεμβάσεις στις οποίες έγινε ενσωμάτωση στο έδαφος της καλλιέργειας κάλυψης των κουκιών. Η ύπαρξη γραμμικότητας χωρίς παρέκκλιση από αυτήν, στη σχέση της συνολικής ξηρής βιομάζας προς το ολικό απορροφημένο άζωτο τόσο για την μονοκαλλιέργεια, όσο και για την πρακτική της συγκομιδής της καλλιέργειας κάλυψης, υποδηλώνουν πως η αξιοποίηση της καλλιέργειας κάλυψης των κουκιών ως χλωρή λίπανση αποτελεί την αποδοτικότερη γεωργική πρακτική ανάμεσα στις δύο που εξετάστηκαν, για τον συγκεκριμένο εδαφικό τύπο.



**Εικόνα 10.** Ταξικαρπία του ινώδους σόργου (*Sorghum bicolor*).

### 3.4. Εκτίμηση παραγόμενης ενέργειας.

Η πιο διαδεδομένη κατάταξη των ενεργειακών καλλιεργειών βασίζεται στην κύρια χρήση της παραγόμενης βιομάζας με τρεις βασικές κατευθύνσεις, την παραγωγή βιοντίζελ από έλαια των σπόρων, την παραγωγή βιοαιθανόλης από την ζύμωση των υδρογονανθράκων και την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού από την αξιοποίηση της λιγνοκυτταρίνης (Cosentino *et al.*, 2008). Η φυτική βιομάζα αποτελείται κυρίως από κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη, στάχτη, πρωτεΐνες, λιπίδια, πηκτίνες, διαλυτά σάκχαρα και φαινολικά μίγματα (Cone *et al.*, 1996). Οι διάφορες κυτταρίνες, ημικυτταρίνες και πολυσακχαρίτες, ανάλογα την κατάταξή τους βάση της χημικής σύστασης και των ιδιοτήτων που εμφανίζουν στα διάφορα διαλύματα, αποτελούν τα δομικά στοιχεία που περιέχονται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτικών κυττάρων (Hatfield, 1989) και το κλάσμα των κυτταρινών και ημικυτταρινών, μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια μέσω απευθείας καύσης, πυρόλυσης ή βιολογικής μετατροπής. Ταυτόχρονα, τα σάκχαρα στους φυτικούς ιστούς αποτελούνται από αποθηκευτικούς πολυσακχαρίτες όπως το άμυλο και φρουκτόζες, ορισμένες γλυκόζες και αρκετές ποσότητες από κόμμεα και κολλώδης ουσίες (Theander and Åman, 1984), και αποτελούσαν ως τώρα την πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Η βιοαιθανόλη είναι αλκοόλη, προϊόν μικροβιακής ζύμωσης σε αντιδιαστολή με την συνθετική αιθανόλη που αποτελεί κλάσμα τις πετροχημικής διύλισης. Παράγεται με απόσταξη του αιθανολικού διαλύματος που προκύπτει από την ζύμωση σακχάρων της φυτικής βιομάζας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στις μηχανές εσωτερικής καύσης, είτε αυτούσια είτε σε μίξη με βενζίνη σε διάφορες αναλογίες (Walker, 2010). Στον Πίνακα XIX συνοψίζονται οι βασικές φυσικοχημικές της ιδιότητες. Η βιοαιθανόλη συνήθως κατηγοριοποιείται σε τρεις τύπους, ανάλογα με τον τύπο της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της. Ο πρώτος τύπος είναι η βιοαιθανόλη που προκύπτει από σακχαρούχα υλικά, όπως τα ζαχαροκάλαμα και τα ζαχαρότευτλα, ο δεύτερος η βιοαιθανόλη που προκύπτει από αμυλούχα υλικά, όπως οι σπόροι του αραβόσιτου ή του σιταριού και αμυλούχες ρίζες και κόνδυλοι και ο τρίτος τύπος, που καλείται και κυτταρινική βιοαιθανόλη ή βιοαιθανόλη δεύτερης γενιάς, είναι η βιοαιθανόλη που προκύπτει από κυτταρινούχα υλικά, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών (π.χ.

βλαστοί του αραβόσιτου ή του ρυζιού) και των δασικών φυτών ( Hattori and Morita, 2010).

**Πίνακας XIX.** Φυσικό-χημικές ιδιότητες της βιοαιθανόλης<sup>α</sup>.

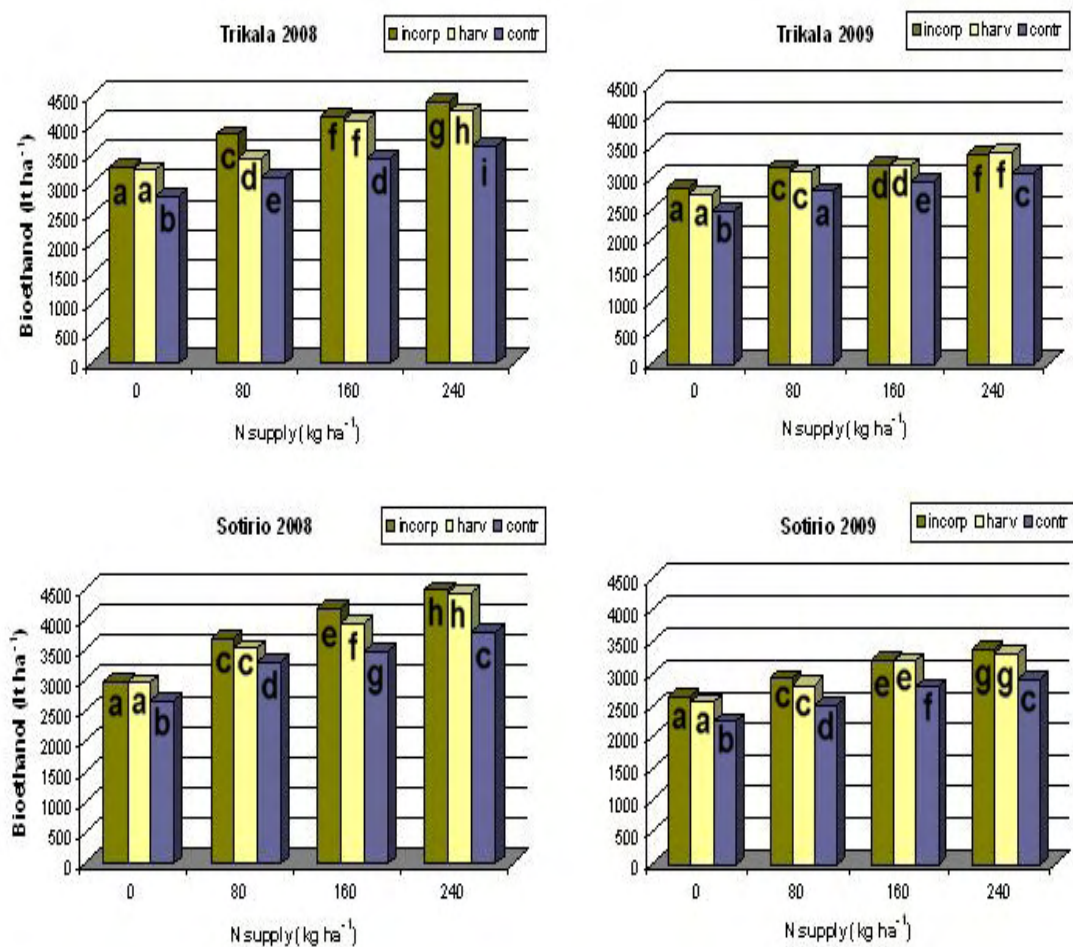
|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Μοριακός τύπος         | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH      |
| Μοριακή μάζα           | 46,07 g/mol                           |
| Εμφάνιση               | Άχρωμο υγρό (μεταξύ -117°C και 78°C)  |
| Διαλυτότητα στο νερό   | ∞                                     |
| Πυκνότητα              | 0,789 kg/l                            |
| Θερμ. βρασμού          | 78,5 °C                               |
| Σημείο πήξης           | -117 °C                               |
| Σημείο καύσης          | 12,8 °C (χαμηλότερο σημείο ανάφλεξης) |
| Όρια έκρηξης           | Χαμηλό 3,5% v/v, Υψηλό 19% v/v        |
| Τάση ατμών             | 50 mm Hg (στους 38 °C)                |
| Υψηλή θερμαντική αξία  | 29800 kJ/kg (στους 20 °C)             |
| Χαμηλή θερμαντική αξία | 21090 kJ/kg (στους 20 °C)             |
| Ειδική θέρμανση        | Kcal/kg, 60 °C                        |
| Οξύτητα                | 15,9 (pK <sub>a</sub> )               |
| Ιξώδες                 | 1200 mPa s (στους 20 °C)              |
| Δείκτης ανάκλασης      | 1,36 n <sub>D</sub> (στους 25 °C)     |
| Θερμ. ανάφλεξης        | 425 °C                                |
| Αριθμός οκτανίων       | 99                                    |

<sup>α</sup> Πηγή: Pandey, 2008.

Στην Ευρώπη και τη Βόρειο Αμερική, η βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης είναι ως και σήμερα τα αμυλούχα υλικά, με πιο συνηθισμένα ανάμεσα στα υλικά αυτά, τους σπόρους του αραβόσιτου και του σιταριού (Cardona and Sanchez, 2007). Το άμυλο είναι ένα πολυμερές που ορίζεται ως ομοπολυμερές, καθώς αποτελείται από μόνο ένα μονομερές, την D-γλυκόζη και για να παραχθεί αιθανόλη θα πρέπει να διασπαστούν οι δεσμοί των αλυσίδων της D-γλυκόζης, ώστε να αποκτηθεί καθαρό σιρόπι γλυκόζης, που θα μετατραπεί στην συνέχεια σε αιθανόλη μετά από ζύμωση με την χρήση κατάλληλων μικροοργανισμών (Walker, 2010).

### 3.4.1 *Zea mays*

Η παραγωγή βιοαιθανόλης από τους σπόρους του αραβόσιτου μέσω της διαδικασίας που προαναφέρθηκε είναι περίπου 360 lt/ton (Linoj Kumar *et al.*, 2007), και το Σχ. 35 απεικονίζει την εκτιμώμενη παραγωγή σε βιοαιθανόλη για το 2008 και 2009 στις περιοχές των Τρικάλων και του Σωτηρίου αντίστοιχα, όταν εφαρμοστεί η πιο πάνω αναγωγή για τις παραγωγές σε σπόρο αραβοσίτου που υπολογίστηκαν κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων.



**Σχήμα 35.** Εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης (lt ha<sup>-1</sup>) από σπόρο αραβόσιτου το 2008 (δεξιά) και το 2009 (αριστερά), για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (0,80,160 και 240 kg N ha<sup>-1</sup>), σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).

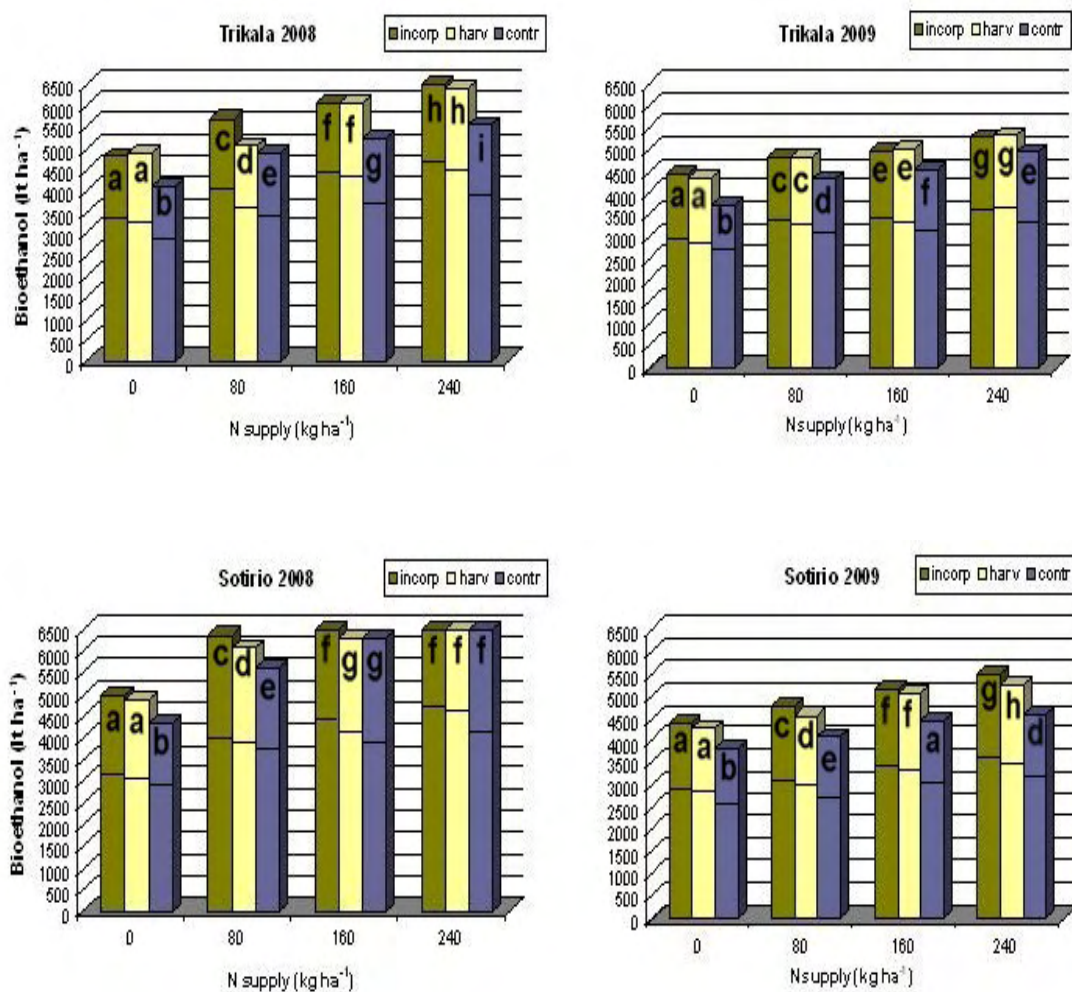
Είναι προφανές πως η μεγαλύτερες παραγωγές βιοαιθανόλης συμπίπτουν με τις αυξημένες παραγωγές των τεμαχίων με τις μεγαλύτερες εισροές ανόργανου ή οργανικού αζώτου, λόγω της μεγάλης ανταπόκρισης που παρουσιάζει ο αραβόσιτος

στην παροχή αζώτου, όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Θα πρέπει όμως να επισημανθεί η δυνατότητα παραγωγής ισοδύναμων ποσοτήτων βιοαιθανόλης με την αξιοποίηση των καλλιεργειών κάλυψης και του αζώτου βιολογικής δέσμευσης που παρέχουν, με εφαρμογή της μισής ή και ακόμη μικρότερης δοσολογίας ανόργανης λίπανσης, όπως φαίνεται στο Σχ. 35, όπου η εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης για τα τεμάχια του μάρτυρα εξισώνεται από την εκτιμώμενη παραγωγή των τεμαχίων με καλλιέργεια κάλυψης με 80 ή 160 kg N ha<sup>-1</sup> λιγότερο, στις περισσότερες περιπτώσεις. Η συμβολή των καλλιεργειών κάλυψης ψυχανθών πέρα από το όποιο οικονομικό όφελος συνεπάγεται κατά την παραγωγή της πρώτης ύλης, έχει ιδιαίτερη σημασία και για την βελτίωση του καθαρού ενεργειακού ισοζυγίου (net energy balance, NEB) της παραγωγής βιοαιθανόλης από σπόρους αραβοσίτου, δηλαδή την αναλογία που προκύπτει όταν υπολογιστεί το σύνολο της ενέργειας των απαιτούμενων εισροών κατά την παραγωγή, μεταφορά και μετατροπή της πρώτης ύλης, ως προς το σύνολο της ενέργειας που θα προκύψει από την καύση της παραγόμενης βιοαιθανόλης. Σύμφωνα με το Τμήμα Ενέργειας (Department of Energy, DOE) των Η.Π.Α. το ενεργειακό ισοζύγιο του όλου συστήματος της παραγωγής βιοαιθανόλης από σπόρους αραβοσίτου είναι προς το παρόν θετικό (Lavigne and Powers, 2007), η ενεργειακή απόδοση του συστήματος όμως είναι οριακά χαμηλή, όπως φαίνεται και από την τιμή του τυπικού NEB που υπολογίζεται από 1,08 έως 1,34 (Graboski, 2002; Shapouri *et al.*, 2002; Kim and Dale, 2004b; Pimentel and Patzek, 2005), ενώ το καθαρό ενεργειακό όφελος του όλου συστήματος στις Ευρωπαϊκές χώρες κυμαίνεται από μόλις 10 έως 110 GJ ha<sup>-1</sup> (FAO, 2000; Venturi and Venturi, 2003). Οι τιμές αυτές είναι δυνατό να βελτιωθούν τόσο μέσω των τεχνολογιών μετατροπής (ανακύκλωση της μαγιάς και των ενζύμων κατά την διαδικασία μετατροπής, διαχείριση και αξιοποίηση των υποπροϊόντων που προκύπτουν), όσο και μέσω των γεωργικών πρακτικών κατά την παραγωγή της πρώτης ύλης (αποδοτικότερες ποικιλίες, βελτίωση της αποδοτικότητας των λιπάνσεων και του κλάσματος ανάκτησης της λίπανσης) (Hattori and Morita, 2010). Οι καλλιέργειες κάλυψης των κουκιών, όπως έχει ήδη περιγράψει τουλάχιστον ως προς το άζωτο, ασκούν σημαντική θετική επίδραση και στα τρία χαρακτηριστικά που έχουν σχέση με τις ακολουθούμενες γεωργικές πρακτικές, αφού όχι μόνο συμβάλουν στην αύξηση της παραγωγής με χαμηλότερες δόσεις λίπανσης αλλά ταυτόχρονα βελτιώνουν και το κλάσμα ανάκτησης του εφαρμοζόμενου αζώτου.

Την ίδια στιγμή, με τις πρόσφατες τεχνολογίες παραγωγής βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς από κυτταρινούχα υλικά, αποκτούν ενδιαφέρον και τα υπολείμματα της καλλιέργειας, εκτός του σπόρου, ως πηγή πρώτης ύλης για παραγωγή βιοαιθανόλης. Το μεγαλύτερο μέρος των υπολειμμάτων της καλλιέργειας του αραβόσιτου δεν χρησιμοποιείται συνήθως και περίπου το 90% της βιομάζας τους παραμένει στο χωράφι (Kim and Dale, 2004a), και καθώς τεράστιες ποσότητες τέτοιων υπολειμμάτων παράγονται κάθε χρόνο παγκοσμίως, φαίνεται λογικό να αξιοποιηθούν για την παραγωγή βιοαιθανόλης, όπως ήδη συμβαίνει στις Η.Π.Α. (Sheehan *et al.*, 2004; Varvel *et al.*, 2008). Η απόφαση όμως της χρήσης των υπολειμμάτων των καλλιεργειών θα πρέπει να ληφθεί αφού συνυπολογιστούν μια σειρά από σημαντικές παράμετροι που έχουν σχέση με την αποδεδειγμένη συμβολή που έχουν ως προς την διατήρηση και αειφορία της γεωργικής παραγωγής, μέσω π.χ. της προστασίας που παρέχουν από την διάβρωση του εδάφους, την βελτίωση των αποθεμάτων των υπόγειων υδάτων, την διατήρηση της οργανικής ουσίας του εδάφους (Wilhelm *et al.*, 1986; Allmaras *et al.*, 2000; Clapp *et al.*, 2000; McAloon *et al.*, 2000). Η υιοθέτηση της χρήσης καλλιεργειών κάλυψης ψυχανθών θα μπορούσε εύκολα να αντισταθμίσει τα πιο πάνω οφέλη της παραμονής των γεωργικών υπολειμμάτων στο χωράφι, αφού όπως έχει παρουσιαστεί στην εισαγωγή, συμβάλουν με παρόμοιες αν όχι καλύτερες ιδιότητες στην διατήρηση και αειφορία της γεωργικής παραγωγής και θα μπορούσαν να επιτρέψουν την αξιοποίηση της βιομάζας των υπολειμμάτων για παραγωγή βιοαιθανόλης, χωρίς το ρίσκο των κινδύνων που ενέχει μια τέτοια χρήση.

Η συνήθης σύνθεση της υπέργειας βιομάζας του αραβόσιτου, όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία (Johnson and Lamp, 1966; Russell, 1986; Myers and Underwood, 1992), είναι 45% σπόρος, 27,5% βλαστός, 11,4% φύλλα, 8,2% σπάδικες και 7% φύλλα σπάδικα (περίπου 46% σπόρος και 54% φυτικά μέρη). Αν εξαιρεθεί λοιπόν ο σπόρος, η κατανομή των φυτικών κλασμάτων είναι 50,9% βλαστός, 21% φύλλα, 15,2% σπάδικες και 12,9% φύλλα σπάδικα, με καθαρό ενεργειακό περιεχόμενο περίπου 17,65 MJ kg<sup>-1</sup> (4218 Kcal kg<sup>-1</sup>) (Domalski *et al.*, 1986), το οποίο παραμένει σχετικά σταθερό ανάμεσα στα ανατομικά κλάσματα στην διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και ανάμεσα στα φυτά της καλλιέργειας, όσο αφορά στην διαδικασία καύσης, δηλαδή είναι ανεξάρτητο τόσο από το ποιο ανατομικό κλάσμα θα χρησιμοποιηθεί, όσο και από την χρονική στιγμή στην οποία συγκομίστηκε (Pordesimo *et al.*, 2005). Η παραγωγή βιοαιθανόλης από τα φυτικά υπολείμματα της

καλλιέργειας του αραβόσιτου είναι θεωρητικά περίπου 280 lt/ton (Linoj Kumar *et al.*, 2007), και το Σχ. 36 απεικονίζει την εκτιμώμενη επιπρόσθετη παραγωγή σε βιοαιθανόλη δεύτερης γενιάς για το 2008 και 2009 στις περιοχές των Τρικάλων και του Σωτηρίου αντίστοιχα, όταν εφαρμοστεί η πιο πάνω αναγωγή για τις παραγωγές σε βιομάζα αραβόσιτου που υπολογίστηκαν κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων, σε συνδυασμό με την παραγωγή βιοαιθανόλης που εκτιμήθηκε από της χρήση του σπόρου με τις κλασικές μεθόδους.



**Σχήμα 36.** Εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης (lt ha<sup>-1</sup>) από το σύνολο της βιομάζας του αραβόσιτου το 2008 (δεξιά) και το 2009 (αριστερά), για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (0,80,160 και 240 kg N ha<sup>-1</sup>), σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω). Το κατώτερο τμήμα των στηλών αντιπροσωπεύει την εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης από τους σπόρους και το ανώτερο την εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς από τα υπολείμματα της καλλιέργειας.



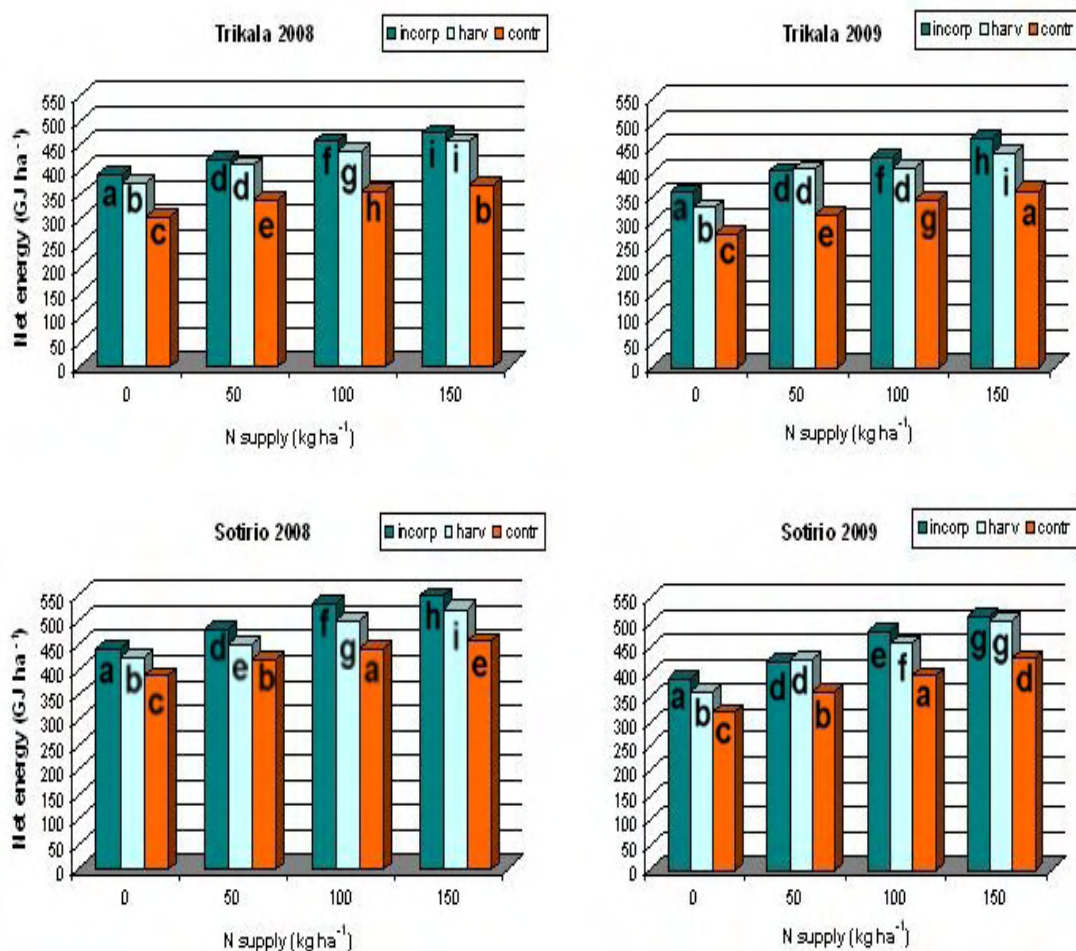
Η αξιοποίηση των φυτικών υπολειμμάτων της καλλιέργειας του αραβοσίτου για την παραγωγή βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς μπορεί να αποδώσει από 1.500 έως 2.500  $\text{lt ha}^{-1}$  επιπλέον βιοκαύσιμο, το μεγαλύτερο τμήμα των οποίων φαίνεται να είναι ανεπηρέαστο από το επίπεδο του χορηγούμενου ανόργανου αζώτου, όπως προκύπτει από το Σχ. 36. Ακόμη κι αν υποθεθεί πως οι καλλιέργειες κάλυψης ψυχανθών δεν συμβάλουν σε μεγάλη αύξηση της ποσότητας των κλασμάτων της βιομάζας εκτός του σπόρου, η υιοθέτηση τους ως γεωργική πρακτική σε συστήματα χρήσης γης για την παραγωγή βιοαιθανόλης, επιτρέπει την εκμετάλλευση των ποσοτήτων της βιομάζας αυτής, χωρίς να δημιουργούνται κίνδυνοι για το έδαφος ή το περιβάλλον γενικότερα, αφού τα γεωργικά συστήματα που συμπεριλαμβάνουν ψυχανθή τείνουν να είναι πιο σταθερά από άποψη βιωσιμότητας, ενώ ταυτόχρονα η καλλιέργεια των κουκιών μπορεί να αντισταθμίσει κάλλιστα όλα τα μειονεκτήματα που δημιουργεί η απαγωγή της φυτικής βιομάζας του αραβοσίτου από τον αγρό (Jensen *et al.*, 2010).

Εκτός από την παραγωγή βιοαιθανόλης, ο αραβόσιτος είναι η κυρίαρχη καλλιέργεια και για την παραγωγή βιοαερίου, με τις καλύτερες προοπτικές σε παραγωγικότητα ανάμεσα στα φυτά που καλλιεργούνται στην Ευρώπη (Amon *et al.*, 2007). Η οικονομική απόδοση της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου από ενεργειακά φυτά με αναερόβια πέψη, εξαρτάται από το κόστος της επένδυσης, το κόστος διαχείρισης της ενεργειακής καλλιέργειας και την βέλτιστη παραγωγή μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) (Chynoweth, 2004), η οποία θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί όχι μόνο λαμβάνοντας υπόψη την ίδια την ενεργειακή καλλιέργεια, αλλά και φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα αμειψισποράς ή καλλιεργειών κάλυψης (Walla and Schneeberger, 2005). Η αναγκαιότητα αυτή προκύπτει για την αποφυγή των κινδύνων που όπως ήδη αναφέρθηκε ενέχει η απομάκρυνση ολόκληρου του φυτού από τον αγρό κατά την συγκομιδή, καθώς για την μεγιστοποίηση της παραγωγής μεθανίου, χρησιμοποιείται η τεχνολογία συγκομιδής που αποφέρει την μέγιστη συγκομιδή βιομάζας και την μεγαλύτερη ειδική παραγωγή μεθανίου από την βιομάζα που θα αποτελέσει το υπόστρωμα προς πέψη, δηλαδή η συγκομιδή ολόκληρου του φυτού του αραβόσιτου ως ενσίρωμα. Αν και ο αραβόσιτος μπορεί να συγκομιστεί και ως τμήματα του φυτού, η αναερόβια πέψη μόνο του σπόρου, μόνο μίγματος βλαστών και σπόρου ή μονό των σπαδικών, αποδίδει 43-70% λιγότερο μεθάνιο ανά εκτάριο από ότι η πέψη ολόκληρου του φυτού (Amon *et al.*, 2007), με αποτέλεσμα η πιο αποδοτική πρακτική να είναι η συγκομιδή ολόκληρης της καλλιέργειας όταν φτάσει

στο μέγιστο της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα αλλά ταυτόχρονα να είναι ακόμη δυνατή η ενσίρωση του αραβόσιτου. Η εκτίμηση παραγωγής βιοαερίου από τον αραβόσιτο δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας μελέτης και η συγκομιδή της καλλιέργειας κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων έγινε αργότερα από το στάδιο της ενσίρωσης, οπότε δεν παρουσιάζονται στοιχεία για τα εκτιμώμενα επίπεδα παραγωγής μεθανίου. Γενικά, η οργανική ουσία (O.O.) της συγκομισμένης καλλιέργειας του αραβόσιτου προς ενσίρωση υπολογίζεται στο 94% της συγκομισμένης ξηρής βιομάζας και η αναμενόμενη παραγωγή μεθανίου σε  $0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ O.O.}$  (Gerin *et al.*, 2008), ενώ η ειδική παραγωγικότητα του μεθανίου από ενσίρωμα αραβόσιτου (30-35% O.O.) υπολογίζεται σε  $70-100 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$  ανά τόνο βιομάζας (Linke *et al.*, 1999; Steffen *et al.*, 2000; Weiland, 2003). Θα πρέπει να τονιστεί όμως για μία ακόμη φορά η συμβολή των καλλιεργειών κάλυψης ψυχανθών στην αποφυγή των περιβαλλοντικών κινδύνων και στην περίπτωση που η καλλιέργεια του αραβόσιτου προορίζεται για παραγωγή βιοαερίου, καθώς ισχύουν οι ίδιες παράμετροι που ισχύουν και για την παραγωγή βιοαιθανόλης όταν απομακρύνεται ολόκληρη η υπέργεια βιομάζα από τον αγρό.

#### 3.4.2. *Sorghum bicolor*

Το ινώδες σόργο αποτελεί ένα φυτό με μεγάλες προοπτικές για ενεργειακή παραγωγή κυρίως λόγω της ικανότητας του να παράγει σταθερά μεγάλες ποσότητες βιομάζας με μικρές απαιτήσεις σε εισροές (Dolciotti *et al.*, 1996), με βασικές χρήσεις την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας με απευθείας καύση της βιομάζας, ή την παραγωγή άλλων μορφών ενέργειας (βιοκαυσίμων, βιοαερίων) μέσω αερίων και ελαίων που μπορούν να εξαχθούν από αυτή (Monti and Venturi, 2003). Το ενεργειακό περιεχόμενο της ξηρής βιομάζας του ινώδους σόργου υπολογίζεται σε  $16,9 \text{ MJ kg}^{-1}$  (Cosentino *et al.*, 2002; Venturi and Venturi, 2003) και το Σχ. 37 απεικονίζει την εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας από την καλλιέργεια για το 2008 και 2009 στις περιοχές των Τρικάλων και του Σωτηρίου αντίστοιχα, όταν εφαρμοστεί η πιο πάνω αναγωγή για τις παραγωγές σε ξηρή βιομάζα που υπολογίστηκαν κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων. Η εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας είναι μεγαλύτερη για τα τεμάχια με μεγάλες δόσεις ανόργανης λίπανσης σε αντιστοιχία με την μεγαλύτερη παραγωγή σε βιομάζα αυτών των τεμαχίων, όπως και στην περίπτωση του αραβόσιτου και ακριβώς λόγω της μεγάλης ανταπόκρισης που παρουσιάζει και το ινώδες σόργο στο παρεχόμενο άζωτο.



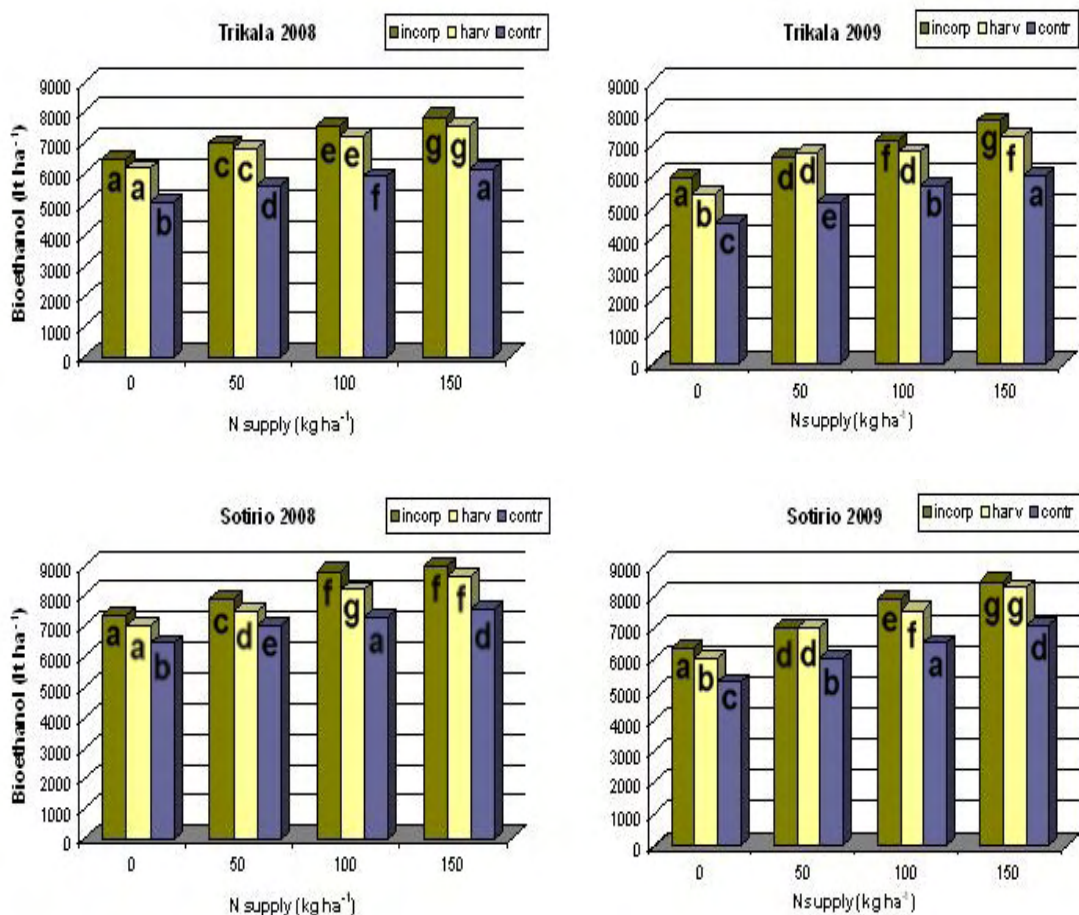
**Σχήμα 37.** Εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας (GJ ha<sup>-1</sup>) από τη βιομάζα του ινώδους σόργου το 2008 (δεξιά) και το 2009 (αριστερά), για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (0,50,100 και 150 kg N ha<sup>-1</sup>), σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).

Παρόλα αυτά, η χρήση καλλιεργειών κάλυψης με κουκιά φαίνεται να μπορεί να εξισώσει την εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας των τεμαχίων στα οποία εφαρμόστηκε πλήρης αζωτούχος ανόργανη λίπανση, με πολύ μικρότερη αν όχι καθόλου παροχή ανόργανου αζώτου. Η απόδοση σε ενέργεια μεταξύ 350-450 GJ ha<sup>-1</sup> χωρίς καθόλου ανόργανες αζωτούχες εισροές αλλά με την αξιοποίηση του αζώτου βιολογικής δέσμευσης της καλλιέργειας των κουκιών, θα πρέπει να θεωρηθεί πολύ ικανοποιητική, ειδικά αν συνεκτιμηθεί η θετική επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης όχι μόνο στην καθαρή συγκομιδή ενέργειας αλλά και στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του συστήματος. Σε αντίθεση με τον αραβόσιτο, η απόδοση του συστήματος παραγωγής ενέργειας από την βιομάζα του ινώδους σόργου είναι αρκετά υψηλή και για την ακρίβεια η υψηλότερη ανάμεσα στις ετήσιες αροτραίες καλλιέργειες, με

καθαρό ενεργειακό ισοζύγιο (net energy balance, NEB) που κυμαίνεται από 6,8 (Cosentino *et al.*, 2002) έως και 39 (Venturi and Venturi, 2003), και καθαρό ενεργειακό όφελος στις Ευρωπαϊκές χώρες από 238 (Cosentino *et al.*, 2002) έως και 494 GJ ha<sup>-1</sup> (Venturi and Venturi, 2003), με τις μεγαλύτερες τιμές των παραμέτρων εκτίμησης της απόδοσης όμως να προκύπτουν όταν η καλλιέργεια διεξάγεται σε συστήματα με μειωμένες εισροές, γεγονός που επιτρέπει την ουσιαστική αξιοποίηση των καλλιεργειών κάλυψης με ψυχανθή και ως προς αυτή την κατεύθυνση.

