

**ΑΜΕΙΨΙΣΠΟΡΑ ΜΠΙΖΕΛΙΟΥ ΜΕ ΗΛΙΑΝΘΟ ΚΑΙ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟ ΩΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΩΝ
ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗ ΘΕΣΣΑΛΙΚΗ ΠΕΔΙΑΔΑ**



Ελπινίκη Σκουφογιάννη

Αμειψισπορά μπιζελιού (*Pisum sativum* L.) με ηλίανθο (*Helianthus annuus* L.) και αραβόσιτο (*Zea mays* L.) ως ενεργειακές καλλιέργειες: Επίδραση της βελτίωσης των εδαφικών παραμέτρων στην αύξηση της παραγωγικότητας και αειφορίας στην Ανατολική και Δυτική Θεσσαλική πεδιάδα. Ε. Σκουφογιάννη

Εισηγητική Επιτροπή:

Καθηγητής Ν. Δαναλάτος Π.Θ. (Επιβλέπων)

Καθηγητής Π. Ευθυμιάδης Γ.Π.Α.

Ερευνητής Δ. Δημογιάννης Ι.ΧΤ.Ε.Λ.

Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγήτρια Α. Δημήρκου Π.Θ.

Καθηγητής Δ. Γούσιος Π.Θ.

Αν. Καθηγητής Δ. Μπιλάλης Γ.Π.Α.

Αν. Καθηγητής Π. Δημητρακόπουλος Π.ΑΙ.

**ΑΜΕΙΨΙΣΠΟΡΑ ΜΠΙΖΕΛΙΟΥ ΜΕ ΗΛΙΑΝΘΟ ΚΑΙ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟ ΩΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΩΝ
ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗ ΘΕΣΣΑΛΙΚΗ ΠΕΔΙΑΔΑ**

Διατριβή

Για την απόκτηση του τίτλου της
Διδάκτορος των Γεωπονικών Επιστημών
του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής
Γεωπονικών Επιστημών του
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.
Υποστηρίχθηκε την Παρασκευή 1^η Φεβρουαρίου 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκουφογιάννη, Ε., 2013. Αμειψισπορά μπιζελιού με ηλίανθο και αραβόσιτο ως ενεργειακές καλλιέργειες: Επίδραση της βελτίωσης των εδαφικών παραμέτρων στην αύξηση της παραγωγικότητας και αειφορίας στην Ανατολική και Δυτική Θεσσαλική πεδιάδα. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος. xviii + 170 σελ., 18 Πίν., 29 Σχήμ., 274 βιβλ. παραπομπές, Abstract.

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η επίδραση της εισαγωγής καλλιέργειας μπιζελιού (*Pisum sativum* L.) σε αμειψισπορά με εαρινή καλλιέργεια (μπιζέλι-αραβόσιτος και μπιζέλι – ηλίανθος) στη βελτίωση της δομής και γονιμότητας του εδάφους, και στην αύξηση της παραγωγικότητας των εαρινών καλλιεργειών, σε βαρύ αργιλώδες έδαφος της Λάρισας και αμμώδες έδαφος των Τρικάλων.

Η καλλιέργεια του ψυχανθούς μελετήθηκε σε δύο καλλιεργητικά συστήματα: α) ως συμμετέχουσας καλλιέργειας σε εντατικοποιημένης μορφής σύστημα αμειψισποράς για τη συγκομιδή καρπού πριν την εαρινή καλλιέργεια, και β) ως χλωρής λίπανσης με ενσωμάτωση την περίοδο ανθοφορίας του μπιζελιού, πριν την εαρινή καλλιέργεια αραβόσιτου (*Zea mays* L.) και ηλίανθου (*Helianthus annuus* L.) σε σχέση με το παραδοσιακό καθεστώς της μονοκαλλιέργειας.

Η αύξηση και παραγωγικότητα του ψυχανθούς μελετήθηκε ως προς την απόδοσή του σε βιομάζα ποιοτικά (περιεκτικότητα και απόδοση σε άζωτο) και ποσοτικά κατά την εποχή της ενσωμάτωσης (ανθοφορία) και κατά την ολοκλήρωση του βιολογικού του κύκλου. Επίσης μελετήθηκαν η αύξηση και ανάπτυξη των καλλιεργειών αραβόσιτου και ηλίανθου στα δύο εδάφη, και πιο συγκεκριμένα μελετήθηκε το ύψος φυτών, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας, η ειδική φυλλική επιφάνεια, και τα χλωρά και ξηρά βάρη των φυτικών οργάνων (βλαστός, φύλλα και όργανα καρποφορίας) καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου και κατά τη συγκομιδή των καλλιεργειών. Πρωτοτυπία της παρούσας έρευνας αποτελεί η διερεύνηση της εισαγωγής στην αμειψισπορά της καλλιέργειας μπιζελιού όσον αφορά την απόδοσή της σε άζωτο στις επόμενες ενεργοβόρες καλλιέργειες αραβόσιτου και ηλίανθου, σε διαφορετικά εδάφη, καθώς και η βελτίωση της δομής και γονιμότητας των εδαφών αυτών, δεδομένου ότι η διεθνής και ιδιαίτερα η ελληνική βιβλιογραφία είναι ανεπαρκής αναφορικά με αυτό το σύστημα αμειψισποράς.

Για τους σκοπούς της έρευνας, εγκαταστάθηκαν τέσσερις πειραματικοί αγροί στα δύο υπό μελέτη εδάφη x δύο καλλιέργειες, π.χ. αραβοσίτου και ηλίανθου, την περίοδο 2007-2009. Εφαρμόστηκε πειραματικό σχέδιο υποδιαιρεμένων τεμαχίων (split-plot design) 4x3x3, όπου στα κύρια τεμάχια εφαρμόστηκαν τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης και στα τρία υποτεμάχια ανά επίπεδο αζωτούχου λίπανσης εφαρμόστηκαν οι τρεις διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές ως προς το ψυχανθές (συμπεριλαμβανομένης και της μονοκαλλιέργειας του εαρινού φυτού ως μάρτυρα), σε τρεις επαναλήψεις (blocks).

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι η βασική απορρόφηση N, που κυμαίνεται περί τα 75-85 kg/ha στα δύο εδάφη, αυξάνει σημαντικά με την εισαγωγή του μπιζελιού στην αμειψισπορά κατά 20-40 kg/ha (στην περίπτωση της συγκομιδής καρπού), έως 160-180 kg/ha (αύξηση 100%) στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης, καταδεικνύοντας επίσης ότι περί το 37,5% του N που περιέχεται στη χλωρή λίπανση ανακτάται κατά την αύξηση της επόμενης (εαρινής) καλλιέργειας, αυξάνοντας έτσι θεαματικά και τη γονιμότητα του εδάφους. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει αύξηση της απόδοσης περί τους 1,6 t/ha σε σπόρο ηλίανθου έως 5,0 t/ha σε σπόρο αραβοσίτου (χωρίς την εφαρμογή λιπάσματος) όπως προκύπτει από το γινόμενο της προσρόφησης N επί τον λόγο απόδοσης – απορρόφησης που βρέθηκε να ισούται περί το 20 και 65, για τον ηλίανθο και τον αραβόσιτο, αντίστοιχα.

Με τη χλωρή λίπανση ενσωματώνονται περί τα 400-500 kg/στρ ξηράς ουσίας μπιζελιού (βλαστοί, φύλλα και άνθη) κατά την περίοδο της ανθοφορίας εμπλουτίζοντας το έδαφος κατά 18-22 kg N/στρ ετησίως. Εκτός της θεαματικής αύξησης της βασικής απορρόφησης του N στην περίπτωση της αμειψισποράς με μπιζέλι και κυρίως με τη χλωρή λίπανση, βελτιώνεται θεαματικά και η αποδοτικότητα της λίπανσης όπως αντικατοπτρίζεται με το κλάσμα ανάκτησης N που μπορεί να φθάσει το 70%, γεγονός που συνεπάγεται ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις των εαρινών καλλιεργειών για ίδιες εφαρμογές αζωτούχου λίπανσης.

Η εισαγωγή της καλλιέργειας μπιζελιού σηματοδοτεί σημαντική βελτίωση της δομής και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Ιδιαίτερα σε εδάφη με ασθενέστερη δομή, τόσο η χλωρή λίπανση όσο και η αμειψισπορά επιδρούν σημαντικά στη βελτίωση της εδαφικής δομής όπως προκύπτει από τη μείωση του «δείκτη αστάθειας», και κυρίως κατά τις θερινές περιόδους. Τα ποσοστά της οργανικής ουσίας, του οργανικού άνθρακα, και των θρεπτικών στοιχείων N, P, K

αυξάνονται σημαντικά με την εισαγωγή της καλλιέργειας μπιζελιού στα συμβατικά συστήματα καλλιέργειας και κυρίως στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης.

Είναι σίγουρο ότι οι παραδοσιακές ενεργοβόρες μονοκαλλιέργειες είναι πλέον περιβαλλοντικά και οικονομικά ασυμβίβαστες. Η αμειψισπορά με ψυχανθή, και ειδικότερα με καλλιέργεια μπιζελιού, αποτελεί πολύ σημαντική πρόταση για αειφορική και οικονομικά βιώσιμη παραγωγή απαιτητικών καλλιεργειών όπως ο αραβόσιτος και ο ηλίανθος στη Θεσσαλία -και την Ελλάδα γενικότερα- και πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στο σχεδιασμό συστημάτων χρήσης γης στο άμεσο μέλλον, στα πλαίσια της αειφορικής γεωργίας χαμηλών εισροών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών. Κατά την εξαετή ερευνητική μου διαδρομή πολλοί ήταν αυτοί που στάθηκαν πολύτιμοι αρωγοί μου.

Ο Καθηγητής μου Νίκος Δαναλάτος με τον οποίο συνεργαζόμουν και συνεργάζομαι επαγγελματικά από το 1998 μέχρι σήμερα στον ίδιο εργαστηριακό χώρο, με την ιδιότητα του Διευθυντή του εργαστηρίου, μου πρόσφερε την ευκαιρία, την πείρα και τη γνώση από την πολυετή πρωτοποριακή ερευνητική του δραστηριότητα σε θέματα γεωργίας, αναλαμβάνοντας την επίβλεψη της εργασίας. Με υπομονή και επιμονή συνέδραμε στην ολοκλήρωσή της κρατώντας πάντοτε ψηλά τον πήχη των επιστημονικών απαιτήσεων που επέβαλε η διεκπεραίωσή της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη Γενική Συνέλευση του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος που ενέκρινε την εκπόνηση της διατριβής.

Ευχαριστίες οφείλω στον Καθηγητή κ. Παναγιώτη Ευθυμιάδη και τον Ερευνητή του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. κ. Δημήτρη Δημογιάννη για την πολύτιμη συνδρομή, το ενδιαφέρον, την υποστήριξη, την καθοδήγηση και τις υποδείξεις τους καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Επί πλέον, ευχαριστώ τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, την Καθηγήτρια, κα Ανθούλα Δημήρκου, τον Καθηγητή κ. Δημήτρη Γούσιο, τον Αν. Καθηγητή κ. Δημήτρη Μπιλάλη, και τον Αν. Καθηγητή κ. Παναγιώτη Δημητρακόπουλο για την υποστήριξη, τις υποδείξεις και το χρόνο που διέθεσαν για τη διόρθωση της παρούσας διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην ομάδα του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών: τον Δρ Δημήτρη Μπαρτζιάλη και τους υποψήφιους διδάκτορες κ. Κυριάκο Γιαννούλη και Ιππόλυτο Γκιντσιούδη για τη συμπαράσταση και συνεργασία τους. Το μέλος ΕΕΔΙΠ II και αγαπητή φίλη, Μίνα Πανάγου, για τη συμπαράσταση και υποστήριξη καθόλη τη διάρκεια των πειραμάτων μου.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένειά μου, το σύζυγό μου και τις δύο μου κόρες για τη συμπαράσταση, κατανόηση, ηθική στήριξη και πρακτική συμβολή (ενεργό συμμετοχή τους) τους στα πειράματα τις τρεις καλοκαιρινές περιόδους.

Βόλος, Ιανουάριος 2013

Ελπινίκη Σκουφογιάννη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | v |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ | ix |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ | xi |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ | xiii |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ | xv |
| 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.1 Γενικά | 2 |
| 1.2 Αμειψισπορά και χλωρή λίπανση | 6 |
| 1.3 Επίδραση στις εδαφικές ιδιότητες | 12 |
| 1.3.1 Φυσικές ιδιότητες | 12 |
| 1.3.2 Χημικές ιδιότητες | 13 |
| 1.4 Επίδραση στην αποδοτικότητα χρήσης αζώτου | 19 |
| 1.4.1 Γενικά | 19 |
| 1.4.2 Απαιτήσεις καλλιεργειών σε άζωτο | 22 |
| 1.4.3 Αποδοτικότητα χρήσης αζώτου | 23 |
| 1.5 Ενεργειακή γεωργία | 28 |
| 1.6 Σκοπός της εργασίας | 32 |
| 2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ | 35 |
| 2.1 Πειράματα αγρού | 36 |
| 2.1.1 Επιλογή Πειραματικών αγρών | 36 |
| 2.2 Πειραματικό σχέδιο | 38 |
| 2.3 Πειραματικές εργασίες υπαίθρου | 42 |
| 2.3.1 Προετοιμασία αγρών | 42 |
| 2.3.2 Εγκατάσταση καλλιεργειών – Καλλιεργητικές φροντίδες | 43 |
| 2.4 Μετρήσεις | 48 |
| 2.4.1 Μετρήσεις αύξησης - ανάπτυξης | 48 |
| 2.4.2 Χαρακτηριστικά του εδάφους | 52 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 2.5 | Μετεωρολογικά δεδομένα και στατιστική ανάλυση | 56 |
| 3 | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 59 |
| 3.1 | Κλιματικές συνθήκες | 60 |
| 3.2 | Καλλιέργεια μπιζελιού: παραγωγή καρπού / χλωρά λίπανση | 63 |
| 3.2.1 | Αύξηση και ανάπτυξη | 63 |
| 3.2.2 | Περιεκτικότητα σε άζωτο | 69 |
| 3.3 | Καλλιέργεια ηλίανθου | 72 |
| 3.3.1 | Αύξηση και ανάπτυξη | 72 |
| 3.3.2 | Όργανα καρποφορίας – απόδοση | 84 |
| 3.4 | Καλλιέργεια αραβοσίτου | 89 |
| 3.4.1 | Αύξηση και ανάπτυξη | 89 |
| 3.4.2 | Όργανα καρποφορίας – απόδοση | 102 |
| 3.5 | Επίδραση της διαχείρισης του ψυχανθούς στην προσρόφηση του αζώτου και την τελική απόδοση | 108 |
| 3.5.1 | Σχέση προσρόφησης και απόδοσης | 108 |
| 3.5.2 | Σχέση λίπανσης και προσρόφησης - βασική προσρόφηση και ποσοστό ανάκτησης στοιχείου | 111 |
| 3.5.3 | Σχέση απόδοσης – λίπανσης | 118 |
| 3.5.4 | Δείκτης συγκομιδής αζώτου (NHI) | 121 |
| 3.5.5 | Τρι-τεταρτημόρια διαγράμματα σχέσης απόδοσης-προσρόφησης-λίπανσης | 122 |
| 3.6 | Επίδραση της διαχείρισης του ψυχανθούς στις φυσικο-χημικές ιδιότητες του εδάφους | 125 |
| 3.6.1 | Δομή του εδάφους | 125 |
| 3.6.2 | Χημικές ιδιότητες του εδάφους | 128 |
| 3.7 | Σύγκριση οικονομικών ισοζυγίων (Farm budget) | 134 |
| 3.7.1 | Γενικά | 134 |
| 3.7.2 | Μεθοδολογία | 135 |
| 3.7.3 | Αξιολόγηση συστημάτων καλλιέργειας | 137 |
| 4 | ΚΥΡΙΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 141 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 145 |
| | ABSTRACT | 169 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | | |
|---------------|---|----|
| Πίνακας 2.1 | Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υπό μελέτη εδαφών στους πειραματικούς αγρούς. | 37 |
| Πίνακας 2.2 | Ημερομηνίες σποράς, φυτρώματος, λιπάνσεων, άνθισης και συγκομιδής για τον αραβόσιτο και τον ηλίανθο στις δύο υπό μελέτη περιοχές. | 45 |
| Πίνακας 2.3 | Ημερομηνίες και ποσότητες άρδευσης (mm) για τον ηλίανθο και τον αραβόσιτο στις δύο υπό μελέτη περιοχές, το 2008 και 2009. | 46 |
| Πίνακας 2.4 | Ημερομηνίες δειγματοληψίας ηλίανθου (J.D.=Ιουλιανές ημέρες, G.D.D= βαθμο-ημέρες – °C-d, D.A.E (ΗΜΦ)=ημέρες μετά το φύτευμα) για τις δύο περιοχές μελέτης. | 49 |
| Πίνακας 2.5 | Ημερομηνίες δειγματοληψίας αραβοσίτου (J.D.=Ιουλιανές ημέρες, G.D.D (°C-d=βαθμο-ημέρες, D.A.E (ΗΜΦ)=ημέρες μετά το φύτευμα) για τις δύο περιοχές. | 50 |
| Πίνακας 3.2.1 | Ημερομηνίες φαινολογικών σταδίων του μπιζελιού από τη σπορά έως τη συγκομιδή για τις δύο περιοχές (Λάρισα, Τρίκαλα) και τα δύο έτη (2008, 2009). | 69 |
| Πίνακας 3.2.2 | Περιεκτικότητα θρεπτικών στοιχείων N, P, K στα διαφορετικά φυτικά όργανα (άνθη, βλαστοί και φύλλα) του μπιζελιού, στις περιόδους ανθοφορίας και συγκομιδής. | 69 |
| Πίνακας 3.2.3 | Ποσοστά ολικού αζώτου (kg/στρ) του μπιζελιού, που προήλθαν από την αζωτοδέσμευση στα άνθη, τους βλαστούς και τα φύλλα, κατά την ανθοφορία και τη συγκομιδή, για τις δύο περιοχές (Λάρισα, Τρίκαλα) το 2008 και 2009. | 70 |
| Πίνακας 3.3.1 | Ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA, kg/m ²) και δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI, m ² /m ²) για 4 επίπεδα N-χου λίπανσης και 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς στους πειραματικούς αγρούς Λάρισας και Τρικάλων (2008, 2009). [Λ: N ₀ :0, N ₅ :5, N ₁₀ :10 και N ₁₅ :15 kg N/στρ, M: K=συγκομιδή καρπού, E=ενσωμάτωση, M= μάρτυρας). | 76 |
| Πίνακας 3.3.2 | Ύψος φυτών και ξηρά βάρη φύλλων, βλαστών, καρπών και ολικής βιομάζας ηλίανθου για 4 επίπεδα N λίπανσης και 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς στους πειρ. αγρούς Λάρισας και Τρικάλων τα έτη 2008 και 2009. [Λ: N ₀ :0, N ₅ :5, N ₁₀ :10 και N ₁₅ :15 kg N/στρ, M: K= συγκομιδή καρπού, E = ενσωμάτωση, M= μάρτυρας). | 80 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Πίνακας 3.3.3 | Μετρημένες παράμετροι συγκομιδής ηλίανθου. | 86 |
| Πίνακας 3.4.1 | Ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA, kg/m^2) και LAI (m^2/m^2) αραβοσίτου για 4 επίπεδα N-χου λίπανσης και 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς στους πειραματικούς αγρούς Λάρισας και Τρικάλων (2008, 2009). [Λ: $\text{N}_0:0$, $\text{N}_5:5$, $\text{N}_{10}:10$ και $\text{N}_{15}:15$ kg N/στρ , Μ: $\text{K}=\text{συγκομιδή καρπού}$, $\text{E}=\text{ενσωμάτωση}$, $\text{M}=\text{μάρτυρας}$]. | 93 |
| Πίνακας 3.4.2 | Ύψος φυτών και ξηρά βάρη φύλλων, βλαστών, καρπών και ολικής βιομάζας του αραβοσίτου για 4 επίπεδα N-χου λίπανσης και 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς στους πειραματικούς αγρούς Λάρισας και Τρικάλων το 2008 και 2009. [Λ: $\text{N}_0:0$, $\text{N}_5:5$, $\text{N}_{10}:10$ και $\text{N}_{15}:15$ kg N/στρ , Μ: $\text{K}=\text{συγκομιδή καρπού}$, $\text{E}=\text{ενσωμάτωση}$, $\text{M}=\text{μάρτυρας}$]. | 99 |
| Πίνακας 3.4.3 | Μετρημένες παράμετροι συγκομιδής αραβοσίτου. | 104 |
| Πίνακας 3.5.1 | Βασική απορρόφηση (base uptake) (kg/ha) και κλάσμα ανάκτησης N (Nitrogen recovery fraction) για τον αραβόσιτο (Α) και τον ηλίανθο (Β) για τρεις μεταχειρίσεις μπιζελιού στις δύο περιοχές μελέτης (Λάρισα, Τρίκαλα) για τα έτη 2008 και 2009 ($\text{M}=\text{μάρτυρας}$, $\text{K}=\text{αμειψισπορά για καρπό}$, $\text{E}=\text{χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση}$). | 116 |
| Πίνακας 3.5.2 | Δείκτης συγκομιδής αζώτου (Nitrogen Harvest Index, %) για τον ηλίανθο (Α) και τον αραβόσιτο (Β) για τρεις μεταχειρίσεις μπιζελιού στις δύο περιοχές και έτη πειραματισμού. | 122 |
| Πίνακας 3.6.1 | Μεταβολή του οργ. C (%), της οργ. ουσίας (O.Y., %), του κλάσματος C/N, του ολικού N (%), K και P (mg/kg) μεταξύ αρχικών (προ της έναρξης των πειραμάτων) και τελικών συνθηκών (μετά το πέρας των πειραμάτων) στις δύο περιοχές μελέτης. | 130 |
| Πίνακας 3.7.1 | Ισοζύγιο αγροκτήματος διαφόρων καλλιεργειών στα Τρίκαλα (2012). | 135 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | | |
|-------------|---|----|
| Σχήμα 1.1 | Κύκλος N σε αγρο-οικοσύστημα. | 20 |
| Σχήμα 1.2 | Σχηματική παράσταση της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ ανοργανοποίησης και ακινητοποίησης του εδαφικού N. | 21 |
| Σχήμα 1.3 | Τρι-τεταρτημόριο διάγραμμα της απόδοσης μιας καλλιέργειας (συνολικής βιομάζας ή καρπού σε kg/στρ) σε σχέση με την εφαρμοζόμενη N-ούχο λίπανση (kg/στρ) (Διάγραμμα I), τη συνολική απορρόφηση αζώτου σε σχέση με την απόδοση (Διάγραμμα II), και την απορρόφηση αζώτου σε σχέση με την αζωτούχο λίπανση (Διάγραμμα III). | 27 |
| Σχήμα 2.1 | Πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε για τη μελέτη της επίδρασης της αμειψισποράς και της χλωρής λίπανσης στις εδαφικές ιδιότητες και την παραγωγικότητα των καλλιεργειών αραβοσίτου και ηλίανθου στις αγροτικές περιοχές Λάρισας και Τρικάλων το 2008 και 2009. | 40 |
| Σχήμα 3.1.1 | Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο τα έτη 2008 και 2009 στο Σωτήριο Λάρισας. | 60 |
| Σχήμα 3.1.2 | Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο τα έτη 2008 και 2009 στα Τρίκαλα. | 61 |
| Σχήμα 3.2.1 | Ύψος φυτών μπιζελιού (cm) στις περιοχές Λάρισας (α) και Τρικάλων (β) με την ηλικία της καλλιέργειας (GDD, °C-d) τα καλλιεργητικά έτη 2008(♦), 2009(■) (Μέση τιμή ± Τυπικό σφάλμα). | 63 |
| Σχήμα 3.2.2 | Μεταβολή του ξηρού βάρους βλαστών (επάνω) και φύλλων (κάτω) του μπιζελιού στη Λάρισα (α) και τα Τρίκαλα (β) τα καλλιεργητικά έτη 2008(♦), 2009(■) (Μέση τιμή ± Τυπικό σφάλμα GDD=βαθμοημέρες [°C-days]). | 64 |
| Σχήμα 3.2.3 | Δείκτης φυλλικής επιφάνειας μπιζελιού κατά την εξέλιξη του βιολογικού κύκλου τα καλλιεργητικά έτη 2008(♦), 2009(■) (Μέση τιμή ± Τυπικό σφάλμα. GDD=βαθμο-ημέρες). | 65 |
| Σχήμα 3.2.4 | Μεταβολή της Ειδικής Φυλλικής Επιφάνειας (SLA) του μπιζελιού με την ηλικία της καλλιέργειας (GDD, growing degree days [°C-d]) για τις δύο περιοχές μελέτης και τα δύο έτη καλλιέργειας. (Εμφανίζονται οι τυπικές αποκλίσεις). | 66 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Σχήμα 3.2.5 | Ξηρό βάρος καρποφόρων οργάνων (επάνω) και ολικής βιομάζας (κάτω) του μπιζελιού (kg/στρ), στις περιοχές Λάρισας (α) και Τρικάλων (β) με την ηλικία της καλλιέργειας (GDD, σε °C-d), τα καλλιεργητικά έτη 2008(♦), 2009(■) (Μέση τιμή ± Τυπικό σφάλμα). | 68 |
| Σχήμα 3.3.1 | Εξέλιξη του ύψους του ηλίανθου για διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και δύο επίπεδα λίπανσης N_0 και N_{15} , για τις περιοχές Λάρισας και Τρικάλων τα έτη 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή ± τυπικό σφάλμα ($LSD_{0.05}$). | 73 |
| Σχήμα 3.3.2 | Λογαριθμική μεταβολή της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA, m^2/kg) με τη θερμική ηλικία του ηλίανθου (°C-d) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις λίπανσης (L=Λάρισα, T=Τρίκαλα το 2008 και το 2009 (Μ.Ο. για 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς). | 74 |
| Σχήμα 3.3.3 | Μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2) με τη θερμική ηλικία του ηλίανθου (°C-d) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και για δύο επίπεδα λίπανσης (N_0 και N_{15}), στη Λάρισα και τα Τρίκαλα (2008-2009). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή ± τυπικό σφάλμα (για $LSD_{0.05}$). | 75 |
| Σχήμα 3.3.4 | Μεταβολή της συνολικής ξηρής βιομάζας ($t\ ha^{-1}$) με τη θερμική ηλικία του ηλίανθου (°C-d) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και για δύο επίπεδα λίπανσης (N_0 και N_{15}), στη Λάρισα και τα Τρίκαλα (2008-2009). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή ± τυπικό σφάλμα (για $LSD_{0.05}$). | 84 |
| Σχήμα 3.4.1 | Εξέλιξη του ύψους (cm), του αραβόσιτου με την ανάπτυξη της καλλιέργειας (°C-d) από την πρώτη δειγματοληψία μέχρι την ωρίμανση, για τις μεταχειρίσεις ενσωμάτωσης και καρπού (α), και ενσωμάτωσης και μάρτυρα (β), και για 2 επίπεδα λίπανσης N_0 και N_{24} , στην περιοχή Λάρισας και Τρικάλων τα έτη 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (για $LSD_{0.05}$) απεικονίζουν τη μέση τιμή ± τυπικό σφάλμα. | 90 |
| Σχήμα 3.4.2 | Λογαριθμική μεταβολή της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA, m^2/kg) με τη θερμική ηλικία του ηλίανθου (°C-d) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις λίπανσης (L=Λάρισα, T=Τρίκαλα το 2008 και το 2009 (MO για 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς). | 91 |
| Σχήμα 3.4.3 | Μεταβολή του LAI (m^2/m^2) με τη θερμική ηλικία του ηλίανθου (°C-d) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και για δύο επίπεδα λίπανσης (N_0 και N_{15}), στη Λάρισα και τα Τρίκαλα (2008-2009). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή ± τυπικό σφάλμα (για $LSD_{0.05}$). | 92 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Σχήμα 3.4.4 | Συνολική ξηρή βιομάζα με τη θερμική ηλικία του αραβοσίτου ($^{\circ}\text{C-d}$) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και για δύο επίπεδα λίπανσης (N_0 και N_{24}), στη Λάρισα και τα Τρίκαλα (2008-2009). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή \pm τυπικό σφάλμα (για $\text{LSD}_{0,05}$). | 98 |
| Σχήμα 3.5.1 | Συνολική απορρόφηση αζώτου (N-uptake, kg/ha) και τελική απόδοση σε ξηρό σπόρο ηλίανθου (t/ha) για τρεις μεταχειρίσεις ψυχανθούς (μπιζελιού) στη Λάρισα (επάνω) και τα Τρίκαλα (κάτω) και για 4 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης τα έτη 2008 και 2009 ($\text{MO} \pm$ Τυπικό σφάλμα) [Δ : συγκομιδή καρπού \circ : χλωρά λίπανση (ενσωμάτωση) \square : μάρτυρας (2008), \blacktriangle : καρπός \bullet : ενσωμάτωση \blacksquare : μάρτυρας (2009)]. | 108 |
| Σχήμα 3.5.2 | Συνολική απορρόφηση αζώτου (N-uptake, kg/ha) και τελική απόδοση σε ξηρό σπόρο αραβοσίτου (t/ha) για τρεις μεταχειρίσεις ψυχανθούς (μπιζελιού) στη Λάρισα (επάνω) και τα Τρίκαλα (κάτω) και για 4 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης τα έτη 2008 και 2009 ($\text{MO} \pm$ Τυπικό σφάλμα) [Δ : συγκομιδή καρπού \circ : χλωρά λίπανση (ενσωμάτωση) \square : μάρτυρας (2008), \blacktriangle : καρπός \bullet : ενσωμάτωση \blacksquare : μάρτυρας (2009)]. | 110 |
| Σχήμα 3.5.3 | Συνολική προσρόφηση αζώτου (N-uptake) (άξονας y, kg/ha) από καλλιέργεια αραβοσίτου για τέσσερα επίπεδα λίπανσης (άξονας x, kg/ha) και τις μεταχειρίσεις ψυχανθούς στη Λάρισα (επάνω) και τα Τρίκαλα (κάτω) τα έτη 2008 και 2009 [M=μάρτυρας, K=ενδιάμεση καλλιέργεια μπιζελιού για συγκομιδή καρπού, E=χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση μπιζελιού]. | 112 |
| Σχήμα 3.5.4 | Συνολική προσρόφηση αζώτου (N-uptake) (άξονας y, kg/ha) από καλλιέργεια ηλίανθου για τέσσερα επίπεδα λίπανσης (άξονας x, kg/ha) και τις μεταχειρίσεις ψυχανθούς στη Λάρισα (επάνω) και τα Τρίκαλα (κάτω) τα έτη 2008 και 2009 [M=μάρτυρας, K=ενδιάμεση καλλιέργεια μπιζελιού για συγκομιδή καρπού, E=χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση μπιζελιού]. | 115 |
| Σχήμα 3.5.5 | Απόδοση ηλίανθου σε (ξηρό) σπόρο για 4 επίπεδα Nχου λίπανσης και τρεις μεταχειρίσεις ψυχανθούς στη Λάρισα το 2008 (α) και 2009 (β) και τα Τρίκαλα το 2008 (γ) και 2009 (δ). [$\text{M}^{\circ}\text{O} \pm$ Τυπικό σφάλμα, \blacktriangle : καρπός \bullet : ενσωμάτωση \blacksquare : μάρτυρας]. | 119 |
| Σχήμα 3.5.6 | Απόδοση αραβοσίτου σε (ξηρό) σπόρο για 4 επίπεδα Nχου λίπανσης και τρεις μεταχειρίσεις ψυχανθούς στη Λάρισα το 2008 (α) και 2009 (β) και τα Τρίκαλα το 2008 (γ) και 2009 (δ). [$\text{M}^{\circ}\text{O} \pm$ Τυπικό σφάλμα, \blacktriangle : καρπός \bullet : ενσωμάτωση \blacksquare : μάρτυρας]. | 120 |
| Σχήμα 3.5.7 | Τρι-τεταρτημόριο διάγραμμα της απόδοσης σε σπόρο ηλίανθου (t/ha) σε σχέση με την εφαρμοζόμενη N-λίπανση, τη συνολική προσρόφηση N και για τις τρεις μεταχειρίσεις του ψυχανθούς, στα Τρίκαλα και για τα έτη 2008 (\square , \circ , Δ) και 2009 (\blacksquare , \bullet , \blacktriangle). | 123 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Σχήμα 3.6.1 | Δείκτης αστάθειας εδαφικής δομής (β - άξονας y) στις τρεις μεταχειρίσεις (E, K, M) του ψυχανθούς (μπιζέλι) στο αμμώδες έδαφος των Τρικάλων (επάνω) και το βαρύ αργιλώδες έδαφος της Λάρισας (κάτω) [Μ.Ο. για 5 δειγματοληψίες την περίοδο 2007 – 2009]. Στην κορυφή των στηλών απεικονίζονται οι τυπικές αποκλίσεις ανά μεταχείριση. Μεταχειρίσεις: E=χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση μπιζελιού, K=αμειψισπορά με συγκομιδή καρπού ψυχανθούς, M=μάρτυρας, χωρίς ψυχανθές]. | 126 |
| Σχήμα 3.6.2 | Μεταβολή του δείκτη αστάθειας εδαφικής δομής (β - άξονας y) στις τρεις μεταχειρίσεις του ψυχανθούς (μπιζέλι) στο αμμώδες έδαφος των Τρικάλων. [Στους Μ.Ο των δειγματοληψιών (Ιούνιος – Νοέμβριος) σε κάθε γραμμή απεικονίζονται οι τυπικές αποκλίσεις ανά μεταχείριση. Μεταχειρίσεις: E=χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση μπιζελιού, K=αμειψισπορά με συγκομιδή καρπού ψυχανθούς, M=μάρτυρας, χωρίς ψυχανθές]. | 127 |
| Σχήμα 3.7.1 | Ακαθάριστο κέρδος συστημάτων καλλιεργειών με αραβόσιτο και ηλίανθο στο έδαφος της Λάρισας και των Τρικάλων για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις μπιζελιού και διάφορα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (XE=χαμηλές εισροές). | 138 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Γενικά
Αμειψισπορά και χλωρή λίπανση
Επίδραση στις εδαφικές ιδιότητες
Επίδραση στην αποδοτικότητα χρήσης αζώτου
Ενεργειακή γεωργία
Σκοπός της εργασίας

1.1 Γενικά

Η γεωργική παραγωγή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι το είδος του φυτού, ο τύπος του εδάφους, οι κλιματικές συνθήκες, η διαθεσιμότητα νερού, η λίπανση, οι τυχόν προσβολές από εχθρούς και ασθένειες, οι δυνατότητες φυτοπροστασίας, κ.λ.π. Η μέγιστη γεωργική απόδοση επιτυγχάνεται, όταν οι παράγοντες που προαναφέρθηκαν, βρίσκονται σε αρμονική σχέση. Πολλές φορές όμως ο επιδιωκόμενος σκοπός βασίζεται σε βραχυπρόθεσμες ανάγκες ή σε οικονομικούς στόχους χωρίς μακροπρόθεσμο σχεδιασμό, με αποτέλεσμα να αγνοείται το ενδεχόμενο των επιπτώσεων που μπορούν να προκύψουν, όπως η υποβάθμιση των ανανεώσιμων φυσικών πόρων, η ρύπανση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, η διάβρωση εδαφών και η ερημοποίηση γαιών.

Ο τρόπος καλλιέργειας του εδάφους έχει αλλάξει, ειδικά από το τέλος του 2ου παγκόσμιου πολέμου και μετά, με αποτέλεσμα την επίτευξη αυξημένων γεωργικών αποδόσεων. Η τεχνολογική εξέλιξη, η μηχανοποίηση των διαδικασιών, η αυξημένη χρήση των χημικών ουσιών και πολλές φορές η κυβερνητική πολιτική είχε ως αποτέλεσμα την ισορροπημένη διαχείριση των παραγόντων που προαναφέρθηκαν, και την επίτευξη θεαματικών αποτελεσμάτων καλλιεργητικής απόδοσης, ωστόσο όμως η ισορροπία αυτή υπήρξε επίπλαστη.

Στον αντίποδα των βέλτιστων αποδόσεων των γεωργικών προϊόντων συναντάται η μείωση της γονιμότητας των εδαφών, η μόλυνση των υπογείων υδάτων, η μείωση των αγροτικών οικογενειών, η συνεχής παραμέληση των συνθηκών ζωής και εργασίας των απασχολούμενων στη γεωργία, η αύξηση του κόστους παραγωγής και η κατάρρευση της οικονομικής και κοινωνικής κατάστασης των αγροτικών κοινοτήτων. Λεπτομερέστερα, η αλόγιστη χρήση των λιπασμάτων, ως η πλέον ακριβή και ενεργοβόρος εισροή, επέφερε τη ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Μετά τη δεκαετία του 1950 η χρήση των ανόργανων λιπασμάτων παγκοσμιοποιήθηκε (Ayoud, 1999). Στην Ελλάδα, όπως και στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, η αύξηση της χρήσης του αζώτου και του φωσφόρου φαίνεται να συμβαδίζει με την αύξηση των προβλημάτων που εμφανίζονται στα επιφανειακά αλλά και στα υπόγεια νερά (Μέλφου, 2000).

Μια εκτίμηση της υποβάθμισης των εδαφών στη λεκάνη της Μεσογείου με χρήση δεικτών περιγράφει την επίδραση διαφόρων παραγόντων στην επιρρέπεια διάβρωσης των εδαφών. Τέτοιοι δείκτες περιγράφουν το κλίμα, τις ιδιότητες του εδά-

φους, τον κίνδυνο διάβρωσης, την ποιότητα της παραγωγής, την παραγωγικότητα των προϊόντων, τον κίνδυνο πυρκαγιών, τον κατακερματισμό και τη διαχείριση της αγροτικής γης (Kosmas *et al.*, 2000a; Salvati & Ziti, 2005, 2009).

Η ζοφερή ως προς την επιβάρυνση και καταπόνηση του εδάφους εικόνα ενισχύεται από τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος. Ενδεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας, θα τροποποιήσει την επίδραση των περιβαλλοντικών εντάσεων – καταπονήσεων και θα οδηγήσει σε αλλαγές στη βλάστηση, στις χρήσεις αγροτικής γης, στην ποιότητα των αγροτικών προϊόντων, καθώς και στην ποιότητα του περιβάλλοντος γενικότερα (Agostini *et al.*, 1999).

Ο επανασχεδιασμός της γεωργίας, έτσι ώστε να παρέχει υπηρεσίες και κοινά αγαθά, οδηγεί πλέον στα αειφόρα γεωργικά συστήματα, καθώς η φιλοσοφία που υιοθετείται και οι πρακτικές που χρησιμοποιούνται συμβάλουν στη μείωση της ρύπανσης από την εφαρμογή χημικών λιπασμάτων.

Η έμπνευση της έννοιας της **αειφορίας** οφείλεται σε προβληματισμούς σχετικούς με το περιβάλλον, στη δεκαετία του '60. Πολλά διεθνή και εθνικά προγράμματα συνδυάζουν την οικονομική και επιχειρηματική ανάπτυξη με την κοινωνική και την περιβαλλοντική ευθύνη. Σήμερα η κινητοποίηση για την αειφορική γεωργία, ως επιλογή που δεν σχετίζεται μόνο με την ευαισθησία απέναντι σε θέματα περιβαλλοντικής διαχείρισης αλλά και με την παροχή οικονομικά βιώσιμων ευκαιριών στους αγρότες, τους εργαζόμενους, τους καταναλωτές, τους διαμορφωτές της πολιτικής και σε όσους συμμετέχουν σε ολόκληρη την τροφική αλυσίδα, συγκεντρώνει αυξανόμενο ενδιαφέρον και προβάλλει ως ένα νέο πλαίσιο χάραξης γεωργικής πολιτικής, βασισμένο σε μακρόχρονη προοπτική. Ως όρος διακρίνεται για την πολυσημία του. Πολλοί τον χρησιμοποιούν εννοώντας τη «φιλικότητα προς το περιβάλλον», ή ως έναν όρο που σχετίζεται κυρίως με την ανάπτυξη του τρίτου κόσμου. Ωστόσο «αειφορία» σημαίνει πολλά περισσότερα: Όταν οι φυσικοί πόροι καταναλώνονται σε βιώσιμα επίπεδα, οι άνθρωποι μπορούν να συνεχίσουν να καταναλώνουν από αυτούς για όλα τα επόμενα χρόνια, από την δική μας γενιά και μέχρι την επόμενη.

Πιο διαδεδομένος είναι ο ορισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Ανάπτυξη και το Περιβάλλον: «αειφόρος ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες». Ο από κοινού ορισμός της αειφορίας από τη Διεθνή Ένωση Διατήρησης της Φύσης (ICDN), το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP) και το Παγκόσμιο Ταμείο για τη φύση

(WWF) «η βελτίωση της ποιότητας της ανθρώπινης ζωής εφόσον είναι εντός της φέρουσας ικανότητας των οικοσυστημάτων» αποτυπώνει την προσαρμογή του όρου στο αντικείμενο του φορέα. Ευρύτερος ορισμός είναι εκείνος των Costanza *et al.*, (1991): Η σχέση μεταξύ δυναμικών, ανθρώπινων, οικονομικών συστημάτων και των ακόμη πιο δυναμικών αλλά συνήθως με χαμηλότερους ρυθμούς μεταβαλλόμενων οικολογικών συστημάτων κατά την οποία: α) η ανθρώπινη ζωή μπορεί να συνεχιστεί επ' άπειρον, β) τα άτομα μπορούν να ευδοκιμούν, γ) οι άνθρωποι πολιτισμοί να αναπτύσσονται, έτσι ώστε οι επιπτώσεις να μην υπερβαίνουν τη φέρουσα ικανότητα (δεν καταστρέφουν την ποικιλία, την πολυπλοκότητα και τη λειτουργία) των οικολογικών συστημάτων που στηρίζουν τη ζωή.

Η αειφορική γεωργία ενσωματώνει τρεις κύριους στόχους: υγιές περιβάλλον, οικονομική αποδοτικότητα, κοινωνική και οικονομική ισότητα. Στο πλαίσιο του ορισμού που διατυπώθηκε το 1990 στα Ηνωμένα Έθνη, όπου η αειφορία προσδιορίστηκε ως “κάλυψη των αναγκών του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους”, η διαχείριση των φυσικών πόρων και του ανθρώπινου δυναμικού προβάλλει ως επιλογή πρωταρχικής σημασίας. Η διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού συμπεριλαμβάνει την εκτίμηση των κοινωνικών ευθυνών, όπως τις συνθήκες εργασίας και διαβίωσης των εργαζομένων, τις ανάγκες των αγροτικών κοινοτήτων, την υγεία και ασφάλεια των καταναλωτών, τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον. Η διαχείριση του εδάφους και των φυσικών πόρων περιλαμβάνει τη διατήρηση ή τον εμπλουτισμό αυτών των ζωτικών πόρων μακροπρόθεσμα.

Στα περισσότερα κράτη μέλη, τα αγρο-περιβαλλοντικά μέτρα εφαρμόζονται στο πλαίσιο του Κανονισμού (EEC) No 2078/92 για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, για παράδειγμα, με τη μείωση ή την παύση της χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στο πλαίσιο των πρακτικών αμειψισποράς. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν την εισαγωγή της βιολογικής καλλιέργειας, την ολοκληρωμένη φυτοπροστασία, τη διατήρηση περιθωρίων αγρού και συγκεκριμένα μέτρα, που έχουν δοκιμαστεί από έργα του προγράμματος LIFE για το φυσικό περιβάλλον και στοχεύουν σε συγκεκριμένους βιότοπους.

Σήμερα επεξεργάζονται παγκόσμια, διάφορα συστήματα παραγωγής, τα οποία σχετίζονται με την αειφόρο γεωργία: αγροοικοσυστήματα, αγροαναπαύσεις, αγροδασικά, αγροδασικά – κτηνοτροφικά και όλα τα παραδοσιακά συστήματα που μπορούν να επιτρέψουν την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων περιοχών από την εντατική γεωργία.

Η αειφόρος ανάπτυξη μπορεί να περιγραφεί ως μία θεωρία «επανενομήτωσης του ανθρώπου στη φύση». Αντιλαμβάνεται τις φυσικές πρώτες ύλες – συμπεριλαμβανομένου και του συστήματος διατήρησης ζωής του πλανήτη – ως σημαντικά κεφάλαια, των οποίων η ποσότητα και παραγωγικότητα πρέπει να διατηρηθούν ως θεμελιώδης συνθήκη για την ανθρώπινη πρόοδο και ανάπτυξη. Γνώμονας της αειφορίας είναι η μέγιστη δυνατή απολαβή αγαθών από το περιβάλλον, χωρίς να διακόπτεται η φυσική παραγωγή αυτών των προϊόντων σε ικανοποιητική ποσότητα και στο μέλλον.

Ειδικότερα η αειφορική γεωργία προσεγγίζει τα θέματα της γεωργικής παραγωγής εξετάζοντας το σύνολο του γεωργικού συστήματος. Προσπαθεί να εξισορροπήσει την προστασία του περιβάλλοντος, την κοινωνική ισότητα και την οικονομική βιωσιμότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Παράλληλα φροντίζει για τη διαγενεακή ασφάλεια στη διαθεσιμότητα της τροφής και των άλλων προϊόντων που παράγει η γεωργία. Ο ρόλος της επιστήμης στη διαμόρφωση της αειφορίας βρίσκεται σε εξέλιξη, κάνοντας αποδοτική χρήση τεχνολογιών και μεθόδων, οι οποίες θα επιτρέψουν ολοκληρωμένη, ποιοτική, χωροταξική επιβολή ή αποτίμηση (Roetter *et al.*, 2008).

Η Θεσσαλία διαθέτει σημαντικό πρωτογενή τομέα, ο οποίος βασίζεται κυρίως στη γεωργία και στα φυσικά πλεονεκτήματα του Θεσσαλικού κάμπου και στην ουσία αποτελεί το κέντρο της Ελληνικής γεωργικής παραγωγής. Παρά τα προβλήματα επάρκειας νερού, ρύπανσης των εδαφών, και συνεχούς και υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων και φαρμάκων, ο κάμπος παραμένει ισχυρό συγκριτικό πλεονέκτημα που θα προσδιορίζει πάντα το παραγωγικό προφίλ της περιφέρειας. Ενώ τα προβλήματα θα απασχολούν για πολύ καιρό τους παραγωγούς, αποτελούν ταυτόχρονα και ευκαιρίες για την ανάπτυξη νέων ποιοτικών και καινοτόμων διαδικασιών, παρεμβάσεων και λύσεων που θα συμβάλλουν στην αντιμετώπισή τους.

1.2 Αμειψισπορά και χλωρή λίπανση

Στα μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα με δεδομένες τις συνθήκες των χαμηλών βροχοπτώσεων, οι πρακτικές που ακολουθούνται στο πλαίσιο της σύγχρονης γεωργίας, έχουν πολλές φορές ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας των πόρων. Η διατήρηση της ποιότητας του εδάφους και ο περιορισμός της εξάντλησης των φυσικών πόρων είναι τα ζητούμενα. Κατά συνέπεια, η υιοθέτηση συστημάτων καλλιέργειας που επιδιώκουν πολλαπλούς στόχους, όπως οικονομικότητα, συνεχιζόμενη παραγωγικότητα και περιβαλλοντική ασφάλεια, πρέπει να αποτελεί πρωτεύοντα στόχο της εκάστοτε αγροτικής πολιτικής. Μεταξύ των συστημάτων αυτών σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η **αμειψισπορά και η χλωρή λίπανση** των ψυχανθών συνεισφέροντας στην ευρωστία του φυτού, στον έλεγχο πληθυσμών εχθρών, νοσογόνων αιτιών και ζιζανίων, στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων, στη βελτίωση και ορθολογική χρήση του εδάφους, στην προστασία της χλωρίδας και πανίδας και γενικότερα στην επίδρασή τους στις επόμενες καλλιέργειες.

Για τη διατήρηση και την προαγωγή της παραγωγικότητας και της αειφορίας των καλλιεργούμενων συστημάτων οι Howieson *et al.*, (2000) αναφέρουν ότι ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φυτά που χαρακτηρίζονται από:

- Μικρές ή μηδενικές ανάγκες άρδευσης.
- Περιορισμένες απαιτήσεις σε λιπάσματα (ικανότητα να δεσμεύουν N).
- Ικανότητα βελτίωσης εδαφικών ιδιοτήτων (αύξηση της γονιμότητας και της δομής του εδάφους και μείωση των κινδύνων διάβρωσης).
- Δυνατότητα χρήσης σε καλλιεργητικές πρακτικές που προκαλούν τις μικρότερες απώλειες θρεπτικών και εδάφους.
- Παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων και υψηλής απόδοσης πρωτεϊνών.
- Υψηλές στρεμματικές αποδόσεις.

Τα φυτά της οικογένειας των ψυχανθών (*Leguminosae*) χαρακτηρίζονται από τις παραπάνω ιδιότητες. Η ικανότητά τους να δεσμεύουν ατμοσφαιρικό άζωτο, το οποίο αποτελεί βασικό συστατικό των χημικών λιπασμάτων, η δυνατότητα να παρέμπουν σε μη εξεζητημένες καλλιεργητικές τεχνικές και η υψηλή απόδοση και πα-

ραγωγή πρωτεϊνών, αποτελούν χαρακτηριστικά, τα οποία επιβάλλουν την παρουσία τους στην αμειψισπορά, ιδιαίτερα στις βροχοδιαίτες περιοχές της Μεσογείου (Werry *et al.*, 1988). Πολλοί είναι αυτοί που υποστηρίζουν ότι, ιδιαίτερα σε αυτά τα κλίματα, η σημασία των ψυχανθών ως καλλιέργειας αμειψισποράς και χαμηλών εισροών πρέπει να ενταθεί, ώστε να προωθηθεί η επάρκεια και η σταθερότητα της γεωργίας (Hardarson & Atkins, 2003). Σύμφωνα όμως με τους Miller *et al.* (2006), αμειψισπορά με ψυχανθές μικρού κύκλου, δεν είναι ικανή να αποδώσει και να ανακυκλώσει επαρκώς το άζωτο από τα φυτικά υπολείμματα και να γεμίσει τις εδαφικές αποθήκες.

Όσον αφορά στην καλλιεργητική πρακτική της λίπανσης στα ψυχανθή, πολλοί είναι αυτοί που αναφέρουν ότι η προσθήκη του φωσφόρου αυξάνει την απόδοση και βελτιώνει την ποιότητα των καρπών των ψυχανθών (Snapp *et al.*, 1998; Thung, 1992; Graham, 1981; Robson & Gikes, 1980; Hamdi *et al.*, 1966; Jensen, 1987), καθώς επίσης και τη συνολική παραγόμενη βιομάζα (Osman *et al.*, 1991; 1994).

Επίσης το κάλιο αποτελεί βασικό στοιχείο για τη θρέψη της καλλιέργειας, ωστόσο η προσθήκη του συνήθως δεν είναι απαραίτητη δεδομένου ότι τα ελληνικά εδάφη είναι επαρκώς εφοδιασμένα με κάλιο. Η συγκέντρωση του καλίου στο έδαφος επηρεάζεται σημαντικά μετά από την καλλιέργεια ψυχανθών, παρουσιάζοντας τις υψηλότερες συγκεντρώσεις στα επιφανειακά εδαφικά στρώματα, υποδεικνύοντας ανακατανομή του καλίου από τα χαμηλότερα στρώματα στο εδαφικό προφίλ, προς τα επιφανειακά (USDA, 1998; Hargrove, 1986).

Ο Φιλανδός Artturi Ilmari Virtanen (1895-1973) ερευνώντας τη σχέση μεταξύ ψυχανθών και αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων ήδη από το 1925 κατανόησε τη δυνατότητα παραγωγής ψυχανθών με υψηλή περιεκτικότητα πρωτεΐνης, συνεπώς και την παραγωγή θρεπτικότερων ζωοτροφών και ζωικών προϊόντων, αλλάζοντας τον ρου της ιστορίας ως προς την δυνατότητα επισιτισμού της ανθρωπότητας η οποία τον τίμησε με το βραβείο Νόμπελ.

Ψυχανθή σε πρακτικές αμειψισποράς

Η αμειψισπορά μαζί με την αγρανάπαυση θεωρούνται οι γηραιότερες και ουσιωδότερες γεωργικές πρακτικές από καταβολής της γεωργίας, απαραίτητες διαδικασίες πριν την εμφάνιση των σύγχρονων καλλιεργητικών τεχνικών. Ο πλήρης κύκλος εναλλαγής καλλιεργειών ονομάζεται σύστημα αμειψισποράς. Η τελική επιλογή της διαδοχής είναι απόφαση διαχείρισης βασισμένη στην επιθυμία για βελτιστοποίηση οικονομικών, γεωργικών ή περιβαλλοντικών στόχων. Το κλειδί για οικονομικούς στόχους είναι βελτιστοποίηση του κέρδους, για γεωργικούς σκοπούς, η μέγιστη παραγωγή από μία σειρά καλλιεργειών και για περιβαλλοντικούς, η ελαχιστοποίηση της χρήσης χημικών εισροών.

Η διαδοχή μιας σειράς καλλιεργειών σε αμειψισπορά είναι πιθανόν να αντιμετωπίσει προβλήματα από κυβερνητικές ρυθμίσεις - κανονισμούς ή από συνθήκες αγρού – οικολογίας (όπως κλιματολογικές συνθήκες, τοπογραφικές και εδαφικές), την παρουσία εντόμων, ζιζανίων, ασθενειών ή τις ποικιλίες των καλλιεργειών και το διαθέσιμο μηχανολογικό εξοπλισμό (Castellazzi *et al.*, 2008).

Η επίδραση της εφαρμοζόμενης αμειψισποράς, επί των αποδόσεων των διαφόρων καλλιεργειών, αλλά και επί της αποκατάστασης ή διατήρησης της γονιμότητας των αγρών, έχει πάρα πολλές φορές καταδειχθεί, τόσο από το γεωργικό πειραματισμό, όσο και από την ίδια τη γεωργική πρακτική. Σύμφωνα με τους Tillman *et al.* (2004) η αμειψισπορά χειμερινού ψυχανθούς με εαρινή καλλιέργεια βοηθά και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας προσφέροντας καταφύγιο και τροφή σε ωφέλιμα έντομα. Επίσης, η χρήση των ψυχανθών και εν γένει των φυτών εδαφοκάλυψης σε συστήματα αμειψισποράς μειώνει την πιθανότητα καταστροφής της καλλιέργειας από ασθένειες και εχθρούς, λόγω της έλλειψης προσβολών ή της μείωσης του αριθμού των παθογόνων κατά τη διάρκεια ανάπτυξής τους.

Σύμφωνα με τον Hughes *et al.* (1957) φυτά εδαφοκάλυψης ονομάζονται εκείνα τα οποία καλλιεργούνται για να προστατεύσουν τη γη από τη διάβρωση του νερού και του αέρα, από τη διήθηση (απορροή) των θρεπτικών στοιχείων και συγχρόνως να υπηρετήσουν τη γη ως πράσινοι λιπασματοδιανομείς. Οι Tonitto *et al.* (2005), επεξεργάστηκαν ένα μεγάλο αριθμό βιβλιογραφικών αναφορών, καταλήγοντας ότι, το 55% των περιπτώσεων σε καλλιέργειες εδαφοκάλυψης παρείχαν $\geq 110 \text{ kg N ha}^{-1}$ και ήταν επαρκής για επίτευξη ισάξιων αποδόσεων με τη συμβατική διαχείριση. Παράλ-

ληλα, οι χειμερινές καλλιέργειες κάλυψης μείωσαν την έκπλυση NO_3^- κατά 40-70 % σε σχέση με το γυμνό, ακαλλιέργητο έδαφος της συμβατικής διαχείρισης.

Η αμειψισπορά σε συνδυασμό με μειωμένη εδαφοκατεργασία (ή ακαλλιέργεια) αυξάνει τον πληθυσμό των σκουληκιών και κατά συνέπεια βελτιώνει την ποιότητα του εδάφους, μειώνει τους ρυθμούς οξείδωσης, βελτιώνει το ποσοστό της οργανικής ουσίας έτσι ώστε μακροπρόθεσμα να υπάρχει διαθεσιμότητα και παροχή μακρο- και μικρο-στοιχείων στις καλλιέργειες (Francis, 2005). Ένα σύγχρονο σύστημα αμειψισποράς εφαρμόστηκε πρώτα στην Αγγλία το 18^ο αιώνα, ενώ στον πρώτο σταθμό γεωργικής έρευνας του κόσμου, στο Rothamsted της Αγγλίας, εγκαταστάθηκαν επί 100 χρόνια (από το 1843) πειράματα αμειψισποράς, μερικά από τα οποία συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Εξάλλου, πειράματα 30 ετών στην Αμερική έδειξαν ότι με τριετή αμειψισπορά αυξήθηκε η απόδοση του σιταριού, του καλαμποκιού και της βρώμης κατά 140%, 86% και 64% αντίστοιχα, σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια επί των ανωτέρω ειδών (Karlen *et al.*, 1994).

Στην Ελλάδα τα αποτελέσματα πολυετούς πειραματισμού είναι ελάχιστα και αφορούν την επίδραση των διαφόρων αμειψισπορών επί των αποδόσεων του σιταριού, κυρίως υπό ξηρική καλλιέργεια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μονοκαλλιέργεια σιταριού υστερεί σε απόδοση έναντι της καλλιέργειάς του σε διετή αμειψισπορά και ιδιαίτερα σε εκείνες που περιελάμβαναν ψυχανθή. Από αυτά το μπιζέλι (*Pisum sativum*) βοήθησε σε μεγαλύτερες αποδόσεις σιταριού χωρίς την προσθήκη χημικών λιπασμάτων ενώ αντίθετα η χρήση χημικών λιπασμάτων έδωσε υψηλότερες αποδόσεις στα σιτηρά. Αντίθετα, σε πειράματα αμειψισποράς που έγιναν από το Ινστιτούτο Κτηνοτροφικών Φυτών και Βοσκών βρέθηκε ότι η συνεχής αμειψισπορά σιτάρι – μπιζέλι για καρπό, έδωσε χαμηλότερες αποδόσεις σιταριού όταν το μπιζέλι δε δεχόταν λίπανση (Μετζάκης, 1984). Σύμφωνα με τους Koutroubas *et al.* (1998), η μεγαλύτερη ποσότητα αζώτου δεσμεύεται κατά τα στάδια της βλαστικής ανάπτυξης των φυτών και μειώνεται συνήθως όταν τα φυτά εισέρχονται στο αναπαραγωγικό στάδιο. Υπάρχουν πολύ λίγες μακροχρόνιες μελέτες οι οποίες έχουν προσδιορίσει ποσοτικά την επίδραση των διαφορετικών καλλιεργητικών συστημάτων στις εδαφικές συνθήκες. Μία από αυτές τις μελέτες στην Κύπρο έδειξε ότι μακροχρόνια αμειψισπορά με ψυχανθή οδηγεί σε άψογο, από περιβαλλοντική σκοπιά καλλιεργητικό σύστημα, με υψηλότερη παραγωγικότητα (Papastylianou, 1993), καλύτερο εισόδημα για τους αγρότες (Papastylianou & Panayiotou, 1993), καθώς και χαμηλότερες απαιτήσεις αζωτούχων λιπασμάτων (Papastylianou, 1993).

Εφόσον δεν χρησιμοποιούνται χημικά λιπάσματα, η χλωρή λίπανση, με χρήση ιδιαίτερα του κτηνοτροφικού μπιζελιού ενσωματούμενου στο έδαφος, θεωρείται ως η πλέον παραγωγική αμειψισπορά για το σιτάρι, επειδή επιτυγχάνει ταχεία σταθεροποίηση των αποδόσεων του σε υψηλά επίπεδα.

Καλλιέργεια συντήρησης χρησιμοποιείται σχεδόν στο 40% της καλλιεργούμενης έκτασης στις Ν.Α. πολιτείες των Η.Π.Α., ενώ τα χειμερινά φυτά εδαφοκάλυψης (cover crops) παίζουν σημαντικό ρόλο στα καλλιεργητικά συστήματα όσον αφορά στην προστασία από διάβρωση καθώς και στην βελτίωση της εδαφικής παραγωγικότητας (CTIC, 2004).

Σε πείραμα που έγινε στη Σλοβακία με σκοπό την αξιολόγηση των επιδράσεων διαφορετικών πρακτικών καλλιέργειας (συμβατική, μειωμένη, ακαλλιέργεια) με σύστημα μονοκαλλιέργειας (αραβόσιτος) και τριετούς αμειψισποράς, καλλιέργεια ανά χρονιά (κριθάρι, μπιζέλι, σιτάρι) όσον αφορά στο εδαφικό υδατικό δυναμικό, απεδείχθη ότι η συμβατική μηχανική κατεργασία με καλλιέργεια μπιζελιού δημιούργησε το καλύτερο υδατικό εδαφικό προφίλ και τις καλύτερες συνθήκες διηθητικότητας (Kovak *et al.*, 2005).

Αρκετές έρευνες έχουν διεξαχθεί σχετικά με τα οφέλη της χρήσης χειμερινών ψυχανθών στην αειφορία των αγροοικοσυστημάτων για τη διαδοχή παραγωγής αραβοσίτου (Holderbaum *et al.*, 1990; Decker *et al.*, 1994). Σε πειραματικό σταθμό στην Αλαμπάμα των Η.Π.Α. πραγματοποιήθηκε τριετής αμειψισπορά: αγρανάπαυση – καλαμπόκι και τροπικό ψυχανθές (sunh-hemp) – καλαμπόκι. Η περιεκτικότητα Ν στο σπόρο του αραβοσίτου ήταν κατά πολύ υψηλότερη στα τεμάχια που ακολουθούσαν το ψυχανθές από εκείνα που ακολουθούσαν την αγρανάπαυση. Η συνεισφορά της αζωτούχου λίπανσης στα τεμάχια που τη δέχτηκαν και προηγήθηκε το ψυχανθές, κυμάνθηκε περί τα 58 kg N ha⁻¹ με βάση την παραγωγή βιομάζας και περί τα 33 kg N ha⁻¹ (16.3 kg N ha⁻¹ υψηλότερο από τη μεταχείριση της αγρανάπαυσης) με βάση την περιεκτικότητα στο σπόρο. Παραγωγές αραβοσίτου μετά το ψυχανθές σε σχέση με την αγρανάπαυση ήταν 85% υψηλότερες (Balcom & Reeves, 2005).

Εφαρμογή αμειψισπορών οι οποίες περιλαμβάνουν εδαφοβελτιωτικές καλλιέργειες ψυχανθών ή συγκαλλιέργειες μικρόσπερων σιτηρών με μικρόσπερμα είδη ψυχανθών, επιβάλλονται τουλάχιστον κάθε πέντε χρόνια. Η τακτική των αμειψισπορών αυτών συμβάλλει στον περιορισμό (λόγω διακοπής του βιολογικού κύκλου) ζιζανίων, εντόμων και ασθeneιών, καθώς και στην αποκατάσταση της εξαντλημένης από ορισμένες κύριες καλλιέργειες, εδαφικής γονιμότητας και υγιεινής κατάστασης. Για την

αποκατάσταση ή διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους εφαρμόζονται κατάλληλα συστήματα αμειψισποράς με ψυχανθή, χλωρές ή οργανικές λιπάνσεις και προσθήκες διαφόρων ειδών κομπόστας.

Η δημιουργία μιας δέσμης έγκυρων, αξιόπιστων, εύχρηστων αλλά και «συνολικών» αγρο-περιβαλλοντικών δεικτών, με τη χρήση των οποίων είναι δυνατή αξιολόγηση και η σύγκριση του επιπέδου της αειφορίας των αγροτικών οικοσυστημάτων είναι ένα θέμα που απασχολεί έντονα σήμερα την επιστημονική κοινότητα.

1.3 Επίδραση στις εδαφικές ιδιότητες

1.3.1 Φυσικές ιδιότητες

Ο Carter (1988) απέδειξε ότι τα φυτικά υπολείμματα προκαλούν αύξηση του μακροπορώδους του εδάφους, και ότι υπάρχει υψηλού βαθμού συσχέτιση μεταξύ μακροπορώδους και φαινομενικής πυκνότητας. Η ύπαρξη οργανικής ουσίας στο έδαφος ευνοεί το φαινόμενο της συσσωμάτωσης και τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Η οργανική λίπανση επίσης και τα υπολείμματα των καλλιεργειών συμβάλλουν στη δημιουργία συσσωματωμάτων με μεγαλύτερη μέση σταθμισμένη διάμετρο (Cook *et al.*, 1992; Evans *et al.*, 1989).

Η εποχή ενσωμάτωσης του ψυχανθούς εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, αλλά κυρίως όμως από το στάδιο του βιολογικού του κύκλου. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η πράσινη βιομάζα καθώς και η μέγιστη περιεκτικότητά της σε άζωτο, εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές στο στάδιο της άνθησης.

Η έρευνα και η σχετική πληροφόρηση όσον αφορά στην επίδραση των καλλιεργειών στη δομή του εδάφους, είναι σχετικά μικρή. Αποτελεί όμως σημαντικό στοιχείο για τη μακροχρόνια διατήρηση της δομής, σε συνθήκες συνεχούς καλλιέργειας. Ο προσδιορισμός τέτοιων φυτών που είναι πλέον αποτελεσματικά στη διαμόρφωση σταθεράς εδαφικής δομής αποτελεί ζητούμενο για την ενσωμάτωσή τους σε αειφορικά συστήματα αμειψισποράς (Chan & Heenan, 1996). Στη σταθερότητα της δομής του εδάφους συνεισφέρουν διάφοροι βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες. Τα διάφορα φυτά έχουν διαφορετικές ικανότητες στην αύξηση ή μείωση των διαδικασιών των παράνω παραγόντων. Οι Reid & Goss (1981) απέδειξαν ότι ενώ η ανάπτυξη ενός πολυετούς γρασιδιού και ενός είδους τριφυλλιού αύξησαν τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, ο αραβόσιτος και η τομάτα μείωσαν την ίδια παράμετρο, αναπτυγμένα και τα τέσσερα είδη στις ίδιες εργαστηριακές συνθήκες. Το 1988, οι Angers & Mehuys απέδειξαν ότι το κριθάρι και η μηδική αυξάνουν τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων στη συγκράτηση νερού σε αντίθεση με το καλαμπόκι όταν συγκρίνονται με τους μάρτυρες αγρανάπαυσης. Σημαντικό ρόλο στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων και εν γένει στη δομή παίζει το ριζικό σύστημα των φυτών, το οποίο ή μπορεί να βελτιώσει θετικά τη δομή ή να την αποσταθεροποιήσει, τροποποιώντας το pH ή μεταβάλλοντας τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις με την παραγωγή οργανικών οξέων

στο στρώμα του ριζοστρώματος καθώς και με φυσικό κατακερματισμό των συσσωματωμάτων από τη διείδυσή του (Oades, 1984).