Παράλληλα, με την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών παραγωγής βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς από την εκμετάλλευση λιγνο-κυτταρινικών πρώτων υλών, όπως αναφέρθηκε για τα υπολείμματα της καλλιέργειας του αραβόσιτου, είναι δυνατή η αξιοποίηση της βιομάζας του ινώδους σόργου και για τέτοιες χρήσεις. Το κόστος της παραγωγής λιγνο-κυτταρινικής βιοαιθανόλης είναι σχετικά υψηλό με την χρήση των τωρινών τεχνολογιών μετατροπής, με κυριότερες προκλήσεις ως προς το τεχνολογικό κομμάτι την χαμηλή απόδοση του συστήματος και το μεγάλο κόστος της διαδικασίας της υδρόλυσης (Mohagheghi, *et al.*, 2002, Singh *et al.*, 2010). Επειδή όμως το κόστος της πρώτης ύλης ανέρχεται σε έως και 44% του συνολικού κόστους μετατροπής, μια συμφέρουσα και αποδοτική διαδικασία μετατροπής βιομάζας σε βιοαιθανόλη εξαρτάται άμεσα όχι μόνο από την γρήγορη, οικονομική και αποδοτική μετατροπή των σακχάρων των κυτταρινικών και ημικυτταρινικών κλασμάτων, αλλά και από την εύκολη, οικονομική και άφθονη παραγωγή της πρώτης ύλης (Sun and Cheng, 2002), τομείς που το ινώδες σόργο υπερτερεί σε σχέση με τις περισσότερες ετήσιες καλλιέργειες (Cosentino *et al.*, 2008; Hattori and Morita, 2010). Το Σχ. 38 απεικονίζει την εκτιμώμενη παραγωγή σε βιοαιθανόλη δεύτερης γενιάς για το 2008 και 2009 στις περιοχές των Τρικάλων και του Σωτηρίου αντίστοιχα, όταν εφαρμοστεί η πιο πάνω αναγωγή για τις παραγωγές σε βιομάζα του ινώδους σόργου που υπολογίστηκαν κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων. Πέρα από τις όποιες συγκρίσεις ως προς την εκτιμώμενη παραγωγή βιοαιθανόλης, ανάμεσα στις μεταχειρίσεις με ψυχανθή και τα επίπεδα λίπανσης με ανόργανο άζωτο, με αποτελέσματα που καταδεικνύουν την σαφή υπεροχή των πρακτικών χρήσης των καλλιεργειών κάλυψης, όπως και στις υπόλοιπες ενεργειακές χρήσεις της παραγόμενης βιομάζας, αξίζει να γίνει σύγκριση και της εκτιμώμενης παραγωγής ανάμεσα στο ινώδες σόργο και τον αραβόσιτο. Φυσικά μια τέτοια σύγκριση χρίζει διεξοδικής ανάλυσης καθώς θα πρέπει να συνυπολογιστούν όλες οι ιδιαιτερότητες που ανακύπτουν σε κάθε στάδιο των διαδικασιών μετατροπής, που δεν αποτελούν όμως αντικείμενο της

παρούσας μελέτης. Σε κάθε περίπτωση όμως, φαίνεται να είναι δυνατή η παραγωγή πολύ μεγαλύτερης ποσότητας βιοϊθανόλης από την αξιοποίηση της βιομάζας του ινώδους σόργου (Σχ.38) από την αντίστοιχη ποσότητα που μπορεί να παραχθεί από τον αραβόσιτο, ακόμη και αν χρησιμοποιηθεί και το κλάσμα των φυτικών υπολειμμάτων της καλλιέργειας (Σχ.36), ανεξάρτητα από τα επίπεδα χορήγησης οργανικών ή ανόργανων εισροών. Μία τέτοια κατεύθυνση θα μπορούσε να καθυστερήσει ως ένα βαθμό και την συνεχώς αυξανόμενη ανησυχία γύρω από την χρήση γης για παραγωγή τροφίμων και όχι ενέργειας, χωρίς σημαντικές μειώσεις για τον ενεργειακό τομέα και σε συνδυασμό με τα οφέλη των καλλιεργειών κάλυψης των ψυχανθών να επιτρέψει την αξιοποίηση υποβαθμισμένων ή ακατάλληλων εδαφών για την παραγωγή ενέργειας (Hattori and Morita, 2010).



**Σχήμα 38.** Εκτιμώμενη παραγωγή βιοϊθανόλης (t ha<sup>-1</sup>) από το σύνολο της βιομάζας του ινώδους σόργου το 2008 (δεξιά) και το 2009 (αριστερά), για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (0,50,100 και 150 kg N ha<sup>-1</sup>), σε αμμοπηλώδες έδαφος (επάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).

### 3.5. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

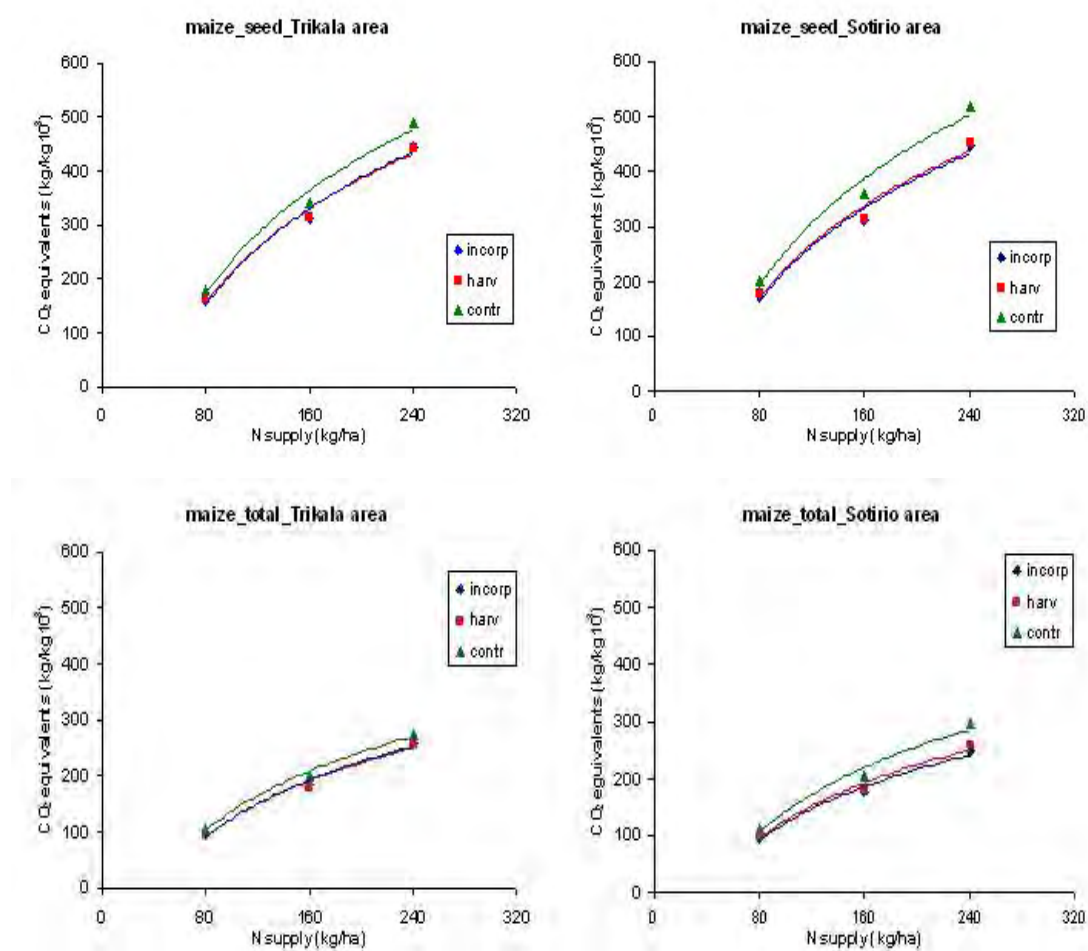
Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο η Ε.Ε. έχει δεσμευτεί να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 8% (από ότι το 1990), ανάμεσα στο 2008-2012. Η οδηγία 2009/30/EC του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (greenhouse gases, GHG) και την μείωση που προκύπτει (συγκρινόμενη με καύση ορυκτών καυσίμων) από την χρήση βιοαιθανόλης (L 140/88 EN Official Journal of the European Union 5.6.2009), η οποία για την περίπτωση της βιοαιθανόλης που παράγεται με πρώτη ύλη τον σπόρο του αραβόσιτου και τη συμβατική τεχνολογία μετατροπής ανέρχεται σε 20%, ενώ αν συνεκτιμηθεί και η μείωση από το παραγόμενο βιοαέριο, το συνολικό κέρδος ανέρχεται σε 56% λιγότερα GHG, ή 15-20 g CO<sub>2</sub>eq MJ<sup>-1</sup> λιγότερων εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Η συνεισφορά των μειώσεων των GHG που προκύπτουν από την αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου (CH<sub>4</sub>) με την συμβατική τεχνολογία είναι πού σημαντική, καθώς η παραγωγή βιοαιθανόλης πρώτης γενιάς υπολείπεται σε μείωση των GHG σε σχέση με την λιγνο-κυτταρινική βιοαιθανόλη, που προσφέρει αντίστοιχη μείωση που ξεπερνά το 60%, συγκρινόμενη με την καύση ορυκτών καυσίμων (Renewable Fuels Association, 2010). Το βιομεθάνιο που παράγεται, αν υποθεθεί πως χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε μια μονάδα συνδυασμού ενέργειας-θέρμανσης (combined heating power unit, CHP), με καθαρή παραγωγή ενέργειας από το 30% του βιομεθανίου που καταναλώνεται, εκπέμπει GHG που κυμαίνονται από 31 έως 104 kg CO<sub>2</sub> MWh<sup>-1</sup> ηλεκτρισμού, που αντιστοιχούν σε θεαματική μείωση αν συγκριθούν με τις εκπομπές των 456 kg CO<sub>2</sub> MWh<sup>-1</sup> ηλεκτρισμού των ατμο-τουρμπίνων που κινούνται με ορυκτά καύσιμα (Gerin *et al.*, 2008). Ακόμη και η απευθείας καύση της βιομάζας συνεπάγεται μείωση των GHG και μάλιστα με μεγαλύτερο όφελος συγκρινόμενη με τα υγρά βιοκαύσιμα (κυρίως αυτά της πρώτης γενιάς), καθώς για παράδειγμα η χρήση της βιομάζας του ινώδους σόργου για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας σε μονάδες CHP μπορεί να αποφέρει μείωση κατά 25,1 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ανά έτος που δεν θα καταλήξουν στην ατμόσφαιρα (Cosentino *et al.*, 2008).

Είναι σαφές βάση των πιο πάνω στοιχείων, πως η χρήση της βιομάζας των δύο καλλιεργειών για ενεργειακούς σκοπούς, ανεξάρτητα από το είδος της παραγόμενης ενέργειας ή της τεχνολογίας μετατροπής, οδηγεί με μείωση των GHG. Θα είχε ενδιαφέρον να ερευνηθεί αν η υιοθέτηση των καλλιεργειών κάλυψης με

κουκιά ως γεωργική πρακτική μειωμένων εισροών, μπορεί να συμβάλει σε ακόμη μεγαλύτερη μείωση των GHG που εκπέμπονται κατά την διαδικασία παραγωγής της πρώτης ύλης. Οι εκπομπές όμως των GHG που σχετίζονται με την γεωργία, προκύπτουν από διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και η αποτίμηση των διαφόρων συστημάτων και γεωργικών πρακτικών απαιτεί διεξοδική ανάλυση των εκπομπών αυτών, ώστε να καλύπτεται ολόκληρη η παραγωγική διαδικασία και να συνυπολογίζεται ο κύκλος ζωής όλων γεωργικών εισροών. Παρόλα αυτά, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης και σε μια προσπάθεια να καταστεί ορατή η συμβολή των καλλιεργειών κάλυψης ψυχανθών στην μείωση των GHG στο στάδιο της παραγωγής της πρώτης ύλης (βιομάζας), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των 17,45 kg CO<sub>2</sub> equivalents ανά kg αζώτου (N) του συνθετικού αζωτούχου λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων (Adger *et al.*, 1997; Flessa *et al.*, 2002), έτσι ώστε να υπολογιστεί η αναλογία των kg CO<sub>2</sub> equivalents ανά kg 10<sup>3</sup> παραγόμενης βιομάζας. Ο μέσος όρος των 17,45 kg CO<sub>2</sub> eq kg<sup>-1</sup> N, είναι αρκετά υψηλότερος από τον μέσο όρο εκπομπών GHG κατά την παραγωγή και μόνο 1 kg συνθετικού αζωτούχου λιπάσματος (5,5 kg CO<sub>2</sub> eq) και προκύπτει όταν αθροιστούν οι εκπομπές της διαδικασίας παραγωγής του λιπάσματος με τις εκπομπές του εδάφους στο οποίο εφαρμόζεται το λίπασμα, καθώς 70% περίπου των συνολικών εκπομπών προέρχονται από το έδαφος (Bouwman, 1996). Στην εκτίμηση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του μέσου όρου που χρησιμοποιήθηκε συμπεριλαμβάνονται οι ακόλουθες πηγές εκπομπής αερίων: (1) εκπομπές N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub> του εδάφους, (2) εκπομπές N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub> των συνθετικών N λιπασμάτων και της ενσωμάτωσης ή αποδόμησης των φυτικών υπολειμμάτων, (3) εκπομπές CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub> που σχετίζονται με την παραγωγή του συνθετικού λιπάσματος και (4) εκπομπές CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub> που σχετίζονται με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων (Flessa *et al.*, 2002). Εκπομπές που σχετίζονται με άλλες γεωργικές εισροές, όπως σπόροι ή αγροχημικά δεν συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση καθώς παραμένουν κοινές σε όλες τις μεταχειρίσεις (Kramer *et al.*, 1999), ούτε εκπομπές που προκύπτουν κατά την επένδυση γεωργικού κεφαλαίου (μηχανήματα, κτήρια) ή έμμεσες εκπομπές N<sub>2</sub>O (διήθηση NO<sub>3</sub> – αεριοποίηση NH<sub>3</sub>), ενώ ισχύει η παραδοχή πως δεν υπάρχει μεταβολή των αποθεμάτων οργανικού άνθρακα του εδάφους.

Η εκτίμηση των συνολικών εκπομπών ισοδυνάμων του CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> equivalents) του Σχήματος 39 προκύπτει ως η αναλογία της παραγωγής 10<sup>3</sup> kg ξηρής βιομάζας ανά kg N συνθετικού λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της, όταν

το kg N συνθετικού λιπάσματος μετατραπεί σε kg CO<sub>2</sub> equivalents βάση του μέσου όρου που προαναφέρθηκε, για το τρίτο έτος διεξαγωγής των πειραμάτων, κατά το οποίο η πιθανότητα ύπαρξης υπολειμματικού N στο έδαφος από προηγούμενες εφαρμογές έχει ελαχιστοποιηθεί.



**Σχήμα 39.** Εκτιμώμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (kg CO<sub>2</sub> eq/10<sup>3</sup> kg Ξ.Ο.) από το σπόρο (επάνω) και από το σύνολο της βιομάζας (κάτω) του αραβόσιτου το 2009, για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (δεξιά) και σε αργιλώδες έδαφος (αριστερά).

Από τα αποτελέσματα φαίνεται καθαρά πως οι συνολικές εκπομπές GHG είναι μεγαλύτερες για τη μονοκαλλιέργεια από ότι για τα συστήματα με καλλιέργειες κάλυψης κουκιών, ανεξάρτητα από το είδος της καλλιέργειας, τον εδαφικό τύπο ή το επίπεδο αζωτούχου λίπανσης, εμφανίζουν όμως δραματική αύξηση με αύξηση του επιπέδου λίπανσης ακόμη και στα συστήματα με καλλιέργειες κάλυψης κουκιών. Για

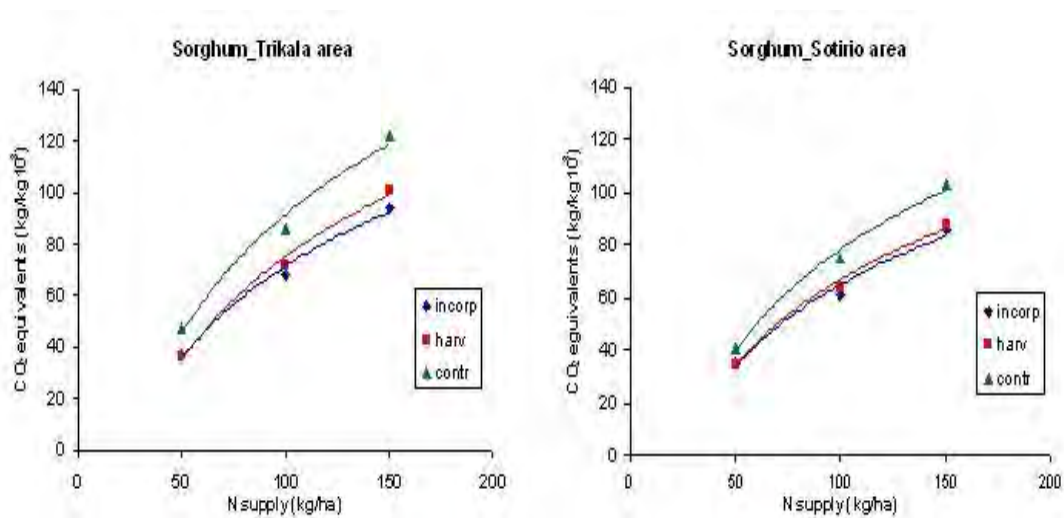


μέτρια λίπανση στον αραβόσιτο με  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  οι εκτιμώμενες συνολικές εκπομπές είναι από 158,64 έως 177,55  $\text{kg CO}_2\text{eq}/10^3\text{kg Ξ.Ο.}$  για τα συστήματα με καλλιέργειες κάλυψης κουκιών και από 180,58 έως 200,76  $\text{kg CO}_2\text{eq}/10^3\text{kg Ξ.Ο.}$  για τη μονοκαλλιέργεια, όταν γίνεται χρήση μόνο του σπόρου για την παραγωγή βιοαιθανόλης, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για λίπανση με  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$  εκτινάσσονται σε 441,31 έως 452,59 με καλλιέργεια κάλυψης και 489,44 έως 519,02 για τη μονοκαλλιέργεια, καταδεικνύοντας την σαφή υπεροχή των συστημάτων με καλλιέργειες κάλυψης κουκιών τόσο στην μείωση των συνολικών εκπομπών για ίδιο επίπεδο λίπανσης, όσο και στην έμμεση μείωση των εκπομπών που προκύπτει από την δυνατότητα μείωσης της χορηγούμενης ανόργανης λίπανσης χωρίς ελάττωση της παραγωγής. Αν και εμφανίζονται αντίστοιχες διαφορές ανάμεσα στις εκτιμώμενες εκπομπές GHG των μεταχειρίσεων και των επιπέδων λίπανσης όταν γίνεται αξιοποίηση ολόκληρης της βιομάζας του αραβόσιτου για παραγωγή ενέργειας (Σχ.39), ο συνολικός όγκος των εκπομπών ανά  $10^3 \text{ kg Ξ.Ο.}$  μειώνεται περίπου κατά 50% σε κάθε περίπτωση, καθιστώντας την πρακτική αυτή φιλικότερη προς το περιβάλλον ως προς τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με την προϋπόθεση της χρήσης χειμερινών καλλιεργειών κάλυψης ώστε να αποφεύγονται οι κίνδυνοι για το έδαφος και το περιβάλλον που δημιουργούνται από την απομάκρυνση των φυτικών υπολειμμάτων από τον αγρό, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν και για το ινώδες σόργο (Σχ. 40) με τη μονοκαλλιέργεια να οδηγεί σε περισσότερες εκπομπές GHG από ότι τα συστήματα με καλλιέργειες κάλυψης ψυχανθών, με μικρότερες διαφορές όμως ανάμεσα στα επίπεδα λίπανσης, καθώς οι δόσεις που εφαρμόστηκαν ήταν και αυτές μικρότερες από τις αντίστοιχες στον αραβόσιτο (το σόργο γενικά μπορεί να χαρακτηριστεί φιλικότερο από τον αραβόσιτο προς το περιβάλλον από αγρονομική άποψη, λόγω μικρότερων απαιτήσεων σε εισροές (Dalianis *et al.*, 1994). Για λίπανση με  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  οι εκτιμώμενες συνολικές εκπομπές  $\text{CO}_2 \text{ eq}$  είναι  $47,18 \text{ kg}/10^3\text{kg Ξ.Ο.}$  για τα συστήματα με καλλιέργειες κάλυψης κουκιών και  $87 \text{ kg}/10^3 \text{ kg Ξ.Ο.}$ , ενώ οι αντίστοιχες τιμές για λίπανση με  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  ανέρχονται σε 86,05 και  $121,74 \text{ kg}/10^3\text{kg Ξ.Ο.}$  Οι τιμές αυτές αν και επιβεβαιώνουν την συμβολή των καλλιεργειών κάλυψης με κουκιά στην άμεση και έμμεση μείωση των GHG και για το ινώδες σόργο, είναι και κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες που υπολογίστηκαν για τον αραβόσιτο ακόμη και στην περίπτωση που γίνεται χρήση ολόκληρης της βιομάζας, υποδηλώνοντας πως το ινώδες σόργο υπερτερεί και στον τομέα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, όχι

μόνο λόγω του μεγαλύτερου κέρδους σε GHG που αποφέρει ως στερεό βιοκαύσιμο, αλλά και λόγω του μεγαλύτερου κέρδους κατά την διαδικασία παραγωγής της βιομάζας σε σχέση με τον αραβόσιτο.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί πως δεν παρουσιάστηκαν διαφορές ανάμεσα στις δύο πρακτικές της ενσωμάτωσης στο έδαφος και της συγκομιδής των καλλιεργειών κάλυψης ως προς τις εκτιμημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οπότε θα μπορούσε να θεωρηθεί πως είναι το ίδιο αποτελεσματικές ως προς την συνεισφορά τους στην μείωση των GHG. Όπως αναφέρθηκε ήδη όμως, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα πλαίσια της παρούσας μελέτης αποτελούν μία απλή εκτίμηση των συνολικών εκπομπών καθώς η αποτίμηση των διαφόρων συστημάτων και γεωργικών πρακτικών απαιτεί διεξοδική ανάλυση των εκπομπών αυτών, ώστε να καλύπτεται ολόκληρη η παραγωγική διαδικασία και να συνυπολογίζεται ο κύκλος ζωής όλων γεωργικών εισροών.



**Σχήμα 40.** Εκτιμώμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (kg CO<sub>2</sub> eq/10<sup>3</sup> kg Ξ.Ο.) της βιομάζας του ινώδους σόργου το 2009, για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (δεξιά) και σε αργιλώδες έδαφος (αριστερά).

### 3.6. Δομή και διηθητικότητα του εδάφους.

Ο υπολογισμός του δείκτη εδαφικής αστάθειας  $\beta$ , έγινε με δειγματοληψίες κατά τον ίδιο μήνα κάθε ενός από τα τρία έτη διεξαγωγής των πειραμάτων, καθώς έχει παρατηρηθεί πως εμφανίζει έντονη εποχική διακύμανση, και συγκεκριμένα αυξάνει από τον Απρίλιο ως τον Ιούλιο, για να αρχίσει να μειώνεται στην συνέχεια μετά τον Σεπτέμβριο (Valmis *et al.*, 2005). Στον Πίνακα XX συνοψίζονται οι τιμές του δείκτη  $\beta$ , όπως υπολογίστηκαν για τις δύο μεταχειρίσεις με καλλιέργειες κάλυψης με κουκιά και την μονοκαλλιέργεια, καθώς και οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ( $P < 0,05$ ) για κάθε μία δειγματοληψία και για τους δύο εδαφικούς τύπους, ενώ στο Σχ. 41 παρουσιάζεται διαγραμματικά η εποχική διακύμανσή του  $\beta$  και η επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης. Ο δείκτης  $\beta$  λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, με το 0 να υποδηλώνει πλήρως σταθερό έδαφος και το 1 να υποδηλώνει πλήρως ασταθές.

**Πίνακας XX.** Δείκτης εδαφικής αστάθειας  $\beta$  για τις τρεις μεταχειρίσεις με καλλιέργεια κάλυψης κουκιών (I= ενσωμάτωση στο έδαφος, H= συγκομισμένη καλλιέργεια και C= μονοκαλλιέργεια), σε αμμοπηλώδες και αργιλώδες έδαφος.

| Τρίκαλα (αμμοπηλώδες έδαφος) |       |       |       |                  | Σωτήριο (αργιλώδες έδαφος) |       |       |                 |
|------------------------------|-------|-------|-------|------------------|----------------------------|-------|-------|-----------------|
| $0 \leq \beta \leq 1$        |       |       |       |                  |                            |       |       |                 |
| date                         | I     | H     | C     | LSD <sup>a</sup> | I                          | H     | C     | LSD             |
| 11/07                        | 0,652 | 0,623 | 0,713 | 0,029*           | 0,367                      | 0,367 | 0,367 | ns <sup>b</sup> |
| 6/08                         | 0,448 | 0,369 | 0,556 | 0,787*           | 0,327                      | 0,266 | 0,203 | 0,620*          |
| 11/08                        | 0,647 | 0,611 | 0,727 | 0,036*           | 0,405                      | 0,379 | 0,353 | 0,253*          |
| 6/09                         | 0,488 | 0,407 | 0,575 | 0,081*           | 0,320                      | 0,248 | 0,201 | 0,473*          |
| 11/09                        | 0,654 | 0,605 | 0,723 | 0,493*           | 0,412                      | 0,382 | 0,362 | 0,300*          |
| M.O.                         | 0,575 | 0,529 | 0,643 | 0,067*           | 0,366                      | 0,328 | 0,297 | 0,691*          |

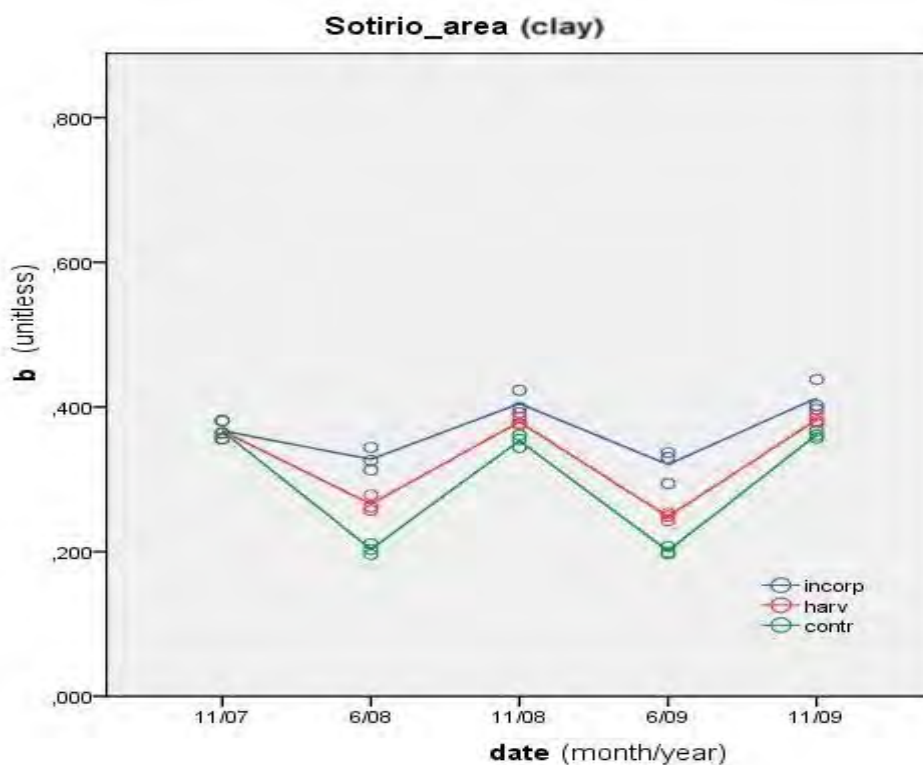
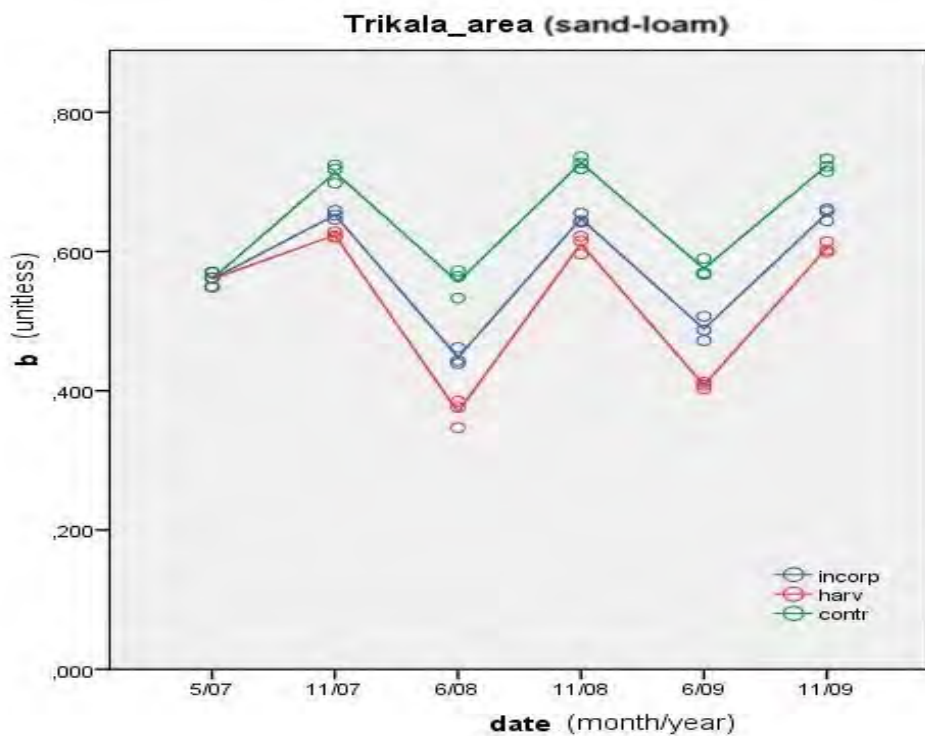
<sup>a</sup>LSD: least significant deference σε  $P < 0,05$ (\*)

<sup>b</sup>ns: no significant (μη σημαντική)

Στο αμμοπηλώδες έδαφος τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την σημαντική επίδραση ( $P < 0,05$ ) των καλλιεργειών κάλυψης με ψυχανθή, από το πρώτο κιάλας έτος των πειραμάτων (πρώτος κύκλος εναλλαγής των καλλιεργειών), όπου οι τιμές του δείκτη  $\beta$  για τα τεμάχια με χειμερινή καλλιέργεια παρουσίασαν μείωση σε σχέση με τα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας, υποδηλώνοντας σταθερότερη εδαφική δομή. Οι διαφορές αυτές διατηρήθηκαν καθ' όλη την διάρκεια των τριών ετών και συμφωνούν με αντίστοιχες μελέτες ως προς την άμεση επίδραση της εναλλαγής των καλλιεργειών στην δομή του εδάφους (π.χ. Chan and Heenan, 1996), αλλά και ως προς την εποχική

διακύμανση (Valmis *et al.*, 2005), με τον δείκτη  $\beta$  να καταγράφει μικρότερες τιμές κατά τις μετρήσεις στις αρχές του καλοκαιριού από ότι στο τέλος του φθινοπώρου (Σχ.41). Η βελτίωση στην σταθερότητα της εδαφικής δομής είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στην βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας της οργανικής ουσίας του εδάφους μέσω της καλλιέργειας των ψυχανθών, καθώς η μικροβιολογία του εδάφους (η οποία συνδέεται στενά με την εδαφική οργανική ουσία) αποτελεί σημαντικό παράγοντα βελτίωσης της εδαφικής δομής (Lynch, 1981; Lynch and Bragg, 1985). Ο μικροβιακός πληθυσμός που αναπτύσσεται μετά την επιπρόσθετη παροχή οργανικής ουσίας είναι αυτός που καθορίζει τον σχηματισμό και την σταθεροποίηση των αδρανών υλικών (Metzger *et al.*, 1987; Diaz *et al.*, 1994) και φαίνεται να υπάρχει ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στις φυσικές ιδιότητες και την βιοχημεία του εδάφους (Carpiel *et al.*, 1990). Η οργανική ουσία θεωρείται πως σταθεροποιεί τα αδρανή υλικά μέσα από αύξηση της συνοχής μεταξύ τους, είτε λόγω συσσωματωμάτων που δημιουργούν τα ορυκτά σωματίδια με την βοήθεια οργανικών πολυμερών, είτε λόγω φυσικών συσσωματωμάτων που δημιουργούνται από λεπτά ριζίδια και μύκητες (Chenu *et al.*, 2000). Ειδικά για την πρακτική της ενσωμάτωσης της καλλιέργειας των κουκιών στο έδαφος, η σχέση μεταξύ της βελτίωσης της εδαφικής σταθερότητας και της αποκατάστασης των επιπέδων της οργανικής ουσίας στο έδαφος είναι πολύ ισχυρή, καθώς επηρεάζεται όχι μόνο από την ποσότητα αλλά και τη φύση της οργανικής ουσίας (Dinel *et al.*, 1992) και όπως ήδη αναφέρθηκε η σταθερότητα των αδρανών του εδάφους συνδέεται στενά με την προώθηση της εδαφικής μικροβιακής δραστηριότητας και κυρίως του μυκητολογικού πληθυσμού (Roldan *et al.*, 1994), οπότε ο βαθμός επηρεασμού σχετίζεται και με την χημικές ιδιότητες της οργανικής πηγής. Έτσι στην περίπτωση της ενσωμάτωσης των κουκιών που αποτελούν οργανική πηγή που αποδομείται εύκολα και γρήγορα (Kirchmann and Bergqvist, 1989), φαίνεται λογική η προώθηση της αύξησης του μυκητολογικού πληθυσμού, με συνέπεια την αποτελεσματικότερη σταθεροποίηση της εδαφικής δομής, παράγοντα με ιδιαίτερη κρισιμότητα σε αμμώδη εδάφη που διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο επιφανειακής διάβρωσης (Danalatos, 1993).

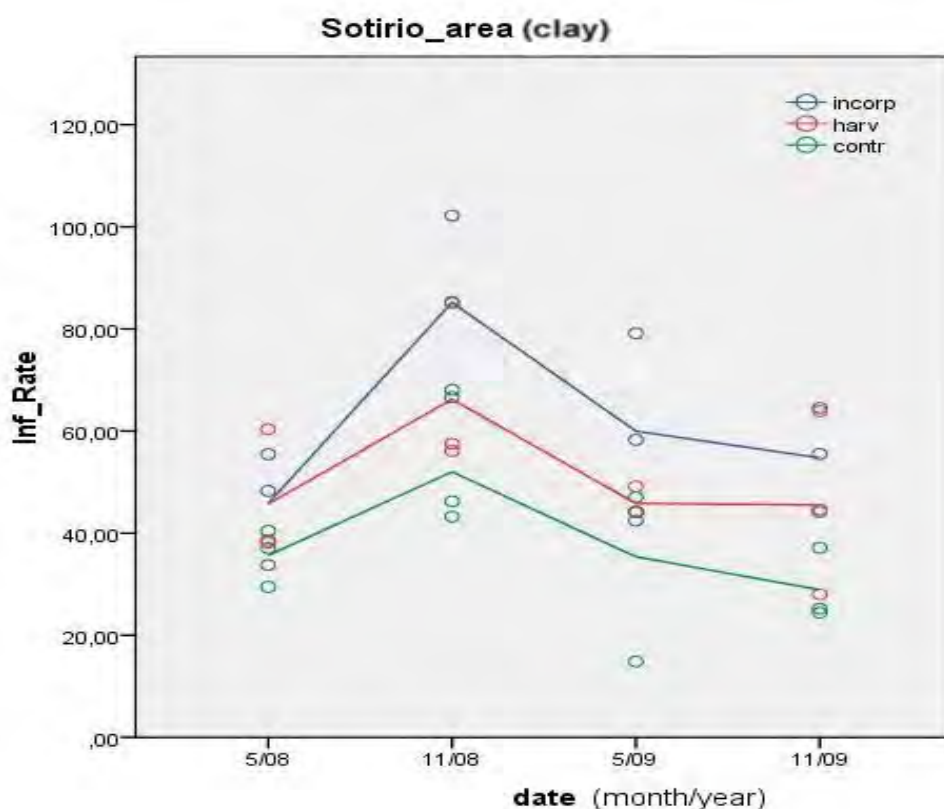
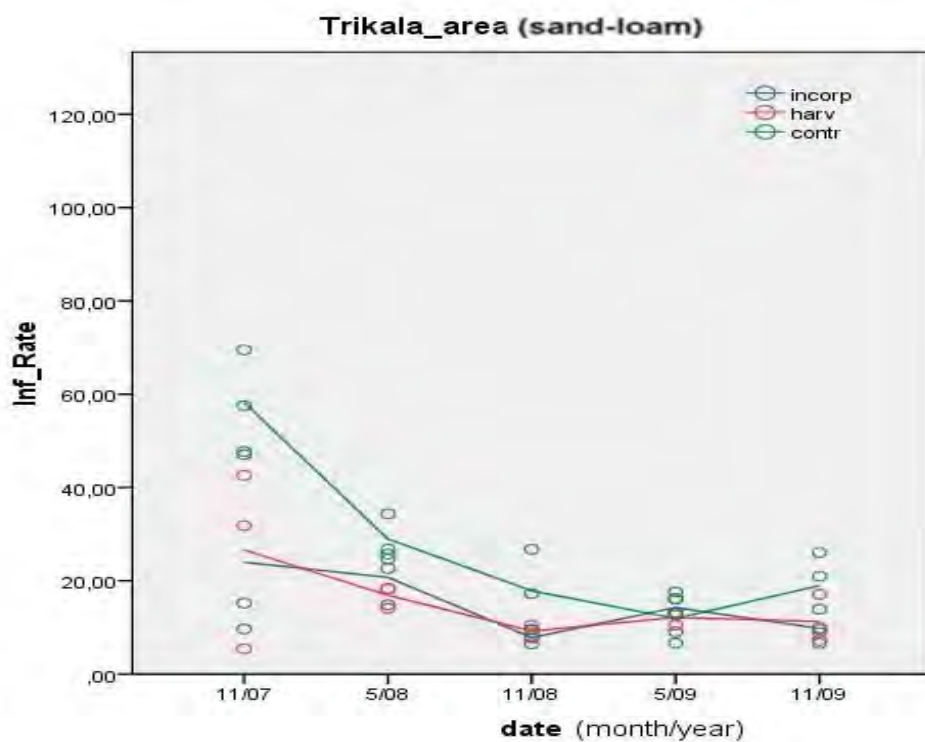
Στο αργιλώδες έδαφος, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχ. 41, η επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης στην σταθερότητα της εδαφικής δομής ήταν ακριβώς η αντίθετη από ότι στο αμμοπηλώδες έδαφος, με τις τιμές του δείκτη  $\beta$  να εμφανίζουν αύξηση στα τεμάχια με καλλιέργεια κουκιών, υποδηλώνοντας χαλάρωση στην σταθερότητα της εδαφικής δομής.



**Σχήμα 41.** Εποχική διακύμανση του δείκτη  $\beta$  για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (πάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).

Η επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης και στο αργιλώδες έδαφος ήταν σημαντική ( $P < 0,05$ ) και παρά την εποχική διακύμανση που εμφάνισε, διατηρήθηκε ως το τέλος των πειραμάτων, όπως και για το αμμοπηλώδες έδαφος. Το γεγονός της αποσταθεροποίησης της εδαφικής δομής στα τεμάχια με καλλιέργεια κουκιών, ίσως οφείλεται στην επίδραση βιοτικών παραγόντων ή της αυξημένης εδαφοκατεργασίας, καθώς τόσο βιοτικές όσο και αβιοτικές διαδικασίες εμπλέκονται στον σχηματισμό της εδαφικής δομής, με τα φυτά να την τροποποιούν επηρεάζοντας τον σχηματισμό αλλά και την σταθεροποίησή της (Harris *et al.*, 1966), με διαφορετικές ιδιότητες για κάθε φυτό και διαφορετική έκφρασή τους σε κάθε εδαφικό τύπο. Στις ιδιότητες αυτές περιλαμβάνεται η ικανότητα των φυτών να παράγουν σταθεροποιητικά υλικά στην ριζόσφαιρα (Reid and Goss, 1981), αλλά και η διαφορετική ανάπτυξη της υπόγειας ριζικής δικτύωσης (Tisdall and Oades, 1979), που μπορεί να αποσταθεροποιήσει την εδαφική δομή τροποποιώντας το pH και την οξειδοαναγωγή (Oades, 1984), αυξάνοντας την παραγωγή οργανικών οξέων στην ριζόσφαιρα (Reid *et al.*, 1982), ή ακόμα με φυσικό κατακερματισμό των αδρανών μέσω της διείσδυσης των ριζικών τριγυδίων (Caron *et al.*, 1992). Από την άλλη πλευρά, η θετική επίδραση της επιπρόσθετης παροχής οργανικής ουσίας από τα ψυχανθή στην σταθερότητα της εδαφικής δομής που περιγράφηκε στην περίπτωση του αμμοπηλώδες εδάφους, έχει καταγραφεί και σε εδάφη βαριάς μηχανικής σύστασης με τα θετικά αποτελέσματα όμως να είναι βραχυπρόθεσμα και να υποχωρούν σύντομα (Martin *et al.*, 1955), επιτρέποντας την υπέρσχυση της επίδρασης της ριζικής ανάπτυξης (Forster, 1990), με τελική έκφραση την χαλάρωση της εδαφικής δομής.

Οι μεταβολές στην σταθερότητα της εδαφικής δομής που παρατηρήθηκαν και στους δύο εδαφικούς τύπους, σε συνδυασμό με την γενικότερη επίδραση που ασκεί η εναλλαγή των καλλιεργειών και ειδικά τα ψυχανθή στο έδαφος, φαίνεται να επηρέασαν και την διηθητικότητα του εδάφους. Όπως φαίνεται στον Πίνακα XXI και στο Σχ. 42, οι διαφορές στον ρυθμό διήθησης (Infiltration rate) ανάμεσα στα τεμάχια με καλλιέργεια κάλυψης και τα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας ήταν σημαντικές ( $P < 0,05$ ) και στους δύο εδαφικούς τύπους, με αντίθετη όμως επίδραση, όπως και στην περίπτωση του δείκτη  $\beta$ . Στο αμμοπηλώδες έδαφος, ο ρυθμός διήθησης παρουσίασε μείωση από  $27,18 \text{ cm h}^{-1}$  στα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας σε  $15,23-15,32 \text{ cm h}^{-1}$  στα τεμάχια με καλλιέργεια κουκιών, ενώ αντίθετα στο αργιλώδες έδαφος παρουσίασε αύξηση από  $37,98 \text{ cm h}^{-1}$  στα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας σε  $50,81-61,43 \text{ cm h}^{-1}$  στα τεμάχια με καλλιέργεια κουκιών.



**Σχήμα 42.** Μεταβολή του ρυθμού διήθησης ( $\text{Inf\_rate}$ ,  $\text{cm h}^{-1}$ ) για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= χλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (πάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).

Οι μεγαλύτερες τιμές του ρυθμού διήθησης στο αργιλώδες έδαφος από ότι στο αμμοπηλώδες, μπορεί να έρχονται σε αντίθεση με τις αναμενόμενες τιμές βάση της βιβλιογραφίας, οφείλονται όμως στα διαφορετικά επίπεδα της υγρασίας του κάθε εδάφους κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων, τα οποία επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν με την χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου του διηθητικούμετρου διπλού δακτυλίου (Youngs, 2000). Για τον λόγω αυτό εξάλλου δεν γίνεται σύγκριση ανάμεσα στους ρυθμούς διήθησης των δύο εδαφικών τύπων, αλλά μόνο ανάμεσα στις διαφορές που προέκυψαν για τις μεταχειρίσεις με ψυχανθή στο κάθε έδαφος και την κάθε δειγματοληψία χωριστά. Η επίδραση που ασκήθηκε από τις καλλιέργειες κάλυψης είναι η βέλτιστη που θα μπορούσε, ακριβώς εξαιτίας της διαφορετικής υδρολογικής συμπεριφοράς του κάθε ενός από τα δύο εδάφη, αφού στην περίπτωση του αμμοπηλώδους εδάφους είναι επιθυμητή η μείωση του ρυθμού διήθησης ώστε να γίνεται καλύτερη αξιοποίηση του νερού της βροχής και των αρδεύσεων και ταυτόχρονα να αποφεύγεται ο κίνδυνος έκπλυσης των λιπασμάτων και των αγροχημικών σε βαθύτερα στρώματα που μπορεί να μολύνουν τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (Sequi and Vittori-Antisari, 1989), ενώ αντίθετα στην περίπτωση του αργιλώδους εδάφους είναι επιθυμητή η αύξηση του ρυθμού διήθησης, ώστε να διευκολύνεται η κίνηση του νερού στα βαθύτερα στρώματα της ριζόσφαιρας και να αποφεύγεται ο κίνδυνος της επιφανειακής απορροής και διάβρωσης (Sumner, 1992).

**Πίνακας XXI.** Υδραυλική αγωγιμότητα ( $K_{tr}$ ), απορροφητικότητα (S) και ρυθμός διήθησης (Inf. Rate), για τις τρεις μεταχειρίσεις με καλλιέργεια κάλυψης κουκιών (I= ενσωμάτωση στο έδαφος, H= συγκομισμένη καλλιέργεια και C= μονοκαλλιέργεια), σε αμμοπηλώδες και αργιλώδες έδαφος.

| Date  | Τρίκαλα (αμμοπηλώδες έδαφος)     |      |      |                  |                             |      |      |                  |                                 |       |       |                  |
|-------|----------------------------------|------|------|------------------|-----------------------------|------|------|------------------|---------------------------------|-------|-------|------------------|
|       | $K_{tr}$ (cm min <sup>-1</sup> ) |      |      |                  | S (cm min <sup>-1/2</sup> ) |      |      |                  | Inf. Rate (cm h <sup>-1</sup> ) |       |       |                  |
|       | I                                | H    | C    | LSD <sup>a</sup> | I                           | H    | C    | LSD <sup>a</sup> | I                               | H     | C     | LSD <sup>a</sup> |
| 11/07 | 0,21                             | 0,21 | 0,58 | 0,36*            | 0,74                        | 0,89 | 1,57 | ns <sup>b</sup>  | 23,97                           | 26,61 | 58,23 | ns <sup>b</sup>  |
| 5/08  | 0,03                             | 0,08 | 0,19 | 0,15*            | 1,14                        | 0,70 | 0,28 | ns <sup>b</sup>  | 20,74                           | 16,89 | 28,94 | 12,04*           |
| 11/08 | 0,03                             | 0,07 | 0,24 | ns <sup>b</sup>  | 0,33                        | 0,30 | 0,35 | ns <sup>b</sup>  | 7,82                            | 9,23  | 17,85 | ns <sup>b</sup>  |
| 5/09  | 0,01                             | 0,00 | 0,70 | 0,70*            | 0,56                        | 0,63 | 1,91 | ns <sup>b</sup>  | 14,25                           | 12,13 | 11,91 | 2,34*            |
| 11/09 | 0,04                             | 0,06 | 0,20 | 0,16*            | 0,43                        | 0,46 | 0,66 | ns <sup>b</sup>  | 9,81                            | 11,27 | 18,97 | 7,70*            |
| M.O.  | 0,06                             | 0,08 | 0,25 | 0,17*            | 0,64                        | 0,60 | 1,11 | 0,47*            | 15,32                           | 15,23 | 27,18 | 11,86*           |

<sup>a</sup> LSD: least significant deference σε P<0,05(\*)

<sup>b</sup> ns: no significant (μη σημαντική)



**Πίνακας XXI.(συνέχεια)**

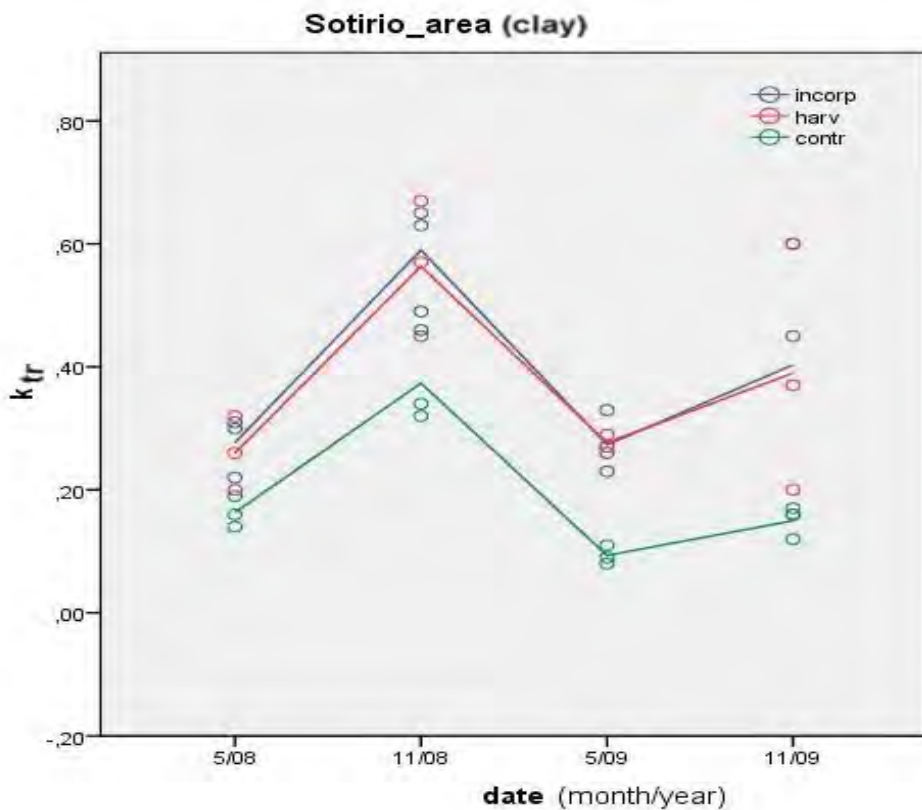
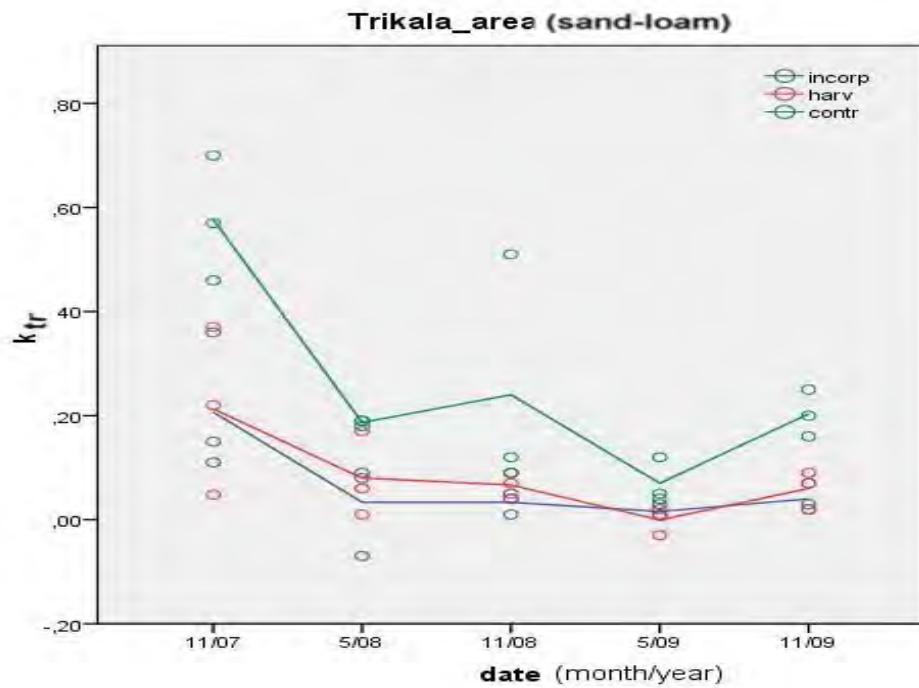
| Date  | K <sub>tr</sub> (cm min <sup>-1</sup> ) |      |      |                  | Σωτήριο (αργιλώδες έδαφος) |      |      |                  | Inf. Rate (cm h <sup>-1</sup> ) |       |       |                  |
|-------|---|------|------|------------------|----------------------------|------|------|------------------|---------------------------------|-------|-------|------------------|
|       | I                                       | H    | C    | LSD <sup>a</sup> | I                          | H    | C    | LSD <sup>a</sup> | I                               | H     | C     | LSD <sup>a</sup> |
| 5/08  | 0,28                                    | 0,26 | 0,16 | 0,11*            | 1,86                       | 1,83 | 1,62 | ns <sup>b</sup>  | 45,82                           | 45,70 | 35,64 | ns <sup>b</sup>  |
| 11/08 | 0,59                                    | 0,56 | 0,37 | 0,19*            | 3,10                       | 2,10 | 1,73 | ns <sup>b</sup>  | 85,18                           | 66,23 | 52,02 | 33,16*           |
| 5/09  | 0,27                                    | 0,27 | 0,09 | 0,18*            | 2,13                       | 1,76 | 1,82 | ns <sup>b</sup>  | 59,96                           | 45,81 | 35,36 | ns <sup>b</sup>  |
| 11/09 | 0,40                                    | 0,39 | 0,31 | ns <sup>b</sup>  | 1,94                       | 1,39 | 1,21 | ns <sup>b</sup>  | 54,74                           | 45,50 | 28,91 | 25,83*           |
| M.O.  | 0,39                                    | 0,37 | 0,19 | 0,18*            | 2,26                       | 1,77 | 1,61 | 0,65*            | 61,43                           | 50,81 | 37,98 | 23,44*           |

<sup>a</sup> LSD: least significant deference σε P<0,05(\*)

<sup>b</sup> ns: no significant (μη σημαντική)

Η διαφορετική υδρολογική συμπεριφορά των δύο εδαφικών τύπων απέναντι στην εναλλαγή των καλλιεργειών με ψυχανθή, θα μπορούσε να αποδοθεί εν μέρει στην διαφορετική επίδραση που ασκεί η προσθήκη οργανικής ουσίας, το είδος, η ποσότητα και η αποδόμησή της, στην σταθερότητα της εδαφικής δομής και στην διηθητική ικανότητα του κάθε εδαφικού τύπου (Angulo-Jaramillo *et al.*, 2000). Υλικά που είναι πλούσια σε αζωτούχο περιεχόμενο τείνουν να μειώνουν τον ρυθμό διήθησης (Williams and Doneen, 1960), και ειδικά σε κλίματα με υψηλές θερμοκρασίες και επαρκή υγρασία η μείωση αυτή γίνεται με μεγάλο ρυθμό, καθώς το υψηλό αζωτούχο περιεχόμενο σημαίνει υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα που αποδομούνται ταχύτατα (σε αντίθεση με τα υλικά με χαμηλό περιεχόμενο N που αποτελούνται κυρίως από λιγνίνη και κυτταρίνη που αποδομείται δύσκολα) (Vallis and Jones, 1973). Στην περίπτωση της αξιοποίησης της καλλιέργειας των κουκιών ως χλωρή λίπανση, φαίνεται πως η μηχανική σύσταση του αμμοπηλώδους εδάφους με τις εγγενείς ιδιότητες που συνεπάγεται (καλύτερος αερισμός, κίνηση νερού κλπ), σε συνδιασμό με την αυξημένη εδαφοκατεργασία λόγω των καλλιεργειών κάλυψης, ευνοεί την αποδόμηση της οργανικής ουσίας με μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι συμβαίνει στο αργιλώδες έδαφος, σε βαθμό που να υπερισχύει των θετικών επιδράσεων της παροχής οργανικής ουσίας και να οδηγεί τελικά σε μείωση του ρυθμού διήθησης στον συγκεκριμένο εδαφικό τύπο (Krantz *et al.*, 1968).

Εκτός από τον ρυθμό διήθησης, στον Πίνακα XXI παρουσιάζονται οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας της ζώνης μετάδοσης του νερού (hydraulic conductivity of transiting zone, K<sub>tr</sub>) που αποτιμά την υδατοπερατότητα (permeability, P) και οι τιμές της απορροφητικότητας (sorptivity, S), που υπολογίστηκαν βάση της εξίσωσης  $I = S t^{-1/2} + K_{tr} t + d$  (για τις εξισώσεις και τα διαγράμματα κάθε μέτρησης βλ. Παράρτημα), για κάθε δειγματοληψία στους δύο εδαφικούς τύπους, καθώς και οι μεταξύ τους συγκρίσεις ως προς την επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης.



**Σχήμα 43.** Μεταβολή υδραυλικής αγωγιμότητας της ζώνης μετάδοσης του νερού ( $K_{tr}$ ,  $\text{cm min}^{-1}$ ) για τις τρεις προμεταχειρίσεις με ψυχανθές (Incorp= γλωρή λίπανση, Harv= καλλιέργεια κάλυψης, Contr= μάρτυρας), σε αμμοπηλώδες έδαφος (πάνω) και σε αργιλώδες έδαφος (κάτω).

Από τα αποτελέσματα δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις απορροφητικότητα (S) των τεμαχίων με καλλιέργεια κάλυψης και τα τεμάχια της μονοκαλλιέργειας σε καμία από τις δειγματοληψίες και σε κανέναν από τους δύο εδαφικούς τύπους. Η αδυναμία εντοπισμού διαφορών με την μέθοδο που ακολουθήθηκε, ίσως οφείλεται στην μία περίπτωση, στην γρήγορη κυριάρχηση του όρου  $K_r$  έναντι του όρου S στην εξίσωση, όπως συμβαίνει σε εδάφη όπου ασκεί μεγάλη επίδραση η βαρυτική ροή (αμμοπηλώδες έδαφος) και στην άλλη περίπτωση, στην κυριάρχηση της πλευρικής απορροφητικότητας στον όρο S στην εξίσωση, όπως συμβαίνει σε εδάφη όπου υπάρχει μεγάλη επίδραση του τριχοειδούς φαινομένου κίνησης του νερού (αργιλώδες έδαφος) (Angulo-Jaramillo *et al.*, 2000).

Αντίθετα οι αντίστοιχες διαφορές της  $K_r$  ήταν σημαντικές ( $P < 0,05$ ) και στους δύο εδαφικούς τύπους (Σχ. 43), με τις τιμές να καταγράφουν μείωση για το αμμοπηλώδες έδαφος κάτω από την επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης με κουκιά και αύξηση για το αργιλώδες έδαφος, καταδεικνύοντας την παράμετρο της υδατοπερατότητας ως την παράμετρο που άσκησε την μεγαλύτερη επιρροή στις μεταβολές του ρυθμού διήθησης. Για το αμμοπηλώδες έδαφος, η μείωση της υδατοπερατότητας σε συνδυασμό με την σταθεροποίηση της εδαφικής δομής συνεπάγεται μεγαλύτερη αντίσταση στις δυνάμεις θρυμματισμού (fast wetting test), τις μηχανικές δυνάμεις (wetting in alcohol) και τις μικρορωγμές (capillary test) (Le Bissonnais, 1990; Haynes and Swift, 1990), ενώ για το αργιλώδες έδαφος, η αντίστοιχη αύξηση της υδατοπερατότητας σε συνδυασμό με την χαλάρωση της εδαφικής δομής συνεπάγεται μικρότερη διασπορά του πηλού (Le Bissonnais and Singer, 1993), αποτρέποντας την επιφανειακή σφράγιση, η οποία δυσχεραίνει την απορρόφηση του νερού και δημιουργεί κινδύνους επιφανειακής απορροής και διάβρωσης (Sumner, 1992).

Η θετική επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης στην εδαφική δομή και στην διηθητική ικανότητα του εδάφους θα μπορούσαν να εξηγήσουν ένα τμήμα της αύξησης της παραγωγής που εμφανίζουν οι καλλιέργειες που τις διαδέχονται (Dalal, 1974; Jones, 1974), αν και οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους συνήθως δεν εξετάζονται σε μελέτες του δυναμικού παραγωγής ανάλογων συστημάτων.

### 3.7. Οικονομική ανάλυση σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης.

Παρά το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον γύρω από τις ενεργειακές εφαρμογές και χρήσεις της βιομάζας και τη σημαντική τεχνολογική πρόοδο στην αλυσίδα παραγωγής πρώτης ύλης, ειδικά στις ενεργειακές καλλιέργειες, η ανταπόκριση των αγορών έχει υπάρξει ως τώρα μικρότερη των προσδοκιών. Ανάμεσα στα πιθανά αίτια του φαινομένου αυτού είναι η έλλειψη οικονομικών στοιχείων στις περισσότερες μελέτες γύρω από τις ενεργειακές καλλιέργειες και την βιοενέργεια γενικότερα (Lychnaras and Schneider, 2011). Στην περίπτωση ένταξης των ενεργειακών καλλιεργειών σε συστήματα μειωμένων εισροών, η ανάγκη παροχής οικονομικών στοιχείων κρίνεται ακόμη πιο επιβεβλημένη, καθώς προτεραιότητα των καλλιεργητών-αγοτών αποτελεί η σταθερά υψηλή παραγωγή, ανεξάρτητα πολλές φορές από την καθαρή πρόσοδο που αυτή αποφέρει, καθιστώντας τους επιφυλακτικούς στην αντικατάσταση των συμβατικών πρακτικών καλλιέργειας με άλλες πρακτικές που έχουν ως στόχο την διατήρηση, βελτίωση και αποδοτικότερη χρήση των φυσικών πόρων (Sartori *et al.*, 2005).

Η διενέργεια μιας εκτενούς οικονομικής μελέτης με την χρήση κατάλληλων οικονομοτεχνικών δεικτών, είναι ουσιώδης για την αξιολόγηση της οικονομικότητας της καλλιέργειας των ενεργειακών φυτών και την ορθή σύγκριση των συστημάτων παραγωγής με συμβατικές ή μειωμένες εισροές. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει μια σχετική δυσκολία στην αξιολόγηση ορισμένων εισροών, ενώ την ίδια στιγμή η ανομοιογένεια των αγορών γύρω από τις εκροές και οι πολλαπλές διαφορετικές τους χρήσεις, καθιστά δύσκολο τον προσδιορισμό σημαντικών και αξιόπιστων μεταβλητών για την σύγκριση των διαφόρων καλλιεργητικών συστημάτων (Bonari *et al.*, 1992). Θα πρέπει λοιπόν εκτός του συστήματος εισροών-εκροών, να υπολογιστούν και να συνεκτιμηθούν μια σειρά από παραμέτρους όπως (Lychnaras and Schneider, 2011):

1. Γενικές πληροφορίες γύρω από το ανθρώπινο δυναμικό που δραστηριοποιείται στην παραγωγική διαδικασία της γεωργικής εκμετάλλευσης.
2. Την επιδοτούμενη επιλέξιμη έκταση (σύμφωνα με τους κανόνες της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής) και αναλόγως την καλλιέργεια και τον τύπο της οικονομικής ενίσχυσης.
3. Τα γεωργό-οικονομικά χαρακτηριστικά της γεωργικής εκμετάλλευσης (τοποθεσία, έκταση, ενοίκια γης, αρδευτικά χαρακτηριστικά, αρδευτικές πηγές, κλπ).

4. Ειδικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας (απαιτούμενη έκταση, ανάγκη άρδευσης, ύψος παραγωγής, κλπ).
5. Τιμές των παραγομένων προϊόντων, ύψος ημερομισθίων, τιμές των πρώτων υλών.
6. Διαθεσιμότητα μηχανολογικού εξοπλισμού και πληροφορίες σχετικά με τον τύπο των μηχανημάτων, την ηλικία, την τιμή αγοράς, την οικονομική διάρκεια ζωής, την ετήσια συντήρηση και χειρισμό, κλπ.
7. Κτήρια και κατασκευές στην γεωργική εκμετάλλευση (κόστος κατασκευής, έτος κατασκευής, κόστος συντήρησης, σχετική χρήση, κλπ).
8. Καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται και πληροφορίες γύρω από τους χειρισμούς που ακολουθούνται όπως ο χρόνος εφαρμογής, ο μηχανολογικός εξοπλισμός που αξιοποιείται, η κατανάλωση καυσίμου και η αποδοτικότητα χρήσης του, οι πρώτες ύλες, μισθωμένες υπηρεσίες, κλπ.

Παρότι η διενέργεια μιας εκτενούς οικονομικής μελέτης αυτής της φύσεως είναι εκτός των στόχων της παρούσας διδακτορικής διατριβής, θα επιχειρηθεί μια βασική οικονομική ανάλυση σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης (farm budget), προκειμένου να αποκτηθεί μια συνολική εικόνα για την οικονομική αποδοτικότητα των καλλιεργητικών πρακτικών και των φυτικών ειδών που μελετήθηκαν, εστιάζοντας στο κόστος παραγωγής και την καθαρή πρόσοδο. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τα πιο συνήθη κριτήρια βάση των οποίων οι παραγωγοί καλούνται να αποφασίσουν για τα αν θα καλλιεργήσουν ή όχι κάποιο φυτικό είδος και με ποιο τρόπο. Για τον προσδιορισμό τους, ακολουθείται μια ανεξάρτητη ανάλυση κόστους για την καλλιέργεια του ψυχανθούς, όπως και για κάθε ένα από τα καλλιεργούμενα ενεργειακά φυτά και τις διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόστηκαν. Το συνολικό κόστος παραγωγής για κάθε περίπτωση, αποδομείται σε μια σειρά από δραστηριότητες (ABC – Activity Based Costing – analysis) που περιγράφουν επαρκώς όλες τις αναγκαίες δράσεις για την εγκατάσταση, καλλιέργεια και συγκομιδή των καλλιεργειών (Eidman *et al.*, 2000). Για τον υπολογισμό του κόστους κάθε δραστηριότητας χρησιμοποιήθηκαν οι τρέχουσες τιμές (2012) στις περιοχές καλλιέργειας σε συνδυασμό με τους τεχνο-οικονομικούς δείκτες των Σχεδίων Βελτίωσης του Υπουργείου Γεωργίας για την Περιφέρεια Θεσσαλίας ([www.4489.syzefxis.gov.gr/dga.asp](http://www.4489.syzefxis.gov.gr/dga.asp)).

Η καθαρή πρόσδοδος υπολογίστηκε με αφαίρεση του συνολικού κόστους από την οικονομική αξία της παραγωγής, λαμβάνοντας υπόψη τις τάσεις των αγορών στις περιοχές καλλιέργειας ([www.e-agri.gr/el/proionta.html](http://www.e-agri.gr/el/proionta.html)). Όλες οι τιμές των αγροτικών προϊόντων αφορούν την τιμή πώλησης «στο χωράφι» (farm gate prices), ενώ έχουν συνυπολογιστεί και οι αγροτικές ενισχύσεις της Ε.Ε. ώστε να είναι εμφανής και η επίδραση της αγροτικής στρατηγικής που ακολουθεί η Ε.Ε. στο οικονομικό ισοζύγιο των γεωργικών εκμεταλλεύσεων (Sartori *et al.*, 2005). Οι αγροτικές ενισχύσεις διαστρεβλώνουν τα οικονομικά στοιχεία τόσο των συμβατικών, όσο και των ενεργειακών καλλιεργειών και ως εκ τούτου, προκειμένου να είναι εφικτή η σύγκριση μεταξύ τους, οι εκτιμήσεις των δαπανών και των προσόδων γίνονται με συνυπολογισμό των επιδοτήσεων (Panoutsou, 2007). Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να λάβουν ενισχύσεις (50% του κόστους εγκατάστασης) σύμφωνα με τον κανονισμό ΕΚ 1251/1999 για την αγρανάπαυση και 45 €/ha σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 1782/2003, ενώ η ενίσχυση για το αραβόσιτο είναι πολλαπλάσια και ανέρχεται σε 850 €/ha.

### 3.7.1. Καλλιέργειες κάλυψης κουκιών.

Στον Πίνακα XXII παρουσιάζονται το συνολικό κόστος της καλλιέργειας των κουκιών ως χλωρή λίπανση (ως την άνθηση), το συνολικό κόστος της καλλιέργειας των κουκιών ως την συγκομιδή και η καθαρή πρόσδοδος που προκύπτει από το παραγόμενο προϊόν. Στα κόστη, η φυτοπροστασία υπολογίζεται μόνο στην περίπτωση που η καλλιέργεια συγκομίζεται, ενώ το κόστος ενσωμάτωσης στο έδαφος στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης, μετατίθεται στα κόστη προετοιμασίας του εδάφους των ενεργειακών καλλιεργειών. Η τιμή πώλησης των κουκιών εμφανίζει αρκετά μεγάλη διακύμανση ανάλογα με το αν ο καρπός συγκομίζεται ως χλωρός λοβός, ως χλωρός σπόρος ή ως ξερός σπόρος, αλλά και με το αν προορίζεται για διάθεση ως όσπριο ή ως ζωοτροφή, ανάλογη της διακύμανσης που εμφανίζει και το κόστος συγκομιδής και καθαρισμού του σπόρου για καθεμιά κατηγορία προϊόντος. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε η τιμή πώλησης ως ζωοτροφή (εύκολη διάθεση του προϊόντος) 0,25 €/kg, που αντιπροσωπεύει τα μηχανικά συγκομισμένο προϊόν «στο χωράφι» και όχι οι υψηλότερες τιμές που μπορεί να τύχει το προϊόν ως όσπριο, ειδικά στις περιπτώσεις απ' ευθείας διάθεσης στην αγορά από τους παραγωγούς (3-4 €/kg).

**Πίνακας XXII.** Δαπάνες (€/ha) της καλλιέργειας των κουκιών μέχρι την ενσωμάτωση και μέχρι και την συγκομιδή του καρπού, και οικονομική ανάλυση της καθαρής προσόδου.

| Δαπάνες<br>(€/ha) | Χλωρή<br>λίπανση | Καλλιέργεια<br>κάλυψης | <i>Vicia faba</i>        |             |             |
|-------------------|------------------|------------------------|--------------------------|-------------|-------------|
|                   |                  |                        | Οικονομική ανάλυση (ABC) |             |             |
| Όργωμα            | 120              | 120                    |                          |             |             |
| Προετ. εδάφους    | 80               | 80                     |                          | Χλ.λίπανση  | Καλ.καλυψης |
| Σπόρος            | 40               | 40                     | Απόδοση (kg/ha)          | 0           | 4500        |
| Σπορά             | 60               | 60                     | Τιμή (€/kg)              | 0           | 0,25        |
| Φυτοπροστασία     | 0                | 240                    | Πρόσοδος (€/ha)          | 0           | 1125        |
| Συγκομιδή         | 0                | 200                    | Σύν.δαπανών (€/ha)       | 300         | 740         |
| <b>Σύνολο</b>     | <b>300</b>       | <b>740</b>             | Καθ.πρόσοδος (€/ha)      | <b>-300</b> | <b>385</b>  |

### 3.7.2. Ενεργειακές καλλιέργειες.

Στον Πίνακα XXIII παρουσιάζονται τα συνολικά κόστη της καλλιέργειας των ενεργειακών φυτών (αραβόσιτος και ινώδες σόργο). Οι δαπάνες προετοιμασίας του εδάφους παρουσιάζονται συνολικά, όπως και οι δαπάνες καλλιέργειας, που περιλαμβάνουν τις καλλιεργητικές φροντίδες και τις δαπάνες άρδευσης. Αντιθέτως οι δαπάνες λίπανσης παρουσιάζονται αναλυτικά σε κάθε επίπεδο τόσο στον αραβόσιτο όσο και στο ινώδες σόργο, καθώς αποτελούν μια βασική παράμετρο διαφοροποίησης των πειραμάτων που διενεργήθηκαν και την βασική παράμετρο διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων της οικονομικής ανάλυσης.

**Πίνακας XXIII.** Δαπάνες (€/ha) της καλλιέργειας του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης ( $N_0=0$ ,  $N_1=80$ ,  $N_2=160$ ,  $N_3=240$ , kg N ha<sup>-1</sup> για την καλλιέργεια του αραβόσιτου και  $N_0=0$ ,  $N_1=50$ ,  $N_2=100$ ,  $N_3=150$ , kg N ha<sup>-1</sup> για την καλλιέργεια του ινώδους σόργου).

| Δαπάνες (€/ha)     | <i>Zea mays</i> | <i>Sorghum bicolor</i> |
|--------------------|-----------------|------------------------|
| Προετ. εδάφους     | 200             | 200                    |
| Σπόρος             | 400             | 220                    |
| Φυτοπροστασία      | 80              | 40                     |
| Καλλιέργεια        | 530             | 450                    |
| <b>Μερ. Σύνολο</b> | <b>1210</b>     | <b>910</b>             |

| Πίνακας XXIII.(συνέχεια)                  |       | <i>Zea mays</i> | <i>Sorghum bicolor</i> |
|---|-------|-----------------|------------------------|
|   | $N_0$ | 0               | 0                      |
| Βασική λίπανση                            | $N_1$ | 440             | 270                    |
|   | $N_2$ | 440             | 270                    |
|   | $N_3$ | 440             | 270                    |
|   |       |                 |                        |
|   | $N_0$ | 0               | 0                      |
| Επιφανειακή λίπανση                       | $N_1$ | 0               | 0                      |
|   | $N_2$ | 110             | 70                     |
|   | $N_3$ | 220             | 140                    |
|   |       |                 |                        |
|   | $N_0$ | 0               | 0                      |
| Σύνολο λίπανσης                           | $N_1$ | 440             | 270                    |
|   | $N_2$ | 550             | 340                    |
|   | $N_3$ | 660             | 410                    |
|   |       |                 |                        |
| <b>Συνολικές δαπάνες</b><br><b>(€/ha)</b> | $N_0$ | <b>1210</b>     | <b>910</b>             |
|   | $N_1$ | <b>1650</b>     | <b>1180</b>            |
|   | $N_2$ | <b>1760</b>     | <b>1250</b>            |
|   | $N_3$ | <b>1870</b>     | <b>1320</b>            |

Η πρόσοδος που προκύπτει από τον παραγόμενο σπόρο και βιομάζα του αραβόσιτου υπολογίστηκε με τις τρέχουσες τιμές (2012) που είναι 210 €/t καρπού και 32€/t ξηρής βιομάζας των υπολειμμάτων της καλλιέργειας. Όσο αφορά στην βιομάζα του ινώδους σόργου η τιμή που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της προσόδου είναι 80 €/t ξηρής βιομάζας, που είναι σε συμφωνία με άλλες μελέτες (M. Hoogwijk *et al.*, 2009; Panoutsou *et al.*, 2009) καθώς δεν υπάρχουν τρέχουσες εμπορικές τιμές από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων για την βιομάζα του ινώδους σόργου. Στον Πίνακα XXIV παρουσιάζεται η καθαρή πρόσοδος της καλλιέργειας του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου στον πειραματικό αγρό των Τρικάλων (αμμοπηλώδες έδαφος) και στον πειραματικό αγρό του Σωτηρίου (αργιλώδες έδαφος) για κάθε επίπεδο λίπανσης, υπολογισμένη βάση του μέσου όρου της παραγωγής των ετών 2008 και 2009, σε ξηρή βιομάζα και καρπό του αραβόσιτου και ξηρή βιομάζα του ινώδους σόργου, μετά την αφαίρεση των αντίστοιχων δαπανών του Πίνακα XXIII.