Αν και στόχος της παραγόμενης βιομάζας είναι το ύψος της παραγωγής, συστηματική ανάλυση της παραγωγικότητας του εδάφους θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα φάσμα μεταβλητών, οι οποίες επηρεάζουν τη φωτοσυνθετική παραγωγικότητα μέσω του χρόνου, όπως για παράδειγμα, το έδαφος, κλιματικοί παράγοντες, υδρολογία, είδη φυτών και ποικιλίες και τρόπος καλλιέργειας του φυτικού είδους. Η αξιολόγηση της εδαφικής παραγωγικότητας με βάση την εμπειρία είναι περιορισμένη εξαιτίας εγγενών αλληλεπιδράσεων των μεταβλητών που υπάρχουν και το πολυσύνθετο των κλιματικών μεταβλητών. Σε μακροχρόνιες αμεινισπορές, στις Η.Π.Α., η γεωργία μέσω της γενετικής επιλογής, έχει μεταφέρει μέρος του οργανικού άνθρακα (C) σε πλέον οικονομικά ωφέλιμα κομμάτια των καλλιεργειών.

1.3.2 Χημικές ιδιότητες

Τα χαρακτηριστικά των φυτικών υπολειμμάτων και οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι οι παράγοντες που ρυθμίζουν τις σχέσεις μεταξύ της οργανικής ουσίας και του εδάφους. Η βιοχημική ποιότητα και οι φυσικές ιδιότητες των υπολειμμάτων επηρεάζουν τη δυνατότητα επαφής με το εδαφικό υλικό και τις συνέπειες στην αποσύνθεση αυτών. Για παράδειγμα, μειώνοντας το μέγεθος των τεμαχιδίων των φυτικών υπολειμμάτων με υψηλό κλάσμα C/N επαυξάνουμε τη μακροπρόθεσμη αποσύνθεση οργανικού C. Αντίθετα το μικρό κλάσμα C/N έχει καθόλου ή αντίθετη επίδραση στα υπολείμματα (Angers & Recous, 1997; Vanlauwe *et al.*, 1997). Η σχέση C/N αποτελεί ένα δείκτη για την ταχύτητα αποσύνθεσης και το βαθμό της χουμοποίησης της φυτικής μάζας. Τα ψυχανθή βελτιώνουν την αναλογία C/N στο έδαφος (Ladd *et al.*, 1986). Επειδή στα περισσότερα υπολείμματα καλλιεργειών το ποσοστό C είναι υψηλότερο σε σχέση με αυτό του N και τα βακτήρια του εδάφους χρειάζονται και τα δύο, το N που παρέχεται από τα ψυχανθή διευκολύνει την αποσύνθεση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας και τη μετατροπή τους σε οργανική ουσία του εδάφους.

Η κύρια υπόθεση που διατυπώθηκε για να εξηγήσει τις παρατηρήσεις σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα, στην περίπτωση που μειώνεται το μέγεθος των φυτικών υπολειμμάτων, της υψηλής αναλογίας C/N αυξήθηκε η διαθεσιμότητα του εδαφικού N για αποσύνθεση μικροοργανισμών, ενώ για τη χαμηλή αναλογία του κλάσματος των υπολειμμάτων, αυξανόμενη της επαφής αυξάνεται και η προστασία του οργανικού C

στη βιοδιάσπαση. Η ενεργή διαθέσιμη επιφάνεια εξαρτάται επίσης από τις ιδιότητες της εδαφικής δομής. Αυτά τα χαρακτηριστικά του εδάφους καθώς και το εδαφικό δυναμικό νερού είναι ικανά να τροποποιήσουν τη μεταφορά και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου και του N (Recous *et al.*, 2010). Σημαντικό επίσης ρόλο διαδραματίζει και το ποσοστό του αζώτου όταν απελευθερώνεται ή εκκρίνεται από τα φυμάτια του ριζικού συστήματος (στα αζωτοδεσμευτικά φυτά) στη διαδικασία θανάτου κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ή αποσύνθεσής τους, μετά τη συγκομιδή. Κατά το παρελθόν, αυτή η ποσότητα N είχε αγνοηθεί ή υποτιμηθεί από τους ερευνητές κατά την προσπάθειά τους να εκτιμήσουν το ισοζύγιο του N σε καλλιέργειες ψυχανθών (Peoples *et al.*, 1995b; Evans & Edwards, 2001; Crawford *et al.*, 1997). Η αξία των ψυχανθών στα καλλιεργητικά συστήματα έγκειται στη διατήρηση ή ακόμη και στην αύξηση του ολικού αζώτου στο έδαφος και η συντήρησή του για την επόμενη καλλιέργεια, σε συστήματα αμειψισπορών (Amanuel *et al.*, 2000; Unkovich *et al.*, 1997; Ladd *et al.*, 1986). Μετά την καλλιέργεια των ψυχανθών το συνολικό άζωτο στο έδαφος αυξάνεται, στην περίπτωση που το ποσοστό του δεσμευόμενου N που παραμένει στο αγροτικό σύστημα είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό του αζώτου που απομακρύνεται με τους καρπούς ή τα υπολείμματα (van Kessel & Hartley, 2000). Πολυάριθμοι κλιματικοί παράγοντες, εδαφικές ιδιότητες, αγρονομικές διαχειριστικές πρακτικές, παίζουν σημαντικό ρόλο στο ποσοστό του αζώτου στο έδαφος μετά από την καλλιέργεια των ψυχανθών, παρά το είδος τους (van Kessel & Hartley, 2000; Kaul *et al.*, 1996). Ωστόσο κανένας από αυτούς τους παράγοντες δεν μπορεί να εξεταστεί ξεχωριστά από τον άλλο, καθώς όλοι αλληλοσυνδέονται.

Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους αποτελεί σύμφωνα με τους Roving *et al.* (1995) το σημαντικότερο δείκτη της ποιότητας και της υγείας του εδάφους, τόσο για τους επιστήμονες, όσο και για τους αγρότες. Πολλοί υποστηρίζουν ότι ο οργανικός άνθρακας αποτελεί το βασικό και μοναδικό κριτήριο - δείκτη της ποιότητας του εδάφους, γιατί είναι πρωτογενής πηγή και παρακαταθήκη θρεπτικών για τα φυτά. Είναι απαραίτητος για την επιθυμητή δομή του εδάφους, τη συγκράτηση της υγρασίας, τη μείωση της διάβρωσης, τη διήθηση του νερού και του αέρα και τέλος για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας και της τύχης των εφαρμοζόμενων στο έδαφος γεωργικών φαρμάκων (Bronick & Lal, 2005; Κουκουλάκης κ.ά., 2000). Το ποσοστό του οργανικού άνθρακα ποικίλει, ανάλογα με τη χρήση γης και στα καλλιεργούμενα εδάφη, συνήθως, έχει εύρος από 0,4 έως 1,8% (Caravaca *et al.*, 1999). Η διαθεσιμότητα του οργανικού άνθρακα και του αζώτου στην αποσύνθεση των υπολειμμάτων των χορτοδο-

τικών φυτών και η οργανική ουσία του εδάφους επηρεάζουν τις διαδικασίες ορυκτοποίησης – μετακίνησης καθώς και την ποσότητα του διαθέσιμου αζώτου στην επόμενη καλλιέργεια. Οι επιδράσεις [**τίνος**] στη διαδικασία ορυκτοποίησης του αζώτου και διαχείρισής του είναι αρκετά περίπλοκες εξαιτίας της συσσώρευσης των φυτικών ιστών στα συστήματα αυτά και τον αργό ρυθμό αποσύνθεσής τους (Schomberg & Cabrera, 2001; Schomberg & Endale, 2004).

Σύμφωνα με τους Brye *et al.* (2002) η μέθοδος της χρήσης εδαφικών δακτυλίων σε σχέση με την ανταλλαγή ιόντων ρητίνης χρησιμοποιείται για να καθοριστεί ο ρυθμός ορυκτοποίησης του αζώτου, συμπεριλαμβανομένων της εδαφικής ποιότητας και των κλιματικών παραγόντων. Οι εδαφικές τοποθετήσεις δακτυλίων και οι παραμονές τους για ορισμένο χρονικό διάστημα φυτών (επώσεις), πάρα αυτά, υπόκεινται σε μεγάλες διακυμάνσεις διότι οι δακτύλιοι δεν είναι ομογενοποιημένα σύνθετα δείγματα εξαιτίας της μεγάλης εγγενούς χωροταξικής διακύμανσης και ορυκτοποίησης του αζώτου (Brye *et al.*, 2002; Carpenter-Boggs *et al.*, 2000). Ακόμη και με αυτούς τους περιοριστικούς όρους, η μέθοδος αυτή αξιολόγησης της μετακίνησης του N στα α-γροοικοσυστήματα αποτελεί χρήσιμο εργαλείο (Schomberg & Endale, 2004).

Σε πειράματα στο Watkinsville των ΗΠΑ, αμειψισπορά 4 φυτών εδαφοκάλυψης με βαμβάκι είχε ως αποτέλεσμα αρνητική συσχέτιση της βιομάζας αυτών, και της αναλογίας C/N με το εδαφικό άζωτο που προσδιορίστηκε σε καταληκτικό χρόνο 90 ημερών. Ο ρυθμός ορυκτοποίησης του N βρέθηκε σε ποσοστά που κυμάνθηκαν από 20 έως 50% χαμηλότερα μετά από καλλιέργεια ρυζιού παρά μετά από καλλιέργεια βρώμης, ελαιοκράμβης και τριφυλλιού.

Η χαρακτηριστική αναλογία C/N, ως ιδιότητα, και η ωριμότητα στην ολοκλήρωση του κύκλου της καλλιέργειας εδαφοκάλυψης επηρεάζουν σημαντικά τη διαθεσιμότητα του N στην επόμενη καλλιέργεια. Πολλές έρευνες έδειξαν ότι μεγάλες ποσότητες N μπορούν γρήγορα να ορυκτοποιηθούν με τον τερματισμό του βιολογικού κύκλου του ψυχανθούς.

Η τιμή θα πρέπει να είναι χαμηλή, ιδιαίτερα όταν πρόκειται να ακολουθήσουν καλλιέργειες μη ψυχανθών, ώστε το άζωτο που απελευθερώνεται κατά την αποικοδόμηση της βιομάζας από τη δράση των μικροοργανισμών του εδάφους, να είναι διαθέσιμο στα φυτά της καλλιέργειας που ακολουθεί. Όσο τα φυτά της καλλιέργειας αυτής αναπτύσσονται, η περιεκτικότητα του εδάφους σε άνθρακα αυξάνεται, ενώ η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και κατά συνέπεια σε άζωτο μειώνεται (Harris *et al.*, 1994; Mueller & Sudman, 1988).

Το ιδανικό πηλίκo C/N, για την ταχύτερη αποικοδόμηση των οργανικών υπολειμμάτων κυμαίνεται μεταξύ των αναλογιών 15/1 έως 25/1, αναλόγως του φυτικού είδους. Όταν το πηλίκo είναι μεγάλο, οι μικροοργανισμοί του εδάφους που διασπούν τα οργανικά υπολείμματα, πολλαπλασιάζονται υπέρμετρα (λόγω της αφθονίας του άνθρακα), με αποτέλεσμα τόσο το άζωτο, το οποίο παράγεται από τη διάσπαση των φυτικών υπολειμμάτων, όσο και το διαθέσιμο ανόργανο άζωτο, να καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς για την οικοδόμηση των πρωτεϊνών τους και την κάλυψη των αυξημένων αναγκών τους.

Οι Wilson & Hargrove (1986) αναφέρουν ότι 36% από τα επιφανειακά υπολείμματα τριφυλλιού μετά από 4 εβδομάδες δεν υπήρχαν πλέον. Εργασία στην Β. Καρολίνα έδειξε ότι 44% από τα υπολείμματα N του τριφυλλιού αποταμιεύτηκαν ως ορυκτό N, 18 εβδομάδες μετά την διαδικασία ενσωμάτωσης, και ότι η εδαφική δεξαμενή N την καλοκαιρινή περίοδο, εκείνη όπου καλλιεργήθηκε ψυχανθές, ήταν πλουσιότερη συγκρινόμενη με την δεξαμενή των τεμαχίων που δέχτηκαν χημική λίπανση N (Crozier *et al.*, 1994). Όσον αφορά στη μειωμένη διαθεσιμότητα N στις επόμενες καλλιέργειες των ψυχανθών, αυτή σχετίζεται με την αποσύνθεση της φυτικής βιομάζας. Μικρότερη η αναλογία C/N, παραπέμπει σε αυξημένη ταχύτητα της αποσύνθεσης της ενσωμάτωσης ή των υπολειμμάτων του ψυχανθούς (Fahey *et al.*, 2001; Voisin, 2003).

Οι Frye *et al.* όπως και ο Power (1988, 1990) διαπίστωσαν ότι, εάν συμπεριληφθούν ψυχανθή στο καλλιεργητικό σύστημα, η αναλογία C/N στα υπολείμματα που ενσωματώνονται στο έδαφος μειώνεται, ενώ αντίθετα η μικροβιακή δραστηριότητα αυξάνεται, επομένως αυξάνεται και το δυναμικό N στο έδαφος. Εδάφη με χρόνια χρήση ψυχανθών στο ιστορικό τους, εμφανίζουν κατά τεκμήριο μεγαλύτερα ποσοστά οργανικής ουσίας από εκείνα, στα οποία εναλλάσσεται αμειψισπορά ψυχανθών με αγρανάπαυση. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Rao *et al.* (1995), οι οποίοι αναφέρουν ότι η μεγαλύτερη συμβολή της ένταξης των ψυχανθών στην αμειψισπορά είναι η μείωση της σχέσης C/N στα υπολείμματα. Μελέτες που έγιναν για την εκτίμηση της μείωσης του ^{15}N στα υπολείμματα ψυχανθών, που βρίσκονται σε κατάσταση αποσύνθεσης, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι περισσότερο από 30% του N των ψυχανθών ανακτάται από την επόμενη καλλιέργεια, αλλά και μεγάλες ποσότητες του στοιχείου συγκρατούνται στο έδαφος, κυρίως σε οργανική μορφή (Harris *et al.*, 1994; Mueller & Sudam, 1988).

Οι Kuo *et al.* (1997b) απέδειξαν ότι η μακρόχρονη διατήρηση του οργανικού N σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα της βιομάζας σε οργανικό C.

Πειράματα που διεξήχθησαν στη Ν.Α. Αγγλία, στο πλαίσιο των οποίων δοκιμάστηκε αμειψισπορά με ψυχανθή, κατέδειξαν ότι η μέθοδος αυτή λειτούργησε ευεργετικά στη διατήρηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, βελτιώνοντας παράλληλα τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του: συγκεκριμένα εφοδίασαν το έδαφος με επιπρόσθετο N και μείωσαν την επιφανειακή του διάβρωση από τις έντονες χειμερινές βροχοπτώσεις (Boquet & Dabney, 1991). Επίσης, οι Oyer και Touchton (1990) απέδειξαν πειραματικά, ότι η αύξηση του εδαφικού N μετά από καλλιέργεια χειμερινού ψυχανθούς επέφερε αύξηση της παραγωγής των διαδοχικών καλλιεργειών βαμβακιού και σόργου, χωρίς λίπανση στις εαρινές καλλιέργειες, με ταυτόχρονη μείωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ουσία. Μακρόχρονες αμειψισπορές στην Αγγλία με χειμερινά ψυχανθή – βαμβάκι έδειξαν αύξηση των ποσοτήτων C και N, η οποία οδήγησε και σε τελική αύξηση των παραγωγών βαμβακιού.

Οι Entry *et al.* (1996) διαπίστωσαν ότι εάν στις αμειψισπορές υπάρχουν χειμερινά ψυχανθή τότε η μικροβιακή βιομάζα N είναι αρκετά υψηλή και μαζί με το κλάσμα C microbial/C οργανικός, είναι ακριβείς δείκτες για μακροπρόθεσμες φυτικές παραγωγές. Αρκετές μελέτες έδειξαν ότι το προαναφερόμενο κλάσμα αποτελεί μία αξιόπιστη εδαφική παράμετρο, ώστε να προσδιοριστεί η επίδραση των γεωργικών πρακτικών στη δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους. Οι Anderson και Domsch (1990) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η θετική συσχέτιση μεταξύ C_{microbial}/C_{οργανικός} και της τελικής βιομάζας συμβαίνει διότι η διαθεσιμότητα του εδαφικού C αυξάνει καθώς αυξάνεται και η βιομάζα στην υπό μελέτη περιοχή. Εφόσον η διαθεσιμότητα του οργανικού C είναι κατευθυντήρια μεταβλητή στη σχέση του κλάσματος, υψηλότερες συγκεντρώσεις εύκολα διασπώμενων οργανικών συστατικών από το τμήμα της ριζόσφαιρας και σύγχρονη ριζική αναδιοργάνωση, θα καταλήξουν σε υψηλότερες τιμές του κλάσματος.

Οι Hesterman *et al.* (1987) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι ποσότητες αζώτου που προήλθαν από τη βιομάζα των ψυχανθών είναι διαθέσιμες στις επόμενες καλλιέργειες και ότι διαφοροποιούνται ανάλογα με τις πρακτικές καλλιέργειας, τις κλιματικές συνθήκες και την εδαφική υγρασία.

Σε πειράματα που έλαβαν χώρα στην Κόρδοβα της Ισπανίας, με χαρακτηριστικό Μεσογειακό κλίμα και έδαφος Vertisol (Soil Survey Staff, 1975) οι Lopez-Bellido *et al.* (1997) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σε διετή αμειψισπορά, η συνεχής ακαλ-

λιέργεια και χρήση ψυχανθούς στο σύστημα, δεν βελτιώνει το ποσοστό περιεκτικότητας της οργανικής ουσίας σε σχέση με διετή μονοκαλλιέργεια σιταριού εξαιτίας των κλιματικών συνθηκών. Η απώλεια του N ήταν πιο εμφανής στο σύστημα σιτάρι-αγρονόπλευση, ιδιαίτερα με την ακαλλιέργεια λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των εδαφών Vertisol.

Η ανταπόκριση των καλλιεργειών στην αζωτούχο λίπανση διαφέρει στη συμβατική και στη μειωμένη κατεργασία γεωργία. Σε επιφανειακή χρήση αζωτούχου λιπάσματος (ιδιαίτερα ουρίας) δημιουργούνται απώλειες N μέσω εξάτμισης, καθώς και ακινητοποίηση N από τα υπολείμματα καλλιεργειών – ιδιαίτερα εκείνα των σιτηρών, τα οποία έχουν υψηλή αναλογία κλάσματος C/N. Από την άλλη, οι Varvel και Peterson (1990) διαπιστώνουν ότι, επιπρόσθετη αζωτούχος λίπανση αυξάνει την ποσότητα του NO_3^- -N σε βάθος 150 cm στις μονοκαλλιέργειες σιτηρών.

Το πιο δημοφιλές σύστημα αμειψισποράς στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της Ν. Μεσογείου και για βαριά εδάφη αποτελεί το καλλιεργητικό ζεύγος σιτάρι – ηλίανθος επειδή τα δύο αυτά φυτά χρησιμοποιούν ανόργανο N και εδαφική υγρασία διαμέσου του εδαφικού προφίλ (0-90 cm) με την υψηλότερη αποδοτική σχέση.

1.4 Επίδραση στην αποδοτικότητα χρήσης αζώτου

1.4.1 Γενικά

Μεταξύ όλων των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων, το άζωτο (N) θεωρείται ως το πλέον αναγκαίο στοιχείο για την ανόργανη θρέψη των καλλιεργούμενων φυτών, καθώς ασκεί τη μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση, την ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών, ενώ συχνά αποβαίνει περιοριστικός παράγοντας της γεωργικής παραγωγής. Τα φυτά απαιτούν μεγάλες ποσότητες αζώτου για ενσωμάτωση σε πολυάριθμες οργανικές ουσίες (πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα, χλωροφύλλη, αλκαλοειδή, βιταμίνες, ρυθμιστές αύξησης), οι οποίες παίζουν ζωτικό ρόλο στην αύξηση και **την** ανάπτυξή τους.

Ο κορυφαίος ρόλος του αζώτου φανερώνεται πρωταρχικά από τη θέση που κατέχει σε επίπεδο δομής και λειτουργίας του φυτού. Έτσι, το άζωτο υπεισέρχεται ως:

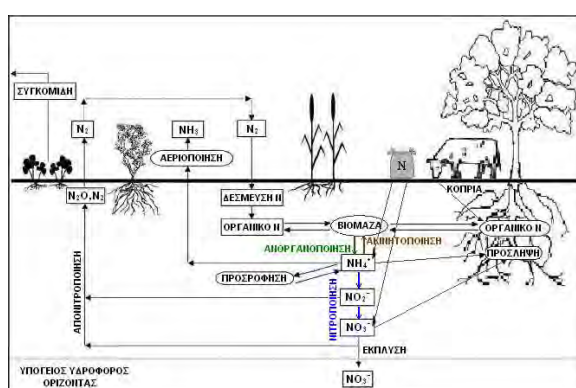
- Δομικό συστατικό του μορίου της χλωροφύλλης.
- Συστατικό των αμινοξέων, τα οποία αποτελούν τις δομικές μονάδες των πρωτεϊνών.
- Συστατικό των ενζύμων.
- Απαραίτητος παράγοντας για την αξιοποίηση των υδατανθράκων.
- Διεγερτικός παράγοντας της ανάπτυξης και λειτουργίας των ριζών.
- Τέλος, ευνοεί την πρόσληψη και αξιοποίηση λοιπών θρεπτικών στοιχείων.

Η αύξηση και παραγωγικότητα μιας καλλιέργειας είναι το αθροιστικό αποτέλεσμα ενός μεγάλου αριθμού συστατικών και μεταβολικών διαδικασιών, οι οποίες δρουν με μεταβλητή ένταση καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της καλλιέργειας (Below, 1995). Αν και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ένας ανεξάρτητος ρόλος του N, η παρουσία του φαίνεται να είναι καθοριστική για την αύξηση των καλλιεργούμενων φυτών.

Η κυρίαρχη επίδραση του N στο ρυθμό αύξησης του φυτού συντελείται μέσω της ανάπτυξης της κόμης και επομένως της δέσμευσης φωτός (Grindlay, 1997). Ειδικότερα, αύξηση στη χορήγηση N προάγει την αύξηση της επιφάνειας των φύλλων (Gastal & Lemaire, 2002), τη σύνθεση χλωροφύλλης και τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη σύλληψη φωτός, την υψηλότερη φωτοσύνθεση της κόμης και υψηλότερες αποδόσεις (Below, 1995). Οι van Keulen *et al.* (1989) επιβεβαιώνουν το ρόλο αυτό του N, συγκεντρώνοντας πειραματικά δεδομένα συσχέτισης του ρυθμού αφομοίωσης του CO₂ με διαφορετικά επίπεδα φυλλικού N

από αρκετά φυτικά είδη (καλαμπόκι, ηλιάνθο, ρύζι, βαμβάκι, τεύτλα, σιτάρι κ. ά.). Ο μέγιστος ρυθμός αφομοίωσης του CO₂ έδειξε μία γραμμική συσχέτιση με τη συγκέντρωση του N στα φύλλα. Κατ' αναλογία, και η παραγόμενη βιομάζα δείχνει μία ανάλογη σχέση με το φυλλικό N (Evans & Edwards, 2001). Εν τούτοις, για να μπορέσουν τα φύλλα να αποκτήσουν την πλήρη θεωρητικά φωτοσυνθετική τους ικανότητα, το N πρέπει να είναι διαθέσιμο κυρίως στο στάδιο ανάπτυξης των φύλλων.

Με τον όρο «ισοζύγιο αζώτου» ορίζεται η εφαρμογή των αρχών της διατήρησης της μάζας έτσι ώστε το άζωτο να διατηρείται στους διάφορους μετασχηματισμούς και βιολογικές διεργασίες του συστήματος. Τα ισοζύγια του αζώτου είναι πολύτιμα στην κατανόηση και επέκταση των γνώσεων που αφορούν στον κύκλο του αζώτου. Συνεισφέρουν στην αναγνώριση των μηχανισμών των εισροών αζώτου. Η κύρια χρήση τους αφορά την εκτίμηση των απωλειών σε ένα δεδομένο σύστημα αγροτικής παραγωγής. Σημαντικό στοιχείο των ισοζυγίων είναι η ορυκτοποίηση του οργανικού αζώτου (Σχήμα 1.1). Στις περισσότερες έρευνες η εκτίμηση γίνεται με την καλλιέργεια φυτών που δεν λιπαίνονται με χημικά λιπάσματα ή με άλλες οργανικές ουσίες. Η βιολογική δέσμευση του αζώτου συνιστά έναν κύριο παράγοντα του ισοζυγίου. Οι Burns και Hardy (1975), όπως αναφέρουν οι Legg και Meisinger, βρήκαν ότι η δέσμευση αζώτου από τη συμβίωση του *Rhizobium* έφθανε τα 140 kg N/ha/y σε καρποδοτικά ψυχανθή. Επίσης ο Jenkinson (2001), σε πολυετή πειράματα σιτηρών βρήκε ότι η μη συμβιωτική δέσμευση αζώτου κυμαινόταν από 23 μέχρι 29kg N/ha/year.



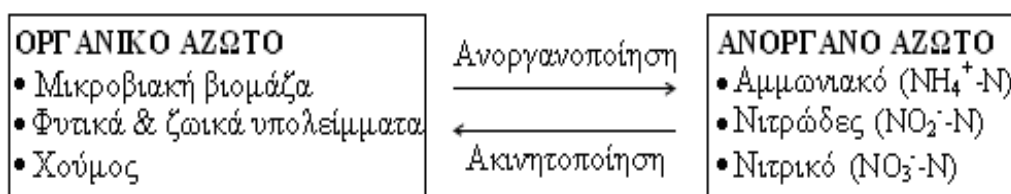
Σχήμα 1.1: Κύκλος N σε αγρο-οικοσύστημα (Ridley *et al.*, 2004).

Το N όμως, το οποίο δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, είναι επιρρεπές σε απώλειες. Στις συνέπειες της χαμηλής

αποδοτικότητας του N περιλαμβάνονται η χαμηλή ποιότητα νερού λόγω αύξησης των νιτρικών, η αύξηση του φαινόμενου του θερμοκηπίου και η μείωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα εξαιτίας των NO_x (Galloway *et al.*, 1995). Επιπρόσθετα, η χαμηλή αποδοτικότητα λίπανσης (FNUE, Fertilizer Nitrogen Uptake Efficiency) μειώνει σημαντικά την οικονομική απόδοση για τους παραγωγούς. Πολλές εναλλακτικές πρακτικές διαχείρισης έχουν προταθεί για βελτίωση της FNUE στα αγροοικοσυστήματα (Dinnes *et al.*, 2002; Crews & Peoples, 2005). Μια τέτοια πρακτική αποτελεί η χρήση ψυχανθών, ιδιαίτερα εκείνων που αναλαμβάνουν το ρόλο χειμερινών φυτών εδαφοκάλυψης συγκεράζοντας το παρεχόμενο N αυτών με το απαιτούμενο N της επόμενης καλλιέργειας και τον άριστο χρόνο εφαρμογής.

Η περιεκτικότητα των φυτών σε N κυμαίνεται μεταξύ 1% και 6% του ξηρού βάρους των ιστών του φύλλου. Υψηλά επίπεδα N όμως μπορεί να προκαλέσουν ενεργοποίηση της αύξησης, η οποία με τη σειρά της ενδέχεται να δημιουργήσει ελλείψεις σε άλλα στοιχεία αν δεν τροφοδοτηθούν συμπληρωματικά, λόγω του φαινομένου της αραίωσης.

Τα λιπάσματα, είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επιδρά στο ισοζύγιο του αζώτου. Οι διαφορετικές ποσότητες και μορφές αζωτούχων λιπασμάτων καθώς και το είδος της καλλιέργειας, θα πρέπει κάθε φορά να λαμβάνονται υπόψη.



Σχήμα 1.2: Σχηματική παράσταση της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ ανοργανοποίησης και ακινητοποίησης του εδαφικού N (Αναλογίδης, 2007).

Η πρόσληψη του αζώτου από τα φυτά διέρχεται τρία στάδια (Mengel *et al.*, 1982): α) Το πρώτο αφορά τη μετατροπή του ανόργανου αζώτου σε οργανικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους (Σχήμα 1.2). Στα ανώτερα φυτικά είδη αυτή η φάση είναι μη αντιστρεπτή. β) Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η σύνθεση οργανικών αζωτούχων ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους (πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα). γ) Το τρίτο

στάδιο αντιπροσωπεύει τη διάσπαση των μακρομορίων που περιέχουν άζωτο, με τη βοήθεια υδρολυτικών ενζύμων.

Επειδή οι αμμωνιακές μορφές γρήγορα μετατρέπονται από τους μικροοργανισμούς σε νιτρικές, όταν οι συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη των φυτών, τα νιτρικά θεωρούνται ότι είναι η κύρια μορφή διαθέσιμου αζώτου, ιδιαίτερα για τις καλλιέργειες που δεν αρδεύονται.

Οι διαφορές μεταξύ NH_4^+ και NO_3^- (Hageman, 1984) είναι οι παρακάτω:

- Το NH_4^+ είναι κατιόν ενώ το NO_3^- είναι ανιόν και σε ένα αρνητικά φορτισμένο μέσο (έδαφος) το NH_4^+ δεσμεύεται ενώ το NO_3^- παραμένει ευκίνητο. Επομένως, το NO_3^- μπορεί να μετακινηθεί μέσα στο εδαφικό διάλυμα προς το ριζικό σύστημα ή να εκπλυθεί από το έδαφος.
- Όταν το αμμωνιακό άζωτο προσλαμβάνεται από τα φυτά, το έδαφος τείνει να γίνει όξινο, ενώ η απορρόφηση των νιτρικών έχει το αντίθετο αποτέλεσμα στο έδαφος.
- Σε καλώς αεριζόμενα εδάφη, όταν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τους 5°C , το NH_4^+ μετατρέπεται από τους μικροοργανισμούς (Nitrobacteriaceae) σε NO_3^- με αποτέλεσμα την οξίνιση των εδαφών.
- Το NH_4^+ μπορεί να αντικαταστήσει άλλα κατιόντα που είναι δεσμευμένα με αρνητικά φορτισμένα εδαφικά τεμαχίδια, επομένως επιδρά στη διαθεσιμότητά τους.
- Η πρόσληψη του νιτρικού από τα φυτά περιορίζεται όσο αυξάνει η συγκέντρωση Al^{+++} στο εδαφικό διάλυμα (Jarvis *et al.*, 1989). Το ίδιο συμβαίνει επίσης, όταν η συγκέντρωση του Cu^{++} βρίσκεται σε τοξικά επίπεδα (Weber *et al.*, 1991).

1.4.2 Απαιτήσεις καλλιεργειών σε άζωτο

Ένα πεδίο της επιστήμης των φυτών που είναι ακόμα αβέβαιο, είναι το τι ακριβώς προσδιορίζει την απαίτηση των φυτών σε N, δηλαδή το ποσό εκείνο του N που χρειάζεται να προσλάβουν τα φυτά από το έδαφος για να καλύψουν τις ανάγκες τους που αφορούν την εν δυνάμει αύξηση και σύνθεση των νέων ιστών τους. Η γνώση των παραγόντων που διαμορφώνουν αυτή την απαίτηση είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη των αναγκών των καλλιεργειών σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών, που θα οδηγήσει σε καλύτερη διαχείριση του N, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους (Grindlay, 1997).

Ο Grindlay (1997) ορίζει την απαίτηση του φυτού σε N ως την πρόσληψη (uptake) αζώτου κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής περιόδου, η οποία επιτρέπει το μέγιστο ρυθμό αύξησης της ξηράς ουσίας, κάτω από δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η πρόσληψη του N, όμως, είναι ιδιαίτερα μεταβλητή τόσο κατά τη διάρκεια ενός έτους, όσο και μεταξύ ετών, τοποθεσιών και καλλιεργειών, ακόμα και όταν η παροχή του είναι άφθονη (Gastal & Lemaire, 2002). Σε τέτοιες περιπτώσεις, η μεταβλητότητα που παρατηρείται στη δυναμική συσσώρευσης N από τις καλλιέργειες κάτω από διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και για διαφορετικά είδη μπορεί να περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό, όταν η περιεκτικότητα της καλλιέργειας σε N συσχετιστεί με τη βιομάζα αντί με το χρόνο (Gastal & Lemaire, 2002).

Για το λόγο αυτό, η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση της αζωτούχου απαίτησης του φυτού είναι η έκφραση της συγκέντρωσης του ολικού N ως προς το βάρος, συνήθως ως ποσοστού αζώτου στην ξηρά ουσία (%N DM). Βέβαια, και οι τιμές αυτές μεταβάλλονται με την ηλικία του φυτού και την παροχή N (Grindlay, 1997) και σε γενικές γραμμές η συγκέντρωση του ολικού N μειώνεται, καθώς αναπτύσσεται το φυτό (Greenwood *et al.*, 1991; Gastal & Lemaire, 2002). Γι' αυτό έχουν γίνει προσπάθειες συσχέτισης της μείωσης της συγκέντρωσης του ολικού N είτε με την ανάπτυξη-εξέλιξη της καλλιέργειας (χρησιμοποιώντας το θερμικό χρόνο), είτε με τη βιομάζα. Στις προσεγγίσεις αυτές στηρίζονται και αρκετοί δείκτες διάγνωσης της αζωτούχου θρεπτικής κατάστασης μιας καλλιέργειας, στους οποίους γίνεται αναφορά παρακάτω.

1.4.3 Αποδοτικότητα χρήσης αζώτου

Το κλειδί για την αύξηση παραγωγής στη γεωργία συνδέεται με την καλύτερη απόδοση της χρήσης του αζώτου. Το άζωτο βρίσκεται σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς στη Γη, αφού αποτελεί συστατικό των πρωτεϊνών, των νουκλεϊνικών οξέων και μερικών άλλων σημαντικών βιοχημικά ουσιών. Υπολογίζεται ότι αποτελεί περίπου το 2-4% του ξηρού βάρους της φυτικής μάζας και το 3% κατά βάρος του ανθρώπινου σώματος. Αποτελεί ακόμη μεγάλο ποσοστό των ζωικών αποβλήτων, συνήθως με τη μορφή της ουρίας, του ουρικού οξέος και διαφόρων άλλων αμμωνιούχων παραγώγων. Αυτά αξιοποιούνται ως λίπασμα από τα φυτά που δε διαθέτουν μηχανισμό για την άμεση δέσμευση του ατμοσφαιρικού διαζώτου.

Εκτιμάται ότι η ετήσια παγκόσμια κατανάλωση N/ούχων λιπασμάτων ανέρχεται περί τα 100 εκατ. τόνους (Good *et al.*, 2004). Η αποδοτικότητα χρήσης N (Nitrogen Use Efficiency) εξαρτάται από τον τρόπο καλλιέργειας των φυτών για παραγωγή βιομάζας ή σπόρου και από τον τρόπο εκμετάλλευσης του στοιχείου υπό την ανόργανη μορφή του από το έδαφος, την αφομοίωσή του ως νιτρική ή αμμωνιακή μορφή από το φυτό και την ανακύκλωση της οργανικής μορφής του.

Η μείωση των εισροών των αζωτούχων χημικών λιπασμάτων και η βελτίωση του NUE των φυτών, έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση των εκπομπών των νιτρικών οξειδίων, της διαφυγής του αζώτου και κατ' επέκταση την αποφυγή της ρύπανσης των νερών και εδαφών. Η ικανότητα του φυτού να δεσμεύσει εδαφικό άζωτο εξαρτάται από τη μηχανική και χημική σύσταση του εδάφους, το περιβάλλον του και το είδος του φυτού. Το 50-70% του παρεχόμενου αζώτου εκτιμάται ότι χάνεται (Hirel *et al.*, 2007; Hodge *et al.*, 2000). Οι Gastal & Lemaire (2002) αναφέρουν επίσης ότι, ο ρυθμός απορρόφησης N καθορίζεται από την αλληλεπίδραση των εδαφικών παραμέτρων και από το ρυθμό αύξησης του φυτού. Επίσης, η περιεκτικότητα N στο σπόρο καθορίζει τη μετέπειτα φυτρωτική ικανότητα και την επιβίωση των νεαρών φυταρίων. Για να βελτιωθεί η αειφόρος γεωργική παραγωγή, είναι αναγκαίο να καλλιεργηθούν φυτά, τα οποία απορροφούν αποδοτικά τα θρεπτικά εδαφικά στοιχεία, και κατά συνέπεια απαιτούν λιγότερα χημικά λιπάσματα (Masclaux – Daubresse *et al.*, 2010; Jeuffroy *et al.*, 2002).

Ο δείκτης NUE έχει καθορισθεί ως η παραγόμενη μονάδα σπόρου ανά μονάδα διαθέσιμου εδαφικού αζώτου και αποτελεί προϊόν δύο συνιστωσών: της αποδοτικότητας αφομοίωσης αζώτου (Nitrogen Assimilation Efficiency) και της αποδοτικότητας επανακινητοποίησης αζώτου (Nitrogen Remobilization Efficiency). Εκφράζεται ως η σχέση παραγωγής σπόρου προς το συνολικό απορροφημένο N από το φυτό (σπόρου και υπόλοιπης βιομάζας). Ο δείκτης Nitrogen Harvest Index (NHI) εκφράζει τη σχέση: N% στο σπόρο προς το συνολικό απορροφημένο εδαφικό N από το φυτό (Moll *et al.*, 1982; Pierce & Rice, 1988; Huggins & Pan, 1993; Sowers *et al.*, 1994; Delogu *et al.*, 1998; Lòpez-Bellido *et al.*, 2003).

Ο van Keulen (1982) απέδωσε γραφικά τη σχέση αζώτου - παραγωγής φυτών όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3. Σε μια γραφική παράσταση τριών διαγραμμάτων απεικονίζονται οι σχέσεις μεταξύ εδάφους, εισροών στην καλλιέργεια και φυσιολογίας του φυτού. Πιο συγκεκριμένα:

- Το διάγραμμα I εκφράζει την *αγρονομική αντίδραση*, δηλαδή την ανταπόκριση της καλλιέργειας ως προς την παραγωγή καρπού ή συνολικής βιομάζας σε σχέση με το απορροφημένο συνολικό άζωτο.
- Το διάγραμμα II εκφράζει τη σχέση που αποδίδεται από την προσρόφηση του αζώτου με την παραγωγή καρπού ή συνολικής βιομάζας, δηλαδή τις *φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού*. Αποτελέσματα ερευνών εμφανίζουν τη σχέση αυτή ως γραμμική. Η αύξηση των ρυθμών απορρόφησης του N, επιφέρει κορεσμό των παραγωγών (δυναμικό παραγωγής) (van Keulen, 1982; Vos, 1997; 2009). Ερευνητικά δεδομένα πιστοποιούν ότι διάφορα χαρακτηριστικά των φυτών όπως, ο χρόνος της ωρίμανσης και της ξήρανσης των φύλλων, η ενζυματική δραστηριότητα και τα γονίδια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο NUE (Hirel *et al.*, 2001; Coque *et al.*, 2008). Η κλίση της καμπύλης αυτής της σχέσης παριστά το δείκτη NUE, το αντίστροφο του οποίου παρουσιάζει το εκατοστιαίο ποσοστό N, που περιέχεται στους ιστούς των φυτών.
- Το διάγραμμα III εκφράζει τη σχέση μεταξύ προσρόφησης αζώτου και του εφαρμοζόμενου στοιχείου στο λίπασμα, δηλαδή τις *εδαφικές παραμέτρους*. Η προκύπτουσα γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης χαρακτηρίζει την παραπάνω σχέση. Οι τιμές επάνω στον άξονα x υποδηλώνουν την εγγενή γονιμότητα των εδαφών (base uptake), η οποία επηρεάζεται από την ποσότητα και την ποιότητα της οργανικής ουσίας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την εδαφική υγρασία και θερμοκρασία, συνιστώσες που κατευθύνουν τόσο το ρυθμό αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας, όσο και την ανοργανοποίηση ή κινητοποίηση του αζώτου κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Οι Coque *et al.* (2008) πειραματιζόμενοι στο κομμάτι των εδαφικών παραμέτρων και της φυσιολογίας του φυτού, με τη μέθοδο των ισοτόπων ^{15}N χαρτογράφησαν την επανακινητοποίηση του N, και απέδειξαν ανταγωνισμό μεταξύ N-uptake και N επανακινητοποίησης. Θετικοί συσχετισμοί παρατηρήθηκαν μεταξύ N-uptake, αρχιτεκτονικής ριζικού συστήματος και πράσινων φύλλων, ενώ επανακινητοποίηση N συνέβη μόνον με την ωρίμανση των φύλλων (Coque & Gallais, 2007; Fontaine *et al.*, 2009).

Οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ των υβριδίων αραβοσίτου, όσον αφορά στο δείκτη NUE, είναι πολλές και οφείλονται στην ποικιλομορφία της χρήσης του συσσωρευμένου N πριν την άνθηση, ιδιαίτερα υπό χαμηλή παροχή N (Moll *et al.*,

1982). Οι Eghball & Maranville (1991) διαπίστωσαν ότι γενικότερα το NUE συμβαδίζει με την αποδοτικότητα νερού (Water Use Efficiency).

Για τα σιτηρά, η αποδοτικότητα των λιπασμάτων αυξάνεται από 30-55%, όταν η λίπανση εφαρμόζεται στη σπορά και σε 55-80% όταν εφαρμόζεται την περίοδο της άνθησης (Wuest & Cassman, 1992a). Επίσης, η αποδοτικότητα χρήσης N βελτιώνεται με την επιμερισμένη εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων ενώ συστήνεται η παροχή του $\frac{1}{2}$ ή των $\frac{2}{3}$ του N κατά τη σπορά και της υπόλοιπης ποσότητας σε επόμενο βλαστικό στάδιο (Pattey *et al.*, 2001; Angas *et al.*, 2006). Περαιτέρω συμπληρωματική παροχή N εξαρτάται από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες και από την εδαφική δεξαμενή N (Schröder *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2007).

Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, η συνεισφορά της επανακινητοποίησης του N του φύλλου στο σπόρο, αποτελεί ποικιλιακό χαρακτηριστικό που μεταβάλλεται σε ποσοστιαίο εύρος μεταξύ 50 – 90% (Masclaux *et al.*, 2001). Επίσης, η επανακινητοποίηση του N εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και ευνοείται από περιορισμένες παροχές νιτρικών. Αν και η επανακινητοποίηση του ^{15}N είναι ένας μηχανισμός που πραγματοποιείται βήμα προς βήμα και περιλαμβάνει τα διάφορα φυτικά τμήματα, τα αποτελέσματα ερευνών αποδεικνύουν ότι η περιεκτικότητα N στο σπόρο σχετίζεται με την ωρίμανση του φύλλου σημαία στον αραβόσιτο, και ότι ο ρόλος που διαδραματίζει ο χρόνος ωρίμανσής του είναι σημαντικός για τη διαθεσιμότητα του N κατά την περίοδο γεμίσματος του σπόρου.

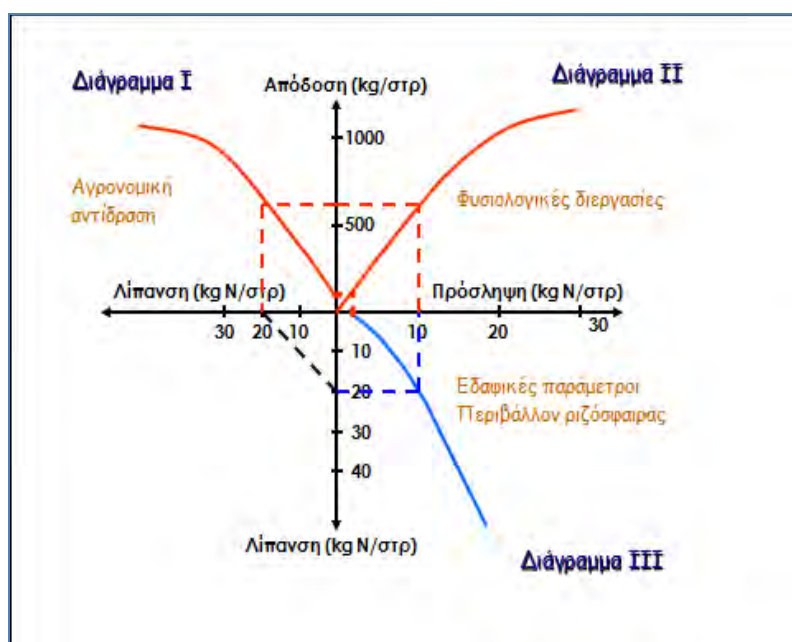
Ο χρόνος ωρίμανσης του φύλλου σημαία, πιθανόν να είναι ουσιαστικός παράγοντας για το δείκτη αποδοτικότητας της επανακινητοποίησης του N (Nitrogen Remobilization Efficiency) καθώς και για την παραγωγή σπόρου. Γενικότερα, η επιμήκυνση του χρόνου ωρίμανσης των φύλλων αυξάνει το χρόνο φωτοσύνθεσης και κατά συνέπεια αυξάνει την παραγωγή σπόρου και το χρόνο γεμίσματος με άνθρακα (Martin *et al.*, 2005; Uauy *et al.*, 2006).

Το 2008, οι Coque *et al.* χαρτογράφησαν μεμονωμένα γονιδιώματα αλλά και ομάδες του καλαμποκιού, και παρουσίασαν ένα σημαντικό αριθμό χαρακτηριστικών που σχετίζονται με το NUE: ωρίμανση φύλλων, ενζυμική δραστηριότητα, παραγωγή σπόρου, παραγωγή συνολικής βιομάζας, N-uptake, επανακινητοποίηση N, τα οποία μαζί με στοιχεία από προηγούμενη έρευνα των Hirel *et al.* (2001) παρέχουν σημαντική πληροφόρηση για τη σύμπτωση αγρονομικών, φυσιολογικών, βιοχημικών και γονιδιακών χαρακτηριστικών. Τα αποτελέσματα της έρευνας, τα οποία στηρίζονται στη χρήση του ισοτόπου ^{15}N δείχνουν ανταγωνισμό μεταξύ επανακινητοποίησης N και N-

uptake σε αρκετές θέσεις των γονιδιωμάτων, όπως επίσης θετικό συμβάδισμα μεταξύ N-uptake, αρχιτεκτονικής ριζικού συστήματος και αριθμού πράσινων φύλλων, ενώ η επανακινητοποίηση του N συνήθως να συμβαίνει με την ωρίμανση των φύλλων.

Επίσης, η ενσωμάτωση των αζωτούχων λιπασμάτων στο ανώτερο εδαφικό στρώμα μειώνει την ακινητοποίηση N και αυξάνει το N-uptake των φυτών (Sharpe *et al.*, 1988).

Οι Jayasundara *et al.* (2007) εργαζόμενοι με αραβόσιτο αναφέρουν ότι το κύριο κομμάτι της απορρόφησης N από το φυτό προέρχεται από την ορυκτοποίηση της οργανικής ουσίας με την πρακτική χρήσης ψυχανθών στο καλλιεργητικό σύστημα αυξάνοντας τη χρήση N από 67 -70 % στο 80%.



Σχήμα 1.3. Τρι-τεταρτημόριο διάγραμμα της απόδοσης μιας καλλιέργειας (συνολικής βιομάζας ή καρπού σε kg/στρ) σε σχέση με την εφαρμοζόμενη N-ούχο λίπανση (kg/στρ) (Διάγραμμα I), τη συνολική απορρόφηση αζώτου σε σχέση με την απόδοση (Διάγραμμα II), και την απορρόφηση αζώτου σε σχέση με την αζωτούχο λίπανση (Διάγραμμα III), (van Keulen, 1982; Vos, 1997).

1.5 Ενεργειακή γεωργία

Το ενεργειακό πρόβλημα, οι επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου στο κλίμα, στην αγροτική παραγωγή, στην ποιότητα και ποσότητα του πόσιμου νερού, στη διαβίωση και συμβίωση των ανθρώπων, συνεχώς μεγενθύνονται. Για την αναστροφή της ζοφερούς προοπτικής που διαφαίνεται και τη σταθεροποίηση του κλίματος, η IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) καλεί τις χώρες - μέλη του G8 (οι 8 πιο ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες του κόσμου), να παράγουν το ένα τέταρτο της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μέχρι το 2025. Σήμερα το 80% της ενεργειακής κατανάλωσης παγκοσμίως προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα, το 14% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και το 6% από πυρηνικούς σταθμούς.

Ο ενεργειακός τομέας και ιδιαίτερα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν την αιχμή του δόρατος στην αναπτυξιακή πορεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με δεδομένα τα γεωπολιτικά προβλήματα, τους περιβαλλοντικούς κινδύνους και τις υψηλές τιμές του πετρελαίου. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν εν μέρει, απάντηση στα εν λόγω προβλήματα, γιατί είναι τοπικός φυσικός πόρος, ο οποίος συμβάλλει στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, βοηθά στην τοπική ανάπτυξη, δεν απαιτεί εξόρυξη και κυρίως δεν αποτελεί απειλή για το φυσικό περιβάλλον.

Η *Ενεργειακή Γεωργία* είναι δυνατόν να συμβάλλει στη λύση των παραπάνω προβλημάτων με την εκμετάλλευση των εκτάσεων που υφίστανται υποχρεωτική αγρανάπαυση ή των εκτάσεων που καλλιεργούνται με είδη που παρουσιάζουν δυσκολία στη διάθεσή τους. Μάλιστα αν ληφθεί υπ' όψιν η δυνατότητα για υπερδιπλασιασμό της παραγωγής, με την αξιοποίηση του υφιστάμενου γεωργικού δυναμικού, μέσα στα προσεχή 30 χρόνια, θα ήταν εφικτή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας μας, με βάση την ενεργειακή γεωργία. Με την καλλιέργεια ενεργειακών φυτών δημιουργούνται νέες αγορές των προϊόντων της ενεργειακής γεωργίας, δηλαδή περιορίζεται το πρόβλημα διάθεσης των προϊόντων και παράλληλα εξασφαλίζεται ικανοποιητικό εισόδημα για τους παραγωγούς. Επιπλέον, με την παραγωγή εγχώριων καυσίμων περιορίζεται η εξάρτηση της χώρας μας από τα εισαγόμενα καύσιμα και από τις έντονες διακυμάνσεις στις τιμές των ορυκτών καυσίμων.

Η πρόταση να χρησιμοποιηθεί η βιομάζα στην παραγωγή ενέργειας έχει ελκύσει το ενδιαφέρον πολλών χωρών τα προηγούμενα έτη. Η προοπτική χρησιμοποίησής της αντιμετωπίστηκε πολύ θετικά λόγω του μεγάλου εύρους εφαρμογών των προϊόντων που παράγονται, μέσω διαφορετικών τεχνικών χειρισμού της. Η σωστή διαχείριση του υλικού είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία της εφαρμογής του νέου αυτού ενεργειακού πόρου σε μεγάλη κλίμακα. Η πολιτική που ακολουθείται, για τη διάδοση της χρήσης της βιομάζας, στηρίζεται τόσο σε μελέτες οικονομικής βιωσιμότητας, όσο και σε αρχές της αειφόρου ανάπτυξης, που σημαίνει διατήρηση της περιβαλλοντικής ισορροπίας, αλλά και στήριξη των τοπικών κοινωνιών. Αυτές είναι οι βάσεις και οι στόχοι, οποιουδήποτε χειρισμού που αφορά τη βιομάζα, ως ενεργειακή πηγή.

Η σημασία της βιομάζας για τον ενεργειακό εφοδιασμό μιας περιοχής ή μιας ολόκληρης χώρας γίνεται φανερή, αν αναλογιστεί κανείς, ότι αυτή η πηγή ενέργειας απαντάται παντού, σε αντίθεση με άλλες ενεργειακές πηγές, οι οποίες είναι εύκολα εκμεταλλεύσιμες σε ορισμένες μόνο περιοχές. Η βιομάζα έχει την ιδιότητα να μετατρέπεται με σχετικά απλές διαδικασίες σε υγρό και αέριο καύσιμο, με αποτέλεσμα να αποθηκεύεται και να μεταφέρεται ευκολότερα. Η ιδιότητά της αυτή είναι πολύ σημαντική, αν ληφθεί υπ' όψιν η δυσκολία που παρουσιάζεται στην αποθήκευση της ενέργειας, η οποία παράγεται από άλλες ανανεώσιμες πηγές.

Η διαχείριση της καλλιέργειας με τέτοιο τρόπο, που να μην επιβαρύνει σημαντικά το φυσικό περιβάλλον, είναι πλέον επιτακτική ανάγκη. Σίγουρα σε σχέση με άλλες μορφές ενέργειας, η χρήση της βιομάζας θεωρείται περιβαλλοντικά πολύ περισσότερο φιλική, τόσο για οικιακή χρήση, όσο και για βιομηχανική.

Η καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας προσφέρει την ευκαιρία, για τη διοχέτευση των παραγόμενων προϊόντων σε νέες αγορές, την συνεπακόλουθη εξασφάλιση γεωργικού εισοδήματος, την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής και τη διασφάλιση της κοινωνικής σταθερότητας, εφ' όσον η ανάπτυξη αυτή συνεπάγεται την αύξηση της προσφοράς εργασίας.

Δεν θα πρέπει να αγνοείται η δυνατότητα χρησιμοποίησης της βιομάζας και ως πρώτης ύλης για διάφορες εφαρμογές στη βιομηχανία. Στην Ε.Ε. παρουσιάζεται ανεπάρκεια διάφορων ειδών πρώτων υλών, όπως είναι η ξυλεία και ο χαρτοπολτός. Ένα μέρος της παραγωγής των καλλιεργειών των φυτικών ειδών που αναφέρθηκαν, ή υπολείμματα των καλλιεργειών αυτών, είναι δυνατόν να αποδίδονται για την κάλυψη των αναγκών αυτών.

Σύμφωνα με έρευνα των Ros *et al.* (2009) στην Ολλανδία, η χρήση γεωργικής γης για καλλιέργεια ενεργειακών φυτών με σκοπό την παραγωγή βιοκαυσίμου οδηγεί τόσο σε θετικές όσο και αρνητικές αντιδράσεις, ιδιαίτερα όσον αφορά το θέμα μείωσης της βιοποικιλότητας, τις εκπομπές αερίων από τα εδάφη, τον ανταγωνισμό με την παραγωγή τροφίμων και τις υδατικές ανάγκες. Ο σχεδιασμός ολοκληρωμένων συστημάτων παραγωγής και διάθεσης των προϊόντων της Ενεργειακής Γεωργίας στηρίζεται στην επάρκεια των πόρων για την παράγωγή των επιθυμητών προϊόντων και στην εξασφάλιση τέτοιων οικονομικών συνθηκών, ώστε το προϊόν να είναι ανταγωνιστικό. Ωστόσο η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων παρουσιάζει οριζόντια διάσταση. Αυτό σημαίνει ότι η σωστή προσέγγιση του σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων θα πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν και τις τεχνολογικές, κοινωνικές ή ακόμα και τις πολιτικές παραμέτρους, οι οποίες είναι το ίδιο σημαντικές, με τις προαναφερόμενες.

Η πολιτική παρέμβαση στο θέμα της εισαγωγής των προϊόντων της ενεργειακής γεωργίας στην αγορά είναι σημαντική. Αφού η σχετική επιστημονική έρευνα έχει προσδιορίσει τις κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης ενός ενεργειακού φυτικού είδους, απομένει να καθοριστούν οι αντικειμενικοί στόχοι της καλλιέργειάς του σε μια συγκεκριμένη περιοχή, η έγκυρη πολιτική προσέγγιση, έτσι ώστε να διευκρινιστούν οι πρακτικές λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος, π.χ. τις τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν, το ύψος παραγωγής κ.τ.λ., αλλά ακόμα και οικονομικά μέτρα π.χ. μέτρα στήριξης των επιχειρήσεων.

Η γεωργία στην Ελλάδα αποτελεί σημαντικό τομέα της εθνικής οικονομίας με ποσοστό συμμετοχής 22% επί του Α.Ε.Π και 15% επί της συνολικής απασχόλησης (ΕΣΥΕ, 2011). Η πλούσια τοπογραφία της Ελλάδας καθώς και η μεγάλη ποικιλία των κλιματικών συνθηκών σε διάφορα σημεία της χώρας, επιτρέπουν την καλλιέργεια μεγάλου αριθμού φυτικών ειδών, ανάμεσα στα οποία συγκαταλέγονται και αρκετά ενεργειακά φυτικά είδη. Τα είδη αυτά έχουν δοκιμαστεί στην Ελλάδα, σε διάφορες κλιματικές συνθήκες και σε διαφορετικούς τύπους εδαφών και έχουν επιδείξει καλή προσαρμοστικότητα και υψηλή παραγωγικότητα, με τη χορήγηση σχετικά περιορισμένων ποσοτήτων εισροών. Παρά τις ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στις περισσότερες αγροτικές περιοχές, που λογικά θα έπρεπε να παρουσιάζουν υψηλές αποδόσεις, η ελληνική γεωργία παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό ανάπτυξης και εκσυγχρονισμού, που οφείλεται κυρίως σε ορισμένες ιδιαιτερότητές της. Κατά τη διάρκεια της περιόδου 1987-1993 η συνολική καλλιεργήσιμη έκταση στη χώρα μειώθηκε σε ποσοστό 10,5% ενώ η αντίστοιχη καλλιεργήσιμη έκταση στις υπόλοιπες χώρες της

Ε.Ε. παρέμεινε σταθερή. Κατά τη διάρκεια της περιόδου 1983-1992 η απασχόληση στην Ελλάδα αυξήθηκε ελαφρώς από 3,54 εκατομμύρια πολίτες σε 3,68 εκατομμύρια. Εντούτοις, η γεωργική απασχόληση στη χώρα μειώθηκε σημαντικά πέφτοντας σε ποσοστό 22%.

Σήμερα, υπό την υπάρχουσα Κοινή Αγροτική Πολιτική (Κ.Α.Π) οι Έλληνες αγρότες βασίζονται κυρίως στο παρεχόμενο ποσό επιχορηγήσεων και αποζημιώσεων προκειμένου να διατηρήσουν μία σχετική ισορροπία στο ετήσιο γεωργικό τους εισόδημα. Η εμπειρία έδειξε ότι η πολιτική αυτή οδήγησε α) στην ανικανότητα προσαρμογής των αγροτών σε νέες πιο επικερδείς και προσοδοφόρες καλλιέργειες, β) στην έλλειψη ποιοτικών προτύπων και ανταγωνιστικότητας των παραγόμενων προϊόντων τους, γ) στην έλλειψη διαπραγματευτικής ικανότητας και τη μείωση της αγοραστικής τους δύναμης και δ) την αβεβαιότητα για το μέλλον (πιθανή αλλαγή πολιτικής στο καθεστώς των επιχορηγήσεων). Η ένταξη περιοχών αποκλειστικά και μόνον για ενεργειακούς σκοπούς, με βάση την παραγωγή ξηρής βιομάζας, θα οδηγούσε σε σημαντική κοινωνική και οικονομική αναδιάρθρωση του γεωργικού τομέα σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο.

Θέτοντας ως στόχο την οικονομική βιωσιμότητα των ενεργειακών καλλιεργειών στο πλαίσιο της νέας Κ.Α.Π. ενδείκνυται: α) να εφαρμοστεί μία παρόμοια πολιτική επιδότησης ανάλογη των δημητριακών για τα πρώτα τουλάχιστον χρόνια, β) να δοθεί επί πλέον ενθάρρυνση στους αγρότες μέσω των συνεταιρισμών, στους οποίους ανήκουν και γ) κρατική υποστήριξη με τη μορφή νομοθετικού πλαισίου που διέπει σήμερα τους «νέους αγρότες».

Οι εφαρμογές της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα αποτελούν ήδη σημαντικό τμήμα της εθνικής στρατηγικής, που αφορούν στην προώθηση των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα. Ήδη, δημιουργήθηκαν εγκαταστάσεις, που δραστηριοποιούνται στον τομέα αυτό, και αναμένονται νέες μεγαλύτερες επενδύσεις στο άμεσο μέλλον. Οι προβλέψεις αυτές βασίζονται στην ανάγκη για τη διαφοροποίηση των καλλιεργειών, την ανάπτυξη του αγροτικού και περιφερειακού χώρου, τον περιορισμό των περιβαλλοντικών πιέσεων και την επίτευξη της ενεργειακής ανεξαρτησίας.

1.6 Σκοπός της εργασίας

Με βάση τα ανωτέρω, σημαντικό ενδιαφέρον διαφαίνεται στην εισαγωγή, στα υπάρχοντα καλλιεργητικά συστήματα, εκείνων των φυτών που θα συμβάλλουν στην προώθηση της αειφορίας των αγροτικών συστημάτων, μέσω της εκμετάλλευσης των διαθέσιμων φυσικών πόρων και του περιορισμού των εφαρμοζόμενων εισροών στο σύστημα χρήσης γης. Η αποδοτικότητα χρήσης Ν σε οργανική και ανόργανη μορφή σε σχέση με την παραγόμενη βιομάζα αποτελεί σημείο αναφοράς.

Κύριο σκοπό της παρούσας έρευνας αποτελεί η διερεύνηση της επίδρασης της εμβόλιμης καλλιέργειας ενός ψυχανθούς στην αύξηση, ανάπτυξη και παραγωγικότητα απαιτητικών εαρινών μονοκαλλιεργειών, όπως ο αραβόσιτος και ο ηλίανθος στην Κ. Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η αύξηση και ανάπτυξη του μπιζελιού (*Pisum sativum* L.), σε δύο διαφορετικούς τύπους εδαφών (αμμώδες και αργιλώδες), και σε δύο καλλιεργητικά συστήματα: α) ως συμμετέχουσα καλλιέργεια σε εντατικής μορφής σύστημα αμειψισποράς για τη συγκομιδή καρπού πριν την επίσπορη εαρινή καλλιέργεια, και β) ως χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση την περίοδο της ανθοφορίας, πριν την επόμενη επίσπορη εαρινή καλλιέργεια του αραβόσιτου (*Zea mays* L.) και του ηλίανθου (*Helianthus annuus* L.) σε τριετή κύκλο αμειψισποράς, σε σχέση με το παραδοσιακό καθεστώς μονοκαλλιέργειας των φυτών αυτών. Στη συνέχεια μελετάται η αύξηση και παραγωγικότητα των εαρινών καλλιεργειών στα παραπάνω καλλιεργητικά συστήματα για διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης, έτσι ώστε να γίνει φανερή η επίδραση της καλλιέργειας του ψυχανθούς στη βασική απορρόφηση και το ποσοστό ανάκτησης του εφαρμοζόμενου (με τη λίπανση) αζώτου στις παραπάνω μεταχειρίσεις.

Δευτερεύοντα σκοπό αποτελεί η διερεύνηση της επίδρασης των καλλιεργητικών συστημάτων με ψυχανθές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των συγκεκριμένων εδαφών, στη βελτίωση της εδαφικής δομής, στη μεταβολή της οργανικής ουσίας και του οργανικού άνθρακα, του κλάσματος C/N, και στην αφομοιωσιμότητα των κύριων θρεπτικών στοιχείων.

Ο σχεδιασμός συστημάτων χρήσης γης που περιλαμβάνουν ενεργοβόρες καλλιέργειες, όπως ο αραβόσιτος και ο ηλίανθος, βασίζεται στην ποσοτική ανάλυση της καταλληλότητας των συγκεκριμένων περιοχών κάτω από τις δεδομένες εδαφοκλιματικές συνθήκες για τις υπό μελέτη καλλιέργειες, και πιο συγκεκριμένα στις πο-

σοτικές εκτιμήσεις των δυναμικών παραγωγής και των απαιτούμενων εισροών για την πραγματοποίησή τους, ώστε να προκύπτουν οι απαιτούμενοι λόγοι κόστους-απόδοσης για την εξεύρεση των βέλτιστων συνδυασμών χρήσης γης.

Πρωτοτυπία της παρούσας έρευνας αποτελεί η διερεύνηση της πορείας του μπιζελιού, όσον αφορά στην απόδοση του σε άζωτο, στις επόμενες ενεργειακές καλλιέργειες – αραβόσιτο, ηλίανθο - σε τριετή αμειψισπορά, σε συγκεκριμένες εδαφοκλιματικές συνθήκες. Η διερεύνηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι τα δεδομένα που αφορούν τέτοια συστήματα παραγωγής είναι ανεπαρκή και αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την Ελλάδα. Η προσπάθεια ολιστικής οπτικής του συστήματος αμειψισποράς που περιλαμβάνει τη μελέτη των παραμέτρων απόδοσης καθώς και των ιδιοτήτων του εδάφους, αποτελεί στόχο για περεταίρω διερεύνηση.

Η αμειψισπορά αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες της αειφορικής γεωργίας και η σε βάθος ποσοτική διερεύνηση των επί μέρους διεργασιών και θετικών της αποτελεσμάτων θεωρείται πλέον επιτακτική ανάγκη.