**Πίνακας XXIV.** Καθαρή πρόσοδος (€/ha) της καλλιέργειας του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου, για τα διάφορα επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως και τις προμεταχειρίσεις με κουκιά (ενσωμάτωση (Incorp.), καλλιέργεια κάλυψης (Harvest), μάρτυρας (Control)) στην περιοχή των Τρικάλων και του Σωτηρίου.

| <i>Zea mays</i>        |         |         |                        |         |         |         |
|------------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|---------|
| ΤΡΙΚΑΛΑ                |         |         | ΣΩΤΗΡΙΟ                |         |         |         |
| ΚΑΘΑΡΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ (€/ha) |         |         | ΚΑΘΑΡΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ (€/ha) |         |         |         |
|                        | Incorp. | Harvest | Control                | Incorp. | Harvest | Control |
| N <sub>0</sub>         | 1202    | 1738    | 1178                   | 1072    | 1723    | 1128    |
| N <sub>1</sub>         | 1247    | 1772    | 1248                   | 1182    | 1773    | 1196    |
| N <sub>2</sub>         | 1354    | 1916    | 1299                   | 1322    | 1896    | 1261    |
| N <sub>3</sub>         | 1388    | 1937    | 1320                   | 1368    | 2004    | 1281    |

| <i>Sorghum bicolor</i> |         |         |                        |         |         |         |
|------------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|---------|
| ΤΡΙΚΑΛΑ                |         |         | ΣΩΤΗΡΙΟ                |         |         |         |
| ΚΑΘΑΡΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ (€/ha) |         |         | ΚΑΘΑΡΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ (€/ha) |         |         |         |
|                        | Incorp. | Harvest | Control                | Incorp. | Harvest | Control |
| N <sub>0</sub>         | 507     | 1183    | 505                    | 708     | 1319    | 708     |
| N <sub>1</sub>         | 513     | 1189    | 506                    | 702     | 1312    | 725     |
| N <sub>2</sub>         | 598     | 1190    | 547                    | 897     | 1425    | 772     |
| N <sub>3</sub>         | 659     | 1229    | 580                    | 943     | 1520    | 822     |

Τόσο στην περίπτωση του αραβόσιτου, όσο και του ινώδους σόργου, και στους δύο εδαφικούς τύπους, υψηλότερη καθαρή πρόσοδος παρατηρήθηκε όταν η ενεργειακή καλλιέργεια διαδέχτηκε την καλλιέργεια κάλυψης των κουκιών με σκοπό την συγκομιδή του καρπού, σε όλα τα επίπεδα λιπάνσεως. Η υψηλότερη καθαρή πρόσοδος της συγκεκριμένης γεωργικής πρακτικής είναι αναμενομένη, καθώς όπως φαίνεται στον Πίνακα XXII, στην περίπτωση που η καλλιέργεια κάλυψης συγκομίζεται, προσφέρει επιπρόσθετο καθαρό κέρδος 385 €/ha. Το κέρδος αυτό αθροίζεται στο κέρδος που προκύπτει από την αύξηση της παραγωγής ξηρής βιομάζας και καρπού του αραβόσιτου, όπως και της συνολικής ξηρής βιομάζας του ινώδους σόργου, που καταγράφηκε και αναλυτικά παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Και στους δύο εδαφικούς τύπους, η καθαρή πρόσοδος υπολογίστηκε σε παραπλήσιες τιμές σε όλα τα επίπεδα λίπανσης, καταγράφοντας όμως μεγαλύτερα κέρδη στις μεταχειρίσεις N<sub>2</sub> (μέτριο επίπεδο λίπανσης) και N<sub>3</sub> (υψηλό επίπεδο λίπανσης), συμβαδίζοντας με την μεγάλη ανταπόκριση της παραγωγικότητας και των δύο φυτών στην αζωτούχο λίπανση.

Η ανταπόκριση του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου στην αζωτούχο λίπανση είναι επίσης εμφανής κατά την χρήση της καλλιέργειας των κουκιών ως χλωρή λίπανση. Και στους δύο εδαφικούς τύπους, η αύξηση της παραγωγής σε σχέση

με τον μάρτυρα στα επίπεδα  $N_0$  (καθόλου λίπανση) και  $N_1$  (χαμηλό επίπεδο λίπανσης) ήταν τέτοια που οριακά κάλυψε τα έξοδα της προ-μεταχείρισης της χλωρής λίπανσης. Αντιθέτως, τα επίπεδα  $N_2$  (μέτριο επίπεδο λίπανσης) και  $N_3$  (υψηλό επίπεδο λίπανσης) και στους δύο εδαφικούς τύπους και οι δύο ενεργειακές καλλιέργειες, απέφεραν αρκετά υψηλότερη καθαρή πρόσοδο σε σχέση με το μάρτυρα, αποτυπώνοντας και σε οικονομικά μεγέθη, τη σημαντική επίδραση που εντοπίστηκε και παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, από την ενσωμάτωση της καλλιέργειας των κουκιών στο έδαφος ως χλωρή λίπανση στα χαρακτηριστικά της αύξησης, στη αποδοτικότητα χρήσης του αζώτου και τέλος στην ολική παραγομένη ξηρή βιομάζα του ινώδους σόργου και την παραγόμενη ξηρή βιομάζα και ποσότητα σπόρου του αραβόσιτου.

Συνοψίζοντας και με βάση τα στοιχεία που εξετάστηκαν, τα συστήματα καλλιέργειας ενεργειακών φυτών με χρήση καλλιεργειών κάλυψης φαίνεται να υπερτερούν και σε οικονομικά μεγέθη των συστημάτων μονοκαλλιέργειας. Ειδικά στην περίπτωση που το παραγόμενο προϊόν της καλλιέργειας κάλυψης συγκομίζεται, η αύξηση στην καθαρή πρόσοδο είναι τέτοια που να δικαιολογεί πλήρως την επιπρόσθετη γεωργική δραστηριότητα που απαιτείται, η οποία θα πρέπει να σημειωθεί πως σημειώνεται στο χρονικό διάστημα εκτός της βασικής καλλιέργειας, όταν δηλαδή τόσο το ανθρώπινο δυναμικό, όσο και ο μηχανολογικός εξοπλισμός είναι διαθέσιμα. Στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης, και σε συστήματα με μειωμένες εισροές η γεωργική πρακτική αυτή δεν φαίνεται να οδηγεί σε αύξηση της καθαρής προσόδου σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια, δεν φαίνεται όμως να προκαλεί και οικονομική ζημία. Αντιθέτως, αν συνυπολογιστούν τα μακροχρόνια οικονομικά οφέλη που καταδεικνύουν αντίστοιχες μελέτες (Brumfield *et al.*, 2000; Delate *et al.*, 2002; Pimentel *et al.*, 2005) για τα συστήματα μειωμένων εισροών, με τα γεωργο-περιβαλλοντικά οφέλη που έχουν ήδη αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, καθιστούν την πρακτική της χλωρής λίπανσης, ως ενδεδειγμένη γεωργική πρακτική ακόμη και σε οικονομικούς όρους.



#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βιομάζα θα πρέπει να θεωρηθεί ως μια σημαντική εναλλακτική λύση για οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμη παραγωγή ενέργειας στο μέλλον, με σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα, καθώς αποτελεί ανανεώσιμη πηγή και συμβάλει στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, στην ατμόσφαιρα. Οι πρώτες ύλες είναι διαθέσιμες σε τοπικό επίπεδο, η παραγωγή και μετατροπή τους είναι εφικτή χωρίς την ανάγκη υψηλών επενδύσεων, και από τις διάφορες κατηγορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη, η πιο σημαντική φαίνεται να είναι οι ενεργειακές καλλιέργειες, δηλαδή καλλιέργειες φυτών υψηλής παραγωγικότητας που προορίζονται αποκλειστικά για χρήση σε ενεργειακές εφαρμογές, ειδικά αν καταστεί εφικτή η επαναρύθμιση της αναλογίας των ενεργειακών εκροών προς τις εισροές ενέργειας που απαιτούνται κατά την καλλιέργειά τους.

Από την πληθώρα των φυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή ήδη αξιοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, ο αραβόσιτος συγκεντρώνει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον καθώς αποτελεί την κυρίαρχη πρώτη ύλη στην EE-27 για την παραγωγή βιοαιθανόλης, το πιο κοινό και διαδεδομένο βιοκαύσιμο και ταυτόχρονα την κυρίαρχη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου (με πολύ υψηλές αποδόσεις). Παράλληλα, το ινώδες σόργο είναι σίγουρα μία καλλιέργεια που χρήζει ενδιαφέροντος ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοενέργειας, καθώς έχει από τις υψηλότερες παραγωγές σε χλωρή και ξηρή βιομάζα, με μεγάλους ρυθμούς συσσώρευσης ξηρής ουσίας, χαμηλές απαιτήσεις σε άζωτο και νερό, είναι πολύ καλά προσαρμοσμένο στις περιοχές της νότιας Ευρώπης, όπου και υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα του σπόρου.

Η ένταξη των ενεργειακών καλλιεργειών σε συστήματα καλλιέργειας μειωμένων εισροών και η υιοθέτηση παραδοσιακών καλλιεργητικών πρακτικών που θεωρούνται φιλικές προς το περιβάλλον, θα μπορούσε να συμβάλει στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης των απαραίτητων εισροών ενέργειας για την παραγωγή τους, με την μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας να επιτυγχάνεται από τις τεχνικές που αποσκοπούν στην μείωση των εισροών ανόργανου αζώτου, όπως οι αμειψισπορές και οι καλλιέργειες κάλυψης, με ψυχανθή. Η εξοικονόμηση αυτή προκύπτει κυρίως από την συνεισφορά αζώτου στο σύστημα από τα ψυχανθή, καθώς η ανόργανη αζωτούχος λίπανση είναι υπεύθυνη για την κατανάλωση του μεγαλύτερου μέρους της ενέργειας

που δαπανάται στις αροτραίες ενεργειακές καλλιέργειες, φτάνοντας έως και το 50% των συνολικών ενεργειακών εισροών, αφού το άζωτο αποτελεί το βασικότερο και πιο ενεργοβόρο θρεπτικό στοιχείο σε καλλιέργειες όπως ο αραβόσιτος, ή ακόμη και στο χαμηλών απαιτήσεων, ινώδες σόργο.

Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που διενεργήθηκαν, προκύπτει πως τα κουκιά (*Vicia faba* L.) αποτελούν πού καλή επιλογή για χρήση ως καλλιέργεια κάλυψης ή χλωρής λίπανσης, σε συστήματα μειωμένων εισροών αζώτου στις καλλιέργειες του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου. Παρέχουν ευελιξία ως προς την εποχή σποράς (ανάλογα των εδαφολογικών ή κλιματολογικών ιδιαιτεροτήτων κάθε περιοχής), χωρίς να επηρεάζονται ιδιαίτερα από αυτή και αναπτύσσονται χωρίς απαιτήσεις, εκμεταλλευόμενα το διαθέσιμο νερό μετά από τις ενεργειακές καλλιέργειες και το άζωτο που δεσμεύεται από τα συμβιωτικά βακτήρια στις ρίζες τους. Είναι ψυχανθές κατάλληλο για εγκατάσταση και στους δύο εδαφικούς τύπους που εξετάστηκαν (αμμοπηλώδες και αργιλώδες έδαφος), με μεγάλη παραγωγικότητα σε σπόρο, αλλά και βιομάζα κατάλληλη για χρήση ως χλωρή λίπανση, κοντά στην άνθηση. Τα κουκιά αξίζουν σίγουρα μεγαλύτερης προσοχής και η συγκέντρωση περισσότερων πληροφοριών που θα βοηθούσαν στην βελτίωση της ανάπτυξης και σταθεροποίησης της παραγωγής με την διερεύνηση παραγόντων που την επηρεάζουν, θα συντελούσε ταυτόχρονα και στην μεγιστοποίηση των ενεργητικών επιδράσεων που παρέχει η ένταξη τους σε συστήματα με ενεργειακές ή άλλες καλλιέργειες.

Σε ότι αφορά σε αυτές ακριβώς τις επιδράσεις στην καλλιέργεια που ακολουθεί, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν πως υπήρξε σαφής ποσοτική και ποιοτική βελτίωση των περισσότερων χαρακτηριστικών της αύξησης και για τον αραβόσιτο και το ινώδες σόργο, και στους δύο εδαφικούς τύπους. Τα φυτά των τεμαχίων στα οποία είχε προηγηθεί καλλιέργεια κουκιών, επέδειξαν μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης σε ύψος, μεγαλύτερο τελικό ύψος, LAI και LAD, υψηλότερους ρυθμούς αφομοίωσης και τελικές παραγωγές σε ξηρή βιομάζα, σε όλες τις περιπτώσεις και για όλους τους συνδυασμούς εφαρμογής αζώτου, ανόργανου, οργανικού ή βιολογικής δέσμευσης. Μεγάλη ανταπόκριση ως προς τη βελτίωση των χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν, παρατηρήθηκε μεν για τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκαν μεγάλες δόσεις ανόργανης αζωτούχου λίπανσης, χωρίς όμως να καταστεί δυνατή η πλήρης εξίσωση των θετικών επιδράσεων του ψυχανθούς, όσο μεγάλες κι αν ήταν οι δόσεις αυτές, ενώ δεν παρατηρήθηκαν αλληλεπιδράσεις

ανάμεσα στα επίπεδα της ανόργανης λίπανσης και των μεταχειρίσεων με καλλιέργεια κάλυψης κουκιών.

Η ανωτερότητα των συστημάτων με καλλιέργειες κάλυψης φαίνεται να οφείλεται κυρίως στην παροχή επιπλέον αζώτου οργανικού ή/και βιολογικής δέσμευσης από τα κουκιά αλλά και στην καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου αζώτου από τις καλλιέργειες που ακολούθησαν, σε συνδυασμό με την γενικότερη καλύτερη εγκατάστασή και ανάπτυξη τους, λόγω βελτίωσης των χαρακτηριστικών και των δύο εδαφών. Οι καλλιέργειες του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου που διαδέχτηκαν καλλιέργεια κουκιών παρουσίασαν μεγαλύτερη βασική απορρόφηση αζώτου και αυξημένο κλάσμα ανάκτησης του αζώτου της ανόργανης λίπανσης, και στους δύο εδαφικούς τύπους, καταλήγοντας σε υψηλότερες παραγωγές σε σπόρο ή ξηρή βιομάζα. Ειδικά στην περίπτωση του ινώδους σόργου που εφαρμόστηκε χλωρή λίπανση με κουκιά, το κλάσμα ανάκτησης αζώτου σχεδόν διπλασιάστηκε, και καταγράφηκαν πολύ ικανοποιητικές παραγωγές σε βιομάζα και στις δύο περιοχές χωρίς καθόλου ανόργανη αζωτούχο λίπανση, ενώ η πρακτική της χλωρής λίπανσης φαίνεται να είχε την αποδοτικότερη επίδραση στην απορρόφηση και αξιοποίηση του αζώτου και για την καλλιέργεια του αραβόσιτου και στις δύο περιοχές μελέτης. Η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου είναι καθοριστικής σημασίας για την ποσοτική και ποιοτική βελτίωση της παραγωγής στα φυτά και ειδικά στις ενεργειακές καλλιέργειες, μπορεί να μειώσει όχι μόνο το οικονομικό κόστος των εισροών, αλλά και το ενεργειακό κόστος, συντελώντας ταυτόχρονα στην κατάρτιση των βέλτιστων δοσολογιών ανόργανης λίπανσης και η διερεύνησή της θα πρέπει να γίνει διεξοδικά κάτω από όσο το δυνατό περισσότερες καλλιεργητικές, περιβαλλοντικές και εδαφολογικές συνθήκες.

Η ένταξη των καλλιεργειών κάλυψης σε συστήματα ενεργειακών καλλιεργειών όπως το ινώδες σόργο, μπορεί να συνεισφέρει στην βελτίωση του ενεργειακού ισοζυγίου, με υψηλότερη απόδοση ενέργειας κάτω από μικρότερες ενεργειακές εισροές και ταυτόχρονα λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Παράλληλα, με την υιοθέτηση των πρακτικών χρήσης καλλιεργειών κάλυψης με κουκιά σε συστήματα παραγωγής αραβόσιτου για ενεργειακές χρήσεις, είναι δυνατή η αξιοποίηση ολόκληρης της βιομάζας που παράγεται, χωρίς περιβαλλοντικό ρίσκο ή υποβάθμιση της γονιμότητας του εδάφους, καταλήγοντας σε βελτίωση των ενεργειακών χαρακτηριστικών του συστήματος. Ακόμη, με βάση τα οικονομικά στοιχεία που εξετάστηκαν, τα συστήματα

καλλιέργειας ενεργειακών φυτών με χρήση καλλιεργειών κάλυψης φαίνεται να υπερτερούν και σε οικονομικά μεγέθη των συστημάτων μονοκαλλιέργειας.

Την ίδια στιγμή, οι καλλιέργειες κάλυψης φαίνεται να άσκησαν θετική επίδραση στα χαρακτηριστικά του εδάφους που μελετήθηκαν, ενισχύοντας την εδαφική δομή και μειώνοντας την διηθητική ικανότητα του αμμοπηλώδους εδάφους, ενώ αντιθέτως αύξησαν την διηθητική ικανότητα και χαλάρωσαν την εδαφική δομή στο αργιλώδες έδαφος, συντελώντας στην αποφυγή περιβαλλοντικών κινδύνων (π.χ. μείωση κινδύνων διάβρωσης, έκπλυσης νιτρικών σε βαθύτερα στρώματα, μόλυνσης υδάτων, επιφανειακής απορροής νιτρικών), αλλά και στην καλύτερη εγκατάσταση και ανάπτυξη των καλλιεργειών, καλύτερη εκμετάλλευση του νερού των αρδεύσεων και των θρεπτικών και γενικά στην διατήρηση του εδάφους σε καλή κατάσταση. Φυσικά σε ότι αφορά στα χαρακτηριστικά του εδάφους και στην επίδραση που δέχονται από την καλλιέργεια των κουκιών, είναι απαραίτητη η περαιτέρω μελέτη πολλών παραγόντων και των αλληλεπιδράσεων ανάμεσά τους, όπως για παράδειγμα η ποσότητα της οργανικής ουσίας, η μικροβιακή σύνθεση και δραστηριότητα, η αποδοτικότητα χρήσης του νερού κ.ά.

Καταλήγοντας, η ανασκόπηση των αγρονομικών, εδαφολογικών, ενεργειακών, οικονομικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων των καλλιεργειών του αραβόσιτου και του ινώδους σόργου με προορισμό ενεργειακές χρήσεις, ενταγμένων σε ένα κατάλληλο σύστημα με καλλιέργειες κάλυψης ψυχανθών όπως τα κουκιά, αποτελεί μια στρατηγική που μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες αποδοτικότητες στην διαχείριση και χρήση του αζώτου, βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους και διατήρηση της γονιμότητας σε καλό επίπεδο, ενίσχυση των ενεργειακών και οικονομικών χαρακτηριστικών του συστήματος, αλλά και παράλληλα μείωση μιας σειράς περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κινδύνων, συνδεδεμένων με το άζωτο ή μη, χωρίς να χρειάζεται να θυσιαστεί η υψηλή παραγωγικότητα του συστήματος. Ως εκ τούτου, τα συστήματα αυτά θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό μελλοντικών χρήσεων γης για ενεργειακούς σκοπούς, με σεβασμό στην βιώσιμη ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος και την διασφάλιση της αειφορικής παραγωγής.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adger, W.N., Pettenella, D. and Whitby, M. 1997.** Land use in Europe and the reduction of greenhouse-gas emissions. In: Adger, W.N., Pettenella, D., Whitby, M. (Eds.). *Climate-Change Mitigation and European Land-Use Policies*. UK: CAB International, Oxon pp 1–22.
- AIR CT92 0294. 1997.** Miscanthus productivity network. McCarthy, S. Coordinator, Final Report, Ireland.
- AIR CT92-0041, 1995.** Sweet sorghum, a sustainable crop for energy production in Europe: agricultural, industrial improvement, optimisation and implementation, Final Report, France.
- AIR CT93-1089, 1999.** Cynara cardunculus network. Fernandez J. Coordinator, Final Report, Spain.
- Alexopoulou, E., Chatziathanassiou, A., Panoutsou, C., Koutoukidis, A., Tsakiris, S. and Drimaki, E. 2000.** Yields and public perception of sweet sorghum growth in demonstrative fields of northern Greece. In: *Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry*, Sevilla, Spain, pp 1638–1641.
- Allmaras, R.R., Schomberg, H.H., Douglas, Jr. C.L. and Dao, T.H. 2000.** Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in US croplands. *J. Soil Water Conserv.* 55: 365-373.
- Alvarado-Morales, M., Terra, J., Gernaey, K.V., Woodley, J.M. and Gani, R. 2009.** Biorefining: Computer aided tools for sustainable design and analysis of bioethanol production. *Chemical Engineering Research & Design* 87(9A):1171-1183.
- Amato, G., Cibella, R., Giambalvo, D. and Gristina, L. 1992.** Observations of the reproductive development in faba bean (*Vicia faba* L. var. *equina*) in relation to plant density. In: AEP (Ed.), *Proceedings of the First European Conference on Grain Legumes*. 1–3 June, Angers, France, pp 245–246.
- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K. and Gruber, L. 2007.** Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:173–182.
- Argyrokastritis, J., Kerkides, P. and Valmis, S. 2002.** Spatial variability of soil structure stability indices. *Balkan Ecol.* 5 (2):157–162.
- Bacovsky, D., Mabee, W. and Worgetter, M. 2010.** How close are second generation biofuels? *Biofuels Bioproducts and Biorefining.* 4(3):249-252.
- Baker, D.A., Chapman, G.P., Standish, M.J. and Bailey, M.P. 1984.** Growth habit in relation to assimilate partitioning and some consequences for yield bean breeding. In: Hebblethwaite, P.D., Dawking, T.C.K., Heath, M.C., Lockwood, G. (Eds.), *Vicia faba: Agronomy, Physiology and Breeding*. Martinus Nijhof, The Hague, pp 23–28.
- Balat, M. 2011.** Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Conversion and Management* 52(2):858-875.
- Baldock, J.O. and Musgrave, R.B. 1980.** Manure and mineral fertilizer effects in continuous and rotational crop sequences in Central New York. *Agronomy Journal* 72: 511-518.
- Bänziger, M., Beärn, F. J. and Lafitte, H. R. 1997.** Efficiency of highnitrogen selection environments for improving maize for lownitrogen target environments. *Crop Sci.* 37:1103-1109.



- Bänzinger, M., Edmeades, G.O. and Lafitte, H.R. 1999.** Selection for drought tolerance increases maize yields across a range of nitrogen levels. *Crop Science* 39:1035–1040.
- Barbanti, L., Grandi, S., Vecchi, A. and Venturi, G. 2006.** Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. *Europ J Agronomy* 25: 30–39.
- Baum, C., Leinweber, P., Weih, M., Lamersdorf, N. and Dimitriou, I. 2009.** Effects of short rotation coppice with willows and poplar on soil ecology. *Agriculture and Forestry Research* 59:183-196.
- Beadle, C.L. 1987.** Plant growth analysis. In J. Coombs, D.O. Hall, S.P Long, and J.M.O. Scurlock (Eds.), *Techniques in Bio-Productivity and Photosynthesis*. Pergamon Press, Oxford, UK. 2<sup>nd</sup> edn., pp. 21-23.
- Below, FE. 1987.** Growth and productivity of maize under nitrogen stress. In: Batan E, Emerades GO, Bänzinger M, Mickelson HR, Pena-Valdivia, eds. *Developing drought- and low N-tolerant maize*. Proceedings of a symposium, 25–29, March 1996, Mexico: CIMMYT, pp 243–240.
- Berndes, G. and Hansson, J. 2007.** Bioenergy expansion in the EU: Cost-effective climate change mitigation, employment creation and reduced dependency on imported fuels. *Energy Policy* 35:5965–5979.
- Bertin, P. and Gallais, A. 2000.** Genetic variation for nitrogen use efficiency in a set of recombinant maize inbred lines I. Agrophysiological results. *Maydica* 45:53-66.
- Beslemes, D.F., Danalatos N.G. and Efthimiadis, P. 2011.** Nitrogen use and biomass production in two different energy crop/legume intercrop systems in central Greece, In: Proceedings of the 19<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany, pp 707-712.
- Beslemes, D.F., Danalatos N.G., Efthimiadis, P. and Tigka E.L. 2012.** Growth and biomass productivity of fibre sorghum (*Sorghum bicolor*) under different agricultural inputs and management practices in central Greece, In: Proceedings of the 20<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition, Milan, Italy, pp 258-267.
- Bilalis, D., Sidiras, N., Economou, G., and Vakali, C. 2003.** Effect of different levels of wheat straw soil surface coverage on weed flora in *Vicia faba* crops. *J Agron and Crop Sci.* 189: 233-241.
- Bilalis, D.J., Sidiras, N., Kakampouki, I., Efthimiadou, A., Papatheohari, Y. and Thomopoulos, P. 2005.** Effects of organic fertilization on maize/legume intercrop in a clay loam soil and Mediterranean climate – can the land equivalent ratio (LER) index be used for root development? *J Food Agric Environ* 3:117–123.
- Binford, G.D., Blackmer, A.M. and Cerrato, M.E. 1992a.** Relationships between corn yields and soil nitrate in late spring. *Agron. J.* 84:53-59.
- Binford, G.D., Blackmer, A.M. and Cerrato, M.E., 1992b.** Nitrogen concentration of young corn plants as an indicator of nitrogen availability. *Agron. J.* 84:219-223.
- Biomass Energy Centre. 2007.** [www.biomassenergycentre.org.uk](http://www.biomassenergycentre.org.uk).
- Blackmer, A.M., Pottker, D., Cerrato, M.E., and Webb, J. 1989.** Correlations between soil nitrate concentrations in late spring and corn yields in Iowa. *J. Prod. Agric.* 2:103-109.
- Blackmer, T.M. and Schepers, J.S. 1996.** Aerial photography to detect nitrogen stress in corn. *J. Plant Phys.* 148:440-444.

- Bolton, E.F., Dirks V.A. and Aylesworth, J.W. 1976.** Some effects of alfalfa, fertilizer and lime on com yield in rotations on clay soil during a range of seasonal moisture conditions. *Canadian Journal of Soil Science* 56: 21-25.
- Bonari, E., Mazzoncini, M., Peruzzi, A., Silvestri, N. 1992.** Valutazioni energetiche di sistemi produttivi a diverso livello di intensificazione colturale. [Energetic analysis of production system with various level cropping system.]. *L'Informatore Agrario* 1: 11-25.
- Bonari, E. 2001.** Potenzialità e problematiche agronomiche della silvicoltura a breve rotazione come coltura da energia negli ambienti mediterranei. *Riv. Agron.* 35:188-199.
- Bonari, E. 2005.** Risultati produttivi del pioppo da biomassa. *Terra e Vita* 10:69-73.
- Bonari, E. and Villani, R. 2004.** La produzione di biomassa a destinazione energetica dall SRF di pioppo, prime esperienze in Toscana. Convegno di studi "Le biomasse agricole e forestali nello scenario energetico nazionale", 18-19 March, Verona, Italy.
- Bonari, E., Mazzoncini, M., Ginanni, M., Picchi, G. and Silvestri, N. 2005.** Colture legnose a breve rotazione nella pianura padana. *Agroindustria* 4(1):49-54.
- Bouwman, A.F. 1996.** Direct emission of nitrous oxide from agricultural soil. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 46: 53-70.
- BP. 2010.** Statistical Review of World Energy 2010.
- Bremer, E. and van. Kessel, C. 1992.** Plant available nitrogen from lentil and wheat residues during a subsequent growing season. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1155-1160.
- Brumfield, R.G., Rimal, A., Reiners, S. 2000.** Comparative cost analyses of conventional, integrated crop management, and organic methods. *HortTechnology* 10: 785-793.
- Bullock, D.G. 1992.** Crop rotation. *Critical Reviews in Plant Science* 11(4): 309-326.
- Bulson, H.A.J., Snaydon, R.W. and Stopes, C.E. 1997.** Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. *J. Agric. Sci.* 128:57-71.
- Bunch, R. 1995.** The use of green manures by villager farmers; what we have learned to date. CIDDCO Technical Report No. 3, 2<sup>nd</sup> Edition.
- Bundy, L.G. and Andraski, T.W. 1993.** Soil and plant nitrogen availability tests for corn following alfalfa. *J. Prod. Agric.* 6:200-206.
- Burger, M. and Jackson, L.E. 2004.** Plant and microbial nitrogen use and turnover: rapid conversion of nitrate to ammonium in soil with roots. *Plant and Soil* 266:289-301.
- Cardona, C.A. and Sanchez, O.J. 2007.** Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities. *Bioresource Technol.* 98:2415-57.
- Caron, J., Kay, B.D. and Perfect, E. 1992.** Short term decrease in soil structural stability following brome grass establishment on a clay soil. *Plant Soil*, 145:121-130.
- Cartagena, M.C., Vallejo, A., Díez J.A., Bustos, A., Caballero, R. and Roman, R. 1995.** Effect of the type of fertiliser and source of irrigation water on N use in a maize crop. *Field Crop Res* 44:33-39.
- Cerrato, M.E. and Blackmer, A.M. 1991.** Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen status of corn. *J. Prod. Agric.* 4:525-531.

- Chan, K.Y. and Heenan, D.P. 1996.** The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. *Soil & Tillage Research* 37:113-125.
- Charles-Edwards, D.A. 1984.** On the ordered development of plants. I. An hypothesis. *Ann. Bot.* 53: 699–702.
- Chatziathanassiou, A., Christou, M., Alexopoulou, E. and Zafir, C. 1998.** Biomass and sugar yields of sweet sorghum in Greece. In: Chartier, et al. (Eds.), *Proceedings of the 10<sup>th</sup> European Conference*. C.A.R.M.E.N. Press, Germany, pp 209–212.
- Chenu, C., Le Bissonnais, Y. and Arrouays, D. 2000.** Organic Matter Influence on Clay Wettability and Soil Aggregate Stability. *Soil Science Society of America Journal* 64:1479–1486.
- Cherr, C.M., Scholberg, J.M.S, McSorley, R. and Mbuya, O.S. . 2007.** Growth and yield of sweet corn following green manure in a warm temperate environment on sandy soil. *J. Agronomy & Crop Science* 193:1-9
- Chynoweth, D.P. 2004.** Biomethane from energy crops and organic wastes. In: *International Water Association (Eds.), Anaerobic Digestion 2004. Anaerobic Bioconversion. Answer for Sustainability, Proceedings 10th World Congress, vol. 1, Montreal, Canada. www.ad2004montreal.org, pp 525–530.*
- Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Layese, N.F., Linden, D.R. and Dowdy, R.H. 2000.** Soil organic carbon and <sup>13</sup>C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilizer under continuous corn management in Minnesota. *Soil Till. Res.* 55: 127-142.
- Coelho, J.C. and Pinto, P.A. 1989.** Plant density effects on growth and development of winter faba bean (*Vicia faba* var. *minor*). *Fabis Newslett.* 25:26–30.
- Cone, J.W., Van Gelder, A.H. and Marvin, H.J.P. 1996.** Influence of drying method and ageing on chemical and physical properties and in vitro degradation characteristics of grass and maize samples. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 126:7–14.
- Cosentino, S.L., D’Agosta, G.M., Patanè, C., Copani, V. and Cosentino, A. 2007b.** Energetic yield in perennial crops in the semi-arid environment of Sicily (South of Italy). *Proceedings of 15<sup>th</sup> European Biomass Conference & Exhibition, 7-11 May, Berlin.*
- Cosentino, S.L., Copani, V. Patanè, C., Mantineo, M. and D’Agosta, G. M. 2008.** Agronomic, Energetic and Environmental Aspects of Biomass Energy Crops Suitable for Italian Environments. *Ital. J. Agron. / Riv. Agron.* 2:81-95.
- Cosentino, S.L., Copani, V., Mantineo, M. and D’Agosta, G. 2004.** Relazione annuale progetto TISEN.
- Cosentino, S.L., Copani, V., Mantineo, M. and Foti, S. 2002.** Risposta di una coltura di sorgo (*Sorghum Bicolor* L. Moench) a diversi livelli di energia ausiliaria. *Riv. Di Agron.* 36:357-365.
- Cosentino, S.L., Foti, S., D’Agosta, G.M., Mantineo, M. and Copani, V. 2005.** Confronto tra gli impatti ambientali di biocombustibili e di combustibili fossili per mezzo della “Life Cycle Assessment” (LCA). *Agroindustria*, 4(1):109-128.
- Costa, L.C., Morison, J. and Dennett, M. 1997.** Effects of the weather on growth and radiation intercepted by faba bean. *Pesqu. Agropecu. Bras.* 32:277–281.
- Coyle, W. 2007.** The future of biofuels: a global perspective. *Amber Waves* 5:24–29.
- Crawford, N. and Glass, A.D.M. 1998.** Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. *Trends in Plant Science* 3:389-395.

- CRES. 2007.** Online statistical database accessible through /http:// Cres.gr/kape/datainfo/isozygio, Data downloaded 27 January 2012.
- Crews, T.E. and Peoples, M.B. 2004.** Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs, *Agric. Ecosyst. Env.* 102:279–297.
- Crews, T.E. and Peoples, M.B. 2005.** Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer - based agroecosystems? A review. *Springer: Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72:101–120.
- Crookston, R.K., Kurle, J.E., Copeland, P.J., Ford, J.H. and Lueschen, W.E. 1991.** Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean. *Agronomy Journal* 83: 108-113.
- Crozat, Y. and Fustec, J. 2006.** Assessing the role of grain legumes in crop rotation: some agronomical concepts that can help. In: Schneider, A., Craig, J. (Eds.), *Grain Legumes and the Environment: How to Assess Benefits and Impacts?* Agroscope FAL Reckenholz and AEP, Zurich, Switzerland, pp 55–60.
- Curt, M.D., Fernandez, J. and Martinez, M. 1995.** Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv “Keller” in relation to water regime. *Biomass Bioenergy* 8(6):401-409.
- Curt, M.D., Fernandez, J., Gonzalez, J. and Gil, J.L. 2000.** Comparative growth analysis of two sorghum cultivars in Badajoz, Spain. *Proceedings of the First World Conference on Biomass for Energy and Industry, June 5–9, Sevilla, Spain, pp 1877–1880.*
- Daimon, H. 2006.** Traits of the Genus *Crotalaria* Used as a Green Manure Legume on Sustainable Cropping Systems. *JARQ* 40(4):299–305.
- Dalal, R.C. 1974.** Effects of intercropping maize with pigeon peas on grain yield and nutrient uptake. *Exp. Agric.* 10:219-224.
- Dalianis, C., Christou, M., Sooter S, Kyritsis, S., Zafirios, Ch. and Samiotakis, G. 1994.** Growth and productivity of sweet sorghum in Greece. In: Hall, et al. (Eds.), *Proceedings of the Seventh E.U. Biomass Conference on Biomass for Energy and Industry 1994*; Ponte Press: Bochum, Germany pp 636–642.
- Danalatos, N.G. 1993.** Quantified analysis of selected land use systems in the Larissa region, Greece. Wageningen Agricultural University, PhD Thesis, ISBN 90-5485- 063-9, Wageningen, The Netherlands.
- Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V. and Tsibukas K. 2009.** Comparative analysis of sorghum vs. corn growing under optimum and under water/nitrogen limited conditions in central Greece. *Proceedings of the 17<sup>th</sup> European Biomass Conference, Hamburg, Germany, pp 538–544.*
- Dantuma, G. and Thompson, R. 1983.** Whole-crop physiology and yield components. In: Hebblethwaite, P.D. (Ed.), *The Faba Bean (Vicia faba L.)*. Butterworths Publisher, London. Chapter 6, pp 143–158.
- Delate, K., Duffy, M., Chase, C., Holste, A., Friedrich, H., Wantate, N. 2002.** An economic comparison of organic and conventional grain crops in a long-term agroecological research (LTAR) site in Iowa. *American Journal of Alternative Agriculture* 18: 59–69.
- De Mastro, G., Grassano, N., Verdini, L. and Manolio, G. 2006.** Confronto tra sistemi colturali per la produzione di colza (*Brassica napus* L. var. oleifera) ad uso energetico “Congresso piante mediterranee”, 27-28 Ottobre, Bari, Italy.
- Dhugga, K.S. and Waines, J.G. 1989.** Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. *Crop. Sci.* 29:132-1239.

- Di Candilo, M., Ranalli, P. and Pasini, P. 2005.** Esperienze di coltivazione di *Crambe abyssinica* in Emilia Romagna. *Agroindustria*, 4(1):101-107.
- Dimoyiannis, D., Tsadilas, C.D. and Valmis, S. 1998.** Factors affecting aggregate instability of Greek agricultural soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29:1239–1251.
- Dinel, H., Lévesque, P.E.M., Jambu, P. and Righi, D. 1992.** Microbial activity and long-chain aliphatics in the formation of stable soil aggregates. *Soil Science Society of America Journal* 56:1250-1255.
- Dolciotti, I., Marbelli, S., Grandi, S. and Venturi, G. 1996a.** Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops and Products* 7:265-272.
- Dolciotti, I., Mambelli, S., Grandi, S. and Venturi, G. 1996b.** A comparative analysis of the growth and yield performances of sweet and non sweet Sorghum genotypes. *First Europ. Sem. on Sorghum for Energy and Industry*, Tolosa, 1-3 avril, France, pp 207-212.
- Dolciotti, I., Marbelli, S., Grandi, S. and Venturi, G. 1998.** Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops and Products* 7:265-272.
- Domalski, E.S., Jobe, T.L. and Milne, T.A. 1986.** Thermodynamic data for biomass conversion and waste incineration. Golden, Colorado: Solar Energy Research Institute.
- Donald, C.M. 1963.** Competition among crop and pasture plant. *Adv. Agron.* 15:1–118.
- Dong, Z., Wu, L., Kettlewell, B., Caldwell, C.D. and Layzell, D.B. 2003.** H<sub>2</sub> fertilization of soils—is this a benefit of leguminous in rotation? *Plant Cell Environ.* 26:1875–1879.
- Duarte, M.P., Fernando, A.L., Guimaraes, H., Amparo, V., Alves, L. and Santos Oliveira, J.F. 2000.** Study of sweet and fiber sorghum in Portugal. Effect of climatic conditions and sowing date on the final productivity and on quality of the biomass. In: *Proceedings of the First World Conference on Biomass for Energy and Industry*, Sevilla, Spain, pp 361–364.
- Duer, H. and Christensen, P.O. 2010.** Socio-economic aspects of different biofuel development pathways. *Biomass and Bioenergy* 34(2): 237-243.
- Dufey, A. 2006.** Biofuels production, trade and sustainable development: emerging issues. Environmental Economics Programme, Sustainable Markets Discussion Paper N°. 2, International Institute for Environment and Development (IIED), London.
- Duke, J.A. 1981.** Handbook of Legumes of World Economic Importance. Plenum Press, New York, pp 199–265.
- Efthimiadou, A., Bilalis, D., Karkanis, A. and Froud-Williams, B. 2010.** Combined organic/inorganic fertilization enhance soil quality and increased yield, photosynthesis and sustainability of sweet maize crop. *AJCS* 4(9):722-729
- EIA. 2007a.** Annual Energy Review 2006. Energy Information Administration, US Department of Energy.
- Eidman, V., Hallam, A., Morehart, M., Klonsky, K. 2000.** Commodity costs and returns estimation handbook: a report of the AAEA Task Force on Commodity Cost and Returns; February 1, Ames, Iowa.
- Eik, K. and Hanway, J.J. 1965.** Some factors affecting development and longevity of leaves of com. *Agron J.* 57: 7-12.
- Energy Information Administration. 2007.** International Primary Energy Production. US Department of Energy.

- Engels, C. and Marschner, H. 1995.** Plant uptake and utilization of nitrogen. In: P. E. Bacon (ed), Nitrogen Fertilization in the Environment. Marcel Dekker Inc., New York, USA, pp 41-81.
- European Commission (EC). 2005.** Biomass action Plan. COM(2005) 628, SEC(2005) 1573, Brussels, Belgium.
- European Commission (EC). 2006.** An EU strategy for biofuels. COM(2006) 34, SEC(2006) 142, Brussels, Belgium.
- Eurostat. 2010.** Online statistical database accessible through [http:// epp.eurostat.ec.eu.int](http://epp.eurostat.ec.eu.int), Data downloaded 27 January 2012.
- Fageria, N.K. and Baligar, V.C. 2005.** Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88:97-185.
- FAIR CT96-1704, 1998.** Concerted action on Miscanthus. McCarthy, S., Coordinator Final Report, Ireland.
- FAIR CT96-1913, 1996.** Environmental studies on sweet and fiber sorghum, sustainable crops for biomass and energy. Foti, S., Coordinator Final Report, Italy.
- FAIR CT96-2028, 2001.** Giant reed (*Arundo donax* L.) network: improvement, productivity and biomass quality. Christou, M., Coordinator Final Report, Greece.
- FAO. 1998–2000.** FAO production yearbook.
- FAOSTAT. 2008.** <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.
- Farre, I., Van Oijen, M., Leffelaar, P.A. and Faci, J.M. 2000.** Analysis of maize growth for different irrigation strategies in northeastern Spain. *European Journal of Agronomy* 12:225–238
- Farrell, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O'Hare, M. and Kammen, D.M 2006.** Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science* 311:506–508.
- Feil, B., Thiraporn, R. and Geisler, G. 1990.** Genotypic variation in grain nutrient concentration in tropical maize grown during a rainy and a dry season. *Agronomie* 10:717–725.
- Fernandez, J. and Curt, M.D. 2005.** State of the art of *Cynara cardunculus* L. as energy crop. Proceedings of 14th European Biomass Conference, 14-21 October, Paris, France, pp 22-27.
- Fernandes, S.D., Trautmann, N.M., Streets, D.G., Roden, Ch.A. and Bond, T.C. 2007.** Global biofuel use, 1850-2000. *Global Biogeochemical Cycles* 21.
- Field, C.B., Campbell, J.E. and Lobell, D.B. 2008.** Biomass energy: the scale of the potential resource. *Trends in Ecology and Evolution* 23(2):65-72.
- Flessa, H., Ruser, R., Dörsch, P., Kampb, T., Jimenez, M.A., Munchb, J.C. and Beese, F. 2002.** Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) from two farming systems in southern Germany Agriculture. Elsevier Science B.V, *Ecosystems and Environment* 91:175–189.
- Flouri, F., Chajipavlidis, I. and Balis, C. 1990.** Effect of olive oil mills liquid wastes on soil fertility. International congress in Tratamiento des alpechines. 3 May–1 July ,Cordoba.
- Forster, S.M. 1990.** The role of microorganisms in aggregate formation and soil stabilization: Types of aggregation. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 4:85-98.
- Foti, S. and Cosentino, S. 2001.** Colture erbacee annuali e poliennali da energia. *Riv. di Agron.* 35:200-215.

- Gallais, A. and Coque, M. 2005** Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: a synthesis. *Maydica* 50: 531–537.
- Gallais, A. and Hirel, B. 2004.** An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. *Journal of experimental botany* 55:295-306.
- Gardner, J.C., Maranville, J.W. and Paparozzi, E.T. 1994.** Nitrogen use efficiency among diverse sorghum cultivars. *Crop Sci.* 34:728–733.
- Gastal, F., Belanger, G. and Lemaire, G. 1992.** A model of the leaf expansion rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Ann. Bot.* 70:437-442.
- Gastal, F. and Nelson, C.J. 1994.** Nitrogen use within the growing blade of tall fescue. *Plant Phys.* 105:191-197.
- Gerin, P.A., Vliegen, F. and Jossart, JM. 2008.** Energy and CO<sub>2</sub> balance of maize and grass as energy crops for anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 99: 2620–2627.
- Gnansounou, E., Dauriat, A., Villegas, J. and Panichelli, L. 2009.** Life cycle assessment of biofuels: energy and greenhouse gas balances. *Bioresour. Technol.* 100 (21):4919–4930.
- Gonzalez-Garcia, S., Gasol, C.M., Gabarrell, X., Rieradevall, J., Moreira, M.T. and Feijoo, G. 2009.** Environmental aspects of ethanol-based fuels from *Brassica carinata*: A case study of second generation ethanol. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 13(9):2613-2620.
- Gooding, M.J., Kasynova, E., Ruske, R., Hauggaard-Nielsen, H., Jensen, E.S., Dahlmann, C., Fragstein, P. von, Dibet, A., Corre Hellou, G., Crozat, Y., Pristeri, A., Romeo, M., Monti, M. and Launay, M. 2007.** Intercropping with pulses to concentrate nitrogen and sulphur in wheat. *J. Agric. Sci.* 145: 469–479.
- Gordon, W.B., Raney, R.J. and Stone, L.R. 1995.** Irrigation management practices for corn production in North central Kansas. *J. Soil Water Conserv.* 50:395–399.
- Graboski, M.S. 2002.** Fossil energy use in the manufacture of corn ethanol. Prepared for the National Corn Growers Association. Biomass Energy Home Page. Oregon. [www.oregon.gov/ENERGY/RENEW/Biomass/docs/FORUM/FossilEnergyUse.pdf](http://www.oregon.gov/ENERGY/RENEW/Biomass/docs/FORUM/FossilEnergyUse.pdf)
- Greenwood, D.J., Neeteson, J.J. and Draycott, A. 1985.** Response of potatoes to N fertilizer: quantitative relations for components of growth. *Plant Soil* 18:185-203.
- Gustavsson, L., Börjesson, P., Johansson, B. and Svenningsson, P. 1995.** Reducing CO<sub>2</sub> emissions by substituting biomass for fossil fuels. *Energy* 20:1097–1113.
- Gutschick, V.P. 1988.** Optimization of specific leaf mass, internal CO<sub>2</sub> concentration and chlorophyll content in crop canopies. *Plant Physiol. Biochem.* 26:525–537.
- Hall, D.O. and Scrase, J.I. 1998.** Will biomass energy be the environmentally friendly fuel of the future? *Biomass and Bioenergy* 15(4-5):357–67.
- Halvorson, A.D., Mosier, A.R., Reule, C.A. and Bausch, W.C. 2006.** Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. *Agron. J.* 98:63-71.
- Hanks, R.J. 1983.** Yield and water-use relationships: an overview. In: Taylor, H.M., Jordan, W.R., Sinclair, T.R. (Eds.), *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. American Society of Agronomy Inc., Madison, WI, USA, pp 393–411.
- Hanway, J.J. 1962a.** Corn growth and composition in relation to soil fertility: I. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield. *Agron. J.* 57:7-12.

- Hanway, J.J. 1962b.** Corn growth and composition in relation to soil fertility. II. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agron. J.* 54:217-222.
- Hardarson, G. and Atkins, C. 2003.** Optimizing biological N<sub>2</sub> fixation by legumes in farming systems. *Plant Soil* 252:41-54.
- Harris, R.F., Chesters, G. and Allen, O.N. 1966.** Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.* 18:108-169.
- Hatfield, R.D. 1989.** Structural polysaccharides in forages and their degradability. *Agron Journal* 46:39-46.
- Hattori, T. and Morita, S. 2010.** Energy Crops for Sustainable Bioethanol Production; Which, Where and How? *Plant Prod. Sci.* 13(3):221-234.
- Hauggaard-Nielsen, H., Jørnsgaard, B., Kinane, J. and Jensen, E.S. 2008.** Grain legume-cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renew. Agric. Food Sys.* 23:3-12.
- Haynes, R.J., Martin, R.J. and Goh, K.M. 1993.** Nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for some field grown legumes crops. *Field Crops Res.* 35:85-92.
- Helenius, J. 1990.** Plant size, nutrient composition and biomass productivity of oats and faba bean in intercropping and the effect of controlling *Rhopalosiphum padi* on these properties. *J Agric Sci Finland* 62: 21-31.
- Herridge, D.F., Peoples, M.B. and Boddey, R.M. 2008.** Marschner review: global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil* 311:1-18.
- Hill, J., Nelson, E., Tilman D., Polasky, S. and Tiffany, D. 2006.** Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 103:1106-11210.
- Hirose, T. and Werger, M.J.A. 1987.** Nitrogen use efficiency in instantaneous and daily photosynthesis of leaves in the canopy of a *Solidago altissima* stand. *Physiol. Plant.* 70:215-222.
- Hirose, T. and Werger, M.J.A. 1994.** Photosynthetic capacity and nitrogen partitioning among species in the canopy of herbaceous plant community. *Oecologia* 100:203-212.
- Hirose, T., Ackerly, D.D., Traw, M.B. and Bazzaz, F.A. 1996.** Effect of CO<sub>2</sub> elevation on canopy development in stands of two co-occurring annuals. *Oecologia* 108:215-223.
- Hoogwijk, M., Faaij, A., van den Broek, R., Berndes, G., Gielen, D. and Turkenburg, W. 2003.** Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy* 25:119-133.
- Hoogwijk M., Hoogwijk M.M., Faaij A.P.C., de Vries B., Turkenburg, W.C., 2009.** Exploration of regional and global cost-supply curves of biomass energy from short rotation crops at abandoned cropland and rest land under four IPCC SRES land use scenarios. *Biomass and Bioenergy* 31: 257-270.
- Huggins, D.R. and Pan W.L. 1993.** Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agron. J.* 89:898-905.
- Huiskamp, T. and Lamers, J.G. 1992.** Snijmais. In: Teeltfrequentie-effecten bij erwten, veldbonen, bruine bonen, snijmais, vlas en uien. Verslag No.143, Proefstatie voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PGAV), Lelystad pp 44-54.
- Jensen, E.S. 1986.** Intercropping field bean with spring wheat. *Vortaege fuer Pflanzuechtg* 11:67-75.



- Jensen, E.S., Peoples, M.B. and Hauggaard-Nielsen, H. 2010.** Faba bean in cropping systems, *Field Crops Research* 115:203–216.
- Johnson, W.H. and Lamp, B.J. 1966.** Principles, equipment, and systems for corn harvesting. Wooster, Ohio: Agricultural Consulting Associates Inc.
- Jones, C.A. and Kiniry, J.R. 1986.** CERES-MAIZE. A simulation model of maize growth and development. Texas A&M Press, College Station, TX.
- Jones, M.J. 1974.** Effects of previous crop on yield and nitrogen response of maize at Samaru, Nigeria. *Exp. Agric.* 10:273-279.
- Kågeson, P. 2001.** The impact of CO<sub>2</sub> emissions trading on the European Transport Sector. Vinnova Report VR 2001:17, Sweden.
- Karlen, D.L., Sadler, E.J. and Camp, C.R. 1987.** Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk loamy sand. *Agron. J.* 79:649-656.
- Kartha, S. and Larson, E.D. 2000.** A bioenergy primer: Modernized biomass energy for sustainable development. New York: United Nations Development Programme.
- Kasim, K. and Dennett, M.D. 1986.** Effects of shading and plant density on leaf growth on *Vicia faba*. *Ann. Appl. Biol.* 109:627–638.
- Katyar, R.P. and Singh, A.K. 1990.** Path coefficient studies for yield and yield components in faba bean. *Fabis Newslett.* 26:3–5.
- Kiepe, P. 1995.** Effects of *Cassia siamea* hedgerow barriers on soil physical properties. *Geoderma.* 66:113–120.
- Kim, S. and Dale, B.E. 2004a.** Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass Bioenergy* 26:361-375.
- Kim, S. and Dale, B.E. 2004b.** Cumulative energy and global warming impact from the production of biomass for biobased products. *J. Ind. Ecol.* 7:147-162.
- Kirchmann, H. and Bergqvist, R. 1989.** Carbon and nitrogen mineralization of white clover plants (*Trifolium repens*) of different age during aerobic incubation with soil. *Zeitschrift Pflanzenernahrung und Bodenkunde* 152:283–288.
- Kirkegaard, J., Christen, O., Krupinsky, J. and Layzell, D. 2008.** Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Res.* 107:185–195.
- Koga, N. 2008.** An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet. *Agric. Ecosyst. Environ.* 125:101-110.
- Kosmas, C., Danalatos, N.G. and Gerontidis, St. 2000.** The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. *Catena* 40:3-17.
- Kramer, A.K., Doane, T.A., Horwath, W.R., and van Kessel, C. 2002.** Combining fertiliser and organic inputs to synchronize N supply in alternative cropping systems in California. *Agric Ecosyst Environ* 91:233–243
- Kramer, K.J., Moll, H.C. and Nonhebel, S. 1999.** Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agric Ecosyst Environ* 72:9–16.
- Krantz, B.A., Broadbent, F.E., Williams, W.A., Baghott, K.G., Ingebrtsetsen, K.H. and Stanley, M.E. 1968.** Research with nitrogen emphasises fertilized crops - not crop residues. *Calif. Agric.* 22:6-8.

- Kwesiga, F. and Coe, R. 1994.** The effect of short rotation *Sesbania sesban* planted fallows on maize yield. *Forest Ecol. Manage.* 64:199–208.
- Lafitte, H.R. and Edmeades, G.O. 1994.** Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize. II. Grain yield, biomass production, and N accumulation. *Field Crop Res.* 39:15-25.
- Lavigne, A. and Powers, S.E. 2007.** Evaluating fuel ethanol feedstocks from energy policy perspectives: A comparative energy assessment of corn and corn stover. *Energy Policy* 35:5918-5930.
- Le Gouis, J., Béghin D., Heumez E. and Pluchard P. 2000.** Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. *European Journal of Agronomy* 12:163–173.
- Lemaire, G. and Gastal F. 1997.** N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire G, ed. *Diagnosis of the nitrogen status in crops.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp 3-43.
- Lemcoff, J.H. and Loomis, R.S. 1986.** Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Sci.* 26: 1017-1022.
- Levy, A.G.J. and Miller, W.P. 1997.** Aggregate stability of some southern US soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:117–1182.
- Linke, B., Baganz, K. and Schlauderer, R. 1999.** Nutzung von Feldfrüchten zur Biogasgewinnung – Use of crops for biogas production. *Agrartechnische Forschung* 5 (2):82–90.
- Linoj Kumar, N.V., Dhavala, P., Goswami, A. and Maithel, S. 2006.** Liquid biofuels in South Asia: resources and technologies. *Asian Biotechnol. Develop. Rev.* 8:31–49.
- Liska, A.J., Yang, H.S., Bremer, V.R., Klopfenstein, T.J., Walters, D.T., Erickson, G.E. and Cassman, K.G. 2009.** Improvements in life cycle energy efficiency and greenhouse gas emissions of corn-ethanol. *J. Ind. Ecol.* 13(1):58–74.
- Liu, K. and Wiatrak, P. 2011.** Corn production and plant characteristics response to N fertilization management in dry-land conventional tillage system. *International Journal of Plant Production* 5 (4):405-416.
- Lopez-Bellido, L., Fuentes, M., Castillo, J.E. and Lopez-Garrido, F.J. 1998.** Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat grain quality grown under rain-fed Mediterranean conditions. *Field Crops Res.* 57:265–276.
- Lopez-Bellido, R.J. and Lopez-Bellido, L. 2001.** Efficiency on Nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Fields crop research* 71:31-46.
- Lopez-Bellido, R.J., Lopez-Bellido, L., Benitez-Vega, J. and Lopez-Bellido, F.J. 2007.** Tillage system, preceding crop and nitrogen fertilizer in wheat crop: water utilization. *Agron. J.* 99:66–72.
- Lorenzoni, C., Cosentino, S., Foti, S. and Habyarimana, E. 2005.** Selezione di nuovi genotipi di sorgo per la produzione di biomassa. *Agroindustria* 4(1):17-25.
- Lory, J.A., Russelle, M.P. and Randall, G.W. 1995b.** A classification system for factors affecting crop response to nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 87: 869-876.
- Loss, S.P., Siddique, K.H.M., Jettner, R. and Martin, L.D. 1998a.** Responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to sowing rate in Southwestern Australia. Part I: seed yield and economic optimum plant density. *Aust. J. Agric. Res.* 49:989–997.

- Lugg, D.G. and Sinclair, T.R. 1981.** Seasonal changes in photosynthesis of field-grown soybean leaflets. 2. Relation to nitrogen content. *Photosynthetica* 15:138-144.
- Lupwayi, N.Z. and Kennedy, A.C. 2007.** Grain legumes in Northern Great Plains: impacts on selected biological soil processes. *Agron. J.* 99:1700–1709.
- Lychnaras, V. and Schneider, A. 2011.** Multi-farm economic analysis of perennial energy crops in Central Greece, taking into account the CAP reform. *Biomass and bioenergy* 35: 700-715.
- Lynch, J.M. 1981.** Promotion and inhibition of soil aggregate stabilization by microorganisms. *Journal of General Microbiology* 126:371-375.
- Lynch, J.M. and Bragg, E. 1985.** Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science* 2:133-171.
- Ma, B.L., Subedi, K.D. and Costa, C. 2005.** Comparison of crop-based indicators with soil nitrate test for corn nitrogen requirement. *Agron. J.* 97:462-471.
- Macedo, I.C., Seabra, J.E.A. and Silva, J.E.A.R. 2008.** Greenhouse gas emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass Bioenergy* 32:582-595.
- Magar, S. B., Pelkonen, P. Tahvanainen, L., Toivonen, R. and Toppinen, A. 2011.** Growing trade of bioenergy in the EU: Public acceptability, policy harmonization, European standards and certification needs. *Biomass and Bioenergy* 35(8):3318-3327.
- Magdoff, F.R. 1991.** Understanding the Magdoff pre-sidedress nitrate test for corn. *J. Prod. Agric.* 4:297-305.
- Malça, J. and Freire, F. 2006.** Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bioethyl tertiary butyl ether (bioETBE): assessing the implications of allocation. *Energy* 31:3362-3380.
- Mantovani, E.C., Villalobos, F.J., Orgaz, F. and Fereres, E. 1995.** Modelling the effects of sprinkler irrigation uniformity on crop yield. *Agric. Water Manage.* 27:243–257.
- Marcelos, H. and Constable, G.A. 1986.** Effects of plant density and sowing date on grain yield of faba beans (*Vicia faba* L.) in Northern New South Wales. *Aust. J. Exp. Agric.* 26:493–496.
- Martin, E. C., Loudon, T. L., Ritchie, J.T. and Werner, A. 1994.** Use of drainage lysimeter to evaluate nitrogen and irrigation management strategies to minimize nitrate leaching in maize production. *Trans. ASAE.* 37:79–83.
- Martin, M.P.L.D. and Snaydon, R.W. 1982.** Intercropping barley and beans: effect of planting pattern. *Exp. Agric.* 18:139–148.
- Martin, W.P., Page, J.B., Raney, W.A. and Ment, J.D. 1955.** Soil aggregation. *Adv. Agron.* 7:1-37.
- Maxclaux, C., Quilleré, I., Gallais, A. and Hirel, B. 2001.** The challenge of remobilisation in plant nitrogen economy. A survey of physioagronomic and molecular approaches. *Ann. Appl. Biol.* 138:69-81.
- Mazzoncini, M. and Angelini, L. 2002.** Brassicaceae e nuove specie oleaginose per usi industriali non alimentari. *Riv. Agron.*, 36:53-68.
- McAloon, A., Taylor, F., Yee, W., Ibsen, K. and Wooley, R. 2000.** Determining the cost of producing ethanol from cornstarch and lignocellulosic feedstocks. *Tech. Rep. NREL/TP-580-28893.* Natl. Renewable Energy Lab., Golden, CO. 30.

- McCree, K.J. 1986.** Whole-plant carbon balance during osmotic adjustment to drought and salinity stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:33–43.
- McEwen, J., Darby, R.J., Hewitt, M.V. and Yeoman, D.P. 1989.** Effects of field beans, fallow, lupins, oats, oilseed rape, peas, ryegrass, sunflowers and wheat on nitrogen residues in the soil and on the growth of a subsequent wheat crop. *J. Agric. Sci., Camb.* 115:209–219.
- McIntyre, G.I. 1997.** The role of nitrate in the osmotic and nutritional control of plant development. *Australian Journal of Plant Physiology* 24:103-118.
- McKendry, P. 2002.** Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83:37–46
- Mengel, D. 1995.** Roots, growth and nutrient uptake. AGRY 08. Agronomy Department, Purdue University. <http://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/AGRY-95-08.pdf>
- Menichetti, E. and Otto, M. 2009.** Energy balance and greenhouse gas emissions of biofuels from a life-cycle perspective. Pages 81-109 in R.W. Howarth and S. Bringezu (eds) *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) International Biofuels Project Rapid Assessment, 22-25 September 2008, Gummersbach Germany. Cornell University, Ithaca NY, USA. <http://cip.cornell.edu/biofuels/>
- Mickelson, S., See, D., Meyer, F.D., Garner, J.P., Foster, C.R., Blake, T.K. and Fisher A.N. 2003.** Mapping QTL associated with nitrogen storage and remobilization in barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves, *Journal of Experimental Botany* 54:801–812.
- Miller, P.R., Gan, Y., McConkey, B.G. and McDonald, C.L. 2003.** Pulse crops for the northern Great Plains: I. Grain productivity and residual effects on soil water and nitrogen. *Agron. J.* 95:972–979.
- Mohagheghi, A., Evans, K., Chou, Y.C. and Zhang, M. 2002.** Cofermentation of glucose, xylose, and arabinose by genomic DNA-integrated xylose/arabinose fermenting strain of *Zymomonas mobilis* AX101. *Appl Biochem Biotechnol* 98–100:885–898.
- Moll, R.H., Kamprath, E.J. and Jackson, W.A. 1982.** Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. J.* 74:562–564.
- Moll, R.H., Kamprath, E.J. and Jackson, W.A. 1983.** Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74:562–564.
- Monteith, J.L. 1977.** Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., Ser. B* 281:277-294.
- Monteith, J.L. and Scott, R.K. 1982.** Weather and yield variation of crops. In: K. Blaxter and L. Fowden (Editors), *Food, Nutrient and Climate*. Applied Science Publishers, Barking, Great Britain, pp 127-149.
- Monti, A. and Venturi, G. 2003.** Comparison of energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheat monocultures in northern Italy, *European Journal of Agronomy* 19:35-43.
- Morris, T.F., Blacmer, A.M. and El-Hout, N.M. 1993.** Optimal rates of nitrogen fertilization for first-year corn after alfalfa. *J. Prod. Agric.* 6:344-350.
- Muchow, R.C. 1988.** Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. III. Grain yield and nitrogen accumulation. *Field Crops Res.* 18:31-43.

- Muchow, R.C. 1994.** Field crops research effect of nitrogen on yield determination in irrigated maize in tropical and subtropical environments. *Field Crops Research* 38:1-13.
- Muchow, R.C. and Davis, R. 1988.** Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment II. radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Research* 18:17-30.
- Muchow, R.C. and Sinclair, T.R. 1994.** Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in fieldgrown maize and sorghum. *Crop Sci.* 34:721-727.
- Mullen, R. W., Freeman, K. W., Raun, W. R., Johnson, G. V., Stone, M. L. and Solie, J. B. 2003.** Identifying an in season response index and the potential to increase wheat yield with nitrogen. *Agron. J.* 95:347–351.
- Mullins, G.L., Alley, S.E. and Reeves, D.W. 1998.** Tropical maize response to nitrogen and starter fertilizer under strip and conventional tillage systems in southern Alabama. *Soil Till. Res.* 45:1-15.
- Muruli, B.J. and Paulsen, G.M. 1981.** Improvement of nitrogen use efficiency and its relationship to other traits in maize. *Maydica* 26:63-73.
- Mussatto, S.I., Dragone, G., Guimaraes, P.M.R., Silva, J.P.A., Carneiro, L.M., Roberto, I.C., Vicente, A., Domingues, L. and Teixeira, J.A. 2010.** Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology Advances* 28(6):1873-1899.
- Myers, D.K. and Underwood, J.F. 1992.** Harvesting corn residue. *Agronomy facts* AGF-003-92. The Ohio State University Extension. [http://www.ag.ohiostate.edu/\\_ohioline/agf-fact/0003.html](http://www.ag.ohiostate.edu/_ohioline/agf-fact/0003.html).
- Naylor, R., Liska, A., Burke, M., Falcom, W.P., Gaskell, J., Rozelle, S. and Cassman, K. 2007.** Ripple effects of crop-based biofuels on global food security and the environment. *Environment* 49:30-43.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1973.** Determination of Total Nitrogen in Plant Material. *Agronomy journal, Soil science.* 65 (1):109-112.
- Nemecek, T., von Richthofen, J.-S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R. and Pahl, H. 2008.** Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *Eur. J. Agron.* 28:380–393.
- NeSmith, D.S. and Ritchie, J.T. 1992a.** Effects of soil waterdeficits during tassel emergence on development and yield component of maize (*Zea mays*). *Field Crops Res* 28:251–256.
- NeSmith, D.S. and Ritchie, J.T. 1992b.** Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water deficit during grain filling. *Field Crops Res.* 29:23–35.
- Nyamadzawo, G., Chikowo, R., Nyamugafata, P. and Giller, K.E. 2007.** Improved legume tree fallows and tillage effects on structural stability and infiltration rates of a kaolinitic sandy soil from central Zimbabwe. *Soil & Tillage Research* 96:182–194.
- Oades, J.M. 1984.** Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil* 76: 319-337.
- Ohlrogge, J., Allen, D., Berguson, B., DellaPenna, D., Shachar-Hill, Y. and Stymne, S. 2009.** Energy Driving on Biomass *Science* 324 (5930):1019-1020.
- Omay, A.B., Rice, C.W., Maddux, L.D. and Gordon, W.B. 1998.** Corn yield and nitrogen uptake in monoculture and in rotation with soybean. *Soil Science Society of America Journal* 62: 1596-1603.

- Onim, I.F.M., Mathuva, M., Otieno, K. and Fitzhugh, H.A. 1990.** Soil fertility changes and response of maize and beans to green manures of *Leucaena*, *Sesbania* and *Pigeonpea*. *Agroforestry Systems* 12:197-215.
- Onofri, A., Laureti, D., Peccetti, G. and Zanetti, F. 2005.** Panorama varietale del colza. *Agroindustria* 4(1):81-90.
- Otegui, M.E., Andrade, F.H. and Suero, E.E. 1995.** Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res.* 40:87–94.
- Pala, M., Saxena, M.C., Papastylianou, I. and Jaradat, A.A. 1994.** Enhancing the use of cool season food legumes in different farming systems. In: Muhlbauer, F.J., Kaiser, W.J. (Eds.), *Expanding the Use of Cool Season Food Legumes*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp 130–143.
- Pandey, A. 2008.** *Handbook of Plant-Based Biofuels*. CRC Press, Boca Raton.
- Pandey, R.K., Maranville, J.W. and Admou, A. 2000.** Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agric. Water Manage* 46:1–13.
- Panoutsou, C. 2007.** Socio-economic impacts of energy crops for heat generation in Northern Greece. *Energy Policy* 35: 6046–6059.
- Panoutsou, C., Eleftheriadis, J., Nikolaou, A., 2009.** Biomass supply in Eu27 from 2010-2030. *Energy Policy* 37: 5675-5686.
- Pare, T., Chalifour, F.P., Bourassa, J. and Antoun, H. 1993.** The residual effects of faba bean and soybean for a 2nd and 3rd succeeding forage-corn production. *Can. J. Plant Sci.* 73:495–507.
- Peoples, M.B., Boyer, E.W., Goulding, K.W.T., Heffer, P., Ochwoh, V.A., Vanlauwe, B., Wood, S., Yagi, K. and Van Cleemput, O. 2004.** Pathways of nitrogen loss and their impacts on human health and the environment. In: A.R. Mosier, K.J. Syers, J.R. Freney, (Eds.), *Agriculture and the Nitrogen Cycle, The Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE)*, Island Press, Covelo, California, USA, pp 53–69.
- Peoples, M.B., Brockwell, J., Herridge, D.F., Rochester, I.J., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M., Dakora, F.D., Bhattari, S., Maskey, S.L., Sampet, C., Rerkesam, B., Khan, D.F., Hauggaard-Nielsen, H. and Jensen, E.S. 2009a.** Review article. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis* 48:1–17.
- Peoples, M.B., Hauggaard-Nielsen, H. and Jensen, E.S. 2009b.** Chapter 13. The potential environmental benefits and risks derived from legumes in rotations. In: Emerich, D.W., Krishnan, H.B. (Eds.), *Agronomy Monograph 52. Nitrogen Fixation in Crop Production* Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., and Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA, pp 349–385.
- Peoples, M.B., Herridge, D.F. and Ladha, J.K. 1995.** Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil* 174:3-28
- Perniola, M., Tartaglia, G. and Tarantino, E. 1996.** Radiation use efficiency of sweet sorghum and kenaf under field conditions. In: *Abs. Book 9th Eur. Bioenergy Conference*, Copenhagen, p 156.
- Peterson, T.A. and Varvel, G.E. 1989.** Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate. III Corn. *Agronomy Journal* 81:735-738.
- PGRO. 2008.** Pulse agronomy guide 2008. [http://www.pgro.org/agronomy\\_guide/agron\\_guide.shtml](http://www.pgro.org/agronomy_guide/agron_guide.shtml).

- Phillip, J.R. 1957a.** The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Science* 84:257-264.
- Phillip, J.R. 1957b.** The theory of infiltration: 5. The influence of the initial moisture content, *Soil Science* 84:329-339.
- Pierce F.J., and Rice, C.W. 1998.** Crop rotation and its impact of efficiency of water and nitrogen use. In: Hargrove (Ed.) *Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen*. ASA, Special Publication N° 15, Wisconsin, pp 101-113.
- Pilbeam, C.J. and Hebblethwaite, P.D. 1990.** Responses to sowing depth of winter faba bean. *Fabis Newslett.* 26:15–18.
- Pilbeam, C.J., Hebblethwaite, P.D. and Ricketts, H.E. 1989.** The response of determinate and semi-determinate faba bean varieties to different sowing dates in the spring. *Ann. Appl. Biol.* 114:377–390.
- Pilbeam, C.J., Hebblethwaite, P.D., Ricketts, H.E. and Nyongesa, T.E. 1991.** Effects of plant population density on determinate and indeterminate forms of winter field beans (*Vicia faba*). Part 1: yield and yield components. *J. Agric. Sci.* 116:375–383.
- Pimentel, D. 2002.** Limits of biomass utilization. In *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. New York: Academic.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., Seidel, R. 2005.** Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems. *BioScience* 55 (7): 573-582.
- Pimentel, D. and Patzek, T.W. 2005.** Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. *Nat. Resour. Res.*14:65-76.
- Plenet, D. and Lemaire, G. 1999.** Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil* 216:65-82.
- Pommel, B., Gallais, A., Coque, M., Quilleré, I., Hirel, B., Prioul, J.L., Andrieu, B. and Floriot, M. 2006.** Carbon and nitrogen allocation and grain filling in three maize hybrids differing in leaf senescence. *Eur J Agron* 24:203–211.
- Pordesimo, L.O., Hames, B.R., Sokhansanj, S. and Edens, W.C. 2005.** Variation in corn stover composition and energy content with crop maturity. *Biomass and Bioenergy* 28:366–374.
- Poulain, D., Keller, S. and Le Guen, J. 1986.** Canopy development and efficiency of foliar light interception in winter faba bean. *Fabis Newslett.* 16:13–19.
- Power J F, Willis W O, Grunes D L and Reichman G. A. 1967.** Effect of soil temperature, phosphorus and plant age on growth analysis of barley. *Agri. J.* 59:231-234
- Prithiviraj, B., Carruthers, K., Fe, Q., Cloutier-Martin, R.C. and Smith, D. 2000.** Intercropping of corn with soybean and lupin for silage: Effect of seedling date on yield and quality. *J Agron Crop Sci* 185: 29-136.
- Radford, P.J. 1967.** Growth analysis formula: Their use and abuse. *Crop Sci.* 7:171–175.
- Rajcan, I. and Tollenaar, M. 1999.** Source:sink ratio and leaf senescence in maize. II. Nitrogen metabolism during grain filling. *Field Crops Research* 60:255–265.
- Reid, J.B. and Goss, M.J. 1981.** Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. *J. Soil Sci.* 32:521-541.

- Reid, J.B., Goss, M.J. and Robertson, P.D. 1982.** Relationship between the decreases in soil stability affected by the growth of maize roots and changes in organically bound iron and aluminium. *J. Soil Sci.* 33:395-410.
- Renewable Fuels Association (RFA). 2007.** Ethanol industry statistics, Washington, DC, USA, [www.ethanolrfa.org](http://www.ethanolrfa.org).
- Renewable Fuels Association. 2010.** Issue Brief. Summary of RFS2 final rule.
- Rhoads, F.M. and Bennet, J.M. 1990.** Corn. In: Stewart, B.A., Nielsen, D.R. (Eds.), *Irrigation of Agricultural Crops*. American Society of Agronomy, Madison, USA, pp 569–597.
- Rochester, I.J., Peoples, M.B., Hulugalle, N.R., Gault, R.R. and Constable, G.A. 2001.** Using legumes to enhance nitrogen fertility and improve soil condition in cotton cropping systems. *Field Crops Res.* 70:27–41.
- Roldan, A., Garcia-Orenes, F. and Lax, A. 1994.** An incubation experiment to determine factors involving aggregation changes in an arid soil receiving urban refuse. *Soil Biology and Biochemistry* 26:1699-1707.
- Roth, G.W., Beegle, D.B. and Bohn, P.J. 1992.** Field evaluation of a pre-sidedress soil nitrate test and quicktest for corn in Pennsylvania. *J. Prod. Agric.* 5:476-481.
- Roy, R.N. and Wright, B.C. 1974.** Sorghum growth and nutrient uptake in relation to soil fertility. II. N, P, and K uptake pattern by various parts. *Agron. J.* 66:5-10.
- Russell, J.R. 1986.** Influence of harvest date on the nutritive value and ensiling characteristics of maize stover. *Animal Feed Science Technology* 14:11–27.
- Rutz, D. and Janssen, R. 2008.** *Biofuel Technology Handbook*, WIP Renewable Energies ISBN Contract No. EIE/05/022/SI2.420009, München, Germany.
- Sáez, R.M., Varela, M., Barquero, C.G., Castellano, E., Cardiel, C., Kallivroussis, L., Soldatos, P.G., Rozakis, S., Nikolau, I., Schwaiger, H. and Jungmeier, G. 2000.** A multiple criteria decision tool for the integration of energy crops into the Southern Europe energy system. In: James, James, editors. *Proceedings of the First World Conference on Biomass for Energy and Industry*, June 5–9, Sevilla, Spain, pp 1417–1419.
- Saidur, R., Abdelaziz, E.A., Demirbas, A., Hossain, M.S. and Mekhilef, S. 2011.** A review on biomass as a fuel for boilers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(5):2262-2289.
- Sakellariou-Makrantonaki, M., Papalexis, D., Nakos, N. and Kalavrouziotis, I.K. 2007.** Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece. *Agricultural Water Management* 90:181-189.
- Sakellariou-Makrantonaki, M. and Papanikolaou, Ch. 2008.** Biomass energy production by cultivating fiber sorghum in Greece under intelligent irrigation methods. 2<sup>nd</sup> WSEAS/IASME International Conference on renewable energy sources (RES'08) October 26-28, Corfu, Greece.
- Salmeron-Miranda, F., Bath, B., Eckersten, H., Forkman, J. and Wivstad, M. 2007.** Aboveground nitrogen in relation to estimated total plant uptake in maize and bean. *Nutr Cycl Agroecosyst* 79:125–139.
- Sanchez, O.J. and Cardona, C.A. 2008.** Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology* 99(13):5270-5295.
- Sartori1, L., Basso, B., Bertocco1, M., Oliviero, G. 2005.** Energy Use and Economic Evaluation of a Three Year Crop Rotation for Conservation and Organic Farming in NE Italy. *Biosystems Engineering* 91 (2): 245–256.