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ



Πειράματα αγρού
Πειραματικό σχέδιο
Πειραματικές εργασίες υπαίθρου
Μετρήσεις
Μετεωρολογικά δεδομένα και στατιστική ανάλυση

2.1 Πειράματα αγρού

2.1.1 Επιλογή Πειραματικών αγρών

Η επιλογή των πειραματικών αγρών αποτελεί πρωταρχική μέριμνα πριν την εγκατάσταση των πειραμάτων αγρού. Τα πειράματα διεξήχθησαν σε δύο περιοχές της Ανατολικής και της Δυτικής Θεσσαλίας, αντίστοιχα. Σε κάθε περιοχή εγκαταστάθηκαν δύο όμοιοι πειραματικοί αγροί έκτασης ενός στρέμματος έκαστος. Βασικά κριτήρια για την επιλογή τους αποτέλεσε η δυνατότητα κάλυψης των αρδευτικών αναγκών των τριών υπό μελέτη καλλιεργειών, η προηγούμενη χρήση των αγρών και οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών. Η επιλογή ενός γόνιμου (αργιλώδους συστάσεως) και ενός λιγότερο γόνιμου (αμμο-αργιλώδους συστάσεως) εδάφους αφορά στη δυνατότητα μεγαλύτερης γενίκευσης των συμπερασμάτων της έρευνας σε μεγάλο τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας.

Ο πρώτος πειραματικός αγρός βρίσκεται στο Δήμο Τρικκαίων, στην περιοχή Καρυνές, νότια της πόλης των Τρικάλων, κοντά στον Ληθαίο ποταμό, με συντεταγμένες $39^{\circ}32'16.85''\text{N}$, $21^{\circ}46'19.33''\text{E}$ και υψόμετρο 120 μ. Το έδαφος του αγρού είναι σχετικά νεαρής ηλικίας που σχηματίστηκε από πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις. Δεν διαθέτει σχηματισμένους εδαφικούς ορίζοντες και αποτελείται από στρώσεις μητρικού υλικού διαφορετικής σύστασης. Αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα μεγάλων εκτάσεων στο πεδίο πλημμυρών και τα μαιανδρικά πεδία του Πηνειού και των παραποτάμων του, και κατατάσσεται στην τάξη των Entisols (Aquic Xerofluvents; Soil Survey Staff, 1975).

Ο δεύτερος πειραματικός αγρός τοποθετείται νότια της πόλης της Λάρισας, στο Δήμο Κιλελέρ, με συντεταγμένες $39^{\circ}30'02.85''\text{N}$, $22^{\circ}42'50.37''\text{E}$ σε υψόμετρο 60 μ. Χαρακτηρίζεται από γόνιμο αργιλώδες έδαφος, υψηλά ποσοστά μοντμοριλονιτικής αργίλου, βερτικές ιδιότητες και χαρακτηριστικές εξάρσεις λόγω σημαντικών διαστολών και συστολών που υφίσταται κατά τη διαβροχή και την ξήρανσή του. Κατατάσσεται στην κατηγορία των Vertisols (Soil Survey Staff, 1975) και αντιπροσωπεύει μεγάλες εκτάσεις του Θεσσαλικού πεδίου. Στον Πίνακα 2.1 συνοψίζονται οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των υπό μελέτη εδαφών.

Πίνακας 2.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υπό μελέτη εδαφών στους πειραματικούς αγρούς (Ιανουάριος 2007).

| Ιδιότητα | Τρίκαλα | | Λάρισα | |
|---|---------|----------|---------|----------|
| | 0-20 cm | 20-40 cm | 0-20 cm | 20-40 cm |
| Άμμος (%) | 60 | 65 | 2 | 2 |
| Ιλύς (%) | 18 | 16 | 35 | 32 |
| Άργιλος (%) | 22 | 19 | 63 | 66 |
| Χαρακτηρισμός | SCL | SL | C | C |
| Εδαφ. οξύτητα (pH) | 7,2 | 7,6 | 8,0 | 8,6 |
| Ηλ. αγωγιμότητα ($\mu\text{S cm}^{-1}$) | 219 | 202 | 458 | 427 |
| Ολικό N (%) | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 0,08 |
| Οργανική ουσία (%) | 1,3 | 1,2 | 1,5 | 1,3 |
| Διαθέσιμο P (mg kg^{-1}) | 16 | 9 | 18 | 12 |
| Διαθέσιμο K (mg kg^{-1}) | 203 | 177 | 364 | 257 |
| Ολικό CaCO_3 (%) | 4,90 | 1,60 | 34,90 | 30,70 |

2.2 Πειραματικό σχέδιο

Μετά την επιλογή των δύο πειραματικών περιοχών και τη σταθερή οριοθέτηση των αγρών, έγινε η μορφοποίηση των 2 πειραμάτων για κάθε περιοχή. Το πρώτο πείραμα αφορά στην αμειψισπορά μπιζελιού με αραβόσιτο και το δεύτερο, στην αμειψισπορά μπιζελιού με ηλίανθο και για τους δύο πειραματικούς αγρούς.

Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Σχέδιο Υποδιαιρεμένων Τεμαχίων (split-plot design) 4x3x3. Στα κύρια τεμάχια του πειραματικού αγρού εφαρμόστηκαν τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης και στα τρία υποτεμάχια τρεις διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές ως προς το ψυχανθές, πάντα σε τρεις επαναλήψεις (blocks).

Κάθε κύριο τεμάχιο περιελάμβανε όλα τα υποτεμάχια του δεύτερου παράγοντα. Πρώτα έγινε τυχαιοποίηση του κύριου παράγοντα (αζωτούχος λίπανση), στην κάθε επανάληψη και στη συνέχεια έγινε τυχαιοποίηση για τις τρεις μεταχειρίσεις του ψυχανθούς σε κάθε επίπεδο του κύριου παράγοντα. Η ανάλυση παραλλακτικότητας έγινε χωριστά για το κάθε πείραμα.

Ο πειραματικός αγρός για κάθε ενεργειακό φυτό, καταλάμβανε έκταση 11,25 m πλάτους και 75 m μήκους συμπεριλαμβανομένων και δυο διαδρόμων πλάτους 1,5 m έκαστος. Διαιρέθηκε σε τρεις επαναλήψεις (blocks) πλάτους 11,25 m και μήκους 24 m για κάθε μία χωριστά. Κάθε επανάληψη υποδιαιρέθηκε σε τέσσερα ίσα κύρια τεμάχια (plots), πλάτους 11,25 m και μήκους 6 m, στα οποία τυχαιοποιήθηκε η προκαθορισμένη ποσότητα αζωτούχου λίπανσης. Κατόπιν κάθε κύριο τεμάχιο υποδιαιρέθηκε σε τρία ίσα υποτεμάχια (subplots), πλάτους 3,75 m και μήκους 6 m, το καθένα. Με ανεξάρτητη τυχαιοποίηση στο καθένα από τα υποτεμάχια καθορίστηκε και η θέση στο πειραματικό σχέδιο της μεταχείρισης του ψυχανθούς (Σχ. 2.1).

Για τον αραβόσιτο και τον ηλίανθο εφαρμόστηκαν 4 διαφορετικοί χειρισμοί επιπέδων αζωτούχου λίπανσης με βασική λίπανση (μικτό λίπασμα 11-15-15) για την κάλυψη των αναγκών της πρώτης ανάπτυξης των φυτών, και με επιφανειακή λίπανση (με νιτρική αμμωνία : 34,5-0-0) όταν τα φυτά είχαν φτάσει 60-80 cm σε ύψος.

Ηλίανθος

M: Μάρτυρας

- Μεταχείριση M₀: 0 μονάδες N
- Μεταχείριση M₁: 5 μονάδες N

- Μεταχείριση M_2 : 10 μονάδες N (εκ των οποίων οι 5 ως επιφανειακή)
- Μεταχείριση M_3 : 15 μονάδες N (εκ των οποίων οι 5 ως επιφανειακή)

E: Χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση του ψυχανθούς

- Μεταχείριση E_0 : 0 μονάδες N
- Μεταχείριση E_1 : 5 μονάδες N
- Μεταχείριση E_2 : 10 μονάδες N (εκ των οποίων οι 5 ως επιφανειακή)
- Μεταχείριση E_3 : 15 μονάδες N (εκ των οποίων οι 10 ως επιφανειακή)

K: Καρπός (ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του ψυχανθούς)

- Μεταχείριση K_0 : 0 μονάδες N
- Μεταχείριση K_1 : 5 μονάδες N
- Μεταχείριση K_2 : 10 μονάδες N (εκ των οποίων οι 5 ως επιφανειακή)
- Μεταχείριση K_3 : 15 μονάδες N (εκ των οποίων οι 10 ως επιφανειακή)

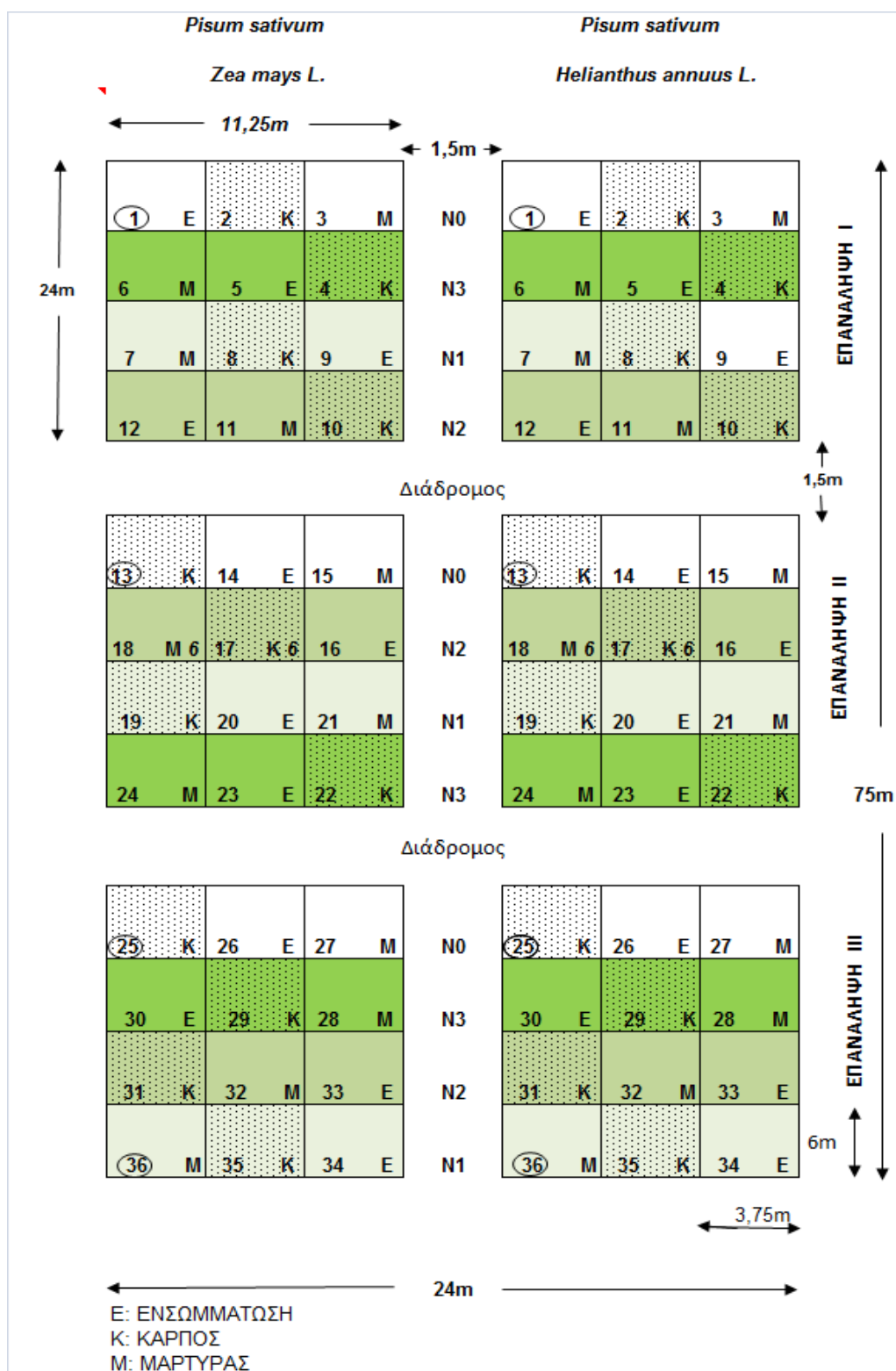
Αραβόσιτος

M: Μάρτυρας

- Μεταχείριση M_0 : 0 μονάδες N
- Μεταχείριση M_1 : 8 μονάδες N
- Μεταχείριση M_2 : 16 μονάδες N (εκ των οποίων οι 8 ως επιφανειακή)
- Μεταχείριση M_3 : 24 μονάδες N (εκ των οποίων οι 16 ως επιφανειακή)

E: Χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση του ψυχανθούς

- Μεταχείριση E_0 : 0 μονάδες N
- Μεταχείριση E_1 : 8 μονάδες N
- Μεταχείριση E_2 : 16 μονάδες N (εκ των οποίων οι 8 ως επιφανειακή)
- Μεταχείριση E_3 : 24 μονάδες N (εκ των οποίων οι 16 ως επιφανειακή)



Σχήμα 2.1. Πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε για τη μελέτη της επίδρασης της αμειψισποράς και της χλωρής λίπανσης στις εδαφικές ιδιότητες και την παραγωγικότητα των καλλιεργειών αραβοσίτου και ηλίανθου στις αγροτικές περιοχές Λάρισας και Τρικάλων, το 2008 και 2009.

K: Καρπός (ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του ψυχανθούς)

- Μεταχείριση K_0 : 0 μονάδες N
- Μεταχείριση K_1 : 8 μονάδες N
- Μεταχείριση K_2 : 16 μονάδες N (εκ των οποίων οι 8 ως επιφανειακή)
- Μεταχείριση K_3 : 24 μονάδες N (εκ των οποίων οι 16 ως επιφανειακή)

Κάθε κύριο τεμάχιο διαιρέθηκε σε 3 υποτεμάχια (subplots), που αντιστοιχούσαν στις διαφορετικές μεταχειρίσεις του ψυχανθούς:

α. μάρτυρας (M) – δεν έγινε εγκατάσταση ψυχανθούς,

β. ενσωμάτωση (E) – ενσωματώθηκε ως χλωρή λίπανση στο στάδιο του 50% της ανθοφορίας του μπιζελιού, και

γ. (K) ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του μπιζελιού και παραγωγή καρπού και για τις δύο πειραματικές επιφάνειες και για τις δύο περιοχές. Τα τεμάχια σε κάθε κύριο τεμάχιο και υποτεμάχιο κατανεμήθηκαν τυχαία.

Ο πειραματικός χρόνος ήταν τριετής. Οι πειραματικοί αγροί εγκαταστάθηκαν το 2007 και για τα επόμενα 3 έτη τα πειραματικά τεμάχια διατηρήθηκαν στην ίδια ακριβώς τοπογραφική θέση. Η επενεγκατάσταση των πειραματικών αγρών στα ίδια όρια επιτεύχθηκε μέσω της οριοθέτησής τους από σταθερά σημεία. Όσον αφορά τη λήψη και την επεξεργασία των δεδομένων μετά το πρώτο έτος της καλλιέργειας (2007) και συγκεκριμένα το 2008 και 2009, δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του υπολειμματικού αζώτου από τη λίπανση των προηγούμενων καλλιεργειών. Αυτό αποτελεί σημαντική πρωτοτυπία της παρούσας εργασίας.

2.3 Πειραματικές εργασίες υπαίθρου

2.3.1 Προετοιμασία αγρών

Οι πειραματικοί αγροί οριοθετήθηκαν με σταθερά σημεία τόσο στην εξωτερική περίμετρο όσο και στα υποτεμάχια της κάθε επανάληψης, έτσι ώστε να παραμείνουν σταθερές οι μεταχειρίσεις με τα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης για να μην προκληθεί αλλοίωση των αποτελεσμάτων. Μέσα στα συγκεκριμένα όρια πραγματοποιήθηκε το πείραμα για 3 συνεχόμενα έτη, από το Δεκέμβριο του 2006 έως και τον Οκτώβριο του 2009. Πριν από τη σπορά, το φθινόπωρο του 2006 πραγματοποιήθηκαν οι βασικές καλλιεργητικές φροντίδες, όπως όργωμα και ψιλοχωμάτισμα του επιφανειακού στρώματος του εδάφους, σύμφωνα με την κρατούσα καλλιεργητική πρακτική. Το όργωμα, βάθους 30 cm με υνιοφόρο άροτρο, πραγματοποιήθηκε μετά τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές, όταν το έδαφος βρισκόταν στην υδατοϊκανότητά του (ρόγο) και ακολούθησε σβάρνισμα για να σχηματιστεί κατάλληλη σποροκλίνη για την τοποθέτηση του σπόρου του μπιζελιού, και τέλος το ψιλοχωμάτισμα με περιστροφικό καλλιεργητή. Οι κατεργασίες έγιναν με τέτοιο τρόπο ώστε το έδαφος των πειραματικών αγρών να είναι κοκκοποιημένο, συμπαγές και με ικανοποιητική υγρασία.

Για τις εαρινές καλλιέργειες, μετά τη συγκομιδή των τεμαχίων για καρπό μπιζελιού, ακολούθησε όργωμα και καλλιεργητής για να παραχωθούν και να κατανεμηθούν ομοιόμορφα τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας και στη συνέχεια έγινε κατεργασία με περιστροφικό καλλιεργητή για τη δημιουργία κατάλληλης σποροκλίνης.

Το πειραματικό υποτεμάχιο (subplot) περιελάμβανε για τα φυτά αραβοσίτου και ηλίανθου 6 γραμμές μήκους 6 m και αποστάσεις φύτευσης 18 cm επί της γραμμής και 75 cm μεταξύ των γραμμών. Η σπορά των δύο φυτών έγινε με πνευματική μηχανή γραμμικών καλλιεργειών. Για το μπιζέλι, οι αποστάσεις φύτευσης ήταν 20 x 10 cm, με 50-60 φυτά στο m² σύμφωνα με τις προτεινόμενες αποστάσεις σποράς του Ινστιτούτου Κτηνοτροφικών Φυτών και Βοσκών στη Λάρισα. Η σπορά έγινε με σπартική μηχανή σιτηρών.

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και σε κάθε πειραματική τοποθεσία καταγράφηκαν τα αγρονομικά χαρακτηριστικά των φυτειών με δειγματοληπτικές κοπές ανά τακτά χρονικά διαστήματα έως την τελική συγκομιδή.

Οι δειγματοληψίες και συγκομιδές έγιναν στις δύο κεντρικές σειρές –προς αποφυγή της επίδρασης του περιθωρίου, side effect- των πειραματικών τεμαχίων με χειροσυλλογή.

Πριν την έναρξη των εργασιών στον αγρό, πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος της βλαστικής ικανότητας στο Βλαστητήριο του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών όπου βρέθηκε βλαστική ικανότητα 95 - 99% και για τα τρία υπό μελέτη φυτά.

2.3.2 Εγκατάσταση καλλιεργειών – Καλλιεργητικές φροντίδες

Λίπανση

Για το μπιζέλι εφαρμόστηκε φωσφορική λίπανση στα πειραματικά τεμάχια της ενσωμάτωσης και της ολοκλήρωσης του βιολογικού του κύκλου και τις τρεις πειραματικές καλλιεργητικές περιόδους, με το αμιγές υπερφοσφορικό λίπασμα 0-50-0. Η λίπανση εφαρμόστηκε ως βασική, πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας, με την ομοιόμορφη κατανομή του λιπάσματος στην επιφάνεια του εδάφους και στη συνέχεια με την ενσωμάτωσή του με ένα ελαφρύ σκάλισμα.

Η εφαρμοζόμενη δόση ανήλθε σε 6 μονάδες πυκνού υπερφοσφορικού λιπάσματος (P_2O_5) ανά στρέμμα. Αναλογικά σε κάθε πειραματικό υποτεμάχιο ενσωματώθηκαν 30 g λιπάσματος.

Ο φώσφορος αποτελεί αναγκαίο στοιχείο για την αύξηση και την αζωτοδέσμευση του μπιζελιού και έχει αποδειχθεί ότι βοηθά στην αύξηση της φυλλικής επιφάνειας, της συνολικής βιομάζας, την παραγωγή καρπού, τη μάζα και τον αριθμό των φυματίων. Οι 6 μονάδες P έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην περιεκτικότητα επί τοις εκατό αζώτου, σε όλα τα φυτικά τμήματα και για τις τρεις ποικιλίες μπιζελιού που εφαρμόστηκαν (Kasturikrishna & Ahlawat, 1999; Yemane & Skjelvag, 2003; Jakobsen, 1985).

Για τον αραβόσιτο εφαρμόστηκε βασική λίπανση (11-15-15), γραμμικά, δίπλα στις γραμμές σποράς σε όλα τα πειραματικά τεμάχια (plots) εκτός του μάρτυρα σε ποσότητες των 181,75 g ανά πειραματικό τεμάχιο. Στο στάδιο ανάπτυξης και συγκεκριμένα του μεταζώματος, όταν τα φυτά απέκτησαν ύψος περί τα 60-80 cm εφαρμόστηκε και επιφανειακή λίπανση με νιτρική αμμωνία (34,5-0-0) στα υποτεμάχια K10, M11, E12, E16, K17, M18, K31, M32, E33 σε ποσότητα 58 g στο καθένα (8 μονάδες

N) και στα υποτεμάχια K4, E5, M6, K22, E23, M24, E34, K35, M36 σε ποσότητα 116 g (κύρια τεμάχια (plots) (16 μονάδες N).

Αποτελέσματα ερευνητών καταγράφουν την άμεση σχέση μεταξύ του ρυθμού αζωτούχου λίπανσης και της αύξησης και παραγωγής σπόρου του αραβοσίτου, καθώς και την ανταπόκριση διαφόρων υβριδίων στη διαθεσιμότητα του N, ώστε να απορροφούν εδαφικό N ή εφαρμοζόμενο οργανικό ή χημικό λίπασμα (Zhang *et al.*, 1993; Jokela & Randall, 1989; McCullough *et al.*, 1994; Perez & Long, 1994).

Για τον ηλίανθο, στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης, εφαρμόστηκε επιφανειακή λίπανση με νιτρική αμμωνία ως εξής: στα υποτεμάχια M7, K8, E9, K19, E20, M21, E34, K35, M36 σε ποσότητα 36,25 g (5 μονάδες N), στα υποτεμάχια K10, M11, E12, E16, K17, M18, K31, M32, E33 σε ποσότητα 72,5 g (10 μονάδες N).

Σπορά

Η ελάχιστη θερμοκρασία βλάστησης των σπόρων του μπιζελιού είναι 5.5-6°C, και το όριο αντοχής των νεαρών φυτών φθάνει τους 0°C, ιδιότητες που δίνουν τη δυνατότητα στην καλλιέργεια να αυξήσει τη βιομάζα της κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η βασική θερμοκρασία (“Threshold” ή “Base temperature”) κυμαίνεται από 0 έως 6°C (Angus *et al.*, 1981; Olivier & Annandale, 1998). Η προτεινόμενη ημερομηνία σποράς για τα Θεσσαλικά δεδομένα είναι αρχές έως μέσα Νοεμβρίου, έτσι ώστε περί μέσα της άνοιξης τα φυτά να βρίσκονται στο φαινολογικό στάδιο της ανθοφορίας, οπότε και παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άζωτο, για την ενσωμάτωσή τους ως χλωρή λίπανση. Η σπορά γίνεται σε βάθος 3 cm για να εξασφαλίζονται οι απαραίτητες συνθήκες υγρασίας για το φύτευμα των σπόρων. Χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία «Όλυμπος» σε ποσότητα 14 kg σπόρου ανά στρέμμα και βάρος χιλίων κόκκων (B.X.K.) 202 g.

Για τον ηλίανθο η προτεινόμενη εποχή σποράς οριοθετείται από τις αρχές Μαρτίου, εφόσον η θερμοκρασία έχει σταθεροποιηθεί σε επίπεδα πάνω από τη βασική θερμοκρασία των 5-8°C και η βλάστηση των σπόρων είναι ταχύτερη σε θερμοκρασίες αέρος 15°C. Στο σύστημα αμειψισποράς που μελετάται, ο χρόνος σποράς καθορίστηκε από το χρόνο συγκομιδής του μπιζελιού (τέλος Μαΐου) και μετατέθηκε στα μέσα Ιουνίου. Λόγω του σχετικά μικρού βιολογικού κύκλου και της όψιμης σποράς του φυτού, η συγκομιδή του πραγματοποιήθηκε περί τα τέλη Σεπτεμβρίου. Η μελέτη του υβριδίου ‘Panter’ επικεντρώθηκε στην ποσότητα του σπόρου σποράς, η οποία έφθασε τα 0,58 kg ανά στρέμμα περίπου, τον πληθυσμό των φυτών, ο οποίος ανήλθε περί τα

7 φυτά/m² και B.X.K.=82,5 g. Η όψιμη εποχή σποράς (σχετικά υψηλές θερμοκρασίες) καθόρισε και το βάθος σποράς στα 3,0-3,5 cm, δεδομένου ότι το μεγαλύτερο βάθος σποράς αυξάνει το χρόνο σποράς – φυτρώματος.

Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να προσδιορίσουν την επίδραση των αγρονομικών χαρακτηριστικών των σπόρων στις τελικές αποδόσεις σε σπόρο και έλαιο. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να έχουν διαφορετική επίδραση στις αποδόσεις της καλλιέργειας, ανάλογα με την εποχή σποράς. Η θερμοκρασία και η φωτοπερίοδος έχει βρεθεί ότι επηρεάζουν και το ολικό ξηρό βάρος των φυτών (Villalobos *et al.*, 1996).

Για τον αραβόσιτο χρησιμοποιήθηκε το αμυλούχο υβρίδιο 36K67 μικρού βιολογικού κύκλου (105 ημερών, FAO 430) και βάρος χιλίων κόκκων (B.X.K.) 287g, σε ποσότητα σπόρου σποράς 2 kg/στρ.

Πίνακας 2.2. Ημερομηνίες σποράς, φυτρώματος, λιπάνσεων, άνθισης και συγκομιδής για τον αραβόσιτο και τον ηλιάνθο στις δύο υπό μελέτη περιοχές, τα έτη 2008 & 2009.

| <u>ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ</u> | | | | |
|--------------------------|---------------|-------------|----------------|-------------|
| | ΛΑΡΙΣΑ | | ΤΡΙΚΑΛΑ | |
| | 2008 | 2009 | 2008 | 2009 |
| Σπορά | 9/06 | 13/06 | 19/06 | 15/06 |
| Φύτρωμα | 14/06 | 19/06 | 25/06 | 21/06 |
| Βασική λίπανση | 15/06 | 15/06 | 20/06 | 16/06 |
| Επιφ. λίπανση | 24/07 | 27/07 | 25/07 | 06/08 |
| Άνθιση 50% | 10/08 | 11/08 | 19/08 | 12/08 |
| Συγκομιδή | 2/10 | 1/10 | 3/10 | 1/10 |
| <u>ΗΛΙΑΝΘΟΣ</u> | | | | |
| | ΛΑΡΙΣΑ | | ΤΡΙΚΑΛΑ | |
| | 2008 | 2009 | 2008 | 2009 |
| Σπορά | 09/06 | 13/06 | 10/06 | 15/06 |
| Φύτρωμα | 16/06 | 20/06 | 17/06 | 22/06 |
| Βασική λίπανση | 10/06 | 14/06 | 19/06 | 16/06 |
| Επιφ. λίπανση | 24/07 | 30/06 | 25/07 | 6/08 |
| Άνθιση 50% | 10/08 | 17/08 | 10/08 | 12/08 |
| Συγκομιδή | 05/10 | 01/10 | 01/10 | 01/10 |

Έλεγχος ζιζανίων

Η καταπολέμηση της αυτοφυούς βλάστησης θεωρείται απαραίτητη, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδρασή της στην ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών και στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους. Κατά συνέπεια, η έναρξη της καλλιέργειας

ας συμβαδίζει με τον έλεγχο του πληθυσμού της. Στους πειραματικούς αγρούς, ο έλεγχος των ζιζανίων στις εαρινές καλλιέργειες επιτεύχθηκε με δύο σκαλίσματα και δύο βοτανίσματα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών (το 1^ο περί τα τέλη Ιουνίου και το 2^ο περί τα μέσα Ιουλίου). Στην καλλιέργεια μπιζελιού μετά τη σπορά εφαρμόστηκε ζιζανιοκτόνο (προμετρίνη) σε αναλογία 1 kg prometryne ανά 3,5 στρέμματα (με 40 kg/στρ ψεκαστικού διαλύματος).

Καταπολέμηση εντόμων

Καταπολέμηση εχθρών πραγματοποιήθηκε μόνον στον αραβόσιτο, αμέσως μετά την παρατήρηση της έναρξης προσβολής από *Sesamia* και στις δύο πειραματικές περιοχές, περί τα μέσα Αυγούστου χρησιμοποιώντας το χημικό σκεύασμα Decis (πυρεθρινοειδές εντομοκτόνο) σε αναλογία 60 cm³ στα 100 lt νερού σε συνδυασμό με το εντομοκτόνο Steward (indoxarb).

Πίνακας 2.3. Ημερομηνίες και ποσότητες άρδευσης (mm) για τον ηλίανθο και τον αραβόσιτο στις δύο υπό μελέτη περιοχές, το 2008 και 2009.

| ΛΑΡΙΣΑ | | | |
|----------------|-----------|-------------|-----------|
| 2008 | mm | 2009 | mm |
| 10/06 | 50 | 21/06 | 50 |
| 17/06 | 50 | 15/07 | 80 |
| 24/06 | 50 | 05/08 | 100 |
| 01/07 | 50 | 17/08 | 100 |
| 08/07 | 50 | 30/08 | 100 |
| 15/07 | 80 | 05/09 | 50 |
| 25/07 | 50 | | |
| 02/08 | 50 | | |
| 10/08 | 20 | | |
| 17/08 | 30 | | |
| ΤΡΙΚΑΛΑ | | | |
| 2008 | mm | 2009 | mm |
| 28/06 | 50 | 20/06 | 50 |
| 10/07 | 50 | 25/06 | 50 |
| 23/07 | 100 | 10/07 | 100 |
| 13/08 | 130 | 09/08 | 130 |
| 07/09 | 120 | 21/08 | 120 |

Άρδευση

Η άρδευση έγινε με καταιονισμό και στις δυο περιοχές. Στις 10 αρδεύσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2008 στη Λάρισα και στις 6 αρδεύσεις του 2009 η παροχή νερού ήταν 25 m³/h , με συνολική κατανάλωση 480 mm. Τις 5 αρδεύσεις που πραγ-

ματοποιήθηκαν στα Τρίκαλα η παροχή νερού ήταν επίσης 25 m³/h, με συνολική κατανάλωση 450 mm και για τα δύο έτη (Πιν. 2.2).

Στο μπιζέλι πραγματοποιήθηκε μια άρδευση με 62 mm στις αρχές Απριλίου με την έναρξη της ανθοφορίας και στα τα τρία πειραματικά έτη.

Ενσωμάτωση χλωρής βιομάζας

Στα πειραματικά τεμάχια της ενσωμάτωσης (Ε) του μπιζελιού στην περίοδο του 50% της άνθησης, περί τα μέσα με τέλη Απριλίου έγινε ενσωμάτωση της χλωρής βιομάζας με αναστροφή με όργωμα και φρέζα. Σημειωτέον ότι το μέγιστο της συγκέντρωσης ολικού Ν στους ιστούς των ψυχανθών παρατηρείται την περίοδο της άνθησης (από την έναρξη έως το ζενίθ της) με ρυθμούς αζωτοδέσμευσης 2,5 kg N/ha την ημέρα (Kumar & Goh, 2000).

Συγκομιδή

Το στάδιο της πλήρους ωρίμανσης του μπιζελιού καθορίζεται από το χαρακτηριστικό χρώμα που παίρνουν οι λοβοί. Όταν το 75% φτάνει στο στάδιο της ωρίμανσης ξεκινά η συγκομιδή.

Ο μεταχρωματισμός της πίσω επιφάνειας της κεφαλής του ηλίανθου από πρασινο-κίτρινο σε καστανο-κίτρινο σηματοδοτεί την έναρξης της συγκομιδής. Η υγρασία του σπόρου κατά τον αλωνισμό κυμαίνεται μεταξύ 15-20%.

Τέλος, για τον αραβόσιτο, η υγρασία του σπόρου κατά τον αλωνισμό κυμαίνεται από 20%.

Η συγκομιδή στους πειραματικούς αγρούς έγινε χειρωνακτικά.

Παράμετροι απόδοσης

Αφορούν κυρίως στην πρωτογενή παραγωγή κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, όπου γίνονται συνεχείς μετρήσεις για την παρακολούθησή της (Ladizinsky & Hymowitz, 1979; Singh *et al.*, 1991; Przybyska *et al.*, 1998).

Στο μπιζέλι έγιναν πέντε δειγματοληψίες φυτών που αφορούσαν στην υπέργεια βιομάζα κατά τα πειραματικά έτη 2008 και 2009.

Στα εαρινά ενεργειακά φυτά πραγματοποιήθηκαν επίσης πέντε δειγματοληψίες φυτών και για τις δύο περιοχές, για τα έτη 2008 και 2009.

2.4 Μετρήσεις

2.4.1. Μετρήσεις αύξησης - ανάπτυξης

Σε κάθε περιοχή, κάθε έτος και για κάθε φυτό έγιναν πέντε δειγματοληψίες φυτών με σκοπό την ανάλυση της αύξησης και της ανάπτυξής τους από τις αρχές Ιουλίου μέχρι και τις αρχές Οκτωβρίου, ανά 15 με 20 ημέρες (Πίν. 2.2, 2.3). Κάθε δειγματοληψία περιελάμβανε την κοπή φυτών που καταλάμβαναν χώρο 2 τρεχόντων μέτρων από τις κεντρικές γραμμές των υποτεμαχίων. Αρχικά γινόταν καταγραφή του χλωρού βάρους όλων των φυτών, στο χωράφι. Στη συνέχεια, επιλέγονταν τέσσερα αντιπροσωπευτικά φυτά από κάθε τεμάχιο (υπόδειγμα) και μεταφέρονταν στο Εργαστήριο, για την καταγραφή των μορφολογικών και λοιπών χαρακτηριστικών τους, όπως το ύψος των φυτών, το ξηρό βάρος των φύλλων, των στελεχών, των καρποφόρων οργάνων (βλαστικά, αναπαραγωγικά όργανα), την τελική ξηρή υπέργεια βιομάζα, ενώ μετά την τελευταία κοπή καταγράφηκαν ο αριθμός των σπόρων ανά σπάδικα και κεφαλή, το βάρος των σπερμάτων, το υπόλειμμα του καρποφόρου οργάνου, η διάμετρος της κεφαλής, και το μήκος του σπάδικα. Η ξήρανση των δειγμάτων γινόταν σε ξηραντήριο σε θερμοκρασία 80°C. Η ξήρανση θεωρούνταν περατωμένη, όταν δεν μεταβαλλόταν το βάρος των δειγμάτων από την προηγούμενη μέτρηση, μετά την παρέλευση μιας ημέρας.

Επίσης προσδιοριζόταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας κάθε πειραματικού τεμαχίου με μέτρηση της επιφάνειας φύλλων του υποδείγματος. Η αναγωγή της φυλλικής στο 1m² γινόταν μέσω του καταγεγραμμένου βάρους των φύλλων των τεσσάρων φυτών και της συνολικής ποσότητας του δείγματος.

Το βάρος της παραγόμενης βιομάζας αποτελεί άμεσο δείκτη για τον υπολογισμό της απόδοσης της καλλιέργειας. Η απόδοση (yield) αποτελεί την κορύφωση των διαδοχικών σταδίων ανάπτυξης του φυτού, τα οποία καθορίζονται από γενετικούς, κλιματικούς και εδαφολογικούς παράγοντες, αλλά και βιοτικούς, όπως ασθένειες και έντομα (Thompson & Taylor, 1982).

Η σταθερότητα της παραγωγής αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα, όσο και η απόδοση, και είναι δύσκολο να επιτευχθεί, γιατί εξαρτάται από πολλούς γενετικούς παράγοντες.

Πίνακας 2.4. Ημερομηνίες δειγματοληψίας ηλίανθου (J.D.=Ιουλιανές ημέρες, G.D.D=βαθμο-ημέρες – °C-d, D.A.E (ΗΜΦ)=ημέρες μετά το φύτευμα) για τις δύο περιοχές μελέτης.

| | ΗΛΙΑΝΘΟΣ | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | ΛΑΡΙΣΑ | | ΤΡΙΚΑΛΑ | |
| | 2008 | 2009 | 2008 | 2009 |
| 1 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 16/7/2008 | 12/7/2009 | 17/7/2008 | 14/7/2009 |
| J.D. | 199 | 193 | 200 | 195 |
| GDD | 711,58 | 447,81 | 716,3 | 481,2 |
| DAE | 33 | 23 | 31 | 23 |
| 2 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 28/7/2008 | 27/7/2009 | 31/7/2008 | 28/7/2009 |
| J.D. | 209 | 208 | 214 | 209 |
| GDD | 914,565 | 774,36 | 1008 | 811,2 |
| DAE | 43 | 38 | 45 | 37 |
| 3 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 13/8/2008 | 25/8/2009 | 15/8/2008 | 24/8/2009 |
| J.D. | 225 | 237 | 229 | 236 |
| GDD | 1237,065 | 1355,775 | 1334,1 | 1398,3 |
| DAE | 59 | 67 | 60 | 64 |
| 4 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 5/9/2008 | 8/9/2009 | 1/9/2008 | 6/9/2009 |
| J.D. | 248 | 251 | 246 | 249 |
| GDD | 1703,365 | 1622,015 | 1707,75 | 1661,6 |
| DAE | 82 | 81 | 77 | 77 |
| 5 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 5/10/2008 | 1/10/2009 | 1/10/2008 | 24/9/2009 |
| J.D. | 278 | 274 | 276 | 267 |
| GDD | 2152,36 | 1967,455 | 2167,65 | 1965,7 |
| DAE | 112 | 104 | 107 | 95 |

Πίνακας 2.5. Ημερομηνίες δειγματοληψίας αραβοσίτου (J.D.=Ιουλιανές ημέρες, G.D.D ($^{\circ}\text{C-d}$)=βαθμο-ημέρες, D.A.E (ΗΜΦ)=ημέρες μετά το φύτευμα) για τις δύο περιοχές.

| ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ | | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | ΛΑΡΙΣΣΑ | | ΤΡΙΚΑΛΑ | |
| | 2008 | 2009 | 2008 | 2009 |
| 1 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 15/7/2008 | 12/7/2009 | 16/7/2008 | 14/7/2009 |
| J.D. | 196 | 193 | 199 | 195 |
| GDD($^{\circ}\text{C-d}$) | 542,2 | 346,1 | 398,6 | 376,2 |
| DAE | 33 | 23 | 22 | 24 |
| 2 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 29/7/2008 | 27/7/2009 | 30/7/2008 | 28/7/2009 |
| J.D. | 210 | 208 | 213 | 209 |
| GDD($^{\circ}\text{C-d}$) | 757,7 | 597,6 | 619,1 | 636,2 |
| DAE | 47 | 38 | 36 | 38 |
| 3 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 13/8/2008 | 10/8/2009 | 12/8/2008 | 11/8/2009 |
| J.D. | 225 | 222 | 226 | 223 |
| GDD($^{\circ}\text{C-d}$) | 985,6 | 817,1 | 833 | 869,2 |
| DAE | 62 | 52 | 49 | 52 |
| 4 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 5/9/2008 | 6/9/2009 | 6/9/2008 | 7/9/2009 |
| J.D. | 248 | 249 | 251 | 250 |
| GDD($^{\circ}\text{C-d}$) | 1336,9 | 1211,3 | 1249,7 | 1296,2 |
| DAE | 85 | 79 | 74 | 79 |
| 5 ^η Δειγματοληψία | | | | |
| | 2/10/2008 | 1/10/2009 | 3/10/2008 | 1/10/2009 |
| J.D. | 275 | 274 | 278 | 274 |
| GDD($^{\circ}\text{C-d}$) | 1611,5 | 1460,7 | 1498,3 | 1582,3 |
| DAE | 112 | 104 | 101 | 103 |

Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου η απόδοση των φυτών υπολογιζόταν με το θερισμό της υπέργειας βιομάζας. Κατά το θερισμό λαμβανόταν η βιομάζα ολόκληρου του φυτού (και για τις 3 καλλιέργειες), ακόμη και αυτή που συνήθως έχει πέσει στην επιφάνεια του εδάφους με τη μορφή φύλλων. Η παραγόμενη βιομάζα χωριζόταν σε βλαστικά (βλαστοί και φύλλα) και αναπαραγωγικά τμήματα (σπάδικες, κε-

φαλές, λοβοί). Όλα τα δείγματα ξηραίνονταν στους 80°C για 48 ώρες (Mooney *et al*, 1986) και ζυγίζόταν το καθένα ξεχωριστά.

Βλαστικά όργανα: Η απόδοση των βλαστικών οργάνων υπολογίζεται για να προσδιοριστεί η συνεισφορά και ο ρόλος της στη μορφοποίηση της συνολικής απόδοσης.

Σπέρματα - Λοβοί: Η απόδοση των σπερμάτων είναι αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων που καθορίζονται σε διάφορα στάδια. Υπάρχει υψηλή θετική συσχέτιση της παραγωγής σπερμάτων και της συνολικής υπέργειας βιομάζας (Mwanamwenge *et al*, 1999).

Δείκτης συγκομιδής. Η σχέση μεταξύ της οικονομικής απόδοσης και της συνολικής ή βιολογικής απόδοσης εκφράζεται ως δείκτης συγκομιδής (HI) και έχει προσδιοριστεί ως ο λόγος της οικονομικής απόδοσης, προς την απόδοση της συνολικής παραγόμενης βιομάζας, στο στάδιο της πλήρους ωρίμανσης (Ludlow & Muchow, 1990). Ο δείκτης συγκομιδής, μεταξύ άλλων εξαρτάται από τη σχετική αναλογία της βιομάζας, πριν και μετά την άνθηση, καθώς και τη μεταφοράς των αφομοιώσιμων στοιχείων πριν την άνθηση, προς το σχηματισμό καρπών (Lopez-Bellido *et al*, 1997; Ludlow & Muchow, 1990). Επίσης ο HI επηρεάζεται σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την εποχή σποράς και την υδατική καταπόνηση ιδιαίτερα στο στάδιο μετά την άνθηση (Passioura, 1977).

Φαινολογία

- Σε κάθε περιοχή, κάθε έτος και για κάθε φυτό καταγράφηκαν και τα εξής:
- Αριθμός ημερών έως την εμφάνιση των πρώτων φυτών (50% του φυτρώματος)
- Αριθμός ημερών έως την έναρξη της άνθησης (50% της άνθησης)
- Αριθμός ημερών για κάθε ημερομηνία κοπής των φυτών (destructive cuts)
- Αριθμός ημερών έως την τελική συγκομιδή

Οι ημέρες μετρήθηκαν ως Ιουλιανές ημέρες (Julian days), αλλά και ως βαθμοημέρες °C-d (Thermal unit, TSUM) υπολογίζοντας τη βασική θερμοκρασία έναρξης για τις τρεις καλλιέργειες και τη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία ημέρας σύμφωνα με τον τύπο:

$$TSUM = \sum \left[\left(T_{MAX} + \frac{T_{MIN}}{2} \right) \right] - T_0$$

στοιχεία:

όπου TMAX, TMIN και TO είναι αντίστοιχα η μέγιστη ημερήσια, η ελάχιστη ημερήσια και η βασική θερμοκρασία. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία για το μπιζέλι, η βασική θερμοκρασία κυμαίνεται στους 0-6⁰C, για τον αραβόσιτο και για τον ηλίανθο 10⁰C και 5⁰C, αντίστοιχα (Δαναλάτος, 2005).

Αρχιτεκτονική της βλάστησης

Ύψος κόμης: Το ύψος των φυτοκοινοτήτων χρησιμοποιείται ως έμμεσο μέτρο για την εκτίμηση της ανάπτυξης της βλάστησης (Sau & Minguez, 2000). Το μέγιστο ύψος, στο οποίο θα φτάσει η κόμη καθορίζεται από το γενότυπο αλλά και το κλίμα (Crawley, 1986).

Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI): Η συνολική επιφάνεια των φύλλων ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους, καλείται δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI: Leaf area index), και όπως έχει προταθεί από το Watson (1958), αποτελεί το καλύτερο μέτρο της ικανότητας της καλλιέργειας για την παραγωγή ξηράς ουσίας. Πολλές φορές χαρακτηρίζεται και ως «αναπαραγωγικό κεφάλαιο». Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) αποτελεί μια έμμεση εκτίμηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας, δεδομένου ότι περισσότερη βιομάζα παραπέμπει σε μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια. Η τιμή του εξαρτάται από το ποσό του φωτός που διαπερνά τη φύλλωμα και φτάνει στο έδαφος. Η ποικιλότητα στη συνολική φυλλική επιφάνεια ενός φυτού ενδέχεται να οφείλεται στις μεταβολές του αριθμού και του μεγέθους των φύλλων. Ο δείκτης ποικίλει ανάλογα με τα είδη που συνιστούν τη βλάστηση και κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης, η τιμή του σχετίζεται με την ικανότητα των χαμηλότερων στρωμάτων του φυλλώματος, να απορροφούν ικανό ποσό φωτός για τη διατήρηση ενός θετικού ισοζυγίου του C (Beadle, 1987).

Η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας έγινε με τον αυτόματο μετρητή φύλλων LI-COR model LI-3000A.

Ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA-Specific leaf area): Η SLA αντιπροσωπεύει τη συνολική φυλλική επιφάνεια ανά μονάδα ξηρού βάρους της φυλλικής μάζας. Πρόκειται για μορφολογικό χαρακτηριστικό που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ένταση ακτινοβολίας και το σχετικό στάδιο ανάπτυξης. Η SLA και ο LAI συνδέονται με τη σχέση:

$$LAI = SL * SLA * 10^{-4}$$

όπου SL είναι το ξηρό βάρος των (πράσινων) φύλλων (kg ha^{-1})

2.4.2 Χαρακτηριστικά του εδάφους

Η δειγματοληψία πριν την εγκατάσταση του πειραματικού αγρού πραγματοποιείται σε τέσσερα σημεία της πειραματικής επιφάνειας, αφού έχει προηγηθεί η χάραξή τους, ώστε να είναι δυνατή η λεπτομερέστερη σύγκριση των εδαφικών δειγμάτων. Η εξασφάλιση αντιπροσωπευτικότερων δειγμάτων αποτελεί το σπουδαιότερο συντελεστή αντικειμενικής και αμερόληπτης έρευνας (Φασούλας, 1992), γι' αυτό και τα δείγματα που συλλέγονται είναι τυχαία.

Για τον προσδιορισμό των αρχικών συνθηκών του εδάφους συλλέχθηκαν δείγματα σε δύο βάθη i) 0-20 cm, και ii) 20-40 cm. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκε προεργασία πριν τη μέτρηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, η οποία περιελάμβανε αεροζήρανση, κονιορτοποίηση και κοσκίνιση. Η τελευταία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση κόσκινων με κυκλικές οπές διαμέτρου 2 mm και 0,2 mm.

Η ίδια ακριβώς δειγματοληψία επαναλήφθηκε με το τέλος του πειράματος αμειψισποράς των καλλιεργειών, το φθινόπωρο του 3^{ου} πειραματικού έτους και μετρήθηκαν ξανά οι χημικές ιδιότητες του εδάφους. Η δειγματοληψία αυτή αποσκοπούσε στον προσδιορισμό των βιοχημικών αλλαγών που προκύπτουν από την αποσύνθεση της υπόγειας βιομάζας (ενσωμάτωσης και ολοκλήρωσης του βιολογικού κύκλου του ψυχανθούς) που παρέμεινε στο έδαφος.

Για κάθε εδαφικό δείγμα προσδιορίστηκε η δομή, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, οργανικό άνθρακα, ολικό άζωτο, ο λόγος C/N, και οι περιεκτικότητες φώσφορου και καλίου.

Φυσικές ιδιότητες του εδάφους

Μηχανική σύσταση του εδάφους

Η Μηχανική σύσταση του εδάφους αποτελεί αμετάβλητο εδαφικό χαρακτηριστικό εκτός αν ληφθούν δραστικά μέτρα που συνήθως δεν εφαρμόζονται σε γεωργική κλίμακα. Η κοκκομετρική (μηχανική) σύσταση του εδάφους επηρεάζει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί νερό και θρεπτικά και παρέχει πληροφορίες για την ευκολία της μηχανικής κατεργασίας των εδαφών, καθώς και την ύπαρξη πιθανών προβλη-

μάτων αρδεύσεως και λιπάνσεως (Μήτσιος, 2001). Τα τρία κλάσματα της λεπτής γης έχουν διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες.

Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής ή μηχανικής σύστασης του εδάφους χρησιμοποιείται η μέθοδος Bouyoucos (1962), η οποία στηρίζεται στη χρήση ειδικά βαθμολογημένων πυκνόμετρων, τα οποία δίνουν απευθείας την τιμή διαφόρων μηχανικών κλασμάτων του δείγματος. Η επεξεργασία των δειγμάτων για τη μηχανική ανάλυση περιλαμβάνει το χημικό διαμέρισμά τους, με την εφαρμογή της μεθόδου αλκαλικής υδρόλυσης του Na_2CO_3 και έκπλυση με πυκνό διάλυμα μεθυλικής αλκοόλης. Τέλος, γίνεται διόρθωση των αποτελεσμάτων ως προς τη θερμοκρασία (Παπαμίχος & Αλιφραγκής, 1985). Η παράμετρος προσδιορίζεται δύο φορές, μία φορά κατά την εγκατάσταση του πειραματικού αγρού, και μία στο τέλος των πειραμάτων, στο συνολικό εδαφικό δείγμα των 40 cm. Μονάδες: (%).

Εδαφική δομή

Για τη γρηγορότερη και ευκολότερη ταξινόμηση εδαφών σύμφωνα με τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, έχουν δημιουργηθεί διάφορα είδη τεστ. Στόχος αυτών αποτελεί η περιγραφή των μηχανισμών αποδόμησης των συσσωματωμάτων, οι οποίοι συμβαίνουν κάτω από συνθήκες πραγματικής βροχής.

Η τεχνική της υγρής κοσκίνησης περιλαμβάνει μια μεγάλη ομάδα από τεστ και προσιδιάζει καλύτερα στις Μεσογειακές συνθήκες, γιατί προσομοιώνει τους κύριους μηχανισμούς αποδόμησης των συσσωματωμάτων κάτω από αυτές τις συνθήκες, που είναι η απότομη ύγρανση των αεροξηραθέντων συσσωματωμάτων και η επίδραση της κρούσης των σταγόνων της βροχής, αφού στις περιοχές αυτές τα επιφανειακά εδάφη είναι ξηρά για το μεγαλύτερο μέρος του έτους και οι βροχές είναι έντονες. Από αυτή την ομάδα των τεστ χρησιμοποιήθηκε αυτό των Valmis *et al.* (1988). Η συγκεκριμένη μέθοδος καταλήγει στον υπολογισμό ενός δείκτη αστάθειας β των συσσωματωμάτων, σύμφωνα με την εξής διαδικασία:

Συγκεκριμένη ποσότητα μάζας αεροξηραθέντων συσσωματωμάτων (W_a), διαμέτρου 2.00-4.75 mm, τοποθετείται σε κόσκινο με οπές διαμέτρου 0.25 mm.

1. Το δείγμα βυθίζεται στο νερό για 3 min (προύγρανση) και κατόπιν ρυθμίζεται να πάλλεται στο νερό για 4 min (υγρή κοσκίνιση).
2. Μετά από 4 min παλινδρόμησης, τα εδαφικά σωματίδια που έμειναν στο κόσκινο συλλέγονται και ζυγίζονται (W_i) ύστερα από ξήρανση σε φούρνο στους 110°C .

3. Η ξηρή μάζα των σωματιδίων μεγέθους άμμου (≥ 0.25 mm) στο έδαφος που παραμένει στο κόσκινο προσδιορίζεται στη συνέχεια μετά από διασπορά (W_s). Ο δείκτης εδαφικής αστάθειας β υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\beta = ((\log(W_a - W_s) - \log(W_i - W_s))/2) \quad (\text{Valmis } et al., 1988)$$

και δείχνει τη σταθερότητα που παρουσιάζουν τα συσσωματώματα με διάμετρο μεταξύ 2 mm και 4,7 mm στη δράση του νερού (Valmis *et al.*, 1988; Valmis *et al.*, 2005; Argyrokastritis *et al.*, 2002; Dimoyannis *et al.*, 1998).

Ο δείκτης αστάθειας β μεταβάλλεται από 0 μέχρι 1. Σε αυξανόμενες τιμές του β , η αστάθεια των συσσωματωμάτων των αδρανών υλικών του εδάφους αυξάνεται και αντιστρόφως, με τη μέγιστη τιμή 1 να αντιστοιχεί σε απόλυτα ασταθή εδαφική δομή, και την ελάχιστη τιμή 0, σε απόλυτα σταθερή.

Χημικές ιδιότητες του εδάφους

Ολικό άζωτο

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης, κατά Kjeldhal (Bremner & Mulvaney, 1982). Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει δύο βήματα: 1) την καύση του δείγματος ώστε να μετατραπεί το οργανικό N σε NH_4^+ -N με την παρουσία πυκνού H_2SO_4 και καταλυτών και 2) τον προσδιορισμό του NH_4^+ -N. Το NH_4^+ -N συνήθως προσδιορίζεται με τη συλλογή της NH_3 που απελευθερώνεται από την απόσταξη και της ανάλυσης του αποστάγματος για NH_4^+ -N, συνήθως μέσω τιτλοδότησης. Για την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου χρησιμοποιείται έδαφος σε πολύ λεπτό διαμερισμό (κόσκινο 0,2 μm) και απαλλαγμένο από κάθε είδους ριζίδια. Μονάδες: ποσοστό (%).

Οργανική ουσία

Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας του εδάφους πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης, Walkley – Black (1934).. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ο C της οργανικής ουσίας οξειδώνεται από ένα οξειδωτικό μέσο που είναι συνήθως το διχρωμικό κάλι. Η οργανική ουσία (%) υπολογίζεται με τον πολλαπλασιασμό του % άνθρακα επί τον αριθμό 1,724. Η τιμή αυτή προκύπτει από την παραδοχή, ότι ένα

έδαφος με καλά χουμοποιημένη την οργανική ουσία περιέχει 58% άνθρακα. Για την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου χρησιμοποιείται έδαφος σε πολύ λεπτό διαμερισμό και απαλλαγμένο από κάθε είδους ριζίδια.

Ο λόγος C/N: Ο υπολογισμός του λόγου έγινε σύμφωνα με τον τύπο: $C/N = \text{org. C} / N_{\text{ολ}}$

Περιεκτικότητα σε εκχυλίσσιμο φώσφορο

Η εκχύλιση του φωσφόρου γίνεται σε διάλυμα 0.5 M NaHCO₃ και pH περίπου 8.5. Μετά την εκχύλιση ακολουθεί διήθηση με ηθμό Whatman. Ο προσδιορισμός του εκχυλίσσιμου φωσφόρου έγινε με τη μέθοδο «μπλε του Μολυβδαινίου», που όπως αναφέρεται είναι η πιο συνηθισμένη και η πιο διαδεδομένη (Olsen and Sommers, 1982). Το μολυβδαινικό αμμώνιο [(NH₄)Mo₇O₂₄*4H₂O] και το καλιούχο αντιμόνιο του τρυγικού οξέος (KsbO*C₄H₄O₆) αντιδρούν μέσα σε όξινο περιβάλλον με τα ορθοφωσφορικά ιόντα και σχηματίζουν ένα ετεροπολικό οξύ, το φωσφομολυβδαινικό οξύ, το οποίο όταν αναχθεί με την προσθήκη του ασκορβικού οξέος χρωματίζεται έντονα μπλε. Ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε χρωματομετρικά στα 890 nm (Olsen & Sommers, 1982).

Ανταλλάξιμο Κάλιο

Για τον προσδιορισμό του ανόργανου διαθέσιμου καλίου πραγματοποιήθηκε εκχύλιση με τη μέθοδο του αμμωνιακού εστέρα (NH₄Ac). Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του στοιχείου μετά την εκχύλιση πραγματοποιείται φλωγομετρικά (Παπαμίχος & Αλιφραγκής, 1985, Page *et al.*, 1982). Η μέτρηση πραγματοποιείται στα 766,5 nm. Μονάδες: Συγκέντρωση mg/kg εδάφους (ppm).

2.5. Μετεωρολογικά δεδομένα και στατιστική ανάλυση

Τα μετεωρολογικά δεδομένα για το Σωτήριο Λάρισας προέρχονται από αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών που εγκαταστάθηκε στον πειραματικό αγρό. Ο σταθμός ήταν εξοπλισμένος με τους κατάλληλους αισθητήρες και κατέγραφε ανά δεκάλεπτο τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία του, την ηλιακή ακτινοβολία, την ένταση του ανέμου και τη βροχόπτωση. Η ανάκτηση των δεδομένων γινόταν ανά τρίμηνο από το καταγραφικό αρχείο του μετεωρολογικού σταθμού (data logger) και η περαιτέρω επεξεργασία έγινε με το υπολογιστικό φύλλο Microsoft – Excel.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα για τα Τρίκαλα προέρχονται από το σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας που είναι εγκατεστημένος σε απόσταση 200 μ. από τον πειραματικό αγρό (περιοχή Καρυές) και αποκτήθηκαν μετά από αίτηση στην Ε.Μ.Υ). Τα δεδομένα προήλθαν από οκτάωρες καταγραφές και αφορούν στις ίδιες παραμέτρους. Οι μέσες τιμές δεκαημέρων θερμοκρασίας και υετού της τελευταίας δεκαετίας αποκτήθηκαν από την Ε.Μ.Υ.

Για τη στατιστική και τη μελέτη των αποτελεσμάτων έγινε ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA). Χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο MSTAT, (Michigan State University, 1982), και το λογιστικό Microsoft – Excel. Η ανάλυση παραλλακτικότητας έγινε για τον προσδιορισμό στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των επιπέδων και των μεταχειρίσεων που μελετήθηκαν. Χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (ΕΣΔ) μεταξύ των επιπέδων των μεταχειρίσεων.

Η επιλογή του πειραματικού σχεδίου των τυχαιοποιημένων ομάδων τεμαχίων με κύρια τεμάχια και υποτεμάχια (split – plot design) επιλέχθηκε για τη διερεύνηση της επίδρασης των δύο παραγόντων (μεταχείριση ψυχανθούς, επίπεδα αζωτούχου λίπανσης) καθώς και την αλληλεπίδραση αυτών στις μεταβλητές της αύξησης και ανάπτυξης του μπιζελιού, αραβοσίτου και ηλίανθου όπως και σε ορισμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Το σχέδιο αυτό επιλέχθηκε για να είναι τα δείγματα αντιπροσωπευτικά.

Για την εύρεση της σχέσης που συνδέει δύο μεταβλητές και την περιγραφή αυτής της σχέσης υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης, ο οποίος περιγράφει την ισχυρότητα της σχέσης δύο μεταβλητών.

Παρακάτω συνοψίζονται οι βαθμοί ελευθερίας και οι πηγές παραλλακτικότητας στο πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε.

Πίνακας ANOVA

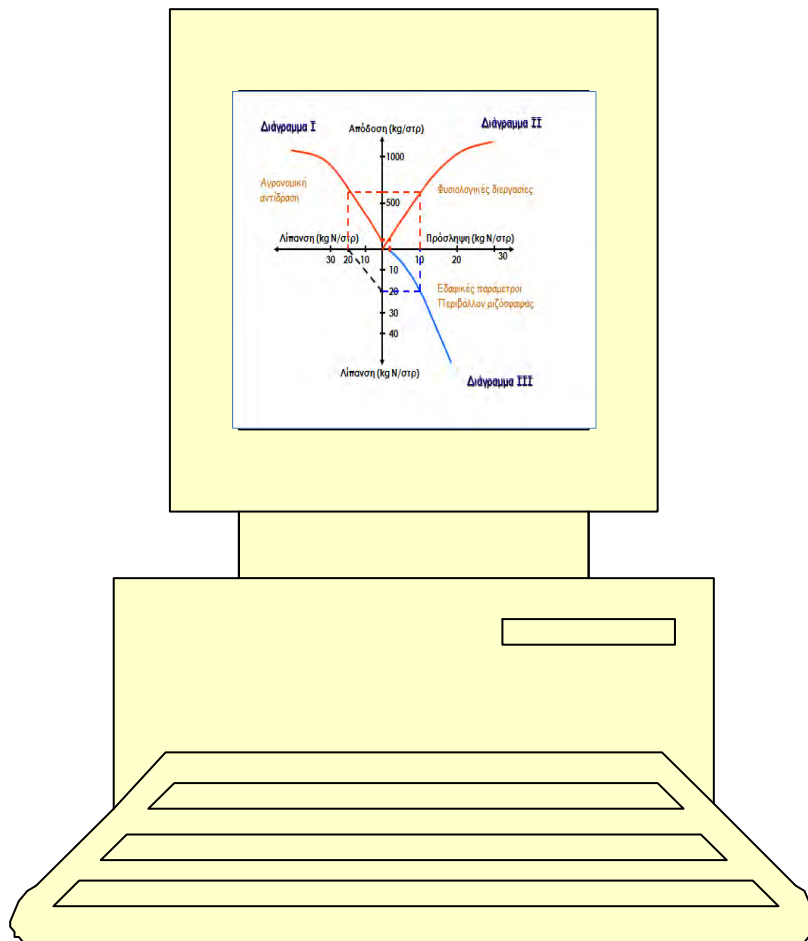
| <i>Πηγή παραλλακτικότητας</i> | <i>B.E</i> |
|----------------------------------|------------|
| Επαναλήψεις | 2 |
| Επίπεδα Νούχου λίπανσης | 3 |
| Σφάλμα 1 | 6 |
| Μεταχειρίσεις ψυχανθούς | 2 |
| Επίπεδα Νούχου λίπανσης x | 6 |
| Μεταχειρίσεις ψυχανθούς | |
| Σφάλμα 2 | 16 |
| Σύνολο | 35 |

Επαναλήψεις = 3

Επίπεδα Νούχου λίπανσης = 4

Μεταχειρίσεις ψυχανθούς = 3

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Κλιματικές συνθήκες

Καλλιέργεια μπιζελιού: παραγωγή καρπού/χλωρά λίπανση

Καλλιέργεια ηλίανθου

Καλλιέργεια αραβοσίτου

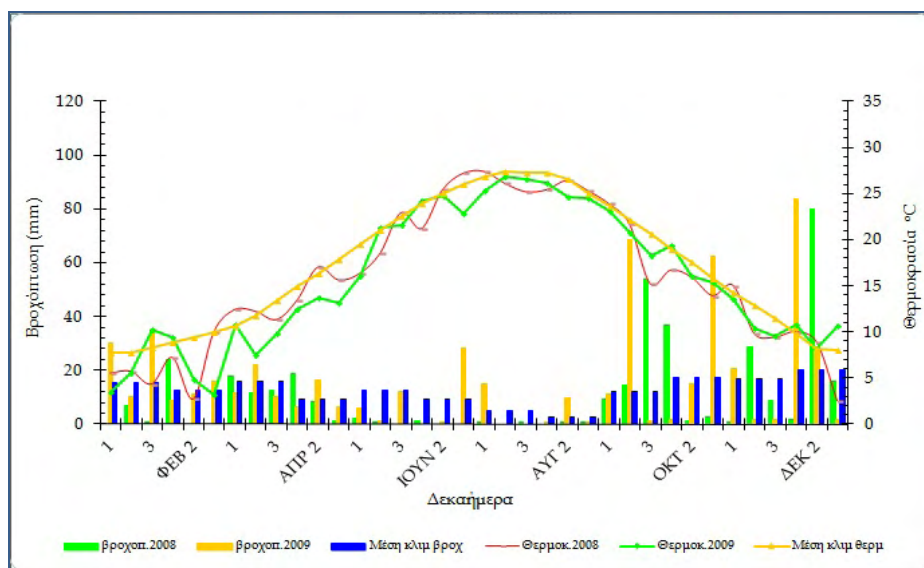
Επίδραση της διαχείρισης του ψυχανθούς στην προσρόφιση N και την τελική απόδοση

Επίδραση της διαχείρισης του ψυχανθούς στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους

Σύγκριση οικονομικών ισοζυγίων (Farm budget)

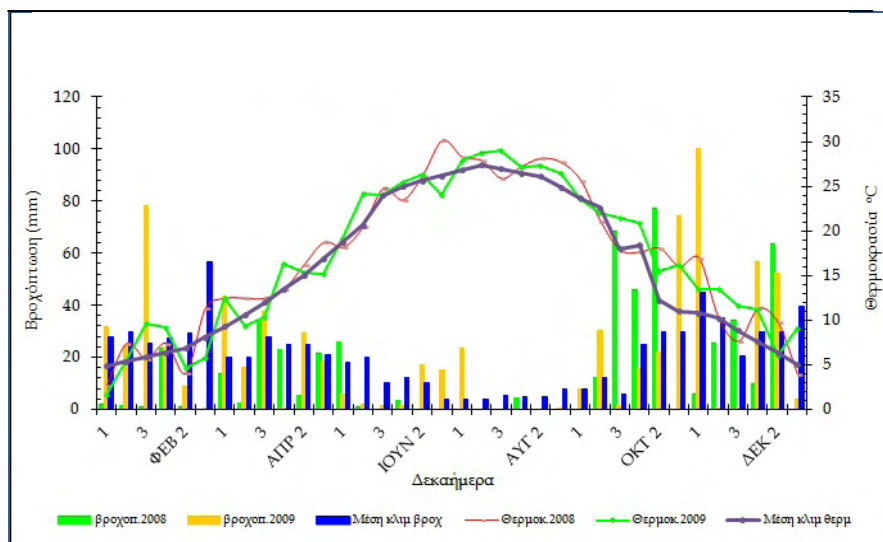
3.1 Κλιματικές συνθήκες

Η πεδινή Θεσσαλία και επομένως οι περιοχές μελέτης χαρακτηρίζονται από μεσογειακό κλίμα με θερμό και ξηρό θέρος και υγρό και ψυχρό χειμώνα. Στα Σχήματα 3.1.1 και 3.1.2 απεικονίζονται μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης ανά δεκαήμερο για το Σωτήριο (Λάρισα) και τα Τρίκαλα, αντίστοιχα.



Σχήμα 3.1.1. Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο τα έτη 2008 και 2009 στο Σωτήριο Λάρισας.

Όπως φαίνεται, τη χειμερινή περίοδο επεκράτησαν παρόμοιες χαμηλές θερμοκρασίες και στις δύο περιοχές μελέτης, με μέση ελάχιστη θερμοκρασία περί τα τέλη Ιανουαρίου έως τα μέσα Φεβρουαρίου στη Λάρισα (2.7-3.2°C) και το πρώτο δεκαήμερο Ιανουαρίου στα Τρίκαλα (1.7°C). Μέχρι τα τέλη του χειμώνα, η βλαστική ανάπτυξη του μπιζελιού που χαρακτηρίζεται από βασική θερμοκρασία ανάπτυξης περί τους 6°C, είναι καθηλωμένη. Τους εαρινούς μήνες, οι θερμοκρασίες του αέρα κυμάνθηκαν κάτω από τη μέση κλιματική καμπύλη στη Λάρισα, και κυρίως το 2009 που χαρακτηρίστηκε από αρκετά δροσερό Απρίλιο. Στα Τρίκαλα την άνοιξη επικράτησαν μέσες κλιματικές τιμές και τα δύο έτη πειραματισμού.



Διάγραμμα 3.1.2. Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο τα έτη 2008 και 2009 στα Τρίκαλα.

Κατά τη θερινή περίοδο (Ιούνιος - Σεπτέμβριος) στα Τρίκαλα σημειώθηκαν θερμοκρασίες υψηλότερες της μέσης κλιματικής τιμής και τις δύο χρονιές (25.8°C έναντι 24.5°C). Στη Λάρισα συνέβη το αντίθετο, με θερμοκρασίες χαμηλότερες της κλιματικής τιμής (24.2°C το 2008 και 23.95 το 2009 έναντι 25.1°C). Μέγιστες θερμοκρασίες σημειώθηκαν περί τα τέλη Ιουνίου (2008) στα Τρίκαλα και τις αρχές Ιουλίου στη Λάρισα (30.1°C και 27.4°C , αντίστοιχα). Γενικά η μέση θερμοκρασία θέρους και μέχρι το τέλος Αυγούστου κυμάνθηκε σε υψηλότερα για την εποχή επίπεδα στα Τρίκαλα, ενώ στη Λάρισα κυμάνθηκε σε κανονικά (2008) έως χαμηλότερα (2009) του κλιματικού μέσου επίπεδα. Μετά τα τέλη Αυγούστου 2008, η θερμοκρασία αέρα έπεσε απότομα για να φθάσει μέχρι και το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου στους 21.7°C στη Λάρισα και τους 19.5°C στα Τρίκαλα.

Και στις δύο περιοχές μελέτης και για τη χειμερινή περίοδο 2008, σημειώθηκαν ικανοποιητικές βροχοπτώσεις που κάλυψαν τις ανάγκες της χειμερινής καλλιέργειας (μπιζέλι) ενώ την άνοιξη (περίοδος Μαρτίου – Μαΐου) καταγράφηκαν 72.6 mm και 127.0 mm βροχής για τη Λάρισα και τα Τρίκαλα, αντίστοιχα. Τη θερινή περίοδο (2008), η συνολική βροχόπτωση ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη στην περιοχή των Τρικάλων (90 mm) συγκριτικά με τη Λάρισα (80 mm), όπου όμως μετρήθηκε χαμηλότερη σχετική υγρασία (46.6%) συγκριτικά με τα Τρίκαλα (57.8%). Σημαντικό μέρος των βροχοπτώσεων σημειώθηκε την περίοδο της ανθοφορίας καθώς και την περίοδο της ενσωμάτωσης του ψυχανθούς γεγονός που βοήθησε στην ικανοποιητική αποδόμηση

της βιομάζας του μπιζελίου που ενσωματώθηκε. Το χειμώνα του 2009, από τον Ιανουάριο έως τέλη Μαΐου, το ύψος της βροχής στα Τρίκαλα ανήλθε στα 322.5 mm. Το ύψος βροχής στη Λάρισα ανήλθε στα 204.2 mm με καλά κατανεμημένα τα ποσά των μηνιαίων βροχοπτώσεων. Τη θερινή περίοδο, το ποσό της βροχής ανήλθε στα 134.8 mm στη Λάρισα, εκ των οποίων τα 43.2 mm σημειώθηκαν το τρίτο δεκαήμερο του Ιουνίου και το πρώτο δεκαήμερο του Ιουλίου. Το αντίστοιχο ποσό στα Τρίκαλα έφθασε τα 97.2 mm με το μεγαλύτερο ποσό να σημειώνεται το τρίτο δεκαήμερο του Ιουνίου και το πρώτο του Ιουλίου.

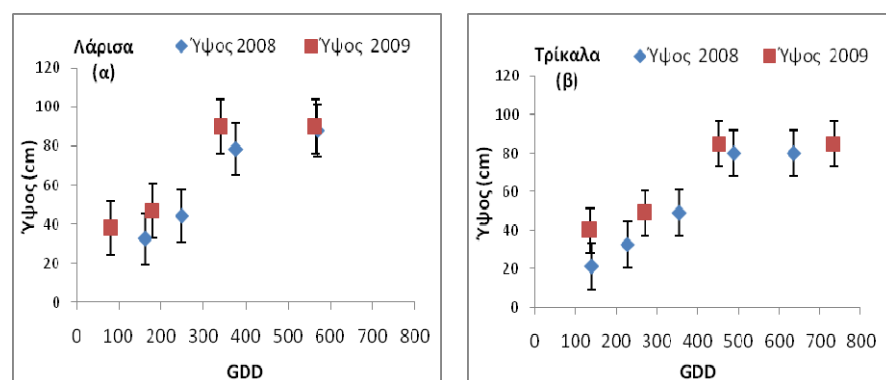
3.2 Καλλιέργεια μπιζελιού: παραγωγή καρπού / χλωρά λίπανση

3.2.1 Αύξηση και ανάπτυξη

Τα πειραματικά υποτεμάχια που επελέγησαν να δεχθούν το μπιζέλι ως χλωρά λίπανση, ενσωματώθηκαν το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Απριλίου κάθε έτους. Στη Λάρισα η ενσωμάτωση πραγματοποιήθηκε στις 17/4/2008 και 20/4/2009 και στα Τρίκαλα στις 15/4/2008 και 30/4/2009. Σε πρόσφατη έρευνα με οργανική λίπανση, σε σύστημα αμειψισποράς μπιζελιού με αραβόσιτο, οι Bilalis *et al.* (2012) αναφέρουν ως χρόνο ενσωμάτωσης του μπιζελιού, για τις συνθήκες της Κ. Ελλάδας, με φθινοπωρινή σπορά, τα μέσα Απριλίου.

Ύψος φυτών

Στο Σχήμα 3.2.1 αποτυπώνεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών στις υπό μελέτη περιοχές και τα έτη καλλιέργειας. Μικρή διαφοροποίηση (μη στατιστικά σημαντική) στις μέγιστες τιμές έχει άμεση σχέση με τις συνθήκες του περιβάλλοντος αλλά και την επάρκεια νερού. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μικρή υπεροχή των καλλιεργειών στο γονιμότερο έδαφος της Λάρισας σε σχέση με το έδαφος των Τρικάλων και στα δύο έτη. Επίσης οι καλλιέργειες παρουσίασαν μεγαλύτερο ύψος το 2009 λόγω της μεγαλύτερης διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας (περισσότερες βροχοπτώσεις) και στις δύο περιοχές μελέτης.

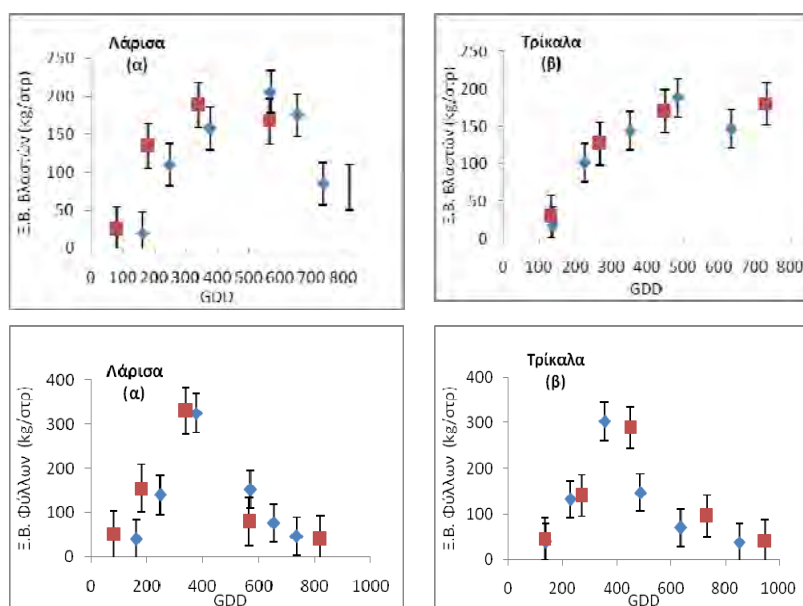


Σχήμα 3.2.1. Ύψος φυτών μπιζελιού (cm) στις περιοχές Λάρισας (α) και Τρικάλων (β) με την ηλικία της καλλιέργειας (GDD, °C-d) τα καλλιεργητικά έτη 2008(♦), 2009(■) (Μέση τιμή ± Τυπικό σφάλμα).

Έτσι στη Λάρισα το ύψος έφθασε τα 90 cm (88 cm το 2008) στις 377 °C-d και στα Τρίκαλα τα 85 cm (80 cm το 2008) στις 423 °C-d. Επίσης παρατηρούμε ότι για ένα χρονικό διάστημα 14 ημερών (λίγο πριν την έναρξη της άνθησης και κατά τη διάρκειά της) καταγράφεται ρυθμός αύξησης, της τάξης των $d = 2,4$ cm/ημέρα.

Βλαστοί

Στο σχήμα 3.2.2 απεικονίζεται η αύξηση των βλαστών και των φύλλων του μπιζελιού στις υπό μελέτη περιοχές και τα έτη καλλιέργειας. Παρά την έλλειψη στατιστικά σημαντικών διαφορών, το ξηρό βάρος των βλαστών παρουσιάζει μικρές διαφοροποιήσεις που προφανώς οφείλονται στις διαφορετικές εδαφο-κλιματικές συνθήκες. Το γονιμότερο έδαφος στη Λάρισα συνετέλεσε στην ελαφρώς καλύτερη ανάπτυξη του μπιζελιού, ενώ η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα εδαφικού νερού το 2009 τις κρίσιμες περιόδους είχαν ως αποτέλεσμα το ελαφρώς μεγαλύτερο τελικό ξηρό βάρος της καλλιέργειας στη Λάρισα.



Σχήμα 3.2.2. Μεταβολή του ξηρού βάρους βλαστών (επάνω) και φύλλων (κάτω) του μπιζελιού στη Λάρισα (α) και τα Τρίκαλα (β) τα καλλιεργητικά έτη 2008(♦), 2009(■) (Μέση τιμή ± Τυπικό σφάλμα GDD=βαθμοημέρες [°C-days]).

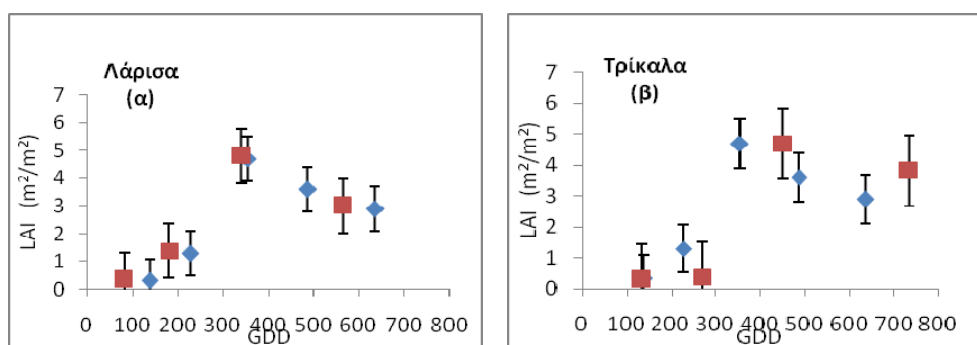
Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου και οι καιρικές συνθήκες κατά την περίοδο αυτή επηρεάζουν τον αριθμό των βλαστών ανά φυτό, αφού σε μια μεγαλύτερης διάρκειας περίοδο και με κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης, τα φυτά έχουν το χρόνο και

τους πόρους να αντισταθμίσουν τη χαμηλή πυκνότητα, με την ανάπτυξη πλευρικών βλαστών ώστε τελικά να μην μειωθεί η τελική απόδοση (Lopez-Bellido *et al.*, 2005).

Το ξηρό βάρος βλαστών αυξάνει από 20 kg/στρ περί τις 70 ημέρες μετά το φύτρωμα μέχρι τα 190 kg/στρ κατά την έναρξη της ανθοφορίας (360⁰C-d). Παρατηρήθηκε ταχεία και συνεχής ανάπτυξη σε σύντομο χρονικό διάστημα, με ανάπτυξη πλάγιων βλαστών στους πρώτους κόμβους του κεντρικού βλαστού. Μετά το στάδιο αυτό, η αύξηση του βλαστού μειώνεται δραστικά προφανώς λόγω αυξημένης αναπνοής (αυξημένη θερμοκρασία αέρα), και για μικρά χρονικά διαστήματα μάλιστα επικρατούν και αρνητικοί ρυθμοί αύξησης από 6,5-8 kg/στρ ανά ημέρα στα Τρίκαλα και τη Λάρισα (2008), με θερμοκρασίες περί τους 17°C κατά μέσο όρο και για τις δύο περιοχές.

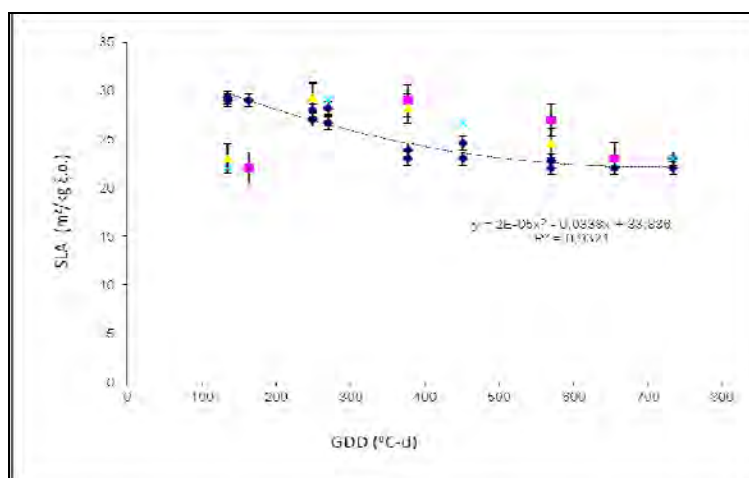
Φύλλα

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.2, κατά τα αρχικά στάδια της καλλιέργειας τα φύλλα αυξάνουν με μεγαλύτερους ρυθμούς σε σχέση με τους βλαστούς, για να φθάσουν σε επίπεδα ξηρής ουσίας της τάξης των 400 kg/στρ περί τις 420⁰C-d. Στη συνέχεια σημειώνεται σταδιακή μείωση και πτώση τους με την έναρξη του δεσίματος των ανθέων και τη μεταφορά των αφομοιωτικών παραγώγων για το σχηματισμό και την αύξηση των σπερμάτων.



Σχήμα 3.2.3. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας μπιζελιού κατά την εξέλιξη του βιολογικού κύκλου τα καλλιεργητικά έτη 2008(♦), 2009(■) (Μέση τιμή ± Τυπικό σφάλμα. GDD=βαθμο-ημέρες).

Στο Σχήμα 3.2.3 παρουσιάζεται ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI) της καλλιέργειας στις υπό μελέτη περιοχές και τα έτη καλλιέργειας. Ως γνωστόν, ο LAI επηρεάζεται από την πυκνότητα των φυτών και τον γονότυπο, και αυξάνεται με την αύξηση των εισροών και κυρίως της διαθεσιμότητας νερού (Datuma & Thomson, 1983). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.3, κατά την αρχική αύξηση της καλλιέργειας, ο LAI καταλαμβάνει μικρές τιμές (≤ 1), έτσι ώστε το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του εδάφους να παραμένει ακάλυπτο ($< 50\%$), ενώ σημειώνεται εκθετική αύξηση του LAI περί τις 300 βαθμο-ημέρες, προσεγγίζοντας τις μέγιστες τιμές της τάξης του 5 ($\text{LAI} = 4.5\text{--}4.8 \text{ m}^2/\text{m}^2$ για τις δύο περιοχές και τα δύο έτη), τιμές που σηματοδοτούν κλειστή φυλλοστοιβάδα, πλήρη δέσμευση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και μέγιστους ρυθμούς αύξησης. Ο LAI παραμένει στη μέγιστη τιμή γύρω στις 12 ημέρες για να μειωθεί στη συνέχεια ακολουθώντας την ωρίμανση, γήρανση και πτώση των φύλλων, αλλά παραμένοντας ακόμα και στα προχωρημένα στάδια ανάπτυξης σε επίπεδα άνω του 3 που υποδηλώνει βαθμό δέσμευσης της ηλιακής ακτινοβολίας περί το 83%.



Σχήμα 3.2.4. Μεταβολή της Ειδικής Φυλλικής Επιφάνειας (SLA) του μπιζελιού με την ηλικία της καλλιέργειας (GDD, growing degree days [$^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$]) για τις δύο περιοχές μελέτης και τα δύο έτη καλλιέργειας (Εμφανίζονται οι τυπικές αποκλίσεις).

Στο Σχήμα 3.2.4 παρουσιάζεται σχηματικά η μεταβολή της Ειδικής Φυλλικής Επιφάνειας (SLA) του μπιζελιού στις δύο περιοχές μελέτης (Λάρισα και Τρίκαλα) και τα δύο έτη πειραματισμού. Η Ειδική Φυλλική Επιφάνεια (SLA σε m^2/kg) ή αντίθετα το Ειδικό Βάρος Φύλλων (Specific Leaf Weight, $\text{SLW} = 1/\text{SLA}$), αποτελεί μορφολογικό χαρακτηριστικό του φυτού, και οι τιμές του αλλάζουν με τις μεταβολές των πε-

ριβαλλοντικών συνθηκών και την ηλικία της καλλιέργειας. Η SLA αντικατοπτρίζει την αναλογία παραγόμενης φυλλικής επιφάνειας ανά μονάδα ξηρής ουσίας φύλλων, που μαζί με την ποσότητα των αφομοιωτικών παραγώγων που επενδύονται στην ανάπτυξη των φύλλων, καθορίζει την ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας (LAI) και το ρυθμό αφομοίωσης της καλλιέργειας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.4, η SLA του μπιζελιού ξεκινώντας από μια αρχική τιμή 29,3 m²/kg ξ.ο. βαίνει μειούμενη με το χρόνο ως την τιμή 22 m²/kg, και μπορεί να περιγραφεί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης

$$Y = 2E-0,5x^2 - 0.0338x + 33.836 \quad (R^2 = 0,932). \quad (3.2.1)$$

Η φθίνουσα πορεία του SLA οφείλεται στην ωρίμανση των νέων φύλλων και η ευρεθείσα τιμή του συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0,9321$ επιβεβαιώνει τη σχέση

$$SLA = SLA_{MIN} - 0.5(SLA_{MAX} - SLA_{MIN}) * \ln DVS \text{ (m}^2\text{/kg)} \quad (3.2.2)$$

που υπέδειξαν οι Driessen & Konijn (1992), οι οποίοι παραθέτουν ίδιο εύρος τιμών για την SLA του μπιζελιού.

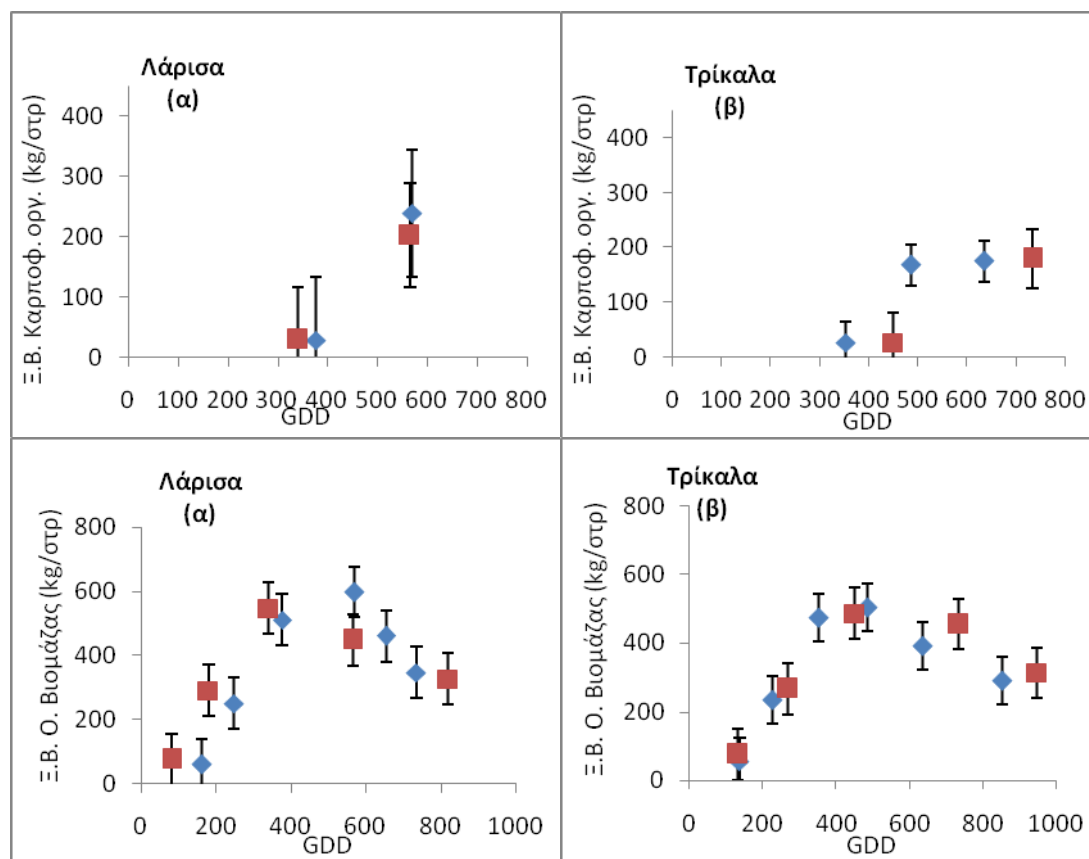
Όργανα καρποφορίας και συνολικό βάρος

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.3, η έναρξη δημιουργίας καρποφόρων οργάνων (λοβών) ξεκινά στις 350°C-d και ολοκληρώνεται στις 820°C-d στη Λάρισα και στις 947°C-d στα Τρίκαλα. Ο ρυθμός αύξησης του καρπού είναι περίπου 10-12 kg/στρ ανά ημέρα, και η τελική παραγωγή φθάνει τα 218 kg/στρ για τη Λάρισα και τα 193 kg/στρ για τα Τρίκαλα. Η διαφορά, αν και μη στατιστικά σημαντική, οφείλεται στη σχετικά χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία του αμμώδους εδάφους των Τρικάλων έναντι του αργιλώδους εδάφους της Λάρισας.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.5, η καλλιέργεια μπιζελιού αποκτά το μέγιστο ολικό ξηρό βάρος μετά την έναρξη της ανθοφορίας περί τις 450°C-d σε όλες τις περιπτώσεις. Την περίοδο αυτή ενδείκνυται η καλλιέργεια για ενσωμάτωση ως χλωρή λίπανση.

Μετά την περίοδο αυτή, τα φωτοσυνθετικά παράγωγα επενδύονται κυρίως στα καρποφόρα όργανα, ενώ παρατηρούνται και αρνητικοί ρυθμοί αύξησης που οφείλο-

νται στην πτώση των φύλλων αλλά και στους αυξημένους ρυθμούς αναπνοής και της συνεπακόλουθης σημαντικής μείωσης του ξηρού βάρους των βλαστών (Σχ. 3.2.2).



Σχήμα 3.2.5. Ξηρό βάρος καρποφόρων οργάνων (επάνω) και ολικής βιομάζας (κάτω) του μπιζελιού (kg/στρ), στις περιοχές Λάρισας (α) και Τρικάλων (β) με την ηλικία της καλλιέργειας (GDD, σε °C-d), τα καλλιεργητικά έτη 2008(♦) και 2009(■) (Μέση τιμή ± Τυπικό σφάλμα).

3.2.2 Περιεκτικότητα σε άζωτο

Τα δεδομένα του Πίνακα 3.2.1, επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι η περίοδος της ανθοφορίας του ψυχανθούς, χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη συγκέντρωση των βασικών στοιχείων θρέψης (N, P, K), με μικρή απόκλιση μεταξύ των περιοχών και των ετών. Η συγκέντρωση και η κατανομή τους στα διάφορα όργανα του φυτού και η ικανότητα μετακίνησής τους από τα βλαστικά όργανα προς τους αναπτυσσόμενους σπόρους είναι γενετικά χαρακτηριστικά και επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση (Pate & Armstrog, 1996; Cousin, 1997). Ειδικότερα, η περιεκτικότητα του N στα άνθη κατά την περίοδο της ανθοφορίας κυμάνθηκε από 5.7% (Τρίκαλα, 2009) έως 6.3%

(Λάρισα, 2008). Οι τιμές του αζώτου στο υπόλοιπο υπέργειο τμήμα (βλαστοί, φύλλα και έλικες), την ίδια περίοδο, κυμάνθηκαν επίσης σε υψηλά επίπεδα, από 3.9 έως 4.3%, με την υψηλότερη τιμή να σημειώνεται στη Λάρισα, το έτος 2008. Πιθανόν αυτή η μικρή διαφορά της περιεκτικότητας του αζώτου στις δύο περιοχές να οφείλεται στην ιδιαίτερη προτίμηση του μπιζελιού για αργίλλοπηλώδη πλούσια σε Ca εδάφη (Cousin, 1997).

Πίνακας 3.2.1. Ημερομηνίες φαινολογικών σταδίων του μπιζελιού από τη σπορά έως τη συγκομιδή για τις δύο περιοχές (Λάρισα, Τρίκαλα) και τα δύο έτη (2008, 2009).

| ΛΑΡΙΣΑ | | | | | | | | |
|------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2008 | | | | 2009 | | | |
| | Σπορά | Φύτρωμα | Άνθηση | Συγκομιδή | Σπορά | Φύτρωμα | Άνθηση | Συγκομιδή |
| | 5/12/2007 | 20/12/2007 | 11/4/2007 | 20/5/2008 | 9/12/2008 | 10/2/2009 | 20/4/2009 | 3/6/2009 |
| J.D. | 339 | 354 | 101 | 140 | 443 | 41 | 120 | 154 |
| D.A.E. | | 0 | 113 | 152 | | 0 | 80 | 114 |
| ⁰ C-d | | 0.075 | 377 | 736 | | 2.14 | 340.5 | 820 |

| ΤΡΙΚΑΛΑ | | | | | | | | |
|------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2008 | | | | 2009 | | | |
| | Σπορά | Φύτρωμα | Άνθηση | Συγκομιδή | Σπορά | Φύτρωμα | Άνθηση | Συγκομιδή |
| | 7/12/2007 | 25/12/2007 | 14/4/2008 | 24/5/2008 | 9/12/2008 | 14/1/2009 | 22/4/2009 | 2/6/2009 |
| J.D. | | 359 | 106 | 146 | | 14 | 112 | 153 |
| D.A.E. | | 0 | 113 | 153 | | 0 | 99 | 140 |
| ⁰ C-d | | 0 | 354 | 853 | | 0 | 423.5 | 947.5 |

Πίνακας 3.2.2. Περιεκτικότητα θρεπτικών στοιχείων N, P, K στα διαφορετικά φυτικά όργανα (άνθη, βλαστοί και φύλλα) του μπιζελιού, στις περιόδους ανθοφορίας και συγκομιδής.

| % N, P, K της ξηρής ουσίας του <i>Pisum sativum</i> cv caroubi | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------|-----|-----------------|------|------|------|---------------|------|-----|
| | | Ανθοφορία | | | | | | Συγκομιδή | | |
| | | Άνθη | | Βλαστοί + Φύλλα | | | | Βλαστοί+Φύλλα | | |
| | | N | P | K | N | P | K | N | P | K |
| 2008 | Λάρισα | 6.3 | 3.1 | 2.5 | 4.3 | 0.15 | 3.30 | 2.7 | 0.21 | 2.7 |
| | Τρίκαλα | 5.9 | 2.8 | 2.21 | 3.9 | 0.6 | 2.5 | 2.0 | 0.45 | 2.5 |
| 2009 | Λάρισα | 6.1 | 3.0 | 2.45 | 4.15 | 0.11 | 3.2 | 2.8 | 0.15 | 2.4 |
| | Τρίκαλα | 5.7 | 2.5 | 2.20 | 4.0 | 0.45 | 2.5 | 2.2 | 0.6 | 1.9 |

Η ανάλυση φυτικών ιστών την εποχή της συγκομιδής (περί τα τέλη Μαΐου), έδειξε ότι τα βασικά θρεπτικά στοιχεία (N, P, K), παρουσιάζουν μείωση της περιεκτικότητάς τους στα φύλλα, τα στελέχη και τους έλικες. Η περιεκτικότητα του N εμφανίζεται μειωμένη κατά 42.8% – 45.9% στη Λάρισα και 33.9% – 38.6% στα Τρίκαλα.

Η συγκέντρωση του N στα φύλλα και τα στελέχη την περίοδο της συγκομιδής, σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο της ενσωμάτωσης (άνθηση) και για τις δύο περιοχές μειώνεται από δύο έως τέσσερις φορές, ενώ αντίθετα στον καρπό παρουσιάζεται υψηλή εκατοστιαία περιεκτικότητα σε N και μεγάλη απόδοση.

Στην παρούσα μελέτη δεν υπολογίστηκε το βάρος της ρίζας και η εκατοστιαία αναλογία της περιεκτικότητάς της σε N. Ωστόσο για τη συμβολή της ρίζας του ψυχανθούς στον εμπλουτισμό του εδάφους με N επισημαίνεται η αμφιγνώμια των ερευνητών, η οποία παραπέμπει σε περαιτέρω μελέτη. Οι Bilalis *et al.* (2012) αναφέρουν ότι οι ρίζες εμπεριέχουν το 24-49% του ολικού N του φυτού και ότι η βιομάζα του ριζικού συστήματος του μπιζελιού αποδίδει συνολικά 2.04 – 3.36 kg/στρ, ενώ αντίθετα, τα αποτελέσματα των Kumar & Goh (2000) εμφανίζουν μικρότερη συνεισφορά των ριζών στο συνολικό ολικό N (10-15% του ολικού N).

Πίνακας 3.2.3. Ποσοστά ολικού αζώτου (kg/στρ) του μπιζελιού, που προήλθαν από την αζωτοδέσμευση στα άνθη, τους βλαστούς και τα φύλλα, κατά την ανθοφορία και τη συγκομιδή, για τις δύο περιοχές (Λάρισα, Τρίκαλα) το 2008 και 2009.

| | | Περιεκτικότητα σε N (kg/στρ) του <i>Pisum sativum</i> cv caroubi | | |
|------|---------|--|-----------------|---------------|
| | | Ανθοφορία | | Συγκομιδή |
| | | Άνθη | Βλαστοί + Φύλλα | Βλαστοί+Φύλλα |
| 2008 | Λάρισα | 1.80 | 20,8 | 4.08 |
| | Τρίκαλα | 1.62 | 17.4 | 3.08 |
| 2009 | Λάρισα | 1.75 | 21.5 | 3.58 |
| | Τρίκαλα | 1.53 | 18.4 | 3.15 |

Όπως προαναφέρθηκε, στη Λάρισα το 2008 καταγράφηκε η μεγαλύτερη ποσότητα αζώτου, προερχόμενη από την αζωτοδέσμευση του μπιζελιού, σε συνολική ποσότητα 22.56 kg/στρ, την περίοδο της ανθοφορίας. Αναλυτικότερα, τα άνθη απέδωσαν 1.8 kg/στρ και τα υπόλοιπα υπέργεια τμήματα 20.76 kg/στρ. Ανάλογες μελέτες κατέγραψαν συνολική απόδοση του N από τα άνθη της τάξης των 1.77 kg/στρ καθώς

και συνολικό ποσό αζωτοδέσμευσης, περί τα 12.3 - 20.9 kg/στρ, κατά την περίοδο έναρξης της ανθοφορίας (Bedoussac & Justes, 2001; Rochester *et al.*, 2001). Την περίοδο της συγκομιδής, με την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του ψυχανθούς, η ανάλυση βλαστών και φύλλων έδειξε συγκέντρωση αζώτου στα φύλλα και στελέχη της τάξης του 4.08 kg/στρ. Η μικρότερη επί τοις εκατό συγκέντρωση αζώτου παρατηρήθηκε στα Τρίκαλα το 2008. Μελέτες, οι οποίες χρησιμοποίησαν τη μέθοδο ισοτόπων ^{15}N για τα ψυχανθή, έδειξαν ότι η περίοδος γεμίσματος του σπόρου αποτελεί κριτική περίοδο, γιατί η απορρόφηση N και η αζωτοδέσμευση μειώνονται κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής ωρίμανσης του φυτού και του γεμίσματος του σπόρου (Salon *et al.*, 2001). Κατά συνέπεια, είναι φυσιολογική η μείωση της περιεκτικότητας N στα φύλλα και τους βλαστούς την εποχή της συγκομιδής.

3.3 Καλλιέργεια ηλίανθου

3.3.1 Αύξηση και ανάπτυξη

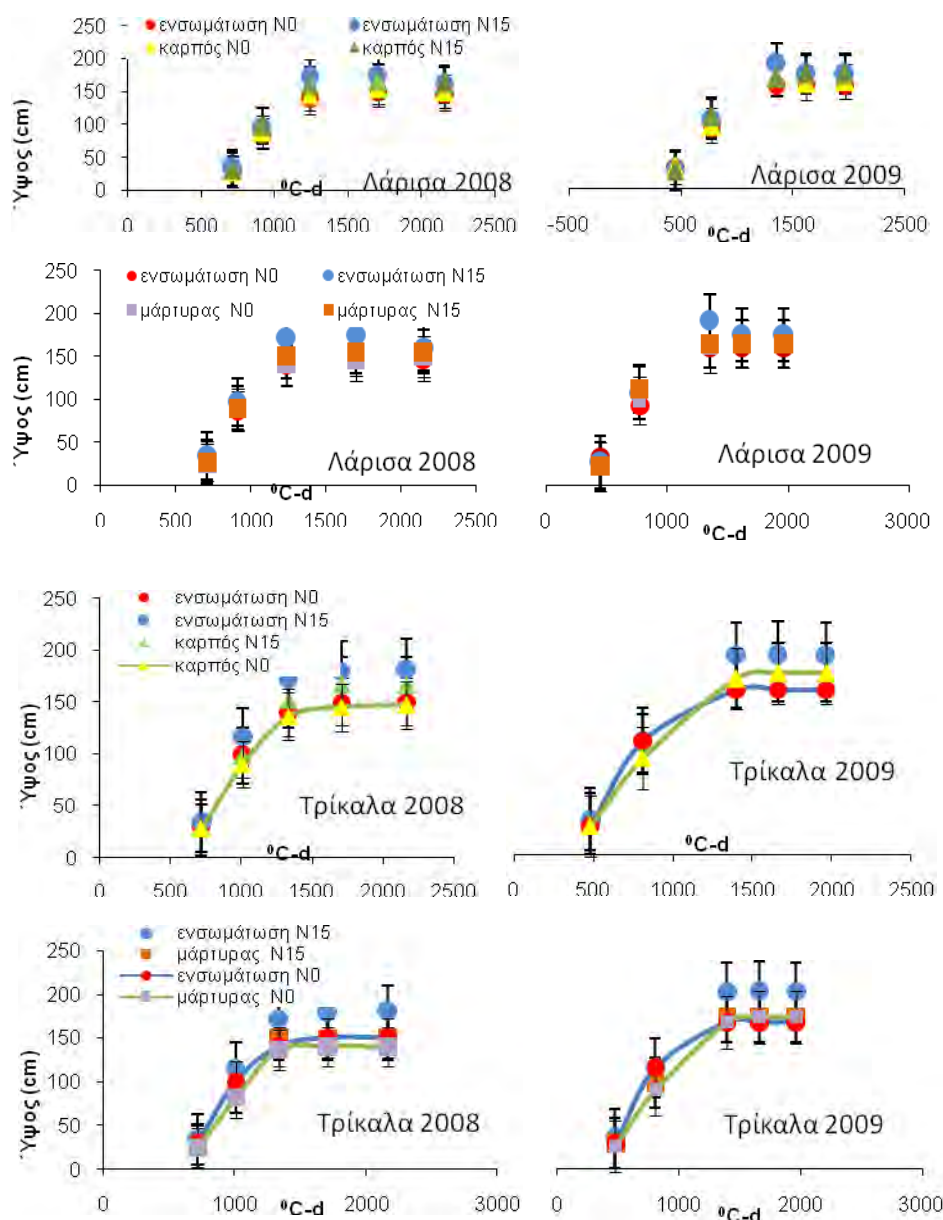
Ύψος φυτών

Στο Σχήμα 3.3.1 αποδίδεται παραστατικά η εξέλιξη του ύψους των φυτών στις υπό μελέτη περιοχές και τα έτη καλλιέργειας. Οι τιμές που αφορούν το ύψος των φυτών παρουσιάζονται και στον Πίνακα 3.3.2. Είναι φανερό ότι το ύψος του ηλίανθου αυξήθηκε με ρυθμούς 2,5 – 4,5 cm/d για μεγάλα διαστήματα της βλαστικής περιόδου σε σχέση με τις επικρατούσες εδαφο-κλιματικές συνθήκες και τις διαφορετικές μεταχειρίσεις, με τις μέγιστες τιμές του να παρατηρούνται περί τα τέλη Αυγούστου - αρχές Σεπτεμβρίου.

Σημαντικά μεγαλύτεροι ρυθμοί αύξησης σημειώθηκαν στη μεταχείριση της ενσωμάτωσης του ψυχανθούς σε σχέση με την παραγωγή καρπού και φυσικά το μάρτυρα (0,5 – 1,0 cm/d, στατιστικά σημαντικές διαφορές) σε όλες τις περιπτώσεις. Επίσης σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν, όταν χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές λιπάνσεις, δηλαδή τα μεγαλύτερα επίπεδα λίπανσης σε σχέση με το μάρτυρα. οδήγησαν σε μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης. Το ύψος των φυτών, μετά την πάροδο 30-45 ημερών αφότου φύτευσης, κυμάνθηκε μεταξύ 25-35 cm. Δύο μήνες αργότερα η μέγιστη τιμή του ύψους τους κυμάνθηκε μεταξύ 145-152 cm για τους μάρτυρες και 161-171 cm για τις μεταχειρίσεις με εφαρμογή λίπανσης ή/και αμειψισπορά με ψυχανθές (Πιν. 3.3.2). Η αύξηση συμβαδίζοντας του LAI αποκτά το μέγιστο του ρυθμού της με το μέγιστο ανάπτυξης της φυλλοστοιβάδας (Cechin & Fatima Fumis, 2004; Danalatos *et al.*, 2009; Archontoulis *et al.*, 2011).

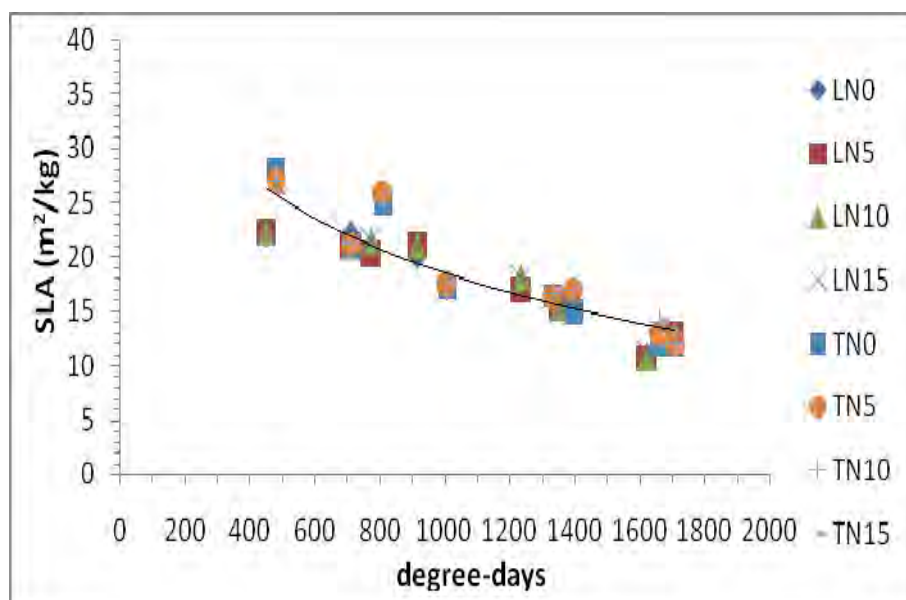
Φύλλα – Βλαστοί

Η βιομάζα (ξηρή ουσία) των φύλλων και των βλαστών του ηλίανθου παρουσιάζεται αυξημένη στα μεγαλύτερα επίπεδα λίπανσης, και οι διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές για όλες τις δειγματοληψίες. Όσον αφορά στη μεταχείριση του ψυχανθούς, παρατηρούμε τις μεγαλύτερες τιμές Μ.Ο. στη μεταχείριση της ενσωμάτωσης σε σχέση με την παραγωγή καρπού και τις μικρότερες τιμές στους μάρτυρες.

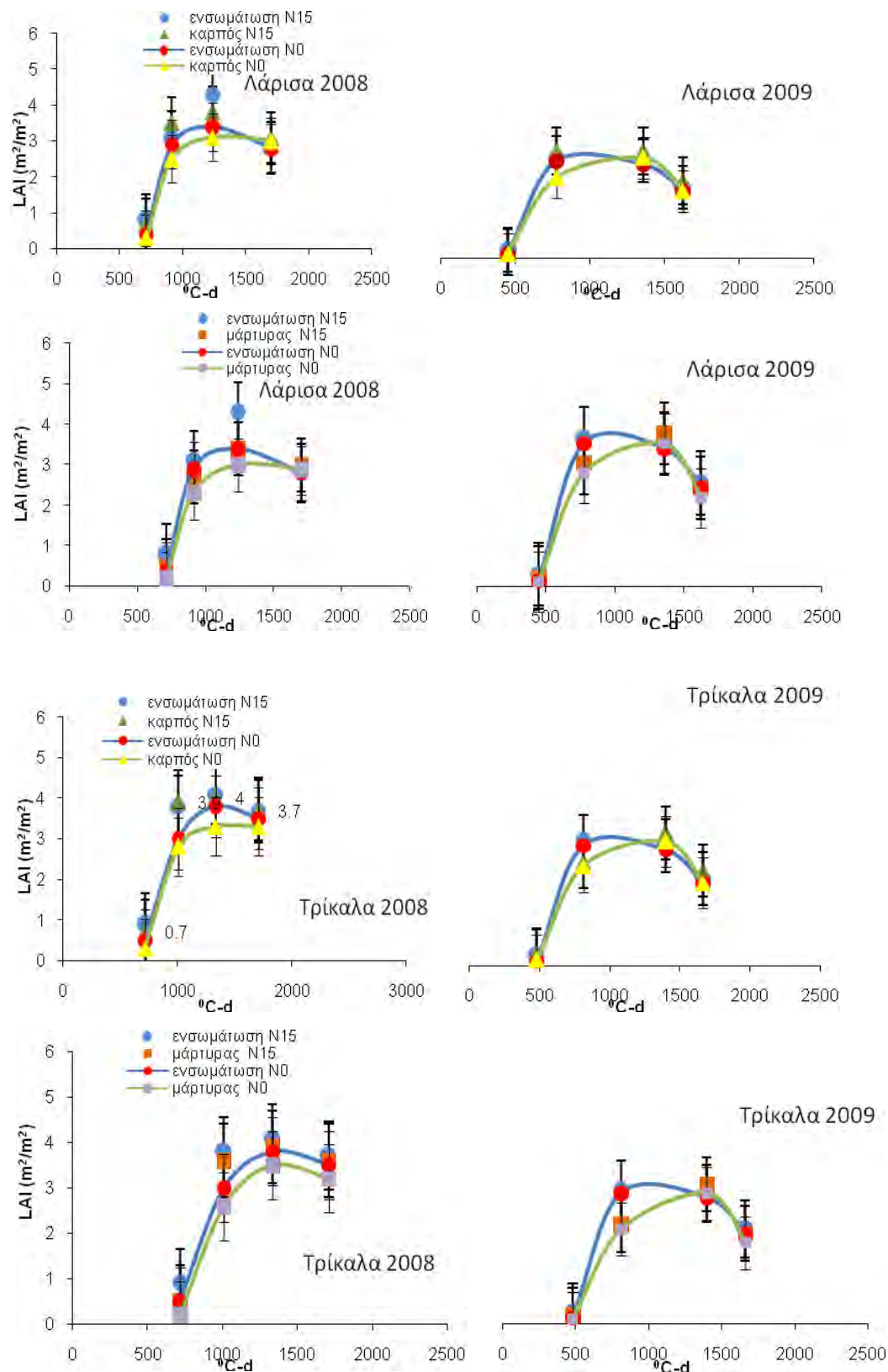


Σχήμα 3.3.1. Εξέλιξη του ύψους του ηλίανθου για διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και δύο επίπεδα λίπανσης N₀ και N₁₅, για τις περιοχές Λάρισας και Τρικάλων τα έτη 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή ± τυπικό σφάλμα (LSD_{0.05}).

Οι μέγιστες τιμές μετρήθηκαν στα τεμάχια της ενσωμάτωσης με επίπεδο λίπανσης N_{15} (Πιν. 3.3.2). Ανάλογα αποτελέσματα καταγράφηκαν και από τους Cechin & Fatima Fumis (2004). Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ξηρά βάρη βλαστών και φύλλων φθάνουν τις μέγιστες τιμές τους περί τα τέλη Αυγούστου έως αρχές Σεπτεμβρίου (JD 235-248), δηλαδή περί τις 80 ημέρες μετά το φύτευμα. Με την ολοκλήρωση της άνθησης παρουσιάζεται σημαντική μείωση του ξηρού βάρους των φύλλων και βλαστών και για τις τρεις μεταχειρίσεις, γεγονός που οφείλεται στη γήρανση, την πτώση των φύλλων και στα αυξημένα επίπεδα αναπνοής στα προχωρημένα αυτά στάδια ανάπτυξης.



Σχήμα 3.3.2. Λογαριθμική μεταβολή της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA, m^2/kg) με τη θερμική ηλικία του ηλίανθου ($^{\circ}C-d$) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις λίπανσης [L=Λάρισα, T=Τρίκαλα το 2008 και το 2009 (Μ.Ο. για 3 μεταχειρίσεις ψυχάνθους)].



Σχήμα 3.3.3. Μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ($LAI\ m^2/m^2$) με τη θερμική ηλικία του ηλιάνθου ($^{\circ}C-d$) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και για δύο επίπεδα λίπανσης (N_0 και N_{15}), στη Λάρισα και τα Τρίκαλα (2008-2009). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή \pm τυπικό σφάλμα (για $LSD_{0.05}$).

Πίν. 3.3.1. Ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA, kg/m²) και δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI, m²/m²) για 4 επίπεδα N-χου λίπανσης και 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς στους πειραματικούς αγρούς Λάρισας και Τρικάλων (2008, 2009). [Λ: N₀:0, N₅:5, N₁₀:10 και N₁₅:15 kg N/στρ, Μ: Κ=συγκομιδή καρπού, Ε=ενσωμάτωση, Μ=μάρτυρας).

Λάρισα 2008 (φύτρωμα 16/6/2008)

| JD | | 199 | 209 | 225 | 248 |
|------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| ΗΜΦ | | 33 | 43 | 59 | 82 |
| SLA | | | | | |
| | N ₀ | 22 | 20 | 17 | 13 |
| | N ₅ | 21 | 21 | 17 | 13 |
| Λ | N ₁₀ | 21 | 21 | 18 | 13 |
| | N ₁₅ | 21 | 21 | 18 | 13 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | K | 21 | 21 | 18 | 12 |
| Μ | E | 21 | 21 | 17 | 13 |
| | M | 22 | 20 | 17 | 13 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,742 | ns | ns | 0,746 |
| | CV(%) | 11,0 | 8,6 | 7,3 | 6,7 |
| LAI | | | | | |
| | N ₀ | 0,41 | 0,59 | 2,36 | 2,46 |
| | N ₅ | 0,43 | 0,72 | 2,94 | 2,72 |
| Λ | N ₁₀ | 0,59 | 1,21 | 3,38 | 3,23 |
| | N ₁₅ | 0,57 | 1,33 | 3,42 | 3,95 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,127 | 0,104 | 0,45 | ns |
| | K | 0,47 | 0,93 | 3,37 | 3,37 |
| Μ | E | 0,59 | 1,23 | 3,06 | 3,50 |
| | M | 0,43 | 0,73 | 2,65 | 2,40 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,088 | 0,080 | 0,390 | ns |
| | CV(%) | 20,6 | 9,5 | 8,3 | 36,8 |

Λάρισα 2009 (φύτρωμα 20/6/2009)

| JD | | 193 | 208 | 237 | 251 |
|------------|-----------------------|------|------|------|------|
| ΗΜΦ | | 23 | 38 | 67 | 81 |
| SLA | | | | | |
| | N ₀ | 22,0 | 20,7 | 15,4 | 11,0 |
| | N ₅ | 22,4 | 20,2 | 15,5 | 10,7 |
| Λ | N ₁₀ | 22,3 | 21,4 | 15,3 | 10,7 |
| | N ₁₅ | 22,3 | 21,4 | 15,1 | 11,1 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | K | 22,8 | 20,8 | 15,3 | 10,8 |
| Μ | E | 22,7 | 21,1 | 16,2 | 11,1 |
| | M | 21,4 | 20,9 | 14,5 | 10,8 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | CV(%) | 4,6 | 4,1 | 3,2 | 5,8 |
| LAI | | | | | |
| | N ₀ | 0,11 | 0,62 | 4,03 | 1,53 |
| | N ₅ | 0,12 | 0,78 | 4,34 | 1,67 |
| Λ | N ₁₀ | 0,13 | 1,36 | 4,75 | 1,86 |
| | N ₁₅ | 0,12 | 1,49 | 4,87 | 1,99 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | 0,05 | 0,33 | 0,13 |
| | K | 0,13 | 1,02 | 4,59 | 1,68 |
| Μ | E | 0,13 | 1,36 | 5,41 | 2,05 |
| | M | 0,10 | 0,81 | 3,49 | 1,56 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,01 | 0,3 | 0,20 | 0,13 |
| | CV(%) | 10,1 | 13,1 | 5,0 | 8,5 |

Τρίκαλα 2008 (φύτρωμα 17/6/2008)

| JD | | 199 | 209 | 225 | 248 |
|------------|-----------------------|------|------|------|------|
| ΗΜΦ | | 33 | 43 | 59 | 82 |
| SLA | | | | | |
| | N ₀ | 21,0 | 17,2 | 16,4 | 12,0 |
| | N ₅ | 21,2 | 17,4 | 16,4 | 12,0 |
| Λ | N ₁₀ | 21,3 | 17,6 | 16,7 | 12,0 |
| | N ₁₅ | 21,5 | 17,7 | 16,9 | 11,4 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | K | 21,1 | 17,6 | 16,7 | 11,8 |
| M | E | 21,2 | 17,8 | 16,9 | 12,0 |
| | M | 21,5 | 17,1 | 16,3 | 11,8 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | CV(%) | 9,4 | 14,1 | 12,1 | 7,4 |
| LAI | | | | | |
| | N ₀ | 0,37 | 1,64 | 2,65 | 2,78 |
| | N ₅ | 0,38 | 1,96 | 3,16 | 3,02 |
| Λ | N ₁₀ | 0,53 | 2,16 | 3,70 | 3,27 |
| | N ₁₅ | 0,50 | 2,55 | 3,93 | 3,30 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,05 | 0,17 | 0,68 | 0,19 |
| | K | 0,47 | 2,00 | 3,14 | 2,98 |
| M | E | 0,64 | 2,59 | 4,20 | 3,56 |
| | M | 0,24 | 1,64 | 2,75 | 2,74 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,04 | 0,10 | 0,05 | 0,16 |
| | CV(%) | 7,2 | 5,8 | 11,9 | 5,9 |

Τρίκαλα 2009 (φύτρωμα 22/6/2009)

| JD | | 195 | 209 | 236 | 249 |
|------------|-----------------------|-----|------|------|------|
| ΗΜΦ | | 23 | 37 | 64 | 77 |
| SLA | | | | | |
| | N ₀ | 28 | 25 | 15 | 12 |
| | N ₅ | 27 | 26 | 17 | 13 |
| Λ | N ₁₀ | 27 | 25 | 17 | 14 |
| | N ₁₅ | 26 | 26 | 19 | 14 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | 1,1 |
| | K | 28 | 28 | 18 | 13 |
| M | E | 27 | 22 | 18 | 15 |
| | M | 30 | 26 | 14 | 16 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | 3,2 | 0,7 |
| | CV(%) | 8,8 | 13,0 | 21,6 | 11,4 |
| LAI | | | | | |
| | N ₀ | 0,3 | 2,2 | 2,9 | 1,9 |
| | N ₅ | 0,3 | 2,5 | 2,9 | 2,0 |
| Λ | N ₁₀ | 0,5 | 2,1 | 3,1 | 2,4 |
| | N ₁₅ | 0,4 | 2,2 | 3,0 | 2,1 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | 0,19 | ns |
| | K | 0,4 | 3,0 | 3,2 | 2,3 |
| M | E | 0,5 | 1,5 | 2,9 | 2,1 |
| | M | 0,3 | 2,2 | 2,9 | 2,0 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | 0,8 | 0,16 | ns |
| | CV(%) | 9,3 | 11,0 | 6,0 | 18,3 |

Χαρακτηριστικά φυλλοστοιβάδας

Όπως αναφέρθηκε η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA σε m^2/kg) αποτελεί μορφολογικό χαρακτηριστικό του φυτού που αντικατοπτρίζει την αναλογία παραγόμενης φυλλικής επιφάνειας ανά μονάδα ξηρής ουσίας φύλλων. Μαζί με την ποσότητα των αφομοιωτικών παραγώγων που επενδύονται στα φύλλα, καθορίζει την ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας. Στον Πίνακα 3.3.1 παρατηρούμε ότι η SLA του ηλίανθου ενώ ξεκινά από μια μεγάλη σχετικά τιμή στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας (SLA_{MAX}), βαίνει μειούμενη με το χρόνο, μέχρις ότου αποκτήσει ελάχιστη τιμή κατά την περίοδο της ωρίμανσης της καλλιέργειας (SLA_{MIN}). Στο Σχήμα 3.3.2 φαίνεται ότι η μεταβολή της SLA σχετίζεται με τη θερμική ηλικία του φυτού ανεξάρτητα με το έδαφος, το επίπεδο λίπανσης και τη μεταχείριση του ψυχανθούς. Η σχέση αυτή μπορεί γενικά να περιγραφεί με μια λογαριθμική γραμμή τάσης (Driessen & Konijn, 1992) που στην περίπτωση μας λαμβάνει τη μορφή:

$$\text{SLA} = \text{SLA}_{\text{MIN}} - 0.5(\text{SLA}_{\text{MAX}} - \text{SLA}_{\text{MIN}}) * \ln \text{DVS} (\text{m}^2/\text{kg}), R^2 = 0,831$$

όπου για τις SLA_{MAX} και SLA_{MIN} βρέθηκαν αντίστοιχα οι τιμές $28 \text{ m}^2/\text{kg}$ και $12 \text{ m}^2/\text{kg}$ αντίστοιχα, και $\text{DVS} = \text{βαθμοημέρες} / 1710 \text{ }^\circ\text{C-days}$, όπου $1710 \text{ }^\circ\text{C-days}$ είναι οι συνολικές βαθμοημέρες (πάνω από τη βασική θερμοκρασία 5°C) όπου παρατηρήθηκε ωρίμανση του ηλίανθου.

Αντίθετα με την SLA, οι τιμές του LAI παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές καθόλη τη διάρκεια ανάπτυξης του ηλίανθου ανάλογα με τα επίπεδα λίπανσης και τις μεταχειρίσεις του ψυχανθούς, όπως προκύπτει από τις ΕΣΔ_{0.05} (Πιν. 3.3.1, Σχ. 3.3.3). Και για τις δύο περιοχές το μέγιστο της τιμής του LAI κυμάνθηκε περίπου στα ίδια επίπεδα (3,42 και 4,87 στη Λάρισα έναντι 4,2 και 3,2 Τρίκαλα για τα έτη 2008 και 2009 αντίστοιχα). Το έτος 2008, το φυτό ολοκλήρωσε το βιολογικό του κύκλο κανονικά, ενώ το 2009 πρωίμησε και κατά συνέπεια η φυλλοστοιβάδα έκλεισε νωρίτερα και διατηρήθηκε κλειστή για μικρότερο χρονικό διάστημα. Ανάλογες τιμές αναφέρονται σε προηγούμενες εργασίες με καλλιέργεια ηλίανθου στην Θεσσαλία (Danalatos *et al.*, 2009; Archontoulis *et al.* 2007, 2011). Σε αντίθεση, οι Goksoy *et al.* (2004) καταγράφουν τιμές LAI έως 3.08 που διατηρούνται έως και το στάδιο γαλακτώματος του σπόρου, καθώς και οι Connor *et al.* (1985) τιμή LAI ίση με 2.5. Επί-

σης, οι Ruiz & Maddonni (2006) αναφέρουν ότι η κριτική τιμή του LAI για μέγιστη παραγωγή είναι 2,89. Σε σχέση με τα επίπεδα λίπανσης, οι μέγιστες τιμές του LAI μετρήθηκαν στο επίπεδο N15 και την ενσωμάτωση του ψυχανθούς.

Μετά την επίτευξη των μέγιστων τιμών του, ο LAI μειώνεται στη συνέχεια αντικατοπτρίζοντας την ωρίμανση και πτώση των φύλλων, αλλά γενικά παραμένει σε τιμές ≥ 3 , γεγονός που σημαίνει ικανή δέσμευση φωτός ($\geq 85\%$) ακόμα και σε προχωρημένα στάδια ανάπτυξης.

Ολικό ξηρό βάρος

Όπως φαίνεται καθαρά στον Πίνακα 3.3.2 και το Σχήμα 3.3.4, η επίδραση των επεμβάσεων με ψυχανθή όσο και της εφαρμογής αζωτούχου λίπανσης στη συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας ήταν κεφαλαιώδης (ειδικά μέχρι το επίπεδο των 10 μονάδων αζώτου ανά στρέμμα) ξεπερνώντας τα αναμενόμενα επίπεδα. Η επίδραση της λίπανσης και της μεταχείρισης του ψυχανθούς ήταν πρόδηλη και στις δύο περιοχές μελέτης και τα δύο έτη καλλιέργειας. Η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων αναφορικά με την τελική παραγωγή μεταξύ των ετών, οφείλεται στις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες, και κυρίως το διαφορετικό εύρος ημερησίων θερμοκρασιών του αέρα και των αναγκών εξατμισοδιαπνοής. Η μεγαλύτερη παραγωγή ξηρής βιομάζας στην περιοχή των Τρικάλων το 2009 οφείλεται στον υψηλότερο LAI που κράτησε κλειστή τη φυλλοστοιβάδα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Φαίνεται επίσης να είναι αποτέλεσμα της βελτίωσης της εδαφικής δομής (Salmeron – Miranda *et al.*, 2007; Soon *et al.*, 2004) και των καλύτερων φυσικών ιδιοτήτων του αμμοαργιλώδους εδάφους των Τρικάλων σε σχέση με το βαρύ αργιλικό της Λάρισας, εδαφικές ιδιότητες που οδήγησαν σε ιδιαίτερα ψηλές αποδόσεις βιομάζας, ανάλογες αυτών που βρέθηκαν στη Θεσσαλία σε προηγούμενες εργασίες με ποικιλίες ηλίανθου (Danalatos *et al.*, 2009; Archontoulis *et al.*, 2007). Συγκεκριμένα, το συνολικό ξηρό βάρος της καλλιέργειας ενώ δεν ξεπέρασε τα 900 kg ανά στρέμμα στους μάρτυρες, αυξήθηκε περί τα 200-250 kg με την προσθήκη 10 μονάδων N, και περί τα 200 έως και 400 kg -ανάλογα με τη μεταχείριση του ψυχανθούς-, με τις υψηλότερες επιδόσεις να παρατηρούνται στην περίπτωση της ενσωμάτωσης. Σύμφωνα με τους Lemaire *et al.* (2004) υπό συνθήκες άφθονης παροχής N, η πρόσληψη N εξαρτάται και από την εν δυνάμει αύξηση του καλλιεργούμενου φυτού, και από την ικανότητά του να αποθηκεύει το πλεονάζον άζωτο.

Πίνακας 3.3.2. Ύψος φυτών και ξηρά βάρη φύλλων, βλαστών, καρπών και ολικής βιομάζας ηλίανθου για 4 επίπεδα N λίπανσης και 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς στους πειρ. αγρούς Λάρισας και Τρικάλων τα έτη 2008 και 2009. [Λ: N₀:0, N₅:5, N₁₀:10 και N₁₅:15 kg N/στρ, Μ: Κ=συγκομιδή καρπού, Ε=ενσωμάτωση, Μ=μάρτυρας).