- Sattelmacher, B., Horst, W. J. and Becker, H. C. 1994.** Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of crop plants. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157:215-224.
- Scholte, K. 1987.** Relationship between cropping frequency, root rot and yield of silage maize on sandy soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 35:473-486.
- Schröder, J.J. 1999.** Effect of split applications of cattle slurry and mineral fertilizer N on the yield of silage maize in a slurrybased cropping system. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 53:209-218.
- Schröder, J.J., Groenwold, J. and Zaharieva, T. 1996a.** Soil mineral nitrogen availability to young maize plants as related to root length density distribution and fertilizer application method. *Neth. J. Agric. Sci.* 44:209-225.
- Schröder, J.J., Neeteson, J.J., Oenema, O. and Struik, P.C. 2000.** Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Research* 66: 151-164.
- Schröder, J.J., Ten Holte, L., Van Keulen, H. and Steenvoorden, J.H.A.M. 1993.** Effects of nitrification inhibitors and time and rate of slurry and fertilizer N application on silage maize yield and losses to the environment. *Fert. Res.* 34:267-277.
- Schröder, J.J., Van Dijk, W. and De Groot, W.J.M. 1996b.** Effects of cover crops on the nitrogen influxes in a silage maize production system. *Neth. J. Agric. Sci.* 44:293-315.
- Schulten, H.R. and Schnitzer, M. 1998.** The chemistry of soil organic nitrogen: a review. *Biology of Fertilized Soils* 26:1-15.
- Sequi, P. and Vittori- Antisari, L. 1989.** Dinamismo chimico dell'azoto: aspetti agronomici e ambientali. *Riv di Agron* 23:30-42.
- Shapouri, H., Duffield, J.A. and Wang, M. 2002.** The energy balance of corn ethanol: An update. U.S. Forest Service Research Paper Number 813. Washington, D.C. pp 1-16.
- Sheehan, J., Aden, A., Paustian, K., Killian, K., Brenner, J., Walsh, M. and Nelson, R. 2004.** Energy and environmental aspects of using corn stover for fuel ethanol. *J. Ind. Ecol.* 7:117-146.
- Simmonds, N.W. 1995.** The relation between yield and protein in cereal grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67:309-315.
- Sims, A.L., Schepers, J.S., Olson, R.A. and Power, J.F. 1998.** Irrigated corn yield and nitrogen accumulation response in a comparison of no-till and conventional till: Tillage and surface-residue variables. *Agron. J.* 90:630-637.
- Sims, R.E.H., Hastings, A., Schlamadinger, B., Taylor, G. and Smith, P. 2006.** Energy crops: current status and future prospects. *Global Change Biology*, 12:2054-2076.
- Sinclair, T.R. 1998.** Historical changes in harvest index crop nitrogen accumulation. *Crop Science* 38:638-643.
- Sinclair, T.R. and Horie, T. 1989.** Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Sci.* 29:90-98.
- Singh, A., Pant, D., Korres, N.E., Nizami A.S., Prasad, S. and Murphy, J.D. 2010.** Key issues in life cycle assessment of ethanol production from lignocellulosic biomass: Challenges and perspectives. *Bioresource Technology* 101:5003-5012.
- Smil, V. 2001.** *Enriching the Earth*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

- Smith, F.W. and Myers, R.J.K. 1978.** Patterns of uptake and distribution of phosphorus and nitrogen in grain sorghum during its development. In: A.R. Ferguson, R.L. Bielecki and I.B. Ferguson (Editors). *Plant Nutrition 1978 Proc. 8<sup>th</sup> Int. Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems*, 28 August-1 September, 1978, Auckland, N.Z. Government Printer, Auckland, NZDSIR Info. Ser.N<sup>o</sup>. 134, pp 491-498.
- Soltanpour, P.N., Malakouti, M.J. and Ronaghi, A. 1995.** Comparison of DRIS and nutrient sufficiency range for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:133-139.
- Sowers, K.E., Pan, W.L., Miller, B.C. and Smith, J.L. 1994.** Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agron. J.* 86:942-948.
- Spatari, S., Zhang, Y. and MacLean, H.L. 2005.** Life cycle assessment of switchgrass- and corn stover-derived ethanol-fueled automobiles. *Environ. Sci. Technol.* 39(24):9750-9758.
- Steffen, R., Szolar, O. and Braun, R. 2000.** Feedstocks for anaerobic digestion. In: *Anaerobic digestion: making energy and solving modern waste problems*. Ed. Ortenblad., H., AD-Nett report 2000. AD-Nett-A network on anaerobic digestion of agro-industrial wastes, pp 34-48.
- Stichnothe, H. and Azapagic, A. 2009.** Bioethanol from waste: life cycle estimation of the greenhouse gas saving potential. *Resour. Conserv. Recycl.* 53(11):624-630.
- Stone, P.J., Wilson, D.R., Jamieson, P.D. and Gillespie, R.N. 2001.** Water deficit effects on sweet corn. II. Canopy development. *Aust. J. Agric. Res.* 52:115-126.
- Stringi, L., Sarno, R., Amato, G. and Gristina, L. 1986.** Effects of plant density on *Vicia faba* L. equina and *Vicia faba* L. minor in a semi-arid environment in Southern Italy. *Fabis Newslett.* 15:42-45.
- Stützel, H. and Aufhammer, W. 1992.** Grain yield in determinate and indeterminate cultivars of *Vicia faba* with different plant distribution patterns and population densities. *J. Agric. Sci.* 118:343-352.
- Sun, Y. and Cheng, J. 2002.** Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresour. Technol.* 83:1-11.
- Ta, C.T. and Weiland, R.T. 1992.** Nitrogen partitioning in maize during ear development. *Crop Sci.* 32:443-451.
- Tayot, X., Chartier, M., Varlet-Grancher, C. and Lemaire, G. 1995.** Potential above-ground dry matter production of miscanthus in North Centre France compared to sweet sorghum. In: Chartier, Ph., Beenackers, A.A.C.M., Grassi, G. (Eds.), *Proceedings of Eighth E.C. Conference on Biomass for Energy, Environment Agriculture and Industry*, vol. 1. Pergamon, Oxford, pp 556-564.
- Tei, F., Scaife, A. and Aikman, D.P. 1996.** Growth of lettuce, onion, and red beet: II. Growth modelling, light interception, and radiation use efficiency. *Ann. Bot.* 78:645-652.
- Teyker, R.H., Moll, N.A. and Jackson, N.A. 1989.** Divergent selection among maize seedlings for nitrate uptake. *Crop Science* 29:879-884.
- Theander, O. and Åman, P. 1984.** Anatomical and chemical characteristics. In: Sundstøl, F., Owen, E., editors. *Straw and other fibrous by-products as feed*. Amsterdam: Elsevier pp 45-78.
- Tilman, D., Hill, J. and Lehman, C. 2006.** Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland. *Biomass Science* 314 (5805):1598-1600.
- Tisdall, J.M. and Oades, J.M. 1979.** Stabilisation of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.* 17:429-441.

- Tonev, T.K. 1995.** Stability of faba bean (*Vicia faba* L.) productivity in north-eastern Bulgaria under the influence of plant arrangement. In: AEP (Ed.), Proceeding of Second European Conference on Grain Legumes. 9–13 July, Copenhagen, Denmark, p. 173.
- Torbert, H.A., Hoefl, R.G., Vanden Heuvel, R.M., Mulvaney, R.L. and Hollinger, S.E. 1993.** Short term excess water impact on corn yield and nitrogen recovery. *J. Prod. Agric.* 6:337-344.
- Turpin, J.E., Herridge, D.F. and Robertson, M.J. 2002.** Nitrogen fixation and soil nitrate interactions in field-grown chickpea (*Cicer arietinum*) and faba bean (*Vicia faba*). *Aust. J. Agric. Res.* 53:599–608.
- UNDP/WEC. 2001.** World energy assessment: energy and the challenges of sustainability. United Nations development Programme. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York, USA: World Energy Council.
- Unkovich, M.J. and Pate, J.S. 2000.** An appraisal of recent field measurements of symbiotic N<sub>2</sub> fixation by annual legumes. *Field Crops Res.* 65:211–228.
- Uribelarrea, M., Crafts-Brandner, S.J. and Below, F.E. 2009.** Physiological N response of field-grown maize hybrids (*Zea mays* L.) with divergent yield potential and grain protein concentration. *Plant and Soil* 316:151-160.
- USDA. 2010.** USDA Foreign Agriculture Service, Production Supply and Distribution Online. <http://www.fas.usda.gov/psdonline/>.
- Vallis, I. and Jones, R.J. 1973.** Net mineralization of nitrogen in leaves of *Phaseolus atropurpureus* and leaf litter of *Desmodium intortum* and *Phaseolus atropurpureus* mixed with soil. *Soil Biol. Biochem.* 5:391-398.
- Valmis, S., Dimoyiannis D. and Danalatos N.G. 2005.** Assessing interrill erosion rate from soil aggregate instability index, rainfall intensity and slope angle on cultivated soils in central Greece. *Soil & Tillage Research.* 80:139–147.
- Valmis, S., Kerkides, P. and Aggelides, S. 1988.** Soil aggregate instability index and statistical determination of oscillation time in water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1188–1191.
- Van den Broek, R. 2000.** Sustainability of biomass electricity systems-an assessment of costs, macro-economic and environmental impacts in Nicaragua, Ireland and the Netherlands. Utrecht University p. 215.
- Van Dijk, W. and Brouwer, G. 1998.** Nitrogen recovery and dry matter production of silage maize as affected by subsurface band application of mineral fertilizer. *Neth. J. Agric. Sci.* 46:139-155.
- Van Zeeland, M.G., Lamers, J.G. and Van Dijk, W. 1999.** Yield reduction in monoculture of silage maize. What are the causes? PAV-bulletin Akkerbouw, Proefstatioo voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegroond, Lelystad, (In Dutch) pp 22-26.
- Varvel, G.E. and Peterson, T.A. 1990.** Nitrogen fertilizer recovery by corn in monoculture and rotation systems. *Agronomy Journal* 82:935-938.
- Varvel, G.E., Schepers, J.S. and Francis, D.D. 1997.** Ability of inseason correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1233-1239.
- Varvel, G.E., Vogel, K.P., Mitchell, R.B., Follett, R.F. and Kimble, J.M. 2008.** Comparison of corn and switchgrass on marginal soils for bioenergy. *Biomass Bioenergy* 32:18-21.
- Venturi, G. and Bonari, E. 2004.** Produzione di biomasse da colture dedicate e non. Convegno nazionale sulla Bioenergia, 12 May, Roma, Italy.

- Venturi, P. And Venturi, G. 2003.** Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy* 25:235-255.
- Walker, G.M. 2010.** Bioethanol: Science and technology of fuel alcohol. Graeme M. Walker & Ventus Publishing Aps.
- Walla, Ch. and Schneeberger, W. 2005.** Farm biogas plants in Austria. An Economic Analysis. *Jahrbuchder Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie* 13:107–120.
- Walley, F., Yates, T., van Groeningen, J.W. and van Kessel, C. 2002.** Relationships between soil nitrogen availability indices, yield, and nitrogen accumulation of wheat. *Soil Science Society American Journal* 66:549–1561.
- Walley, F.L., Clayton, G.W., Miller, P.R., Carr, P.M. and Lafond, G.P. 2007.** Nitrogen economy of pulse crop production in the northern great plains. *Agron. J.* 99:1710–1718.
- Wani, S.P., McGill, W.B. and Robertson, J.A. 1991.** Soil N dynamics and N yield of barley grown on Breton loam using N from biological fixation or fertilizer. *Biol. Fertil. Soils* 12:10–18.
- Wani, S.P., McGill, W.B., Haugenkozyra, K.L., Robertson, J.A. and Thurston, J.J. 1994.** Improved soil quality and barley yields with faba-beans, manure, forages and crop rotation on a gray luvisol. *Can. J. Soil Sci.* 74:75–84.
- Weiland, P. 2003.** Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 109:263–274.
- Whitmore, A.P., Bradburry, N.J. and Johnson, P.A. 1992.** The potential contribution of ploughed grassland to nitrate leaching. *Agric. Ecosyst. Environ.* 39:221-233.
- Wilhelm, W.W., Doran, J.W. and Power, J.F. 1986.** Corn and soybean yield response to crop residue management under no-tillage production systems. *Agron. J.* 78:184-189.
- Willey, R.W. 1979.** Intercropping—its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts* 32:1–10.
- Williams, J.H., Nageswara, Rao, R.C., Dougbedji, F. and Talwar, H.S. 1996.** Radiation interception and modeling as an alternative to destructive samples in crop growth measurements. *Ann. Appl. Biol.* 129: 151–160.
- Williams, W.A. and Doneen, L.D. 1960.** Field infiltration studies with green manures and crop residues on irrigated soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 24:58-61.
- Wong, S.C., Cowan, I.R. and Farquhar, G.D. 1985.** Leaf conductance in relation to rate of CO<sub>2</sub> assimilation. I. Influence of nitrogen nutrition, phosphorus nutrition, photon flux density, and ambient partial pressure of CO<sub>2</sub> during ontogeny. *Plant Physiol.*, 78: 821-825.
- Worley, J.W., Vaughan, D.H. and Cundiff, J.S. 1992.** Energy analysis of ethanol production from sweet sorghum. *Bioresour. Technol.* 40: 263-273.
- Wortmann, C.S., Isabirye, M. and Musa, S. 1994.** *Crotalaria ochroleuca* as a green manure crop in Uganda. *African Crop Science Journal* 2:55-61.
- Wright, A.T. 1990.** Yield effect of pulses on subsequent cereal crops in the northern prairies. *Can. J. Plant Sci.* 70:1023–1032.
- Xavier, A.M.R.B., Correia, M.F., Pereira, S.R. and Evtuguin, D.V. 2010.** Second-generation bioethanol from eucalypt sulphite spent liquor. *Bioresource Technology* 101:(8)2755-2761.
- Youngs, E.G. 1991.** Infiltration measurements-a review. *Hydrological Processes* 5:305-320.

- Zanetti, F., Bezzi, G., Pannacci, E., Amaducci, M.T. and Ciricofolo, E. 2005.** Itinerari culturali sostenibili in colza invernale. *Agroindustria*, 4(1):91-100.
- Zarzycki, A. and Polska, W. 2007.** Bioethanol production from sugar beet-European and Polish perspective. In: *The first TOSSIE workshop on technology improvement opportunities in the european sugar industry*, January 25–26, Ferrara, Italy.
- Zohary, D. and Hopf, M. 2000.** *Domestication of plants in the Old World*. 3<sup>rd</sup> Edn., Oxford University, p 316.

## SUMMARY

Biomass can be considered as a prominent option for affordable and sustainable energy production in the future, especially if the input/output energy balance ratio is readjusted with influxes minimization. One of the most important categories of biomass material is energy crops, high yield crops grown specifically for energy applications and among several plants used, maize is the most dominating crop for bioethanol and biogas production. It is considered to have the highest yield potential, of field crops grown in Europe in that direction and is a traditional crop in the area, with thriving cultivation practices. Among newly introduced annual energy crops able to produce stable amounts of biomass, fibre sorghum has a significant yield potential, with main energy destinations the production of electricity or heat. Land use planning involving cultivations for energy production, could invoke infertile soils, or soils with declining fertility, especially under the growing concern that energy crops should be cultivated on abandoned agricultural or marginal lands in order to avoid food-fuel competition, without the need of large quantities of inorganic nitrogen (N) fertilization. The latter is responsible for a large share of the energy consumed by arable crops, reaching 50% of the total energy input, unless nitrogen is provided through legume biological fixation. This alternative attracts increasing interest because of the depletion of fossil fuel and environmental deterioration globally, as it is renewable, clean and environment friendly compared with industrially produced N fertilizers. Legume cover cropping or legume green manuring are widely accepted as sustainable practices in that direction, due to yield advantage, as well as to high utilization efficiency of light, water, and nutrients for the subsequent crop, and have gained the interest of researchers also because on sandy soils, the main aims of these practices are combined with the effort to control soil erosion and maintain acceptable organic matter levels in the topsoil.

To evaluate the effect of cover cropping faba bean with maize or fibre sorghum, compared to monocrop cultivation, on growth, yield as well as on nitrogen utilization efficiency (NUE) and N fertilizer recovery fraction of the subsequent crops, field experiments were carried out in central Greece, on a fertile, clayey to loamy textured soil, and on a sandy soil of moderate fertility, over a period of three years. A factorial combination of four nitrogen application rates (0, 80, 160, 240 kg ha<sup>-1</sup> for maize and 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup> for sorghum) and three legume treatments (incorporated into the topsoil or harvested before the sowing of energy crop and mono-cropping) were tested in a split plot design in three blocks. Growth parameters and dry biomass productivity were monitored by means of subsequent destructive samplings, manually realized throughout the growing period of both energy crops and data from field experiments on the two farming systems were analyzed in combination with mean energy production and greenhouse gas emission factors described in the literature, in an effort to visualize the environmental benefits of legume cover cropping practices. Separate field experiments were undertaken on both soil types to determine the effect of faba bean on infiltration (with the use of double ring infiltrometers) and structural stability (with the use of soil aggregate instability index) of each soil type, over the same three year period.

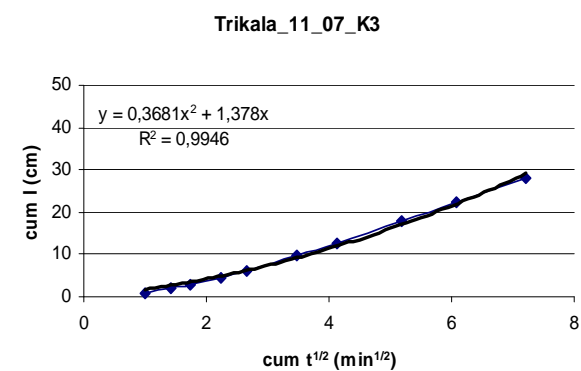
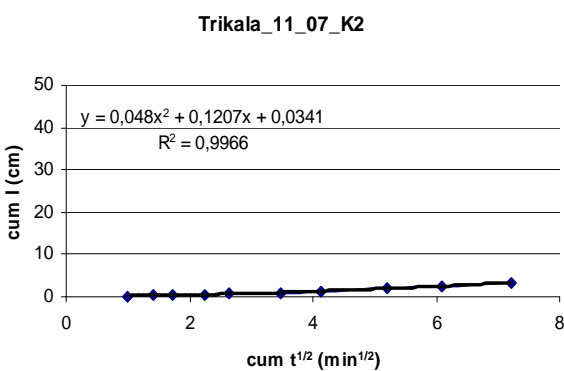
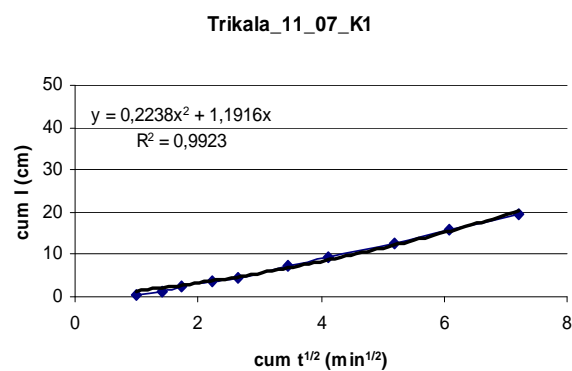
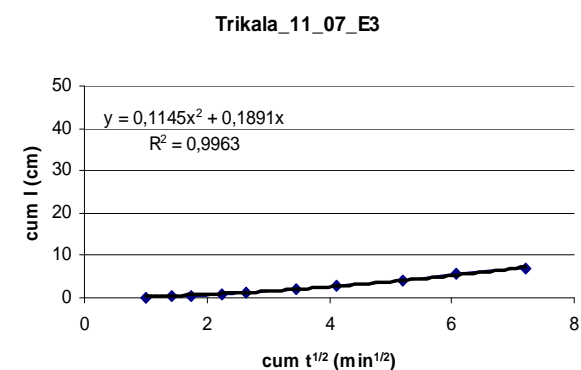
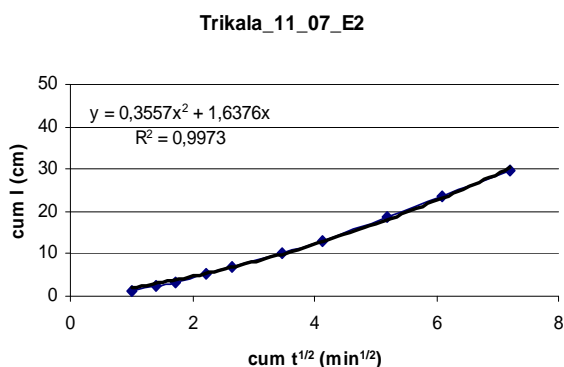
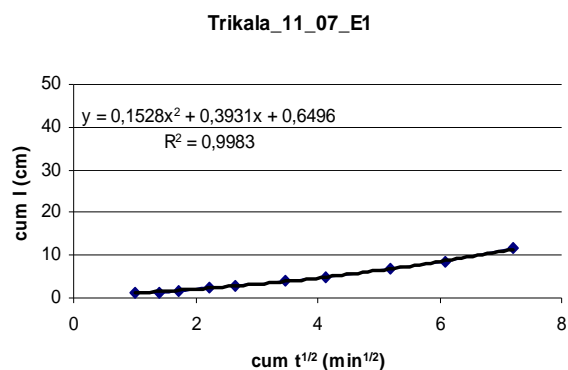
Results demonstrated that cover cropping systems, especially involving the use of faba bean as cover crop or green manure, deserve increased attention and tent to be superior to the traditional monocrop systems in quantitative and qualitative characteristics. They substantially increase the base uptake and the recovery fraction of nitrogen, resulting in large increment of the final yield productivity of traditional

crops as maize and of dynamic energy crops such as fibre sorghum. This superiority is mainly owing to the additional N provided by the legume as well as the better crop establishment, due to improved soil characteristics (both infiltration and structural stability). Considerable increments in total dry biomass production, as well as in total N uptake by the energy crops, for both cover crop managements compared with mono-cropping, were observed for maize and fibre sorghum. The results allocated a significant effect of faba bean treatment at almost all cases (years and soil types) and for all N fertilization levels. Significant differences on total dry biomass production, as well as in total N uptake were also observed between the N fertilization levels but no interactions faba bean treatment x N fertilization were found for any of the monitored parameters. Secondly, significant differences were observed among treatments, both for cover cropping management and for N fertilization, in growth parameters and final biomass yield. Plants grown on plots with previous legume cultivation exhibited higher growth and assimilation rates, LAI and LAD. High biomass production levels resulted for both soil types and crops mainly due to the increase in N-mineralization (base uptake) and the enhanced fertilizer recovery fraction, making the effort to reduce both economical inputs as well as environmental impacts possible, without high N-dressings that impose nitrification hazards. Increased NUE in plants is vital to enhance both yield and quality of crops, reduce nutrient input cost and improve soil, water and also air quality, as better N use can lead to a reduction of up to 20% of CO<sub>2</sub> equivalents ha<sup>-1</sup> not emitted for each Kg of chemical N fertilizer applied. Furthermore, considering the attained maximum biomass and average energy convention for maize and fiber sorghum, in full fertilized treatments the production of energy was higher than in the unfertilized treatments, corresponding to the relation of total fresh and dry biomass production. However, the high energy production of intercropped treatments, even without N influx must be noticed, taking into consideration that apart from net energy content, intercropping managements assist in higher energy yield and higher energy efficiency. Such energy productivity values are particularly high, proving that this cropping management seems to be a promising alternative commodity for energy production in farming systems with low inputs.

The review on agronomic, energetic, environmental and economic aspects of maize and fibre sorghum when subsumed in an appropriate legume intercropping scheme, shows that this strategy may result in greater efficiencies in N management and use in agro-ecosystems, enhanced net energy balance, reduction of greenhouse gases emissions and N-related environmental problems, without an appreciably great loss in productivity. Such systems should be seriously considered in future land use planning, with respect to the sustainable cultivation of maize and fibre sorghum in Greece, and in Mediterranean agro-ecological zones.

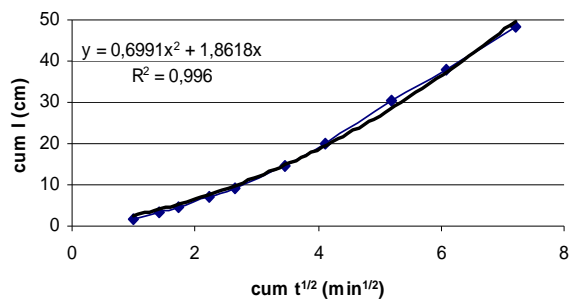
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Διαγράμματα και εξισώσεις των πειραμάτων υπολογισμού της διηθητικής ικανότητας του εδάφους στα **Τρίκαλα** (αμμό-πηλώδες) και στο **Σωτήριο** (αργιλώδες) σε τρεις επαναλήψεις, σε τυχαία υπο-τεμάχια των τριών επεμβάσεων του ψυχανθούς (**E**: ενσωμάτωση του ψυχανθούς στο έδαφος (χλωρή λίπανση), και **K**: το ψυχανθές ως ξεχωριστή καλλιέργεια (καλλιέργεια κάλυψης), **M**: μάρτυρας)- **Κεφ. 3.6**.

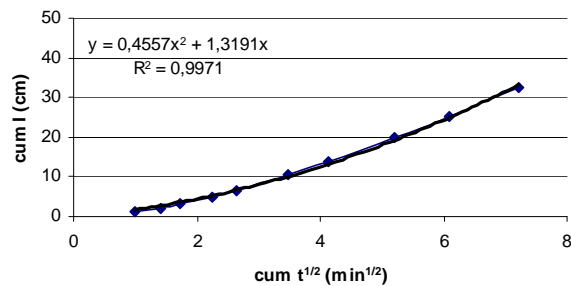




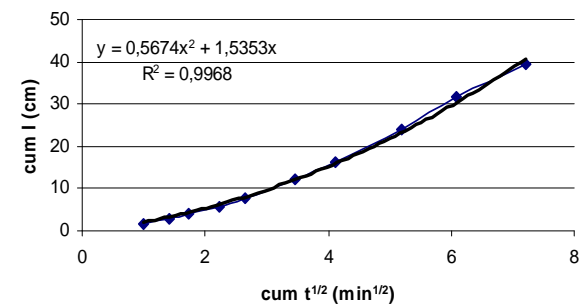
**Trikala\_11\_07\_M1**



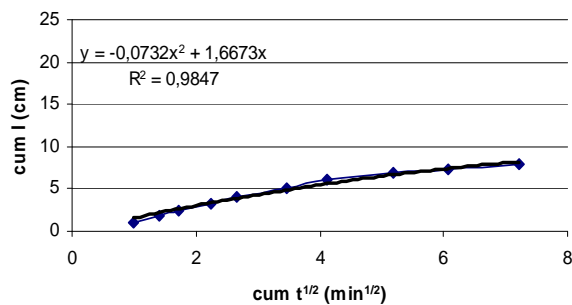
**Trikala\_11\_07\_M2**



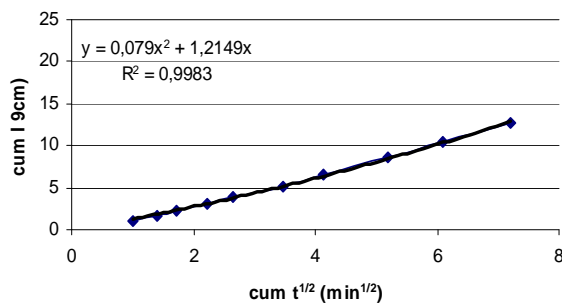
**Trikala\_11\_07\_M3**



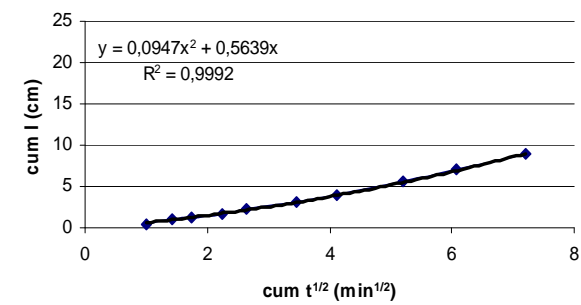
**Trikala\_5\_08\_E1**



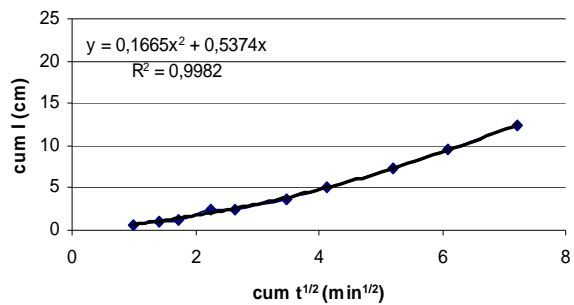
**Trikala\_5\_08\_E2**



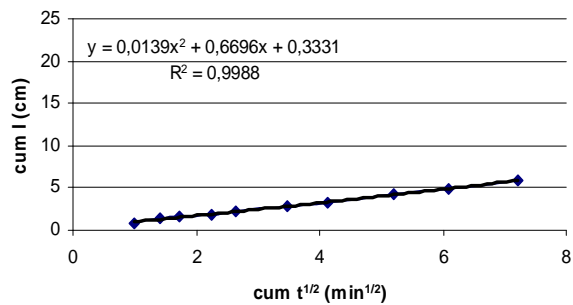
**Trikala\_5\_08\_E3**



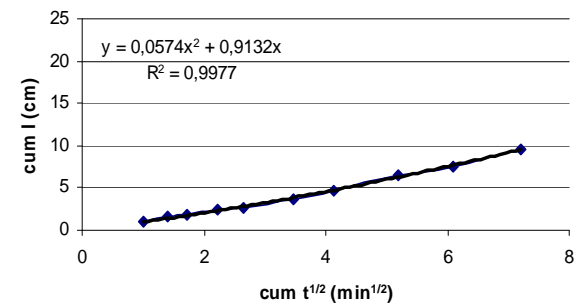
**Trikala\_5\_08\_K1**



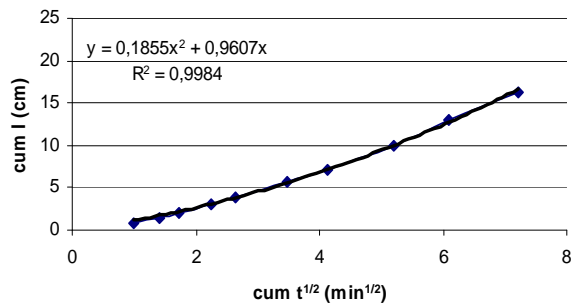
**Trikala\_5\_08\_K2**



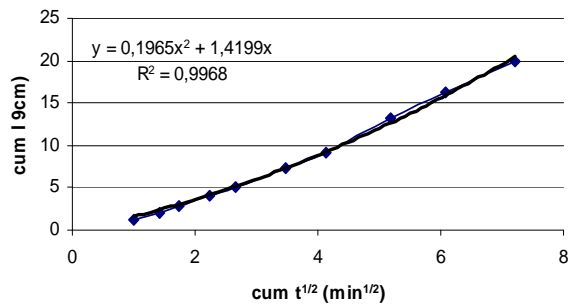
**Trikala\_5\_08\_K3**



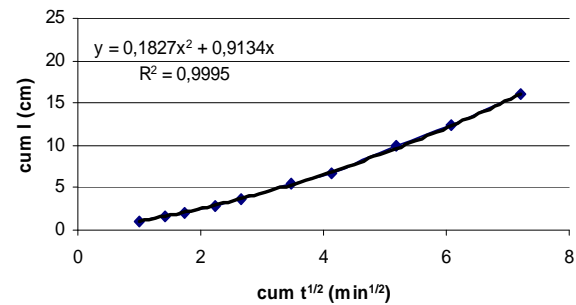
**Trikala\_5\_08\_M1**



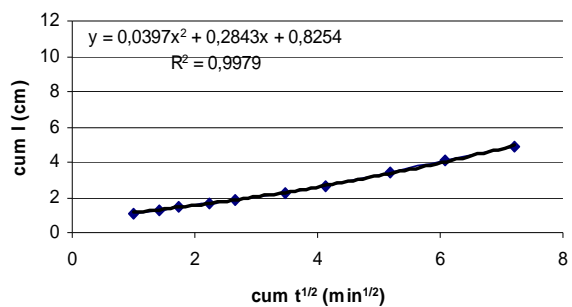
**Trikala\_5\_08\_M2**



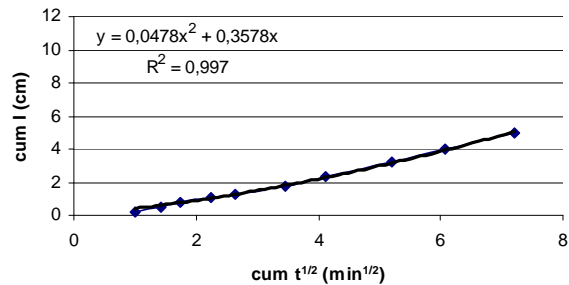
**Trikala\_5\_08\_M3**



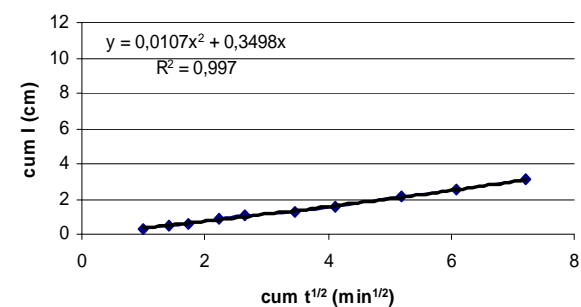
Trikala\_11\_08\_E1



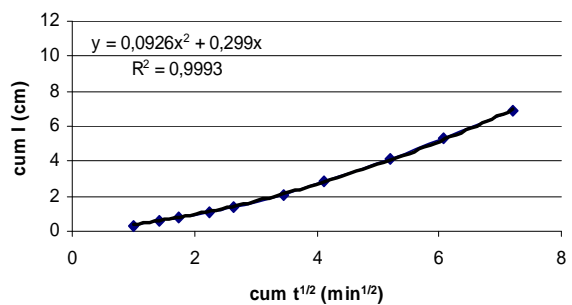
Trikala\_11\_08\_E2



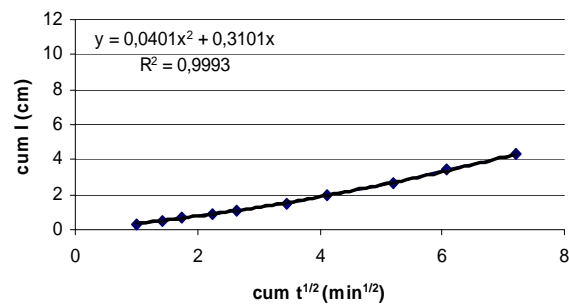
Trikala\_11\_08\_E3



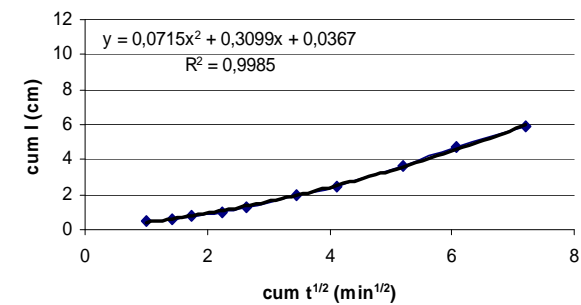
Trikala\_11\_08\_K1

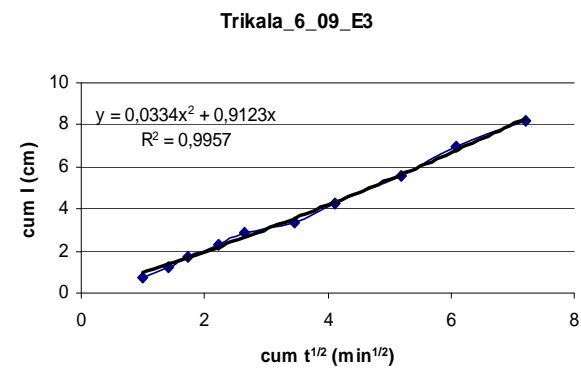
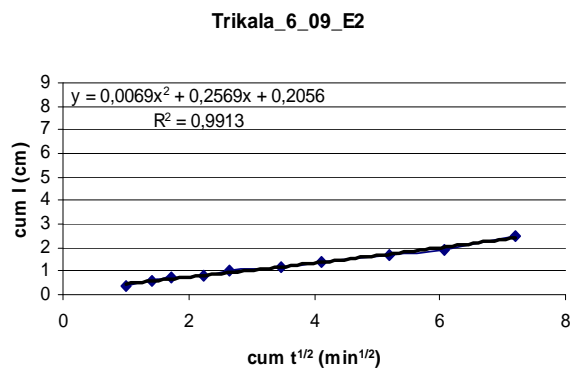
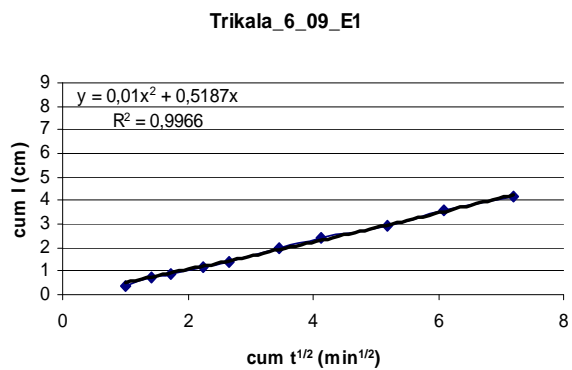
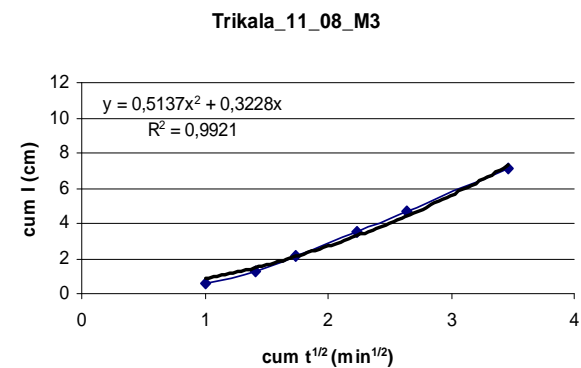
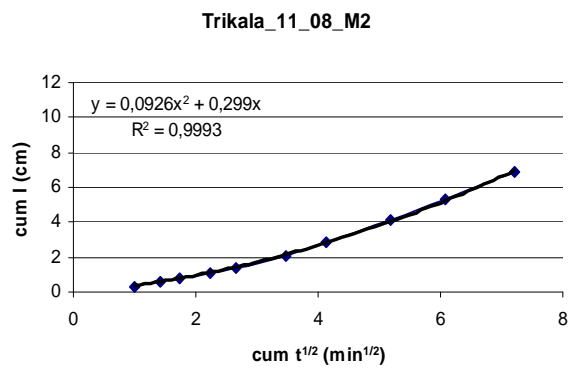
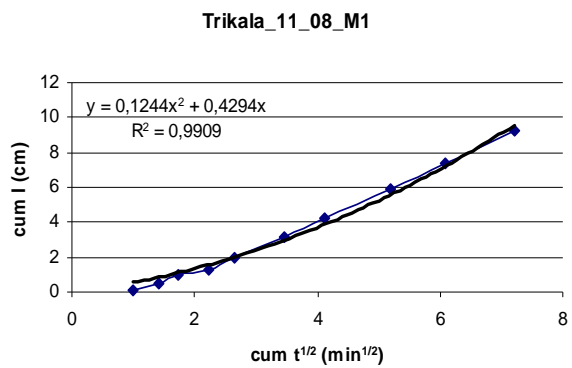