Πιν. 3.3.2. Λάρισα 2008 (φύτρωμα 16/6/2008)

| JD | | 199 | 209 | 225 | 248 | 278 |
|--|-----------------------|------|-------|--------|-------|--------|
| ΗΜΦ | | 33 | 43 | 59 | 82 | 112 |
| Ύψος (cm) | | | | | | |
| | N ₀ | 27 | 88 | 141 | 150 | 148 |
| | N ₅ | 28 | 101 | 162 | 157 | 158 |
| Λ | N ₁₀ | 31 | 87 | 166 | 163 | 160 |
| | N ₁₅ | 30 | 95 | 165 | 163 | 159 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | ns | ns | 6,3 | 7,0 | 10,1 |
| | K | 30 | 95 | 166 | 158 | 158 |
| Μ | E | 31 | 94 | 163 | 166 | 159 |
| | M | 26 | 90 | 147 | 151 | 153 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | ns | ns | 4,7 | 5,5 | ns |
| | CV(%) | 16,6 | 9,5 | 7,4 | 8,0 | 14,5 |
| Φύλλα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 190 | 292 | 1375 | 1925 | 1150 |
| | N ₅ | 200 | 314 | 1550 | 2075 | 1250 |
| Λ | N ₁₀ | 245 | 587 | 1725 | 2256 | 1650 |
| | N ₁₅ | 265 | 607 | 1825 | 2700 | 1475 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 20,0 | 65,9 | 140,0 | 357,7 | 367,0 |
| | K | 221 | 442 | 1575 | 2306 | 1369 |
| Μ | E | 281 | 575 | 1763 | 2662 | 1631 |
| | M | 173 | 333 | 1519 | 1748 | 1144 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 16,6 | 62,2 | 98,0 | 269,2 | 250,0 |
| | CV(%) | 11,0 | 16,0 | 7,0 | 13,9 | 9,1 |
| Βλαστοί (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 198 | 504 | 2750 | 3817 | 2600 |
| | N ₅ | 215 | 622 | 3150 | 4183 | 2921 |
| Λ | N ₁₀ | 305 | 972 | 3450 | 5225 | 3600 |
| | N ₁₅ | 355 | 1137 | 3525 | 5750 | 3650 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 72,6 | 230,0 | 1250,0 | 458,9 | 1300,0 |
| | K | 246 | 791 | 3188 | 4894 | 3263 |
| Μ | E | 345 | 1053 | 3525 | 5325 | 3916 |
| | M | 214 | 583 | 2944 | 4013 | 2400 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 54,8 | 206,0 | 1092,0 | 516,6 | 1120,0 |
| | CV (%) | 7,5 | 8,0 | 10,0 | 12,6 | 9,0 |
| Ολική ξηρή βιομάζα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 388 | 797 | 5900 | 8842 | 7854 |
| | N ₅ | 415 | 936 | 6700 | 9558 | 8558 |
| Λ | N ₁₀ | 550 | 1560 | 7650 | 11631 | 10413 |
| | N ₁₅ | 620 | 1744 | 7900 | 12575 | 10428 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 72,1 | 73,3 | 625,0 | 778,6 | 890,0 |
| | K | 467 | 1234 | 6881 | 10913 | 9557 |
| Μ | E | 626 | 1628 | 7988 | 12150 | 11515 |
| | M | 386 | 916 | 6244 | 8892 | 6864 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 55,1 | 62,9 | 426,0 | 474,7 | 710,0 |
| | CV (%) | 12,9 | 5,8 | 7,0 | 5,1 | 6,5 |

(Συνέχεια) Πιν. 3.3.2. Λάρισα 2009 (φύτρωμα 20/6/2009)

| JD | | 193 | 208 | 237 | 251 | 274 |
|---|-----------------------|------|-------|--------|-------|--------|
| ΗΜΦ | | 23 | 38 | 67 | 81 | 104 |
| Υψος (cm) | | | | | | |
| | N ₀ | 27 | 88 | 140 | 148 | 148 |
| | N ₅ | 21 | 93 | 159 | 157 | 158 |
| Λ | N ₁₀ | 24 | 97 | 165 | 157 | 158 |
| | N ₁₅ | 23 | 100 | 164 | 157 | 157 |
| | EΣΔ _(0,05) | 3,8 | 5,0 | 17,0 | 7,0 | 6,0 |
| | K | 26 | 94 | 166 | 157 | 158 |
| M | E | 24 | 92 | 163 | 157 | 159 |
| | M | 21 | 97 | 142 | 150 | 150 |
| | EΣΔ _(0,05) | 3,7 | 4,6 | 15,0 | 6,2 | 7,8 |
| | CV(%) | 7,8 | 11,0 | 14,0 | 15,0 | 16,0 |
| Φύλλα (kg ha ⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 53 | 308 | 2600 | 1388 | 1373 |
| | N ₅ | 53 | 383 | 2796 | 1560 | 946 |
| Λ | N ₁₀ | 58 | 638 | 3087 | 1740 | 1000 |
| | N ₁₅ | 55 | 690 | 3200 | 1800 | 1145 |
| | EΣΔ _(0,05) | 4,1 | 150,0 | 318,0 | 210,0 | 240,0 |
| | K | 56 | 493 | 3009 | 1562 | 1098 |
| M | E | 58 | 638 | 3334 | 1862 | 1238 |
| | M | 49 | 383 | 2419 | 1442 | 908 |
| | EΣΔ _(0,05) | 6,2 | 89,0 | 251,0 | 197,0 | 5,3 |
| | CV(%) | 12,6 | 14,0 | 7,0 | 8,5 | 7,6 |
| Βλαστοί (kg ha ⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 28 | 535 | 4075 | 3300 | 2875 |
| | N ₅ | 28 | 678 | 4163 | 3650 | 3075 |
| Λ | N ₁₀ | 28 | 1058 | 4090 | 4038 | 3600 |
| | N ₁₅ | 33 | 1238 | 4775 | 4550 | 3725 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | 374,0 | 64,0 | ns | 607,0 |
| | K | 34 | 807 | 4360 | 4031 | 3394 |
| M | E | 28 | 1150 | 4838 | 4284 | 3900 |
| | M | 24 | 675 | 3630 | 3337 | 2662 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | 259,0 | 48,7 | 730,1 | 530,0 |
| | CV (%) | 17,4 | 14,0 | 7,8 | 21,7 | 8,0 |
| Ολική ξηρή βιομάζα (kg ha ⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 80 | 843 | 7414 | 8393 | 7610 |
| | N ₅ | 80 | 1060 | 7905 | 9336 | 7203 |
| Λ | N ₁₀ | 85 | 1695 | 8449 | 10694 | 8932 |
| | N ₁₅ | 87 | 1928 | 9240 | 11066 | 9126 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | 193,0 | 684,9 | 972,1 | 1572,6 |
| | K | 90 | 1300 | 8316 | 10069 | 8836 |
| M | E | 86 | 1787 | 9566 | 11563 | 9568 |
| | M | 73 | 1058 | 6874 | 7984 | 6248 |
| | EΣΔ _(0,05) | 14,8 | 478,0 | 1089,2 | 730,0 | 654,4 |
| | CV (%) | 15,9 | 16,5 | 13,6 | 7,5 | 8,1 |

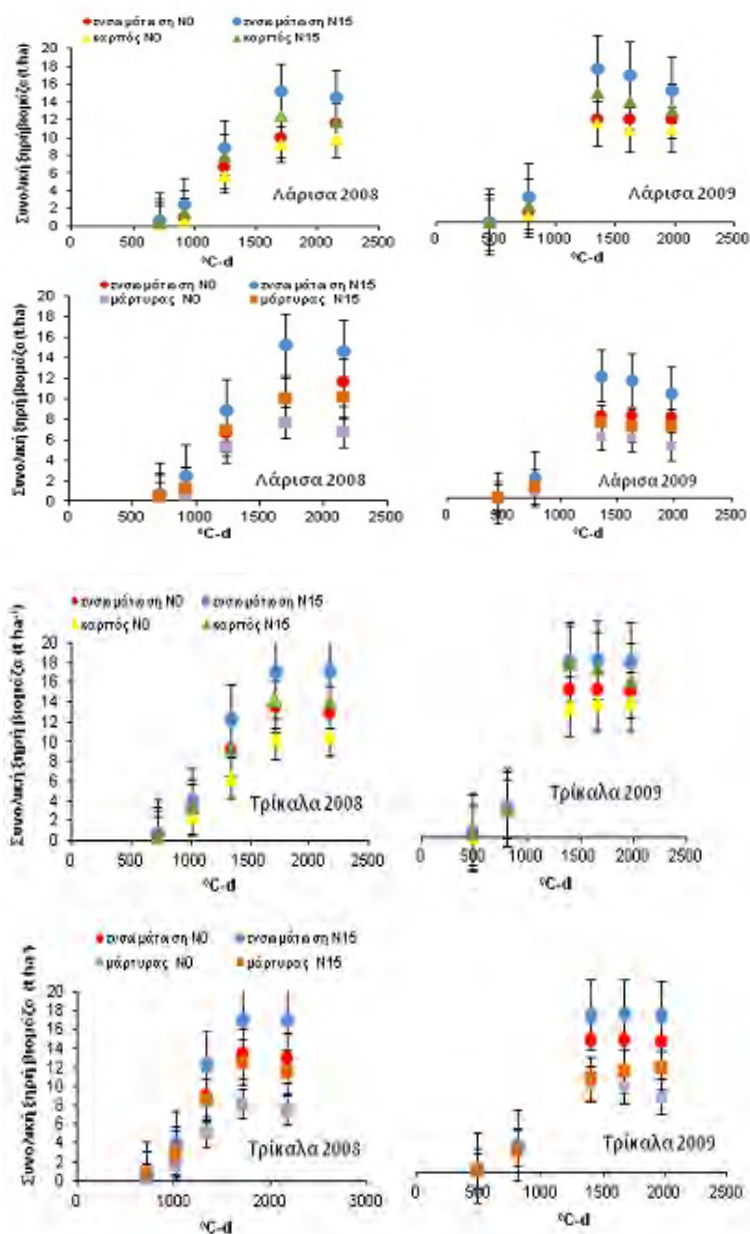
(Συνέχεια) Πιν. 3.3.2. Τρίκαλα 2008 (φύτρωμα 17/6/2008)

| JD | | 200 | 214 | 229 | 246 | 276 |
|---|-----------------------|------|-------|--------|--------|-------|
| ΗΜΦ | | 31 | 45 | 60 | 77 | 107 |
| Υψος (cm) | | | | | | |
| | N ₀ | 27 | 90 | 137 | 145 | 146 |
| | N ₅ | 28 | 92 | 148 | 157 | 159 |
| Λ | N ₁₀ | 30 | 100 | 160 | 165 | 166 |
| | N ₁₅ | 30 | 112 | 158 | 165 | 166 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | 10,5 | 13,2 | 16,5 |
| | K | 30 | 103 | 146 | 157 | 158 |
| M | E | 33 | 108 | 162 | 171 | 173 |
| | M | 24 | 85 | 135 | 146 | 147 |
| | EΣΔ _(0,05) | 1,7 | 13,8 | 11,8 | 12,4 | 14,0 |
| | CV(%) | 7,7 | 16,2 | 14,0 | 15,2 | 13,2 |
| Φύλλα (kg ha ⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 178 | 950 | 1600 | 2225 | 1475 |
| | N ₅ | 180 | 1088 | 1925 | 2513 | 1750 |
| Λ | N ₁₀ | 250 | 1225 | 2203 | 2615 | 2025 |
| | N ₁₅ | 413 | 1437 | 2392 | 2900 | 2025 |
| | EΣΔ _(0,05) | 30,0 | 176,0 | 314,1 | 388,8 | 380,0 |
| | K | 221 | 1134 | 1918 | 2531 | 1875 |
| M | E | 300 | 1453 | 2484 | 2890 | 2100 |
| | M | 244 | 938 | 1687 | 2269 | 1481 |
| | EΣΔ _(0,05) | 18,0 | 162,0 | 287,5 | 342,7 | 252,0 |
| | CV(%) | 8,1 | 15,0 | 5,0 | 6,4 | 7,5 |
| Βλαστοί (kg ha ⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 198 | 1525 | 3225 | 4550 | 3338 |
| | N ₅ | 165 | 1675 | 3863 | 5150 | 4000 |
| Λ | N ₁₀ | 310 | 1900 | 4400 | 5700 | 4775 |
| | N ₁₅ | 335 | 2075 | 4625 | 5925 | 4800 |
| | EΣΔ _(0,05) | 38,8 | 36,0 | 1050,0 | 1120,0 | 880,0 |
| | K | 255 | 1875 | 3797 | 5175 | 4303 |
| M | E | 300 | 2044 | 4781 | 6150 | 5063 |
| | M | 201 | 1463 | 3506 | 4669 | 3319 |
| | EΣΔ _(0,05) | 28,9 | 337,0 | 940,0 | 1050,0 | 720,0 |
| | CV (%) | 13,2 | 16,0 | 10,1 | 11,0 | 7,2 |
| Ολική ξηρή βιομάζα (kg ha ⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 375 | 2475 | 6925 | 10650 | 9142 |
| | N ₅ | 345 | 2763 | 8088 | 12088 | 10670 |
| Λ | N ₁₀ | 560 | 3125 | 9292 | 13590 | 12699 |
| | N ₁₅ | 748 | 3512 | 10192 | 14428 | 12540 |
| | EΣΔ _(0,05) | 38,4 | 290,0 | 1153,1 | 1456,5 | 860,0 |
| | K | 476 | 3009 | 8189 | 12246 | 11410 |
| M | E | 600 | 3497 | 10561 | 15171 | 13666 |
| | M | 444 | 2400 | 7121 | 10650 | 8712 |
| | EΣΔ _(0,05) | 29,1 | 210,0 | 103,7 | 321,0 | 720,0 |
| | CV (%) | 6,6 | 8,0 | 14,0 | 12,9 | 9,0 |

(Συνέχεια) Πιν. 3.3.2. Τρίκαλα 2009 (φύτρωμα 22/6/2009)

| JD | | 195 | 209 | 236 | 249 | 267 |
|--|-----------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| ΗΜΦ | | 23 | 37 | 64 | 77 | 95 |
| Υψος (cm) | | | | | | |
| | N ₀ | 24 | 96 | 148 | 152 | 152 |
| | N ₅ | 23 | 92 | 157 | 159 | 158 |
| Λ | N ₁₀ | 25 | 92 | 160 | 164 | 163 |
| | N ₁₅ | 28 | 94 | 160 | 162 | 162 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | ns | ns | 10,2 | ns | 8,45 |
| | K | 27 | 93 | 155 | 161 | 160 |
| M | E | 26 | 98 | 165 | 167 | 166 |
| | M | 23 | 90 | 149 | 150 | 150 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | ns | ns | 3,9 | ns | 11,2 |
| | CV(%) | 6,2 | 11,2 | 14,0 | 14,1 | 13,8 |
| Φύλλα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 100 | 945 | 2350 | 1816 | 1275 |
| | N ₅ | 105 | 638 | 2392 | 1850 | 1300 |
| Λ | N ₁₀ | 168 | 725 | 2750 | 2000 | 1450 |
| | N ₁₅ | 165 | 817 | 2750 | 1814 | 1375 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 147,0 | 104,8 | ns | ns | 114,5 |
| | K | 129 | 907 | 2588 | 1950 | 1425 |
| M | E | 173 | 703 | 3182 | 1885 | 1444 |
| | M | 101 | 733 | 1912 | 1774 | 1181 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 24,0 | ns | 315,5 | ns | 160,8 |
| | CV(%) | 15,5 | 16,2 | 14,1 | 13,2 | 15,2 |
| Βλαστοί (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 103 | 1310 | 4783 | 4000 | 3626 |
| | N ₅ | 85 | 980 | 4875 | 4075 | 3342 |
| Λ | N ₁₀ | 140 | 1102 | 6400 | 5350 | 4850 |
| | N ₁₅ | 153 | 1300 | 5725 | 4925 | 4475 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 36,7 | 111,0 | ns | 820,0 | 637,3 |
| | K | 124 | 1372 | 6056 | 5156 | 4688 |
| M | E | 152 | 1131 | 6306 | 5269 | 4812 |
| | M | 84 | 1016 | 3975 | 3338 | 2719 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 22,5 | 86,8 | 569,0 | 1140,0 | 441,1 |
| | CV (%) | 12,0 | 8,6 | 7,7 | 16,0 | 8,5 |
| Ολική ξηρή βιομάζα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 203 | 2255 | 7325 | 10341 | 8691 |
| | N ₅ | 190 | 1618 | 7650 | 11050 | 9145 |
| Λ | N ₁₀ | 308 | 1827 | 8776 | 13100 | 11220 |
| | N ₁₅ | 318 | 2117 | 9125 | 12289 | 10648 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 17,5 | 109,0 | 849,0 | 1610,0 | 1615,0 |
| | K | 253 | 2279 | 8325 | 12656 | 10527 |
| M | E | 324 | 1834 | 9244 | 13717 | 12039 |
| | M | 186 | 1749 | 7087 | 8712 | 7211 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 13,4 | 218,1 | 608,0 | 1120,0 | 1323,0 |
| | CV (%) | 14,0 | 6,3 | 7,2 | 6,8 | 12,1 |

Κατά συνέπεια αναμένεται κατά την ανάλυση της προσρόφησης αζώτου (βλ. Κεφ. 3.5) να βρεθεί σημαντική διαφοροποίηση ανάλογα με την μεταχείριση του ψυχανθούς, τόσο λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας του στοιχείου στο έδαφος όσο και της αυξημένης αποδοτικότητας της εφαρμοσμένης προσθήκης αζώτου (με τη λίπανση) λόγω της βελτίωσης των εδαφικών ιδιοτήτων.



Σχήμα 3.3.4. Μεταβολή της συνολικής ξηρής βιομάζας ($t\ ha^{-1}$) με τη θερμική ηλικία του ηλίανθου ($^{\circ}C\cdot d$) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και για δύο επίπεδα λίπανσης (N_0 και N_{15}), στη Λάρισα και τα Τρίκαλα (2008-2009). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή \pm τυπικό σφάλμα (για $LSD_{0,05}$).

3.3.2 Όργανα καρποφορίας - απόδοση

Η θετική επίδραση της Νχου λίπανσης στην απόδοση του ηλίανθου σε σπόρο είναι γνωστή σε προηγούμενες εργασίες που διεξήχθησαν στην Ελλάδα, όπου καταγράφονται αποδόσεις 4-4,5 t/ha με εφαρμογές 10-15 μονάδων N (Archontoulis *et al.*, 2007, Geronikolou *et al.*, 2004) και παγκοσμίως (Göksoy *et al.*, 2004, Zubillaga *et al.*, 2002, Ruffo *et al.*, 2003, Rinaldi *et al.*, 2001, 2003; Albrizio & Steduto, 2005, κλπ). Όπως ήταν αναμενόμενο, σημαντική επίδραση της αζωτούχου λίπανσης βρέθηκε και στην παρούσα εργασία και στις δύο περιοχές μελέτης και τα δύο έτη πειραματισμού, με τις μέγιστες τιμές στις μεταχειρίσεις N10 και N15, όπου σημειώνεται αύξηση της απόδοσης σε σπόρο περί τους 1-1,2 t/ha (από 3 t/ha στους 4-4,2 t/ha).

Αυτό που ξεπέρασε τα αναμενόμενα, ήταν η θετική επίδραση της αμειψισποράς του ψυχανθούς και κυρίως της χλωρής λίπανσης στις αποδόσεις σε ξηρό σπόρο που έφθασαν στην περίπτωση της ενσωμάτωσης του ψυχανθούς τους 5 t/ha και στις δύο περιοχές μελέτης το 2008, και περί τους 4,2-4,72 t/ha, το 2009. Οι βροχές που έπεσαν νωρίς το Σεπτέμβριο 2008 (περίπου 80 mm) φαίνεται ότι βοήθησαν το γέμισμα του σπόρου μέχρι την έναρξη της φυσιολογικής ωρίμανσης του φυτού (Ξανθόπουλος, 1993). Έτσι ανάλογα με τη χρονιά, η ενσωμάτωση μπορεί να επιφέρει αύξηση της απόδοσης από 30-50%, ενώ πολύ καλά αποτελέσματα βρέθηκαν και με την αμειψισπορά με αύξηση της απόδοσης 25-50% (1-1,5 t/ha).

Οι διαφορές στην απόδοση σε σπόρο φαίνεται να μην επηρεάστηκαν σημαντικά από άλλα χαρακτηριστικά όπως α) τον αριθμό των σπόρων ανά κεφαλή (που κυμάνθηκε ευρέως μεταξύ 1683 και 2264, $MO=\pm 2000$), β) το δείκτη συγκομιδής που κυμάνθηκε περί το $MO=0,39$ ($CV=7,2-13,1\%$), σύμφωνα και με προηγούμενα αποτελέσματα υπό Zubillaga *et al.* (2002), Ruffo *et al.* (2003), Göksoy *et al.* (2004), Archontoulis *et al.* (2007), Danalatos *et al.* (2004, 2005), και γ) το λόγο ξηρού βάρους σπόρου/κεφαλής που κυμαίνεται περί το 0,70 χωρίς στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις.

Είναι πολύ σημαντικό ότι στα ελαφρύτερα (αμμώδη) εδάφη όπως αυτό των Τρικάλων μπορεί να επιτευχθούν σημαντικές αποδόσεις σε σπόρο και συνολική βιομάζα με μόνο μικρές εφαρμογές αζωτούχου λιπάσματος εφόσον υιοθετηθεί η καλλιεργητική πρακτική της αμειψισποράς, και ιδιαίτερα εκείνη της χλωρής λίπανσης με χρήση ψυχανθών και ειδικότερα του μπιζελιού.

Πιν. 3.3.3. Μετρημένες παράμετροι συγκομιδής ηλίανθου

Λάρισα 2008

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | Βάρος ξηρού σπόρου (kg/ha) | Συνολικό ξ.β. κεφαλής (kg/ha) | Αριθμός σπόρων | Διάμετρος κεφαλής (cm) |
|---|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| | N ₀ | 2826 | 4033 | 1753 | 20 |
| | N ₅ | 3194 | 4507 | 1811 | 22 |
| Λ | N ₁₀ | 3597 | 5062 | 1847 | 27 |
| | N ₁₅ | 3663 | 4779 | 1855 | 27 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 209,0 | 768,7 | 166,8 | 1,3 |
| | K | 3415 | 4681 | 1796 | 19 |
| M | E | 4165 | 5759 | 2060 | 21 |
| | M | 2537 | 3346 | 2094 | 15 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 686,0 | 612,1 | ns | 1,1 |
| | CV(%) | 5,5 | 13,6 | 7,8 | 9,4 |

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | ξ.β. σπόρου / ξ.β. κεφαλής | Δείκτης συ- γκομιδής | Υπόλειμμα/Ξ.Β. κεφαλής |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | N ₀ | 0,70 | 0,41 | 0,30 |
| | N ₅ | 0,71 | 0,45 | 0,29 |
| Λ | N ₁₀ | 0,69 | 0,39 | 0,31 |
| | N ₁₅ | 0,70 | 0,40 | 0,32 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | 0,026 | ns |
| | K | 0,72 | 0,45 | 0,29 |
| M | E | 0,73 | 0,43 | 0,27 |
| | M | 0,66 | 0,36 | 0,35 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 0,048 | 0,026 | 0,019 |
| | CV(%) | 2,9 | 7,2 | 7,1 |

Λάρισα 2009

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | Βάρος ξηρού σπόρου (kg/ha) | Συνολικό ξ.β. κεφαλής (kg/ha) | Αριθμός σπόρων | Διάμετρος κεφαλής (cm) |
|---|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| | N ₀ | 3753 | 5500 | 1888 | 18 |
| | N ₅ | 3887 | 5347 | 1993 | 23 |
| Λ | N ₁₀ | 4376 | 5908 | 2010 | 26 |
| | N ₁₅ | 4154 | 4151 | 2098 | 26 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 103, 8 | 402,1 | 237,5 | 2,6 |
| | K | 4116 | 5343 | 1973 | 24 |
| M | E | 5197 | 6857 | 2221 | 27 |
| | M | 3295 | 4629 | 1799 | 19 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 789,7 | 782,5 | 278,2 | 3,6 |
| | CV(%) | 14,5 | 19,9 | 16,1 | 12,4 |

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | ξ.β. σπόρου / ξ.β. κεφαλής | Δείκτης συ- γκομιδής | Υπόλειμμα/Ξ.Β. κεφαλής |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | N ₀ | 0,71 | 0,39 | 0,29 |
| | N ₅ | 0,68 | 0,40 | 0,32 |
| Λ | N ₁₀ | 0,67 | 0,36 | 0,33 |
| | N ₁₅ | 0,67 | 0,37 | 0,32 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | ns | ns |
| | K | 0,68 | 0,38 | 0,32 |
| M | E | 0,70 | 0,39 | 0,30 |
| | M | 0,67 | 0,37 | 0,33 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | 0,001 | ns |
| | CV(%) | 12,9 | 8,7 | 9,0 |

(Συνέχεια Πιν. 3.3.3) Τρίκαλα 2008

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | Βάρος ξηρού σπόρου (kg/ha) | Συνολικό ξ.β. κεφαλής (kg/ha) | Αριθμός σπόρων | Διάμετρος κεφαλής (cm) |
|---|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| | N ₀ | 3222 | 4829 | 1810 | 21 |
| | N ₅ | 3970 | 5632 | 1942 | 22 |
| Λ | N ₁₀ | 4432 | 6193 | 1958 | 23 |
| | N ₁₅ | 4576 | 6270 | 1948 | 23 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 302,5 | 350,0 | ns | ns |
| | K | 3844 | 5478 | 1863 | 23 |
| M | E | 5288 | 7399 | 2264 | 26 |
| | M | 3019 | 4314 | 1618 | 18 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 91,4 | 217,0 | 162,7 | 1,2 |
| | CV(%) | 12,3 | 9,5 | 12,0 | 11,3 |

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | ξ.β. σπόρου / ξ.β. κεφαλής | Δείκτης συ- γκομιδής | Υπόλειμμα/Ξ.Β. κεφαλής |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | N ₀ | 0,67 | 0,33 | 0,33 |
| | N ₅ | 0,70 | 0,35 | 0,30 |
| Λ | N ₁₀ | 0,72 | 0,36 | 0,29 |
| | N ₁₅ | 0,73 | 0,36 | 0,27 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns |
| | K | 0,70 | 0,34 | 0,30 |
| M | E | 0,71 | 0,35 | 0,29 |
| | M | 0,70 | 0,34 | 0,30 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns |
| | CV(%) | 14,0 | 13,1 | 11,0 |

Τρίκαλα 2009

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | Βάρος ξηρού σπόρου (kg/ha) | Συνολικό ξ.β. κεφαλής (kg/ha) | Αριθμός σπόρων | Διάμετρος κεφαλής (cm) |
|---|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| | N ₀ | 3283 | 4378 | 1683 | 21 |
| | N ₅ | 3643 | 5128 | 1837 | 22 |
| Λ | N ₁₀ | 3633 | 5742 | 1933 | 28 |
| | N ₁₅ | 3784 | 5544 | 1905 | 27 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 536,4 | 810,0 | 242,0 | 3,7 |
| | K | 3956 | 5098 | 1811 | 25 |
| M | E | 5123 | 6600 | 2209 | 30 |
| | M | 3895 | 3895 | 1500 | 19 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | 692,7 | 690,0 | 29,1 | 2,8 |
| | CV(%) | 12,0 | 12,0 | 14,0 | 13,2 |

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | ξ.β. σπόρου / ξ.β. κεφαλής | Δείκτης συ- γκομιδής | Υπόλειμμα/Ξ.Β. κεφαλής |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | N ₀ | 0,71 | 0,36 | 0,29 |
| | N ₅ | 0,71 | 0,39 | 0,28 |
| Λ | N ₁₀ | 0,68 | 0,35 | 0,32 |
| | N ₁₅ | 0,68 | 0,35 | 0,33 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns |
| | K | 0,68 | 0,37 | 0,32 |
| M | E | 0,72 | 0,39 | 0,28 |
| | M | 0,68 | 0,37 | 0,32 |
| | ΕΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns |
| | CV(%) | 8,3 | 9,1 | 10,2 |

Στα πιο γόνιμα, αργιλώδη εδάφη (Λάρισα), η αμειψισπορά παρέχει σαφή πλεονεκτήματα όσον αφορά στον οργανικό άνθρακα και στις ενζυματικές δραστηριότητες και έχουν σχέση με το ποσοστό της εδαφικής οργανικής ουσίας καθώς και το ολικό ποσοστό N. Το βαθύ, πασσαλώδες ριζικό σύστημα του ηλίανθου αξιοποιεί τα μέγιστα των θρεπτικών και από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους (Melero *et al.*, 2011; Lopez-Belido *et al.*, 2010; Sainju *et al.*, 2006; Omay *et al.*, 1997; Potter *et al.*, 1998; Ashraf *et al.*, 2004).

Πιο λεπτομερής συζήτηση που θα περιλαμβάνει οικονομικά στοιχεία σε επίπεδο αγροκτήματος ακολουθεί στο Κεφάλαιο 3.7, όπου αξιολογείται η πολύ σημαντική επίδραση της αμειψισποράς και της χλωρής λίπανσης στην απόδοση του ηλίανθου (και του αραβόσιτου) και καταδεικνύει τις καλλιεργητικές αυτές πρακτικές ως βασικούς παράγοντες αειφορικής παραγωγής με ελαχιστοποίηση των εισροών και περιβαλλοντικών εκροών (κινδύνων) και μεγιστοποίηση της οικονομικής προσόδου, του κέρδους του παραγωγού και τελικά του οφέλους της γεωργικής και της εθνικής οικονομίας.

3.4 Καλλιέργεια αραβοσίτου

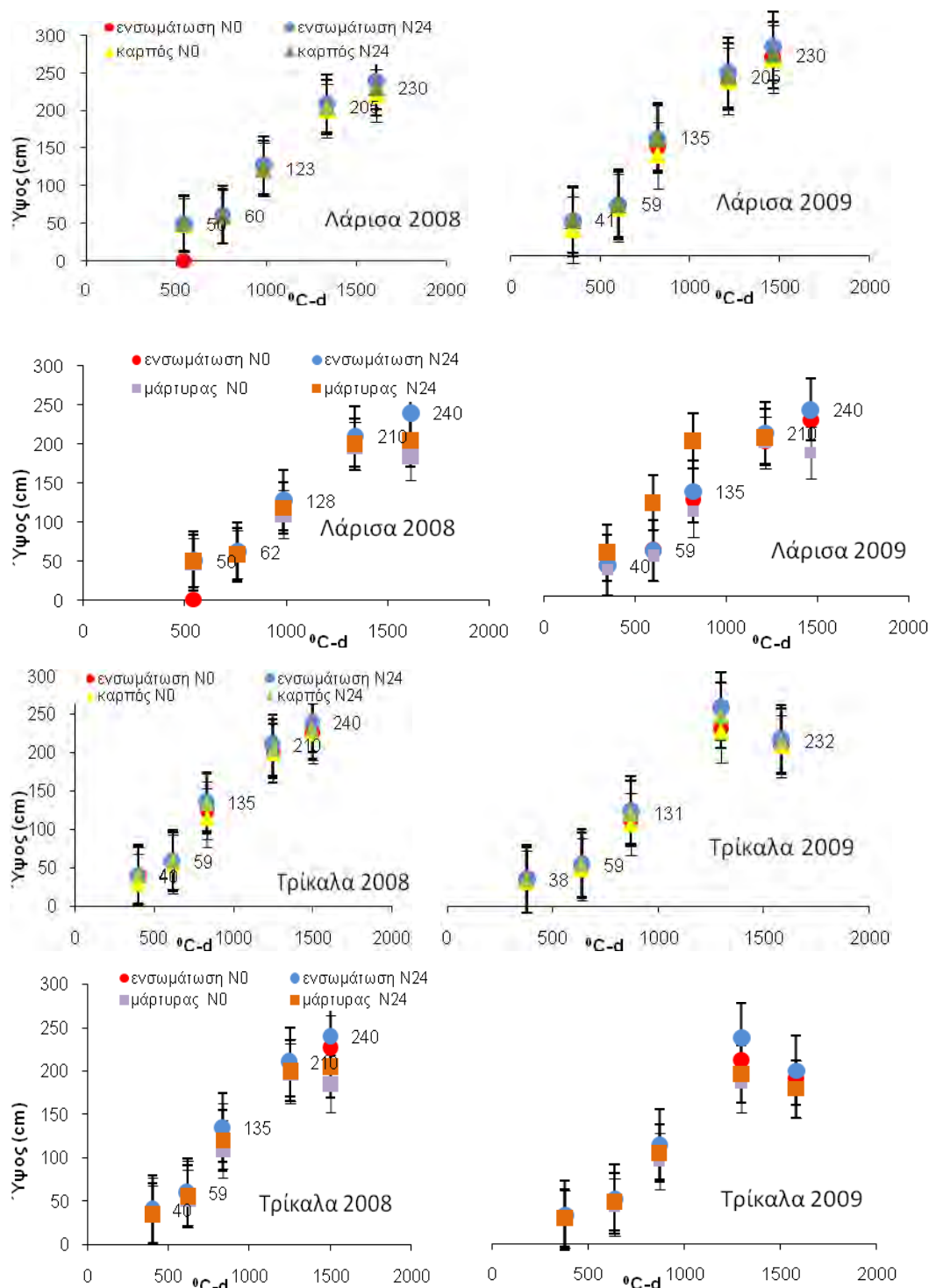
3.4.1 Αύξηση και ανάπτυξη

Ύψος φυτών

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4.1 ο ρυθμός αύξησης του ύψους ακολούθησε γραμμική πορεία μέχρι την ανθοφορία, όταν τα φυτά απέκτησαν το μέγιστο ύψος. Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.4.1 επιβεβαιώνεται η υπεροχή των φυτών στα τεμάχια, όπου προηγήθηκαν οι μεταχειρίσεις καλλιέργειας του ψυχανθούς με στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Κατά την αρχική βλαστική ανάπτυξη, τα νεαρά φυτά του αραβοσίτου παρουσίασαν παραπλήσιους χαμηλούς ρυθμούς αύξησης σε όλες τις μεταχειρίσεις (0,5–0,7 cm/d), ενώ με την πρόοδο του χρόνου αναδείχθηκε ξεκάθαρα η υπεροχή της επίδρασης της χλωρής λίπανσης. Περί τις 22 - 33 ημέρες μετά το φύτευμα, το ύψος των φυτών ήταν περί τα 35 - 50 cm και στη συνέχεια μέχρι την πλήρη ανθοφορία οι ρυθμοί επιταχύνθηκαν έως τα 5,46 cm/d για την ενσωμάτωση και 4,9 cm/d για το μάρτυρα. Το τελικό ύψος κυμάνθηκε μεταξύ 198 και 240 cm ανάλογα με το επίπεδο λίπανσης και τη διαχείριση του ψυχανθούς συμβαδίζοντας με την αύξηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και αποκτώντας το μέγιστο του ρυθμού τους με το μέγιστο ανάπτυξης της φυλλοστοιβάδας.

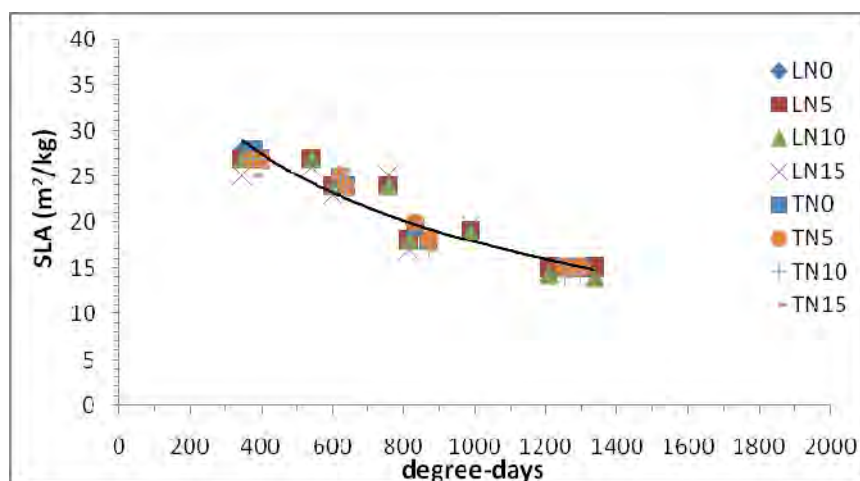
Σημαντικό ρόλο παρουσιάζει η εφαρμογή της επιφανειακής Νούχου λίπανσης σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (ύψος φυτών περί τα 60 cm), καθώς τα νεαρά φυτά του αραβοσίτου χρειάζονται επαρκή ποσότητα αζώτου για την ανεμπόδιστη ανάπτυξή τους (Schröder, 1999; Varvel *et al.*, 1997; Schittenhelm, 2008; Magdoff, 1991). Η βασική λίπανση εξασφαλίζει την πλούσια ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και την πρώτη ώθηση στην έναρξη αύξησης των φυτών, και η επιφανειακή λίπανση την ταχεία ανάπτυξη λίγο πριν την άνθηση. Στην περίπτωση της μεταχείρισης του ψυχανθούς, η ταχεία αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων του μπιζελίου βοήθησε στην περαιτέρω απόδοση N στο έδαφος. Για τον παράγοντα λίπανση, στατιστικά σημαντικές διαφορές έδωσαν οι μέσοι όροι των τριών τελευταίων δειγματοληψιών (225, 248, 275 J.d.). Η μέγιστη τιμή μέσων όρων παρατηρείται στην ενσωμάτωση και με επίπεδο λίπανσης N24.



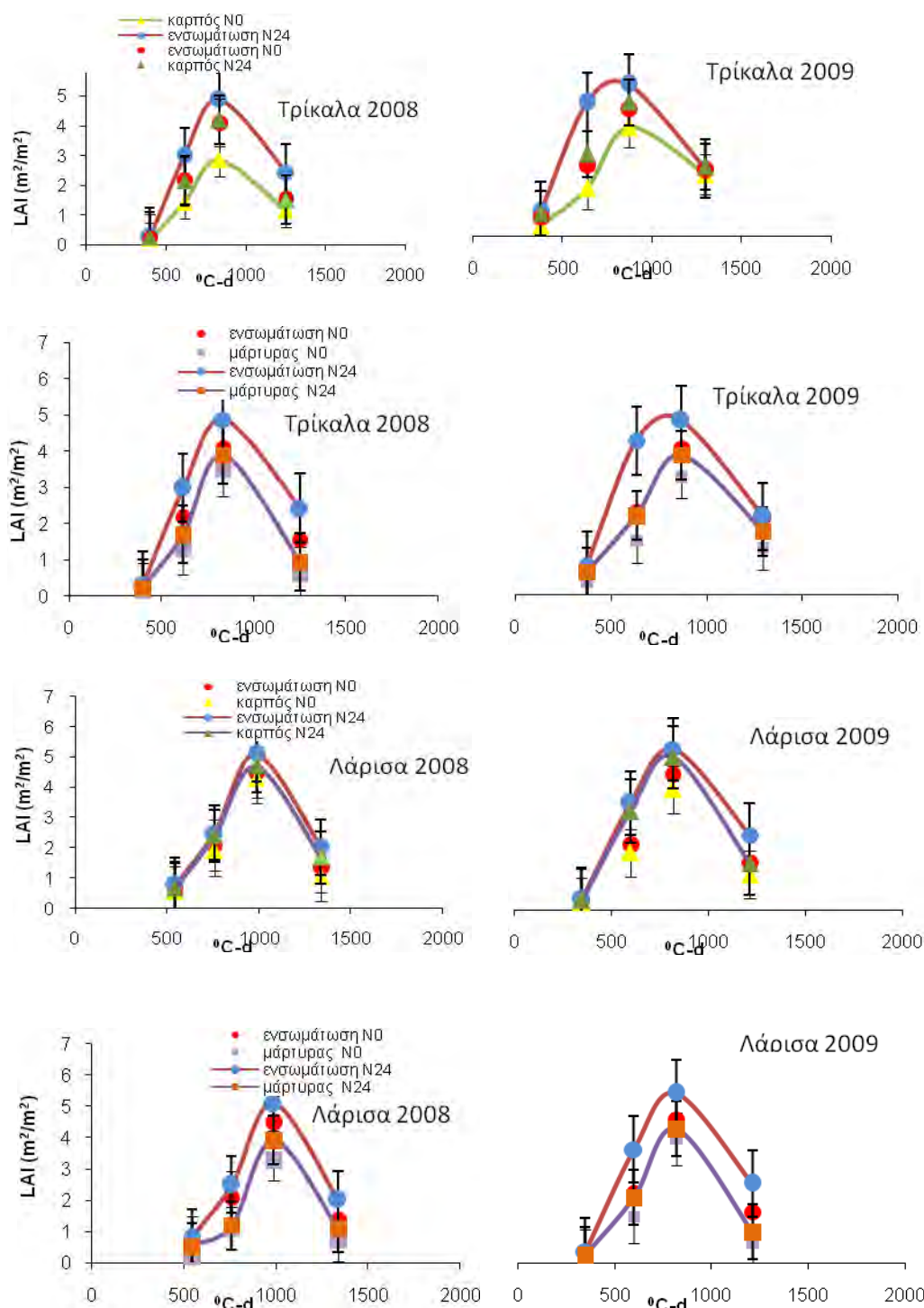
Σχήμα 3.4.1. Εξέλιξη του ύψους (cm), του αραβόσιτου με την ανάπτυξη της καλλιέργειας ($^{\circ}\text{C-d}$) από την πρώτη δειγματοληψία μέχρι την ωρίμανση, για τις μεταχειρίσεις ενσωμάτωσης και καρπού (α), και ενσωμάτωσης και μάρτυρα (β), και για 2 επίπεδα λίπανσης N_0 και N_{24} , στην περιοχή Λάρισας και Τρικάλων τα έτη 2008 και 2009. Οι κάθετες μπάρες (για $\text{LSD}_{0.05}$) απεικονίζουν τη μέση τιμή \pm τυπικό σφάλμα.

Φύλλα – Βλαστοί

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3.4.1, μετά από σχετικά βραδεία αρχική βλαστική ανάπτυξη, η καλλιέργεια στη συνέχεια παρουσίασε μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης στη μεταχείριση ενσωμάτωσης του μπιζελίου ($65,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ και στο μάρτυρα $35,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), με σημαντικές διαφορές όμως μεταξύ των μεταχειρίσεων. Η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική σε όλες τις δειγματοληψίες, και των φύλλων και των βλαστών και μεταξύ των επιπέδων λίπανσης, αλλά και μεταξύ των μεταχειρίσεων. Σύμφωνα με τους Massignam *et al.* (2011), όσο αυξάνει η παροχή N στον κύκλο αύξησης του αραβοσίτου, τόσο διατηρούνται για περισσότερο χρόνο τα φύλλα πράσινα. Η μεταχείριση με τη μεγάλη εφαρμογή αζώτου (240 kg/ha) έδειξε σημαντική υπεροχή έναντι των λιγότερων μονάδων N (Uribe-larrea *et al.*, 2009; Efthimiadou *et al.*, 2009; Ma *et al.*, 2005). Οι μέγιστες τιμές μετρήθηκαν στα τεμάχια της ενσωμάτωσης με επίπεδο λίπανσης N_{24} . Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ξηρά βάρη βλαστών και φύλλων φθάνουν τις μέγιστες τιμές τους περί τα τέλη Αυγούστου έως αρχές Σεπτεμβρίου (JD 248-251), δηλαδή περί τις 80 ημέρες μετά το φύτευμα. Με την ολοκλήρωση της άνθησης παρουσιάζεται σημαντική μείωση του ξηρού βάρους των φύλλων και βλαστών και για τις τρεις μεταχειρίσεις, που οφείλεται στη γήρανση και πτώση των φύλλων και στα αυξημένα επίπεδα αναπνοής στα προχωρημένα αυτά στάδια ανάπτυξης.



Σχήμα 3.4.2. Λογαριθμική μεταβολή της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA, m^2/kg) με τη θερμική ηλικία του ηλίανθου ($^{\circ}\text{C-d}$) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις λίπανσης [L=Λάρισα, T=Τρίκαλα το 2008 και το 2009 (MO για 3 μεταχειρίσεις ψυχάνθους)].



Σχήμα 3.4.3. Μεταβολή του LAI (m^2/m^2) με τη θερμική ηλικία του ηλιάνθου ($^{\circ}\text{C-d}$) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και για δύο επίπεδα λίπανσης (N_0 και N_{15}), στη Λάρισα και τα Τρίκαλα (2008-2009). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή \pm τυπικό σφάλμα (για $\text{LSD}_{0.05}$).

Πίν. 3.4.1. Ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA, kg/m²) και LAI (m²/m²) αραβοσίτου για 4 επίπεδα N-χου λίπανσης και 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς στους πειραματικούς αγρούς Λάρισας και Τρικάλων (2008, 2009). [Λ: N₀:0, N₅:5, N₁₀:10 και N₁₅:15 kg N/στρ, Μ: Κ=συγκομιδή καρπού, Ε=ενσωμάτωση, Μ=μάρτυρας).

Λάρισα 2008 (φύτρωμα 13/6/2008)

| JD | | 199 | 209 | 225 | 248 |
|------------|-----------------------|------|-------|-------|------|
| 278HMΦ | | 33 | 43 | 59 | 82 |
| SLA | | | | | |
| | N ₀ | 27 | 24 | 19 | 15 |
| | N ₅ | 27 | 24 | 19 | 15 |
| Λ | N ₁₀ | 27 | 24 | 19 | 14 |
| | N ₁₅ | 26 | 25 | 19,5 | 14 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | K | 27 | 25 | 18,5 | 14 |
| Μ | E | 28 | 26 | 19 | 15 |
| | M | 25 | 20 | 19 | 13 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,5 | 0,8 | ns | ns |
| | CV(%) | 5,0 | 7,0 | 2,0 | 3,0 |
| LAI | | | | | |
| | N ₀ | 0,48 | 0,7 | 3,5 | 1,05 |
| | N ₅ | 0,49 | 0,8 | 3,7 | 1,32 |
| Λ | N ₁₀ | 0,6 | 0,8 | 4,1 | 1,6 |
| | N ₁₅ | 0,6 | 0,8 | 4,2 | 1,6 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | 0,012 | 0,02 |
| | K | 0,6 | 0,75 | 3,7 | 1,45 |
| Μ | E | 0,64 | 0,82 | 4,51 | 1,7 |
| | M | 0,4 | 0,73 | 3,5 | 1,04 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | 0,007 | 0,011 | 0,01 |
| | CV(%) | 6,3 | 4,0 | 6,0 | 1,1 |

Λάρισα 2009 (φύτρωμα 19/6/2009)

| JD | | 193 | 208 | 222 | 249 |
|------------|-----------------------|-------|------|------|------|
| HMΦ | | 23 | 38 | 52 | 79 |
| SLA | | | | | |
| | N ₀ | 28 | 24 | 18 | 15 |
| | N ₅ | 27 | 24 | 18 | 15 |
| Λ | N ₁₀ | 27 | 24 | 17 | 14,3 |
| | N ₁₅ | 25 | 23 | 17 | 14,5 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | K | 27 | 25 | 18 | 13 |
| Μ | E | 29 | 26 | 18 | 15 |
| | M | 25 | 22 | 16 | 13 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | 0,3 | ns | ns |
| | CV(%) | 5,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 |
| LAI | | | | | |
| | N ₀ | 0,28 | 1,8 | 3,27 | 2,1 |
| | N ₅ | 0,25 | 2,1 | 4,4 | 2,4 |
| Λ | N ₁₀ | 0,28 | 2,6 | 4,7 | 2,5 |
| | N ₁₅ | 0,31 | 2,9 | 3,5 | 2,5 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,02 | 0,18 | 0,16 | 0,12 |
| | K | 0,29 | 2,5 | 3,7 | 2 |
| Μ | E | 0,31 | 2,9 | 4,3 | 3 |
| | M | 0,24 | 1,7 | 3,2 | 1,3 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,012 | 0,12 | 0,11 | 0,09 |
| | CV(%) | 6,0 | 2,0 | 4,0 | 6,0 |

Τρίκαλα 2008 (φύτρωμα 25/6/2008)

| JD | | 199 | 213 | 226 | 251 |
|------------|-----------------------|-------|-------|------|-------|
| ΗΜΦ | | 22 | 36 | 49 | 74 |
| SLA | | | | | |
| | N ₀ | 27 | 25 | 19,5 | 15 |
| | N ₅ | 27 | 25 | 20 | 15 |
| Λ | N ₁₀ | 27 | 25 | 20 | 14 |
| | N ₁₅ | 26 | 24 | 20 | 14 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | K | 26 | 25 | 20 | 14 |
| M | E | 28 | 25 | 19,7 | 15 |
| | M | 25 | 24 | 19,5 | 14 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | CV(%) | 4,0 | 2,5 | 3,0 | 6,0 |
| LAI | | | | | |
| | N ₀ | 0,2 | 1,5 | 3 | 1,1 |
| | N ₅ | 0,2 | 1,6 | 3,2 | 1,2 |
| Λ | N ₁₀ | 0,25 | 2 | 4 | 1,5 |
| | N ₁₅ | 0,25 | 2,3 | 4,9 | 1,6 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,005 | 0,3 | 0,5 | 0,015 |
| | K | 0,23 | 1,8 | 3,3 | 1,3 |
| M | E | 0,25 | 2,3 | 4,3 | 2 |
| | M | 0,19 | 1,4 | 2,7 | 0,78 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,007 | 0,016 | 0,29 | 0,012 |
| | CV(%) | 6,6 | 2,5 | 2,9 | 3,0 |

Τρίκαλα 2009 (φύτρωμα 21/6/2009)

| JD | | 195 | 209 | 223 | 250 |
|------------|-----------------------|-------|------|------|-------|
| ΗΜΦ | | 24 | 38 | 52 | 79 |
| SLA | | | | | |
| | N ₀ | 28 | 24 | 19 | 15 |
| | N ₅ | 27 | 24 | 19 | 15 |
| Λ | N ₁₀ | 27 | 24 | 19 | 14 |
| | N ₁₅ | 25 | 23 | 19,5 | 14 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns |
| | K | 27 | 25 | 18 | 13 |
| M | E | 29 | 26 | 19 | 15 |
| | M | 25 | 24 | 19 | 13 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,2 | ns | ns | ns |
| | CV(%) | 3,7 | 5,0 | 8,0 | 2,2 |
| LAI | | | | | |
| | N ₀ | 0,2 | 1,5 | 2,8 | 1,1 |
| | N ₅ | 0,21 | 1,6 | 3,2 | 1,2 |
| Λ | N ₁₀ | 0,25 | 2 | 4,2 | 1,5 |
| | N ₁₅ | 0,25 | 2,2 | 5 | 1,6 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,01 | 0,17 | 0,21 | 0,001 |
| | K | 0,23 | 1,8 | 3,4 | 1,35 |
| M | E | 0,25 | 2,3 | 4,8 | 2 |
| | M | 0,2 | 1,45 | 2,9 | 0,8 |
| | EΣΔ _(0,05) | 0,011 | 0,1 | 0,01 | 0,1 |
| | CV(%) | 7,5 | 4,5 | 7,7 | 4,5 |

Χαρακτηριστικά φυλλοστοιβάδας

Στον Πίνακα 3.4.1 παρατηρούμε ότι και στην περίπτωση του αραβοσίτου, η SLA έχοντας μεγάλη σχετικά τιμή στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας (SLA_{MAX}) μειώνεται με το χρόνο, μέχρις ότου αποκτήσει μια ελάχιστη τιμή κατά την ωρίμανση του αραβοσίτου (SLA_{MIN}). Στο Σχήμα 3.4.2 παρουσιάζεται ότι η μεταβολή της SLA σχετίζεται με τη θερμική ηλικία του φυτού ανεξάρτητα με το έδαφος, το επίπεδο λίπανσης και τη μεταχείριση του ψυχανθούς. Η σχέση αυτή μπορεί γενικά να περιγραφεί με μια λογαριθμική γραμμή τάσης (Driessen & Konijn, 1992) που στην περίπτωση μας λαμβάνει τη μορφή:

$$SLA = SLA_{MIN} - 0.5(SLA_{MAX} - SLA_{MIN}) * \ln DVS \text{ (m}^2\text{/kg)}, R^2 = 0,870$$

όπου για τις SLA_{MAX} και SLA_{MIN} βρέθηκαν αντίστοιχα οι τιμές 28 m²/kg και 14.3 m²/kg αντίστοιχα, και $DVS = \text{πραγματικές } ^\circ\text{C-d} / 1337 \text{ } ^\circ\text{C-days}$, όπου 1337 °C-days είναι οι συνολικές βαθμοημέρες (πάνω από τη βασική θερμοκρασία 10°C) που παρατηρήθηκε ωρίμανση του αραβοσίτου.

Τα φύλλα του αραβοσίτου γίνονται λεπτότερα σε συνθήκες χαμηλής ηλιοφάνειας, γεγονός που αποδίδεται στη γήρανση και την πτώση των παλαιών κατώτερων φύλλων που είναι λεπτότερα και έχουν μεγαλύτερες τιμές SLA (Danalatos, 1993). Τα αποτελέσματα έρευνας του ανωτέρω ερευνητή για την Ελλάδα και την Ολλανδία καταγράφουν τιμές του δείκτη SLA με εύρος από 49 έως 10 m²/kg ξ.ο. και για τις δύο περιοχές, με αρχικές τιμές (αρχική ανάπτυξη αραβοσίτου) μικρότερες κατά 10-20 m²/kg ξ.ο. στην περιοχή της Ελλάδας από εκείνες της Ολλανδίας.

Αντίθετα με την SLA, οι τιμές του LAI παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές καθ' όλη τη διάρκεια ανάπτυξης του αραβοσίτου ανάλογα με τα επίπεδα λίπανσης και τις μεταχειρίσεις του ψυχανθούς, όπως προκύπτει από τις ΕΣΔ_{0,05} (Πιν. 3.4.1, Σχ. 3.4.3). Και για τις δύο περιοχές το μέγιστο της τιμής του LAI κυμάνθηκε περίπου στα ίδια επίπεδα (4,5 και 4,3 για τη Λάρισα έναντι 4,3 στα Τρίκαλα για τα έτη 2008, 2009 αντίστοιχα). Ανάλογες τιμές του δείκτη αναφέρονται σε προηγούμενες εργασίες με αραβόσιτο στο Πακιστάν με μέγιστη τιμή 4,5 και διακύμανση της τιμής LAI όσον αφορά στα διαφορετικά επίπεδα Νούχου λίπανσης (3,6 – 4,5 για 60-180 kg N/ha) (Amanullah, 2005). Σε αντίθεση, οι Lindquist *et al.* (2005) καταγράφουν μεγαλύτερες μέγιστες τιμές LAI από 4,8 έως 7,8 σε πενταετή πειράματα στη Νεμπράσκα. Σε πειράματα αμειψισποράς στον Ελλαδικό χώρο με κομπόστ φυτικών υπολειμμάτων μπιζελιού και κοπριάς στην επόμενη καλλιέργεια του αραβοσίτου, κα-

ταγράφηκε τιμή LAI 2,79 (Bilalis *et al.*, 2012). Οι Akbar *et al.* (2002) αναφέρουν ότι υψηλές παραγωγές γλυκού καλαμποκιού καταγράφηκαν με παροχή 200 kg N/ha. Οι Cheruiyot *et al.* (2001) επιβεβαιώνουν την αύξηση του LAI του αραβοσίτου μετά από μεταχείριση ενσωμάτωσης ψυχανθών, συμπεριλαμβανομένου και του μπιζελιού καθώς και μετά από συνδυασμό ανόργανης και οργανικής λίπανσης. Η καλλιέργεια διατήρησε κλειστή φυλλοστοιβάδα, για την περίπτωση της ενσωμάτωσης, μεγαλύτερο χρονικό διάστημα έναντι των άλλων δύο μεταχειρίσεων του ψυχανθούς με τιμές $4,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (ενσωμάτωση) έναντι $3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ του μάρτυρα. Η παροχή ανόργανου 24 μονάδων αζώτου παρουσίασε υπερχή, και στα τεμάχια της ενσωμάτωσης η καλλιέργεια επιτάχυνε την κλειστή φυλλοστοιβάδα κατά 4 ημέρες νωρίτερα από εκείνα του μάρτυρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Efthimiadou *et al.* (2009, 2010), ο συνδυασμός οργανικής και ανόργανης λίπανσης ασκεί εντονότερη επίδραση στην αύξηση, την παραγωγή και τη φωτοσύνθεση των φυτών του αραβοσίτου, με τις τιμές του LAI να παρουσιάζονται χαμηλότερες για τα φυτά που αναπτύσσονται μόνον με οργανική ή μόνον με ανόργανη λίπανση και τις πλέον χαμηλές να παρατηρούνται στα φυτά του μάρτυρα.

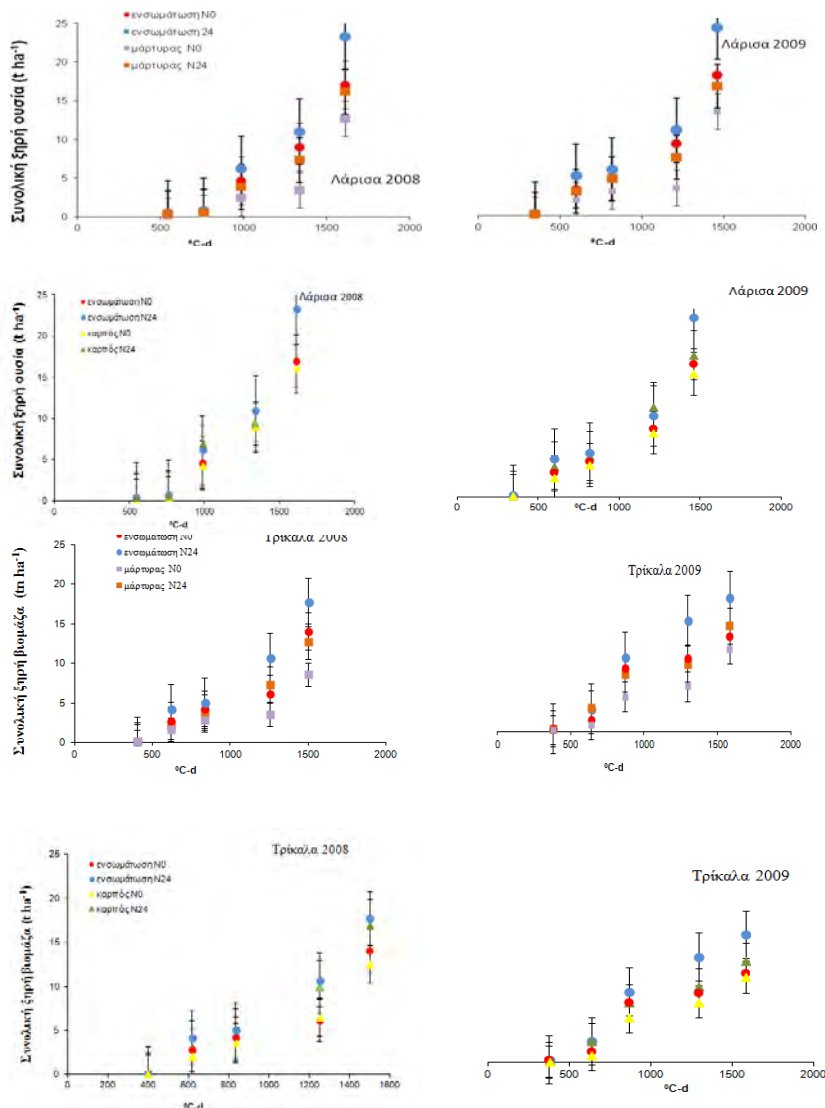
Ολικό ξηρό βάρος

Όπως είναι φανερό (Σχ. 3.4.4 και Πιν. 3.4.2), η επίδραση των επεμβάσεων με ψυχανθή όσο και της εφαρμογής αζωτούχου λίπανσης στη συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας (παρότι το υβρίδιο είναι μικρού βιολογικού κύκλου) έφθασε σε σχετικά καλά επίπεδα, εάν εξαιρέσουμε τις παραγωγές του μάρτυρα ακόμη και με τη λίπανση των 24 μονάδων N. Η επίδραση της λίπανσης με τη μεταχείριση του ψυχανθούς ήταν πρόδηλη και στις δύο περιοχές μελέτης και τα δύο έτη καλλιέργειας. Η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων αναφορικά με την τελική παραγωγή μεταξύ των ετών οφείλεται στις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες, και κυρίως το διαφορετικό εύρος ημερησίων θερμοκρασιών αέρα και αναγκών εξατμισοδιαπνοής. Η μεγαλύτερη παραγωγή ξηρής βιομάζας στην περιοχή της Λάρισας οφείλεται στον υψηλότερο LAI που κράτησε κλειστή τη φυλλοστοιβάδα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, καθώς επίσης και στο αργιλικό έδαφος της Λάρισας που οδήγησαν σε ιδιαίτερα ψηλές αποδόσεις βιομάζας, ανάλογες αυτών που βρέθηκαν σε προηγούμενες εργασίες. Αρχικά η καλλιέργεια παρουσίασε μικρούς ρυθμούς αύξησης χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στη συνέχεια όσον αφορά στους ρυθμούς αύξησης επήλθαν διαφοροποιήσεις μεταξύ των μεταχειρίσεων φθάνοντας στη φάση της ωρίμανσης με

ημερήσιους ρυθμούς αύξησης 292, 226, 189 kg/ha για τη μεταχείριση της ενσωμάτωσης του μπιζελιού, της συγκομιδής και του μάρτυρα, αντίστοιχα. Η ενσωμάτωση έδωσε περισσότερη βιομάζα από τη μεταχείριση του μάρτυρα με ποσοστό 13,3 – 36% στα Τρίκαλα και 7,8 – 28% στη Λάρισα, ενώ στα τεμάχια που έγινε η συγκομιδή του καρπού σε σχέση με το μάρτυρα έδωσε περισσότερη βιομάζα κατά 5-30% στα Τρίκαλα και 9-16% στη Λάρισα. Η μέγιστη τιμή προκύπτει από τη μεταχείριση της ενσωμάτωσης και σε επίπεδο λίπανσης 24 μονάδων N στις 100-112 ημέρες από το φύτευμα. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζονται και από τον Massignam και τους συνεργάτες του (2009, 2011) όπως και από τον Wang και τους συνεργάτες του (2007). Όσον αφορά στην ολική ξηρή βιομάζα σε επίπεδο ανόργανης λίπανσης, η διαφορά των μέσων όρων είναι σημαντική και μεταξύ των επιπέδων λίπανσης και μεταξύ των μεταχειρίσεων, όπως αυτό επιβεβαιώνεται από τις τιμές των ΕΣΔ_(0,05). Η επιπλέον παροχή αζώτου προκάλεσε αύξηση των τιμών της ολικής ξηρής βιομάζας που διαμορφώθηκαν στους 18.300 kg/ha για τη Λάρισα και 14.084 – 17.782 kg/ha για τα Τρίκαλα με παροχή 16 μονάδων αζώτου. Οι χαμηλότερες τιμές το 2008 αντικατοπτρίζουν το αποτέλεσμα των χαμηλότερων τιμών σε όλα τα χαρακτηριστικά της αύξησης για το συγκεκριμένο έτος, όπως αυτά εμφανίζονται και στους Πίνακες 3.4.2.

Σημαντικό είναι ότι με τη χλωρή λίπανση αντισταθμίστηκε η εφαρμογή 240 kg/ha αζώτου και στις δύο περιοχές. Σύμφωνα με τους Uribe-larrea *et al.* (2009), και τους Ma *et al.* (2005) ο αραβόσιτος παρουσιάζει μεγάλη ανταπόκριση στην παροχή αζώτου με αποτέλεσμα αυξημένες παραγωγές.

Η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων στην τελική παραγωγή μεταξύ των ετών, πιθανόν να οφείλεται στο διαφορετικό ύψος βροχής και στις διαφοροποιήσεις των ημερήσιων θερμοκρασιών. Η μεγαλύτερη παραγωγή στην περιοχή της Λάρισας οφείλεται στον υψηλότερο LAI που κράτησε ανοιχτή τη φυλλοστοιβάδα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ανάλογες παραγωγές σημειώνονται και στα αποτελέσματα αμειψισποράς με μπιζέλι, των ερευνητών Bilalis *et al.* (2012) (15,6- 17,5 t/ha για το μάρτυρα και την ενσωμάτωση, αντίστοιχα). Οι Riedell *et al.* (2009) σε συστήματα εφαρμοζόμενης αμειψισποράς δίνουν ανάλογες παραγωγές αραβοσίτου με ψυχανθές τη σόγια. Επίσης, στα αποτελέσματά τους αναφέρουν τη σταθερότητα παραγωγής του αραβοσίτου μέσα από τετραετείς αμειψισπορές οι οποίες συμπεριλαμβάνουν χορτοδοτικά ψυχανθή έναντι των διετών αμειψισπορών με καρποδοτικά ψυχανθή.



Σχήμα 3.4.4. Συνολική ξηρή βιομάζα με τη θερμική ηλικία του αραβοσίτου ($^{\circ}\text{C-d}$) για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς και για δύο επίπεδα λίπανσης (N_0 και N_{24}), στη Λάρισα και τα Τρίκαλα (2008-2009). Οι κάθετες μπάρες απεικονίζουν τη μέση τιμή \pm τυπικό σφάλμα (για $\text{LSD}_{0,05}$).

Πίνακας 3.4.2. Ύψος φυτών και ξηρά βάρη φύλλων, βλαστών, καρπών και ολικής βιομάζας του αραβοσίτου για 4 επίπεδα N-χου λίπανσης και 3 μεταχειρίσεις ψυχανθούς στους πειραματικούς αγρούς Λάρισας και Τρικάλων το 2008 και 2009. [Λ: N₀:0, N₅:5, N₁₀:10 και N₁₅:15 kg N/στρ, Μ: Κ=συγκομιδή καρπού, Ε= ενσωμάτωση, Μ=μάρτυρας).