Trikala\_11\_08\_K2

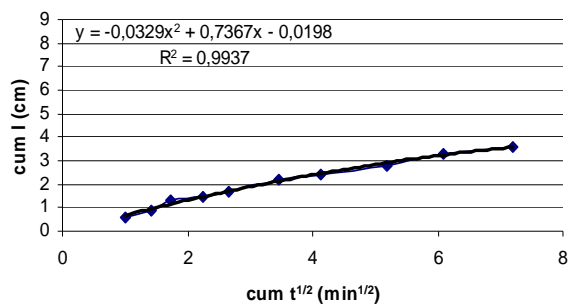


Trikala\_11\_08\_K3

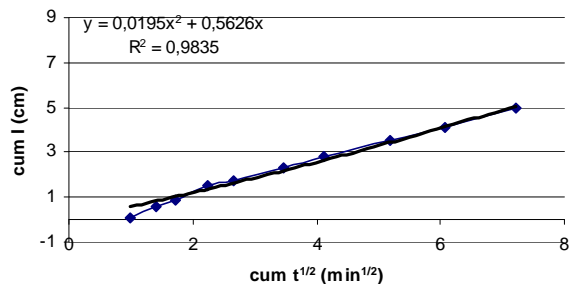




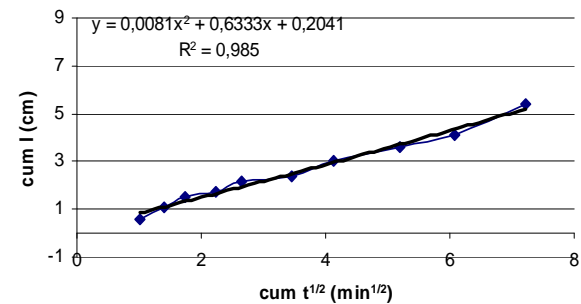
Trikala\_6\_09\_K1



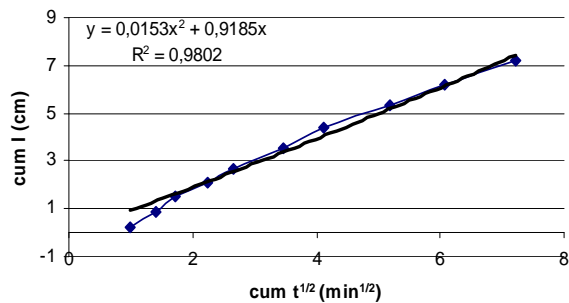
Trikala\_6\_09\_K2



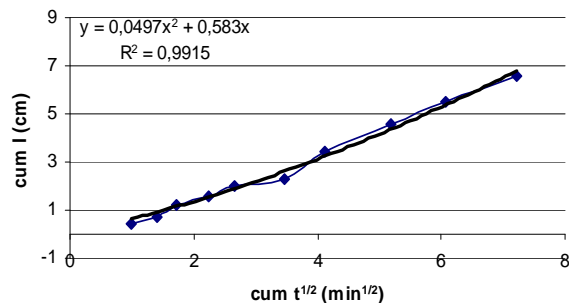
Trikala\_6\_09\_K3



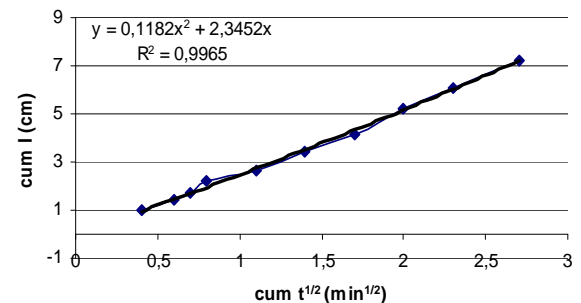
Trikala\_6\_09\_M1

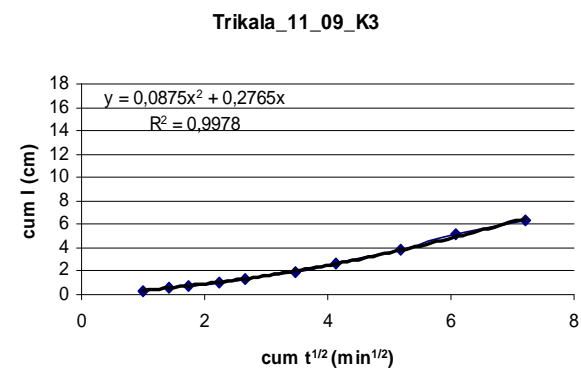
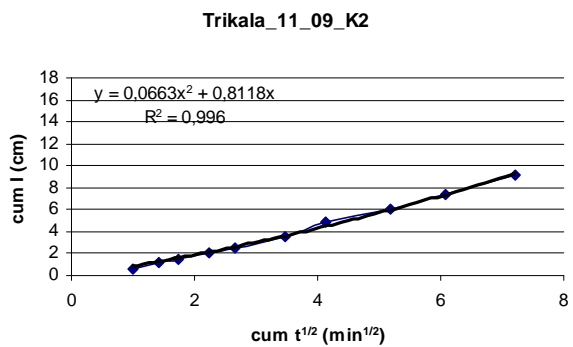
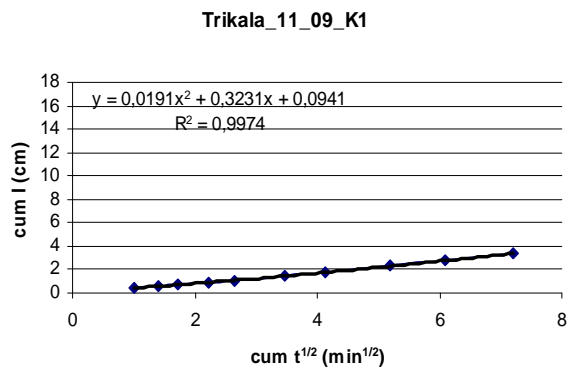
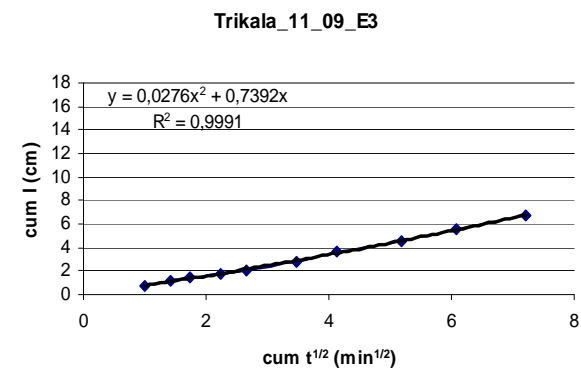
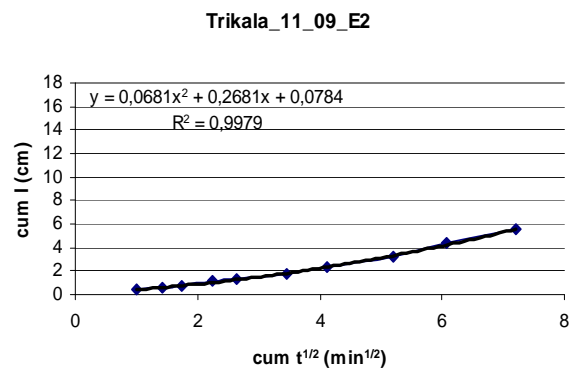
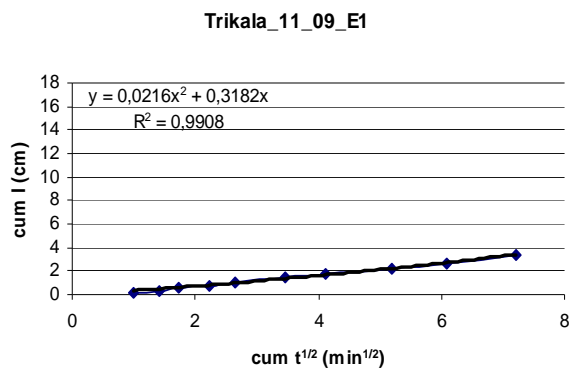


Trikala\_6\_09\_M2

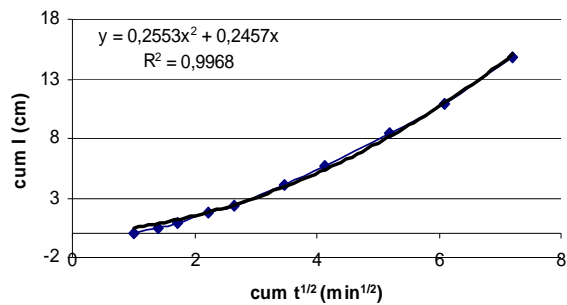


Trikala\_6\_09\_M3

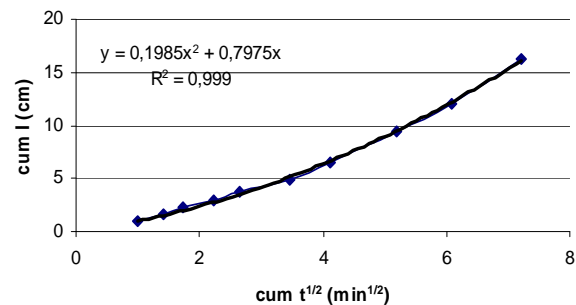




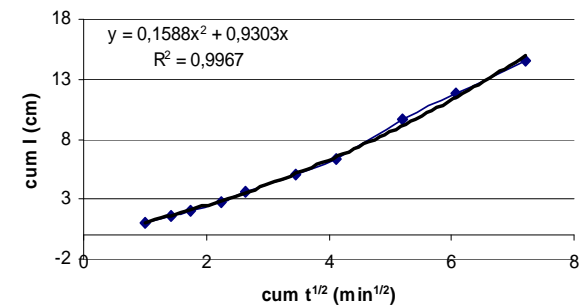
**Trikala\_11\_09\_M1**



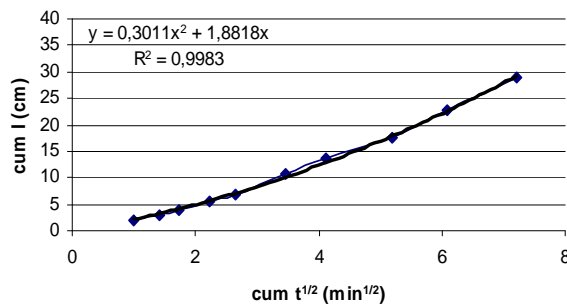
**Trikala\_11\_09\_M2**



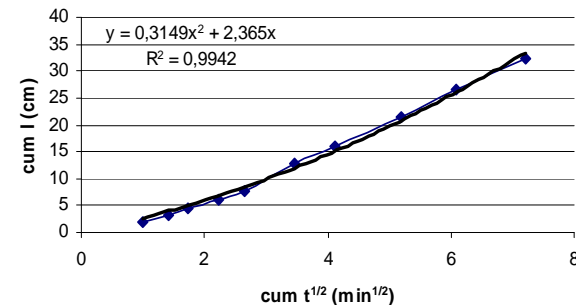
**Trikala\_11\_09\_M3**



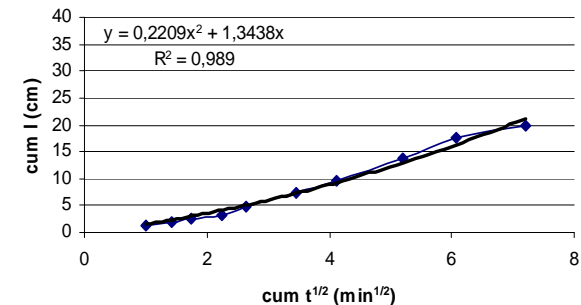
**Sotirio\_5\_08\_E1**



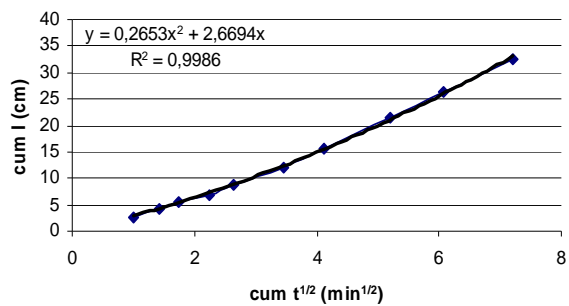
**Sotirio\_5\_08\_E2**



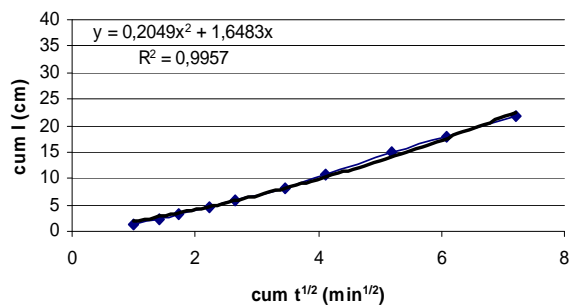
**Sotirio\_5\_08\_E3**



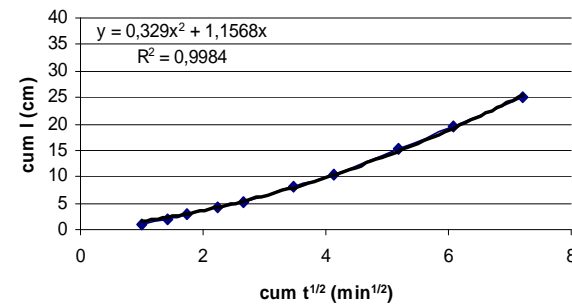
Sotirio\_5\_08\_K1



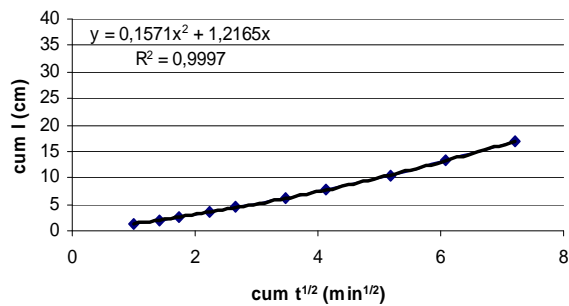
Sotirio\_5\_08\_K2



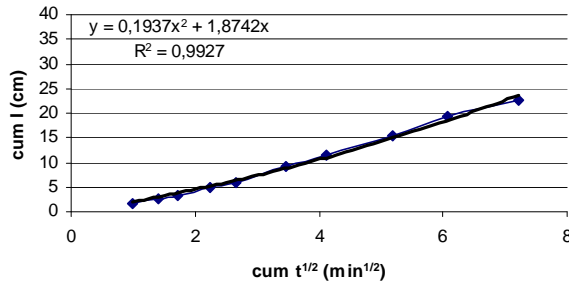
Sotirio\_5\_08\_K3



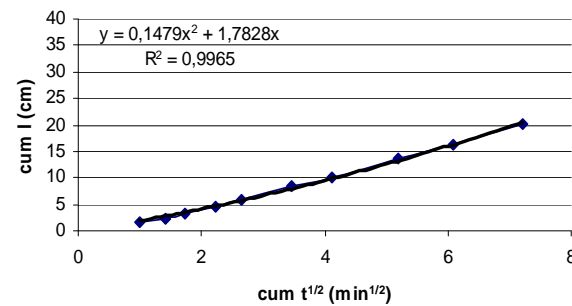
Sotirio\_5\_08\_M1



Sotirio\_5\_08\_M2

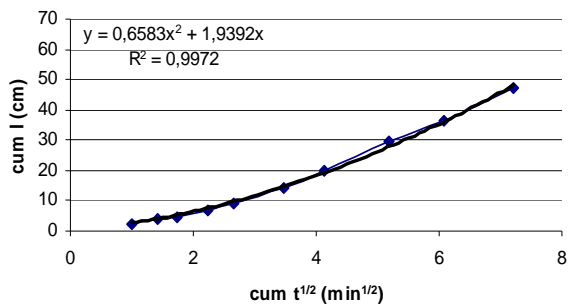


Sotirio\_5\_08\_M3

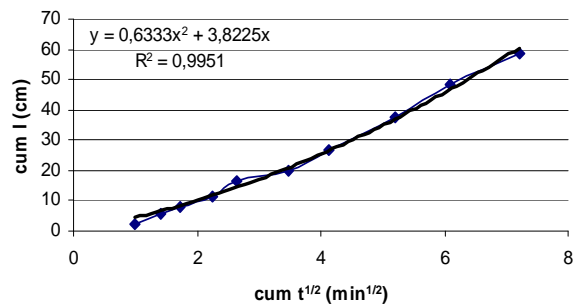




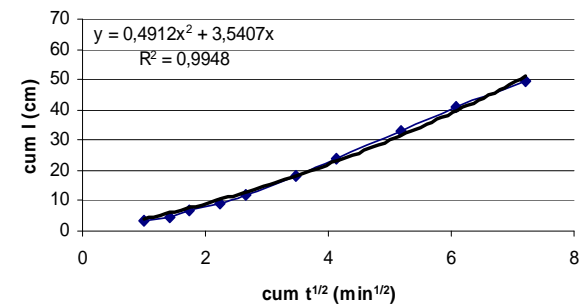
Sotirio\_11\_08\_E1



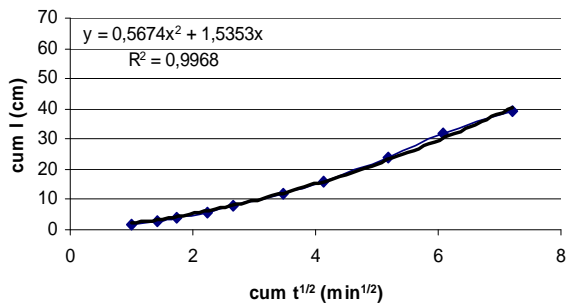
Sotirio\_11\_08\_E2



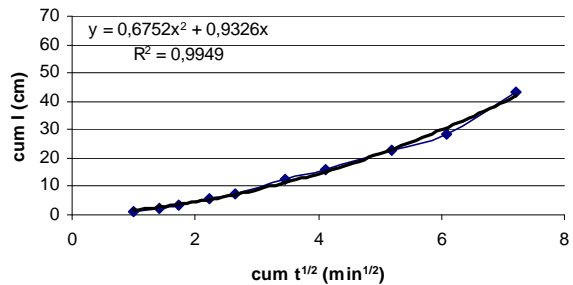
Sotirio\_11\_08\_E3



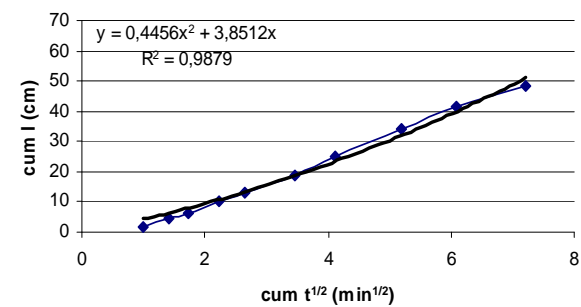
Sotirio\_11\_08\_K1

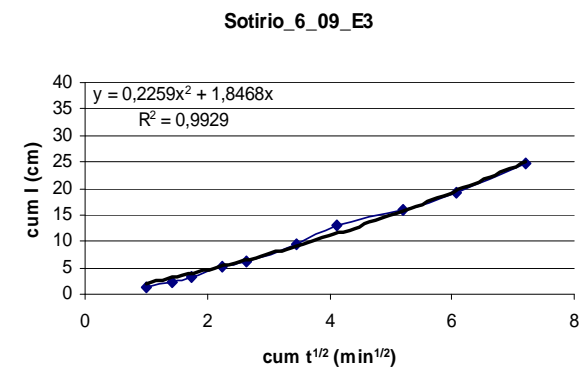
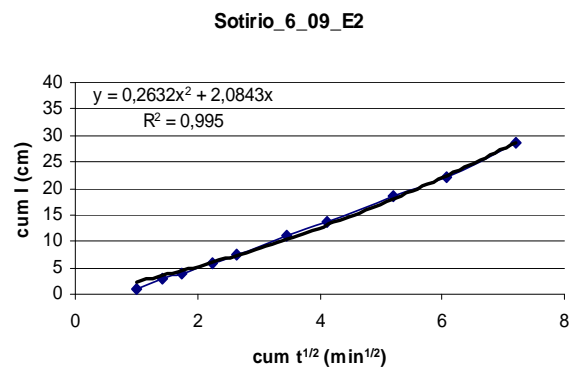
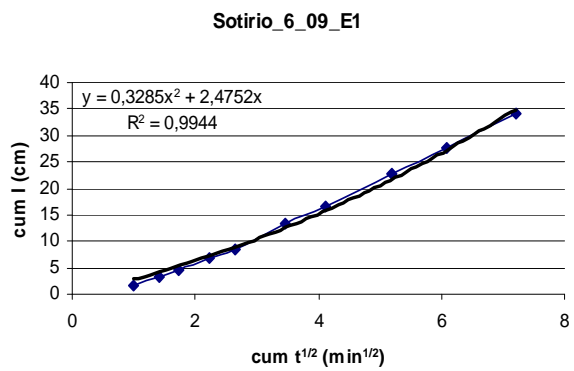
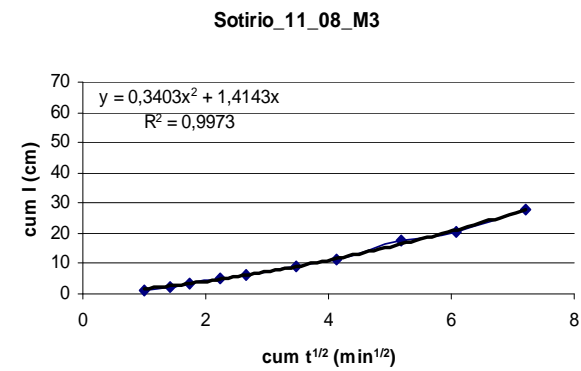
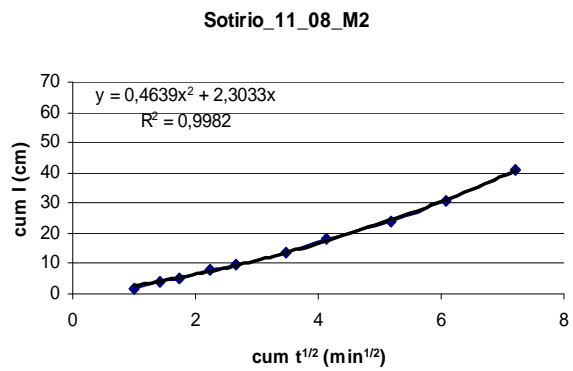
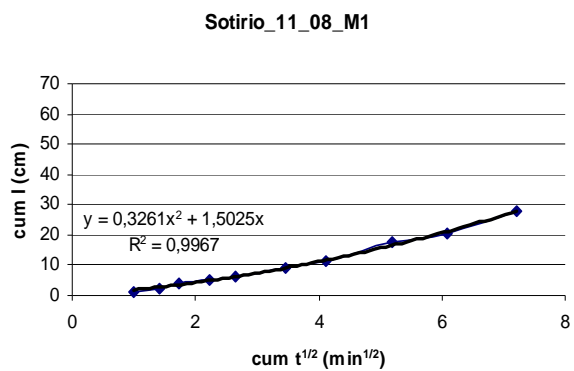


Sotirio\_11\_08\_K2

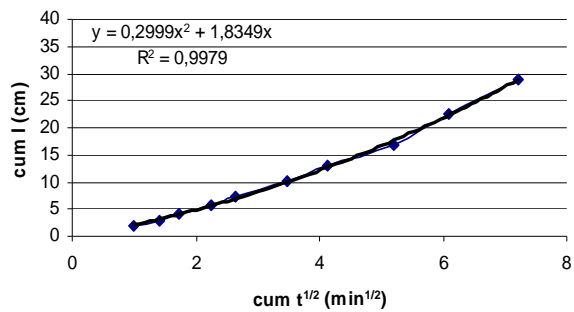


Sotirio\_11\_08\_K3

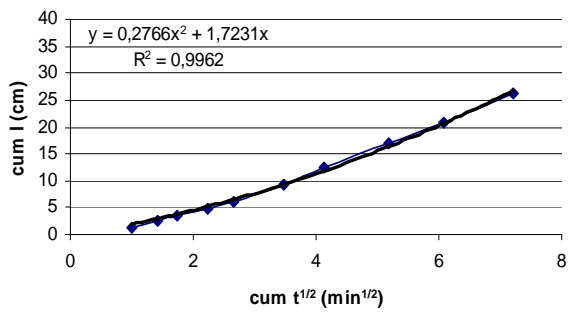




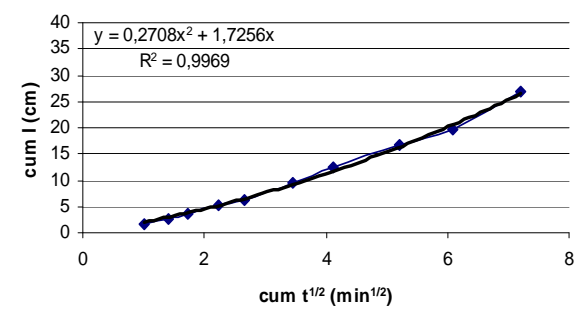
Sotirio\_6\_09\_K1



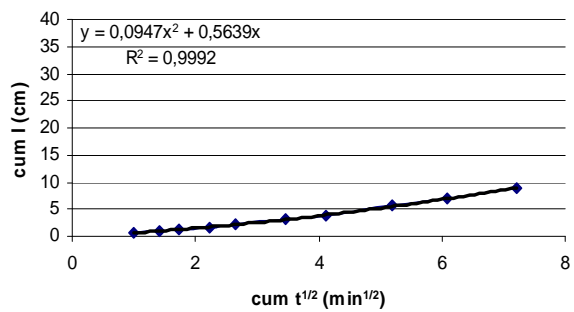
Sotirio\_6\_09\_K2



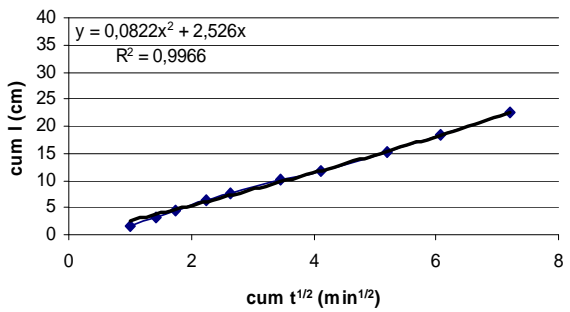
Sotirio\_6\_09\_K3



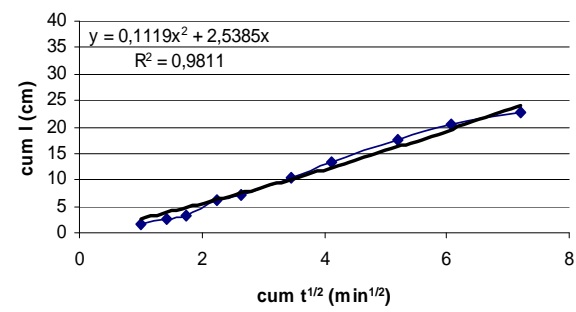
Sotirio\_06\_09\_M1



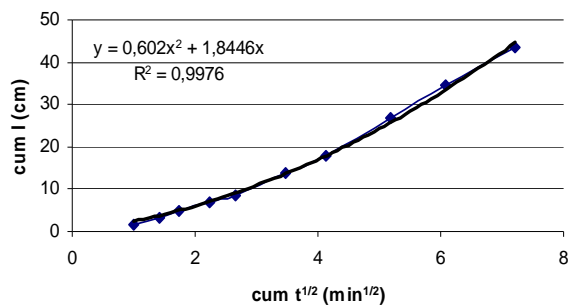
Sotirio\_06\_09\_M2



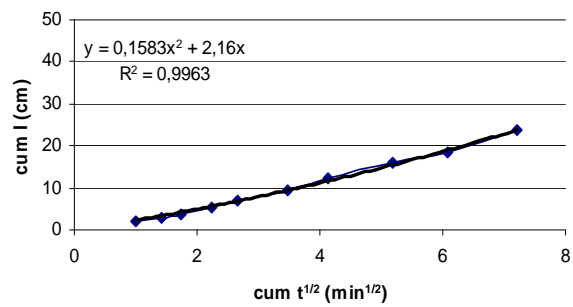
Sotirio\_06\_09\_M3



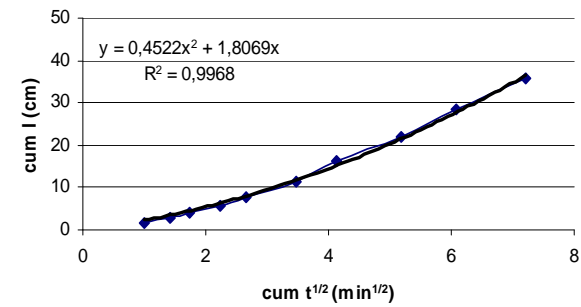
Sotirio\_11\_09\_E1



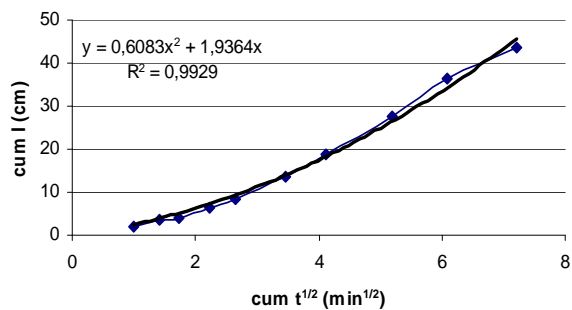
Sotirio\_11\_09\_E2



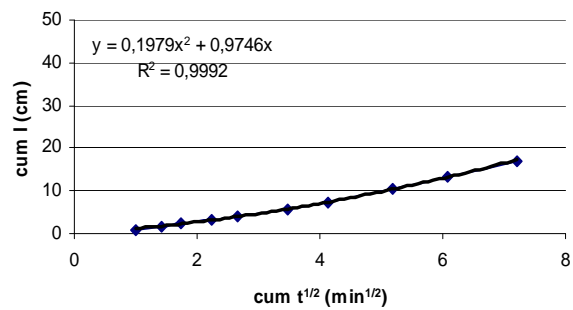
Sotirio\_11\_09\_E3



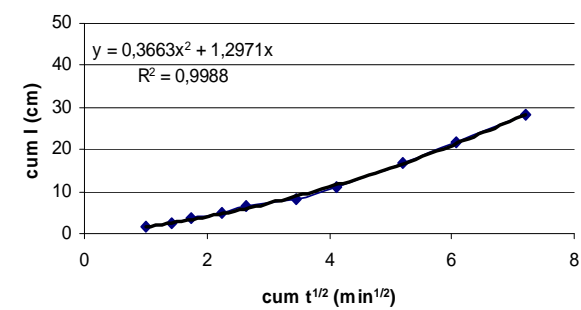
Sotirio\_11\_09\_K1

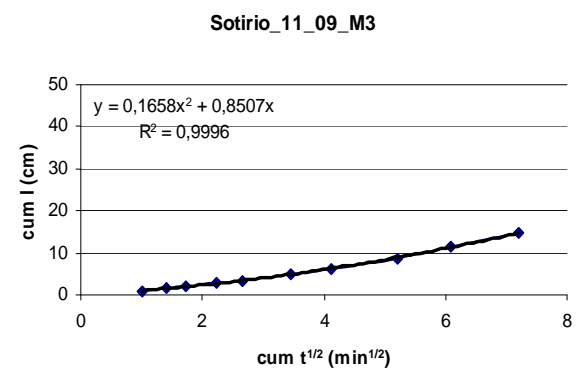
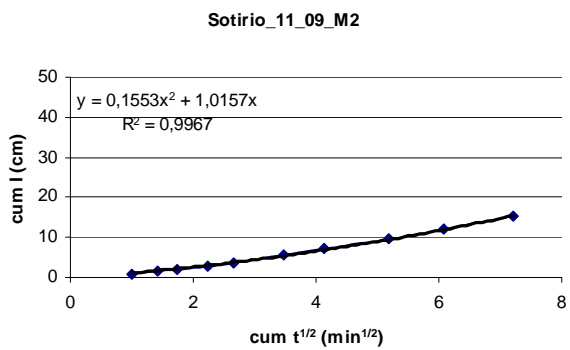
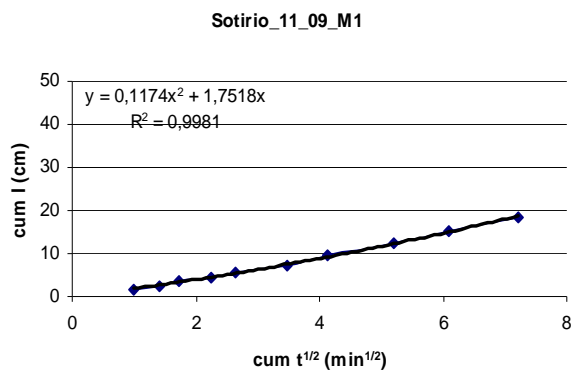


Sotirio\_11\_09\_K2



Sotirio\_11\_09\_K3





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Ενδεικτική στατιστική ανάλυση της επίδρασης των καλλιεργειών κάλυψης με κουκιά και των επιπέδων εφαρμοζόμενης αζωτούχου λίπανσης στο δυναμικό παραγωγής και την αποδοτικότητα χρήσης αζώτου στο ινώδες σόργο, σε αμμο-πηλώδες (Τρίκαλα) και αργιλώδες (Σωτήριο) έδαφος, κατά το δεύτερο έτος (2008) διεξαγωγής των πειραμάτων (ΚΕΦ. 3.3.2).

Τρίκαλα: Ολική ξηρή βιομάζα.

**Descriptive Statistics**

| Dependent Variable: total_dmi |       |          |                |    |
|-------------------------------|-------|----------|----------------|----|
| tr                            | fert  | Mean     | Std. Deviation | N  |
| incorp                        | 0     | 23,08394 | 1,844392       | 3  |
|                               | 5     | 25,02546 | 1,579316       | 3  |
|                               | 10    | 27,03041 | ,961189        | 3  |
|                               | 15    | 28,07773 | 1,793167       | 3  |
|                               | Total | 25,80439 | 2,428332       | 12 |
| harv                          | 0     | 22,06221 | ,181164        | 3  |
|                               | 5     | 24,30789 | ,693753        | 3  |
|                               | 10    | 25,98397 | ,778328        | 3  |
|                               | 15    | 27,03969 | ,509985        | 3  |
|                               | Total | 24,84844 | 2,027063       | 12 |
| contr                         | 0     | 18,12447 | ,799837        | 3  |
|                               | 5     | 20,02956 | ,403668        | 3  |
|                               | 10    | 21,03222 | 2,350598       | 3  |
|                               | 15    | 21,88568 | ,962701        | 3  |
|                               | Total | 20,26798 | 1,860280       | 12 |
| Total                         | 0     | 21,09021 | 2,501315       | 9  |
|                               | 5     | 23,12097 | 2,501375       | 9  |
|                               | 10    | 24,68220 | 3,078181       | 9  |
|                               | 15    | 25,66770 | 3,057524       | 9  |
|                               | Total | 23,64027 | 3,199623       | 36 |

**Between-Subjects Factors**

|      | Value Label | N  |
|------|-------------|----|
| tr   | 1 incorp    | 12 |
|      | 2 harv      | 12 |
|      | 3 contr     | 12 |
| fert | 1 0         | 9  |
|      | 2 5         | 9  |
|      | 3 10        | 9  |
|      | 4 15        | 9  |

**Tests of Between-Subjects Effects**

| Dependent Variable: total_dmi |                         |    |             |           |      |
|-------------------------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Source                        | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F         | Sig. |
| Corrected Model               | 320,218 <sup>a</sup>    | 11 | 29,111      | 18,338    | ,000 |
| Intercept                     | 20119,044               | 1  | 20119,044   | 12674,068 | ,000 |
| tr                            | 210,185                 | 2  | 105,092     | 65,203    | ,000 |
| fert                          | 107,717                 | 3  | 35,905      | 22,519    | ,000 |
| tr * fert                     | 2,315                   | 6  | ,386        | ,243      | ,957 |
| Error                         | 38,038                  | 24 | 1,587       |           |      |
| Total                         | 20477,350               | 36 |             |           |      |
| Corrected Total               | 358,315                 | 35 |             |           |      |

a. R Squared = .804 (Adjusted R Squared = .845)

**Multiple Comparisons**

total dm  
LSD

| (i) tr | (j) tr | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|--------|--------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|        |        |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| incorp | harv   | ,95595                | ,514333    | ,075 | -,19535                 | 2,01754     |
|        | contr  | 5,53341*              | ,514333    | ,000 | 4,47481                 | 6,59800     |
| harv   | incorp | -,95595               | ,514333    | ,075 | -2,01754                | ,10535      |
|        | contr  | 4,58043*              | ,514333    | ,000 | 3,51887                 | 5,64205     |
| contr  | incorp | -5,53341*             | ,514333    | ,000 | -6,59800                | -4,47481    |
|        | harv   | -4,58043*             | ,514333    | ,000 | -5,64205                | -3,51887    |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1,387.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

**Multiple Comparisons**

total dm  
LSD

| (i) fert | (j) fert | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|----------|----------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|          |          |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 0        | 5        | -2,03075*             | ,593936    | ,002 | -3,25858                | -,80494     |
|          | 10       | -3,59199*             | ,593936    | ,000 | -4,81782                | -2,36617    |
|          | 15       | -4,57749*             | ,593936    | ,000 | -5,80332                | -3,35167    |
| 5        | 0        | 2,03075*              | ,593936    | ,002 | ,80494                  | 3,25858     |
|          | 10       | -1,56123*             | ,593936    | ,015 | -2,78705                | -,33541     |
|          | 15       | -2,54673*             | ,593936    | ,000 | -3,77255                | -1,32091    |
| 10       | 0        | 3,59199*              | ,593936    | ,000 | 2,36617                 | 4,81782     |
|          | 5        | 1,56123*              | ,593936    | ,015 | ,33541                  | 2,78705     |
|          | 15       | -,98550               | ,593936    | ,110 | -2,21132                | ,24032      |
| 15       | 0        | 4,57749*              | ,593936    | ,000 | 3,35167                 | 5,80332     |
|          | 5        | 2,54673*              | ,593936    | ,000 | 1,32091                 | 3,77255     |
|          | 10       | ,98550                | ,593936    | ,110 | -,24032                 | 2,21132     |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1,387.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Τρίκαλα: Ξηρή βιομάζα στελεχών.