Πιν. 3.4.2. Λάρισα 2008 (φύτρωμα 13/6/2008)

| JD | | 199 | 209 | 225 | 248 | 278 |
|--|-----------------------|------|------|-------|-------|-------|
| ΗΜΦ | | 33 | 43 | 59 | 82 | 112 |
| Ύψος (cm) | | | | | | |
| | N ₀ | 49 | 53 | 120 | 200 | 209 |
| | N ₈ | 49 | 60 | 132 | 200 | 217 |
| Λ | N ₁₆ | 50 | 60 | 123 | 200 | 224 |
| | N ₂₄ | 50 | 60 | 123 | 205 | 225 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | ns | ns | 7,8 |
| | K | 50 | 60 | 122 | 201 | 227 |
| Μ | E | 50 | 57 | 128 | 202 | 231 |
| | M | 49 | 59 | 116 | 199 | 198 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | 8,5 | 5,5 | 13,4 |
| | CV(%) | 13,0 | 13,5 | 17,4 | 8,0 | 14,5 |
| Φύλλα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 203 | 345 | 1887 | 1100 | 963 |
| | N ₈ | 215 | 390 | 2038 | 1190 | 1017 |
| Λ | N ₁₆ | 257 | 420 | 2213 | 1200 | 1187 |
| | N ₂₄ | 272 | 427 | 2561 | 1270 | 1275 |
| | EΣΔ _(0,05) | 20,0 | 65,9 | 424,0 | 380,0 | 367,0 |
| | K | 247 | 400 | 2220 | 1050 | 1057 |
| Μ | E | 260 | 441 | 2425 | 1310 | 1288 |
| | M | 203 | 347 | 1879 | 920 | 986 |
| | EΣΔ _(0,05) | 16,6 | 62,2 | ns | 220,0 | 250,0 |
| | CV(%) | 16,0 | 16,0 | 15,5 | 16,0 | 9,1 |
| Βλαστοί (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 92 | 180 | 2805 | 2990 | 3175 |
| | N ₈ | 97 | 205 | 3064 | 3450 | 3725 |
| Λ | N ₁₆ | 112 | 233 | 3850 | 4010 | 4264 |
| | N ₂₄ | 127 | 238 | 4250 | 4430 | 4642 |
| | EΣΔ _(0,05) | 10,4 | 21,0 | 625,0 | 113,0 | 637,0 |
| | K | 110 | 197 | 3841 | 3469 | 3594 |
| Μ | E | 120 | 251 | 4161 | 5020 | 5119 |
| | M | 92 | 193 | 2475 | 3040 | 3142 |
| | EΣΔ _(0,05) | 6,0 | 29,0 | 469,0 | 76,0 | 456,0 |
| | CV (%) | 15,0 | 18,0 | 14,0 | 13,0 | 14,0 |
| Ολική ξηρή βιομάζα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 296 | 525 | 4692 | 4090 | 15623 |
| | N ₈ | 312 | 595 | 5102 | 4640 | 16855 |
| Λ | N ₁₆ | 370 | 652 | 6063 | 5210 | 18226 |
| | N ₂₄ | 400 | 665 | 6811 | 5700 | 18967 |
| | EΣΔ _(0,05) | 15,0 | 25,0 | 687,0 | 323,0 | 638,0 |
| | K | 358 | 596 | 6061 | 5070 | 17307 |
| Μ | E | 381 | 692 | 6586 | 6030 | 20123 |
| | M | 295 | 540 | 4357 | 3960 | 14553 |
| | EΣΔ _(0,05) | 17,1 | 62,9 | 57,0 | 212,0 | 805,0 |
| | CV (%) | 15,7 | 15,8 | 16,0 | 14,0 | 14,0 |

(Πιν. 3.4.2 -Συνέχεια) Λάρισα 2009 (φύτρωμα 19/6/2009)

| JD | | 193 | 208 | 222 | 249 | 274 |
|--|-----------------------|------|-------|-------|-------|--------|
| ΗΜΦ | | 23 | 38 | 52 | 79 | 104 |
| Υψος (cm) | | | | | | |
| | N ₀ | 35 | 56 | 117 | 172 | 213 |
| | N ₈ | 38 | 56 | 122 | 170 | 217 |
| Λ | N ₁₆ | 37 | 58 | 125 | 180 | 224 |
| | N ₂₄ | 39 | 58 | 130 | 179 | 225 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | 7,0 | ns | 7,0 |
| | K | 37 | 58 | 123 | 181 | 228 |
| M | E | 39 | 59 | 130 | 172 | 233 |
| | M | 35 | 54 | 118 | 173 | 198 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | ns | 0,75 | ns | 1,0 |
| | CV(%) | 4,0 | 13,0 | 12,0 | 13,0 | 13,0 |
| Φύλλα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 107 | 1049 | 1725 | 1050 | 941 |
| | N ₈ | 100 | 1100 | 1772 | 1300 | 1051 |
| Λ | N ₁₆ | 113 | 1338 | 2250 | 1575 | 1157 |
| | N ₂₄ | 128 | 1385 | 2412 | 1577 | 1159 |
| | EΣΔ _(0,05) | 12,1 | 192,0 | 210,0 | 239,0 | 168,0 |
| | K | 114 | 1226 | 2033 | 1425 | 1131 |
| M | E | 122 | 1527 | 2475 | 1856 | 1055 |
| | M | 99 | 900 | 1613 | 844 | 1044 |
| | EΣΔ _(0,05) | 12,2 | 244,0 | 291,0 | 367,0 | ns |
| | CV(%) | 13,6 | 14,1 | 15,0 | 17,0 | 16,2 |
| Βλαστοί (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 38 | 1700 | 2325 | 2368 | 3029 |
| | N ₈ | 40 | 1957 | 2625 | 3165 | 3560 |
| Λ | N ₁₆ | 45 | 2401 | 2825 | 3545 | 4175 |
| | N ₂₄ | 55 | 2675 | 2925 | 4262 | 4139 |
| | EΣΔ _(0,05) | 14,2 | 292,0 | 295,0 | 569,0 | 509,0 |
| | K | 47 | 2156 | 2813 | 3562 | 3937 |
| M | E | 51 | 2831 | 2925 | 2686 | 3753 |
| | M | 36 | 1563 | 2288 | 2756 | 3488 |
| | EΣΔ _(0,05) | 4,1 | 444,0 | 540,0 | 110,0 | 217,0 |
| | CV (%) | 14,5 | 14,0 | 12,0 | 17,0 | 17,0 |
| Ολική ξηρή βιομάζα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 145 | 2749 | 4050 | 4268 | 16607 |
| | N ₈ | 140 | 3058 | 4398 | 5350 | 117410 |
| Λ | N ₁₆ | 158 | 3739 | 5075 | 6815 | 17415 |
| | N ₂₄ | 183 | 4060 | 5338 | 7973 | 18348 |
| | EΣΔ _(0,05) | 16,5 | 885,0 | 642,0 | 975,0 | 880,0 |
| | K | 161 | 3382 | 4845 | 6399 | 17427 |
| M | E | 173 | 4358 | 5400 | 7217 | 18886 |
| | M | 135 | 2463 | 3900 | 4688 | 15819 |
| | EΣΔ _(0,05) | 4,0 | 754,0 | 528,0 | 788,0 | 977,0 |
| | CV (%) | 13,5 | 16,8 | 15,0 | 17,0 | 10,0 |

(Πιν. 3.4.2 -Συνέχεια) Τρίκαλα 2008 (φύτρωμα 25/6/2008)

| JD | | 199 | 213 | 226 | 251 | 278 |
|--|-----------------------------|------|-------|-------|-------|--------|
| ΗΜΦ | | 22 | 36 | 49 | 74 | 101 |
| Ύψος (cm) | | | | | | |
| | N₀ | 35 | 56 | 117 | 200 | 213 |
| | N₈ | 38 | 56,6 | 122 | 200 | 217 |
| Λ | N₁₆ | 37 | 58 | 126 | 200 | 224 |
| | N₂₄ | 39 | 58 | 130 | 205 | 225 |
| | ΕΣΔ_(0,05) | 2,1 | 1,6 | 2,8 | ns | ns |
| | K | 38 | 58 | 123 | 201 | 228 |
| M | E | 39 | 59 | 130 | 203 | 233 |
| | M | 35 | 56 | 118 | 200 | 198 |
| | ΕΣΔ_(0,05) | 2,3 | 0,9 | 1,5 | ns | 17,1 |
| | CV(%) | 17,0 | 11,2 | 10,0 | 15,0 | 16,0 |
| Φύλλα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N₀ | 83 | 770 | 1475 | 755 | 675 |
| | N₈ | 85 | 825 | 1650 | 865 | 725 |
| Λ | N₁₆ | 100 | 1025 | 1875 | 966 | 900 |
| | N₂₄ | 105 | 1100 | 2025 | 1088 | 950 |
| | ΕΣΔ_(0,05) | 4,5 | 157,0 | 192,0 | 192,0 | 219,0 |
| | K | 94 | 881 | 1781 | 985 | 797 |
| M | E | 105 | 1162 | 2137 | 1183 | 938 |
| | M | 83 | 746 | 1350 | 588 | 703 |
| | ΕΣΔ_(0,05) | 11,0 | 121,3 | 120,0 | 241,0 | 85,0 |
| | CV(%) | 8,0 | 14,0 | 15,0 | 18,2 | 16,5 |
| Βλαστοί (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N₀ | 23 | 1400 | 2042 | 2805 | 3012 |
| | N₈ | 23 | 1475 | 2125 | 3410 | 3300 |
| Λ | N₁₆ | 33 | 1950 | 2400 | 3850 | 4025 |
| | N₂₄ | 33 | 2125 | 2475 | 4250 | 4275 |
| | ΕΣΔ_(0,05) | 6,0 | 131,0 | 71,5 | 233,0 | 627,0 |
| | K | 26 | 1688 | 2338 | 4161 | 3778 |
| M | E | 34 | 2344 | 2513 | 4101 | 4088 |
| | M | 23 | 1181 | 1931 | 2475 | 3094 |
| | ΕΣΔ_(0,05) | 9,0 | 566,0 | 190,0 | 425,0 | 160,0 |
| | CV (%) | 15,0 | 9,0 | 15,0 | 14,0 | 15,0 |
| Ολική ξηρή βιομάζα (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | N₀ | 105 | 2170 | 3317 | 5410 | 11743 |
| | N₈ | 108 | 2300 | 3775 | 6655 | 12651 |
| Λ | N₁₆ | 133 | 2975 | 4275 | 8841 | 14084 |
| | N₂₄ | 138 | 3325 | 4500 | 9388 | 15851 |
| | ΕΣΔ_(0,05) | 16,7 | 289,0 | 162,0 | 704,0 | 1358,0 |
| | K | 120 | 2569 | 4119 | 8671 | 14644 |
| M | E | 137 | 3507 | 4650 | 8644 | 15900 |
| | M | 105 | 1928 | 3282 | 5407 | 10216 |
| | ΕΣΔ_(0,05) | 9,5 | 85,0 | 84,0 | 846,0 | 902,0 |
| | CV (%) | 12,0 | 13,0 | 12,0 | 15,0 | 14,5 |

(Πιν. 3.4.2 -Συνέχεια) Τρίκαλα 2009 (φύτρωμα 22/6/2009)

| JD | | 195 | 209 | 223 | 250 | 274 |
|---|-----------------------|------|-------|-------|--------|--------|
| ΗΜΦ | | 24 | 38 | 52 | 79 | 103 |
| Υψος (cm) | | | | | | |
| | N ₀ | 35 | 54 | 117 | 239 | 220 |
| | N ₈ | 36 | 54 | 121 | 243 | 220 |
| Λ | N ₁₆ | 37 | 57 | 127 | 253 | 225 |
| | N ₂₄ | 37,5 | 59 | 130 | 259 | 226 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | 3,0 | 12,6 | 13,59 | ns |
| | K | 36 | 56 | 123 | 256 | 229 |
| M | E | 39 | 59 | 129 | 265 | 230 |
| | M | 34 | 53 | 119 | 222 | 209 |
| | EΣΔ _(0,05) | ns | 4,6 | 8,0 | 22,1 | 12,5 |
| | CV(%) | 13,0 | 14,5 | 13,0 | 17,0 | 16,5 |
| Φύλλα (kg ha ⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 190 | 793 | 993 | 1263 | 941 |
| | N ₈ | 208 | 1063 | 1130 | 1588 | 1051 |
| Λ | N ₁₆ | 280 | 1733 | 1238 | 1870 | 1157 |
| | N ₂₄ | 295 | 2008 | 1325 | 1838 | 1158 |
| | EΣΔ _(0,05) | 39,5 | 417,0 | 56,5 | 101,0 | 149,0 |
| | K | 233 | 1354 | 1121 | 1515 | 1131 |
| M | E | 298 | 1590 | 1388 | 2044 | 1055 |
| | M | 199 | 1253 | 1005 | 1360 | 1045 |
| | EΣΔ _(0,05) | 26,3 | 130,6 | 28,0 | 144,0 | 19,1 |
| | CV(%) | 17,0 | 16,2 | 14,0 | 8,8 | 15,0 |
| Βλαστοί (kg ha ⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 100 | 668 | 3825 | 3050 | 2954 |
| | N ₈ | 103 | 873 | 4225 | 4176 | 3541 |
| Λ | N ₁₆ | 132 | 1817 | 4875 | 4325 | 3800 |
| | N ₂₄ | 160 | 1692 | 4925 | 4284 | 4170 |
| | EΣΔ _(0,05) | 30,2 | 223,0 | 210,0 | 556,0 | 390,0 |
| | K | 118 | 1194 | 4181 | 3625 | 3553 |
| M | E | 152 | 1410 | 4950 | 4651 | 3921 |
| | M | 101 | 1183 | 4257 | 3600 | 3375 |
| | EΣΔ _(0,05) | 33,5 | 144,0 | 569,0 | 711,0 | 246,0 |
| | CV (%) | 13,5 | 8,46 | 8,0 | 14,0 | 14,0 |
| Ολική ξηρή βιομάζα (kg ha ⁻¹) | | | | | | |
| | N ₀ | 293 | 1461 | 5668 | 9694 | 14370 |
| | N ₈ | 308 | 1935 | 6241 | 11914 | 16092 |
| Λ | N ₁₆ | 413 | 3550 | 7808 | 13520 | 17782 |
| | N ₂₄ | 455 | 3700 | 8439 | 13871 | 18404 |
| | EΣΔ _(0,05) | 89,0 | 436,0 | 438,0 | 874,0 | 1062,0 |
| | K | 351 | 2548 | 6755 | 11614 | 16384 |
| M | E | 450 | 3000 | 8012 | 15601 | 17914 |
| | M | 300 | 2436 | 6350 | 9535 | 15539 |
| | EΣΔ _(0,05) | 49,5 | 225,0 | 413,0 | 1332,0 | 943,0 |
| | CV (%) | 15,0 | 10,0 | 12,0 | 12,0 | 14,0 |

3.4.2 Όργανα καρποφορίας - απόδοση

Σημαντική επίδραση της αζωτούχου λίπανσης βρέθηκε και στις δύο περιοχές μελέτης και τα δύο έτη πειραματισμού, με τις μέγιστες τιμές στις μεταχειρίσεις N18 και N24, όπου σημειώνονται μέγιστες τιμές απόδοσης σε σπόρο (Πίν. 3.4.3). Η θετική επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στην απόδοση του αραβοσίτου ερμηνεύεται από το γεγονός της σύγχρονης απορρόφησης N και της συσσώρευσης αφομοιωτικών προϊόντων (Smith & Myers, 1978; Ma *et al.*, 2005; Sims *et al.*, 1998). Επιπρόσθετα, η βελτίωση της αποδοτικότητας του αζώτου σχετίζεται και με το χρόνο εφαρμογής των λιπασμάτων ιδιαίτερα σε χονδρόκοκα εδάφη (Seo *et al.*, 2006).

Η υπεροχή της ενσωμάτωσης αναδεικνύεται στατιστικά σημαντική μεταξύ των μεταχειρίσεων του ψυχανθούς έναντι της συγκομιδής του μπιζελιού και φυσικά του μάρτυρα. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τους Aita *et al.* (2004) που αναφέρουν 98% αύξηση της παραγωγής σε σχέση με το μάρτυρα –σε αμειψισπορά με μπιζέλι, καθώς και των Ross & Aita (1996). Επίσης, τα αποτελέσματα συμφωνούν απόλυτα με εκείνα των Bahl & Pasricha (2000) καταδεικνύοντας την υπεροχή της ενσωμάτωσης του μπιζελιού στην αύξηση της παραγωγής του αραβοσίτου κατά 35%, έναντι του μάρτυρα. Ανάλογα αποτελέσματα καταγράφηκαν και από τους Wang *et al.* (2007). Οι Ma *et al.*, (2005) αποδίδουν υψηλότερη παραγωγή αραβοσίτου στην ενσωμάτωση ψυχανθούς, σε σχέση με την παραγωγή του μάρτυρα (μονοκαλλιέργεια) που δέχεται μηδενική λίπανση. Επίσης, οι Idikut *et al.* (2009) σημειώνουν αύξηση στις αποδόσεις καρπού και στις παραμέτρους των οργάνων καρποφορίας, όπως το βάρος 1000 κόκκων, τη διάμετρο του στελέχους, το μήκος σπάδικα σε καλλιέργεια αραβοσίτου, όπου προηγήθηκε καλλιέργεια ψυχανθούς σε συνδυασμό με νιτρική αμμωνία.

Υπήρξε ιδιαίτερα θετική επίδραση της αμειψισποράς του ψυχανθούς και κυρίως της χλωρής λίπανσης στις αποδόσεις σε ξηρό σπόρο που έφθασαν στην περίπτωση της ενσωμάτωσης του μπιζελιού τους 7,3 και 8,2 t/ha το 2008 και τους 9,75 και 8,33 t/ha το 2009 για τις περιοχές Λάρισας και Τρικάλων, αντίστοιχα. Οι βροχές που έπεσαν νωρίς το Σεπτέμβριο 2008 (περίπου 80 mm) φαίνεται ότι βοήθησαν το γέμισμα του σπόρου μέχρι την έναρξη της φυσιολογικής ωρίμανσης του φυτού.

Πιν. 3.4.3. Μετρημένες παράμετροι συγκομιδής αραβοσίτου

Λάρισα 2008

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | Βάρος ξηρού σπόρου (kg/ha) | Συνολικό ξ.β. σπάδικα (kg/ha) | Αριθμός σπόρων | Μήκος σπάδικα (cm) |
|---|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| | N ₀ | 6720 | 8300 | 488 | 24 |
| | N ₈ | 7546 | 9200 | 509 | 24 |
| Λ | N ₁₆ | 8156 | 9875 | 547 | 25 |
| | N ₂₄ | 9226 | 11025 | 574 | 27 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 125,0 | 280,0 | 14,0 | ns |
| | K | 8100 | 9900 | 557 | 25 |
| M | E | 9772 | 11250 | 592 | 29,5 |
| | M | 6135 | 7650 | 440 | 20 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 98,0 | 210,0 | 10,0 | 0,5 |
| | CV(%) | 6,2 | 7,0 | 3,0 | 6,0 |

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | ξ.β. σπόρου / ξ.β. σπάδικα | Δείκτης συ- γκομιδής |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | N ₀ | 0,82 | 0,44 |
| | N ₈ | 0,83 | 0,44 |
| Λ | N ₁₆ | 0,84 | 0,44 |
| | N ₂₄ | 0,84 | 0,47 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | ns |
| | K | 0,83 | 0,46 |
| M | E | 0,85 | 0,47 |
| | M | 0,82 | 0,42 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | ns |
| | CV(%) | 12,5 | 13,0 |

Λάρισα 2009.

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | Βάρος ξηρού σπόρου (kg/ha) | Συνολικό ξ.β. σπάδικα (kg/ha) | Αριθμός σπόρων | Μήκος σπάδικα (cm) |
|---|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| | N ₀ | 8150 | 9452 | 515 | 23 |
| | N ₈ | 9066 | 10437 | 545 | 23 |
| Λ | N ₁₆ | 10146 | 11735 | 568 | 24 |
| | N ₂₄ | 10400 | 12000 | 601 | 28 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 820,0 | 940,0 | 26,0 | ns |
| | K | 8925 | 10809 | 596 | 23 |
| M | E | 11750 | 13781 | 614 | 31 |
| | M | 7647 | 8128 | 467 | 18 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 502,0 | 782,5 | 38,0 | 0,64 |
| | CV(%) | 5,3 | 9,0 | 7,0 | 6,2 |

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | ξ.β. σπόρου / ξ.β. κεφαλής | Δείκτης συ- γκομιδής |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | N ₀ | 0,82 | 0,48 |
| | N ₈ | 0,82 | 0,49 |
| Λ | N ₁₆ | 0,84 | 0,52 |
| | N ₂₄ | 0,84 | 0,51 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | ns |
| | K | 0,82 | 0,51 |
| M | E | 0,85 | 0,62 |
| | M | 0,82 | 0,48 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | 0,210 |
| | CV(%) | 11,5 | 8,0 |

(Συνέχεια Πιν. 3.4.3) Τρίκαλα 2008

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | Βάρος ξηρού σπόρου (kg/ha) | Συνολικό ξ.β. σπάδικα (kg/ha) | Αριθμός σπόρων | Μήκος σπάδικα (cm) |
|---|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| | N ₀ | 4967 | 6450 | 416 | 22 |
| | N ₈ | 5927 | 7713 | 413 | 23 |
| Λ | N ₁₆ | 6963 | 9925 | 477 | 24 |
| | N ₂₄ | 7030 | 10738 | 508 | 27 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 640,0 | 545,0 | 30,0 | ns |
| | K | 5353 | 8306 | 464 | 24 |
| M | E | 8559 | 10922 | 490 | 29 |
| | M | 4752 | 6891 | 406 | 20 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 149,0 | 140,0 | 25,0 | 4,5 |
| | CV(%) | 10,0 | 9,0 | 9,0 | 4,1 |

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | ξ.β. σπόρου / ξ.β. σπάδικα | Δείκτης συ- γκομιδής |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | N ₀ | 0,76 | 0,42 |
| | N ₈ | 0,79 | 0,48 |
| Λ | N ₁₆ | 0,83 | 0,56 |
| | N ₂₄ | 0,83 | 0,57 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | 0,047 |
| | K | 0,80 | 0,50 |
| M | E | 0,84 | 0,56 |
| | M | 0,79 | 0,45 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | 0,041 |
| | CV(%) | 13,0 | 8,0 |

Τρίκαλα 2009.

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | Βάρος ξηρού σπόρου (kg/ha) | Συνολικό ξ.β. σπάδικα (kg/ha) | Αριθμός σπόρων | Μήκος σπάδικα (cm) |
|---|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| | N ₀ | 6540 | 9000 | 430 | 20 |
| | N ₈ | 7547 | 9850 | 464 | 22 |
| Λ | N ₁₆ | 8997 | 10815 | 496 | 23 |
| | N ₂₄ | 9530 | 11663 | 513 | 23 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 340,0 | 285,0 | 41,0 | 1,2 |
| | K | 7576 | 10097 | 449 | 22 |
| M | E | 10164 | 11824 | 608 | 26 |
| | M | 6720 | 9075 | 369 | 18 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | 108,0 | 220,0 | 72,0 | 0,8 |
| | CV(%) | 9,0 | 11,0 | 13,0 | 7,0 |

| | (J.d 278) ΗΜΦ 112 | ξ.β. σπόρου / ξ.β. κεφαλής | Δείκτης συ- γκομιδής |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | N ₀ | 0,83 | 0,52 |
| | N ₈ | 0,84 | 0,49 |
| Λ | N ₁₆ | 0,84 | 0,50 |
| | N ₂₄ | 0,85 | 0,53 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | ns |
| | K | 0,83 | 0,51 |
| M | E | 0,84 | 0,53 |
| | M | 0,85 | 0,49 |
| | ΕΣΛ _(0,05) | ns | ns |
| | CV(%) | 8,0 | 11,0 |

Συνεπώς, ανάλογα με τη χρονιά, η ενσωμάτωση μπορεί να επιφέρει αύξηση της απόδοσης έως 100%. Οι υψηλότερες παραγωγές στη Λάρισα το 2009 από το 2008, ενδέχεται να οφείλονται πέραν της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας νερού και στον καλύτερο εμπλουτισμό του εδάφους λόγω της συνεχόμενης καλλιέργειας του μπιζελιού (τρίτο έτος). Ανάλογα παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα των Onim *et al.* (1990). Οι διαφορές στην απόδοση σε σπόρο φαίνεται να μην επηρεάστηκαν σημαντικά από άλλα χαρακτηριστικά, όπως α) τον αριθμό των σπόρων ανά σπάδικα (που κυμάνθηκε ευρέως μεταξύ 488 και 608, $MO=\pm 550$), β) το δείκτη συγκομιδής που κυμάνθηκε περί το $MO=0,50$ ($CV=5,5\%$), και γ) το λόγο του ξηρού βάρους σπόρου/σπάδικα που κυμαίνεται περί το 0,70 χωρίς στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις. Ο αριθμός σπόρων φαίνεται να εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Lizaso *et al.*, 2003) και όχι από τη συνολική παραγωγή βιομάζας (Rajcan & Tollenar, 1999). Η αμειψισπορά βελτιώνει την ποιότητα του σπόρου (Kaye *et al.*, 2007), μειώνει όμως επίσης και την παραλλακτικότητα της απόδοσης ξηρού σπόρου (Varvel, 2000), γεγονός που συμφωνεί με τη σχετικά μικρή παραλλακτικότητα απόδοσης σπόρου των πειραματικών αποτελεσμάτων μας ($CV=5,3-10$).

Ο ρυθμός αύξησης κατά την ανθοφορία επηράζει σημαντικά την παραλλακτικότητα του αριθμού σπόρων ανά σπάδικα και φυτό από ό,τι ο ρυθμός αύξησης την περίοδο του γεμίσματος του σπόρου (Andrade *et al.*, 2002; Vega *et al.*, 2001; Gambin *et al.*, 2006). Με τη βελτίωση των συνθηκών κατά τη βλαστική περίοδο έως και την άνθηση, και τη χορήγηση επιπρόσθετης αζωτούχου λίπανσης, αυξάνεται το δυναμικό του φυτού για καλύτερο γέμισμα του σπόρου (Melchiori & Caviglia, 2008). Αυτό συμφωνεί με τα δεδομένα της παρούσας μελέτης όπως επί παραδείγματι μεταξύ των μεταχειρίσεων της ενσωμάτωσης του μπιζελιού και του μάρτυρα (Λάρισα 2009), όπου εμφανίζεται διαφορά βάρους περί το 34% και μεταξύ του μάρτυρα και της ανόργανης λίπανσης στο επίπεδο N_{24} , περί το 21,7%. Ο αριθμός σπόρων κυμάνθηκε από 369 (Τρίκαλα 2009 στη μεταχείριση του μάρτυρα) και έφθασε τους 615 (Λάρισα 2009 στη μεταχείριση της ενσωμάτωσης). Οι Melchiori & Caviglia (2008) κατέγραψαν για επίπεδα αζωτούχου λίπανσης 50 και 200 kg/ha, διαφορά στο ρυθμό αύξησης σπόρων της τάξης του 6-8%, αποτέλεσμα ανάλογο των παραπάνω ευρημάτων. Επιπλέον θα σημειώσουμε ότι η παραλλακτικότητα του αριθμού σπόρων σχετίζεται με τις καλλιεργητικές συνθήκες κατά τη χρονική περίοδο της άνθησης και η σχέση αριθμού σπόρων και περιεκτικότητας σπόρων σε υγρασία εμφανίζεται άλλοτε καμπυλόγραμμη (Gambin *et al.*, 2006) και άλλοτε ευθύγραμμη. Νεότερη έρευνα χαρακτηρίζει

τη σχέση ανάμεσα στον αριθμό των σπόρων και το ρυθμό αύξησης κατά την περίοδο της άνθησης (D'Andrea *et al.*, 2008), ως ευθύγραμμη. Επίσης, οι Cheruiyot *et al.* (2001) κατέγραψαν παραγωγή σπόρου αραβοσίτου, μετά από ενσωμάτωση ψυχανθών συμπεριλαμβανομένου και του μπιζελιού, της τάξης του 24-68% υψηλότερη, ύστερα από προηγηθείσα αγρανάπαυση.

Ο δείκτης συγκομιδής έδωσε καλύτερα αποτελέσματα και για τις δύο περιοχές το έτος 2009. Στη μεταχείριση της ενσωμάτωσης έφθασε την τιμή 0,56 και στις δύο περιοχές. Ανάλογα αποτελέσματα παρουσιάζουν και οι Bilalis *et al.* (2012) σε αμειψισπορά μπιζελιού με αραβόσιτο (HI=0,539). Όσον αφορά στα επίπεδα της αζωτούχου λίπανσης, η παράμετρος HI βρίσκεται σε άμεση σχέση με υψηλή εισροή αζώτου, υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης μέχρι το στάδιο της άνθησης, συνολική ξηρή ουσία που διανέμεται στο σπόρο, αύξηση στο μέσο όρο ανά σπάδικα, καθώς σχετίζεται και με το ποσοστό υγρασίας (Bilalis *et al.*, 2012; Melchiori & Caviglia, 2008; Mkhabela, 2001). Είναι πολύ σημαντικό ότι στα ελαφρύτερα (αμμώδη) εδάφη, όπως αυτό των Τρικάλων, μπορεί να επιτευχθούν σημαντικές αποδόσεις σε σπόρο και συνολική βιομάζα με μόνο μικρές εφαρμογές αζωτούχου λιπάσματος, εφόσον υιοθετηθεί η καλλιεργητική πρακτική της αμειψισποράς και ιδιαίτερα εκείνη της χλωρής λίπανσης με χρήση ψυχανθών και ειδικότερα του μπιζελιού.

Η υψηλή αζωτοδέσμευση του μπιζελιού σε σχέση με υψηλοαποδοτικό φυτό C4, όπως ο αραβόσιτος, σε εντατικό σύστημα αμειψισποράς μπορεί να ωφελήσει διπλά, και ως βελτίωση του εδάφους αλλά και ως οικολογική προέκταση (Karpenstein-Machan & Stuelpnagel, 2000). Επίσης, οι Seo *et al.* (2006) τονίζουν το συνδυασμό χαμηλών εισροών αζώτου συνδυασμένων με φυτικά υπολείμματα ενσωμάτωσης.

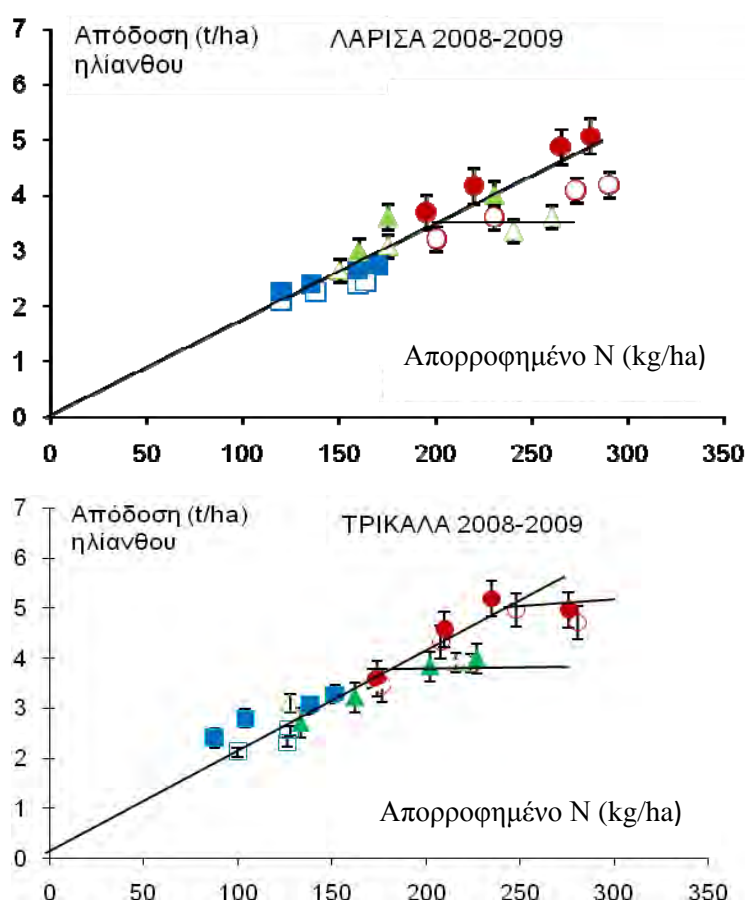
Στα πιο γόνιμα, αργιλώδη εδάφη (Λάρισα), η αμειψισπορά δίνει σαφή πλεονεκτήματα όσον αφορά τον οργανικό άνθρακα και τις ενζυματικές δραστηριότητες και έχουν σχέση με το ποσοστό της εδαφικής οργανικής ουσίας καθώς και το ολικό ποσοστό N.

3.5 Επίδραση της διαχείρισης του ψυχανθούς στην απορρόφηση του αζώτου και την τελική απόδοση

3.5.1 Σχέση απορρόφησης και απόδοσης

Ηλίανθος

Το Σχήμα 3.5.1 απεικονίζει τη σχέση μεταξύ απορρόφησης αζώτου και απόδοσης σε σπόρο των φυτών ηλίανθου στη Λάρισα και τα Τρίκαλα τα έτη 2008 και 2009.



Σχήμα 3.5.1. Συνολική απορρόφηση αζώτου (N-uptake, kg/ha) και τελική απόδοση σε ξηρό σπόρο ηλίανθου (t/ha) για τρεις μεταχειρίσεις ψυχανθούς (μπιζελιού) στη Λάρισα (επάνω) και τα Τρίκαλα (κάτω) και για 4 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης τα έτη 2008 και 2009 (MO ± Τυπικό σφάλμα) [Δ : συγκομιδή καρπού \circ : χλωρά λίπανση (ενσωμάτωση) \square : μάρτυρας (2008), \blacktriangle : καρπός \bullet : ενσωμάτωση \blacksquare : μάρτυρας (2009)].

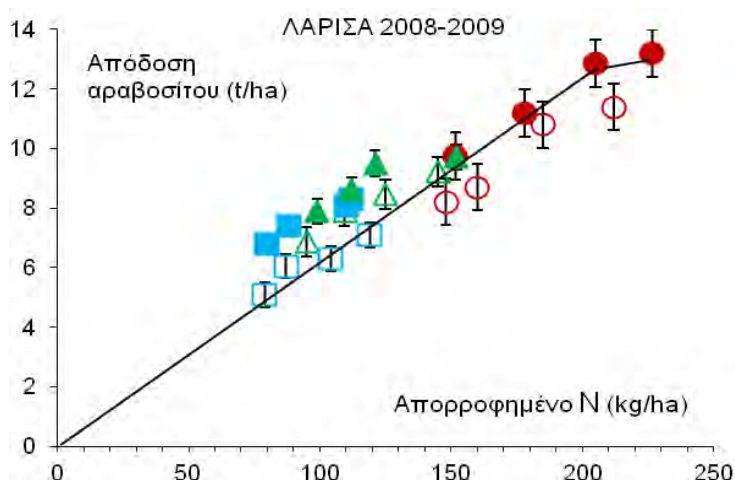
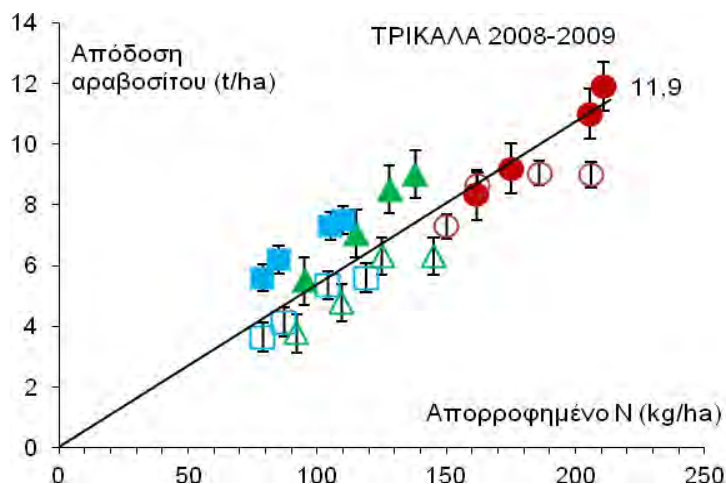
Παρά την υπάρχουσα παραλλακτικότητα, είναι εμφανής και στατιστικά σημαντική η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απορρόφησης αζώτου και της τελικής απόδοσης σε σπόρο του ηλίανθου και στις δύο περιοχές μελέτης και τα δύο έτη πειραματισμού, τουλάχιστον στο μεγαλύτερο εύρος τιμών της απορρόφησης αζώτου. Η κλί-

ση της καμπύλης αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα απορρόφησης του αζώτου από το φυτό, η οποία στην περίπτωση μας εκφράζεται με παραγωγή 20,6 kg σπόρου ανά kg απορροφημένου N στα Τρίκαλα ($R^2 = 84,86\%$) και 21,2 kg σπόρου ανά kg N στη Λάρισα ($R^2 = 84,73\%$) (Σχ. 3.5.1). Παρόμοια αποτελέσματα σε σχέση με την αποδοτικότητα της απορρόφησης αζώτου στην τελική παραγωγή ηλίανθου έχουν αναφερθεί από τους Cheng & Zubriski (1978), Connor & Hall (1997) και López-Bellido & López-Bellido, (2001).

Το αντίστροφο της (αρχικής) κλίσης της σχέσης απόδοσης-απορρόφησης N ισοδυναμεί με την ελάχιστη περιεκτικότητα N στους ιστούς του ηλίανθου, που με βάση τα δεδομένα μας ισούται περί το 4,75% (M.O.) για τα Τρίκαλα [4,8%] και τη Λάρισα [4,7%]). Η ελάχιστη συγκέντρωση N στους ιστούς (τον καρπό και την υπόλοιπη βιομάζα) είναι ισοδύναμη με το αντίστροφο της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου (Nitrogen Use Efficiency, NUE). Όμως σε ψηλά επίπεδα απορρόφησης (luxurious growth) αναμένεται απόκλιση του NUE από την ευθεία, τείνοντας προς την οριζόντιο και το δυναμικό παραγωγής της καλλιέργειας. Αυτό φαίνεται και στην παρούσα μελέτη, όπου σε ψηλές τιμές απορρόφησης οι αποδόσεις τείνουν ασυμπτωτικά προς ένα δυναμικό παραγωγής ξηρού σπόρου περί τους 3,5-4 t/ha και στις δύο περιοχές, γεγονός που πιστοποιείται από την σημερινή πραγματικότητα. Κατ' εξαίρεση, στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης με ενσωμάτωση του ψυχανθούς, η ευθύγραμμη σχέση - και μαζί με αυτήν το δυναμικό παραγωγής - επεκτείνεται σε ψηλότερες τιμές απόδοσης κατά τουλάχιστον 1 t/ha υποδηλώνοντας έτσι τη βελτίωση (των φυσικοχημικών ιδιοτήτων) του εδάφους και τη δημιουργία ενός βελτιωμένου περιβάλλοντος παραγωγής.

Αραβόσιτος

Όπως και στην περίπτωση του ηλίανθου, παρουσιάζεται μια γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απορρόφησης αζώτου και της τελικής απόδοσης σε σπόρο του αραβόσιτου και στις δύο περιοχές μελέτης και τα δύο πειραματικά έτη καθόλο το εύρος τιμών της απορρόφησης του αζώτου (Σχ. 3.5.2).



Σχήμα 3.5.2. Συνολική απορρόφηση αζώτου (N-uptake, kg/ha) και τελική απόδοση σε ξηρό σπόρο αραβοσίτου (t/ha) για τρεις μεταχειρίσεις ψυχανθούς (μπιζελιού) στη Λάρισα (επάνω) και τα Τρίκαλα (κάτω) και για 4 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης τα έτη 2008 και 2009 (MO \pm Τυπικό σφάλμα) [Δ : συγκομιδή καρπού \circ : χλωρά λίπανση (ενσωμάτωση) \square : μάρτυρας (2008), \blacktriangle : καρπός \bullet : ενσωμάτωση \blacksquare : μάρτυρας (2009)].

Αρκετά μεγαλύτερες τιμές NUE παρατηρούνται στην περίπτωση του αραβόσιτου, οι οποίες κυμαίνονται από τα 60 έως τα 65 kg/kg N, αντικατοπτρίζοντας τριπλάσια αποδοτικότητα του απορροφημένου αζώτου σε σχέση με τον ηλίανθο. Αντίθετα με τον ηλίανθο, στον αραβόσιτο φαίνεται σχετικά μεγαλύτερη η επίδραση του έτους στη σχέση απόδοσης-απορρόφησης N, με τις αποδόσεις του 2009 να υπερτερούν σημαντικά των αποδόσεων του 2008 για τις ίδιες τιμές απορρόφησης αζώτου (Σχ. 3.5.2). Ένα επίσης σημαντικό εύρημα φαίνεται να είναι η μη επίτευξη δυναμικού παραγωγής, δηλαδή το να μην εισέρχεται η καλλιέργεια σε πολυτελή αύξηση (luxuriant growth), σε αντίθεση με την περίπτωση του ηλίανθου, όπου αυτό ήταν ορατό

στις ψηλές τιμές απορρόφησης. Αυτό συνάδει με την υπάρχουσα εμπειρία σχετικά με τις αποδόσεις καλαμποκιού στη Θεσσαλία, οι οποίες υπερβαίνουν τις αποδόσεις της παρούσας έρευνας (8,5 t/ha), λόγω των χαμηλότερων εισροών που εφαρμόστηκαν εδώ στον αραβόσιτο, ως ενεργειακού φυτού (Σχ. 3.5.2). Αυτό εξηγεί το γεγονός ότι στην περίπτωση του αραβόσιτου, ακόμη και στις μεγαλύτερες απορροφήσεις N που λαμβάνουν χώρα με τις βελτιωμένες πρακτικές εφαρμογής ψυχανθούς (κυρίως της χλωρής λίπανσης), που οδηγούν σε απόδοση 12 t/ha, παραμένουμε στην περιοχή ελάχιστης συγκέντρωσης N στους ιστούς, η οποία κυμαίνεται ανάλογα με τη χρονιά περί το 1,5% (1,4 – 2,0%).

3.5.2 Σχέση λίπανσης και προσρόφησης - βασική προσρόφηση και ποσοστό ανάκτησης στοιχείου

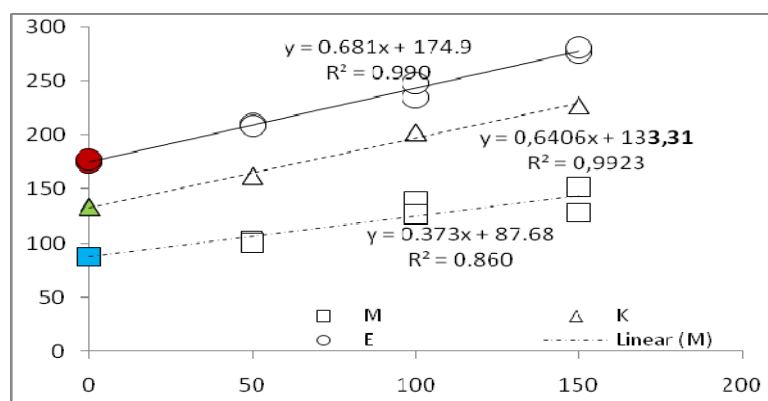
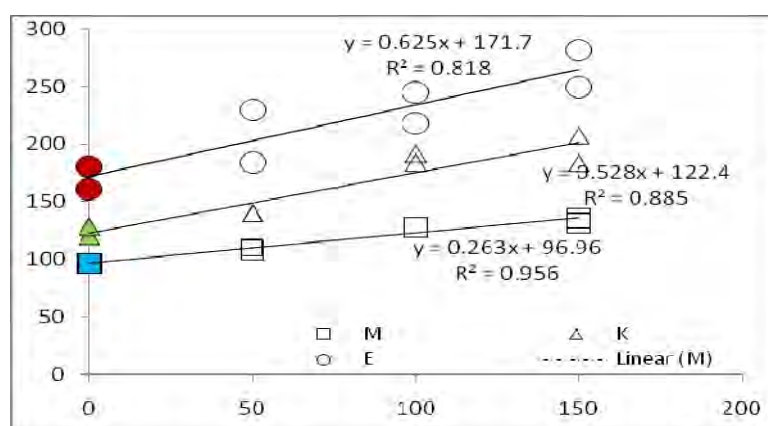
Βασική απορρόφηση (base uptake)

Ηλίανθος

Στο Σχήμα 3.5.4 απεικονίζεται η σχέση μεταξύ λίπανσης και απορρόφησης αζώτου από την καλλιέργεια του ηλίανθου για τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης και τις τρεις μεταχειρίσεις με το ψυχανθές (μπιζέλι) το 2008 και το 2009 (βλ. επίσης και Πιν. 3.5.1). Όπως και για τον αραβόσιτο, παρατηρείται και εδώ σημαντική ($R^2=0,82 - 0,99$) γραμμική αύξηση της απορρόφησης με την αύξηση της εφαρμογής αζώτου στην καλλιέργεια από μια ελάχιστη τιμή στο μάρτυρα (αλίπαντο) έως τη μέγιστη απορρόφηση κατά τη μέγιστη εφαρμογή. Ανάλυση παραλλακτικότητας με όρια ασφαλείας του μοντέλου ($P=0.05$) έδειξε ομοιογένεια της σχέσης απορρόφησης- λίπανσης για τα δύο έτη, ενώ διαφορετικές ευθείες (μοντέλα) προκύπτουν για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις του ψυχανθούς.

Κατά την παραδοσιακή διαχείριση του ηλίανθου (μονοκαλλιέργεια χωρίς αμειψισπορά ή χλωρά λίπανση), η βασική απορρόφηση κυμαίνεται περί τα 88 - 96 kg/ha για τα εδάφη των Τρικάλων και της Λάρισας, αντίστοιχα. Με τη μεταχείριση του ψυχανθούς για συγκομιδή καρπού (ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του μπιζελιού) παρατηρείται σημαντική αύξηση της βασικής απορρόφησης και μάλιστα κατά 25 kg/ha στη Λάρισα (26%) και κατά 45 kg/ha στα Τρίκαλα (51%) για να φθάσει τα 122 – 133 kg/ha στη Λάρισα και τα Τρίκαλα, αντίστοιχα. Όμως πολύ θεαματικότερα αποτελέσματα βρέθηκαν στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης. Όπως φαίνεται στο Σχή-

μα 3.5.4, η βασική απορρόφηση αζώτου στην περίπτωση αυτή σχεδόν διπλασιάστηκε φθάνοντας τα 173 kg/ha (172 kg/ha στη Λάρισα (αύξηση 77%) και 174 kg/ha στα Τρίκαλα (αύξηση 98%)). Έτσι η χλωρή λίπανση βελτίωσε τη δεξαμενή εδαφικού N περί τα 75 – 86 kg/ha στη Λάρισα και τα Τρίκαλα, αντίστοιχα, ανά έτος καλλιέργειας. Αν λάβουμε υπόψη, το συνολικό ποσό αζώτου που ενσωματώθηκε κατά τη χλωρή λίπανση (Κεφάλαιο 3.2), το οποίο ανέρχεται κατά μέσον όρο στα 200 kg/ha, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι περί το 40% αυτής της ποσότητας του αζώτου ανακτάται κατά την περίοδο της αύξησης της επόμενης καλλιέργειας. Σύμφωνα με τα δεδομένα του Κεφαλαίου 3.5.1 σχετικά με το συντελεστή χρήσης αζώτου του ηλίανθου (20 kg σπόρου/kg N), η καλλιεργητική τεχνική της χλωρής λίπανσης μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση της τελικής απόδοσης κατά $80 \times 20 = 1,6$ t/ha χωρίς την εφαρμογή λιπάσματος.



Σχήμα 3.5.4. Συνολική απορρόφηση αζώτου (N-uptake) (άξονας y, kg/ha) από καλλιέργεια ηλίανθου για τέσσερα επίπεδα λίπανσης (άξονας x, kg/ha) και τις μεταχειρίσεις ψυχανθούς στη Λάρισα (επάνω) και τα Τρίκαλα (κάτω) τα έτη 2008 και 2009 [M=μάρτυρας, K=ενδιάμεση καλλιέργεια μπιζελιού για συγκομιδή καρπού, E=χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση μπιζελιού].

Αραβόσιτος

Στο Σχήμα 3.5.3 απεικονίζεται η σχέση μεταξύ λίπανσης και απορρόφησης αζώτου από την καλλιέργεια του αραβοσίτου, για τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης και τις τρεις μεταχειρίσεις ψυχανθούς (μπιζέλι) το 2008 και το 2009. Παρατηρείται σημαντική ($R^2=0,89 - 0,98$) γραμμική αύξηση της απορρόφησης με την αύξηση της εφαρμογής αζώτου στην καλλιέργεια, από μια ελάχιστη τιμή στο μάρτυρα (χωρίς λίπανση) έως τη μέγιστη απορρόφηση κατά τη μέγιστη εφαρμογή. Ανάλυση παραλλακτικότητας με όρια ασφαλείας του μοντέλου ($P=0.05$) έδειξε ομοιογένεια της σχέσης απορρόφησης - λίπανσης για τα δύο έτη, ενώ διαφορετικές ευθείες (μοντέλα) προκύπτουν για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις του ψυχανθούς.

Η βασική απορρόφηση ή ορυκτοποίηση (base uptake) αφορά στην απορρόφηση του στοιχείου από αλίπαντο έδαφος γεγονός που σχετίζεται με τη γονιμότητα του εδάφους (οργανική ουσία, δομή, φυσικοχημικές ιδιότητες, κλίμα, κλπ). Για την ορθή εκτίμηση του χαρακτηριστικού αυτού δεν λαμβάνονται υπόψη οι μετρήσεις κατά το πρώτο έτος καλλιέργειας για να εξαλειφθεί (τουλάχιστον κατά το μέγιστο ποσοστό) η επίδραση της υπολειμματικής δράσης του στοιχείου από τη λίπανση της προηγούμενης καλλιέργειας. Για το λόγο αυτό σχολιάζονται μόνον οι μετρήσεις τόσο εδώ όσο και στις υπόλοιπες παραγράφους και κρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν κατά το δεύτερο και τρίτο έτος πειραματισμού (2008 και 2009, αντίστοιχα). Αναλυτικά τα δεδομένα βασικής απορρόφησης και ποσοστού ανάκτησης αζώτου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.1 (βλ. κατωτέρω) ανά μεταχείριση και ανά έτος πειραματισμού.

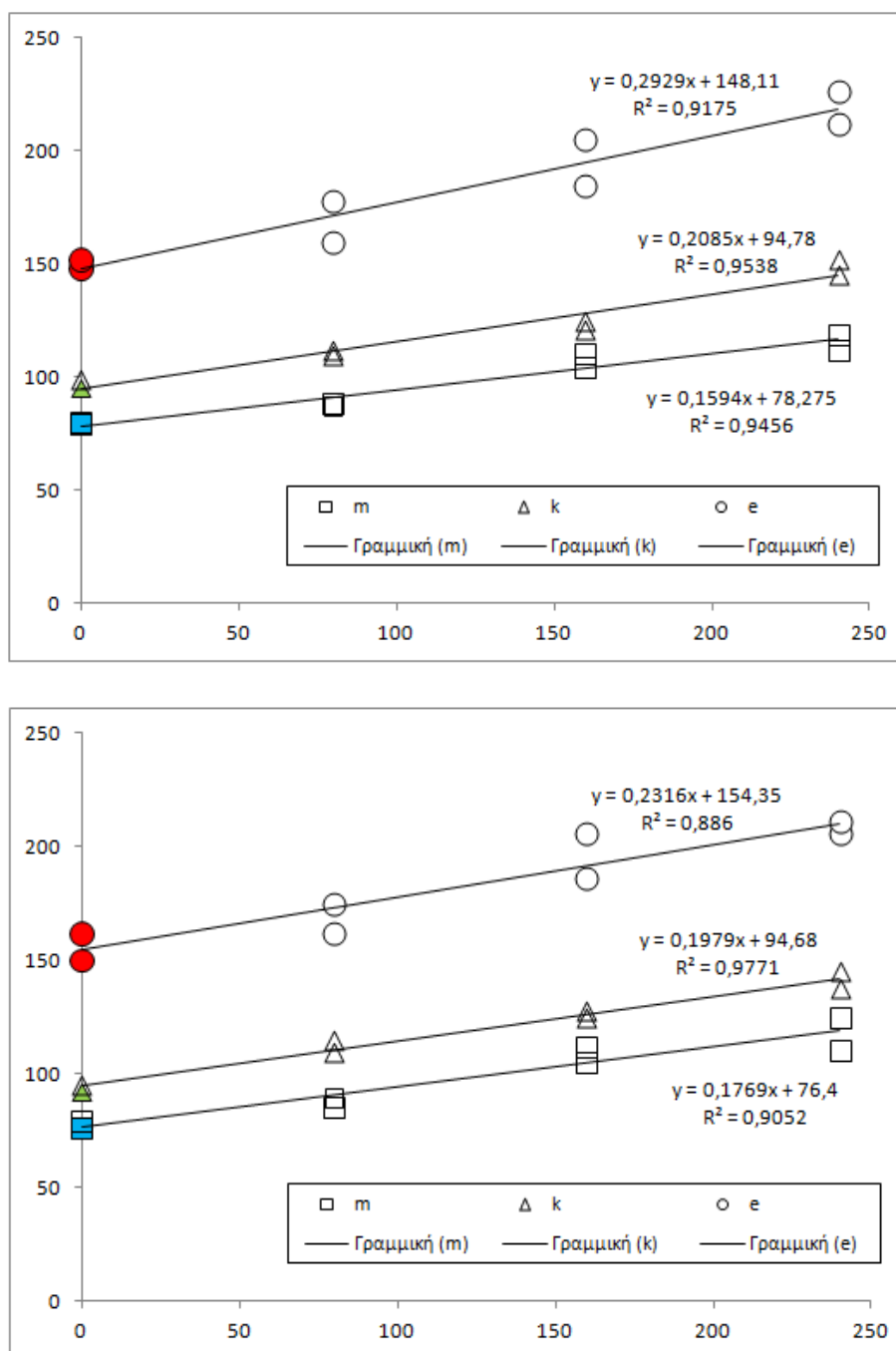
Στο Σχήμα 3.5.3, οι Μ.Ο. της βασικής απορρόφησης προκύπτουν ως ο συντελεστής b_0 της σχέσης:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x \quad (3.5.1)$$

όπου x είναι το επίπεδο λίπανσης (kg/ha) και y είναι η απορρόφηση του αζώτου (kg/ha) στην ευθύγραμμη συσχέτιση απορρόφησης-απόδοσης και b_1 το ποσοστό ανάκτησης N.

Προκύπτει ότι κατά την παραδοσιακή διαχείριση της καλλιέργειας (μονοκαλλιέργεια αραβοσίτου χωρίς αμειψισπορά ή χλωρή λίπανση), η βασική απορρόφηση κυμαίνεται περί τα 76 - 78 kg/ha για τα εδάφη των Τρικάλων και της Λάρισας αντίστοιχα, αντικατοπτρίζοντας το ικανοποιητικό επίπεδο γονιμότητας των δύο υπό μελέτη εδαφών. Με τη μεταχείριση του ψυχανθούς για τη συγκομιδή καρπού (ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του μπιζελιού) παρατηρείται σημαντική αύξηση της βασι-

κής απορρόφησης και μάλιστα κατά 17 kg/ha στη Λάρισα (22%) και κατά 19 kg/ha στα Τρίκαλα (25%) για να φθάσει τα 95 kg/ha. Οι Bundy & Andranski (2005) σε πείραμα αμειψισποράς αναφέρουν βασική απορρόφηση N στον αραβόσιτο, της τάξης των 90-137 kg/ha με ποσοστό 60% να αποδίδεται στον καρπό.



Σχήμα 3.5.3. Συνολική απορρόφηση αζώτου (N-uptake) (άξονας y, kg/ha) από καλλιέργεια αραβοσίτου για τέσσερα επίπεδα λίπανσης (άξονας x, kg/ha) και τις μεταχειρίσεις ψυχανθούς στη Λάρισα (επάνω) και τα Τρίκαλα (κάτω) τα έτη 2008 και 2009 [m=μάρτυρας, k= ενδιάμεση καλλιέργεια μπιζελιού για συγκομιδή καρπού, e=χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση μπιζελιού].

Δεδομένου ότι κατά τον πειραματισμό που εφαρμόστηκε, απομακρύνθηκε μόνο η υπέργεια βιομάζα, η μεταβολή στη συνολική δεξαμενή του N στο έδαφος είναι δύσκολο να εκτιμηθεί, και σημαντικές αλλαγές γίνονται φανερές σε μεγάλη κλίμακα χρόνου (Peoples *et al.*, 1995b, Ravuri & Hume, 1993; Evans *et al.*, 1989).

Θεαματικότερα είναι τα αποτελέσματα στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης με την ενσωμάτωση του μπιζελιού. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.3, η βασική απορρόφηση αζώτου στην περίπτωση αυτή σχεδόν διπλασιάστηκε φθάνοντας τα 150 kg/ha (148,1 kg/ha στη Λάρισα (αύξηση 90%) και 154,4 kg/ha στα Τρίκαλα (αύξηση 103%). Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται από τους Bahl & Pasricha (2000) με απορρόφηση αζώτου μετά από καλλιέργεια μπιζελιού στο 100% της απορρόφησης του μάρτυρα, ενώ σε προηγούμενη έρευνα των Kavdir *et al.* (2005) με σύστημα αμειψισποράς μηδικής – αραβοσίτου, η αύξηση της γονιμότητας του εδάφους που προήλθε από την ενσωμάτωση της μηδικής, ρίζας και βλαστού, ήταν της τάξης των 36 και 39 kg N/ha, αντίστοιχα. Στην παρούσα μελέτη, η χλωρή λίπανση βελτίωσε τη δεξαμενή εδαφικού N περί τα 70 – 78 kg/ha στη Λάρισα και τα Τρίκαλα, αντίστοιχα, ανά έτος καλλιέργειας. Ανακαλώντας από το κεφάλαιο 3.2 το συνολικό ποσό αζώτου που ενσωματώθηκε κατά τη χλωρή λίπανση και το οποίο ανέρχεται κατά μέσον όρο στα 200 kg/ha, συμπεραίνουμε ότι περί το 37.5% του αζώτου αυτού ανακτάται κατά την αύξηση της επόμενης καλλιέργειας. Σύμφωνα με τα δεδομένα της προηγούμενης παραγράφου σχετικά με το συντελεστή χρήσης αζώτου του αραβοσίτου (60 kg/kg N, η καλλιεργητική τεχνική της χλωρής λίπανσης μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση της τελικής απόδοσης κατά $75 * 60 = 4,5$ t/ha χωρίς την εφαρμογή λιπάσματος. Η χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση μπιζελιού φαίνεται ότι πρέπει να αποτελέσει μονόδρομο σε οποιαδήποτε επίσπορη καλλιέργεια ή καλλιέργεια χαμηλών εισροών αραβοσίτου.

Πίνακας 3.5.1. Βασική απορρόφηση (base uptake) (kg/ha) και κλάσμα ανάκτησης N (Nitrogen recovery fraction) για τον αραβόσιτο (Α) και τον ηλίανθο (Β) για τρεις μεταχειρίσεις μπιζελιού στις δύο περιοχές μελέτης (Λάρισα, Τρίκαλα) για τα έτη 2008 και 2009 (Μ= μάρτυρας, Κ= αμειψισπορά για καρπό, Ε= χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση).

| Α. ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ | | | | | | |
|----------------------|----------------|------|-------|-----------------|------|-------|
| | ΛΑΡΙΣΑ 2008 | | | ΤΡΙΚΑΛΑ 2008 | | |
| | M | K | E | M | K | E |
| Βασική Απορρόφηση N | 79 | 95 | 148 | 79 | 92 | 150 |
| Κλάσμα ανάκτησης N | 0.17 | 0.21 | 0.27 | 0.17 | 0.22 | 0.23 |
| | 2009 | | | 2009 | | |
| Βασική Απορρόφηση N | 80 | 99 | 151.6 | 79 | 95 | 161.6 |
| Κλάσμα ανάκτησης N | 0.14 | 0.22 | 0.31 | 0.13 | 0.18 | 0.21 |

| Β. ΗΛΙΑΝΘΟΣ | | | | | | |
|---------------------|----------------|------|------|-----------------|------|------|
| | ΛΑΡΙΣΑ 2008 | | | ΤΡΙΚΑΛΑ 2008 | | |
| | M | K | E | M | K | E |
| Βασική Απορρόφηση N | 91 | 120 | 160 | 88 | 128 | 176 |
| Κλάσμα ανάκτησης N | 0.23 | 0.58 | 0.48 | 0.27 | 0.64 | 0.69 |
| | 2009 | | | 2009 | | |
| Βασική Απορρόφηση N | 96 | 128 | 156 | 89 | 134 | 175 |
| Κλάσμα ανάκτησης N | 0.27 | 0.37 | 0.46 | 0.42 | 0.62 | 0.68 |

Η μεγάλη αύξηση της βασικής απορρόφησης με τη χλωρή λίπανση είναι αναμενόμενη διότι ενσωματώθηκαν περί τα 5300 και 4670 kg/ha ξηράς ουσίας μπιζελιού (βλαστοί, φύλλα και άνθη) την περίοδο της ανθοφορίας για τις περιοχές Λάρισας και Τρικάλων, αντίστοιχα. Το ποσό του N που απέδωσε η ενσωμάτωση στο έδαφος κατά μέσο όρο των δύο ετών για τη Λάρισα ήταν 225 kg N/ha και για τα Τρίκαλα 184 kg N/ha. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με εκείνα των Urbatzka *et al.* (2009) που καταγράφουν σε σύστημα αμειψισποράς χειμερινού μπιζελιού – σινάπι – ραπανάκι, ότι πλέον του 50% του απορροφημένου N (N-uptake) των εαρινών καλλιεργειών προέρχεται από την ανοργανοποίηση του N του μπιζελιού στο στάδιο του αλωνισμού. Οι Karpenstein-Machan & Stülpnagel και Wichern *et al.* (2000; 2007) αναφέρουν επίσης, ότι μεγάλες ποσότητες N προερχόμενου από την αζωτοδέσμευση γίνεται εύκολα διαθέσιμο στο στάδιο συγκομιδής του καρπού και η μικρή αναλογία του κλάσματος C/N στο μπιζέλι βοηθά στην ταχεία ανοργανοποίηση του N. Αυτό το σημαντικό στοιχείο έχει αξία όσον αφορά στην εκμετάλλευσή του από τις επόμενες στη διαδοχή αμειψισποράς εαρινές καλλιέργειες.

Ποσοστό ανάκτησης (recovery fraction) του αζώτου

Ηλίανθος

Στο Σχήμα 3.5.4 παρουσιάζεται το ποσοστό ανάκτησης αζωτούχου λιπάσματος για τον ηλίανθο που κυμαίνεται περί το 30% (26% για τη Λάρισα και 36% για τα Τρίκαλα) στην περίπτωση της συμβατικής καλλιέργειας. Οι τιμές αυτές είναι αρκετά μεγαλύτερες από αυτές που σημειώθηκαν για τον αραβόσιτο, και αυτό αποδίδεται στην καλύτερη προσαρμοστικότητα του ηλίανθου, ως επίσπορης καλλιέργειας, αλλά και στο βαθύτερο και πασσαλώδες ριζικό σύστημα του ηλίανθου από το ρηχότερο, θυσανώδες ριζικό σύστημα του αραβόσιτου. Η σημαντική βελτίωση του εδάφους με την αμειψισπορά και κυρίως με τη χλωρή λίπανση σε συνδυασμό με το αποδοτικό ριζόστρωμα του ηλίανθου είχε ως αποτέλεσμα την εντυπωσιακή αύξηση της ανάκτησης του εφαρμοζόμενου με τη λίπανση αζώτου με αποτέλεσμα να φθάσει τα επίπεδα των 53% (αμειψισπορά) - 63% (χλωρά λίπανση) για τη Λάρισα και 64% (αμειψισπορά) - 68% (χλωρά λίπανση) για τα Τρίκαλα. Οι παραπάνω τιμές χαρακτηρίζονται ως δυνητικές, επειδή στη διεθνή βιβλιογραφία σπάνια αναφέρεται αποδοτικότητα εφαρμοζόμενου αζωτούχου λιπάσματος πάνω από 70%, με μέσο όρο απόδοσης περί το 50% (Hallberg, 1989; Bergstrom & Kirchmann, 2004; Sainju *et al.*, 2007; Baligar *et al.*, 2001). Από τα παραπάνω συνάγεται επίσης ότι η εναλλακτική πρακτική της αμειψισποράς με χειμερινά ψυχανθή και η χλωρή λίπανση αποτελούν σημαντικότερες καλλιεργητικές πρακτικές για την άριστη εκμετάλλευση του υπολειμματικού N του φθινοπώρου (των εαρινών καλλιεργειών) που θα αποδοθεί στις επόμενες καλλιέργειες, αλλά και τη μείωση της βαθιής διήθησης και απώλειας του αζώτου στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα (Sainju *et al.*, 2007).

Αραβόσιτος

Ο λόγος της ποσότητας του αζώτου που χρησιμοποιεί η καλλιέργεια για την αύξησή της, ως προς την εφαρμοζόμενη ποσότητα του στοιχείου με τη λίπανση, αποτελεί το «ποσοστό επιστροφής» ή «ποσοστό ανάκτησης» του αζώτου (recovery fraction). Οι Seo *et al.* (2006) αναφέρουν κλάσματα ανάκτησης αζώτου περί το 32% για λίπανση με θειική αμμωνία και 15% για ενσωμάτωση φυτικών υπολειμμάτων (μετά τη συγκομιδή του ψυχανθούς). Κατά τους Jansen *et al.* (1990) τα ανάλογα ποσοστά είναι 21% και 14%, αντίστοιχα. Οι Ladd *et al.* (1981) αναφέρουν ότι περί το 75% του αζώτου του ψυχανθούς *Vicia villosa* βρίσκεται ως εδαφικό N στο έδαφος μετά το

πρώτο έτος της καλλιέργειας, ενώ μετά από 8 διαδοχικούς κύκλους αμειψισποράς παραμένει ως οργανικό N σε ποσοστό 35%.

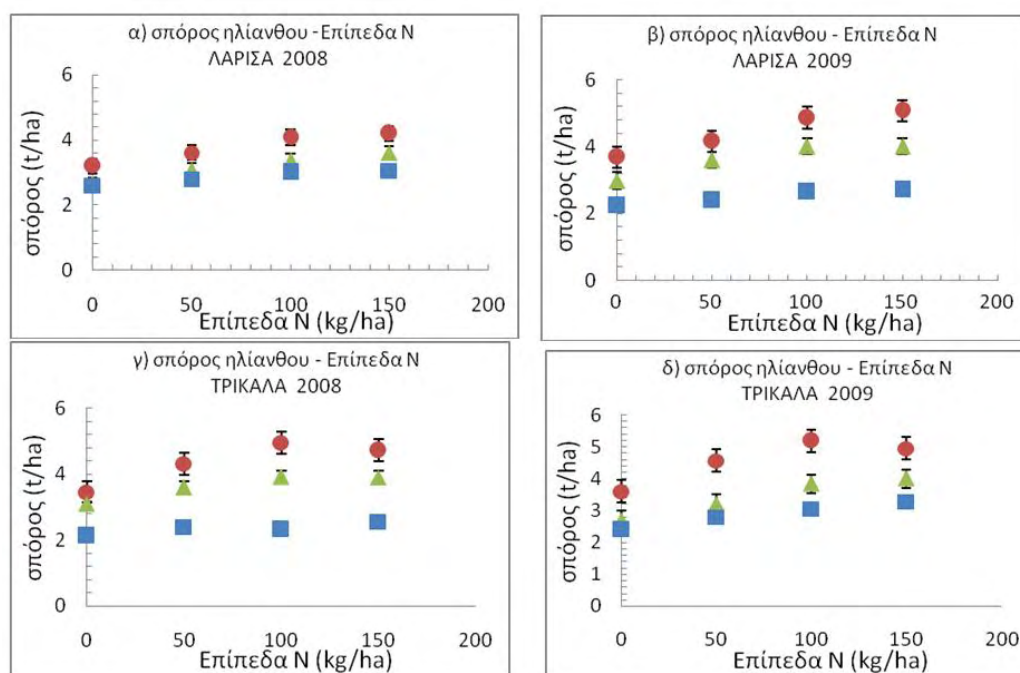
Στο Σχήμα 3.5.3, τα ποσοστά ανάκτησης αζώτου στις διαφορετικές μεταχειρίσεις **αναπαριστώνται** με τις κλίσεις των ευθειών (προσρόφησης-λίπανσης), δηλαδή τους συντελεστές b_1 στην εξίσωση 3.1 (βλ. ανωτέρω). Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, τα ποσοστά ανάκτησης αζώτου είναι σχετικά μικρά και κυμαίνονται περί το 17% για την μονοκαλλιέργεια του αραβοσίτου και στα δύο εδάφη. **Όπως ήταν αναμενόμενο, τα ποσοστά αυτά είναι σχετικά μικρά λόγω των σχετικά χαμηλών αποδόσεων του επίσπορου αραβοσίτου, των χαμηλών εισροών και τη σχετικά μεγάλη γονιμότητα (και βασική προσρόφηση N) των εδαφών που μελετώνται.** Συνεπώς, υπό τις παρούσες πρακτικές χαμηλών εισροών με σκοπό την καλλιέργεια αραβοσίτου για ενεργειακούς σκοπούς προκύπτει μικρό όφελος με την εφαρμογή της αζωτούχου λίπανσης, με υψηλό οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος. Όμως με την εφαρμογή αμειψισποράς με ψυχανθές, παρατηρείται σημαντική αύξηση της ανάκτησης του λιπαντικού στοιχείου η οποία μεγιστοποιείται στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης με την ενσωμάτωση του μπιζελιού. Στην περίπτωση αυτή, το ποσοστό ανάκτησης του αζώτου αυξάνεται κατά 35% για να φθάσει το 23% στο ελαφρύτερο έδαφος των Τρικάλων. Σημαντικότερη όμως είναι η βελτίωση του ποσοστού ανάκτησης που σημειώθηκε στο αργιλώδες έδαφος της Λάρισας και αυξήθηκε κατά 81% για να φθάσει το 29%, αντικατοπτρίζοντας την καλύτερη ωφέλεια της εφαρμογής της λίπανσης που μπορεί να αποφέρει ακόμα μεγαλύτερη απόδοση σε καρπό. Είναι προφανές ότι η αύξηση του ποσοστού ανάκτησης του εφαρμοζόμενου αζώτου σηματοδοτεί σημαντική βελτίωση της δομής και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους που δέχεται χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση του μπιζελιού πριν τη επόμενη καλλιέργεια αραβοσίτου.

3.5.3. Σχέση λίπανσης – απόδοσης

Ηλίανθος

Στο Σχήμα 3.5.5(α-β) απεικονίζεται η σχέση μεταξύ του εφαρμοζόμενου αζώτου με τη λίπανση και την απόδοση σε σπόρο ηλίανθου για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις ψυχανθούς στο έδαφος της Λάρισας το 2008 και 2009. Φαίνεται η σαφής υπεροχή της ενσωμάτωσης του μπιζελιού σε σχέση με τη μεταχείριση του καρπού και του μάρτυρα. Οι αποδόσεις σε σπόρο, σε συστήματα αμειψισποράς στην Ανδαλου-

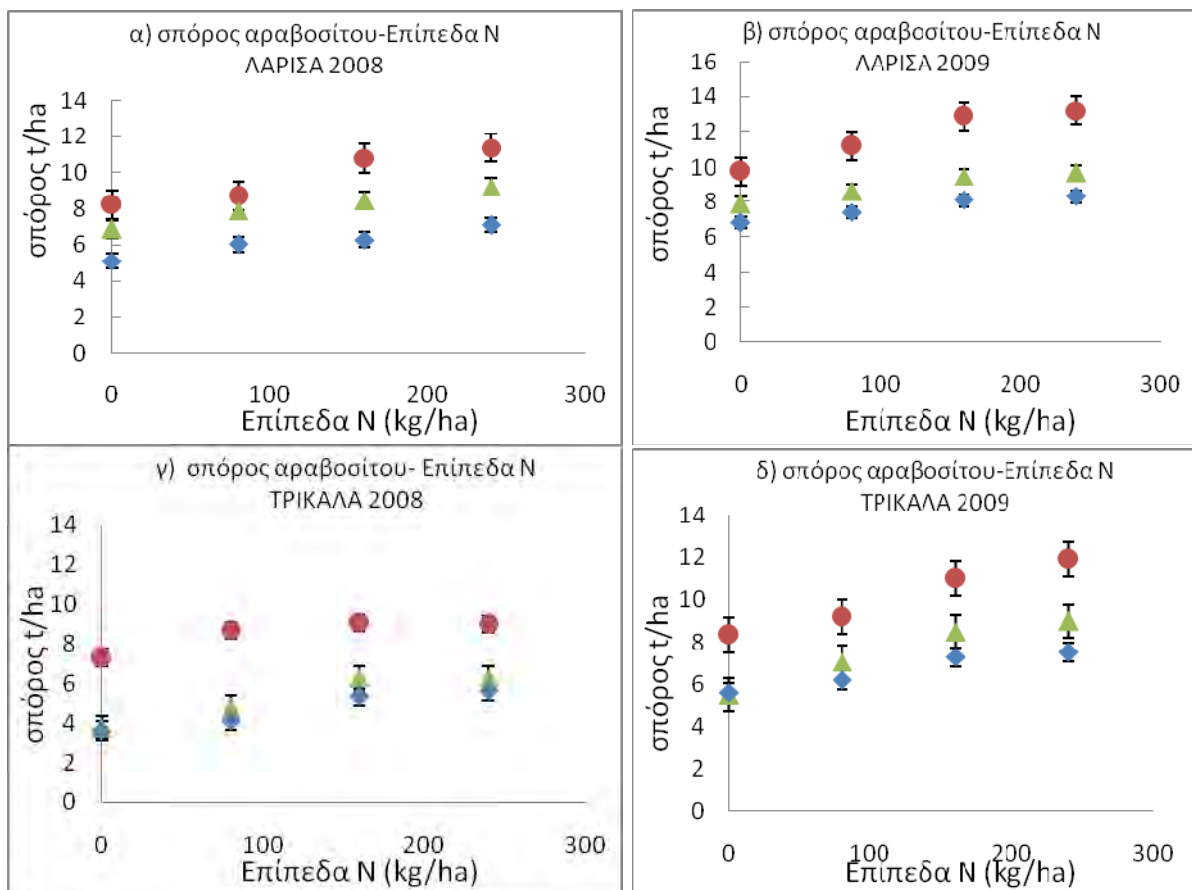
σία έδειξαν διπλασιασμό παραγωγής της τάξης των 5,5 t/ha σε σχέση με μονοκαλλιέργεια (Rodríguez-Lizana *et al.*, 2010). Όσον αφορά στα επίπεδα N και στις τρεις μεταχειρίσεις, δεν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση των αποδόσεων μεταξύ των 10 και 15 μονάδων N, γεγονός που σημαίνει ότι και με χαμηλότερες εισροές N, η απόδοση σε ηλιόσπορο είναι ικανοποιητική, α) ως περιβαλλοντική προσέγγιση – βελτίωση της αυτορρύθμισης του οικοσυστήματος, και β) ως οικονομική άποψη – ελάφρυνση του κόστους παραγωγού. Στα αντίστοιχα διαγράμματα στα Τρίκαλα (Σχήμα 3.5.5 [γ-δ]), τα αποτελέσματα δείχνουν επίσης την υπεροχή της ενσωμάτωσης του μπιζελιού σε σχέση με τον καρπό και το μάρτυρα, επιβεβαιώνοντας την προηγούμενη παρατήρηση ότι οι 15 μονάδες N δεν έδωσαν στατιστικώς σημαντική διαφορά στην απόδοση του ηλιάνθου στις μεταχειρίσεις του ψυχανθούς έναντι των 10 μονάδων N, και για τα δύο έτη. Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξαν οι López-Bellido & López-Bellido (2001) μετά από 3ετή πειραματισμό καταδεικνύοντας τα 100 kg/ha ως καταλληλότερο και οικονομικά βιωσιμότερο επίπεδο Nχου λίπανσης.



Σχήμα 3.5.5. Απόδοση ηλιάνθου σε (ξηρό) σπόρο για 4 επίπεδα Nχου λίπανσης και τρεις μεταχειρίσεις ψυχανθούς στη Λάρισα το 2008 (α) και 2009 (β) και τα Τρίκαλα το 2008 (γ) και 2009 (δ). [Μ.Ο. ± Τυπικό σφάλμα, ▲: καρπός ●: ενσωμάτωση ■: μάρτυρας].

Αραβόσιτος

Στο Σχήμα 3.5.6(α-β) απεικονίζεται η σχέση του παρεχόμενου αζώτου και των μεταχειρίσεων του ψυχανθούς με την απόδοση σε σπόρο αραβοσίτου τα έτη 2008 και 2009. Φαίνεται και εδώ η σαφής υπεροχή της ενσωμάτωσης του μπιζελιού σε σχέση με τη μεταχείριση του καρπού και του μάρτυρα. Όσον αφορά στα επίπεδα αζώτου και στις τρεις μεταχειρίσεις, δεν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση των αποδόσεων μεταξύ των 16 και 24 μονάδων N, γεγονός που σημαίνει ότι και με χαμηλότερες εισροές N, η απόδοση σε σπόρο αραβοσίτου είναι ικανοποιητική, ως προσέγγιση πρώτον περιβαλλοντική – βελτίωση της αυτορρύθμισης του οικοσυστήματος και δεύτερον οικονομική μείωση κόστους παραγωγής.



Σχήμα 3.5.6. Απόδοση αραβοσίτου σε (ξηρό) σπόρο για 4 επίπεδα Nχου λίπανσης και τρεις μεταχειρίσεις ψυχανθούς στη Λάρισα το 2008 (α) και 2009 (β) και τα Τρίκαλα το 2008 (γ) και 2009 (δ). [M.O. ± Τυπικό σφάλμα, ▲: καρπός ●: ενσωμάτωση ■: μάρτυρας].

Στο Σχήμα 3.5.6(γ-δ) φαίνεται επίσης η υπεροχή της ενσωμάτωσης του μπιζελιού σε σχέση με τον καρπό και το μάρτυρα στην περιοχή των Τρικάλων. Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξαν οι Lòpez-Bellido & Lòpez-Bellido (2001) μετά από τριετή πειραματισμό αμειψισποράς καταδεικνύοντας τα 100 kg N/ha ως καταλληλότερο και οικονομικά βιωσιμότερο επίπεδο λίπανσης.

3.5.4 Δείκτης συγκομιδής αζώτου (NHI)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.5.2, ο NHI του ηλίανθου κυμάνθηκε μεταξύ 46.5 και 89%. Μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στη μεταχείριση της ενσωμάτωσης του μπιζελιού (58-89%), ενώ μικρότερες στα τεμάχια του μάρτυρα (46,5 – 68,6%). Το 3^ο έτος του πειράματος (2009) παρουσίασε υψηλότερες τιμές από το δεύτερο (2008) και στις δύο περιοχές μελέτης. Όσον αφορά στα επίπεδα N, οι 10 μονάδες δίνουν ανάλογες τιμές του NHI και για τις τρεις μεταχειρίσεις και στις δύο περιοχές. Ανάλογες τιμές του δείκτη (52,8 – 73%) έχουν αναφερθεί και από άλλους ερευνητές (Lòpez-Bellido & Lòpez-Bellido, 2001; Lòpez-Bellido *et al.*, 2003).

Οι τιμές 80,7, 81,8, 89,0 φαίνεται να είναι αυξημένες συγκριτικά με τις τιμές στη διεθνή βιβλιογραφία, ενδεχομένως, λόγω της ποσότητας της βιομάζας του μπιζελιού που ενσωματώνεται στην ανθοφορία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.5.2, ο NHI του αραβοσίτου κυμάνθηκε μεταξύ 47,5 και 117,4%.

Μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στη μεταχείριση της καρπού του μπιζελιού (93-117,4%) στη Λάρισα ενώ μικρότερες στα τεμάχια του μάρτυρα (47,45 – 70%) στα Τρίκαλα. Το 3^ο έτος του πειράματος παρουσίασε υψηλότερες τιμές από το δεύτερο (2008) και στις δύο περιοχές. Όσον αφορά στα επίπεδα N, οι 10 μονάδες και για τις τρεις μεταχειρίσεις και στις δύο περιοχές, δίνουν ανάλογες τιμές του NHI.

Πίνακας 3.5.2. Δείκτης συγκομιδής αζώτου (Nitrogen harvest index, %) για τον ηλίανθο (Α) και τον αραβόσιτο (Β) για τρεις μεταχειρίσεις μπιζελιού στις δύο περιοχές και έτη πειραματισμού.

| Α. ΗΛΙΑΝΘΟΣ | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------|-------|-------|---------------------|------|------|------|
| ΛΑΡΙΣΑ 2008 | | | | | ΤΡΙΚΑΛΑ 2008 | | | |
| Επίπεδα N | 0 | 5 | 10 | 15 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| E | 65,0 | 63,1 | 58,3 | 67,1 | 50,2 | 67,1 | 65,4 | 68,8 |
| K | 62,1 | 67,4 | 60,2 | 48,9 | 53,4 | 59,2 | 46,5 | 63,3 |
| M | 68,6 | 60,5 | 61,5 | 55,9 | 46,5 | 50,4 | 46,5 | 60,0 |
| | 2009 | | | | 2009 | | | |
| E | 65,3 | 76,4 | 80,7 | 74,8 | 74,3 | 89,0 | 81,8 | 62,9 |
| K | 60,2 | 72,6 | 65,4 | 63,5 | 62,7 | 63,4 | 66,4 | 52,9 |
| M | 57,1 | 55,6 | 54,9 | 54,4 | 68,2 | 64,6 | 65,9 | 53,9 |
| Β. ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ | | | | | | | | |
| ΛΑΡΙΣΑ 2008 | | | | | ΤΡΙΚΑΛΑ 2008 | | | |
| | 0 | 8 | 16 | 24 | 0 | 8 | 16 | 24 |
| E | 94,3 | 97,8 | 105,0 | 91,2 | 63,2 | 71,0 | 66,1 | 59,4 |
| K | 115,0 | 115,3 | 114,9 | 101,5 | 49,2 | 55,1 | 63,5 | 65,1 |
| M | 103,0 | 104,0 | 102,8 | 101,4 | 47,5 | 57,0 | 63,2 | 57,9 |
| | 2009 | | | | 2009 | | | |
| E | 109,0 | 106,9 | 106,6 | 104,8 | 58,2 | 73,6 | 88,8 | 91,0 |
| K | 117,0 | 117,4 | 109,9 | 93,0 | 68,3 | 71,1 | 99,0 | 86,0 |
| M | 102,0 | 103,4 | 88,2 | 93,3 | 62,6 | 70,0 | 73,7 | 68,2 |

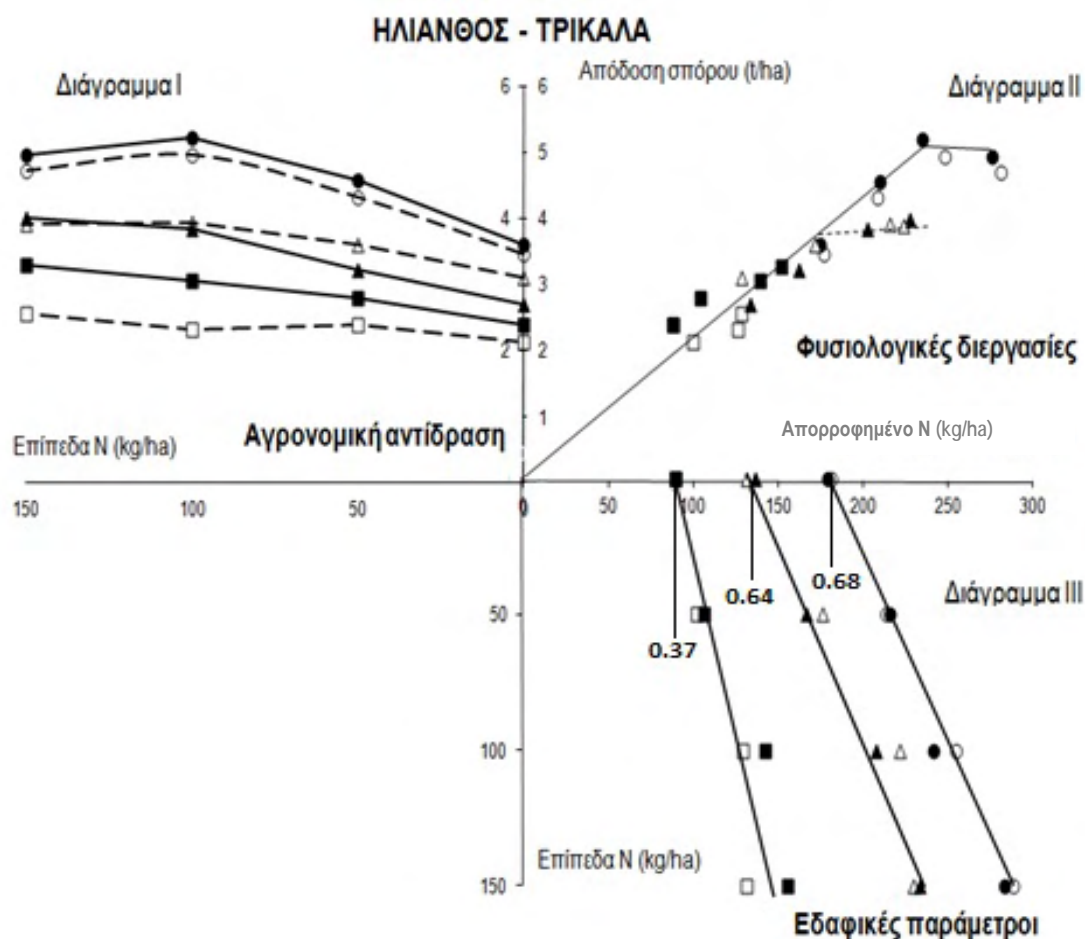
3.5.5 Τρι-τεταρτημόρια διαγράμματα σχέσης απόδοσης-προσρόφησης-λίπανσης

Όπως αναφέρθηκε (Κεφ. 1.4.3) οι σχέσεις απόδοσης – απορρόφησης, απόδοσης-λίπανσης, και απορρόφησης - λίπανσης μπορούν να απεικονιστούν σε μια γραφική παράσταση τριών διαγραμμάτων, όπως το τρι-τεταρτημόριο διάγραμμα του Σχήματος 3.5.7. Το παράδειγμα αυτό αφορά στην καλλιέργεια του ηλίανθου στο έδαφος των Τρικάλων τα έτη 2008 και 2009.

Στο διάγραμμα Ι απεικονίζεται η *αγρονομική αντίδραση*, δηλαδή η απόδοση σε (ξηρό) καρπό σε σχέση με το εφαρμοζόμενο άζωτο. Εδώ φαίνεται καθαρά η επίδραση των μεταχειρίσεων με ψυχανθές στην τελική απόδοση, που στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης (ενσωμάτωση μπιζελιού) μπορεί να επιτευχθεί σημαντική αύξηση των αποδόσεων χωρίς εφαρμογή αζώτου έως και υπερδιπλασιασμός των αποδόσεων με ίδιες εφαρμογές αζώτου.

Το διάγραμμα II εκφράζει τη σχέση μεταξύ απόδοσης και απορρόφησης αζώτου, δηλαδή τις *φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού*. Η αρχική κλίση της καμπύλης αυτής της σχέσης είναι ευθεία και παριστά το δείκτη NUE, το αντίστροφο του οποίου παρουσιάζει το εκατοστιαίο ποσοστό της συγκέντρωσης αζώτου στους ιστούς των φυτών. Στο παράδειγμά μας φαίνεται καθαρά ότι η αρχική κλίση της καμπύλης είναι περί το 20 kg/kg ενώ διαφαίνεται το δυναμικό παραγωγής ξηρού σπόρου περί τους 4 t/ha στην περίπτωση της αμειψισποράς έως 5 t/ha στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης.

Το διάγραμμα III εκφράζει τη σχέση μεταξύ απορρόφησης αζώτου και του εφαρμοζόμενου στοιχείου στο λίπασμα, δηλαδή τις *εδαφικές παραμέτρους*. Η προκύπτουσα γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης χαρακτηρίζει την παραπάνω σχέση.



Σχήμα 3.5.7. Τρι-τεταρτημόριο διάγραμμα της απόδοσης σε σπόρο του ηλίανθου (t/ha) σε σχέση με την εφαρμοζόμενη N-ούχο λίπανση, τη συνολική προσρόφηση αζώτου και για τις τρεις μεταχειρίσεις του ψυχανθούς, στα Τρίκαλα και για τα έτη 2008 (□,○,Δ) και 2009 (■,●,▲).

Οι τιμές βασικής απορρόφησης (base uptake) είναι οι τομές των ευθειών με τον άξονα x και υποδηλώνουν την εγγενή γονιμότητα του εδάφους (Κεφ. 1.4.3) που στο μάρτυρα (αλίπαντο μονοκαλλιέργεια ηλίανθου στα Τρίκαλα) είναι 88 kg/ha, και που βελτιώνεται σημαντικά με την εφαρμογή της αμειψισποράς (133 kg/ha) και της χλωρής λίπανσης (175 kg/ha, Σχ. 3.5.7). Τα ποσοστά ανάκτησης αζώτου απεικονίζονται με τις κλίσεις των καμπυλών (ευθειών) του διαγράμματος III με την κατακόρυφο, και όπως αναγράφεται στο Σχήμα είναι 0,37, 0,64 και 0,68 αντίστοιχα στο μάρτυρα (μονοκαλλιέργεια), στην αμειψισπορά (με συγκομιδή μπιζελιού) και τη χλωρή λίπανση (ενσωμάτωση μπιζελιού).

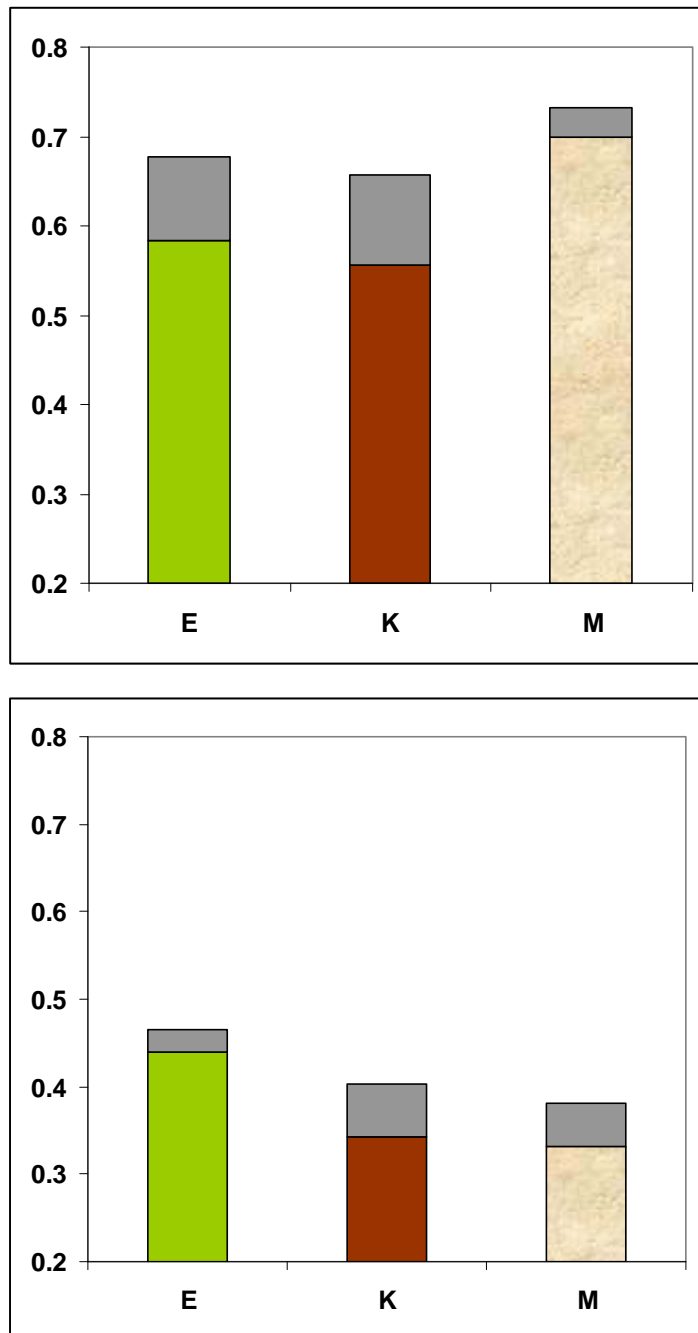
Τα διαγράμματα του τύπου αυτού είναι πολύ χρήσιμα για προφανείς εποπτικούς λόγους, ενώ εξάλλου από δύο τεταρτημόρια μπορεί να προκύψει αυτομάτως το τρίτο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό μεταξύ άλλων και στην περίπτωση κατασκευής μοντέλων για ορθολογιστική εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης για αειφορική παραγωγή με μειωμένο κόστος και ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών εκροών.

3.6 Επίδραση της διαχείρισης του ψυχανθούς στις φυσικο-χημικές ιδιότητες του εδάφους

3.6.1 Δομή του εδάφους

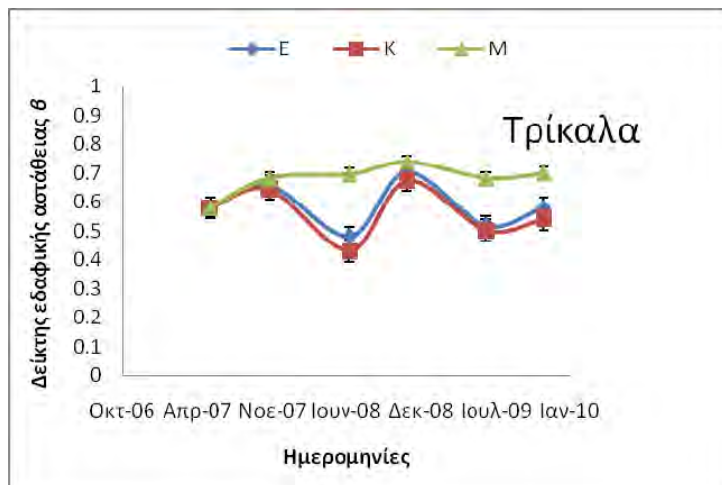
Η δομή του εδάφους και η κοκκομετρική σύστασή του αποτελούν τις σημαντικότερες παραμέτρους για τον καθορισμό της συμπεριφοράς του. Αντίθετα με την κοκκομετρική σύσταση που είναι σταθερή, η εδαφική δομή αντικατοπτρίζει τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων και μπορεί να μεταβάλλεται έντονα με τις κλιματικές συνθήκες (Abiven *et al.*, 2009) και τη διαχείριση του εδάφους και μαζί με αυτήν να μεταβάλλεται το εδαφικό πορώδες, η φαινόμενη ειδική πυκνότητα, η διηθητικότητα και τελικά η διαθεσιμότητα νερού και η ανάπτυξη των φυτών. Η δομή του εδάφους εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, άργιλο και τύπο της αργίλου, ανόργανες ενώσεις (συγκολλητικά) και νερό. Κύριες παρεμβάσεις που συντελούν στη διατήρηση ή βελτίωση της εδαφικής δομής συνίστανται στην προσθήκη οργανικής ουσίας (κοπριά, φυτικά υπολείμματα, **χλωρή λίπανση**), **και στην αμειψισπορά κυρίως με ψυχανθή** (Tisdall & Oades, 1982; Chenu *et al.*, 2000). Βεβαίως, το είδος της χλωρής λίπανσης, η ποσότητα, η ποιότητα και ο ρυθμός εφαρμογής παίζουν σημαντικό ρόλο. Στα ταχέως αποσυντιθέμενα οργανικά υλικά ανήκουν αυτά που εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε γλυκόζη έναντι των άλλων στοιχείων (Guckert *et al.*, 1975; Skinner *et al.*, 1979). Μεταξύ εδαφών με διαφορετική περιεκτικότητα σε C, η επίδραση της μεταχείρισης με χλωρή λίπανση είναι μεγαλύτερη στα εδάφη με μικρή περιεκτικότητα (Fortun *et al.*, 1996) όχι όμως σε όλες τις περιπτώσεις (Kiem & Kandeler, 1997). Αποτελέσματα ερευνών αναφέρουν ότι η επίδραση της χλωρής λίπανσης είναι πιο αποτελεσματική στα ιλυώδη (Browning & Milan, 1944) και στα αμμώδη εδάφη (Kiem & Kandeler, 1997). Η επίδραση της χλωρής λίπανσης στην εδαφική δομή διαρκεί λίγες εβδομάδες και κατόπιν επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση. Ο Monnier (1965) συσχετίζει αυτή την περιοδική εναλλαγή της εδαφικής δομής με τη μικροβιακή δραστηριότητα. Ο μικροβιακός πληθυσμός που αναπτύσσεται μετά την επιπρόσθετη οργανική ουσία καθορίζει και το σχηματισμό καθώς και τη σταθεροποίηση των αδρανών υλικών (Diaz, 1994) και φαίνεται να υπάρχει

συσχέτιση ανάμεσα στις φυσικές ιδιότητες και τη βιοχημεία του εδάφους (Capriel *et al.*, 1990).



Σχήμα 3.6.1. Δείκτης αστάθειας εδαφικής δομής (β - άξονας y) στις τρεις μεταχειρίσεις (E, K, M) του ψυχανθούς (μπιζέλι) στο αμμώδες έδαφος των Τρικάλων (επάνω) και το βαρύ αργιλώδες έδαφος της Λάρισας (κάτω). [Μ.Ο. για 5 δειγματοληψίες την περίοδο 2007 – 2009. Στη κορυφή των στηλών απεικονίζονται οι τυπικές αποκλίσεις ανά μεταχείριση. Μεταχειρίσεις: E=χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση μπιζελιού, K=αμειψισπορά με συγκομιδή καρπού ψυχανθούς, M= μάρτυρας, χωρίς ψυχανθές].

Στο Σχήμα 3.6.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα ως προς την επίδραση της αμειψισποράς με ψυχανθές (α) και της χλωρής λίπανσης με ενσωμάτωση ψυχανθούς (μπιζέλι) (β) πριν την εγκατάσταση εαρινών καλλιεργειών στη σταθερότητα της εδαφικής δομής όπως αντικατοπτρίζεται από το δείκτη αστάθειας β (Valmis *et al.*, 2005; Dimoyannis *et al.*, 1998, Dimoyannis, 2009). Είναι φανερό ότι στο αμμώδες έδαφος των Τρικάλων, τόσο η χλωρά λίπανση όσο και η αμειψισπορά με μπιζέλι επέδρασαν σημαντικά στην βελτίωση της εδαφικής δομής όπως προκύπτει από την μείωση του δείκτη αστάθειας β ($P \leq 0.05$) σε σχέση με τον μάρτυρα. Πιο συγκεκριμένα, και όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.6.2, η εδαφική δομή βελτιώνεται κυρίως τις θερινές περιόδους, ενώ αντίθετα την υγρή περίοδο δεν προκύπτουν σημαντικές διαφορές στο δείκτη αστάθειας. Με τα αποτελέσματα της εποχικής διακύμανσης της παρούσας έρευνας έρχονται σε συμφωνία και τα αποτελέσματα των ερευνητών Lehrs & Jolley, Xue-Ming και Chan *et al.* (1992, 1998, 1994). Η μείωση της τιμής του δείκτη β ήταν περίπου η ίδια και στις δύο μεταχειρίσεις του ψυχανθούς, έτσι ώστε να μην προκύπτει διαφορά μεταξύ των δύο αυτών μεταχειρίσεων (Σχ. 3.6.1 και 3.6.2).



Σχήμα 3.6.2. Μεταβολή του δείκτη αστάθειας εδαφικής δομής (β - άξονας y) στις τρεις μεταχειρίσεις του ψυχανθούς (μπιζέλι) στο αμμώδες έδαφος των Τρικάλων. [Στους Μ.Ο των δειγματοληψιών (Ιούνιος – Νοέμβριος) σε κάθε γραμμή απεικονίζονται οι τυπικές αποκλίσεις ανά μεταχείριση. Μεταχειρίσεις: E=χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση μπιζελιού, K=αμειψισπορά με συγκομιδή καρπού ψυχανθούς, M=μάρτυρας, χωρίς ψυχανθές].

Αντίθετα, στο βαρύ αργιλώδες έδαφος της Λάρισας (άργιλος = 60%), ο δείκτης αστάθειας β λαμβάνει αρκετά μικρότερες τιμές συγκριτικά με το αμμώδες έδαφος

των Τρικάλων, αντικατοπτρίζοντας την πολύ πιο σταθερή δομή του εδάφους αυτού. Όμως τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση της (ήδη υπάρχουσας έντονης) δομής με την αμειψισπορά και τη χλωρά λίπανση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6.1 (κάτω). Αντίθετα μάλιστα διαφαίνεται κάποια τάση αύξησης του συντελεστή β στην περίπτωση της ενσωμάτωσης σε σχέση με το μάρτυρα και τη μεταχείριση του καρπού (Κ), η οποία δεν ήταν αναμενόμενη και σίγουρα δεν μπορεί να ερμηνευθεί τουλάχιστον χωρίς πρόσθετα πειραματικά δεδομένα.

3.6.2 Χημικές ιδιότητες του εδάφους

Τα αποτελέσματα των χημικών εδαφικών ιδιοτήτων αποδεικνύουν τη μεταβολή των τιμών τους μετά την τριετή αμειψισπορά, με τις δύο μεταχειρίσεις του μπιζελιού και το μάρτυρα, σε σχέση με τις αρχικές συνθήκες του πειραματικού αγρού.

Οργανική ουσία

Τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία και στους δύο τύπους εδαφών φανερώνουν σαφή υπεροχή στις μεταχειρίσεις του μπιζελιού ($P < 0.05$). Οι τιμές στη Λάρισα κυμάνθηκαν από 1,55 % (βάθος 0-20cm) – 2,19% (βάθος 20-40 cm), για τον ηλίανθο και 1,35 % (βάθος 0-20cm) – 1,93(%) (βάθος 20-40cm), για τον αραβόσιτο. Για το αμμώδες έδαφος των Τρικάλων, οι τιμές κυμάνθηκαν ως εξής: 0,87-1,57(%) βάθος 0-20 cm και 0,79-1,39(%) βάθος 20-40 cm για ηλίανθο και αραβόσιτο. Στα τεμάχια καλλιέργειας του αραβοσίτου, το ποσοστό αύξησης της οργανικής ουσίας είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με τα τεμάχια καλλιέργειας του ηλίανθου.

Η αύξηση της οργανικής ουσίας στο έδαφος μέσω της ενσωμάτωσης του μπιζελιού φαίνεται ότι βελτίωσε τη δομή του εδάφους, καθιστώντας το βαρύ αργιλώδες έδαφος της Λάρισας περισσότερο πορώδες και μειώνοντας το μέγεθος των πόρων στο αμμώδες έδαφος των Τρικάλων, με τελική συνέπεια να αυξάνεται η υδατοπερατότητα ή η ικανότητα συγκράτησης νερού, αντίστοιχα. Φαίνεται ότι η οργανική ουσία με την βαθμιαία αποσύνθεσή της συνετέλεσε στη μεγαλύτερη απορρόφηση της θερμότητας λόγω του σκούρου χρώματος που προσέδωσε ο χούμος στα επιφανειακά εδάφη και στην απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων. Αποτέλεσε επίσης πηγή ενέργειας για τη μικροβιακή χλωρίδα αυξάνοντας τη μικροβιακή δραστηριότητα σε αυτά τα εδάφη (Tian *et al.*, 2010). Στην πρακτική της ενσωμάτωσης της χλωρής λίπανσης η σχέση μεταξύ οργανικής ουσίας και βελτίωσης της εδαφικής σταθερότητας

φαίνεται να είναι πολύ σημαντική καθώς επηρεάζεται και από την ποσότητα αλλά και από τη φύση της οργανικής ουσίας (Dinel *et al.*, 1992).

Το ποσοστό του οργανικού άνθρακα πριν την εγκατάσταση των πειραματικών αγρών ήταν κατά μέσο όρο 0.92% για τη Λάρισα και 0.42% για τα Τρίκαλα, στο σύνολο του εδαφικού στρώματος που εξετάστηκε και για τα δύο βάθη. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.6.1 οι ποσοστιαίες τιμές των καλλιεργειών κάλυψης με ψυχανθή εμφανίζουν τάση υπεροχής η οποία στην περίπτωση του ηλίανθου στο έδαφος των Τρικάλων είναι στατιστικά σημαντική ($P < 0.05$). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν απόλυτα με τη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία για την αύξηση του οργανικού άνθρακα μετά από την καλλιέργεια των ψυχανθών (Schulz *et al.*, 1999; Karlen *et al.*, 1994; Havlin, 1990; Σιδηράς, 1993) με την προσθήκη φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος, σε πρακτικές αμειψισποράς και χλωρής λίπανσης. Το ποσοστό αποσύνθεσης του ριζικού συστήματος στη μεταχείριση της συγκομιδής του μπιζελιού φαίνεται να διαφοροποιεί τον οργανικό άνθρακα του εδάφους σε σχέση με το μάρτυρα. Οι εφαρμοζόμενες εισροές αζωτούχου λίπανσης χωρίς τον παράγοντα ψυχανθές δεν επηρέασαν τη μεταβολή του οργανικού άνθρακα. Τα αποτελέσματα έρευνας μετά από τετραετή αμειψισπορά του Campbell *et al.* (1999) δίνουν άμεση συσχέτιση της ποσότητας των φυτικών υπολειμμάτων που ενσωματώνονται και της περιεκτικότητας αργίλου στο έδαφος, με τον οργανικό άνθρακα. Οι Voroney *et al.* (1989) αναφέρουν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του C που απελευθερώνεται, διαφεύγει στην ατμόσφαιρα ως CO₂ και μόνον 20-30% του C των φυτικών υπολειμμάτων συνεισφέρει στην αύξηση της οργανικής του μορφής στο έδαφος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η δέσμευση οργανικού C που προέρχεται από υπολείμματα μπιζελιού είναι της τάξης των 212-318 kg C/ha.

Πίνακας 3.6.1. Αποτελέσματα Μ.Ο των παραμέτρων του οργ. C (%), της οργ. ουσίας (O.Y., %), του κλάσματος C/N, του ολικού N (%), του K (mg/kg) και του P (mg/kg) των τελικών συνθηκών (μετά το πέρας των πειραμάτων) στις δύο περιοχές μελέτης.

| | | Λάρισα - Αραβόσιτος - 2009 | | Τρίκαλα - Αραβόσιτος - 2009 | |
|------------------|---------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| | | 0-20cm | 20-40cm | 0-20cm | 20-40cm |
| C _{οργ} | | M.O. | M.O. | | |
| | K | 0.906 | 0.797 | K | 0.761 |
| | E | 0.983 | 0.865 | E | 0.876 |
| | M | 0.646 | 0.568 | M | 0.584 |
| | LSD _(5%) | 0.0748 | 0.0658 | LSD _(5%) | 0.092 |
| | cv(%) | 10.2 | 10.8 | cv(%) | 14.9 |
| O.Y.(%) | | M.O. | M.O. | | M.O. |
| | K | 2.01 | 1.77 | K | 1.53 |
| | E | 2.19 | 1.93 | E | 1.57 |
| | M | 1.45 | 1.28 | M | 1.35 |
| | LSD _(5%) | 0.222 | 0.195 | LSD _(5%) | 0.139 |
| | cv(%) | 13.6 | 16.0 | cv(%) | 10.8 |
| C/N | | M.O. | M.O. | | M.O. |
| | K | 11.59 | 10.2 | K | 9.46 |
| | E | 12.04 | 10.59 | E | 10.02 |
| | M | 9.57 | 10.4 | M | 10.36 |
| | LSD _(5%) | 0.849 | 0.748 | LSD _(5%) | ns |
| | cv(%) | 8.9 | 12.0 | cv(%) | 12.5 |
| Ολ. N(%) | | M.O. | M.O. | | M.O. |
| | K | 0.1 | 0.09 | K | 0.09 |
| | E | 0.1 | 0.09 | E | 0.093 |
| | M | 0.08 | 0.08 | M | 0.077 |
| | LSD _(5%) | 0.006 | 0.007 | LSD _(5%) | 0.004 |
| | cv(%) | 7.3 | 9.0 | cv(%) | 4.6 |
| K(mg/kg) | | M.O. | M.O. | | M.O. |
| | K | 299.0 | 263.1 | K | 210.1 |
| | E | 284.3 | 250.2 | E | 220.8 |
| | M | 256.4 | 225.6 | M | 181.3 |
| | LSD _(5%) | ns | ns | LSD _(5%) | ns |
| | cv(%) | 19.4 | 25.0 | cv(%) | 20.4 |
| P(mg/kg) | | M.O. | M.O. | | M.O. |
| | K | 18.33 | 16.13 | K | 25.67 |
| | E | 16.17 | 14.23 | E | 24.17 |
| | M | 15.42 | 13.57 | M | 23.67 |
| | LSD _(5%) | Ns | ns | LSD _(5%) | ns |
| | cv(%) | 26.0 | 26.0 | cv(%) | 17.6 |

| | | Λάρισα - Ηλιάνθος - 2009 | | Τρίκαλα- Ηλιάνθος - 2009 | | |
|-----------------------|---------------------|--------------------------------|----------|--------------------------------|----------|--------|
| | | 0-20cm | 20-40Ccm | 0-20cm | 20-40Ccm | |
| | | M.O. | M.O. | M.O. | M.O. | |
| C _{org} | K | 0.708 | 0.616 | K | 0.73 | 0.64 |
| | E | 0.877 | 0.763 | E | 0.87 | 0.79 |
| | M | 0.605 | 0.526 | M | 1.13 | 0.99 |
| | LSD _(5%) | 0.13 | 0.1139 | LSD _(5%) | ns | ns |
| | cv(%) | 20.7 | 20.0 | cv(%) | 117.9 | 116.0 |
| O.Y.(%) | K | 1.50 | 1.31 | K | 1.35 | 1.19 |
| | E | 1.55 | 1.35 | E | 1.38 | 1.21 |
| | M | 1.30 | 1.13 | M | 1.27 | 1.18 |
| | LSD _(5%) | 0.1155 | 0.1 | LSD _(5%) | 0.062 | 0.054 |
| | cv(%) | 9.2 | 9.0 | cv(%) | 5.4 | 5.0 |
| C/N | K | 10.17 | 8.85 | K | 8.92 | 7.85 |
| | E | 9.21 | 8.01 | E | 8.86 | 7.86 |
| | M | 9.74 | 8.47 | M | 9.91 | 8.37 |
| | LSD _(5%) | ns | ns | LSD _(5%) | 0.488 | ns |
| | cv(%) | 10.7 | 10.0 | cv(%) | 6.1 | 7.2 |
| O ₂ . N(%) | K | 0.08 | 0.07 | K | 0.09 | 0.079 |
| | E | 0.1 | 0.08 | E | 0.09 | 0.084 |
| | M | 0.08 | 0.07 | M | 0.07 | 0.07 |
| | LSD _(5%) | 0.0043 | 0.0037 | LSD _(5%) | 0.0033 | 0.0035 |
| | cv(%) | 5.6 | 6.0 | cv(%) | 5.5 | 7.3 |
| K(mg/kg) | K | 261.7 | 227.6 | K | 201.1 | 197 |
| | E | 306.9 | 267 | E | 205.7 | 190 |
| | M | 242.5 | 211 | M | 131.7 | 119.9 |
| | LSD _(5%) | 42.3 | 36.8 | LSD _(5%) | ns | ns |
| | cv(%) | 18.1 | 20.0 | cv(%) | 14.1 | 16.0 |
| P(mg/kg) | K | 17.5 | 15.22 | K | 25.08 | 22.07 |
| | E | 18.67 | 15.52 | E | 21.67 | 19.0 |
| | M | 14.44 | 15.23 | M | 21.08 | 18.55 |
| | LSD _(5%) | ns | ns | LSD _(5%) | 3.178 | 2.797 |
| | cv(%) | 30.7 | 30.7 | cv(%) | 16.2 | 20.8 |

Ολικό άζωτο και ο λόγος C/N

Η επίδραση των καλλιεργειών κάλυψης και στους δύο τύπους εδαφών είναι σημαντική ($P < 0.05$) αυξάνοντας το ολικό N στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης μπιζελιού κατά 20-22% (βάθος 0-20 cm) και κατά 11% (βάθος 20-40 cm) στο αργιλώδες έδαφος και 17% (βάθος 0-20cm) 14% (βάθος 20-40cm) στο αμμώδες των Τρικάλων. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει τη συνεισφορά της ενσωμάτωσης του μπιζελιού στη διατήρηση και αύξηση του N στο έδαφος και έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα πληθώρας ερευνών (Karlen *et al.*, 1994; Havlin, 1990; Ladd *et al.*, 1986; Crawford *et al.*, 1997; Jensen, 1996; Biederberck *et al.*, 1995) που αναφέρουν ότι η κύρια συνεισφορά της καλλιέργειας των ψυχανθών είναι η αύξηση του ολικού N στο αγρο-οικοσύστημα. Αντίθετα, στα τεμάχια όπου δεν καλλιεργήθηκε το ψυχανθές, σημειώνεται ελαφρά μείωση του ολικού εδαφικού N κατά τη διάρκεια του πειραματισμού και για τις δύο περιοχές.

Η καλλιέργεια των ψυχανθών μπορεί να αυξήσει το συνολικό N στο έδαφος, εφόσον το ποσοστό του δεσμευμένου N που παραμένει στο σύστημα είναι υψηλότερο από το ποσοστό του εδαφικού N που απομακρύνεται με τους καρπούς ή τα υπολείμματα (van Kessel & Hartley, 2000). Κατά τον πειραματισμό, στα τεμάχια της ενσωμάτωσης η συνεισφορά σε N του υπέργειου τμήματος του μπιζελιού είναι εμφανώς μεγάλη χωρίς όμως να είναι αμελητέα και η συνεισφορά του ριζικού συστήματος, στα τεμάχια όπου το μπιζέλι συγκομίστηκε ως καρπός (Peoples *et al.*, 1995b; Evans *et al.*, 1989; Unkovich *et al.*, 1997; Rego & Seeling, 1996; Wani *et al.*, 1996). Ωστόσο η μεταβολή στη συνολική δεξαμενή του N στο έδαφος σε τριετή βάση είναι δύσκολο να εκτιμηθεί και σημαντικές αλλαγές γίνονται φανερές σε μεγάλη κλίμακα χρόνου. Απαιτείται επομένως μακροχρόνιος πειραματισμός για τον προσδιορισμό της ικανότητας του μπιζελιού να εμπλουτίζει το έδαφος με N.

Μετά τον τριετή πειραματισμό φαίνεται ότι επήλθε μικρή διαφοροποίηση στο λόγο C/N με μείωση της τιμής του στο αμμώδες έδαφος των Τρικάλων και για το φυτό του αραβοσίτου στη μεταχείριση της ενσωμάτωσης, στο εδαφικό στρώμα των 0-40 cm χωρίς όμως σημαντικότητα ($P > 0.05$). Φαίνεται ότι η καλλιέργεια του μπιζελιού ενδεχομένως μπορεί να επηρεάσει τον τρόπο μεταβολής του λόγου C/N ο οποίος να διατηρείται σε σταθερά επίπεδα ή και να σημειώνεται μείωσή του.

Έχει αποδειχθεί ότι η αυξανόμενη βιολογική δραστηριότητα σχετίζεται με την ταχεία αποσύνθεση φυτικών υπολειμμάτων με χαμηλή αναλογία C/N και η ενσωμάτωση φυτικής βιομάζας λειτουργεί ως δεξαμενή αζώτου διαφόρων μορφών.

Εκχυλίσμος φώσφορος και ανταλλάξιμο κάλιο

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.6.1 φαίνεται ότι επήλθε αύξηση της τιμής της παραμέτρου με στατιστικά σημαντική διαφορά μόνον στην καλλιέργεια του ηλίανθου στο αμμώδες έδαφος των Τρικάλων. Η αύξηση αυτή μπορεί να οφείλεται στην εφαρμογή της φωσφορικής λίπανσης ή και στην επίδραση του μπιζελιού, ανεξάρτητα από το είδος των εισροών κατά ένα μέρος, ενώ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι το βαθύ ριζικό σύστημα του ηλίανθου και η πιο χαλαρή εδαφική σύσταση του αμμώδους εδάφους ενδεχομένως να λειτούργησαν θετικά. Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι η επίδραση των ψυχανθών οφείλεται ενδεχόμενα στην ικανότητά τους να μειώνουν την προσρόφηση του φωσφόρου στα κολλοειδή του εδάφους και να τον διατηρούν σε αφομοιώσιμες μορφές (Rao *et al.*, 1995; Suwanarit *et al.*, 1986).

Σημαντικές διαφορές ($P < 0.05$) βρέθηκαν και στην περιεκτικότητα του ανταλλάξιμου καλίου μεταξύ των μεταχειρίσεων του ψυχανθούς, με μείωση όμως της τιμής του K στο έδαφος της Λάρισας. Αντίθετα αποτελέσματα προέκυψαν από το έδαφος των Τρικάλων τα οποία έρχονται σε συμφωνία με βιβλιογραφικές αναφορές, ότι η καλλιέργεια των ψυχανθών επηρεάζει τη συγκέντρωση του K στο έδαφος, καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στην ανακατανομή του στοιχείου από τα κατώτερα στρώματα στο εδαφικό προφίλ, προς τα επιφανειακά (USDA, 1998; Hargrove, 1986).

3.7 Σύγκριση οικονομικών ισοζυγίων (Farm budget)

3.7.1 Γενικά

Από την αρχή του 2006, οι νέοι κανονισμοί στα πλαίσια της ΚΑΠ οδήγησαν σε μια σταδιακή πτώση στο καθαρό κέρδος των γεωργών παραδοσιακών καλλιεργειών. Κάποιες προοπτικές συμβατικών καλλιεργειών που μπορούν να καλλιεργηθούν και για ενεργειακούς σκοπούς, δηλαδή για τη παραγωγή στερεών και υγρών βιοκαυσίμων (ηλίανθος) ή με αειφορική διαχείριση χαμηλών εισροών (αραβόσιτος) θα μπορούσε να αποτελέσει εναλλακτική πρόταση λόγω των προβλεπόμενων περιβαλλοντικών ενισχύσεων, εφόσον βέβαια εξασφαλίζεται η δυνατότητα ικανοποιητικής απόδοσης με χαμηλό κόστος παραγωγής. Για το λόγο αυτό, συγκρίνονται εδώ τα οικονομικά ισοζύγια (σε επίπεδο αγροκτήματος - farm budget) διαφόρων συστημάτων με τις υπό μελέτη καλλιέργειες και περιοχές μελέτης, που αντιπροσωπεύουν μεγάλες εκτάσεις στη δυτική και ανατολική Θεσσαλική πεδιάδα. Τα εξεταζόμενα συστήματα καλλιέργειας είναι:

- i. αρδευόμενος ηλίανθος σε παραδοσιακή μονοκαλλιέργεια
- ii. αρδευόμενος ηλίανθος σε αμειψισπορά με μπιζέλι
- iii. αρδευόμενος ηλίανθος με χλωρή λίπανση με μπιζέλι
- iv. επίσπορος αραβόσιτος (χαμηλών εισροών) σε μονοκαλλιέργεια
- v. επίσπορος αραβόσιτος σε αμειψισπορά με μπιζέλι
- vi. επίσπορος αραβόσιτος με χλωρή λίπανση με μπιζέλι
- vii. αραβόσιτος σε παραδοσιακή μονοκαλλιέργεια (μόνο Τρίκαλα)
- viii. αραβόσιτος σε αμειψισπορά με μπιζέλι (μόνο Τρίκαλα)
- ix. αραβόσιτος με χλωρή λίπανση με μπιζέλι (μόνο Τρίκαλα)

Πίνακας 3.7.1. Ισοζύγιο αγροκτήματος διαφόρων καλλιεργειών στα Τρίκαλα (2012).

Ο γεωργός είναι ο ιδιοκτήτης των βασικών μηχανημάτων και εξοπλισμού (τρακτέρ, εξοπλισμός προετοιμασίας, άρδευσης και λίπανσης εδάφους). (Τιμές σε €/ στρέμμα).

| | Αραβόσιτος | Ηλίανθος | Μπιζέλι | |
|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------|---------------|
| | | | Καρπός | Χλωρή λίπανση |
| Εργασίες αγρού | | | | |
| Άροση (30 cm) | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Καλλιεργητής | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Δισκοσβάρνα | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Σπορά | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Υλικά | | | | |
| Σπόρος | 40 | 20 | 50 | 20 |
| Αγροχημικά | 8 | 8 | -- | -- |
| Βασικά λιπάσματα (11-15-15) | <u>25/10^{*I}</u> | <u>13^I</u> | -- | -- |
| Επιφ. λιπάσματα (34,5-0-0) | <u>25/10^{*I}</u> | <u>12^I</u> | -- | -- |
| Καλλιεργητικές εργασίες | | | | |
| Λίπανση | 3 | 2 | -- | -- |
| Ζιζανιοκτονία | 3 | 2 | -- | -- |
| Άρδευση | 40/20 | 25 | -- | -- |
| Ψεκασμοί | 3 | 3 | -- | -- |
| Συγκομιδή | 20 | 15 | 20 | -- |
| Σύνολο δαπανών | 185/135 | 118 | 88 | 38 |
| Απόδοση (t/στρ) | <u>1.1/0.65^{*I}</u> | <u>0.294^I</u> | 0.160 | -- |
| Τιμή παραγωγού (€/t) | 210 | 400 | 500 | -- |
| Πρόσοδος | 231/137 | 118 | 80 | -- |
| Επιδότησεις (€/στρ) | 85 | 85 | -- | -- |
| Σύνολο προσόδου αγροκτήματος | 316/222 | 203 | 80 | 0 |
| Ακαθ. κέρδος αγροκτήματος | 131/87 | 85 | -8 | -38 |

* 25/10 = για απόδοση max / min εισροών, 0.294^I: τιμή σε άμεση σχέση με τη δαπάνη σε λίπανση.

3.7.2 Μεθοδολογία

Η παρούσα ανάλυση αφορά στα υπό μελέτη εδάφη των Τρικάλων και της Λάρισας και βασίζεται στα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Χρησιμοποιήθηκαν οι πραγματικές παρούσες τιμές (2012) των εισροών στις περιοχές μελέτης για την εκτίμηση των οικονομικών αποδόσεων. Παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των αποδόσεων των δύο ετών μελέτης (2008 και 2009). Η συμβατική καλλιέργεια αραβοσίτου στην ανατολική Θεσσαλική πεδιάδα δεν μελετάται ως μη ενδεικνυόμενη λόγω της έλλειψης αρδευτικού νερού και των σοβαρών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Στον Πίνακα 3.7.1 παρουσιάζεται ένα τυπικό ισοζύγιο αγροκτήματος που μπορεί να ληφθεί ως παράδειγμα για την κατανόηση των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων. Στον πίνακα αυτό συνοψίζονται τα οικονομικά ισοζύγια για μονοκαλλιέργεια ηλίανθου και αραβόσιτου (χαμηλών και υψηλών εισροών). Ο πίνακας περιλαμβάνει τις συνολικές εισροές οι οποίες διακρίνονται σε α) εργασίες αγρού (προετοιμασία και σπορά), β) απαιτούμενα υλικά, και γ) καλλιεργητικές εργασίες (άρδευση, λίπανση, κλπ). Για τους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη οι τιμές τρέχοντος έτους (2012). Η δαπάνη λίπανσης και η απόδοση είναι εξηρημένες μεταβλητές ως προς το επίπεδο λίπανσης, χρησιμοποιώντας τις τιμές της βασικής προσρόφησης και του κλάσματος ανάκτησης του αζώτου (Κεφ. 3.5). Για παράδειγμα, εφαρμογή 5 μονάδων αζώτου σε καλλιέργεια ηλίανθου στη Λάρισα με αμεινισπορά μπιζελιού, δίνει απόδοση:

$$Y = (5 * RF + Ub) * NUE / 0,93 \Rightarrow \quad (3.7.1\alpha)$$

$$Y = (5 * 0,528 + 12,2) * 20 / 0,93 \Rightarrow \quad (3.7.1\beta)$$

$$Y = 376 \text{ kg/στρ.} \quad (3.7.1\gamma)$$

όπου RF είναι το κλάσμα ανάκτησης αζώτου (kg/kg) (τιμές βλ. κεφ. 3.5),
 Ub είναι η βασική προσρόφηση αζώτου (kg/στρ) (τιμές βλ. κεφ. 3.5),
 NUE είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας χρήσης αζώτου (kg/kg), και
 0,93 είναι ο συντελεστής μετατροπής σε εμπορικό προϊόν.

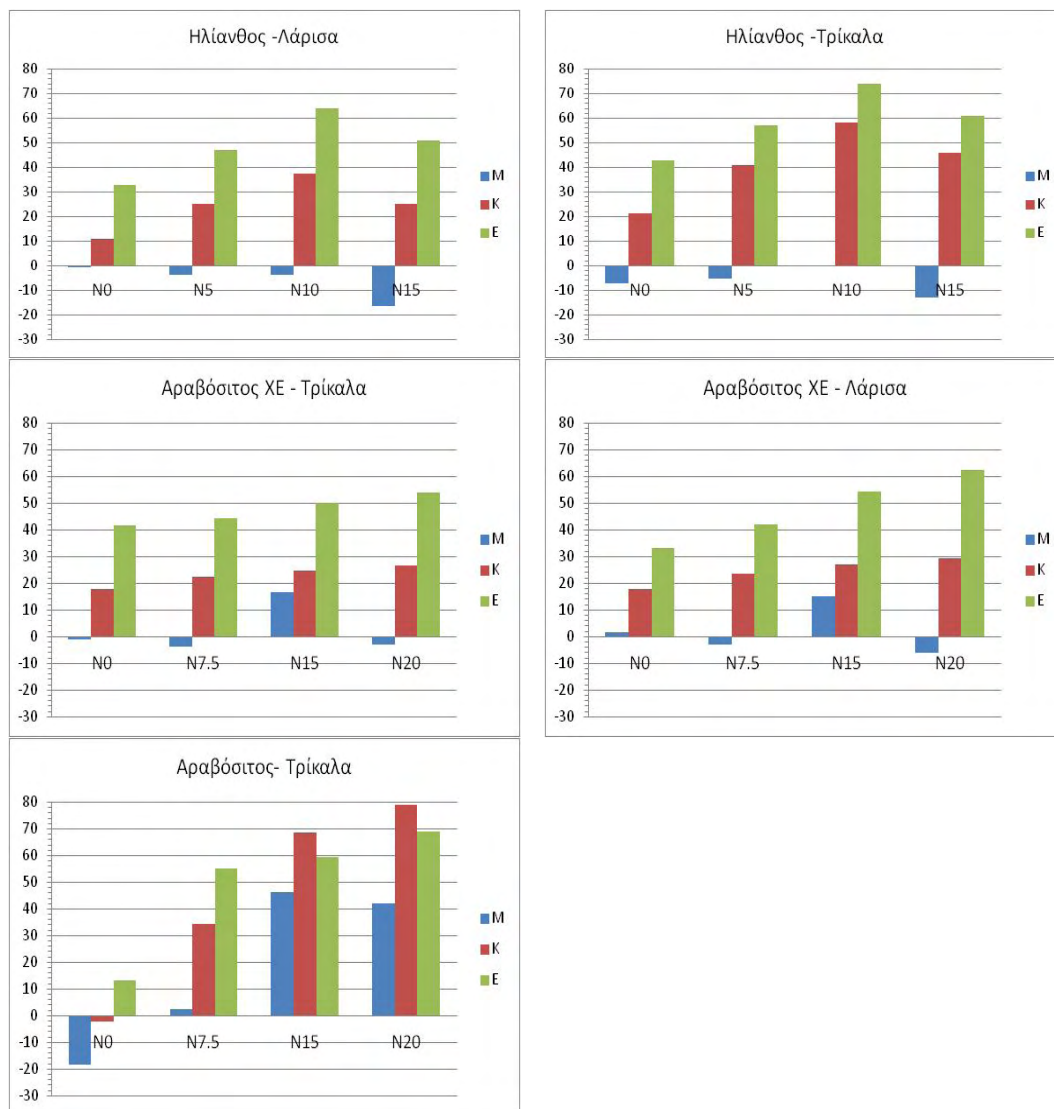
Φαίνεται καθαρά ότι ο αραβόσιτος χαρακτηρίζεται από τις μεγαλύτερες απαιτήσεις (185 €/στρ). Ακόμα και στην περίπτωση χαμηλών εισροών, οι δαπάνες του (135 €/στρ) ξεπερνούν τις δαπάνες του ηλίανθου (118 €/στρ). Φαίνεται επίσης ότι το ακαθάριστο κέρδος του αραβοσίτου (131 €/στρ) είναι μεγαλύτερο από αυτό του ηλίανθου (85 €/στρ) παρά την τρέχουσα μικρότερη τιμή του αραβοσίτου συγκριτικά με τον ηλιόσπορο (210 και 400 €/αντίστοιχα το 2012). **Λόγω έλλειψης αρδευτικού νερού στη Θεσσαλία**, η καλλιέργεια χαμηλών εισροών αποτελεί μονόδρομο καλλιέργειας αραβοσίτου τουλάχιστον στην ανατολική πεδιάδα της Λάρισας. Ακόμα και στην περίπτωση αυτή, το ακαθάριστο κέρδος γεωργού είναι συγκρίσιμο με το κέρδος από την μονοκαλλιέργεια ηλίανθου. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι στα παραπάνω συνυπολογίζεται η παρούσα επιδότηση («τσεκ») των 85 €/στρ η οποία πρόκειται να καταργηθεί στο άμεσο μέλλον (2013) και να αντικατασταθεί από μια (ισόποση?) «περιβαλλοντική ενίσχυση» υπό τον όρο ότι η καλλιέργεια θα είναι περιβαλλοντικά αειφορική (αποτύπωμα άνθρακα, κλπ). Εάν δεν ληφθεί υπόψη η επιδότηση αυτή, γί-

νεται εύκολα κατανοητό ότι τα ισοζύγια ηλίανθου και αραβοσίτου χαμηλών εισροών είναι περίπου μηδενικά, και επομένως θα ήταν καταστροφική η οριστική κατάργηση της παρούσας επιδότησης. Στον Πιν. 3.7.1 παρουσιάζονται επίσης τα δεδομένα για την καλλιέργεια μπιζελιού. Πιο συγκεκριμένα λαμβάνεται υπόψη απόδοση καρπού 160 kg/στρ προς 0,5 €/kg δηλαδή πρόσδοος 80 €/στρ. Δεδομένων των αυξημένων δαπανών της καλλιέργειας, και κυρίως την προμήθεια σπόρου (50 €/στρ), προκύπτει μηδενικό ακαθάριστο κέρδος. Το ίδιο αποτέλεσμα θα προέκυπτε και στην περίπτωση θερισμού και πώλησης της χορτονομής.

Στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης, λαμβάνονται υπόψη ελαφρά χαμηλότερες εισροές, αλλά λόγω της έλλειψης άμεσου προϊόντος το ακαθάριστο κέρδος φαινομενικά είναι αρνητικό στον Πιν. 3.7.1. Προφανώς οι άμεσες οικονομικές ωφέλειες από την εισαγωγή αμειψισποράς και χλωρής λίπανσης σχετίζονται με τη βελτίωση της βασικής προσρόφησης και του ποσοστού ανάληψης του αζώτου σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Για παράδειγμα στην περίπτωση εφαρμογής χλωρής λίπανσης με ενσωμάτωση μπιζελιού προκύπτει αύξηση της βασικής προσρόφησης κατά 8 μονάδες N και του ποσοστού ανάληψης κατά 30% (Κεφ. 3.5), δηλαδή με εφαρμογή 10 μονάδων N στο λίπασμα απορροφούνται $8 + 10 * 0,30 = 11$ μονάδες N. Πολλαπλασιάζοντας επί τον λόγο $NUE = 20$ προκύπτει απόδοση ξηρού σπόρου $11 * 20 = 220$ kg ή 260 kg εμπορικού προϊόντος το οποίο πωλούμενο προς 0,40 €/kg αποφέρει επί πλέον 104 €/στρ μείον τη δαπάνη εγκατάστασης του μπιζελιού (58 €/στρ, Πιν. 3.7.1), οδηγώντας έτσι τελικά σε αύξηση του ακαθάριστου κέρδους παραγωγού κατά 54 €/στρ.

3.7.3 Αξιολόγηση συστημάτων καλλιέργειας

Τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης συνοψίζονται στο Σχήμα 3.7.1 για τα υπό μελέτη σενάρια. Σημειωτέον ότι στα αποτελέσματα δεν λαμβάνεται υπόψη η επιδότηση των 85 €/στρ, για προφανείς λόγους και για την καλύτερη κατανόηση της δυνατότητας αντικατάστασής της με την «περιβαλλοντική ενίσχυση» στο άμεσο μέλλον που θα προϋποθέτει αειφορική καλλιέργεια με την εισαγωγή αμειψισποράς ή χλωρής λίπανσης με ψυχανθές.



Σχήμα 3.7.1. Ακαθάριστο κέρδος συστημάτων καλλιεργειών με αραβόσιτο και ηλιάνθο στο έδαφος της Λάρισας και των Τρικάλων για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις μπιζελιού και διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης. (ΧΕ= χαμηλές εισροές).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7.1, το κέρδος παραγωγού ηλιάνθου στη Θεσσαλία υπό τις σημερινές τιμές και συνθήκες (μεταχείρισης M) ισούται με την επιδότηση, σύμφωνα και με την υπάρχουσα εμπειρία σε πολλές Θεσσαλικές περιοχές.

Αντίθετα με την εισαγωγή χλωρής λίπανσης, η βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους είναι τέτοια ώστε ακόμα και μηδενική λίπανση που συνδέεται με το μέγιστο περιβαλλοντικό αποτέλεσμα (αλλά και με τη μείωση εισροών) εμφανίζεται υπερκάλυψη των δαπανών εγκατάστασης του μπιζελιού και τελικό κέρδος περί τα 30 - 40 €/στρ στη Λάρισα και τα Τρίκαλα, αντίστοιχα. Όμως με εφαρμογή περί τις 10 μονάδες αζώτου το κέρδος αυξάνεται ακόμα περισσότερο για να φθάσει τα 62 - 72

€στρ στη Λάρισα και τα Τρίκαλα, αντίστοιχα. Σε χαμηλότερα επίπεδα κέρδους κυμαίνεται η αμειψισπορά με καλλιέργεια μπιζελιού για παραγωγή καρπού ή κτηνοτροφής, η οποία ενδείκνυται λόγω των αυξημένων αναγκών σε εγχώριες κτηνοτροφές και πάντα σε σχέση με την τιμή πώλησης του προϊόντος.

Η μονοκαλλιέργεια αραβοσίτου χαμηλών εισροών είναι ανταγωνιστική της συμβατικής καλλιέργειας ηλίανθου στα υπό μελέτη εδάφη της Λάρισας και των Τρικάλων (Σχήμα 3.7.1). Όμως και εδώ φαίνεται καθαρά ότι η ενσωμάτωση μπιζελιού βελτιώνει σε τέτοιο βαθμό την εδαφική γονιμότητα ώστε να υπερκαλύπτει τις δαπάνες εγκατάστασης του ψυχανθούς και να αποφέρει σημαντική αύξηση του κέρδους παραγωγού. Στο έδαφος των Τρικάλων προτείνεται χλωρή λίπανση με μπιζέλι και επόμενη καλλιέργεια αραβοσίτου με μηδενική Νχο λίπανση. Στο έδαφος της Λάρισας, εφαρμογή περί τις 15 μονάδες αζώτου αυξάνουν το ακαθάριστο κέρδος περί τα 40 € Ενδιάμεση διαχείριση αποτελεί η με αμειψισπορά με καλλιέργεια μπιζελιού για καρπό ή κτηνοτροφής, η οποία ενδείκνυται λόγω των αυξημένων αναγκών σε εγχώριες κτηνοτροφές αλλά θα πρέπει να ενισχυθεί συγκριτικά με την χλωρή λίπανση.