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: dm\_stem

| tr     | fert  | Mean     | Std. Deviation | N  |
|--------|-------|----------|----------------|----|
| incorp | 0     | 17,88976 | 1,094700       | 3  |
|        | 5     | 20,15925 | 2,045071       | 3  |
|        | 10    | 20,52540 | ,405311        | 3  |
|        | 15    | 20,99478 | ,030101        | 3  |
|        | Total | 19,89230 | 1,620541       | 12 |
| harv   | 0     | 16,48504 | ,580758        | 3  |
|        | 5     | 18,04527 | ,920142        | 3  |
|        | 10    | 19,75258 | 1,297135       | 3  |
|        | 15    | 21,48679 | ,816023        | 3  |
|        | Total | 18,94242 | 2,110757       | 12 |
| contr  | 0     | 14,28510 | ,597742        | 3  |
|        | 5     | 15,81263 | ,100217        | 3  |
|        | 10    | 16,05315 | 1,014379       | 3  |
|        | 15    | 16,58113 | ,787917        | 3  |
|        | Total | 15,68383 | 1,205351       | 12 |
| Total  | 0     | 16,21997 | 1,717290       | 9  |
|        | 5     | 18,00571 | 2,193260       | 9  |
|        | 10    | 18,77704 | 2,326338       | 9  |
|        | 15    | 19,68867 | 2,426653       | 9  |
|        | Total | 18,17285 | 2,455429       | 36 |

**Between-Subjects Factors**

|      | Value Label | N  |
|------|-------------|----|
| tr   | 1 incorp    | 12 |
|      | 2 harv      | 12 |
|      | 3 contr     | 12 |
| fert | 1 0         | 9  |
|      | 2 5         | 9  |
|      | 3 10        | 9  |
|      | 4 15        | 9  |

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: dm\_stem

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F         | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Corrected Model | 184,704 <sup>a</sup>    | 11 | 16,791      | 15,314    | ,000 |
| Intercept       | 11889,080               | 1  | 11889,080   | 10842,812 | ,000 |
| tr              | 116,928                 | 2  | 58,464      | 53,319    | ,000 |
| fert            | 58,540                  | 3  | 19,513      | 17,796    | ,000 |
| tr * fert       | 9,236                   | 6  | 1,539       | 1,404     | ,254 |
| Error           | 26,316                  | 24 | 1,096       |           |      |
| Total           | 12100,106               | 36 |             |           |      |
| Corrected Total | 211,020                 | 35 |             |           |      |

a. R Squared = .875 (Adjusted R Squared = .818)



Multiple Comparisons

dm stem  
LSD

| (I) tr | (J) tr | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|--------|--------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|        |        |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| incorp | harv   | .94988*               | .427492    | .036 | -.05758                 | 1.95718     |
|        | contr  | 4.20847*              | .427492    | .000 | 3.32517                 | 5.09177     |
| harv   | incorp | -.94988*              | .427492    | .036 | -1.83218                | -.05758     |
|        | contr  | 3.25859*              | .427492    | .000 | 2.37529                 | 4.14189     |
| contr  | incorp | -4.20847*             | .427492    | .000 | -5.09077                | -3.32517    |
|        | harv   | -3.25859*             | .427492    | .000 | -4.14089                | -2.37529    |

Based on observed means.  
 The error term is Mean Square(Error) = 1,096.  
 \*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

dm stem  
LSD

| (I) fert | (J) fert | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|----------|----------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|          |          |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 0        | 5        | -1,78575*             | ,493625    | ,001 | -2,80454                | -,76695     |
|          | 10       | -2,55707*             | ,493625    | ,000 | -3,57587                | -1,53828    |
|          | 15       | -3,46870*             | ,493625    | ,000 | -4,48749                | -2,44991    |
| 5        | 0        | 1,78575*              | ,493625    | ,001 | ,76695                  | 2,80454     |
|          | 10       | -,77133               | ,493625    | ,131 | -1,79012                | ,24746      |
|          | 15       | -1,88295*             | ,493625    | ,002 | -2,70175                | -,86416     |
| 10       | 0        | 2,55707*              | ,493625    | ,000 | 1,53828                 | 3,57587     |
|          | 5        | ,77133                | ,493625    | ,131 | -,24746                 | 1,79012     |
|          | 15       | -,81163               | ,493625    | ,077 | -1,83042                | ,10717      |
| 15       | 0        | 3,46870*              | ,493625    | ,000 | 2,44991                 | 4,48749     |
|          | 5        | 1,88295*              | ,493625    | ,002 | ,86416                  | 2,70175     |
|          | 10       | ,91163                | ,493625    | ,077 | -,10717                 | 1,93042     |

Based on observed means.  
 The error term is Mean Square(Error) = 1,096.  
 \*. The mean difference is significant at the .05 level.

Τρίκαλα: Ολικό απορροφημένο άζωτο.

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: total\_N\_up

| tr     | fert  | Mean      | Std. Deviation | N  |
|--------|-------|-----------|----------------|----|
| incurp | 0     | 325,42803 | 39,514727      | 3  |
|        | 5     | 351,03061 | 20,780797      | 3  |
|        | 10    | 381,43673 | 39,630461      | 3  |
|        | 15    | 403,86405 | 35,125298      | 3  |
|        | Total | 365,44210 | 42,870977      | 12 |
| harv   | 0     | 298,84180 | 8,645241       | 3  |
|        | 5     | 336,69904 | 7,668518       | 3  |
|        | 10    | 364,90276 | 15,087348      | 3  |
|        | 15    | 384,34082 | 8,396978       | 3  |
|        | Total | 346,19610 | 34,740745      | 12 |
| contr  | 0     | 242,64080 | 23,558885      | 3  |
|        | 5     | 272,07328 | 22,325152      | 3  |
|        | 10    | 299,69482 | 75,462777      | 3  |
|        | 15    | 311,00167 | 7,658555       | 3  |
|        | Total | 282,10339 | 45,295366      | 12 |
| Total  | 0     | 288,97021 | 43,447158      | 9  |
|        | 5     | 319,93731 | 39,679877      | 9  |
|        | 10    | 348,67810 | 57,219810      | 9  |
|        | 15    | 367,40318 | 44,901194      | 9  |
|        | Total | 331,24720 | 53,919547      | 36 |

**Between-Subjects Factors**

|      | Value Label | N  |
|------|-------------|----|
| tr   | 1 incurp    | 12 |
|      | 2 harv      | 12 |
|      | 3 contr     | 12 |
| fert | 1 0         | 9  |
|      | 2 5         | 9  |
|      | 3 10        | 9  |
|      | 4 15        | 9  |

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: total\_N\_up

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig.  |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|-------|
| Corrected Model | 77684,290 <sup>a</sup>  | 11 | 7062,208    | 7,041    | ,000  |
| Intercept       | 3950089,465             | 1  | 3950089,465 | 3938,303 | ,000  |
| tr              | 45394,501               | 2  | 22697,250   | 22,779   | ,000  |
| fert            | 31737,137               | 3  | 10579,046   | 10,547   | ,000  |
| tr * fert       | 252,652                 | 6  | 42,109      | ,042     | 1,000 |
| Error           | 24071,824               | 24 | 1002,993    |          |       |
| Total           | 4051845,579             | 36 |             |          |       |
| Corrected Total | 101756,114              | 35 |             |          |       |

a. R Squared = .763 (Adjusted R Squared = .655)

Multiple Comparisons

total N up  
LSD

| (I) tr | (J) tr | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|--------|--------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|        |        |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| incorp | harv   | 19,24500              | 12,929248  | ,150 | -7,43888                | 45,93065    |
|        | contr  | 83,33871*             | 12,929248  | ,000 | 58,65408                | 110,02337   |
| harv   | incorp | -19,24500             | 12,929248  | ,150 | -45,93065               | 7,43888     |
|        | contr  | 34,09271*             | 12,929248  | ,000 | 37,40808                | 90,77737    |
| contr  | incorp | -83,33871*            | 12,929248  | ,000 | -110,02337              | -56,65408   |
|        | harv   | -34,09271*            | 12,929248  | ,000 | -90,77737               | -37,40808   |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1002,933.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

total N up  
LSD

| (I) fact | (J) fact | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|----------|----------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|          |          |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 0        | 5        | -30,95710*            | 14,929409  | ,049 | -51,77988               | -1,15431    |
|          | 10       | -59,70789*            | 14,929409  | ,001 | -90,52068               | -28,89510   |
|          | 15       | -78,43297*            | 14,929409  | ,000 | -109,24575              | -47,62018   |
| 5        | 0        | 30,95710*             | 14,929409  | ,049 | -1,15431                | 61,77988    |
|          | 10       | -28,74079             | 14,929409  | ,066 | -59,55358               | 2,07199     |
|          | 15       | -47,46587*            | 14,929409  | ,004 | -78,27866               | -16,65308   |
| 10       | 0        | 59,70789*             | 14,929409  | ,001 | 28,89510                | 90,52068    |
|          | 5        | 28,74079              | 14,929409  | ,066 | -2,07199                | 59,55358    |
|          | 15       | -18,72508             | 14,929409  | ,222 | -49,53786               | 12,08771    |
| 15       | 0        | 78,43297*             | 14,929409  | ,000 | 47,62018                | 109,24575   |
|          | 5        | 47,46587*             | 14,929409  | ,004 | 16,65308                | 78,27866    |
|          | 10       | 18,72508              | 14,929409  | ,222 | -12,08771               | 49,53786    |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1002,933.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Τρίκαλα: Απορροφημένο άζωτο στελεχών.

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: N\_up\_stem

| tr     | fert  | Mean      | Std. Deviation | N  |
|--------|-------|-----------|----------------|----|
| incorp | 0     | 200,07340 | 5,120838       | 3  |
|        | 5     | 236,54475 | 33,983193      | 3  |
|        | 10    | 234,48571 | 38,131476      | 3  |
|        | 15    | 239,55259 | 16,856694      | 3  |
|        | Total | 227,66411 | 28,480337      | 12 |
| harv   | 0     | 174,32766 | 11,902937      | 3  |
|        | 5     | 195,70626 | 16,372139      | 3  |
|        | 10    | 241,45194 | 26,624289      | 3  |
|        | 15    | 256,05517 | 4,236264       | 3  |
|        | Total | 216,88526 | 37,496135      | 12 |
| contr  | 0     | 151,70096 | 16,328056      | 3  |
|        | 5     | 174,15215 | 33,396573      | 3  |
|        | 10    | 182,38064 | 55,122950      | 3  |
|        | 15    | 190,76919 | 7,054987       | 3  |
|        | Total | 177,25073 | 33,252017      | 12 |
| Total  | 0     | 175,36734 | 23,408654      | 9  |
|        | 5     | 202,13439 | 37,251964      | 9  |
|        | 10    | 222,77277 | 42,767045      | 9  |
|        | 15    | 228,79232 | 30,858849      | 9  |
|        | Total | 207,26670 | 39,084159      | 36 |

**Between-Subjects Factors**

|      | Value Label | N  |
|------|-------------|----|
| tr   | 1 incorp    | 12 |
|      | 2 harv      | 12 |
|      | 3 contr     | 12 |
| fert | 1 0         | 9  |
|      | 2 5         | 9  |
|      | 3 10        | 9  |
|      | 4 15        | 9  |

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: N\_up\_stem

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 36412,977 <sup>a</sup>  | 11 | 3310,271    | 4,659    | ,001 |
| Intercept       | 1543541,487             | 1  | 1543541,487 | 2176,691 | ,000 |
| tr              | 13914,354               | 2  | 6957,176    | 11,903   | ,000 |
| fert            | 15729,302               | 3  | 5243,101    | 7,379    | ,001 |
| tr * fert       | 3769,324                | 6  | 628,221     | ,884     | ,522 |
| Error           | 17952,025               | 24 | 710,501     |          |      |
| Total           | 1699995,499             | 36 |             |          |      |
| Corrected Total | 53495,002               | 35 |             |          |      |

a. R Squared = .681 (Adjusted R Squared = .535)

Multiple Comparisons

N up stem  
LSD

| (I) tr | (J) tr | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|--------|--------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|        |        |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| incorp | harv   | 10,77885              | 10,881950  | ,332 | -11,68038               | 33,23810    |
|        | contr  | 50,41338*             | 10,881950  | ,000 | 27,95414                | 72,87262    |
| harv   | incorp | -10,77885             | 10,881950  | ,332 | -33,23810               | 11,68038    |
|        | contr  | 39,33452*             | 10,881950  | ,001 | 17,17528                | 62,09376    |
| contr  | incorp | -50,41338*            | 10,881950  | ,000 | -72,87262               | -27,95414   |
|        | harv   | -39,33452*            | 10,881950  | ,001 | -62,09376               | -17,17528   |

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 710,501.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

N up stem  
LSD

| (I) fert | (J) fert | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|----------|----------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|          |          |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 0        | 5        | -26,76705*            | 12,555394  | ,044 | -52,79975               | -,33335     |
|          | 10       | -47,40543*            | 12,555394  | ,001 | -73,33913               | -21,47173   |
|          | 15       | -53,42498*            | 12,555394  | ,000 | -79,35858               | -27,49128   |
| 5        | 0        | 26,76705*             | 12,555394  | ,044 | -,33335                 | 52,79975    |
|          | 10       | -20,63838             | 12,555394  | ,114 | -43,57298               | 5,29532     |
|          | 15       | -26,65793*            | 12,555394  | ,044 | -52,59133               | -,72423     |
| 10       | 0        | 47,40543*             | 12,555394  | ,001 | 21,47173                | 73,33913    |
|          | 5        | 20,63838              | 12,555394  | ,114 | -5,29532                | 43,57298    |
|          | 15       | -6,01955              | 12,555394  | ,636 | -31,95325               | 19,91415    |
| 15       | 0        | 53,42498*             | 12,555394  | ,000 | 27,49128                | 79,35858    |
|          | 5        | 26,65793*             | 12,555394  | ,044 | 7,2423                  | 52,59133    |
|          | 10       | 6,01955               | 12,555394  | ,636 | -19,91415               | 31,95325    |

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 710,501.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Σωτήριο: Ολική ξηρή βιομάζα.

**Descriptive Statistics**

| Dependent Variable: total_dmi |       |          |                |    |
|-------------------------------|-------|----------|----------------|----|
| tr                            | fert  | Mean     | Std. Deviation | N  |
| incurp                        | 0     | 26,27414 | ,090490        | 3  |
|                               | 5     | 28,39420 | 1,449417       | 3  |
|                               | 10    | 31,53045 | ,597500        | 3  |
|                               | 15    | 32,53808 | ,063842        | 3  |
|                               | Total | 29,68422 | 2,687984       | 12 |
| harv                          | 0     | 25,18587 | ,122087        | 3  |
|                               | 5     | 26,76678 | 2,589796       | 3  |
|                               | 10    | 29,43453 | ,549074        | 3  |
|                               | 15    | 30,86855 | ,231811        | 3  |
|                               | Total | 28,06643 | 2,578101       | 12 |
| contr                         | 0     | 23,04623 | ,437457        | 3  |
|                               | 5     | 25,07320 | ,381362        | 3  |
|                               | 10    | 26,17402 | ,424322        | 3  |
|                               | 15    | 27,01915 | 1,045185       | 3  |
|                               | Total | 25,32815 | 1,644827       | 12 |
| Total                         | 0     | 24,83874 | 1,441873       | 9  |
|                               | 5     | 26,74473 | 2,075223       | 9  |
|                               | 10    | 29,04633 | 2,382021       | 9  |
|                               | 15    | 30,14193 | 2,509090       | 9  |
|                               | Total | 27,69293 | 2,921416       | 36 |

**Between-Subjects Factors**

|      |   | Value Label | N  |
|------|---|-------------|----|
| tr   | 1 | incurp      | 12 |
|      | 2 | harv        | 12 |
|      | 3 | contr       | 12 |
| fert | 1 | 0           | 9  |
|      | 2 | 5           | 9  |
|      | 3 | 10          | 9  |
|      | 4 | 15          | 9  |

**Tests of Between-Subjects Effects**

| Dependent Variable: total_dmi |                         |    |             |           |      |
|-------------------------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Source                        | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F         | Sig. |
| Corrected Model               | 276,401 <sup>a</sup>    | 11 | 25,127      | 27,027    | ,000 |
| Intercept                     | 27608,346               | 1  | 27608,346   | 29695,668 | ,000 |
| tr                            | 113,333                 | 2  | 58,182      | 62,580    | ,000 |
| fert                          | 151,873                 | 3  | 50,624      | 54,452    | ,000 |
| tr * fert                     | 8,155                   | 6  | 1,361       | 1,464     | ,233 |
| Error                         | 22,313                  | 24 | ,930        |           |      |
| Total                         | 27997,059               | 36 |             |           |      |
| Corrected Total               | 298,714                 | 35 |             |           |      |

a. R Squared = .025 (Adjusted R Squared = .801)

Multiple Comparisons

total dm  
LSD

| (I) tr | (J) tr | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|--------|--------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|        |        |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| incorp | harv   | 1,51779*              | ,393539    | ,000 | ,80535                  | 2,43022     |
|        | contr  | 4,35507*              | ,393539    | ,000 | 3,54354                 | 5,16659     |
| harv   | incorp | -1,51779*             | ,393539    | ,000 | -2,43022                | -,80535     |
|        | contr  | 2,73828*              | ,393539    | ,000 | 1,92585                 | 3,55071     |
| contr  | incorp | -4,35507*             | ,393539    | ,000 | -5,16659                | -3,54354    |
|        | harv   | -2,73828*             | ,393539    | ,000 | -3,55071                | -1,92585    |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = ,930.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

total dm  
LSD

| (I) fert | (J) fert | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|----------|----------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|          |          |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 0        | 5        | -1,90598*             | ,454535    | ,000 | -2,84410                | -,96787     |
|          | 10       | -4,20759*             | ,454535    | ,000 | -5,14570                | -3,26947    |
|          | 15       | -5,30318*             | ,454535    | ,000 | -6,24130                | -4,36507    |
| 5        | 0        | 1,90598*              | ,454535    | ,000 | ,96787                  | 2,84410     |
|          | 10       | -2,30160*             | ,454535    | ,000 | -3,23972                | -1,36349    |
|          | 15       | -3,39720*             | ,454535    | ,000 | -4,33532                | -2,45909    |
| 10       | 0        | 4,20759*              | ,454535    | ,000 | 3,26947                 | 5,14570     |
|          | 5        | 2,30160*              | ,454535    | ,000 | 1,36349                 | 3,23972     |
|          | 15       | -1,09580*             | ,454535    | ,024 | -2,03371                | -,15748     |
| 15       | 0        | 5,30318*              | ,454535    | ,000 | 4,36507                 | 6,24130     |
|          | 5        | 3,39720*              | ,454535    | ,000 | 2,45909                 | 4,33532     |
|          | 10       | 1,09580*              | ,454535    | ,024 | ,15748                  | 2,03371     |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = ,930.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Σωτήριο: Ξηρή βιομάζα στελεχών.

**Descriptive Statistics**

| Dependent Variable: dm_stem |       |          |                |    |
|-----------------------------|-------|----------|----------------|----|
| tr                          | fert  | Mean     | Std. Deviation | N  |
| incurp                      | 0     | 21,76441 | ,081731        | 3  |
|                             | 5     | 22,99731 | 1,010155       | 3  |
|                             | 10    | 25,27300 | ,840219        | 3  |
|                             | 15    | 26,13184 | ,044693        | 3  |
|                             | Total | 24,04164 | 1,905848       | 12 |
| harv                        | 0     | 20,56591 | ,248768        | 3  |
|                             | 5     | 21,50018 | 3,025810       | 3  |
|                             | 10    | 24,08971 | ,230059        | 3  |
|                             | 15    | 25,53014 | ,338839        | 3  |
|                             | Total | 22,92148 | 2,449185       | 12 |
| contr                       | 0     | 18,36734 | ,981509        | 3  |
|                             | 5     | 20,44190 | ,310707        | 3  |
|                             | 10    | 21,18774 | ,182736        | 3  |
|                             | 15    | 22,00936 | 1,133383       | 3  |
|                             | Total | 20,50159 | 1,554650       | 12 |
| Total                       | 0     | 20,23256 | 1,573069       | 9  |
|                             | 5     | 21,64646 | 1,950528       | 9  |
|                             | 10    | 23,51682 | 1,874015       | 9  |
|                             | 15    | 24,55712 | 2,017200       | 9  |
|                             | Total | 22,48824 | 2,455870       | 36 |

**Between-Subjects Factors**

|      |   | Value Label | N  |
|------|---|-------------|----|
| tr   | 1 | incurp      | 12 |
|      | 2 | harv        | 12 |
|      | 3 | contr       | 12 |
| fert | 1 | 0           | 9  |
|      | 2 | 5           | 9  |
|      | 3 | 10          | 9  |
|      | 4 | 15          | 9  |

**Tests of Between-Subjects Effects**

| Dependent Variable: dm_stem |                         |    |             |           |      |
|-----------------------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Source                      | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F         | Sig. |
| Corrected Model             | 184,180 <sup>a</sup>    | 11 | 16,744      | 14,930    | ,000 |
| Intercept                   | 18205,950               | 1  | 18205,950   | 16233,756 | ,000 |
| tr                          | 78,571                  | 2  | 39,285      | 35,030    | ,000 |
| fert                        | 100,214                 | 3  | 33,405      | 29,786    | ,000 |
| tr * fert                   | 5,395                   | 6  | ,899        | ,802      | ,578 |
| Error                       | 23,913                  | 24 | 1,121       |           |      |
| Total                       | 18417,045               | 36 |             |           |      |
| Corrected Total             | 211,095                 | 35 |             |           |      |

a. R Squared = .872 (Adjusted R Squared = .814)



Multiple Comparisons

dm stem  
LSD

| (I) tr | (J) tr | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|--------|--------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|        |        |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| incorp | harv   | 1,12015*              | ,432335    | ,016 | ,22785                  | 2,01245     |
|        | contr  | 3,54005*              | ,432335    | ,000 | 2,54775                 | 4,43235     |
| harv   | incorp | -1,12015*             | ,432335    | ,016 | -2,01245                | -,22785     |
|        | contr  | 2,41990*              | ,432335    | ,000 | 1,52750                 | 3,31220     |
| contr  | incorp | -3,54005*             | ,432335    | ,000 | -4,43235                | -2,54775    |
|        | harv   | -2,41990*             | ,432335    | ,000 | -3,31220                | -1,52750    |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1,121.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

dm stem  
LSD

| (I) fert | (J) fert | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|----------|----------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|          |          |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 0        | 5        | -1,41391*             | ,499219    | ,009 | -2,44424                | -,38357     |
|          | 10       | -3,28425*             | ,499219    | ,000 | -4,31460                | -2,25393    |
|          | 15       | -4,32455*             | ,499219    | ,000 | -5,35490                | -3,29422    |
| 5        | 0        | 1,41391*              | ,499219    | ,009 | ,38357                  | 2,44424     |
|          | 10       | -1,87035*             | ,499219    | ,001 | -2,90069                | -,84002     |
|          | 15       | -2,91065*             | ,499219    | ,000 | -3,94099                | -1,88032    |
| 10       | 0        | 3,28425*              | ,499219    | ,000 | 2,25393                 | 4,31460     |
|          | 5        | 1,87035*              | ,499219    | ,001 | ,84002                  | 2,90069     |
|          | 15       | -1,04030*             | ,499219    | ,048 | -2,07063                | -,00996     |
| 15       | 0        | 4,32455*              | ,499219    | ,000 | 3,29422                 | 5,35490     |
|          | 5        | 2,91065*              | ,499219    | ,000 | 1,88032                 | 3,94099     |
|          | 10       | 1,04030*              | ,499219    | ,048 | ,00996                  | 2,07063     |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1,121.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Σωτήριο: Ολικό απορροφημένο άζωτο.

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: total N up

| tr     | fert  | Mean      | Std. Deviation | N  |
|--------|-------|-----------|----------------|----|
| incorp | 0     | 368,78331 | 3,175625       | 3  |
|        | 5     | 401,75243 | 28,589048      | 3  |
|        | 10    | 454,93613 | 25,046039      | 3  |
|        | 15    | 495,98337 | 21,998095      | 3  |
|        | Total | 430,36381 | 54,302581      | 12 |
| harv   | 0     | 351,91338 | 59,795115      | 3  |
|        | 5     | 376,98616 | 59,609113      | 3  |
|        | 10    | 420,59497 | 15,535585      | 3  |
|        | 15    | 462,46452 | 68,984767      | 3  |
|        | Total | 402,98976 | 64,423620      | 12 |
| contr  | 0     | 325,40791 | 19,998507      | 3  |
|        | 5     | 348,05668 | 20,062853      | 3  |
|        | 10    | 372,54853 | 13,921180      | 3  |
|        | 15    | 386,43931 | 39,651659      | 3  |
|        | Total | 358,11312 | 32,691256      | 12 |
| Total  | 0     | 348,70154 | 36,809511      | 9  |
|        | 5     | 375,59842 | 41,760137      | 9  |
|        | 10    | 416,02654 | 39,370886      | 9  |
|        | 15    | 448,29574 | 63,770927      | 9  |
|        | Total | 397,15556 | 58,986794      | 36 |

**Between-Subjects Factors**

|      | Value Label | N  |
|------|-------------|----|
| tr   | 1 incorp    | 12 |
|      | 2 harv      | 12 |
|      | 3 contr     | 12 |
| fert | 1 0         | 9  |
|      | 2 5         | 9  |
|      | 3 10        | 9  |
|      | 4 15        | 9  |

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: total N up

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 88436,219 <sup>a</sup>  | 11 | 8039,656    | 5,787    | ,000 |
| Intercept       | 5378371,428             | 1  | 5378371,428 | 4087,089 | ,000 |
| tr              | 31933,359               | 2  | 15966,629   | 11,492   | ,000 |
| fert            | 52055,415               | 3  | 17351,805   | 12,489   | ,000 |
| tr * fert       | 4447,146                | 6  | 741,191     | ,533     | ,777 |
| Error           | 33344,245               | 24 | 1389,344    |          |      |
| Total           | 5899151,892             | 36 |             |          |      |
| Corrected Total | 121780,464              | 35 |             |          |      |

a. R Squared = .726 (Adjusted R Squared = .501)

Multiple Comparisons

total N up  
LSD

| (I) tr | (J) tr | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|--------|--------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|        |        |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| incorp | harv   | 27,37405              | 15,217006  | ,085 | -4,03230                | 58,78041    |
|        | contr  | 72,25039*             | 15,217006  | ,000 | 40,84434                | 103,65705   |
| harv   | incorp | -27,37405             | 15,217006  | ,085 | -58,78041               | 4,03230     |
|        | contr  | 44,87334*             | 15,217006  | ,007 | 13,47029                | 76,28300    |
| contr  | incorp | -72,25039*            | 15,217006  | ,000 | -103,65705              | -40,84434   |
|        | harv   | -44,87334*            | 15,217006  | ,007 | -76,28300               | -13,47029   |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1389,344.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

total N up  
LSD

| (I) fert | (J) fert | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|----------|----------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|          |          |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 0        | 5        | -26,89689             | 17,571035  | ,139 | -53,15182               | 9,35805     |
|          | 10       | -67,32501*            | 17,571035  | ,001 | -103,58994              | -31,06007   |
|          | 15       | -99,59421*            | 17,571035  | ,000 | -135,85914              | -63,32927   |
| 5        | 0        | 26,89689              | 17,571035  | ,139 | -9,35805                | 33,15182    |
|          | 10       | -40,42812*            | 17,571035  | ,030 | -78,99305               | -4,15318    |
|          | 15       | -72,69732*            | 17,571035  | ,000 | -108,96226              | -36,43238   |
| 10       | 0        | 67,32501*             | 17,571035  | ,001 | 31,06007                | 103,58994   |
|          | 5        | 40,42812*             | 17,571035  | ,030 | 4,15318                 | 76,99305    |
|          | 15       | -32,26920             | 17,571035  | ,079 | -68,53414               | 3,99573     |
| 15       | 0        | 99,59421*             | 17,571035  | ,000 | 63,32927                | 135,85914   |
|          | 5        | 72,69732*             | 17,571035  | ,000 | 36,43238                | 108,96226   |
|          | 10       | 32,26920              | 17,571035  | ,079 | -3,99573                | 68,53414    |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1389,344.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Σωτήριο: Απορροφημένο άζωτο στελεχών.

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: N up stem

| tr     | fert  | Mean      | Std. Deviation | N  |
|--------|-------|-----------|----------------|----|
| incorp | 0     | 261,90569 | 4,213870       | 3  |
|        | 5     | 277,56993 | 23,268679      | 3  |
|        | 10    | 314,56558 | 28,503170      | 3  |
|        | 15    | 348,44688 | 20,882698      | 3  |
|        | Total | 300,62202 | 39,486713      | 12 |
| harv   | 0     | 248,64817 | 63,595187      | 3  |
|        | 5     | 252,55008 | 53,531153      | 3  |
|        | 10    | 303,43562 | 12,129179      | 3  |
|        | 15    | 328,77070 | 60,841668      | 3  |
|        | Total | 283,35114 | 59,709378      | 12 |
| contr  | 0     | 220,95277 | 27,125312      | 3  |
|        | 5     | 244,83861 | 25,150285      | 3  |
|        | 10    | 264,08077 | 8,432753       | 3  |
|        | 15    | 281,87081 | 18,895580      | 3  |
|        | Total | 252,93574 | 29,762124      | 12 |
| Total  | 0     | 243,83554 | 39,076387      | 9  |
|        | 5     | 258,31954 | 35,065338      | 9  |
|        | 10    | 294,02732 | 28,023904      | 9  |
|        | 15    | 319,69613 | 44,733659      | 9  |
|        | Total | 278,96963 | 46,678157      | 36 |

**Between-Subjects Factors**

|      |   | Value Label | N  |
|------|---|-------------|----|
| tr   | 1 | incorp      | 12 |
|      | 2 | harv        | 12 |
|      | 3 | contr       | 12 |
| fert | 1 | 0           | 9  |
|      | 2 | 5           | 9  |
|      | 3 | 10          | 9  |
|      | 4 | 15          | 9  |

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: N up stem

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 47533,168 <sup>a</sup>  | 11 | 4321,197    | 3,610    | ,00+ |
| Intercept       | 2801666,061             | 1  | 2801666,061 | 2340,588 | ,000 |
| tr              | 13989,443               | 2  | 6994,722    | 5,844    | ,009 |
| fert            | 31915,911               | 3  | 10638,637   | 8,888    | ,000 |
| tr * fert       | 1527,814                | 6  | 271,302     | ,227     | ,964 |
| Error           | 28726,594               | 24 | 1196,941    |          |      |
| Total           | 2877925,822             | 36 |             |          |      |
| Corrected Total | 76259,762               | 35 |             |          |      |

a. R Squared = .623 (Adjusted R Squared = .451)

Multiple Comparisons

N up stem  
LSD

| (I) tr | (J) tr | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|--------|--------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|        |        |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| incorp | harv   | 17,27088              | 14,124101  | ,233 | -11,87984               | 46,42159    |
|        | contr  | 47,38328*             | 14,124101  | ,002 | 18,53558                | 76,83699    |
| harv   | incorp | -17,27088             | 14,124101  | ,233 | -46,42159               | 11,87984    |
|        | contr  | 30,41540*             | 14,124101  | ,042 | 1,26489                 | 59,56611    |
| contr  | incorp | -47,38328*            | 14,124101  | ,002 | -76,83699               | -18,53556   |
|        | harv   | -30,41540*            | 14,124101  | ,042 | -59,56611               | -1,26489    |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1196,941.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

N up stem  
LSD

| (I) fert | (J) fert | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|----------|----------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|          |          |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 0        | 5        | -14,48400             | 13,309107  | ,383 | -48,14434               | 19,17535    |
|          | 10       | -50,19178*            | 13,309107  | ,005 | -83,85212               | -16,53144   |
|          | 15       | -75,86059*            | 13,309107  | ,000 | -109,52093              | -42,20024   |
| 5        | 0        | 14,48400              | 13,309107  | ,383 | -19,17535               | 48,14434    |
|          | 10       | -35,70778*            | 13,309107  | ,039 | -69,36813               | -2,04744    |
|          | 15       | -61,37659*            | 13,309107  | ,001 | -95,03693               | -27,71525   |
| 10       | 0        | 50,19178*             | 13,309107  | ,005 | 16,53144                | 83,85212    |
|          | 5        | 35,70778*             | 13,309107  | ,039 | 2,04744                 | 69,36813    |
|          | 15       | -25,86881             | 13,309107  | ,129 | -59,32915               | 7,99154     |
| 15       | 0        | 75,86059*             | 13,309107  | ,000 | 42,20024                | 109,52093   |
|          | 5        | 61,37659*             | 13,309107  | ,001 | 27,71525                | 95,03693    |
|          | 10       | 25,86881              | 13,309107  | ,129 | -7,99154                | 59,32915    |

Based on observed means.  
The error term is Mean Square(Error) = 1196,941.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Δημοσιευμένες εργασίες

- Beslemes, D.F.**, Danalatos N.G. and Efthimiadis, P. **2011**. The effect of *Vicia faba* as a cover crop on biomass production and N-use of Sorghum and maize on poor sandy soils, In: *Proceedings of the 19<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition*, Berlin, Germany, pp 703-707.
- Beslemes, D.F.**, Danalatos N.G. and Efthimiadis, P. **2011**. Nitrogen use and biomass production in two different energy crop/legume intercrop systems in central Greece, In: *Proceedings of the 19<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition*, Berlin, Germany, pp 707-712.
- Beslemes, D.F.**, Danalatos N.G., Efthimiadis, P. and Tigka E.L. **2012**. Growth and biomass productivity of fibre sorghum (*Sorghum bicolor*) under different agricultural inputs and management practices in central Greece, In: *Proceedings of the 20<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition*, Milan, Italy, pp 258-267.
- Beslemes, D.F.**, Danalatos N.G., Efthimiadis, P. and Tigka E.L. **2012**. The effect of *Vicia faba* as a cover crop on growth and biomass productivity of fibre sorghum on poor sandy soils, In: *Proceedings of the 20<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition*, Milan, Italy, pp 617-623.
- Beslemes, D.F.**, Tigka E.L., Efthimiadis, P. and Danalatos N.G. **2013**. Maize biomass production, N-Use Efficiency and potential bioethanol yield, under different cover cropping managements, nitrogen influxes and soil types, in Mediterranean climate. *Journal of Agricultural Science*; Vol. 5, No. 7, pp 189-205.
- Beslemes, D.F.**, Tigka E.L., Efthimiadis, P. and Danalatos N.G. **2013**. Biomass production and N-use of fibre Sorghum under different cover cropping management, nitrogen influxes and soil types in central Greece. *Experimental Agriculture*, Vol. 50, pp 109-127.
- Tigka, E.L., **Beslemes, D.F.**, Danalatos, N.G., Tzortzios, S., **2012**. Growth and biomass productivity of *Hibiscus cannabinus* under different treatments of L.Culinaris in sandy soil in Central Greece, In: *Proceedings of the 20<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition*, Milan, Italy, pp 612-616.
- Tigka, E.L., **Beslemes, D.F.**, Danalatos, N.G., Tzortzios, S., **2012**. Evaluation of Lentil (*L.culinaris*) cover cropping and Green Manure on Growth and Productivity of Kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L.) on a Clay Soil in Central Greece, In: *Proceedings of the 20<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition*, Milan, Italy, pp 623 – 627.
- Tigka, E.L., **Beslemes, D.F.**, Danalatos, N.G., Tzortzios, S., **2013**. Evaluation of cover-cropping managements on productivity and N-utilization efficiency of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), under different nitrogen fertilization rates and soil types, *European Journal of Agronomy*, Vol. 46, pp 1– 9.