Όπως αναφέρθηκε, λόγω της αυξανόμενης έλλειψης αρδευτικού νερού, δεν ενδείκνυται καλλιέργεια αραβοσίτου στην πεδιάδα της Λάρισας (Ανατολική Θεσσαλική πεδιάδα). Στην δυτική πεδιάδα (Καρδίτσας και Τρικάλων) υπάρχει διαθέσιμο αρδευτικό νερό, και το καλαμπόκι καλλιεργείται σε μονοκαλλιέργεια παρέχοντας ικανοποιητικό κέρδος παραγωγού (Σχ. 3.7.1). Ακόμα και στην περίπτωση της αμειψισποράς με παραγωγή καρπού και ακόμη περισσότερο της χλωρής λίπανσης με μπιζέλι προβλέπεται να αυξηθεί το αναμενόμενο κέρδος παραγωγού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της αστάθειας των οικονομικών παραμέτρων, τα αποτελέσματα σχετικά με τις απόλυτες τιμές είναι ενδεικτικά. Για παράδειγμα, πολύ πρόσφατα η τιμή αγοράς του σπόρου μπιζελιού για κτηνοτροφή (περίπτωση ενσωμάτωσης) μειώθηκε στα 20 €στρ, έτσι ώστε τα παραπάνω εκτιμώμενα κέρδη παραγωγού είναι υποεκτιμημένα κατά 20 €στρ στην περίπτωση της ενσωμάτωσης (βλ. Πιν. 3.7.1). Τα παραπάνω συμπεράσματα όμως είναι σημαντικά ως προς τη σύγκριση μεταξύ της παραδοσιακής ενεργοβόρου και περιβαλλοντικά ασυμβίβαστης μονοκαλλιέργειας με την καλλιέργεια σε αμειψισπορά ή με την εφαρμογή χλωρής λίπανσης με μπιζέλι, που τουλάχιστον στην περίπτωση καλλιεργειών χαμηλών εισροών πρέπει να αποτελέσει μονόδρομο.-

4 ΚΥΡΙΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την παραδοσιακή διαχείριση των συμβατικών συστημάτων καλλιεργειών, με μονοκαλλιέργεια αραβοσίτου ή ηλιάνθου, η βασική απορρόφηση N κυμαίνεται περί τα 75-85 kg/ha για τα εδάφη των Τρικάλων και της Λάρισας αντίστοιχα, αντικατοπτρίζοντας το ικανοποιητικό επίπεδο γονιμότητας των υπό μελέτη Θεσσαλικών εδαφών. Η εισαγωγή καλλιέργειας μπιζελιού στην αμειψισπορά αυξάνει σημαντικά τη βασική απορρόφηση του N από περίπου 20-40 kg/ha, στην περίπτωση της αμειψισποράς για συγκομιδή καρπού, έως τα 160-180 kg/ha (αύξηση 100%) στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης με ενσωμάτωση του μπιζελιού, καταδεικνύοντας ότι περί το 37,5% του N που περιέχεται στη χλωρή λίπανση ανακτάται κατά την αύξηση της επόμενης (εαρινής) καλλιέργειας, αυξάνοντας έτσι θεαματικά τη γονιμότητα του εδάφους. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει αύξηση της απόδοσης σε σπόρο περί τους 1,6 t/ha για τον ηλιάνθο έως 5,0 t/ha για τον αραβόσιτο (χωρίς την εφαρμογή λιπάσματος) όπως προκύπτει από το γινόμενο της απορρόφησης N επί το λόγο απόδοσης – απορρόφησης, όπως βρέθηκε στην παρούσα εργασία, και ισούται με 20 και 65 για τον ηλιάνθο και τον αραβόσιτο, αντιστοίχα. Ο λόγος αυτός είναι η κλίση της αρχικά ευθύγραμμης σχέσης απόδοσης – ολικής απορρόφησης N (NUE) και αντικατοπτρίζει το δείκτη αποτελεσματικότητας της απορρόφησης του στοιχείου. Το αντίστροφο του λόγου αυτού ισοδυναμεί με την ελάχιστη περιεκτικότητα N στους ιστούς της φυτείας που με βάση τα δεδομένα μας ισούται περί το 4,75% για τον ηλιάνθο και περί το 1,6% για τον αραβόσιτο και στις δύο περιοχές μελέτης.

Σε ψηλά επίπεδα απορρόφησης (luxurious growth) η καμπύλη απόδοσης - απορρόφησης αποκλείει από την ευθεία προς την οριζόντιο (με αντίστοιχη αύξηση της περιεκτικότητας N στους ιστούς) καταδεικνύοντας ότι πλησιάζουμε προς το δυναμικό παραγωγής της καλλιέργειας κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες.

Το δυναμικό παραγωγής στην περίπτωση της μονοκαλλιέργειας ηλιάνθου δεν ξεπερνά τους 4 t/ha (σε ξηρό σπόρο) και στις δύο περιοχές. Στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης, το δυναμικό παραγωγής επεκτείνεται σε ψηλότερες τιμές απόδοσης κατά 1 t/ha περίπου για να φθάσει τους 5 t/ha, υποδηλώνοντας έτσι τη βελτίωση (των φυσικοχημικών ιδιοτήτων) του εδάφους και τη δημιουργία ενός βελτιωμένου περιβάλλοντος παραγωγής. Στην περίπτωση του αραβοσίτου, δεν επιτυγχάνεται δυ-

ναμικό παραγωγής (δηλαδή δεν εισέρχεται η καλλιέργεια σε υψηλή αύξηση) μέχρι την επίτευξη αποδόσεων της τάξης των 12 t/ha, και παραμένουμε στην περιοχή ελάχιστης συγκέντρωσης N στους ιστούς που κυμαίνεται περί το 1,7% (1,4 – 2,0% ανάλογα με τη χρονιά).

Εκτός της θεαματικής αύξησης της βασικής απορρόφησης του N στην περίπτωση της αμειψισποράς με μπιζέλι και κυρίως με τη χλωρή λίπανση, θεαματική ήταν και η αύξηση της αποδοτικότητας της λίπανσης στις μεταχειρίσεις του ψυχανθούς, όπως αντικατοπτρίζεται με το κλάσμα ανάκτησης N. Το κλάσμα αυτό ήταν σχετικά μικρό για τον (επίσπορο χαμηλών εισροών) αραβόσιτο που συνεπάγεται μικρό όφελος της Νούχου λίπανσης και μεγάλο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος. Με την εφαρμογή της αμειψισποράς, αυξήθηκε σημαντικά η ανάκτηση του λιπαντικού N κατά 35% (στο αμμώδες έδαφος) – 80% (στο αργιλώδες έδαφος) αντικατοπτρίζοντας την καλύτερη ωφέλεια της εφαρμοζόμενης λίπανσης που μπορεί να αποφέρει ακόμα μεγαλύτερη απόδοση σε καρπό. Η αντίστοιχη αύξηση του κλάσματος ανάκτησης στον ηλίανθο ήταν εντυπωσιακή και έφθασε το 0,55-0,70 για το αμώδες και αργιλώδες έδαφος αντίστοιχα (και τα δύο έτη πειραματισμού).

Για την μονοκαλλιέργεια ηλίανθου, λίπανση με 10 μονάδες N επαρκεί για βέλτιστη απόδοση, ενώ στην περίπτωση αμειψισποράς με μπιζέλι η απαιτούμενη εφαρμογή για μέγιστη απόδοση δεν ξεπερνά τις 5 μονάδες.

Η εισαγωγή της καλλιέργειας μπιζελλιού σηματοδοτεί σημαντική βελτίωση της δομής και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Ιδιαίτερα σε εδάφη με ασθενέστερη δομή, τόσο η χλωρή λίπανση όσο και η αμειψισπορά επιδρούν σημαντικά στη βελτίωση της εδαφικής δομής όπως προκύπτει από την μείωση του δείκτη αστάθειας β και κυρίως τις θερινές περιόδους.

Τα ποσοστά της οργανικής ουσίας, του οργανικού άνθρακα, και των θρεπτικών στοιχείων N, P, K αυξάνονται σημαντικά με την εισαγωγή της καλλιέργειας μπιζελλιού στα συμβατικά συστήματα καλλιέργειας και κυρίως στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης. Μπορούν μάλιστα να προσδιορισθούν σχετικά εύκολα τα ποσοστά αυτά στη βάση στοιχειώδους ισοζυγίου λαμβάνοντας υπόψη τις αρχικές συγκεντρώσεις, το ποσό της ενσωματούμενης βιομάζας ετησίως και την περιεκτικότητας της βιομάζας αυτής σε άζωτο, φώσφορο και κάλιο.

Ειδικά στην περίπτωση της χλωρής λίπανσης ενσωματώνονται ετησίως περί τους 4-5 t /ha ξηράς ουσίας μπιζελλιού (βλαστοί, φύλλα και άνθη) στην περίοδο της ανθοφορίας, με αποτέλεσμα να εμπλουτίζεται το έδαφος με 18-22 kg N/στρ.

Λόγω έλλειψης αρδευτικού νερού στη Θεσσαλία, η καλλιέργεια αραβοσίτου με χαμηλές εισροές αποτελεί μονόδρομο στην ανατολική πεδιάδα της Λάρισας. Ακόμα και στην περίπτωση αυτή, το ακαθάριστο κέρδος γεωργού είναι συγκρίσιμο με το κέρδος από την μονοκαλλιέργεια ηλίανθου. Το σημερινό κέρδος παραγωγού ηλίανθου στη Θεσσαλία (τιμές 2012) ισούται με την επιδότηση των 85 € Με την εισαγωγή χλωρής λίπανσης, η βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους υπερκαλύπτει τις δαπάνες εγκατάστασης του μπιζελιού και αποφέρει κέρδος περί τα 50 - 60 €στρ. πέραν της επιδότησης. Εφαρμογή περί τις 10 μονάδες αζώτου αυξάνει περαιτέρω το κέρδος στα 82 - 92 €στρ στη Λάρισα και τα Τρίκαλα, αντίστοιχα, ενώ σε χαμηλότερα επίπεδα κέρδους κυμαίνεται η αμειψισπορά με καλλιέργεια μπιζελιού για παραγωγή καρπού ή κτηνοτροφής, η οποία ενδείκνυται λόγω των αυξημένων αναγκών σε εγχώριες κτηνοτροφές. Λόγω της αστάθειας των οικονομικών παραμέτρων, τα παραπάνω συμπεράσματα είναι ενδεικτικά. Το σίγουρο είναι ότι οι παραδοσιακές ενεργοβόρες μονοκαλλιέργειες είναι πλέον περιβαλλοντικά και οικονομικά ασυμβίβαστες, ενώ οι αμειψισπορές με ψυχανθή, και ειδικότερα με καλλιέργεια μπιζελιού, μπορεί να αποτελέσουν πολύ σημαντική πρόταση για αειφορική και οικονομικά βιώσιμη παραγωγή.

Τέλος, οι σχέσεις απόδοσης – απορρόφησης, απόδοσης - λίπανσης, και απορρόφησης - λίπανσης μπορούν να απεικονιστούν σε μια γραφική παράσταση τριών διαγραμμάτων σε ένα τρι-τεταρτημόριο διάγραμμα, που είναι πολύ χρήσιμο για εποπτικούς λόγους, ενώ εξάλλου από δύο τεταρτημόρια μπορεί να προκύψει αυτομάτως το τρίτο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό μεταξύ άλλων και στην περίπτωση κατασκευής μοντέλων για ορθολογιστική εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης για αειφορική γεωργική παραγωγή με μειωμένο κόστος και ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών εκροών.

- Abiven, S., Menasseri, S., Chenu, C. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology & Biochemistry* 41: 1-12.
- Agostini, D., Armstrong, A., Audsley, E., Barthes, J.P., Bonson, T., Bornand, M., Brown, O., Cazemier, D., Cojocar, G., De Baets, A., De La Rosa, D., Evans, S., Frederiksen, B., Giupponi, C., Gylling, M., Johannessen A., Koutsidou, E., Lagacherie, P., Legros, J.-P., Loumou, A., Loveland, P., Margaritis, N., Martin-clouaire, K., Matthews, A., Mayol, P., Mayr, T., Moreno, J.A., Portwood, A., Rosato P., Sells, J., Simota, G., Viner, D., Wassenaar, T. 1999. Spatial modeling of the response and adaptation of soils and land use systems to climate change - an integrated model to predict European land use (IMPEL). Summary report Edited by Mark D.A Rounsevell Commission of the European Communities Directorate-General XII Science Research & Development.
- Aita, C., Ceretta, C.A., Fries, M.R., Konzen, J.M. 2004. Maize cultivation after winter cover crops. In *Proceedings: of Brazilian Meeting of Soil Fertility and Plant Nutrition* pp 1-10.
- Akbar, H., Muhammad, T.J., Amunllah, J., Ihsanullah, J. 2002. Yield potential of sweet corn as influenced by different levels of nitrogen and plant population. *Asian Journal of Plant Science* 1: 631-633.
- Albrizio, R., Steduto, P. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea I. Radiation use efficiency. *Agric. & Forest Meteorology* 130: 254-268.
- Amanuel, G., Kuhne, R.F., Tanner, D.G., Vlek, P.L.G. 2000. Biological nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.) in the Ethiopian highlands as affected by P fertilization and inoculation. *Biology and Fertility of Soils* 32: 353-359.

- Amanullah, J. 2005. Physiology partitioning of assimilates and yield of maize as affected by plant density rate and timing of nitrogen application. Thesis. University of Agricultural, Peshawar.
- Anderson, T.H., Domsch, K.H. 1990. Application of the eco-physiological quotients on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biol Biochem* 22: 251-255.
- Andrade, F.H., Echarte, L., Rizalli, R., Della, Maggiora, A., Casanovas, M. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water. *Crop Science* 42: 1173-1179.
- Angas, P., Lampurlanes, J., Cantero-Martinez, C. 2006. Tillage and N fertilization effects on N dynamics and barley yield under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Tillage Res.* 87: 59-71.
- Angers, D., Mehuys, G.R. 1988. Effects of cropping on macro-aggregation of a marine clay soil. *Can. J. Soil Science* 68: 723-732.
- Angers, D., Recous, S. 1997. Decomposition of wheat straw and rye in soil as affected by particle size. *Plant Soil* 189: 197-203.
- Angus, J. F., Cunningham, R. B., Moncur, M. W., Mackenzie, D. H. 1981. Phasic development in field crops. I. Thermal response in the seedling phase. *Field Crops Res.* 3: 365–378.
- Archontoulis, S.V., Danalatos, N.G., Struik, P.C., Tsalikis, D. 2007. Irrigation and N-fertilization effects on the growth and productivity of sunflower in an aquic soil in central Greece. In: *Proceedings of the 15th European Biomass Conference*, Berlin, Germany, pp 413–416.
- Archontoulis, S.V., Vos, J., Yin, X., Bastiaans, L., Danalatos, N.G., Struik, P.C. 2011. Temporal dynamics of light and nitrogen vertical distributions in canopies of sunflower, kenaf and cynara. *Field Crops Research* 122: 186–198.
- Argyrokastriris, J., Kerkides, P., Valmis, S. 2002. Spatial variability of soil structure stability indices. *Balkan Ecol.* 5(2): 157-162.
- Ashraf, M., Mahmood, T., Azam, F., Qureshi, R.M., 2004. Comparative effects of applying leguminous and non-leguminous green manures and inorganic N on biomass yield and nitrogen uptake in flooded rice (*Oryza sativa* L.). *Biol. Fert. Soils* 40: 147–152.
- Ayoud, A.T. 1999. Fertilizers and environment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 117-121.

- Bahl, G.S., Pasricha, N.S. 2000. N-utilization by maize (*Zea mays* L.) as influenced by crop rotation and field pea (*Pisum sativum* L.) residue management. *Soil use and management* 16: 230-231.
- Balcom, S.K., Reeves, W.D. 2005. Sunn-Hemp utilized as a legume cover crop for corn production. *American Society of Agronomy* 97: 26-31.
- Balligar, V.C., Fageria, N.K., He, Z.L. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Comm. Soil Science Plant Analysis* 32 (7 & 8): 921-950.
- Beadle, C.L. 1987. Plant growth analysis. In J. Coombs, D.O. Hall, S.P. Long, Scurlock, J.M.O. (Eds), *Techniques in Bio-Productivity and Photosynthesis*. Pergamon Press, Oxford, UK. 2nd ed., pp. 21-23.
- Bedoussac, L., Justes, E. 2011. A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat – winter pea intercrops. *Field Crops Research* 124: 25-36.
- Below, E.F. 1995. Nitrogen Metabolism and Crop Productivity. In: Pessarakli M., (ed). *Handbook of plant and crop physiology*. Marcell Dekker, Inc., New York pp 275-301.
- Bergstrom, L., Kirchman, H. 2004. Leaching and crop uptake of nitrogen from nitrogen-15 labeled green manures and ammonium nitrate. *J. Environment Qual.* 33: 1786-1792.
- Biederberck, V.O., Bjorge, H.A., Brandt, S.A., Henry, J.L., Hultgreen, G.E., Kielly, G.A., Slindard, A.E. 1995. Soil improvement with legumes including legumes in crop rotations. In Green, B.J. and Biederberck V.O. (eds). *Agriculture, Food and Rural Revitalization, Canada – Saskatchewan Agreement on Soil Conservation*. Website:<http://www.agr.gov.sk.ca>.
- Bilalis, D., Karkanis, A., Sidiras, N., Travlos, I., Efthimiadou, A., Thomopoulos, P., Kakabouki, I. 2012. Maize and legume root growth and yields as influenced by organic fertilization, under Mediterranean environmental conditions. *Romanian Agriculture Research* 29: 211-217.
- Boquet, D.J., Dabney, S.M. 1991. Reseeding biomass and nitrogen content of selected winter legumes in grain sorghum culture. *Agronomy Journal* 83: 144-148.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron J.* 54: 464-465.
- Bremner, J.M., Muvaney, C.S. 1982. Nitrogen–total. In: Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Editors) *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Micro-*

- biological Properties, 2nd Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison pp 595-624.
- Bronick, C.J., Lal, R. 2005. Soil structure. *Geoderma* 124: 3-22. Doi: 10.1016/j.geoderma.2004.03.005.
- Browning, G.M., Millan, F.M. 1944. Effect of different types of organic materials and lime on soil aggregation. *Soil Science* 57: 91-106.
- Brye, K.R., Norman, J.M., Bundy, L.G., Gower, S.T. 2002. Refinements to an in-situ soil core technique for measuring net N-mineralization in moist, fertilized agricultural soil. *Agronomy Journal* 94: 864-869.
- Bundy, G.L., and T.W. Andraski. 2005. Recovery of fertilizer nitrogen in crop residues and cover crops on an irrigated sandy soil. *Soil Science Society of America Journal* 69: 640-648.
- Burns, R., Hardy, R. 1975. Nitrogen Fixation in bacteria and higher plants. Springer – Verlag, N.Y. Inc., N. York.
- Campbell, C.A., Zentner, R.P., Liang, B.C., Roloff, G., Gregorich, E.G., Blomert, B. 1999. Organic C accumulation in soil over 30 years in semiarid southwestern Saskatchewan: Effect of crop rotations and fertilizers. *Can. J. Soil Science* 80: 179-192.
- Capriel, P., T. Beck, H. Borchert, Hörter, P. 1990. Relationships between soil aliphatic fraction extracted with supercritical hexane, soil microbial biomass, and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 415–420.
- Caravaca, F., Lax, A., Albaladejo, J. 1999. Organic matter, nutrient contents and cation exchange capacity in fine fractions from semi arid calcareous soils. *Geoderma* 93(3-4): 161-176.
- Carpenter-Boggs, L., Pikul, J., Vigil, M.F., Riedell, W.E. 2000. Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2038-2045.
- Carter, M.R. 1988. Temporal Variability Soil Macroporosity in a fine sandy loam under mould board ploughing and direct drilling. *Soil Tillage and Research* 12:37-51.
- Castellazzi, M.S., Wood, G.A., Burgess, P.J., Morris, J., Conrad, K.F., Perret, J.N. 2008. A systematic representation of crop rotations. *Agricultural Systems* 97: 26-33.
- Cechin I., Fatima Fumis, T. 2004. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the green house *Ciencias Biológicas*.

- Chan, K.Y., 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.
- Chan, K.Y., Heenan, D.P., Ashley, R. 1994. Seasonal changes in surface aggregate stability under different tillage crops. *Soil & Tillage Research* 28: 301-314.
- Cheng, S.K., Zubriski, J.C. 1978. Effects of nitrogen fertilizer on production of irrigated sunflower, plant uptake of nitrogen and on water use. In: *Proceedings 8th Inter Sunflower Conference, Minneapolis* pp 400-409.
- Chenu, C., Le Bissonnais, Y., Arrouays, D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1479-1486.
- Cheruiyot, E.K., Mumera, L.M., Nakhone, L.N., Mwonga, S.M. 2001. Rotational effects of grain legumes on maize performance in the rift valley highlands of Kenya. *African Crop Science Journal* 9(4): 667-676.
- Connor, D.J., Jones, T.R., Palta, J.A. 1985. Response of sunflower to strategies of irrigation. I. Growth, yield and the efficiency of water use. *Field Crops Res.* 10: 15-35.
- Connor, D.J., Hall, A.J. 1997. Sunflower physiology. In: *Sunflower technology and production*. Agr. Monograph, Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA, pp 113-181.
- Cook, S.M., Gupta, S.C., Woodhead, T., Larson, W. 1992. Soil physical constraints to establishment of mungbeans in paddy rice soil. *Soil Tillage and Res.* 33:47-64.
- Coque, M., Gallais, A. 2007. Genetic variation for nitrogen remobilization and post-silking nitrogen uptake in maize recombinant inbred lines: heritabilities and correlations among traits. *Crop Science* 47: 1787-1796.
- Coque, M., Martin, A., Veyrierias, J.B., Hirel, B., Gallais, A. 2008. Genetic variation of N – remobilization and postsilking N-uptake in a set of maize recombinant inbred lines. I. QTL detection and coincidences. *Theoretical and Applied Genetics* 117: 729-747.
- Costanza, R., Daly, H., Bartholomew J. 1991. Goals, agenda, and policy recommendations for ecological economics, Costanza R. (ed.), *Ecological economics: the science and management of sustainability*, New York, Columbia University Press pp 525.
- Cousin, R. 1997. Peas (*Pisum sativum* L.) *Field Crop Research* 53: 111-130.

- Crawford, M.C., Grace, P.R., Belloti, W.D., Oades, J.M. 1997. Root production of a barell medic (*Medicago truncatula*) pasture, a barley grass (*Hordeum leporinum*) pasture and a faba bean (*Vicia faba*) crop in southern Australia. Australian Journal of Agricultural Resources 48: 1139-1150.
- Crawley, M.J. 1986. Life history and environment. In Crawley M.J. (Ed.) Plant Ecology, Blackwell, Oxford pp 253-290.
- Crews, T.E., Peoples, M.B. 2005. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. Nutr. Cycl. Agroecosyst 72: 101-120.
- Crozier, C.R., King, L.D., Hoyt G.D. 1994. Tracing nitrogen movement in corn production systems in the North Carolina Piedmont: analysis of nitrogen pool size. Agronomy Journal 86: 642-649.
- CTIC. 2004. National crop residue management survey. Conservation Technology Information Center, Purdue University, West Lafayette, In <http://www.ctic.purdue.edu/CTIC/CTIC.html> (validated Nov 24, 2004).
- D'Andrea, K.E., Otegui, M.E., Cirilo, A.G. 2008. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. Field Crop Research 105: 228-239.
- 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., Geronikolou, L., Papadakis, G. 2004. Potential growth and productivity of three Sunflower hybrids in a soil with aquatic moisture regime in central Greek conditions. In : Van Swaalj, W.P.M, Fjalistrom, T., Helm, P., Grassi, A. (Ed.), Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Proceedings of the 2nd World Biomass Conference, Roma, Italy pp 315-318.
- Danalatos, N.G., Archontoulis, SV, Geronikolou, L., Papadakis, G. 2005. Biomass and seed yield of sunflower as alternative energy crop in Greece. 14th European Biomass Conference, Paris, France pp 308-311.
- Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V., 2009. Pilot scale agronomical results on Cynara, Sunflower and fiber and sweet Sorghum in three different sites in Greece. In: Proceedings of the 17th European Biomass Conference, Hamburg, Germany pp 531-537.

- Decker, A.M., Clark, A.J., Meisinger, J.J., Mulford, F.R., McIntosh, M.S. 1994. Legume cover crop contributions to no-tillage corn production. *Agronomy Journal* 86: 126-135.
- Delogu, G., Cativelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T., Stanca, A.M. 1998. Uptake and agronomiv efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal Agronomy* 9: 11-20.
- Diaz, E., Roldan, A., Lax, A., Albaladejo, J. 1994. Formation of stable aggregates in degraded soil by amendment with urban refuse and peat. *Geoderma* 63: 277-288.
- Dimoyiannis, D. 2009. Seasonal soil aggregate stability variation in relation to rainfall and temperature under Mediterranean conditions. *Earth Surf. Process. Landforms* 34: 860-866.
- Dimoyiannis, D., Tsadilas, C.D., Valmis, S. 1998. Factors affecting aggregate instability of Greek agricultural soils. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis* 29: 1239-1251.
- Dinell, H., Levesque, P.E.M., Jambu, P., 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.
- Dinnes, D.L., Karlen, D.J., Jaynes, D.B., Kaspar, T.K., Hatfield, J.L., Colvin, T.S., Camberdella, C.A. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwest soils. *Agronomy Journal* 94: 153-171.
- Driessen, P.M. Konijin, N.T. 1992. Land Use System analysis. Assessing the physical suitability of Land for annual cropping. *Agric. Univ. of Wageningen*.
- Efthimiadou, A., Bilalis, D., Karkanis, A., Froud-Williams, B., Eletherochorinos, I. 2009. Effects of cultural system (organic and conventional) on growth, photosynthesis and yield components of sweet corn (*Zea mays* L.) under semi-arid environment. *Not. Bot. Agrobot. Cluj*, 37(2): 104-111.
- Efthimiadou, A., Bilalis, D., Karkanis, A., Froud-Williams. 2010. Combined organic/inorganic fertilization enhance soil quality and increased yield, photosynthesis and sustainability of sweet maize crop. *Australian J. on Crop Sci.* 4(9): 722-729.
- Eghball, B., Maranville, J.W. 1991. Interactive effects of water and nitrogen stresses on nitrogen utilization efficiency, leaf water status and yield of corn genotypes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22: 1367-1382.

- Entry, J.A., Mitchell C.C., Backam, C.B. 1996. Influence of management practices on soil organic matter, microbial biomass and cotton yield in Alabama's Old Rotation. *Boil Fert. Soils* 23: 353-358.
- Evans, J., O'Connor, G.E., Turner, G.I., Coventry, D.R., Fettell, N., Mahoney, J., Armstrong, E.L., Walscott, D.N. 1989. N₂ fixation and its value to soil N increases in lupin, field pea and other legumes in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Resources* 40: 791-805.
- Evans, R.J., Edwards, E. 2001. Nutrient Uptake and Use in Plant Growth. NEE Workshop Proceedings, 18-20 April, pp 75-81, www.greenhouse.crc.org.au/crc/
- Fahey, J.W., Zalcmann, A.T., Talalay, P. 2001. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry* 56: 5-51.
- Fortun, A., Tomas, R., Fortun, C. 1996. Effect of bituminous materials on soil aggregation. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10: 161-168.
- Fontaine, J.X., Ravel, C., Pageau, K. 2009. A quantitative genetic study for elucidating the contribution of glutamine synthetase, glutamate dehydrogenase and other nitrogen-related physiological traits to the agronomic performance of common wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 119: 645-662.
- Francis, C.A. 2005. Crop Rotations. Elsevier Ltd. pp. 318-322.
- Frye, W.W., Blevins, R.L., Smith, M.S., Corak, S.J. 1988. Role of annual legume cover crops in efficient use of water and nitrogen. In : Hargrove, W.L. (Ed), *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen*. ASA, Spec. Publ. 15, Madison, W.I. pp 129-154.
- Galloway, J.N., Schlesinger H.W., Levy IIH., Michaels A., Schnoor J.L. 1995. Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement-environmental response. *Global Biogeo-chemical Cycles* 9(2): 235-252.
- Gamblin, B.L., Borrás, L., Otegui, M.E. 2006. Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. *Field Crop Research* 95: 316-326.
- Gastal, F., Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany* 53 (370): 789-799.

- Geronikolou, L., Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V., Kalavriotou, P., Papadakis, G., 2004. An experiment study of sunflower oil production in Greece to be used as an alternative fuel. In: Van Swaaij, W.P.M, Fjalistrom, T., Helm, P., Grassi, A. (Ed.), Proceedings of the 2nd World Biomass Conference, Roma, Italy pp 612–615.
- Good A.G., Shrawat, A.K., Muench, D.G. 2004. Can less yield more? Is reducing input into the environment compatible with maintaining crop production? Trends in Plant Science 9: 597-605.
- Göskoy A.T., Demir A.O., Turan Z.M., Dagustu N., 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research 187: 167–178.
- Graham, P.H. 1981. Some problems of nodulation and symbiotic fixation in *Phaseolus vulgaris* L. Field Crop Research 4:93-102.
- Greenwood, D. J., Gastal, F., Lemaire, G., Draycott, A., Millard, P., Neeteson, J.J. 1991. Growth Rate and % N of Field Grown Crops: Theory and Experiments. Annals of Botany 67 (2).
- Grindlay, D.J.C. 1997. Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area. Journal of Agricultural Science, 128: 377-396.
- Guckert, A., Chone, T., Jacquin, F. 1975. Microflore et stabilite structural des sols. Revue de l'Ecologie et de la Biologie du Sol 12: 211-223.
- Hageman, R. 1984. Ammonium versus nitrate nutrition oh higher plants. In: Nitrogen in crop production. Amer. Soc. of Agronomy. Soil Science of America, Madison, Wisc. pp 67-96.
- Hallberg, G.R. 1989. Nitrate in groundwater in the United States. In: R.F. Follett (ed). Nitrogen management and ground-water protection. Elsevier, Amsterdam, pp. 35-74.
- Hamdi, Y.A., Taha, S., El-Damaty, A., El-Sherif, A. 1966. The effect of bacterial inoculation and phosphatic fertilization on some legumes in sandy loam soil of the UAR. Journal of Soil Science 6(1): 1-16.
- Handarson, G., Atkins, C. 2003. Optimising biological N₂ fixation by legumes in farming systems. Plant and Soil 252: 41-54.
- Hargrove, W.L. 1986. Winter legumes as a nitrogen source for no till grain sorghum. Agronomy Journal 78: 70-74.

- Harris, G.H., Hesterman, O.B., Paul, E.A., Peters S.E., Janke, RR. 1994. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping system experiment. *Agronomy Journal* 86: 910-915.
- Havlin, J.L., Kissel, D.E., Maddux, L.D., Claasen, M.M., Long, J.H. 1990. Crop rotation and tillage effect on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society Am J.* 54: 448-452.
- Hesterman, O.B., Ruselle, M.P., Shaeffer, C.C., Heichel, G.H. 1987. Nitrogen utilization from fertilizer and legume residues in legume – corn rotations. *Agronomy Journal* 78: 19-23.
- Hirel, B., Bertin, P., Quillere, I. 2001. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. *Plant Physiology* 125: 1258-1270.
- Hirel, B., Le Gouis J., Ney B., Gallais, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany* 58: 2369-2387.
- Hodge, A., Robinson, D., Fitter A. 2000. Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen? *Trends in Plant Science* 5: 304-308.
- Holderbaum, J.F., Decker, A.M., Meisinger, J.J., Mulford, F.R., Vough, L.R. 1990. Fall-seeded legume cover crops for no-tillage corn in the humid East. *Agron J.* 82: 117-124.
- Howieson, J.G., O'Hara, G.W., Carr, S.J. 2000. Changing role for legumes in Mediterranean agriculture: developments from an Australian perspective. *Field Crop Research* 65: 107-122.
- Hughes, H.D., Metcalfe, D.S., Johnson, J.J., Henson, E.R. 1957. Crop production - principles and practices. 3rd Revision. McMillan CO., N.Y. pp 620.
- Huggins, D.R., Pan, W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy Journal* 85: 898-905.
- Idikut, L., Tiryaki, I., Tosun, S., Celep, H. 2009. Nitrogen rate and previous crop effects on some agronomic traits of two corn (*Zea mays* L.) cultivars Maverik and Bora. *African Journal of Biotechnology* 8(19): 4958-4963.
- Jakobsen, I. 1985. The role of phosphorus in nitrogen fixation by young pea plants (*Pisum sativum*). *Physiol. Plant.* 64:190-196.

- Jansen, H.H., Bole, J.B., Biederbeck, V.O., Slinkard, E. 1990. Fate of N applied as green manure or ammonium sulphate fertilizer to soil subsequently cropped with spring wheat in three sites in western Canada. *Can. J. Soil Sci.* 70: 313-323.
- Jarvis, S.C., Hatch, D.J., Lockyer, D.R. 1989. Ammonia fluxes from grazed grassland: annual losses from cattle production systems and their relation to nitrogen inputs. *The Journal of Agricultural Science* 113: 99-108, DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600084677>.
- Jayasundara, S., Wagner-Riddle, C., Parkin, G., Von Bertoldi, P., Warland, J., Kay, B., Voroney, P. 2007. Minimizing nitrogen losses from a corn-soybean-winter wheat rotation with best management practices. *Nutr. Cycl. Agroecosystem* 79: 141-159.
- Jenkinson, S.D. 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. *Plant and Soil* 228: 3-15.
- Jensen, E.S. 1987. Seasonal patterns of growth and nitrogen fixation in field – grown pea. *Plant and Soil* 101: 29-37.
- Jensen, E. S. 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea – barley intercrops. *Plant and Soil* 182: 25-38.
- Jensen, E.S. 1996. Rhizodeposition of N by pea and barley and its effect on soil N dynamics. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 65-71.
- Jeuffroy, M.H., Ney, B., Ourry, A. 2002. Integrated physiological and agronomic modeling of N capture and use within the plant. *J. of Experimental Botany* 53 (370): 809-823.
- Jokela, W.E., Randall, G.W. 1989. Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. *Agron. J.* 81: 720-726.
- Karlen, D.L., Varvel, G.E., Bullock, D.G., Cruse, R.M. 1994. Crop Rotations for the 21st century. *Advanced Agronomy* 53: 1-45.
- Karpenstein-Machan, M., Stuelpnagel, R. 2000. Biomass yield and nitrogen fixation of legumes monocropped and intercropped with rye and rotation effects on a subsequent maize crop. *Plant and Soil* 218: 215-232.
- Kasturikrishna, S., Ahlavat, P.S. 1999. Growth and yield response of pea (*Pisum sativum*) to moisture stress, phosphorus, sulphur and zinc fertilizers. *Indian J. Agron.* 44: 588-596.

- Kaul, H.P., Aufhammer, W., Wagner, W. 1996. Dry matter and nitrogen accumulation and residues of oil and protein crops. *European Journal of Agronomy* 5: 137-147.
- Kavdir, D.R., Rassae, D.P., Smucker, A.J.M. 2005. Specific contributions of decaying alfalfa roots to nitrate leaching in a Kalamazoo loam soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 109: 97-106.
- Kaye, N.M., Mason, S.C., Jackson, D.S., Galusha, T.D. 2007. Crop rotation and soil amendments alters sorghum grain quality. *Crop Sci.* 47: 722-729.
- Kiem, R., Kandeler, E. 1997. Stabilization of aggregates by microbial biomass as affected by soil texture and type. *Applied Soil Ecology* 5: 221-230.
- Kosmas, C., Danalatos, N.G., Gerontidis, S. 2000a. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. *Catena* 40: 3-17.
- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Gagianas, A.A., Papanikolaou, E.P. 1998. Estimation and partitioning of nitrogen fixed by soybean in Mediterranean climates. *Journal Agronomy and Crop Science* 181: 137-144.
- Kovac, K., Macak, M., Svancarkova, M. 2005. The effect of soil conservation tillage on soil moisture dynamics under single cropping and crop rotation. *Plant Soil Envir.* 51: 124-130.
- Kumar, K, Goh, K.M. 2000. Biological nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for white clover (*Trifolium repens* L.) and field pea (*Pisum sativum* L.) grown for seed. *Field Crops Res.* 68: 49-59.
- Kuo, S., Sainju, U.M., Jellum, E.J. 1997b. Winter cover cropping influence on nitrogen in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1392–1399.
- Ladd, J.N., Butler, J.H.A., Amato, M. 1986. Nitrogen fixation by legumes and their role as sources of nitrogen for soil and crop. *Biological Agriculture and Horticulture* 3: 269-286.
- Ladd, J.N., Oades, J.M., Amato, M. 1981. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in the field. *Soil Biol. Biochem.* 13: 251-256.
- Ladizinsky, G.M., Hymowitz, T. 1979. Seed protein electrophoresis in taxonomic and evolutionary studies. *Theoretical and Applied Genetics* 54:680-685.

- Legg, J. Meisinger, J. 1982. Soil Nitrogen Budgets. In: Nitrogen in Agricultural Soils. Agron. Amer. Soc. of Agronomy Soil Sci. Soc. of Amer., Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A. 22: 503-566.
- Lehrsch, G.A., Jolley, P.M. 1992. Temporal changes in wet aggregate stability. Transactions of the ASAE 35(2): 493-498.
- Lindquist, L.J., Arkebauer, J., Walters, T.D., Cassman K.G., Dobermann, A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. American Society of Agronomy J. 97: 72-78.
- Lizaso, J.I., Batchelor, W.D., Westgate, M.F., Echarte, L. 2003. Enhancing the ability of CERES-Maize to compute light capture. Agric. Syst. 76:293-311.
- Lopez-Bellido, L., Lopez-Garrido, F.J., Fuentes, M., Castillo, J., Fernandez, E.J. 1997. Influence of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on soil organic matter and nitrogen under rain-fed Mediterranean condition. Soil & Tillage Research 43:277-293.
- Lopez-Bellido, R.J., Lopez-Bellido, L. 2001. Efficiency on nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. Field Crop Research 71: 31-46.
- Lopez-Bellido R.J., Lopez-Bellido L., Castillo J.E., Lopez-Bellido, F.J. 2003. Nitrogen uptake by sunflower as affected by tillage and soil residual nitrogen in a wheat-sunflower rotation under rainfed Mediterranean conditions. Soil and Tillage Research, 72: 43-51.
- Lopez-Bellido, R.J., Fontan, J.M., Lopez-Bellido, J., Lopez-Bellido, L. 2010. Carbon sequestration by tillage, rotation, and nitrogen fertilization in a Mediterranean Vertisol. Agron. J. 102, 310-318.
- Ludlow, M.M., Muchow, R.C. 1990. Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation. Advanced Agronomy 43:107-153.
- Ma, B.L., Subeti, K.D., Costa, C. 2005. Comparison of crop-based indicators with soil nitrate test for corn nitrogen requirement. Agronomy Journal 97: 462-471.
- Magdoff, F.R. 1991. Understanding the Magdoff pre-sidedress nitrate test for corn. J. Prod. Agric. 4: 297-305.
- Martin, A., Belastegui-Macadam, X., Quillere, I. 2005. Nitrogen management and senescence in two maize hybrids differing in the persistence of leaf greenness: agronomic, physiological and molecular aspects. New Phytologist 167: 483-492.

- Masclaux, C., Quilleré, I., Gallais, A., Hirel, B. 2001. The challenge of remobilization in plant nitrogen economy. A survey on physio-agronomic and molecular approaches. *Annals of Applied Biology* 138: 68-81.
- Masclaux – Daubresse C., Daniel – Vedele F., Dechorgnat J., Chardon F., Gaufichon L., Suzuki A. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany* 105: 1141-1157.
- Massignam, A.M., Chapman, S.C., Hammer, G.L., Fukai, S. 2009. Physiological determinants of maize and sunflower grain yield as affected by nitrogen supply. *Field Crop Research*, 113: 256-267. doi: 10.1016/j.fcr.2009.06.001.
- Massignam, A.M., Chapman, S.C., Hammer, G.L., Fukai, S. 2011. Effects of nitrogen supply on canopy development of maize and sunflower. *Crop and Pasture Science* 62: 1045-1055.
- McCullough, D.E., Girardin, P., Mihajlovic, M., Aguilera, A., Tollenaar, M. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. *Can. J. Plant Sci.* 74: 471-477.
- Melchiori, R.J.M., Caviglia, O.P. 2008. Maize kernel growth and kernel water relations as affected by nitrogen supply. *Field Crop Research*, 108: 198-205.
- Melero, S., Lopez-Bellido R., Lopez-Bellido L., Munoz-Romero V., Moreno F., Murillo J. 2011. Long-term effects of tillage, rotation and nitrogen fertilizer on soil quality in a Mediterranean Vertisol. *Soil & Tillage Research* 114: 97-107.
- Mengel, D.B., Nelson, D.W., Huber, D.M. 1982. Placement of nitrogen fertilizers for no-till and conventional till corn. *Agron. J.* 74: 515-518.
- Miller, P.R., R.E. Engel, Holmes, J.A. 2006. Cropping Sequence Effect of Pea and Pea Management on Spring Wheat in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 98: 1610-1619.
- Mkhabela, M.S., Mkhabela, M.S., Pali-Shikhulu. 2001. Response of maize (*Zea mays* L.) cultivars to different levels of nitrogen application in Swaziland. *Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference* pp 377-381.
- Moll, R.H., Kamprath, E.J., Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74: 562-564.
- Monnier, G. 1965. Action des matieres organiques sur la stabilite structurale des sols. *These de la faculte des sciences de Paris* pp 140.

- Mooney, H.A., Hobbs, R.J., Gorham, J., Williams, K. 1986. Biomass accumulation and resource utilization in co-occurring grassland annuals. *Oecologia* 70: 555-558.
- Mueller, M.M., Sudman, V. 1988. The fate of nitrogen-15 released from different plant materials during decomposition under field conditions. *Plant Soil* 105: 133-139.
- Mwanamwenge, J., Loss, S.P., Siddique, K.H.M., Cocks, P.S. 1999. Effects of water stress during floral initiation flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia Faba* L.), *European Journal of Agronomy* 11:1-11.
- Oades, J.M., 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76: 319-337.
- Olivier, F.C. Annandale, J.G. 1998. Thermal time requirements for the development of green pea (*Pisum sativum* L.). *Field Crop Research*, 56: 301-307.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E. 1982. Phosphorus *In* Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., (Ed.) *Methods of soil analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monographs, Second Edition. Madison, Wisconsin USA* 9:403-430.
- Omay, A.B., Rice, C.W., Maddux, L.D., Gordon, W.B. 1997. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1672–1678.
- Onim, L.F.M., Mathuva, M., Oticno, K., Fitzhugh, H.A. 1990. Soil fertility changes and response of maize and beans to green manures of *Leucaena*, *Sesbania* and Pigeon pea. *Agroforestry Systems* 12: 197-215.
- Osman, A.E., Cocks, P.S., Russi, L., Pagnotta, M. 1991. Response of Mediterranean grassland to phosphate and stocking rates: biomass production and botanical composition. *Journal of Agricultural Science* 116: 37-46.
- Osman, A.E., Cocks, P.S., Bahhady, F. 1994. Response of Mediterranean grassland to phosphate and stocking rates: livestock production. *Journal of Agricultural Science* 123 (3): 319-326.
- Oyer, L.J., Touchton, J.T. 1990. Utilizing legume crop systems to reduce nitrogen fertilizer requirements for conservation tilled corn. *Agron. Journal* 82: 1123-1127.
- Papastylianou, I. 1993. Productivity and nitrogen fertilizer requirements of barley in rotation systems in rainfed Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 2: 119-129.

- Papastylianou, I., Panayiotou, G.S. 1993. Productivity and economic and financial profitability of three rainfed rotation systems in Cyprus. Agricultural Res. Institute Nicosia Tech. Bull. 148.
- Passioura, J.B. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat, growing on stored water. Journal Australian Institute Agricultural Resources 43:117-121.
- Pate, J.S., Armstrong E.L. 1996. Pea. In: Zamski E, Schaffer AA (eds). Photoassimilate distribution in plants and crops source-sink relationships, New York: Dekker Inc. pp 625–642.
- Pattey, E., Strachan, I.B., Boisvert, J.B., Desjardin, R.L., McLaughlin, N.B. 2001. Detecting effects of nitrogen rate and weather on corn growth using micrometeorological and hyperspectral reflectance measurements. Agric. For Meteorol. 108: 85-99.
- Peoples, M.B., Herridge, D.F., Ladha, J.K. 1995b. Biological nitrogen fixation : An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. Plant Soil 174: 3-28.
- Pérez Leroux, H.A.J, Long, S.P. 1994. Growth analysis of contrasting cultivars of *Zea mays* L. at different rates of nitrogen supply. Ann. Bot. (London) 73: 507-513.
- Pierce, F.J., Rice, C.W. 1988. Crop rotation and its impact of efficiency of water and nitrogen use. In: Hagrove (Ed.), Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen. ASA, Special Publication No 15, Wisconsin, pp 101-113.
- Potter, K.N., Tolbert, H.A., Jones, O.R., Matocha, J.E., Morrison, J.E., Unger, P.W. 1998. Distribution and amount of soil organic C in long-term management system in Texas. Soil Till. Res. 47: 309–321.
- Power, J.F. 1990. Legumes and crop rotations. In : Francis, Ch.A., *et al.* (Eds), Sustainable agriculture in temperate zones. J. Wiley and Sons, New York pp 178-204.
- Przybylska, J., Zimniak-Prybylska, Z., Krajewski, P. 1998. Diversity of seed albumins in the grass pea (*Lathyrus sativus*): an eletrophoretic study. Genetic Resources and Crop Evolution 45:423-431
- Rajcan, I., Tollenaar, M. 1999. Source:sink ratio and leaf senescence in maize : I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. Field Crops Res. 60: 245–253.

- Rao, A.V., Tarafdar, J.C., Sharma, S.K., Kumar P., Aggarwal, R.K. 1995. Influence of cropping systems on soil biochemical properties in an arid rainfed environment. *Journal of Arid Environment* 31: 237-244.
- Ravuri, V., Hume, D.J. 1993. Soybean stover nitrogen affected by dinitrogen fixation and cultivar. *Agronomy J.* 85: N328-333.
- Recous, S., Leroux, X., Attard, E., Lemaire, G., Laurent, F., Chabbic, A. 2010. Impact of land use changes on soil carbon pools, gross nitrogen fluxes and nitrifying and denitrifying communities. 19TH World Congress of Soil Science, soil solutions for a changing world, Australia, published on DVD.
- Rego, T.J., Seeling, B. 1996. Long-term effects of legume-based cropping systems on soil nitrogen status and mineralization in Vertisols. In Ito et al. (eds) *Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the semi-arid Tropics*. JIRCAS, pp 469-479.
- Reid, J.B., Goss, M.J. 1981. Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. *J. Soil Science.* 32: 521-541.
- Ridley, W.P., Shillito, R.D., Coats, I., Steiner, H-Y, Shawgo, M., Phillips, A., Dus-sold, P., Kurtyka, L, 2004. Development of the International Life Sciences Institute Crop Composition Database. *Journal of Food Composition and Analysis* 17: 423-438.
- Riedell, W.E., Pikul, J., Jaradat, A.A., Schumacher, T.E. 2009. Crop rotation and nitrogen input effects on soil fertility, maize mineral nutrition, yield and seed composition. *Agronomy J.* 101(4): 870-878.
- Rinaldi, M. 2001. Application of ECIP model for irrigation scheduling of sunflower in southern Italy. *Agric. Water Management* 49: 185-196.
- Rinaldi, M., Lovasio N., Flafella, Z. 2003. Evaluation and application of the OIL-CROP-SUN model for sunflower in S. Italy. *Agric. Systems* 78: 17-30.
- Robson, A.D., Gikes, R.J. 1980. Fertilizers responses (N, P, K, S and micronutrients) on lateric soils in south-western Australia. A review In: *International Seminar on Laterisation Process*, Oxford and IBM Publishing Company pp 381-390.
- Rochester, I.J., Peoples, M.B., Hullugalle, N.R., Gault, R.R., Constable, G.A. 2001. Using legumes to enhance nitrogen fertility and improve soil condition in cotton cropping systems. *Field Crop Research* 70: 27-41.
- Rodríguez-Lizana, A., Carbonell, R., González, P., Ordóñez, R. 2010. N, P, and K released by the field decomposition of residues of a pea – wheat – sunflower rotation. *Nutr. Cycle Agroecosyst* 87: 199-208.

- Roetter, R.P., van Keulen H., M. Kuiper. J. Verhagen, H.H. van Laar. 2008. Science for Agriculture and Rural Development in Low – income countries. Published by Springer, Springer Science + Business Media, B.V., pp 220.
- Roming, D.E., Garlying, M.J., Harris, R.F., McSweeney, K. 1995. How farmers assess soil health and quality. *Journal of Soil Water Conservation* 50: 229-236.
- Ros, C.O., Aita, C. 1996. Effect of winter cover crop species on nitrogen uptake by corn under no till. *Braz. J. Soil Sci.* 20: 135-140.
- Ros, J., Nagelhout, D., Montfoort J. 2009. New environmental policy for system innovation: Casus alternatives for fossil motor fuels. Netherlands Environmental Assessment Agency. Elsevier Ltd.
- Ruffo, M.L., Garcia, F.O., Bollero, G.A., Fabrizzi, K., Ruiz, R.A. 2003. Nitrogen balance approach to sunflower fertilization. *Communication in soil science and plant analysis* 34 (7, 18) : 2645-2657.
- Ruiz, R.A., Maddonni, G.A. 2006. Sunflower Seed Weight and Oil Concentration under Different Post-Flowering Source-Sink Ratios. *Crop Science* 46: 671-680.
- Sainju, U.M., Singh, B.P., Whitehead, W.F., Wang, S. 2006. Carbon supply and storage in tilled and non tilled soils as influenced by cover crops and nitrogen fertilization. *J. Environ. Qual.* 35: 1507–1517.
- Sainju, U.M., Singh, B.P., Whitehead, W.F., Wang, S. 2007. Accumulation and crop uptake of soil mineral nitrogen as influenced by tillage, cover crops and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 99: 682-691.
- Salmeron-Miranda, F., Blh, R., Eckersten, H., Forkman, J., Wivstand, M. 2007. Aboveground nitrogen in relation to estimated total plant uptake in maize and bean. *Nutr. Cycl Agrosyst* 79: 125-139.
- Salon, C., Munier – Jolain, N., Duc G. 2001. Grain legume seed filling in relation to nitrogen acquisition: A review and prospects with prospects with particular reference to pea. *Agronomie* 21: 539-552.
- Salvati, L., Ziti, M. 2005. Land degradation in the Mediterranean basin: linking biophysical and economic factors into an ecological perspective. *Biota* 5: 67-77.
- Salvati, L., Ziti, M. 2009. Assessing the impact of ecological and economic factors on land degradation vulnerability through multiway analysis. *Ecological indicators* 9: 357-363.
- Sau, F., Minguez, M.I. 2000. Adaption of indeterminate faba beans to weather and management under a Mediterranean climate. *Field Crop Research* 68:81-99

- Schittenhelm, S. 2008. Chemical composition and methane yield of maize hybrids with contrasting maturity. *Eur. J. Agronomy* 29: 72-79.
- Schomberg, H.H., Cabera, M.L. 2001. Modeling in situ N mineralization in conservation tillage fields: comparison of two versions of the CERES nitrogen submodel. *Ecol. Model* 145: 1-15.
- Schomberg, H.H., Endale, D.M. 2004. Cover crop effects on nitrogen mineralization and availability in conservation tillage cotton. *Boil Fertil. Soils* 40: 398-405.
- Schröder, J.J. 1999. Effect of split applications of cattle slurry and mineral fertilizer on the yield of silage maize in a slurry-based cropping system. *Nutr. Cycl. Agroecosystem* 53: 209-218.
- Schröder, J.J., Neeteson, J.J., Oenema, O., Struik, P.C. 2000. Does the crop on the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Res.* 66: 151-164.
- Schultz, S., Keatinge, J.D.H., Wells, G.J. 1999. Productivity and residual effects of legumes in rice-based cropping systems in a warm-temperature environment. I. Legume biomass production and N fixation pp 23-35.
- Seo, Jong-Ho, Meisinger, J.J., Lee, Ho-Jin. 2006. Recovery of nitrogen 15-labeled hairy vetch and fertilizer applied to corn. *Agron. J. (Nitrogen Management)* 98: 245-254.
- Sharpe, R.R., Harper, L.A., Giddens, J.E., Langdale, G.W. 1988. Nitrogen use efficiency and nitrogen budget for conservation tilled wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1394-1398.
- Sims, A.L., Schepers, J.S., Olson, R.A., 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.
- Singh, S.P., Teran, H., Molina, A., Guitierrez, J.A. 1991. Genetics of yield and its components in faba bean (*Vicia faba*). *Plant Breeding* 107: 254-257.
- Skinner, F.A. 1979. Rothamsted studies of soil structure. VII. The effects of incubation on soil aggregate stability. *Journal of Soil Science* 30: 473-481.
- Smith, F.W., 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 (Eds). *Plant nutrition 1978 Proc. 8th Int. Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer problems, Auckland* pp 491-498.

- Snapp, S., Aggarwal, V., Chirwa, R. 1998. Note on phosphorus and cultivar enhancement of biological nitrogen fixation and productivity of maize/bean inter-crops in Malawi. *Field Crop Research* 58: 205-212.
- Soil Survey Staff. 1975. *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.* Agric. Handbook 466, Washington DC pp 754.
- Soon, Y.K., K.N. Harker, Clayton, G.W. 2004. Plant Competition Effects on the Nitrogen Economy on Field Pea and the Subsequent Crop. 2004. *Soil Science Society of America* 68: 552-557.
- Sowers, K.E., Pan, W.L., Miller, B.C., Smith, J.L. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agron. J.* 86: 942-948.
- Suwanarit, A., Suwamarat, C., Chotechaungmanirat, S. 1986. Quantities of fixed N and effects of grain legumes on following maize and N and P status of soil as indicated by isotopes. *Plant and Soil* 93: 249-258.
- Thompson, R., Taylor, H. 1982. Prospects of *Vicia faba* L. in Northern Europe. *Outlook Agriculture* 11:127-133.
- Thung, M. 1992. Phosphorus: A limiting nutrient in bean production in Latin America and field screening for efficiency and response. In El Bassam, N. (Ed.) *Genetic Aspects of plant mineral nutrition*, Kluwer, The Netherlands.
- Tian, L., Dell, E., Shi, W. 2010. Chemical composition of dissolved organic matter in agroecosystems: correlations with soil enzyme activity and carbon and nitrogen mineralization. *Applied Soil Ecology* 46: 426-435.
- Tillman, G., Schomberg, H., Phatak, S., Mullinix, B., Lachnicht, S., Timper, P., Olson, D. 2004. Influence of cover crops on insect pests and predators in conservation tillage cotton. *J Econ Entomol.* 97: 1217-1232.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M. 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. L. Soil Res.* 17: 429-441.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M. 1982. Organic matter and water – stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33: 141-163.
- Tonitto, C., M.B. David, Drinkwater, L.E. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112:58–72.

- Uauy, C., Distelfeld, A., Famina, T., Blechl, A., Dubcovsky, J. 2006. A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. *Science* 314: 1298-1301.
- Unkovich, M.J., Pate, J.S., Sanford, P. 1997. Nitrogen fixation by annual legumes in Australian Mediterranean legumes. *Field Crop Research* 48: 267-293.
- Urbatzka, P., Grab, R., Haase, T., Schöler, C., Heb, J. 2009. Fate of legume-derived nitrogen in monocultures and mixtures with cereals. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132: 116-125.
- Uribe-larrea, M., Crafts-Brandner, S.J., Below, F.E. 2009. Physiological N response of field-grown hybrids (*Zea mays* L.) with divergent yield potential and grain protein concentration. *Plant and Soil* 316: 151-160.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1998. Legumes and Soil Quality. *Soil Quality – Agronomy Technical Note No. 6*.
- Valmis, S., Dimoyiannis, D., 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., Aggelides, S. 1988. Soil aggregate instability index and statistical determination of oscillation time in water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1188-1191.
- Van Kessel, C., Hartley, C. 2000. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? *Field Crop Research* 65: 165-181.
- Van Keulen, H. 1982. Graphical analysis of annual crop response to fertilizer application. *Agricultural Systems* 9: 113-126.
- Van Keulen H., Goudriaan J., Seligman G.N. 1989. Modelling the effects of nitrogen on canopy development and crop growth. In: Russel G, Marshall B., Jarvis G. P., (ed). *Plant canopies: their growth, form and function*. Cambridge University Press, Cambridge pp 83-104.
- Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., Merckx, R., 1997. Residue quality and decomposition: a steady relationship. In *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. G. Cadish and KE Giller (eds), UK pp 157-166.
- Varvel, G.E., Peterson, T.A. 1990. Residual soil nitrogen as affected by continuous two-year, and four-year crop rotation systems. *Agron. J.* 82: 958-962.

- Varvel, G.E., Schepers, J.S., 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. 2000. Crop rotation and nitrogen effects on normalized grain yield in a long-term study. *Agron. J.* 92: 938-941.
- Vega, C.R.C., Andrade, F.H., Sadras, V.O. 2001. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crops Res.* 72: 163-175.
- Villalobos, A.J., Hall, J.T., Ritchie, Orgos, F. 1996. Seasonal impact on growth, development and yield model of sunflower crop. *Agron. J.* 88: 403-415.
- Vimonsesa, V., Chong, M.N., Jin, B. 2010. Evaluation of the physical properties and photodegradation ability of titania nanocrystalline impregnated onto modified kaolinite.
- Voisin, A.S., C. Salon, C. Jeudy, Warembourg, F.R. 2003. Symbiotic N₂ fixation activity in relation to C economy of *Pisum sativum* L. as a function of plant phenology. *J. of Experimental Botany* 54 (393): 2733-2744.
- Voroney, R.P., Paul, E.A., Anderson, D.W. 1989. Decomposition of wheat straw and stabilization of microbial products. *Can. J. Soil Sci.* 69: 63-77.
- Vos, J. 1997. The nitrogen response of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the field: nitrogen uptake and yield, harvest index and nitrogen concentration. *Potato Research* 40: 237-248.
- Vos, J. 2009. Nitrogen responses and nitrogen management in potato. *Potato Research* 52: 305-317.
- Walkley, A., Black, I.A. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Sci.* 37:29-37.
- Wang, X., Cai, D., Hoogmoed, W.B., Perdok, U.D., Oenema, O. 2007. Crop residue, manure and fertilizer in dryland maize under reduced tillage in northern China: I grain yields and nutrient use efficiencies. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 79: 1-16. Doi: 10.1007/s10705-007-9113-7.
- Wani, S.P., Rego, T.J., Iot, O., Lee, K.K. 1996. Nitrogen budget in soil under different cropping systems. In Ito et al. (eds) *Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the semi-arid Tropics*. JIRCAS pp 481-492.

- Weber, M., Schat, H. Ten Bookum-Van Der Maarel, W. 1991. The effect of copper toxicity on the contents of nitrogen compounds in *Silene vulgaris* (Moench) Garcke. Plant and Soil 133: 101-109.
- Werry, J., Descamps, M., Leger-Cresson, N. 1988. Influence of some agroclimatic factors and agronomic practices on nitrogen nutrition of chickpea. In Beck, D.P. and Materson, L.A. (Ed). Proceedings of a workshop on Nitrogen fixation by legumes in Mediterranean agriculture. ICARDA, Syria, 1986.
- Wichern, S., Mayer, J., Jörgensen, R.G., Müller, T. 2007. Rhizodeposition of C and N in peas and oats after ^{13}C – ^{15}N double labeling under field conditions. Soil Biol. Biochem. 39: 2527-2537.
- Wilson, D.O., Hargrove W.L. 1986. Release of nitrogen from crimson clover residue under 2 tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1251-1254.
- Wuest, S.B., Cassman, K.G. 1992a. Fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated wheat: I. Uptake efficiency of preplant versus late-season application. Agron. J. 84: 682-688.
- Xue – Ming, Y., Wander, M.M. 1998. Temporal changes in dry aggregate size and stability: tillage and crop effects on a silty loam Mollisol in Illinois. Soil & Tillage Research 49: 173-183.
- Yemane, A. Skjelvag, A.O. 2003. Effects of Fertilizer Phosphorus on Yield Traits of Dekoko (*Pisum sativum* var. *abyssinicum*) Under Field Conditions. J. Agronomy & Crop Science 189: 14-20.
- Zhang, F., Mackenzie, A.F., Smith, D.L. 1993. Corn yield and shifts among corn quality constituents following application of different nitrogen fertilizer sources at several times during corn development. J. Plant Nutr. 16: 1317-1337.
- Zubillaga, M.M., Aristi J.P., Lavado, R.S. 2002. Effect of phosphorus and nitrogen fertilization on sunflower (*Helianthus annuus* L.) nitrogen uptake and yield. J. Agronomy & Crop Science 188: 267-274.

Ελληνική

- Αναλογίδης, Δ. 2007. Τα μικροθρεπτικά στοιχεία στο αγροτικό οικοσύστημα. Εκδόσεις Αγροτύπος. Αθήνα, σ. 368.
- Δαναλάτος, Ν., 2005. Εισαγωγή στην προσομοίωση ανάπτυξης καλλιεργειών, Εργαστηριακές Σημειώσεις. Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Π.Θ., Βόλος.
- Ε.Σ.Υ.Ε. 2011. Ακαθάριστη προστιθέμενη αξία κατά κλάδο, Αθήνα.

- Κουκουλάκης, Π.Χ., Σιμώνης, Α.Δ., Γκέρτσος, Α.Κ. 2000. Οργανική ουσία του εδάφους: το πρόβλημα των ελληνικών εδαφών, Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλης.
- Μέλφου, Α., 2000. "Παραγωγικότητα στην ελληνική γεωργία και περιβαλλοντικοί περιορισμοί – Η περίπτωση της νιτρορρύπανσης" Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωπονίας, Τομέας Αγροτικής Οικονομίας, Θεσσαλονίκη.
- Μετζάκης, Δ.Ε. 1984. Μπιζέλι. Υπουργείο Γεωργίας, Ινστιτούτο Κτηνοτροφικών Φυτών και Βοσκών. Λάρισα. Έντυπο, σ. 12.
- Μήτσος, Ι., 2001. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel (3^η έκδοση), σ. 313.
- Ξανθόπουλος, Φ.Π. 1993. Ο Ηλίανθος. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας. Ινστιτούτο βάμβακος και βιομηχανικών φυτών, σελ. 261.
- Παπαμίχος, Ν.Θ. και Αλιφραγκής, Δ.Α. 1985. «Περιγραφή – Δειγματοληψία και εργαστηριακές αναλύσεις δασικών εδαφών και φυτικών ιστών» Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Σιδηράς, Ν. και Χουλιάρης, Ν. 1993. Επιδράσεις του συστήματος εδαφοκαλλιέργειας και αμειψισποράς στη γονιμότητα των αγρών. 4^ο Πανελλήνιο εδαφολογικό συνέδριο «Έδαφος και περιβάλλον» Ελληνική εδαφολογική εταιρεία, Έδεσσα 6-9 Μαΐου, Θεσσαλονίκη.
- Φασούλας, Α.Κ. 1992. «Στοιχεία πειραματικής στατιστικής», Θεσσαλονίκη.

ABSTRACT

Skoufogianni, E., 2013. Pea rotation with sunflower and maize as energy crops: Impact of improved soil parameters on productivity increase and sustainability in East and West Thessaly plains. PhD Thesis, University of Thessaly, Volos. xviii + 168 p, 18 tbs, 29 figs. 280 refs, Abstract.

The introduction of pea (*Pisum sativum* L.) in crop rotation with maize and sunflower was studied in two soils of Thessaly plain, a heavy clay soil in Larissa (west Thessaly) and a sandy soil in Trikala (east Thessaly) plains, focusing on the effect of pisum cultivation on improving soil structure and soil fertility, as well as on the growth and productivity of the successive maize and sunflower crops.

The effect of pea cultivation was studied in two cropping systems: a) pea harvested for pulse or as fodder crop, before the establishment of the spring crop, and b) pea incorporation (upon flowering) as green manure before the successive cultivation of maize (*Zea mays* L.) or sunflower (*Helianthus annuus* L.), compared with the traditional maize or sunflower monocultures. The growth and productivity of legume was studied as well as its nitrogen content and the N-supply to the soil. The growth and productivity of maize and sunflower were additionally studied, in a number of distracting samplings throughout the growing period, where plant height, leaf area index, specific leaf area and fresh and dry biomass per plant organ (leaf, stem and storage organ) were determined.

Four experimental fields were established in the two study soils where pea - maize and pea - sunflower rotations were introduced in the period 2007-2009. A split-plot experimental design (4x3x3) was applied in three blocks. Each block contained four main plots, comprising four levels of nitrogen fertilization; and three subplots per main plot, comprising three cultivation practices per nitrogen fertilizer level (including spring crop monoculture as control).

The results demonstrated that basic N uptake (unfertilized plots) was around 75-85 kg / ha for both studied soils, which increased significantly with the introduction of pea in the crop rotation, and particularly by 20-40 kg / ha in the case of harvesting for pulse, and up to 160-180 kg / ha (100% increase) in the case of pea incorporation into the soil as green manure. It was also found that about 37.5% of the N contained in the green manure was recovered during the next (spring) crop, thus dramatically increasing soil fertility. The resulted yield increase was about 1,6 t / ha for sunflower

to 5,0 t / ha for maize (unfertilized plots) as resulted by the N uptake times the yield-uptake ratio, the latter being equal to about 20 and 65 for sunflowers and maize, respectively.

Incorporating pea into the soil, approximately 400-500 kg of dry matter (stems, leaves and flowers) were added as green manure, enriching the top soil with 18-22 kg N / ha annually. Besides the spectacular increase in the basic N uptake, the introduction of pea in crop rotation, especially as green manure, greatly increased the fertilization efficiency as reflected by the increased N recovery fraction that reached up to 70%, bringing about even greater yields of the spring crops for the same nitrogen dressings.

The introduction of pea in crop rotation marks a significant improvement of the structure as well as the physico-chemical properties of the soil. This effect was even more evident in the weak-structured (sandy) soil, as demonstrated by the reduction of the “instability index”, particularly during the summer periods. The soil content of organic matter, organic carbon and the nutrients N, P, K increased significantly with the introduction of pea in crop rotation, and particularly in the case of its incorporation as green manure.

Nowadays, it is certain that conventional cropping systems such monocultures of high-input annual crops are both economically and environmentally unfeasible. Introducing legume crops -and particularly pisum- in crop rotation, comprises an important proposal for sustainable and economically viable production even of such highly-demanding crops in Greece and particularly in Thessaly plain, and should be seriously taken into account for future land use planning, in line with the low input sustainable agriculture.-